

Paramètres d'uréolyse et digestibilité de la paille traitée à l'urée *

A. Chermiti ¹, A. Nefzaoui ¹ et R. Cordesse ²

avec la collaboration technique de T. Amri et M. Laajili

¹ INRAT, laboratoire de nutrition animale, Ariana, Tunisie

² ENSA, chaire de zootechnie, 34000 Montpellier, France

(reçu le 25 juillet 1988, accepté le 5 mai 1989)

Résumé — Les objectifs visés par cette contribution sont l'étude des effets de la dose d'urée, du niveau d'humidité, de l'adjonction d'une source d'uréase et du hachage sur la composition chimique et la digestibilité de la paille de blé dur. Ainsi, dans une première expérience, avons-nous étudié l'effet de 3 concentrations d'urée (40, 60 et 80 g/kg de matière sèche (MS)), de 2 niveaux d'humidité (250 et 500 g/kg de MS) et de l'adjonction ou non d'une source d'uréase (0 et 30 g de farine de soja/kg de MS) sur l'intensité de l'uréolyse, les modifications chimiques et la digestibilité *in vitro* d'une paille de blé dur.

Dans une seconde expérience, la digestibilité *in vivo* a été déterminée sur la même paille non traitée et traitée (40 g d'urée, 250 g d'eau, 0 g de farine de soja), soit en balles soit après hachage.

L'addition d'une source exogène d'uréase (farine de soja) ne s'accompagne pas d'une transformation totale de l'urée en ammoniac. Les teneurs en urée résiduelle ont varié de 0,5 à 39,5% de la quantité d'urée apportée. Le traitement à l'urée fait diminuer la teneur en *neutral detergent fibre* ou parois totales (NDF) de 74 jusqu'à 64,6% de la MS, surtout avec les fortes doses (80 g/kg) et en présence d'uréase.

La digestibilité *in vitro* de la masse organique (MO) n'augmente pas linéairement avec des doses croissantes d'urée. Avec un apport d'eau de 250 g et 30 g de farine de soja, elle atteint 61,6, 68,5 et 61,3% respectivement pour un apport d'urée de 40, 60 et 80 g/kg MS de paille, contre 45,5% pour la paille témoin.

Les mesures *in vivo* montrent que la digestibilité de la matière organique (DMO) a atteint une valeur de 54,4 et 62,4% pour la paille traitée en balles ou préalablement hachée contre 48,3% pour la paille non traitée. Les coefficients d'utilisation digestive apparents (CUDa) des matières azotées totales (MAT) (59,1 et 58,4%) sont comparables pour les 2 formes de paille. L'effet positif du hachage est confirmé par ailleurs au niveau de la digestibilité de la paroi totale. Cette dernière est de 54,8, 59,9 et 67,7% respectivement pour la paille non traitée, traitée en balles et hachée traitée.

paille — traitement à l'urée — uréase — digestibilité

Summary — **Ureolysis and digestibility of urea treated straw.** The effects of urea, moisture level and urease addition on nutritive value and digestibility of wheat straw were studied. In a first trial, wheat straws were treated with urea. The efficiency of 3 levels of urea (40, 60 and 80 g/kg straw DM), 2 levels of moisture (250 and 500 g of water/kg straw DM) and the addition of an urease source (0 and 30 g of soya meal) were tested on ureolysis changes in chemical composition and *in vitro* organic matter digestibility of wheat straw.

* Travail réalisé dans le cadre du projet CEE-INRAT, A, 285-TN.

In a second trial, the nutritive value of treated straw was determined.

The conversion of urea to ammonia was incomplete even when an urease source was added. Residual urea contents varied from 0.5% to 39.5% of the amount of urea supplied. Urea treatment decreased NDF content from 74.0 to 64.6% DM, especially with high levels of urea (80 g/kg DM) and soya addition.

In vitro organic matter digestibility did not increase linearly with increasing levels of urea. With 250 g of water and 30 g of soya supplied, OMD reached 61.6, 68.5 and 61.3% respectively with 40, 60 and 80 g urea per DM straw versus 45.5% for control straw.

