

VALEUR ALIMENTAIRE DU MAÏS FOURRAGE

I. — COMPOSITION CHIMIQUE ET DIGESTIBILITÉ DU MAÏS SUR PIED

C. DEMARQUILLY

avec la collaboration technique de Jacqueline AUBRY et J.-M. BOISSAN

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

SOMMAIRE

Au cours de trois essais effectués en 1964 et 1966, nous avons mesuré l'évolution de la composition, de la digestibilité et de l'acceptabilité de la plante de maïs et de ses constituants (tiges + feuilles et épi + spathes) depuis le tout début du stade laitieux jusqu'au stade vitreux.

La part de l'épi (avec ses spathes) dans la plante augmente de façon importante : elle passe de 45 à 65 p. 100 environ alors que la proportion de tiges + gaines diminue de 40 à 25 p. 100 et que la proportion de limbes passe de 15 à 10 p. 100. Dans le même temps, la teneur en matière sèche de la plante augmente régulièrement passant de 22 à 30 p. 100 environ.

Le coefficient de digestibilité de la matière organique de la plante entière a été très constant dans chaque essai : respectivement en moyenne de 75,0-79,1 et 72,3 dans les essais 1, 2 et 3. Avec l'avancement du stade de maturité, l'augmentation, dans la plante entière, de la part de l'épi dont la digestibilité est élevée et constante (84 p. 100) compense donc la diminution du coefficient de digestibilité de la matière organique du reste de la plante qui passe de 70 à 60 p. 100 environ.

La digestibilité de la matière organique de la plante de maïs et, par là, sa valeur énergétique (0,80 à 0,95 U F/kg MS) ne peut être estimée de façon satisfaisante qu'à partir de la teneur en épi dans la plante entière après le stade pâteux.

La quantité de matière sèche ingérée par les moutons est très constante et semble indépendante du stade de maturité et de la teneur en matière sèche du maïs offert : elle est de l'ordre de 55 g/kg P^{0.75} pour la plante entière et les tiges + feuilles ; elle est beaucoup plus faible (21,7 g) pour l'épi. Le fait de distribuer une petite quantité (200 g) de foin de luzerne aux moutons entraîne une légère diminution (10 p. 100) de la quantité de plante entière ou de tiges + feuilles ingérée, mais une augmentation importante (21,7 à 37,1 g/kg P^{0.75}) de la quantité d'épis ingérée.

INTRODUCTION

Depuis quelques années, la culture du maïs a pris en France une extension spectaculaire grâce à l'utilisation de variétés hybrides. Les causes de cette extension sont certes multiples mais les trois principales semblent être les suivantes : a) la culture du maïs est entièrement mécanisable ; b) le maïs est une plante sarclée capable

de fournir une production élevée à l'hectare (sous forme de fourrages ou de grains) à condition d'employer des variétés bien adaptées à la région, des techniques culturales et une fumure correctes ; c) les utilisations du maïs en alimentation animale sont multiples. En effet, la plante entière peut, soit être employée comme fourrage vert de complément à la fin de l'été, soit constituer la base des rations hivernales des ruminants après avoir été ensilée. L'épi ou le grain récoltés humides et ensilés ou récoltés secs ou séchés après la récolte sont utilisés pour l'alimentation des animaux domestiques.

Si la valeur nutritive du grain de maïs est bien connue, celles de l'épi et de la plante entière le sont beaucoup moins. Quelles sont la digestibilité et la valeur nutritive de la plante de maïs ou de l'épi (avec ses spathes), comment varient-elles avec l'âge ? A quel stade de maturité faut-il récolter la plante pour obtenir la valeur nutritive maximum ou la quantité d'éléments nutritifs maximum à l'hectare ? Nous ne disposons, pour répondre à ces questions, que des travaux américains pratiquement tous réalisés sur la plante de maïs après ensilage et dont les résultats sont parfois contradictoires (cf. revue de OWEN, 1967). On ignore en outre s'il est plus intéressant pour l'alimentation des ruminants de récolter la plante de maïs entière ou simplement l'épi et quelle est l'acceptabilité du maïs exploité en vert ?

Nous avons étudié, au cours de 3 essais effectués en 1964 et 1966, l'évolution de la digestibilité et de l'acceptabilité de la plante de maïs et de ses constituants (tige + feuilles et épi + spathes) depuis le tout début du stade laitieux jusqu'au stade vitreux.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Maïs étudiés

Dans les essais 1 et 2 nous avons mesuré la digestibilité de deux maïs *I. N. R. A. 200* semés sur une parcelle à Jouy-en-Josas (région parisienne). Le premier maïs (essai 1) a été semé le 3 juillet 1964 et nous avons mesuré la digestibilité de la plante entière, de la plante sans l'épi et de l'épi, du 30 août au 25 septembre soit du stade laitieux au début du stade vitreux. Le deuxième maïs (essai 2) a été semé le 20 juillet et nous avons étudié la digestibilité de la plante entière et de la plante sans l'épi du 4 au 23 octobre, et celle de l'épi (avec les spathes) du 4 au 30 octobre soit du stade pâteux au stade vitreux. Dans l'essai 3, nous avons mesuré la digestibilité de la plante entière d'un maïs *I. N. R. A. 270*. Le maïs semé à 60 000 pieds/ha le 30 avril 1966 dans une parcelle de Clermont-Ferrand a fleuri le 15 juillet et nous avons mesuré la digestibilité de la plante entière du 25 août (stade laitieux) au 15 septembre (stade vitreux).

Méthodes

Dans les essais 1 et 2, le maïs nécessaire aux animaux a été fauché chaque matin. La quantité récoltée a été pesée ; la surface fauchée a été mesurée chaque jour dans l'essai 2 mais non dans l'essai 1 car le nombre de plantes au m² dans la parcelle était trop hétérogène. Une partie du maïs fauché a été séparée en épis avec leurs spathes et tiges + feuilles. Les plantes entières, les tiges et les feuilles, les épis ont ensuite été hachés et distribués séparément à 3 lots de 3 moutons chacun. Les moutons ont été alimentés à volonté (5 à 10 p. 100 de refus) en trois repas par jour à 7 h 30, 13 h 30 et 17 heures. Dans l'essai 1 les moutons n'ont reçu que du maïs mais dans l'essai 2 nous avons distribué en supplément 200 g par jour d'un foin de luzerne de digestibilité connue (54,0) à tous les moutons car les résultats de l'essai 1 nous avaient montré que les moutons recevant les épis en ingéraient très peu.

La digestibilité a été mesurée en continu, chaque période de mesure allant du lundi au samedi, était séparée de la suivante par un seul jour, le dimanche.

