

Valeur alimentaire des pailles de céréales chez le mouton

I. — Influence de la complémentation azotée et énergétique sur l'ingestion et l'utilisation digestive d'une paille d'orge

A. XANDÉ*

avec la collaboration technique de H. BOUSQUET, L. L'HOTELIER
Marinette JAILLER et Jacqueline JAMOT

*Laboratoire des Aliments,
Centre de Recherches de Clermont-Ferrand, I.N.R.A.
Theix, Saint-Genès Champanelle, 63110 Beaumont (France)*

Résumé

Au cours de deux essais, nous avons étudié les modifications de l'ingestibilité et de la digestibilité d'une paille d'orge distribuée comme seul fourrage à des moutons, en fonction de la nature et du niveau de la complémentation azotée (urée-tourteau de soja) et énergétique (orge-maïs-mélasse). Un troisième essai a permis d'étudier l'adaptation des moutons au régime paille.

Nos résultats montrent que la paille distribuée seule à des animaux recevant depuis peu de temps ce régime est ingérée en très faible quantité (20 g MS/kg P^{0,75}), mais augmente considérablement, puisqu'elle peut doubler (38 g/kg P^{0,75}) lorsque les moutons sont bien accoutumés. Cette « adaptation » est très progressive et est accélérée par la complémentation azotée. Elle se manifeste par une augmentation de la vitesse d'ingestion et à plus long terme par l'augmentation de la capacité du rumen et par l'accélération du transit digestif.

L'urée apportée avec une faible quantité d'aliment énergétique (céréales) augmente d'environ 15 p. 100 le niveau d'ingestion, alors que l'addition d'une plus grande quantité d'aliment énergétique couvrant jusqu'à 50 p. 100 des besoins énergétiques d'entretien du mouton diminue d'environ 6 p. 100 les quantités de paille ingérées.

La digestibilité de la matière organique de la paille non complétementée est d'environ 47 p. 100. Elle est augmentée de 12 p. 100 avec l'addition d'urée plus une faible quantité d'énergie, et diminuée de 11 p. 100 avec une complémentation énergétique plus élevée.

A mêmes quantités d'énergie et d'azote apportées, l'urée associée à un mélange de maïs broyé et de mélasse de betterave, permet une amélioration du niveau d'ingestion, de la digestibilité de la paille ainsi que de l'état azoté des animaux, équivalente à celles obtenues avec du tourteau de soja plus du maïs.

(*) *Adresse actuelle*: Centre de Recherches Agronomiques des Antilles et de la Guyane, Station de Recherches Zootechniques. — Domaine Duclos, 97170 Petit-Bourg (Guadeloupe).

L'amélioration relativement faible, par comparaison aux résultats obtenus par d'autres auteurs, de la valeur alimentaire de la paille, entraînée par l'addition des différents compléments que nous avons étudiés est discutée en liaison avec le phénomène d'adaptation progressive des moutons à la consommation de paille que nous avons mis en évidence.

Introduction

Au cours des deux dernières décennies, les études sur l'utilisation des fourrages grossiers pauvres en azote (< 1 p. 100 de la matière sèche) et en minéraux et sur l'amélioration de leur valeur alimentaire par la complémentation azotée (urée, biuret, etc) ont été très nombreuses (CLARK et QUIN, 1951; COOMBE, 1959; COOMBE et TRIBE, 1962-1963; BALCH et CAMPLING, 1965; HEMSLEY et MOIR, 1963; FAICHNEY, 1965; SKOURI, 1966; WESTON et HOGAN, 1967; KAY *et al.*, 1968; ANDREWS *et al.*, 1972; CRABTREE et WILLIAMS, 1971). Si les différents auteurs obtiennent généralement une augmentation de l'ingestion par la complémentation azotée (ELLIOTT et TOPPS, 1963), les résultats sur la digestibilité sont beaucoup plus variables (cf. revue de HODEN, 1972). Ainsi, pour une paille d'avoine, celle-ci est améliorée (FISHWICK *et al.*, 1974; CAMPLING, FREER et BALCH, 1962) ou non avec l'addition de mélasse et d'urée tandis que KAY *et al.*, 1968 n'enregistrent pas d'augmentation de la digestibilité d'une paille d'orge, complétementée avec 50 g d'urée et 2 kg d'orge.

Il apparaît par ailleurs que la complémentation minérale, en soufre et phosphore notamment, soit particulièrement bénéfique à l'utilisation des pailles en stimulant l'activité cellulolytique des microorganismes du rumen, lorsque l'urée constitue l'essentiel de l'apport azoté (HEMSLEY, 1964; COOMBE, CHRISTIAN, HOLGATE, 1971). Mais dans la majorité des cas, la seule complémentation azotée permet de réduire les pertes de poids vif sans pour autant maintenir les animaux à poids constant.

La nécessité de l'apport d'un supplément d'énergie, ainsi que les possibilités d'adaptation des animaux à un régime de paille nous ont conduit à rechercher avant d'aborder l'étude systématique de la valeur alimentaire des diverses pailles

1° quelles doivent être la composition et la quantité du complément à apporter à des moutons recevant de la paille pour qu'ils en ingèrent une quantité maximum et couvrent leurs besoins d'entretien ?

2° Au bout de combien de temps les animaux sont-ils adaptés au régime et stabilisent leur ingestion de paille ?

3° Quelles sont les modifications de la digestibilité de la paille entraînées par la distribution de ce complément ?

Matériel et méthodes

Aliments et animaux

Au cours d'essais successifs, nous avons distribué à quatre lots de six moutons mâles adultes castrés, de raxe Texel, d'un poids vif moyen de 65 kg, deux pailles d'orge achetées à l'extérieur, avec quatre compléments dont la composition est indiquée au tableau 1. Trois d'entre eux apportaient de l'azote non protéique (urée)

avec une part variable d'énergie sous la forme d'orge (I) qui a surtout servi de support à la distribution de l'urée, de maïs (III) ou d'un mélange à parts égales de maïs et de mélasse de betterave (II), le quatrième apportant de l'azote protéique sous la forme de tourteau de soja 50 et de l'énergie par du maïs grain (IV).