In vivo OMD were 54.4 and 62.4%, respectively for baled and chopped treated straw versus 48.3 for untreated straw. Apparent nitrogen digestibilities were similar for the two types of straw (59.1 and 58.4%). The NDF apparent digestibilities were 54.8, 59.9 and 67.7%, respectively for untreated, baled and chopped treated straw.

straw treatment — urea — urease — digestibility

INTRODUCTION

Dans les pays de la rive sud de la méditerranée, les résidus lignocellulosiques, particulièrement les pailles de céréales, constituent une source alimentaire importante pour les ruminants. Cependant, malgré leur richesse en glucides, la teneur en énergie digestible ingérée fournie par les pailles est faible. De nombreux procédés, physiques, chimiques ou biologiques, ont été étudiés pour améliorer la valeur alimentaire des lignocelluloses. Les traitements aux alcalis ont été, sans doute, les plus étudiés. En modifiant la composition biochimique du substrat, les traitements chimiques facilitent sa dégradation par les micro-organismes du rumen, ce qui entraîne l'augmentation des quantités ingérées, de la digestibilité de la matière organique et donc de la valeur alimentaire.

Plusieurs revues bibliographiques ont été consacrées aux traitements des pailles de céréales aux alcalis (Waagepetersen & Vestergaard-Thomsen, 1976; Jackson, 1977, Sundstøl *et al.*, 1978; Owen *et al.*, 1984). Après l'utilisation de la soude, celle de l'ammoniac est devenue d'importance considérable, bien que l'amélioration de la digestibilité soit généralement moins prononcée (Chenost & Dulphy, 1987). Elle s'est développée de plus en plus, étant

donné sa facilité de réalisation au niveau de l'exploitation (Sundstøl *et al.*, 1979; Cordesse, 1980; O'Shea *et al.*, 1981).

Des travaux récents ont montré qu'il y a une formation progressive d'ammoniac à partir de l'urée quand cette dernière est pulvérisée sur la paille conservée (Oji *et al.*, 1977; Williams & Innes, 1982). Le traitement de la paille avec de l'urée améliore la digestibilité et parfois les quantités volontairement ingérées par l'animal (Saadullah *et al.*, 1981; Hadjipanayiotou, 1982; Williams & Innes, 1982). Cependant, pour des ovins en croissance, les ingestions de la paille traitée à l'urée sont nettement inférieures à celles de la paille traitée à l'ammoniac anhydre (Chermiti & Nefzaoui, résultats non publiés). L'adjonction d'une source d'uréase réduit la durée de traitement (Jayasuriya & Pearce, 1983), mais elle est sans effet sur la dégradabilité de la paille au niveau du rumen (Williams *et al.*, 1984).

La présente étude a pour objectifs de préciser : i) les effets de la dose d'urée, de l'apport d'eau et de l'adjonction d'une source uréolytique sur la composition chimique, l'intensité d'uréolyse et la digestibilité *in vitro* de la paille de blé dur; ii) de savoir, en mesurant la digestibilité *in vivo*, si le traitement de la paille hachée est plus efficace que celui de la paille traitée en balles.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Paille

Une paille de blé dur de la variété «Karim» provenant de la station expérimentale de l'Afareg (INRAT) au nord de la Tunisie, où la pluviométrie moyenne est de 600 mm par an, a été utilisée dans les 2 expériences. Elle présente des teneurs moyennes en NDF de 74,5% et en MAT de 4% de la MS.

Traitements

Expérience 1

Les effets de la dose d'urée, du niveau d'apport d'eau et de la présence ou non d'une source d'uréase ont été testés sur l'intensité de l'uréo-lyse, les modifications biochimiques et la digestibilité *in vitro* de la paille qui en résultent.