Dans l'essai 3, le maïs a été fauché deux fois par semaine le mardi et le vendredi, la quantité récoltée a été pesée et la surface fauchée a été mesurée à chaque fois. La récolte du mardi servait à

alimenter les moutons du mercredi au vendredi et celle du vendredi à les alimenter du samedi au mardi. Dès la récolte, le maïs était stocké en chambre froide (+ 4°) jusqu'à la distribution aux animaux. Ceux-ci ont reçu le maïs haché *ad libitum* en trois repas par jour comme dans les essais 1 et 2. Les fèces ont été pesées tous les jours sauf le dimanche. Les périodes de digestibilité sont donc encore de 6 jours mais ne correspondent qu'à deux récoltes de maïs.

Au milieu de chaque période dans les essais 1 et 2 et lors de chaque récolte dans l'essai 3, 5 plantes ont été séparées en épis + spathes, tiges + gaines, limbes et panicules. Ces différentes fractions ont été séchées à l'étuve puis pesées et leurs poids ont été exprimés en p. 100 du poids de la matière sèche de la plante.

Les échantillons représentatifs du maïs offert, du maïs refusé et des fèces, correspondant à chaque période ont été analysés pour déterminer leurs teneurs en cendres, en matières azotées et en cellulose brute (Weende). Nous avons en outre déterminé la teneur en glucides solubles par la méthode de SOMOGYI (1952) et en amidon par la méthode de THIVEND et al. (1965) des échantillons représentatifs du maïs offert.

Pour préciser exactement le stade de maturité de chaque échantillon de maïs étudié, il aurait fallu suivre dans chaque essai l'évolution de la teneur en matière sèche du grain. Nous ne l'avons pas fait et nous avons caractérisé les stades de maturité par l'aspect du contenu ou la consistance des grains. Cette méthode est très utilisée parce que simple et rapide mais elle est peu précise. Aussi, pour éviter toute ambiguïté, nous avons établi à partir de nos résultats et des données bibliographiques françaises et américaines, une correspondance entre les stades végétatifs ainsi définis et les teneurs en matière sèche de la plante entière et de l'épi (tabl. 1).

TABLEAU I

Correspondances entre les stades végétatifs du maïs et les teneurs en matière sèche de la plante entière et de l'épi

Stade végétatif	Teneur en matière sèche de la plante (p. 100)	Teneur en matière sèche de l'épi (avec ses spathes) (p. 100)
Laiteux.....	20 — 22	< 25
Laiteux-pâteux	23 — 25	25 — 35
Pâteux (début de jaunissement des spathes).....	26 — 28	35
Pâteux-vitreux	28 — 30	40 — 45
Vitreux (spathes sèches)...	33 — 35	45 — 50

RÉSULTATS

Composition morphologique et chimique

La participation relative des divers organes à la matière sèche de la plante de maïs évolue jusqu'à la fin du stade pâteux puis reste pratiquement constante (fig. 1). La part de l'épi dans la plante augmente de façon importante : elle passe de 47 à 65 p. 100 environ dans les essais 1 et 3 et peut même atteindre 75 p. 100 dans l'essai 2. En revanche, la proportion de tiges + gaines diminue de 40 à 20-25 p. 100 dans les essais 1 et 3 et à 15 p. 100 dans l'essai 2 et la proportion de limbes passe de 15 à 10 p. 100.

Dans les différents essais, la teneur en matière sèche de la plante entière de maïs a augmenté régulièrement passant de 24,0 à 29,0 p. 100 dans l'essai 1, de 26,7 à 30,8 p. 100

dans l'essai 2 et de 22,1 à 29,6 p. 100 dans l'essai 3. Cette augmentation résulte essentiellement d'une part de l'augmentation de la teneur en matière sèche de l'épi, d'autre part du fait que l'épi représente une part de plus en plus importante de la plante (fig. 1). En effet, la teneur en matière sèche des tiges est pratiquement constante et celle des limbes n'augmente que très lentement sauf après la mort de la plante par le gel survenu dans l'essai 2, le 20 octobre. La teneur en matière sèche de la tige et de ses feuilles est donc faible et peu variable : 22,9 ; 19,5 et 17,0 p. 100 respectivement dans les essais 1, 2 et 3.

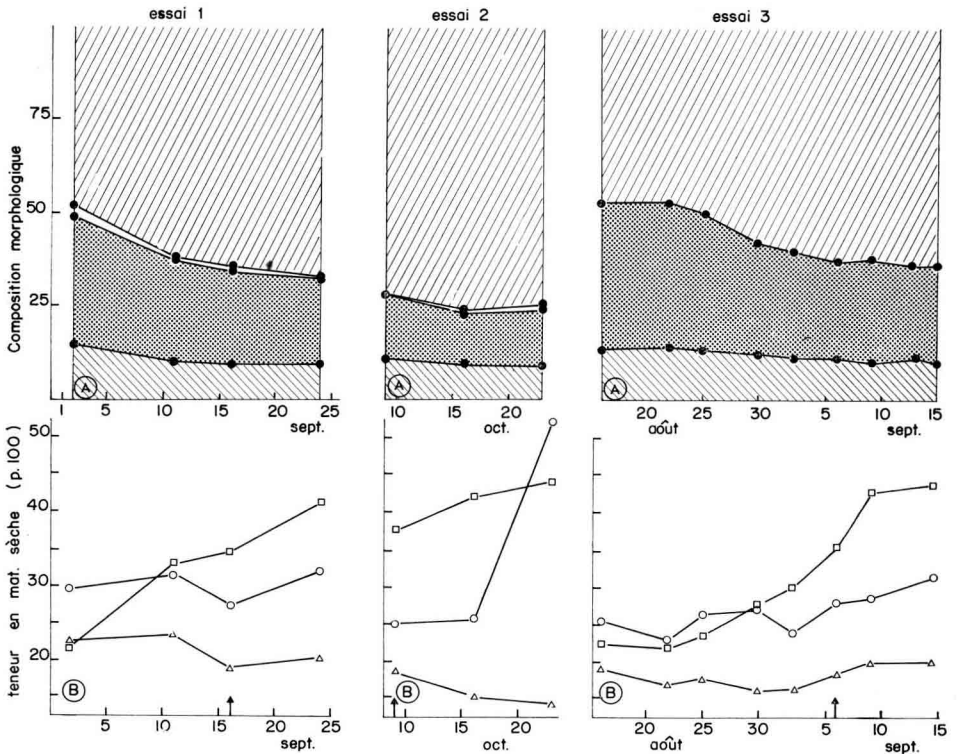
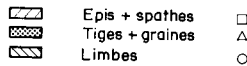


FIG. 1. — Évolution avec le stade de maturité (A) de la composition morphologique de la plante de maïs, (B) de la teneur en matière sèche des différents organes de la plante de maïs (La flèche ↑ indique la date à laquelle les 3 maïs ont atteint le stade pâteux)



La teneur en cendres du maïs est faible et ne varie pratiquement pas. Elle est de l'ordre de 4 à 6 p. 100 pour la plante entière, de 2,0 p. 100 pour l'épi et de 6 à 8 p. 100 pour la tige et les feuilles (tabl. 2).