Essais

Trois essais ont été réalisés :

— Dans le premier, un lot de six béliers adultes castrés (A), d'un poids moyen de 65 kg, a reçu à volonté (15 p. 100 de refus tolérés) en deux repas journaliers à 8 heures et 16 heures une paille d'orge (variété Alpha) passée au hache paille (brins de 5-10 cm), complétementée successivement avec les quatre compléments. Nous avons d'abord distribué la paille seule durant quatre semaines, puis le premier complément a été testé pendant trois semaines. Avant de tester le second complément les animaux ont été remis à la paille seule pendant deux

TABLEAU I
Composition des aliments
Composition of feeds

Mélanges complémentaires <i>Supplements</i>	Essais 1 et 3 <i>Trials 1 and 3</i>					Essai 2 <i>Trial 2</i>		
	I	II	III	IV	Paille d'orge <i>Barley straw</i>	II'	IV'	Paille d'orge <i>Barley straw</i>
Urée (<i>Urea</i>)	25	5,9	5,9	—	—	4,9	—	—
Orge (<i>Barley grain</i>)	50	—	—	—	—	—	—	—
Maïs grain (<i>Maize grain</i>)	—	44,1	88,2	50,8	—	47,6	51,4	—
Tourteau de soja (50) (<i>Soybean oil meal</i>)	—	—	—	42,9	—	—	42,4	—
Mélasse de betterave (<i>Beet molasses</i>)	—	44,1	—	—	—	42,6	—	—
Minéraux (<i>Minerals</i>)	25	5,9	5,9	6,3	—	4,9	6,2	—
Total	100	100	100	100	—	100	100	—
	7,6							
Teneur en matière sèche p. 100 (<i>Dry matter p. 100</i>)	91,0	81,9	90,2	88,9	88,9	80,5	90,3	88,9
Matières azotées totales (<i>Crude protein</i>) N × 6,25, p. 100 M.S.	66,7	28,1	27,3	32,6	3,1	27,7	26,7	3,6
Cellulose brute p. 100 M.S. (<i>Crude fibre</i>)	4,4	2,7	2,5	3,6	41,2	2,3	3,7	42,7
Cendres p. 100 M.S. (<i>Ash</i>)	22,5	7,3	7,5	9,3	7,8	8,2	8,5	11,3

(*) Minéraux (p. 100) : CaHPO₄ 2 H₂O : 55; NaCl : 26; Mg SO₄ 7 H₂O : 9; Na₂ SO₄ 10 H₂O : 7. Soufre fleur : 1; .Oligo-éléments : 2. (*Minerals*).

(*) Oligoéléments (p. 100) : Zn SO₄ 7 H₂O : 47,4; MnSO₄ H₂O : 23,7; CuSO₄ 5 H₂O : 4,7; FeSO₄ 7 H₂O : 23,7; CoSO₄ 7 H₂O : 0,09; CaI₂O : 0,17; SeO₃ Na₂ : 0,04. (*Trace elements*).

semaines, et ainsi de suite pour les autres compléments. En fin d'essai, nous avons de nouveau maintenu les animaux à la paille seule durant trois semaines.

— Dans le second essai, nous avons comparé de façon plus précise les compléments II et IV qui s'étaient révélés les plus intéressants au cours de l'essai I en modifiant légèrement leur composition pondérale (II' et IV') de telle sorte qu'ils soient iso-azotés et iso-énergétiques. Ils ont été distribués à deux lots de six moutons adultes castrés (B) et (C) avec une paille d'orge (variété Alpha) passée au hache paille et offerte à volonté durant deux périodes de trois semaines, selon un dispositif expérimental avec inversion (switchback).

— Dans le troisième essai, nous avons mesuré l'évolution de l'ingestion de la paille distribuée avec un complément sur un lot de six béliers adultes castrés (D) recevant à volonté durant 12 semaines (janvier à avril) la même paille d'orge que dans l'essai I et le complément IV.

Mesures

Les quantités ingérées et la digestibilité ont été mesurées individuellement par pesée quotidienne des quantités offertes, des refus et des fèces correspondants au cours des deux premiers essais. Chaque période de mesure de six jours (dimanche au vendredi) a été précédée d'une période pré-expérimentale de deux semaines. La totalité de l'urine de chaque animal a été collectée et on a déterminé sa teneur en azote (Kjeldhal).

Les animaux ont été pesés une fois, le mercredi, au cours de chacune des périodes de mesure. Le comportement alimentaire et mérycique a été enregistré graphiquement (RUCKEBUSCH, 1963) au long des cinq derniers jours de chacune des périodes de mesure sur quatre moutons du lot A (essai I) et au cours des 3^e et 12^e semaines de l'essai 3 sur les six animaux du lot D. Ces derniers ont été, par ailleurs, maintenus au sol, en cases individuelles, et soumis à un contrôle quotidien des quantités volontairement ingérées.

Un mouton porteur d'une fistule du rumen recevant les mêmes régimes et dans les mêmes conditions que les animaux du lot A (essai I) a servi à mesurer les variations du contenu du rumen, de l'activité fermentaire et de l'acidité totale, en fonction de la complémentation. Le liquide du rumen a été prélevé lors de chaque période de mesure durant deux jours consécutifs, à l'aide d'une sonde, le matin avant le repas puis à intervalle de 15 minutes au cours de la première heure après la distribution du repas, d'heure en heure par la suite, le dernier prélèvement étant effectué à 16 heures avant la distribution du second repas. L'activité cellulolytique a été mesurée sur ce même mouton par la technique des sachets de nylon (DEMARQUILLY, CHENOST, 1969). Nous avons introduit, pour chaque complément étudié, le lundi à 18 heures, 12 sachets à la fois contenant chacun 3 g de paille broyée, qui ont été retirés du rumen trois par trois après 12, 24, 48 et 72 heures de séjour dans le rumen.

Analyses

La détermination des teneurs en matière sèche, cendres, matières azotées et cellulose brute, a été effectuée sur des échantillons représentatifs des pailles (offert et refus), suppléments et fèces à chaque période de mesure. Le pH, les teneurs en ammoniac (CONWAY, 1957) et en acides gras volatils (RIGAUD et JOURNET, 1970) ont été déterminés sur chaque échantillon de liquide de rumen.