Les traitements ont été effectués sur la paille hachée en brins de 2 à 3 cm et sur des échantillons de 1 kg de MS. Trois concentrations d'urée (40, 60 et 80 g/kg de MS de paille), 2 niveaux d'apport d'eau (250 et 500 g/kg de MS de paille) et l'addition ou non d'une source d'uréase (0 et 30 g/kg de MS de paille) sous la forme de graines de soja broyées ont été testés. Ces dernières, de variété «Weber» (cultivées sur le domaine de Fréjorgues, Montpellier), présentent une teneur moyenne en MAT de 37% (INRA, 1984) et ont été broyées (grille 1 mm) avant leur incorporation. La quantité de graines de soja employée a été choisie d'après les résultats de Chenost & Besle (communication personnelle). Le traitement a été effectué en mélangeant la paille et les doses d'urée dissoutes préalablement dans la quantité d'eau correspondante. Ensuite, l'adjonction de la source d'uréase a été effectuée. Les échantillons ont été conservés dans des sacs en polyéthylène de 180 μ d'épaisseur. Après soudure, ils ont été placés, pendant 2 mois, dans un local où la tem-

pérature a varié de 15° à 25 °C. Les traitements ont été effectués en quintuple (nombre de répétitions = 5).

Expérience 2

Deux meules de paille traitée à raison de 40 g d'urée diluée dans 250 g d'eau par kg de MS sans farine de soja ont été préparées. L'une a été traitée après hachage de la paille en brins de 2 à 3 cm et l'autre en balles rectangulaires de 15 kg en moyenne, sans hachage. Le traitement a consisté en la construction d'une meule de 750 kg couverte après traitement avec une bâche en plastique de 180 μ d'épaisseur. L'eau et l'urée correspondante ont été ajoutées lors de la construction en couches successives pour la paille en balles. Pour la paille hachée, le traitement a été effectué par fractions de 50 kg puis homogénéisation à la fourche. Dans les 2 cas, la paille a été conservée pendant 2 mois.

Mesures

Les compositions chimiques et les digestibilités *in vitro* des pailles traitées lors de la première expérience ont été déterminées sur des échantillons séchés dans une étuve ventilée à 50 °C. La digestibilité *in vivo* de la paille traitée dans la seconde expérience a été déterminée.

La digestibilité *in vivo* de la paille traitée à l'urée a été mesurée sur 8 bœliers de la race Noire de Thibar, de poids vif moyen de 54 kg, placés dans des cages à bilan, au cours de 3 périodes successives de 25 jours séparées par une période de transition au sol d'une semaine. Durant chaque période, les animaux ont reçu la paille non traitée, la paille traitée en balles et la paille hachée traitée. Ils n'ont reçu aucune complémentation, mais ont à leur disposition des blocs à lécher (type oligo-blocs). La quantité distribuée a été maintenue constante à raison de 40 g de MS par kg de P^{0.75}. Les fèces et éventuellement les refus ont été ramassés, à fin d'analyses, quotidiennement durant les dix derniers jours de chaque période.

Analyses

Les teneurs en MS, matières minérales (MM), cellulose brute (CB), MAT et urée résiduelle ont été déterminées selon les méthodes de l'AOAC (1975). L'urée résiduelle a été dosée par spectrophotométrie ($\lambda = 420$ nm). A 2 g d'échantillons ont été ajoutés du charbon actif, de l'acétate de Zn, de l'acide acétique glacial et du ferrocyanure de K. Après agitation pendant 30 min et filtrations, 5 ml du filtrat ont été prélevés et additionnés à 5 ml de p-diméthylamino-benzaldéhyde.

Les échantillons ont été ensuite incubés pendant 15 min à 20 °C. La densité optique a été comparée par la suite à une référence de concentration connue en urée. Les teneurs en NDF ont été déterminées selon la méthode de Van Soest (1973).

La digestibilité *in vitro* a été effectuée selon la technique de Tilley & Terry (1963). Le jus de rumen provient de bélier adulte de la race Noire de Thibar porteur d'une canule permanente de rumen et recevant à volonté du foin de vesce avoine. Un fourrage témoin (foin de vesce avoine) a été introduit dans chaque série et a permis d'estimer les différences entre les séries.

Les résultats ont été soumis à une analyse de variance et les différences entre moyennes comparées par le test de Duncan, en utilisant un logiciel SAS (IBM - personal computer).