La teneur en matières azotées de la plante de maïs est elle aussi très constante ; elle est dans les trois essais de l'ordre de 8,0 p. 100, comme celle d'ailleurs de l'épi et des tiges + feuilles. La teneur en matières azotées des tiges + feuilles semble cependant diminuer un peu avec le stade végétatif (tabl. 2).

Les teneurs en constituants solubles dans l'eau et en glucides solubles de la plante

TABEAU 2
Composition chimique, digestibilité et valeur nutritive des maïs étudiés

Dates	Teneur en matière sèche	Composition chimique de la matière sèche				Coefficient de digestibilité			UF/kg/MS	Matières azotées digestibles (g/kg MS)		
		Cendres	Matières azotées	Cellulose brute	Extrait aqueux	Glucides solubles	Amidon	Matière organique			Matières azotées	Cellulose brute
Année 1964 : Maïs I. N. R. A. 200												
<i>Plante entière : Essai 1</i>												
30-8 au 4-9	24,0	4,1	8,6	18,6	34,3	23,8	40,3	74,9	58,7	63,2	0,85	5,0
6-9 au 11-9	24,9	4,0	7,6	17,7	27,6	18,8	18,2	76,4	56,3	64,8	0,88	4,3
13-9 au 18-9	27,9	4,1	8,1	16,5	25,7	16,4	19,2	73,9	56,0	57,5	0,83	4,5
20-9 au 25-9	29,0	4,7	8,3	17,0	26,7	17,5	17,2	74,7	55,0	60,3	0,85	4,6
<i>Plante entière : Essai 2</i>												
4-10 au 9-10	26,7	4,1	8,4	15,8	20,4	13,9	25,5	79,5	62,7	65,0	0,95	5,3
11-10 au 16-10	28,9	3,8	7,9	17,9	18,7	12,1	25,0	78,5	60,2	64,8	0,93	4,8
18-10 au 23-10	30,8	3,9	8,1	17,3	15,4	7,0	32,6	79,3	66,8	64,2	0,95	5,4
<i>Tiges + feuilles : Essai 1</i>												
30-8 au 4-9	23,1	6,0	9,3	21,7	38,7	26,9		68,9	59,4	58,2	0,71	5,5
6-9 au 11-9	21,3	6,4	7,9	23,0	36,1	24,2		67,8	53,5	58,0	0,69	4,2
13-9 au 18-9	21,8	6,7	7,1	23,2	36,1	24,0		66,3	47,6	56,7	0,65	3,4
20-9 au 25-9	22,2	6,2	7,2	22,9	35,2	21,5		65,2	48,4	53,7	0,64	3,6
<i>Tiges + feuilles : Essai 2</i>												
4-10 au 9-10	18,0	7,8	8,5	26,6	32,2	17,8		66,7	55,7	64,8	0,66	4,7
11-10 au 16-10	19,5	7,9	7,8	29,6	25,3	12,3		63,6	51,5	62,2	0,59	4,0
18-10 au 23-10	19,6	7,7	8,0	31,6	22,4	11,2		60,2	51,6	58,6	0,53	4,1

TABLEAU 2 (suite)

Dates	Teneur en matière sèche	Composition chimique de la matière sèche					Coefficient de digestibilité			Matières azotées digestibles (g/kg MS)		
		Cendres	Matières azotées	Cellulose brute	Extrait aqueux	Glucides solubles	Amidon	Matière organique	Matières azotées		Cellulose brute	UF/kg MS
<i>Épis : Essai 1</i>												
30-8 au 4-9	25,8	2,7	8,4	16,5	29,7	21,9	16,6	77,2	46,5	68,0	0,91	3,7
6-9 au 11-9	29,1	2,4	8,3	14,1	22,9	15,5	28,2	85,7	51,1	85,3	1,09	4,2
13-9 au 18-9	34,7	2,2	8,4	13,0	18,5	12,0	33,2	84,5	55,4	80,3	1,07	4,7
20-9 au 25-9	36,3	2,3	8,2	12,6	18,6	11,9	36,6	82,5	53,0	74,4	1,03	4,3
<i>Épis : Essai 2</i>												
4-10 au 9-10	34,2	2,1	8,2	13,1	17,6	11,5	35,4	80,5	55,6	66,3	0,99	4,6
11-10 au 16-10	40,3	1,9	8,2	11,8	14,4	6,9	40,9	83,6	59,0	60,4	1,06	4,8
18-10 au 23-10	41,8	2,0	7,9	13,2	11,2	5,6	43,2	85,1	61,7	74,9	1,09	5,2
25-10 au 30-10	42,6	2,1	8,6	11,2	10,8	5,1	46,6	83,2	67,3	68,7	1,05	5,8
Année 1966 : Maïs I. N. R. A. 270												
<i>Plante entière :</i>												
25 et 30-8	22,1	5,8	8,1	21,0	25,5	16,3	13,8	72,6	54,4	60,7	0,79	4,4
2 et 6-9	22,1	5,8	8,1	18,9	23,8	14,7	20,0	72,5	55,9	49,5	0,80	4,7
9 et 13-9	28,1	5,3	8,1	17,9	23,6	14,5	18,6	71,7	54,3	53,1	0,77	4,4
15-9	29,6	5,4	8,7	18,6	22,3	13,0	21,9	72,0	56,7	47,2	0,79	4,9

de maïs, des tiges + feuilles et de l'épi sont élevées au début du stade laiteux et diminuent ensuite rapidement avec l'avancement du stade de maturité. Elles sont plus élevées dans les tiges + feuilles que dans l'épi (tabl. 2). La diminution de la teneur en constituants solubles dans l'eau traduit essentiellement une diminution de la teneur en glucides solubles. Quant à cette dernière, elle résulte de la transformation des glucides solubles essentiellement en amidon dans les grains et un peu en constituants membranaires dans les tiges. Il existe en effet une relation inverse très étroite entre les teneurs en glucides solubles et en amidon dans la plante entière et dans l'épi (fig. 2). Du stade laiteux au stade vitreux la teneur en amidon de l'épi passe de 15 à 47 p. 100, et celle de la plante entière de 10 à 33 p. 100. Cette augmentation de la teneur en amidon de l'épi doit expliquer au moins en partie l'augmentation de la teneur en matière sèche de l'épi et par là de la plante entière (fig. 2).