Résultats

Évolution des quantités ingérées et adaptation des animaux

Quantités ingérées

L'adaptation des moutons à l'ingestion de paille seule au cours du premier essai a été difficile. Les faibles niveaux d'ingestion des premiers jours nous ont conduit à mélanger à la paille une petite quantité de mélasse (5 p. 100 de la matière sèche) pour stimuler l'appétit tout au long des deux premières semaines. Les mesures ont été effectuées sans mélasse par la suite. Il s'ensuit que les périodes pré-expérimentale et expérimentale de la première mesure (P_1) avec la paille seule, correspondent en fait, respectivement, aux 3^e et 4^e semaines d'ingestion de paille. Les quantités ingérées étaient alors de 410 g de MS/j soit 18,7 g/kg $P^{0,75}$ mais avec une grande variabilité entre les animaux (19 à 25 p. 100). Au cours des périodes durant lesquelles la paille a été distribuée seule (P_1 , P_4 , P_6 , P_8) le niveau d'ingestion a progressivement augmenté, passant de 18,7 à 28,5, 31,4 et 37,7 g/kg $P^{0,75}$ respectivement au cours des semaines 1, 10, 15 et 21 de mesures (tabl. 2). Il existe d'ailleurs une relation étroite et significative ($r = 0,981$ $P < 0,05$) entre les quantités de matière sèche de paille ingérées (Y) et la durée (x) en jours depuis la période pré-expérimentale donnée par l'équation (1) $Y = 16,197 + 0,148x$.

Au cours du 3^e essai (lot D), la paille a été distribuée avec le complément IV dès le premier jour de mise en régime. La quantité de paille ingérée a été plus élevée que dans l'essai 1, dès la première mesure, atteignant en moyenne 565 g de matière sèche/jour au cours de la 3^e semaine.

Elle a ensuite continué à augmenter, mais dans des proportions moindres qu'au cours du 1^{er} essai, 19 p. 100 entre la 1^{re} et la 12^e semaine au cours de laquelle elle a été de 680 g/j soit 32,2 g de MS/kg $P^{0,75}$. Des variations plus ou moins importantes de l'ingestion ont été enregistrées d'une semaine à l'autre. Elles correspondent en partie aux différentes arrivées de balles de paille, ce qui laisse supposer une certaine hétérogénéité. Mais nous ne disposons d'aucune donnée sur les conditions de récolte. Toutefois, une diminution importante des quantités ingérées aux 7^e et 8^e semaines ne peut être expliquée uniquement par des différences de qualité de paille. Il semble que les moutons soient particulièrement sensibles aux variations climatiques lorsqu'ils reçoivent ce type de régime.

Comportement alimentaire et mérycique

L'étude du comportement des animaux montre que l'augmentation des quantités de paille ingérées dans l'essai 1 résulte moins d'un allongement du temps passé à ingérer (tabl. 3) que d'un accroissement de la vitesse d'ingestion de la paille.

Lorsque la paille est distribuée seule, la durée d'ingestion (DI) a cependant tendance à augmenter, passant de 207 à 257 minutes entre les semaines 1 et 21 de mesure (tabl. 3) mais sans que cela soit significatif. Pour rendre indépendantes du poids des animaux, les durées d'ingestion et de rumination, nous les avons rapportées au poids métabolique. La durée unitaire d'ingestion ainsi exprimée (DUI) est liée à l'appétit des animaux, elle diminue lorsque les quantités ingérées augmentent (DULPHY, 1971).

TABLEAU 2

Quantités volontairement ingérées, digestibilité et bilan azoté lorsque la paille est distribuée avec ou sans supplément (Essai I)
 Voluntary food intake, digestibility and nitrogen balance when giving cereal straw with or without supplement

Périodes Periods	N ^o de la semaine Number of the week	Quantités de matière sèche ingérées (g/kg P _{0,75}) Dry matter intake			Teneur en mat. azotée P. 100 M.S. Crude protein content	Azote ingéré (g/j) Nitrogen intake	Bilan azoté (g d'N/j) Balance of nitrogen	Coefficient de digestibilité (en p. 100) Digestibility coefficients					
		Paille Straw	Complément Supplement	Total Total				Ration totale Whole ration					
								Énergie Energy	Mat. organique brute Crude fibre	Mat. azotées Proteins	Paille seule Straw only		
Paille seule (P ₁)	1 ^{re}	18,7 ± 4,2	—	18,7 ± 4,2	2,7	1,7	— 3,9	42,4	47,8	— 3,1	47,8	58,4	58,4
Paille + complément I (P ₂) Straw + supplement I	5 ^e	23,7 ± 2,0	2,2	26,1 ± 5,6	9,7	9,4	— 0,6	48,8	53,6	67,1	50,7	56,2	56,5
Paille + complément II (P ₃) Straw + supplement II	8 ^e	26,6 ± 5,9	12,9	37,3 ± 2,9	10,0	14,7	+ 3,3	54,2	61,7	68,9	48,0	54,8	54,0
Paille seule (P)	10 ^e	26,5 ± 4,3	—	26,5 ± 4,3	3,8	2,9	— 2,2	41,1	47,2	5,9	47,2	56,6	56,6
Paille + complément III (P ₄) Straw + supplement III	13 ^e	27,4 ± 3,0	14,8	42,3 ± 3,3	11,3	16,1	+ 4,0	52,3	58,8	70,2	41,7	42,0	48,6
Paille seule (P ₆)	15 ^e	31,4 ± 3,3	—	31,4 ± 3,3	3,2	3,1	— 2,6	40,5	47,0	— 5,4	47,0	52,3	52,3
Paille + complément IV (P ₇) Straw + supplement IV	18 ^e	36,9 ± 5,4	13,7	50,7 ± 4,6	11,5	18,3	+ 6,9	51,4	56,4	66,6	44,1	53,7	53,3
Paille seule (P ₈)	21 ^e	37,7 ± 3,2	—	37,7 ± 3,2	3,4	4,1	— 1,5	37,8	44,0	7,6	44,0	50,1	50,1

TABEAU 3

Comportement alimentaire des moutons recevant de la paille d'orge avec ou sans supplément alternativement (Essai 1) avec un supplément en continu (Essai 3)
 Intake of dry matter eating and ruminating behaviour of sheep receiving barley straw with or without supplement continuously (Trial 1) or with supplement continuously (Trial 3)