RÉSULTATS

Influence des doses d'urée et d'eau et de l'addition d'uréase sur la composition chimique et la digestibilité in vitro de la paille

La paille non traitée a une teneur en NDF de 74% de la MS et une digestibilité de la MO de 45,5%. Sa teneur en MAT est de

4,5% de la MS. Cette dernière augmente fortement avec la dose d'urée utilisée et l'addition d'uréase ne la modifie pas significativement (Tableau I).

L'effet eau/urée est significatif et les teneurs en MAT les plus élevées sont obtenues avec l'apport d'eau de 250 g pour la même dose d'urée. Dans tous les échantillons, on constate que toute l'urée n'a pas été hydrolysée. Les quantités d'urée résiduelle sont plus importantes avec les faibles taux d'humidité et l'addition d'une source d'uréase ne semble pas, dans nos conditions expérimentales, avoir amélioré l'hydrolyse. En effet, la teneur en urée résiduelle varie de 8,9 à 31,8 g/kg de MS et de 1,7 à 11,2 g/kg de MS, respectivement avec les doses d'urée de 40 et 80 g et les doses d'eau de 250 et 500 g, sans farine de soja. En revanche, cette teneur a varié pour les mêmes niveaux d'urée et d'eau de 6,7 à 26,5 g/kg de MS et de 0,2 à 7,6 g/kg de MS, avec la farine de soja.

Les teneurs en NDF sont significativement plus faibles en présence d'uréase et ne sont pas affectées par le niveau d'humidité des pailles.

Bien que l'uréolyse ne soit pas très importante avec l'apport de farine de soja, l'apport d'uréase a un effet très significatif sur la digestibilité *in vitro* de la MO de la paille. C'est ainsi que, suite à l'addition du soja, la digestibilité de la matière organique (DMO) a augmenté de 57,7 à 61,6%, de 47,9 à 68,5% et de 61,3 à 66,4%, respectivement pour les doses d'urée de 40, 60 et 80 g/kg et pour la dose d'eau de 250 g/kg. L'apport de la source d'uréase s'accompagne aussi d'un apport azoté de 11,1 g de MAT par kg de MS de paille, soit moins de 10% de l'ensemble des MAT. L'apport de l'urée améliore significativement la digestibilité *in vitro* de la paille. Cette amélioration non linéaire atteint un maximum à la dose de 60 g, puis a ten-

Tableau I. Composition chimique (g/kg MS) et digestibilité *in vitro* de la MO en pourcentage (DMO) de la paille traitée avec différents taux d'urée, avec ou sans farine de soja.

Dose urée	Dose eau	Farine de soja	UR ¹	MS ²	MAT	NDF	DMO
g/kg MS							
40	250	0	8,9 (22,2)	723	159	748	57,7
40	250	30	6,7 (16,7)	755	168	709	61,6
40	500	0	1,7 (4,2)	626	129	712	47,2
40	500	30	0,2 (0,5)	574	139	682	60,9
60	250	0	23,8 (39,7)	689	215	707	47,9
60	250	30	15,7 (26,2)	715	268	655	68,5
60	500	0	5,4 (9,0)	587	171	698	55,4
60	500	30	5,5 (9,2)	615	168	668	66,2
80	250	0	31,8 (39,7)	711	282	708	61,3
80	250	30	26,5 (33,1)	710	315	666	66,4
80	500	0	11,2 (14,0)	625	225	665	62,5
80	500	30	7,6 (9,5)	586	235	646	64,7
ESM ³			4,64	4,35	3,15	17,64	5,40
Signification des effets							
Urée			51,49 ***	0,89 NS	65,27 ***	28,89 ***	9,96 ***
Eau			49,61 ***	35,68 ***	17,48 ***	10,78 ***	1,66 NS
Uréase/urée			3,05 *	1,07 NS	1,92 NS	20,15 ***	20,84 ***
Eau-uréase/urée			1,37 NS	1,85 NS	1,45 NS	1,50 NS	2,17 NS

¹ UR : urée résiduelle, () : en % de la teneur en urée initiale.

² MS : matière sèche; MAT : matières azotées totales; NDF : *neutral detergent fibre*.