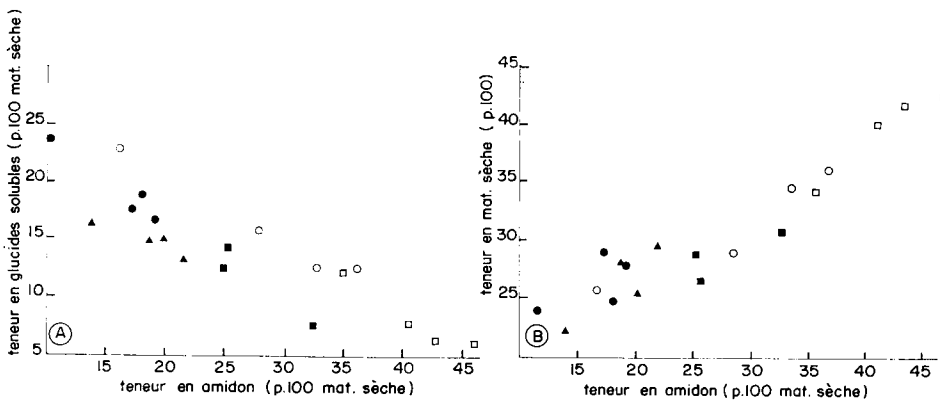


FIG. 2. — Relations entre (A) la teneur en glucides solubles et la teneur en amidon (B) la teneur en matière sèche et la teneur en amidon dans la plante entière et l'épi de maïs

	Plante entière	Épis
Essai 1	●	○
Essai 2	■	□
Essai 3	▲	

Digestibilité

Le coefficient de digestibilité de la matière organique de la plante entière est très constant dans chaque essai entre le début du stade laiteux et le stade vitreux. En revanche, il varie d'un essai à l'autre puisqu'il a été respectivement en moyenne de 75,0 ; 79,1 et 72,3 dans les essais 1, 2 et 3 (tabl. 2).

La digestibilité de l'épi est relativement peu élevée (77,2 p. 100) au début du stade laiteux, vraisemblablement parce que la part du grain par rapport au reste de l'épi doit être faible à ce stade comme le laisse supposer la faible teneur en amidon. Elle augmente ensuite rapidement pour atteindre des valeurs qui sont identiques dans les 2 essais et qui varient non significativement entre 82,5 et 85,7 p. 100. Ces valeurs sont indépendantes de l'âge de la plante bien que la teneur de l'épi en amidon augmente et que celle en cellulose brute ait tendance à diminuer (tabl. 2).

Avec l'avancement de la maturité, l'augmentation dans la plante entière de la part de l'épi dont la digestibilité est élevée et constante, compense donc la diminution

du coefficient de digestibilité de la matière organique du reste de la plante qui diminue assez lentement de 68,9 à 65,2 dans l'essai 1 et assez rapidement de 66,7 à 60,2 dans l'essai 2 (tabl. 2). Cette diminution de la digestibilité résulte à la fois de la modification de la composition chimique des tiges + feuilles (diminution de la teneur en glucides solubles et augmentation de la teneur en cellulose brute) et de la diminution de la digestibilité de la cellulose brute donc des constituants membranaires.

Comme on pouvait s'y attendre, le coefficient de digestibilité apparente des matières azotées de la plante entière, de l'épi ou des tiges + feuilles ne varie pratiquement pas puisqu'il dépend essentiellement de la teneur en matières azotées qui reste elle-même pratiquement constante (tabl. 2). Il ne diminue régulièrement quand la maturité s'avance que pour les tiges + feuilles du maïs de l'essai 1 parce que la teneur en matières azotées elle-même diminue.

A teneur en matières azotées égale, la digestibilité apparente des matières azotées de la plante entière et de l'épi mais non des tiges + feuilles est un peu plus élevée dans l'essai 2 dans lequel les moutons ont reçu en supplément de leur ration de maïs 200 g de foin de luzerne. La teneur en matières azotées non digestibles des 16 échantillons de maïs distribués seuls est très peu variable et égale à 3,74 p. 100 \pm 0,22 alors qu'elle est de 3,32 p. 100 \pm 0,46 pour les 10 échantillons étudiés avec des moutons recevant par ailleurs 200 g de foin par jour. La première valeur trouvée (3,74) est très proche de celle que nous avons déjà calculée (DEMARQUILLY et JARRIGE, 1964) pour les fourrages du premier cycle de végétation (3,84). On peut donc calculer de façon simple et précise le pourcentage de matières azotées digestibles dans un échantillon de plante entière de maïs, de tiges + feuilles ou d'épi en soustrayant du pourcentage de matières azotées totales 3,7 ou 3,3 suivant que les animaux ne reçoivent pas ou reçoivent par ailleurs du foin.

La digestibilité de la cellulose brute reste comprise entre 57,5 et 65,0 pour la plante entière dans les essais 1 et 2 et est un peu plus variable 47,2 à 60,7 dans l'essai 3. Pour les tiges + feuilles elle reste comprise entre 53,7 et 64,8. Elle est plus élevée pour l'épi mais elle est aussi plus variable (60,4 à 85,3) vraisemblablement parce que les teneurs en cellulose brute de l'épi et des fèces correspondantes étant faibles, les erreurs (dues à l'échantillonnage ou à l'analyse) commises lors de leur détermination entraînent des variations importantes du coefficient de digestibilité. La cellulose brute du maïs est, à teneur égale, nettement moins digestible que celle des graminées fourragères.

La teneur en cellulose brute digestible du maïs est donc relativement faible. Elle reste comprise entre 8,8 et 12,7 p. 100 pour la plante entière, entre 12,6 et 18,5 pour les tiges + feuilles, entre 7,1 et 12,0 pour l'épi.

Quand le maïs est distribué seul, la digestibilité de la matière organique de la plante entière est de 3,0 points inférieure à celle calculée à partir des digestibilités de la tige + feuilles et de l'épi. Cela semble résulter essentiellement d'une baisse de la digestibilité des constituants membranaires puisque la digestibilité de la cellulose brute diminue de 4,6 points. Il est donc possible que la présence de l'épi, riche en amidon, fasse diminuer la digestibilité des constituants membranaires par suite d'une modification des orientations fermentaires dans le rumen. Le fait d'ajouter un peu de foin de luzerne à la ration de maïs supprime cette digestibilité associative.

*Relation entre la digestibilité de la matière organique
et la composition morphologique et chimique*

Relation avec le pourcentage d'épi dans la plante entière.