Périodes Periods	N° Number de la semaine of the week	Quantités de M.S. de paille ingérées P _{0,75} Straw dry matter intake (g/kg W _{0,75})	Durée journalière d'ingestion (min) Daily time spent eating (min)	Durée unitaire d'ingestion (min/g/kg P _{0,75}) Unitary eating time (min/g/kg W _{0,75})	Durée journalière de rumination (min) Daily time spent ruminating (min)	Durée unitaire de rumination (min/g/kg P _{0,75}) Unitary ruminating time (min/g/kg W _{0,75})	Durée moyenne du grand repas (min) Time spent eating per main meal (min)
ESSAI 1 (Trial 1)							
Paille seule (P ₁)	1 ^{re}	18,6	207	11,8	489	26,4	93,1
Straw only							
Paille + complément I (P ₂)	5 ^e	18,6	194	10,7	450	24,2	80,4
Straw + supplement I							
Paille + complément II (P ₃)	8 ^e	25,1	241	9,8	486	19,4	90,6
Straw + supplement II							
Paille seule (P ₄)	10 ^e	26,6	281	11,3	539	20,3	103,4
Straw only							
Paille + complément III (P ₅)	13 ^e	25,6	202	7,9	472	19,5	73,6
Straw + supplement III							
Paille + complément IV (P ₆)	18 ^e	36,2	263	7,4	523	14,4	109
Straw + supplement IV							
Paille seule (P ₇)	21 ^e	38,2	257	6,8	618	16,2	118
Straw only							
ESSAI 3 (Trial 3)							
(Lot D)							
Paille + complément IV	3 ^e	27,0	203	7,7	408	15,1	84,4
Straw + supplement IV							
Paille + complément IV	11 ^e	32,2	206	6,7	499	15,5	90,9
Straw + supplement IV							

Lorsque la paille est distribuée seule, la vitesse d'ingestion des moutons, exprimée par la DUI, augmente significativement, elle passe de 11,8 à 6,8 mn /g MS/kg P^{0,75} (P < 0,05).

Cette modification a cependant été très lente au début puisqu'on enregistre des DUI de 11,8 et 11,3 mn /g MS/kg P^{0,75} au cours des périodes P₁ et P₄ (1^{re} et 10^e semaines de mesure).

La durée journalière de rumination (DR) est étroitement liée ($r = 0,721^*$) à la quantité ingérée. Elle a augmenté de 26 p. 100 entre la semaine 1 et la semaine 21 et a été en moyenne de 549 minutes. L'efficacité de la rumination exprimée par la durée unitaire de rumination (DUR) est encore plus étroitement liée aux quantités ingérées ($r = -0,933^{**}$); elle est passée de 26,4 à 16,2 mn/g MS/kg P^{0,75} entre les semaines 1 et 21.

Au cours de l'essai 3, la durée journalière d'ingestion ne varie pas avec le temps. Elle passe de 203 à 206 minutes au cours des semaines 3 et 11 de mesures. La variation de la vitesse d'ingestion est beaucoup plus faible qu'avec la paille distribuée seule : 7,7 et 6,7 mn/g MS/kg P^{0,75} au cours des semaines 3 et 11 de mesures. Mais la vitesse d'ingestion est, dès le départ, plus élevée qu'au cours de l'essai 1, l'adaptation des animaux à la paille est donc plus rapide lorsque celle-ci est complétement.

En outre, la durée de rumination est en moyenne plus faible (453 mn) et augmente un peu moins avec le temps (22 p. 100) (tabl. 3) que pour la paille seule. Il en résulte que l'efficacité de la rumination (DUR) demeure constante, respectivement 15,1 et 15,5 mn/g/Kg P^{0,75} au cours des 3^e et 11^e semaines de mesure, et relativement plus élevée qu'avec la paille seule.

Influence de la complémentation

Quantités ingérées (Essai 1)

Pour mesurer l'influence de la complémentation sur la quantité de paille ingérée, il était nécessaire de prendre en compte l'évolution de cette dernière avec le temps (fig. 1, équation 1). Nous avons donc comparé les quantités de paille

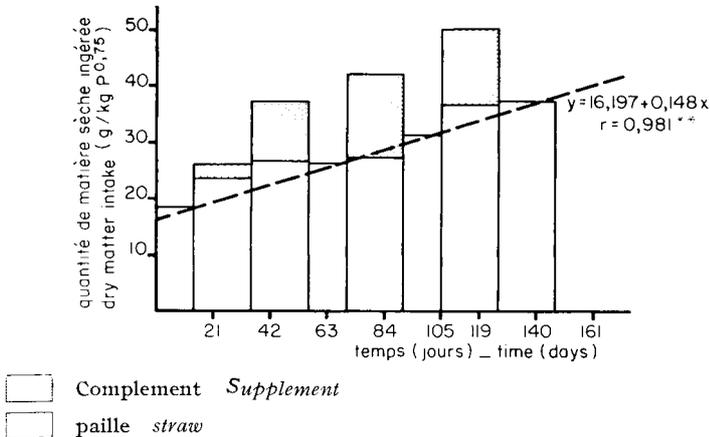


FIG. 1. — Évolution de la quantité de matière sèche ingérée (Essai 1)
Evolution with time of the voluntary dry matter intake

ingérées lorsque les moutons recevaient les différents compléments à celles qu'ils auraient ingérées durant les mêmes périodes en l'absence de complémentation. Ces quantités ont été estimées à l'aide de l'équation suivante établie pour les mesures effectuées avec la paille seule, où y exprime la quantité ingérée en g/kg P^{0,75} et x la durée en jours ($y = 16,197 + 0,148x$, $r = 0,981^{**}$).

Comportement alimentaire et mérycique

Dans l'essai I, la durée journalière d'ingestion de la paille est en moyenne peu modifiée par la complémentation : 225 minutes au lieu de 248 minutes lorsque la paille est distribuée seule (tabl. 3). Cette différence se manifeste surtout dans la durée du grand repas qui suit les deux distributions quotidiennes de paille : 105 minutes lorsque la paille est distribuée seule et 88 minutes lorsqu'elle est supplémentée. En outre, il apparaît une tendance à l'augmentation de la vitesse d'ingestion consécutive à la distribution du supplément. La durée unitaire d'ingestion passe de 9,92 pour la paille seule à 8,96 mn/g/kg P^{0,75} pour la paille supplémentée.

Par contre, la complémentation entraîne une diminution de 14 p. 100 en moyenne de la durée journalière de rumination (DR), de 549 à 483 minutes, cette différence étant significative ($P < 0,05$).

Il est difficile de mettre en évidence des différences entre les compléments sur les paramètres du comportement en raison des liaisons étroites existant entre ces paramètres et les quantités ingérées. Toutefois, on observe une plus grande vitesse d'ingestion avec les compléments IV et III et une durée d'ingestion significativement plus importante avec le complément IV comparé aux compléments III et I.