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 entière et le pourcentage d'épi dans la plante. En fait il n'en est rien, ni à l'intérieur d'un essai donné, ni entre les essais quand on considère tous les échantillons (fig. 3). En particulier pour un maïs donné, l'augmentation du pourcentage d'épi compense simplement la diminution de la digestibilité du reste de la plante. En revanche, quand dans un essai donné le pourcentage d'épi n'augmente plus ou n'augmente que très faiblement (ce qui semble

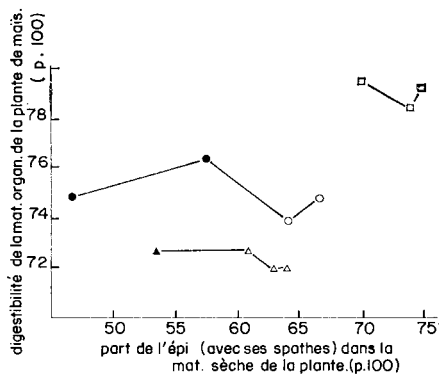


FIG. 3. — Relation entre le coefficient de digestibilité de la matière organique de la plante de maïs et la part représentée par l'épi dans la matière sèche de la plante

Essai 1	●, ○	} Échantillons de plantes de maïs dont les épis ont une teneur en matière sèche supérieure à 30 p. 100
Essai 2	□	
Essai 3	▲, △	

se passer à 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 30-35 p. 100), les différences dans les pourcentages d'épi observés entre les maïs suivant les essais peuvent expliquer les différences de digestibilité : en effet, si nous ne retenons que les échantillons de plante entière dont les épis ont une teneur en matière sèche supérieure à 30 p. 100, nous observons une liaison très étroite ($r = + 0,92$, $n = 8$) entre la digestibilité (y) de la matière organique de la plante entière et le pourcentage (x) d'épis dans cette plante entière, ces deux valeurs étant liées par l'équation :

$$y = 0,584 x + 36,03 (\pm 1,40)$$

Relation avec la teneur en cellulose brute.

Nous observons (fig. 4) une liaison extrêmement étroite ($r = - 0,938$) entre la digestibilité (y) de la matière organique et la teneur (x) en cellulose brute pour l'ensemble des 26 échantillons de maïs étudiés (plante entière, épis, tige + feuilles) :

$$y = 98,60 - 1,28 x (\pm 2,46)$$

Malheureusement, cette équation ne peut servir à estimer la digestibilité de la plante entière ou de l'épi puisque, si nous ne considérons que les échantillons de la plante entière, ou que dans les échantillons d'épis, il n'existe pas de liaisons significatives (r est égal respectivement à $-0,54$ ($n = 11$) et $r = -0,56$ ($n = 8$)) entre la digestibilité de la matière organique et la teneur en cellulose brute. La liaison n'est significative ($r = -0,876$ $n = 7$) que pour les tiges + feuilles.

$$y = 82,50 - 0,665 x (\pm 1,53)$$

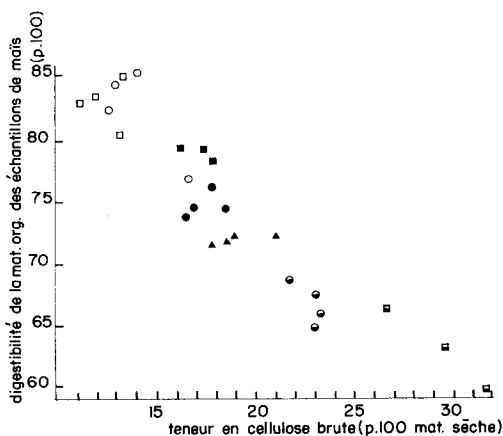


FIG. 4. — Relation entre le coefficient de digestibilité de la matière organique et la teneur en cellulose brute de la plante, des tiges + feuilles et de l'épi (avec ses spathes) de maïs

	Pante entière	Épis avec les Spathes	Tiges + feuilles
Essai 1	●	○	○
Essai 2	■	□	■
Essai 3	▲		

Valeur énergétique et azotée du maïs

La valeur énergétique des différents échantillons de maïs a été estimée à partir des teneurs en matière organique digestible (MOD) et en matière organique non digestible (MOND) exprimées en g par kg de matière sèche par la formule proposée par BREIREM (1954) pour les fourrages :

$$\text{UF/kg MS} = \frac{2,36 \text{ MOD} - 1,20 \text{ MOND}}{1650}$$

Du tout début du stade laitex (teneur en matière sèche de l'épi : 25 p. 100) au stade pâteux-vitreux (teneur en matière sèche de l'épi : 45 p. 100) la valeur énergétique de la plante entière est constante pour un maïs donné mais peut varier d'un maïs à l'autre. Elle a été respectivement voisine dans les essais 1, 2 et 3 de 0,85 UF, 0,95 UF et 0,79 UF par kg de matière sèche (tabl. 2). En revanche, durant cette même période la valeur énergétique des tiges + feuilles diminue de 0,70 à 0,50 UF par kg de matière sèche. Quant à la valeur énergétique de l'épi elle est en tout début du stade laitex de 0,90 UF pour devenir voisine de 1,05 UF par la suite.

La teneur en matières azotées digestibles de la plante entière est en moyenne de 48 g, celle de la panouille de 47 g et celle des tiges + feuilles de 42 g. Seule la teneur en matières azotées digestibles des tiges + feuilles semble avoir tendance à diminuer avec l'avancement du stade de maturité (tabl. 2).

Quantités ingérées

Dans les essais 1 et 3, les quantités journalières moyennes de matière sèche ingérées par les moutons recevant la plante entière ont peu varié d'une période de mesure à l'autre et ont été très comparables d'un essai à l'autre : respectivement 56,5 et 54,8 g/kg P^{0,75} (tabl. 3). La quantité de matière sèche ingérée sous forme de plante entière est donc très constante et semble indépendante du stade de maturité et de la teneur en matière sèche du maïs offert, tout au moins pour les stades étudiés.

Dans l'essai 1, les moutons recevant les tiges + feuilles ont ingéré une quantité de matière sèche très voisine (53,9 g/kg P^{0,75}) de celle ingérée par ceux recevant la plante entière. En revanche, ceux recevant l'épi ont ingéré une quantité de matière sèche beaucoup plus faible (21,7 g/kg P^{0,75}) et plus variable (19,7 à 26,7 g/kg P^{0,75}) (tabl. 3).