Digestibilité de la paille

Paille distribuée seule

La digestibilité de la matière organique de la paille distribuée seule mesurée au cours du 1^{er} essai (lot A) a diminué corrélativement à l'augmentation de l'ingestion ($r = -0,895$) à raison de 0,9 point de digestibilité par 100 g de MS supplémentaire ingérée. Cette diminution résulte essentiellement de celle des membranes; la digestibilité de la cellulose brute diminue de 2,3 points quand la matière sèche de la paille ingérée augmente de 100 g (tabl. 2).

Paille distribuée avec un complément

Les coefficients de digestibilité obtenus pour la paille distribuée seule d'une part et la paille supplémentée d'autre part ne sont pas différents en moyenne, 46,5 et 46,1 p. 100 pour la matière organique, 54,3 et 53,1 p. 100 pour la cellulose brute.

En revanche, la complémentation augmente nettement et dans tous les cas, la digestibilité de la ration totale, celle-ci passe en moyenne de 46,5 à 57,6 points, l'augmentation étant d'autant plus importante que le complément représente une proportion plus grande de la matière sèche totale ingérée.

Si on tient compte des modifications de la digestibilité entraînées par la variation du niveau d'ingestion de la paille, on peut calculer qu'à un même niveau

TABLEAU 4
Quantités ingérées et digestibilité de la paille en fonction de la nature de la source azotée
Effect of the origin and quality of nitrogen supplement on voluntary intake and digestibility of straw
Essai 2 - Trial 2

Compléments utilisés <i>Supplements used</i>	Quantités de matière sèche ingérées (g/kg P _{0,75}) <i>Voluntary dry matter intake</i>		Teneur en matières azotées de la ration (en p. 100 MS) <i>Crude protein content of the ration</i>	Coefficients de digestibilité <i>Digestibility coefficients</i>					
	Paille <i>Straw</i>	Total <i>Total</i>		Ration totale <i>Whole ration</i>			Paille seule <i>Straw only</i>		
				Matière organique <i>Organic matter</i>	Matières azotées <i>Proteins</i>	Cellulose brute <i>Crude fibre</i>	Matière organique <i>Organic matter</i>	Cellulose brute <i>Crude fibre</i>	Cellulose brute <i>Crude fibre</i>
II'	35,9	50,9	10,8	56,2	66,0	48,1	41,9	47,9	
IV'	35,3	48,5	10,1	53,5	62,0	50,8	39,3	50,2	

d'ingestion, le CUD de la matière organique de la paille aurait été augmenté respectivement de 3,6-1,3 et 0 points avec les compléments I, II et IV, et aurait diminué de 6 points avec le complément III contenant 300 g de céréales et 20 g d'urée. Cette baisse résulte de la plus faible digestibilité des membranes.

L'apport d'urée avec le complément I a augmenté de façon plus importante, à la fois, les quantités de paille ingérées et la digestibilité de la matière organique que les mélanges II et IV beaucoup plus riches en énergie (150 g de maïs + 150 g de mélasse pour le complément II, 162 g de maïs + 137 g de tourteau de soja pour le complément IV). Cependant, l'évolution imputable à l'adaptation des animaux a une telle incidence sur les quantités volontairement ingérées qu'il s'avère prudent de ne pas tirer de conclusions définitives sur ces différences.

En moyenne, la complémentation azotée et énergétique modifie peu la digestibilité de la matière organique de la paille. Par ailleurs, à mêmes quantités d'azote et d'énergie ingérées, les mélanges urée-mélasse-maïs et tourteau de soja-maïs n'ont pas provoqué de différences d'ingestion ou de digestibilité (tabl. 4).

Fermentation du rumen

Avec la paille non complétementée, la concentration d' $N-NH_3$ dans le liquide de rumen est très faible (fig. 2) 2,5 mg/100 ml de jus, et insuffisante pour permettre une activité normale des microorganismes du rumen. Elle est considérablement augmentée en présence des compléments, notamment quand ceux-ci contiennent de l'urée (I) et (II) essentiellement, (III) a un moindre degré. L'étude cinétique de la digestibilité de la paille par la méthode des sachets de nylon, montre que l'activité cellulolytique du liquide de rumen (fig. 3), est plus importante avec les compléments II et IV qu'avec les compléments I et III.

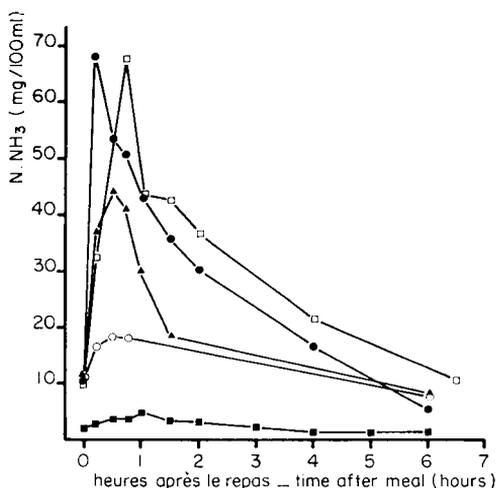


FIG. 2. — Cinétique de la production d' $N-NH_3$ dans le rumen en fonction du régime
Kinetic of $N-NH_3$ production in ruminal fluid according to the ration

- paille seule. *Straw alone.*
- ▲ Complément III. *Supplement III.*
- Complément II. *Supplement II.*
- Complément IV. *Supplement IV.*
- Complément I. *Supplement I.*

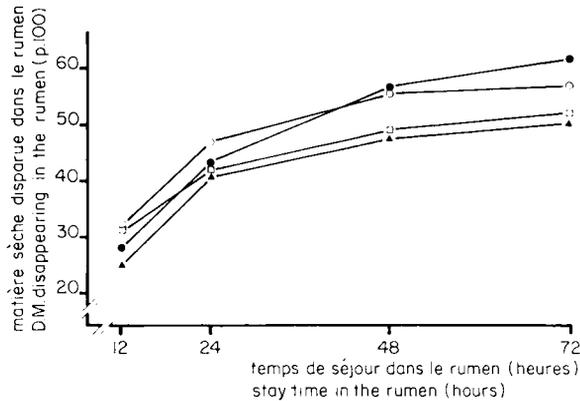


FIG. 3. — Digestibilité en sachets de nylon de la paille en fonction du régime
Kinetic nylon bag digestibility according to supplement

C'est du reste avec le complément II que la production d'acides gras volatils a été la plus élevée (tabl. 5). Ceci s'explique par l'apport en glucides rapidement fermentescibles sous forme de mélasse associée à la présence d'urée, qui favorise l'activité des microorganismes du rumen.