TABLEAU 3

Quantité de matière sèche de maïs, de matière sèche totale (maïs + foin)
et d'énergie nette ingérées par les moutons lors des 3 essais

Maïs	Numéro de l'essai	Quantité de matière sèche de maïs ingérée g/kg P ^{0,75} /mouton	Quantité de matière sèche totale ingérée g/kg P ^{0,75} /mouton	Énergie nette de maïs ingérée par un mouton de 60 kg UF/jour/mouton
Plante entière	I	56,5 (52,9 à 59,2)	56,5	1,04 (0,95 à 1,09)
	II	49,9 (47,6 à 50,1)	67,0	1,02 (0,98 à 1,07)
	III	54,8 (51,0 à 58,7)	54,8	0,93 (0,78 à 1,00)
Tige + feuilles	I	53,9 (52,3 à 55,8)	53,9	0,77 (0,72 à 0,86)
	II	46,5 (44,9 à 47,6)	63,0	0,60 (0,51 à 0,67)
Épis	I	21,7 (19,7 à 26,7)	21,7	0,48 (0,44 à 0,52)
	II	37,1 (29,9 à 42,8)	57,5	0,84 (0,70 à 0,92)

Le fait de distribuer 200 g de foin par jour en supplément de la ration de maïs a entraîné dans l'essai 2 une légère diminution (environ 10 p. 100) de la quantité de plante entière et de tiges + feuilles ingérée mais a entraîné, en revanche, une augmentation très importante de la quantité d'épis ingérée : 37,1 g de matière sèche en moyenne dans l'essai 2 contre 21,7 g/kg P^{0,75} dans l'essai 1 (tabl. 3). Dans ce cas, la quantité de matière ingérée a augmenté dans des proportions considérables puisqu'elle est passée de 21,7 g à 57,5 g/kg P^{0,75}.

La quantité d'énergie nette exprimée en UF ingérée par un mouton de 60 kg recevant la plante entière de maïs fauchée entre le début du stade laitieux et le stade pâteux-vitreux a été en moyenne de 1,0 UF par jour et a été indépendante du stade

de maturité. Malgré la concentration énergétique élevée de l'épi (1,05 UF/kg de matière sèche) les moutons recevant l'épi ont ingéré, quand ils ne recevaient pas de foin, une quantité d'énergie très inférieure (0,44 UF/jour) à ceux recevant la plante entière (1,04 UF) ou les tiges + feuilles (0,77 UF/jour). La quantité d'énergie ingérée sous forme d'épi reste encore inférieure (0,84 UF/jour) à celle ingérée sous forme de plante entière (1,02 UF/jour) quand les moutons ont reçu en supplément une petite ration de foin (tabl. 3).

DISCUSSION

La digestibilité de la matière organique du maïs n'évolue pratiquement pas du début du stade laitieux au stade vitreux. HARRIS (1965) à Hurley était arrivé aux mêmes conclusions en comparant la digestibilité de 3 variétés de maïs de précocités différentes fauchées à la même date et de 2 variétés coupées à 2 dates différentes. De même NOLLER *et al.* (1965) aux États-Unis ont trouvé qu'entre le stade de la formation des grains et le stade vitreux, la digestibilité de la matière sèche n'augmentait que de 1,8 point. Cette constance de la digestibilité est en outre confirmée par les résultats de nombreux travaux américains (cf. revue de OWEN, 1967 et JOHNSON et McCLURE, 1968) sur la digestibilité du maïs ensilé. Il semble en effet que les résultats obtenus sur l'ensilage peuvent être transposés au maïs vert puisque ni HARRIS (1965) ni nous-même, (DEMARQUILLY résultats non publiés) n'avons trouvé de différences entre la digestibilité du maïs vert et celle du même maïs après ensilage quand cet ensilage était correctement réussi. Or, il se dégage de ces travaux américains que la digestibilité de l'ensilage de maïs est indépendante du stade de récolte et généralement voisine de 70 p. 100 pour la matière sèche.

En revanche, alors qu'HARRIS (1965) ne trouve aucune différence significative de digestibilité entre les différentes variétés de maïs qu'il a étudiées (ses résultats restant compris entre 70,6 et 75,2) nous observons une variabilité plus grande 71,6 à 79,5. Nous observons notamment que le maïs de l'essai 2 est nettement plus digestible que les deux autres. Nous avons peut-être pu mettre en évidence des différences de digestibilité entre maïs par le fait que nous avons réalisé ces études sur des maïs semés dans des conditions de milieu très différentes (à proximité de Paris et de Clermont-Ferrand) et avec une réussite de semis très différente. Il en est résulté des maïs de morphologie très différente (fig. 1, tabl. 4).

TABLEAU 4

*Poids moyen des différents organes de la plante entière de maïs
au stade pâteux suivant les différents essais
(g de matière sèche)*

	Limbes	Tige + gaines	Épi + spathes	Plante entière
Essai 1 ...	11,6	29,4	83,0	124,0
Essai 2 ...	14,1	21,4	103,6	139,1
Essai 3 ...	25,4	64,3	151,8	241,5

Les valeurs plus élevées trouvées pour le maïs de l'essai 2 sont peut-être dues aussi, au moins en partie, au fait que dans cet essai les moutons ont reçu par ailleurs 200 g de foin de luzerne ce qui a peut-être pu leur permettre de mieux digérer les constituants membranaires des tiges et des feuilles de maïs.

Si donc, la digestibilité d'un maïs bien réussi est, dans la majorité des cas, voisine de 73,0 p. 100, on peut cependant essayer de l'estimer d'une façon plus précise en déterminant la part que représente l'épi dans la plante au stade pâteux ou à un stade ultérieur.

Nous avons estimé la valeur énergétique du maïs à partir d'une formule proposée par BREIREM pour les fourrages. Cela pose un certain nombre de problèmes dus à la richesse de la plante de maïs en grains, et, par là, en amidon. En particulier, le fait que la digestibilité de plante entière est indépendante du stade de maturité ne signifie pas forcément que la valeur énergétique le soit et on peut même penser qu'elle pourrait peut-être augmenter en même temps que la teneur en amidon. D'après les travaux américains réalisés sur la valeur de l'ensilage de maïs, il semble cependant que la valeur énergétique du maïs pour la production laitière soit indépendante du stade de maturité (HUBER et *al.*, 1965, revue de OWEN, 1967). En revanche, cela pose plus de problèmes pour l'épi. La valeur estimée par la formule de BREIREM (1,05 UF/kg de MS) ne doit cependant pas être éloignée de la valeur réelle. En effet, KLOSTERMAN et *al.* (1966) ont trouvé, par mesure directe sur des animaux à l'engraissement, que la valeur énergétique nette de l'épi de maïs broyé était comprise entre 1 650 et 1 700 calories par kg de matière sèche, soit entre 1,00 et 1,03 UF/kg MS.