Il est par ailleurs intéressant de noter que la paille donne naissance à des fermentations essentiellement acétiques au niveau du rumen, en dépit d'un niveau de concentré dans la ration voisin de 30 p. 100. La plus faible teneur en C₂ obtenue

TABIEAU 5

Composition du mélange d'acides gras volatils dans le rumen
en fonction de la nature du complément (Essai 1)

Volatile fatty acids production in the rumen with the different supplements (Trial 1)

Périodes Periods	(pH)	Acidité totale (mMoles /l) Total organic acids	en p. 100 de l'acidité molaire totale in p. 100 of the total organic acid				
			Acide acétique Acetic acid	Acide propionique Propionic acid	Acide butyrique Butyric acid	Iso-butyrrique Iso-butyric acid	Iso-valérique Iso-valeric acid
Paille d'orge + complément I Barley straw + supplement I	6,92	55,8	79,4	16,7	3,9	—	—
Paille + complément II . . Straw + supplement II	6,52	84,8	68,8	24,5	6,7	—	—
Paille + complément III. . . Straw + supplement III	6,44	80,7	76,1	16,3	7,6	—	—
Paille + complément IV. . . Straw + supplement IV	6,57	79,1	73,2	18,2	6,6	1,4	0,6

avec le complément II s'explique par la présence de mélasse dans le complément qui par sa teneur en glucides solubles permet une production plus importante d'acide propionique.

Bilan azoté

Le complément (I) riche en urée permet de ramener le bilan azoté fortement négatif avec la paille seule au niveau d'un bilan nul (fig. 4), l'addition d'une source glucidique (compléments II et III) à l'urée permet des bilans positifs tandis que le

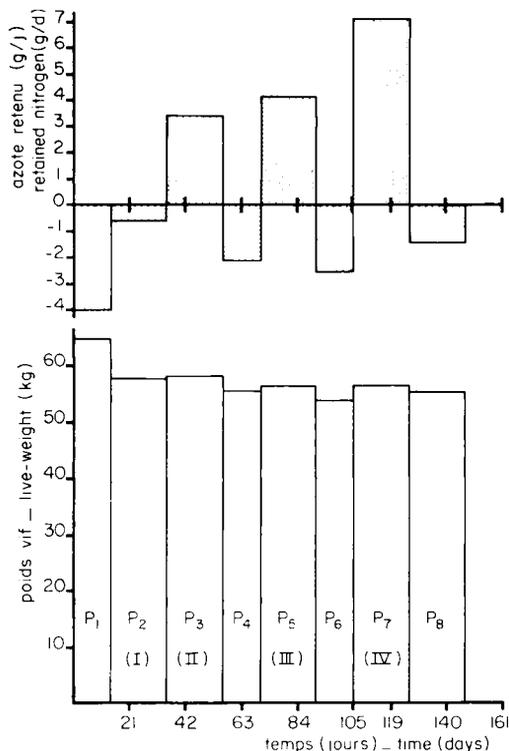


FIG. 4. — Influence de la complémentation sur le bilan azoté et la variation de poids vif
Effect of supplements on nitrogen balance and variation of live weight

complément IV contenant du tourteau de soja permet une rétention azotée relativement élevée (tabl. 2). Les coefficients d'utilisation pratique de l'azote sont en effet de 24,2; 25,2 et 38,8 p. 100 pour les compléments II, III et IV respectivement. La plus grande utilisation de l'azote du complément (IV) s'explique en partie par une production d'ammoniac plus faible et plus étalée dans le temps. Cependant, lorsque l'azote et l'énergie du complément sont apportés en quantités égales (tabl. 4) soit sous la forme de mélasse et d'urée (complément II') ou d'un mélange de céréales et de tourteau de soja (complément IV') les quantités d'azote retenues sont semblables (+ 2,8 g/j, essai 2).

Discussion

Les moutons recevant de la paille d'orge comme seul aliment n'en consomment au début qu'une faible quantité (12,2 g de MOD/kg P^{0,75}) qui ne couvre guère que la moitié de leur besoin énergétique d'entretien. Cependant, ils augmentent progressivement leur ingestion comme s'ils essayaient de compenser leur déficit énergétique. Selon ELIOTT et TOPPS (1963) qui avaient observé ce phénomène avec des fourrages dont la teneur en MAT variait de 4 à 10 p. 100, il pourrait y avoir soit un meilleur conditionnement des animaux aux manipulations expérimentales, soit une réelle « adaptation » des animaux au régime pauvre en azote.

Nous avons, quant à nous, utilisé des animaux bien conditionnés aux cages à bilan ; il s'agit donc essentiellement d'une « adaptation » des moutons pour essayer de réduire leur déficit énergétique. Cette adaptation se manifeste par une vitesse d'ingestion accrue, une augmentation de la durée de rumination ainsi qu'une meilleure efficacité de cette rumination. Elle s'accompagne entre autre d'une augmentation de la capacité de stockage du rumen puisqu'avec le mouton fistulisé que nous avons utilisé, d'un poids vif apparent de 47 kg, les quantités de contenu du rumen ont représenté jusqu'à 22 p. 100 de ce poids vif.

La complémentation azotée favorise cette augmentation de la vitesse d'ingestion lorsque le complément est distribué en permanence. Il est du reste très vraisemblable que le doublement des quantités de paille seule ingérées au cours de l'essai 1 a été rendu possible par le fait que les animaux ont reçu périodiquement un complément azoté. On sait en effet que l'amélioration de l'état azoté de l'animal stimule son appétit (EGAN, 1965). Cet effet de l'apport d'azote a dû se prolonger durant chacune des inter-périodes où la paille était distribuée seule. Lorsque le complément est distribué en permanence (essai 3) le niveau d'ingestion est d'emblée plus élevé mais par la suite il augmente moins. L'addition d'azote joue en effet à 2 niveaux : d'une part, elle stimule l'appétit en rétablissant l'équilibre azoté de l'animal, d'autre part, elle permet un accroissement de la microflore du rumen et de son activité cellulolytique ayant comme conséquence une diminution du temps de séjour de la paille dans le rumen.

L'importance du phénomène d'accoutumance que nous avons mis en évidence soulève le problème de la durée des mesures. Pour des animaux n'ayant jamais consommé de la paille comme seul fourrage antérieurement, il semble nécessaire d'aménager une période de transition d'au moins 4 à 6 semaines durant laquelle ils disposeront d'un complément. En revanche, des animaux parfaitement habitués à consommer de la paille atteignent assez rapidement leur plafond d'ingestion.