Quantités ingérées

La quantité de matière sèche de maïs vert ingérée est indépendante du stade de maturité et par là de la teneur en matière sèche du fourrage offert. On ne retrouve donc pas l'évolution parallèle de la quantité de matière sèche ingérée et de la teneur en matière sèche que nous avons observée, pour les autres fourrages de graminées ou de légumineuses dont la digestibilité diminue peu (DEMARQUILLY, 1965). La digestibilité et la quantité ingérée restant toutes deux constantes, leur produit qui caractérise au mieux la valeur alimentaire du maïs reste donc lui aussi constant et indépendant du stade de maturité. Pour une exploitation en vert du maïs, le seul critère dont on doit tenir compte est donc la quantité de matière sèche obtenue à l'hectare. Or, celle-ci augmente avec le stade de maturité : elle a augmenté dans l'essai 2 de 16,8 p. 100 (7,7 à 9,0 t/ha) en 14 jours et dans l'essai 3 de 15,9 p. 100 (13,2 à 15,3 t/ha) en 23 jours. Aux États-Unis, NEVENS et *al.* (1954) qui ont suivi à partir du début du stade laiteux l'évolution hebdomadaire de la quantité de matière sèche obtenue à l'hectare avec des maïs semés pour l'ensilage, ont observé en 4 semaines des augmentations de 40 à 63 p. 100 suivant les années. D'après les essais réalisés par la Station d'Amélioration des Plantes du Centre de Recherches agronomiques de Clermont-Ferrand sur des maïs *I. N. R. A. 260* et *270* en 1965 et 1966, la quantité maximum de matière sèche à l'hectare (entre 11,5 et 17,5 tonnes suivant les années) est atteinte dès le stade pâteux (teneur en matière sèche du grain de 50 p. 100). Ces résultats sont confirmés par ceux obtenus par l'A. G. P. M. (Association générale des Producteurs de Maïs) dans le Morbihan en 1967 avec un maïs *Anjou 210*. En revanche, dans un

autre essai effectué par l'A. G. P. M. dans l'Oise en 1967 avec un maïs *I. N. R. A. 258*, la production de matière sèche à l'hectare a augmenté encore après le stade pâteux. De même, d'après JOHNSON et *al.* (1967) la quantité maximum de matière sèche à l'hectare est obtenue un peu avant le stade vitreux (teneur en matière sèche de la plante de l'ordre de 34 p. 100). Si le maïs est fauché pour être ensilé il faudra tenir compte d'un deuxième critère qui est la teneur en matière sèche. En effet, pratiquement tous les résultats américains (cf. revue de OWEN, 1967) montrent que la quantité d'ensilage de maïs ingérée et, par là, la valeur alimentaire de l'ensilage de maïs, augmentent avec le stade de maturité parce que la teneur en matière sèche augmente. Cependant le choix du stade de maturité pour l'ensilage dépendrait aussi selon PRATT et *al.* (1964) du type de silo utilisable : en particulier il leur semble souhaitable de ne pas dépasser le stade pâteux pour les maïs ensilés en silos tranchées ou couloir car, passé ce stade, il est difficile d'exclure l'air de la masse ensilée.

De ce qui précède on peut conclure qu'il convient d'ensiler le maïs quand sa teneur en matière sèche est voisine de 30 p. 100, soit à la fin du stade pâteux. Cette teneur est atteinte environ une semaine après le début de jaunissement des spathes, soit le plus souvent 50 à 60 jours après la floraison chez les maïs précoces.

Compte tenu de sa digestibilité, le maïs est consommé en faible quantité ; environ 55 g de matière sèche/kg $P^{0,75}$. Pour la même digestibilité, la quantité de matière sèche de graminées ou de légumineuses ingérées serait comprise suivant les espèces entre 70 et 95 g/kg $P^{0,75}$ (DEMARQUILLY, résultats non publiés). Il en résulte que la valeur alimentaire du maïs vert est moyenne malgré une valeur énergétique élevée. Ce résultat obtenu sur des moutons semble confirmé par celui que nous avons obtenu en 1967 sur 18 vaches laitières auxquelles nous avons distribué pendant 3 semaines un maïs vert au stade laitieux : la quantité de matière sèche ingérée a été en moyenne de 1,93 kg pour 100 kg de poids vif ce qui couvre les besoins énergétiques d'une production journalière d'environ 13 kg de lait 4 p. 100, au lieu de 18 à 22 kg qu'aurait couvert une herbe de valeur énergétique équivalente. L'acceptabilité moyenne du maïs explique vraisemblablement qu'il est possible d'augmenter la quantité de matière sèche totale ingérée par les animaux en leur distribuant du foin en supplément. Alors que les valeurs de digestibilité obtenues pour le maïs vert sont transposables au maïs ensilé dans de bonnes conditions, il n'en est pas de même pour les quantités ingérées. Nos moutons ont ingéré sous forme de maïs ensilé une quantité de matière sèche de 25 p. 100 inférieure à celle qu'ils ingéraient sous forme de maïs vert. De même NOLLER et *al.* (1963) observent que la quantité de matière sèche d'ensilage de maïs ingérée par des génisses et, par là, leur gain de poids vif sont plus faibles qu'avec le même maïs en vert : en moyenne de l'ordre de 28 p. 100 pour la quantité ingérée et de 40 p. 100 pour le gain de poids vif. Les quantités de maïs ensilé ingérées par les vaches laitières seront donc généralement inférieures à celles que nous avons enregistrées avec du maïs vert : en moyenne 1,80 pour 100 kg de poids vif (1,25 à 1,97 kg p. 100) dans des essais américains de SIMKINS et *al.* (1965), BYERS et *al.* (1965), HUBER et *al.* (1965-1967).

Bien que l'épi représente en moyenne 75,0 p. 100 de l'énergie nette de la plante entière (et même 85 p. 100 dans l'essai 3) il ne semble pas qu'il soit intéressant de ne récolter pour l'ensilage que l'épi (sauf si l'ensilage est destiné à être distribué en quantité limitée et faible, c'est-à-dire s'il est utilisé en tant qu'aliment concentré). En effet, la quantité de matière sèche d'épi ingérée, que les épis soient frais ou ensilés,

distribués seuls ou avec du foin, est faible et malgré une valeur énergétique élevée, la valeur alimentaire de l'épi est très inférieure à celle de la plante entière. On perd en outre l'énergie nette apportée par les tiges et les feuilles, qui représente en moyenne 25 p. 100 de l'énergie nette totale produite à l'hectare, sauf si on trouve par ailleurs une utilisation de ces feuilles et de ces tiges pour les animaux.

Reçu pour publication en octobre 1968.

SUMMARY

FEEDING VALUE OF MAIZE FORAGE.