Si on ne tenait pas compte de cette évolution, les augmentations d'ingestion enregistrées varieraient de 27, 42, 46 et 97 p. 100 en fonction des compléments I, II, III et IV respectivement. Le fait d'avoir pris en compte cette évolution peut expliquer, du moins en partie, que nous ayons obtenu de faibles augmentations (7 à 14 p. 100) du niveau d'ingestion de la paille en présence d'un complément azoté. Peu d'auteurs ont mentionné cette évolution soit qu'ils aient travaillé sur d'assez courtes périodes (WILLIAMS et PEARCE, 1959; HEMSLEY, 1964; JOYCE, 1975; COOMBE et CHRISTIAN, 1969; COOMBE et PRESTON, 1969) soit qu'ils aient utilisé le schéma expérimental du carré latin (COOMBE et TRIBE, 1963); FISHWICK *et al.*, 1974) ou encore que les comparaisons aient été faites par rapport à une seule période témoin à la paille seule (SKOURI, 1966).

La seconde cause des faibles augmentations d'ingestion que nous avons obtenues, résulte de ce que nous avons voulu couvrir avec les compléments II, III et

IV non seulement les besoins azotés d'entretien des moutons, mais aussi une partie des besoins énergétiques en distribuant environ 300 g d'aliment concentré soit 13 g de matière sèche /kg P^{0,75}. Cette ingestion d'aliment concentré a, à coup sûr, limité l'augmentation de la quantité de paille ingérée provoquée par la complémentation. C'est du reste, avec le complément I n'apportant outre l'urée que 50 g d'orge, que l'accroissement d'ingestion de la paille a été la plus forte.

Cet effet de la complémentation énergétique se retrouve par ailleurs au niveau de la digestibilité. On sait en effet que l'addition d'énergie rapidement fermentescible (amidon) diminue la digestibilité des membranes du fourrage, ce qui dans nos essais a dû atténuer fortement l'effet bénéfique de l'apport azoté sur la digestibilité. Il est donc normal qu'avec le complément I n'apportant que 50 g d'orge la digestibilité de la paille ait été augmentée alors qu'elle a été diminuée avec le complément III apportant 300 g de maïs. Il apparaît, cependant, que pour couvrir le besoin d'entretien des moutons recevant de la paille d'orge, on ne puisse descendre en-dessous des 300 g de complément, ce qui représente, en prenant pour digestibilité de la matière organique des compléments une valeur moyenne de 80 p. 100, environ 40 p. 100 des besoins énergétiques d'entretien des animaux et 30 p. 100 de la matière sèche ingérée.

Le mélange céréales-mélasse-urée s'est révélé très peu différent du mélange tourteau de soja-céréales pour l'amélioration des quantités ingérées et de la digestibilité de la paille.

Enfin, ces résultats montrent qu'en dépit de l'amélioration apportée par la complémentation, la paille distribuée comme seul fourrage n'apporte qu'une quantité d'énergie limitée ne pouvant convenir qu'à des animaux à l'entretien ou à faibles besoins.

Accepté pour publication en juin 1978.

Summary

Feeding value of cereal straw in sheep

I. — Influence of nitrogen and energy supplementation on the voluntary intake and digestibility of barley straw

Adult and castrated rams kept in metabolism crates were used to study:

a) Modifications of digestibility and voluntary intake of a barley straw given as only forage, induced by the nature and level of nitrogen and energy supplementation (table 2, trials 1,2).

b) The adaptation of sheep to straw intake (trial 3).

The chopped straw (5-10 cm pieces) was given ad libitum in two daily meals. The supplements were offered in limited amounts in two meals per day before the feeding of straw.

The digestibility of the organic matter, energy, crude fibre, crude protein and voluntary intake were determined as well as the feeding behaviour and rumination of the sheep. These measures were completed by that of the fermentation (NH₃) and total acidity of the rumen fluid and by nitrogen balance studies.

1° Sheep receiving straw since a short time ingested little (about 20 g dry matter /kg W. 0.75) up to 3 or 4 weeks, whereafter the intake increased progressively and could exceed 36 g /kg W. 0.75 when the animals were well-adapted to the diet (trial 1, fig. 1). This adaptation was made very progressively and was favoured by the nitrogen supplementation. It was due essentially to the increase of the eating rate (table 3).

2° The intake of straw was increased by 15 p. 100 with the addition of 20 g urea + 50 g barley per animal and per day (supplement 1) but decreased by 6 p. 100 when 300 g maize were added to 20 g urea (supplement 3). Supplement 2, a mixture of maize and half molasses +

urea (1/1) led to the same straw intake as that obtained with a soya bean oil meal + maize mixture (supplement 4) providing the same quantities of energy and nitrogen.

The total dry matter intake significantly increased ($P < 0.01$) with supplement feeding. It was higher with supplement 4 than with the three others (fig. 1).

3° The organic matter digestibility of the straw given with a supplement was about 47 p. 100. It decreased with the intake level ($r = 0.87$): by 0.8 point when the intake increased by 100 g dry matter. It was increased by 12 p. 100 with supplement 1 and reduced by 11 p. 100 with supplement 3, which was rich in starch. It is the same with supplements 2 and 4 which also provided a similar improvement in the nitrogen balance of the sheep (trial 1, fig. 4).

4° The study of the fermentation activity in the ruminal fluid showed that the low production of $N.NH_3$ with straw was the limiting factor of its utilization. Adding urea increased the ammonia content of the rumen fluid in large proportions, but the supply of energy is essential for a better utilization of this ammonia and for a higher « cellulolytic » activity (fig. 2-3).

This investigation showed that when using the straw diets, the mixture of volatile fatty acids contained on an average 74 p. 100 acetic acid versus 19 p. 100 propionic acid, and 6 p. 100 butyric acid. The acetic fermentation remained however high with straw in spite of the relatively large (27 to 23 p. 100) proportion of concentrate feeds in the diets.

The influence of the adaptation of sheep to straw diets on the intake level as compared with that obtained with the different supplements is discussed.