1. — CHEMICAL COMPOSITION AND DIGESTIBILITY OF STANDING MAIZE

1. In three trials done in 1964 and 1966 changes were estimated in composition, digestibility and acceptability of maize plants and their constituent parts, stem plus leaf and ear plus husk, from the beginning of the milk stage to the flint stage.

2. In the first 2 trials the maize was cut each morning. Part of the maize was separated into ear with husks and stem plus leaf. The whole plants, the stem and leaf and the ear and husk were then chopped and given separately to 3 groups of 3 sheep. In the third trial the maize was cut twice a week, on Tuesdays and Fridays and stored in a cold room until it was given to the animals. The sheep were always given the maize to appetite, allowing 10 per cent refusal, in 3 feeds a day at 07.30, 11.30 and 17.00 h. In the second trial the sheep were given a daily supplement of 200 g lucerne hay of known digestibility, 54.0 per cent. Digestibility was measured continuously: each period of measurement, running from Monday to Saturday, was separated only by one day, Sunday.

3. With advance in stage of maturity the ear part, with husks, of the plant increased greatly; it increased from about 47 to 65 per cent in the first and last trials and even reached 75 per cent in the second. Conversely the proportion of stem plus sheath and shoots diminished (fig. 1).

At the same time the dry matter content of the plant increased from about 22 to 30 per cent. This increase was the result of the increase in proportion of ear in the whole plant and an increase in dry matter content of the ear (fig. 1). The crude protein content of the maize plant remained at about 8.0 per cent. The soluble carbohydrate content fell from 25 to 10 per cent, to the benefit of the starch content which increased from 10 to between 25 and 30 per cent (table 2; fig. 2).

4. Percentage digestibility of organic matter of the whole plant was very constant within each trial, but differed from one trial to another, since it was on average 75.0, 79.1 and 72.3 in the respective trials (table 2). Thus during advance of maturity the increase of proportion of ear, with constant high digestibility of 85 per cent, compensated for the fall in digestibility of organic matter of the rest of the plant, from about 70 to 60 per cent (table 2).

5. Digestibility of crude protein was essentially dependent on crude protein content. Digestibility of crude fibre was relatively variable; it lay between 47.2 and 65.0 per cent for the whole plant. At an equal content in the plant it was definitely less than for grass forage.

6. Digestibility of organic matter (y) of the whole maize plant could only be estimated satisfactorily by inclusion of the part represented by the ear in total dry matter after the dough stage; these values were related by the equation:

$$y = 0.584x + 36.03 \quad (\pm 1.40) \\ \text{with } r = + 0.92 \text{ for } n = 8$$

7. Intake of dry matter by the sheep seemed to be independent of stage of maturity and dry matter content of the maize offered. In the three trials it was close to 55.0 g per kg metabolic weight ($W^{0.75}$) for the whole plant and stem plus leaf. It was much less for ears, 21.7 g per kg $W^{0.75}$. When 200 g lucerne hay was given to the sheep there was a small reduction, 10 per cent, in intake of dry matter from the whole plant or from stem plus leaf, but a large increase, from 21.7 to 37.1 g per kg $W^{0.75}$, in the amount of ear eaten (table 3).

8. The results are discussed and related to the changes in the amount of dry matter produced per hectare in attempt to find the best stage for cutting for silage.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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 Tierernährung. Berlin, *Deutsche Akad der Landwirtschaftswissenschaften*, t. II, 97-108.
- BYERS J. H., KENDALL K. A., ORNISTON E. E., 1965. Feeding value of dwarf corn silage compared with corn and hybrid silages. *J. Dairy Sci.*, **48**, 203-205.
- DEMARQUILLY C., 1965. Factors affecting the voluntary intake of green forage by sheep. *Proc. IXth Intern. Grassland Congress*. São Paulo, 877-885.
- DEMARQUILLY C., JARRIGE R., 1964. Valeur alimentaire de l'herbe des prairies temporaires aux stades d'exploitation pour le pâturage. I. Composition chimique et digestibilité. *Ann. Zootech.*, **13**, 301-339.
- HARRIS C. E., 1965. The digestibility of fodder maize and maize silage. *Expl. Agric.*, **1**, 121-123.
- HUBER T. J., GRAF G. C., ENGEL R. W., 1965. Effect of maturity on nutritive value of corn silage for lactating cows. *J. Dairy Sci.*, **48**, 1128-1123.
- HUBER J. T., SANDY R. A., POLAN C. E., BRYANT H. T., BLASER R. E., 1967. Varying levels of urea for dairy cows fed corn silage as the only forage. *J. Dairy Sci.*, **50**, 1241-1247.
- JOHNSON-RONALD R., McCLURE K. E., 1968. Corn plant maturity. IV. Effects on digestibility of corn silage in sheep. *J. Anim. Sci.*, **27**, 535-540.
- JOHNSON-RONALD R., McCLURE K. E., KLOSTERMAN E. W., 1967. Maturity of corn used for whole plant corn silage. *Research summary* 18. January 1967. *Beef cattle research*, 1966.
- KLOSTERMAN E. W., OCKERMAN H. W., CAHILL V. R., 1967. Net energy value of corn silage and ground ear corn when fed separately or in combination to fattening steers and heifers. *Research summary* 18. January 1967. *Beef cattle research*, 1966.
- NEVENS W. B., HARSHBARGER K. E., TOUCHBERRY R. W., DUNGEN G. H., 1954. The ear and leaf-stalk contents of corn forage as factors in silage evaluation. *J. Dairy Sci.*, **37**, 1088-1093.
- NOLLER C. H., BURNS J. C., HILL D. L., RHYKERD C. L., RUMSEY T. S., 1965. Chemical composition of green and preserved forages and the nutritional implications. *Proc. 9th Intern. Grassland Congress*. São Paulo, 611-614.
- OWEN F. G., 1967. Factors affecting nutritive value of corn and sorghum silage. *J. Dairy Sci.*, **50**, 404-416.
- PRATT A. D., CONRAD H. R., TRIPPLETT G. B., 1964. The effect of state of maturity and dry matter yields and digestibility of corn silage. *Ohio Agr. Exp. Sta. D. S. Series* 8 (4).
- SIMKINS K. L., BAUMGARDT B. R., NIEDERMEIER R. P., 1965. Feeding value of calcium carbonate-treated corn silage for dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **48**, 1315-1318.
- SOMOZYI M., 1952. Notes on sugar determination. *J. Biol. Chem.*, **195**, 19-23.
- THIVEND P., MERCIER C., GUILBOT A., 1965. Dosage de l'amidon dans les milieux complexes. *Ann. Biol. anim. Bioch., Biophys.*, **5**, 513-526.