Références bibliographiques

- ANDREWS R. P., ESCUDER-VOLONTE J., CURRAN M. K., HOLMES W., 1972. The influence of supplements of energy and protein on the intake and performance of cattle fed on cereal straws. *Anim. Prod.*, **15**, 167-176.
- BALCH C. C., CAMPLING R. C., 1965. Rate of passage of digestion through the ruminant digestive tract. In *physiology of digestion in the ruminant*. Ed. R. W. DOUGHERTY: 108 : 123.
- CAMPLING R. C., FREER M., BALCH C. C., 1962. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 3. The effect of urea on the voluntary intake of oat straw. *Brit. J. Nutr.*, **16**, 115-124.
- CLARK R., QUIN J. I., 1951. The effect of supplementing poor quality grass hay with molasses and nitrogenous salts. *Onderstepoort J. Veterinary Research.*, **25**, 93.
- CONWAY E. J., 1957. *Microdiffusion analysis and volumetric error*. London: Crosby Lockwood.
- COOMBE J. B., 1959. The effect of supplementation with urea and molasses on the liveweight, appetite and wool growth of sheep. *J. Austr. Inst. Agric. Sci.*, **25**, 299-302.
- COOMBE J. B., TRIBE D. E., 1962. a) The effect of urea on the utilization of low-quality roughage by the ruminant. *Proc. Austr. Soc. Anim. Prod.*, **3**, 83-85.
- COOMBE J. B., TRIBE D. E., 1962. b) The feeding of urea supplements to sheep and cattle: the results of penned feeding and grazing experiments. *J. Agric. Sci.*, **55**, 125-141.
- COOMBE J. B., TRIBE D. E., 1963. The effects of urea supplements on the utilization of straw and molasses diets by sheep. *Austr. J. Agric. Res.*, **14**, 70-92.
- COOMBE J. B., CHRISTIAN K. R., 1969. The effect of urea on the utilisation of ground pelleted roughage by penned sheep. II. Utilization of organic matter, nitrogen and minerals. *J. Agric. Sci.*, **72**, 261-269.
- COOMBE J. B., PRESTON G. K., 1969. The effect of urea on the utilization of ground, pelleted roughage by penned sheep. I. Food intake, live-weight change and wool growth. *J. Agric., Sci.*, **72**, 251-259.
- COOMBE J. B., CHRISTIAN K. R., HOLGATE M. D., 1971. The effect of urea on the utilization of ground pelleted roughage by penned sheep. III. Mineral supplements. *J. Agric. Sci. Camb.*, **77**, 159-174.
- CRABTREE J. R., WILLIAMS G. L., 1971. The voluntary intake and utilization of roughage concentrate diets by sheep. I. Concentrate supplements for hay and straw. *Anim. Prod.*, **13**, 83-92.
- DEMARQUILLY C., CHENOST M., 1969. Étude de la digestion des fourrages dans le rumen par la méthode des sachets de nylon; liaison avec la valeur alimentaire. *Ann. Zootech.*, **18**, 419-436.
- DULPHY J. P., 1971. Influence du poids vif et du niveau d'ingestion sur le comportement alimentaire et mérycique du mouton. *Ann. Zootech.*, **20**, 477-486.

- DULPHY J. P., DEMARQUILLY C., 1974. Étude du comportement alimentaire et mérycique de moutons recevant des fourrages verts hachés. *Ann. Zootech.*, **23**, 193-212.
- EGAN A. R., 1965. The fate and effects of duodenally infused casein and urea nitrogen in sheep fed on a low protein roughage. *Austr. J. Agric. Res.*, **16**, 169-177.
- EGAN A. R., MOIR R. J., 1965. Effects of duodenally infused single doses of casein, urea and propionate upon voluntary intake of low protein roughage by sheep. *Aust. J. Agric.*, **16**, 437-449.
- EGAN A. R., 1965. Nutritional status and intake regulation in sheep. II. The influence of sustained duodenal infusions of casein or urea upon voluntary intake of low-protein roughages by sheep. *Austr. J. Agric. Res.*, **16**, 451-462.
- EGAN A. R., 1965. Nutritional status and intake regulation in sheep. III. The relationship between improvement of nitrogen status and increase in voluntary intake of low-protein roughages by sheep. *Austr. J. Agric. Res.*, **16**, 463-472.
- EGAN A. R., 1965. Nutritional status and intake regulation in sheep. IV. The influence of protein supplements upon acetate and propionate tolerance of sheep fed on low quality chaffed oaten hay. *Austr. J. Agric. Res.*, **16**, 473-483.
- ELLIOTT R. C., TOPPS J. H., 1963. Voluntary intake of low protein diets by sheep. *Anim. Prod.*, **5**, 269-276.
- FATCHNEY G. L., 1965. The effect of sucrose on the utilization of straw plus urea diets by sheep. *Austr. J. Agric. Res.*, **16**, 159-167.
- FISHWICK G., FRASER J., HEMINGWAY R. G., PARKINS J. J., RITCHIE N. S., 1974. The voluntary intake and digestibility of oat straw by pregnant beef cows as influenced by urea and phosphorus supplementation contained in molassed sugar-beef pulp. *J. Agric. Sic. Camb.*, **82**, 427-432.
- HEMSLEY J. A., 1964. The utilization of urea supplemented roughages. *Proc. Austr. Soc. Anim. Prod.*, **5**, 521-527.
- HEMSLEY J. A., MOIR R. S., 1963. The influence of higher fatty acids on the intake urea supplemented low quality cereal hay by sheep. *Austr. J. Agric. Res.*, **14**, 509-517.
- HODEN A., 1972. Aspects digestifs et métaboliques de l'utilisation de l'azote non protéique par les ruminants recevant des fourrages pauvres. *Revue bibliographique. INRA-CRZV de Theix*, 27 p.
- JOYCE J. P., 1975. « Straw and grain feeding of sheep ». *N. Z. J. of Exp. Agric.*, **3**, 49-53.
- KAY M., ANDREWS R. P., MC LEOD N. A., WALKER T., 1968. Urea and cereals as supplements for ruminants offered barley straw. *Anim. Prod.*, **10**, 171-175.
- 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.
- RUCKEBUSCH Y., 1963. Recherches sur la régulation centrale du comportement alimentaire des ruminants. Thèse de Doct. Sci. Lyon.
- SKOURI M., 1966. Valeur nutritive de la ration et comportement alimentaire du Ruminant. Thèse de Doct. Ingénieur Paris. *Ann. Inst. Nat. Rech. Agro. Tunisie*, **40**, 251 p.
- WESTON R. H., HOGAN J. P., 1967. The digestion of chopped and ground roughages by sheep. I. The movement of digesta through the stomach. *Austr. J. Agric. Res.*, **18**, 789-801.
- WILLIAMS N. M., PEARCE G. R., 1959. The growth and appetite of sheep on high fiber low-protein diets supplemented with urea and molasses. *Emp. J. Exp. Agric.*, **27**, 107.
-