³ ESM : erreur standard de la moyenne; signification des effets, valeur de F suivie de *** significatif au niveau $\alpha - 0,001$; * significatif au niveau $\alpha - 0,05$; NS : non significatif.

⁴ Paille non traitée, MS : 852; MAT : 45; NDF : 740 en g/kg MS; DMO : 45,5%.

dance à plafonner. L'amélioration la plus importante est obtenue avec les doses de 60 g d'urée, de 250 g d'eau et 30 g de farine de soja par kg de MS.

Influence du traitement à l'urée sur la digestibilité *in vivo* de la paille

La paille a été traitée avec une solution d'urée (40 g d'urée, 250 g d'eau par kg de MS), sans farine de soja.

Le teneur de 75% de MS a été atteinte avec la paille hachée mais pas avec celle traitée en balles. Cela se répercute sur la teneur en NDF qui est abaissée de 75 à 72% avec la paille hachée mais pas avec la paille restée en balles (Tableau II).

Le traitement a augmenté significativement la digestibilité de tous les composants de la ration. Cette amélioration est plus importante lorsque la paille a été préalablement hachée (Tableau III). En effet, alors que le CUDa de la MO de la paille

Tableau II. Composition chimique des pailles traitées et non traitées.

<i>Paille</i>	<i>MS</i>	<i>MO</i>	<i>MAT</i>	<i>NDF</i>
Non traitée (T1)	881	915	35	751
Traitée en balles (T2)	875	919	117	767
Hachée traitée (T3)	762	916	103	719

non traitée est de 48,3%, celui de la paille traitée en balles est de 54,4% et celui de la paille hachée et traitée est de 62,4%, soit des augmentations respectives de 13 et 29%. De même, la fixation importante d'azote (Tableau II) et l'augmentation de la digestibilité de l'azote (Tableau III) permettent de montrer que les matières azotées digestibles s'élèvent respectivement à 7, 69 et 60 g pour les traitements T1, T2 et T3. La fraction azotée non digestible est également augmentée par le traitement : elle s'élève de 28 g, dans le cas de l'échantillon non traité, à 48 et 43 g avec les pailles traitées en balles ou traitées après hachage.

DISCUSSION

Comme on devait s'y attendre, le traitement de la paille à l'urée a augmenté sensiblement la teneur en azote. Une partie de cette urée est transformée en ammoniac. Ce dernier a réduit de façon limitée la teneur en NDF due à une solubilisation partielle des hémicelluloses. Cette action est encore améliorée par l'addition d'une source d'uréase. Cette dernière a donc certainement accéléré la transformation de l'urée en ammoniac. Toutefois, la détermination de l'urée résiduelle, qui devrait refléter l'importance de l'hydrolyse de l'urée,

Tableau III. Effet du traitement à l'urée sur la digestibilité *in vivo* de la paille.

<i>Traitements</i>	<i>Ingestion g de MS/kg P^{0,75}</i>	<i>Coefficient d'utilisation digestive apparent, %</i>				
		<i>MS</i>	<i>MO</i>	<i>MAT</i>	<i>CB</i>	<i>NDF</i>
T1	36,3	45,7	48,3	21,2	58,5	54,8
T2	36	49,8	54,4	59,1	65,2	59,9
T3	40,3	60,8	62,4	58,4	70,2	67,7
ESM ²	1,14	6,14	5,67	5,39	6,82	5,99
Effet	36,1 ***	12,9 ***	12,3 ***	126,2 ***	5,9 ***	9,5 ***

T1 : paille non traitée; T2 : paille traitée en balles; T3 : paille hachée et traitée.

² Idem Tableau I.

ne confirme pas cette constatation. Cela pourrait être dû au fait que les mesures n'ont été effectuées que 2 mois après le traitement. En effet, seule la quantité d'eau apportée semble agir significativement sur cette réaction. Cette dernière observation est d'ailleurs en accord avec les résultats rapportés par Williams *et al.* (1984). La quantité d'azote fixé est d'environ 25 à 31% de l'azote apporté par le traitement, quelles que soient les doses d'urée et d'eau appliquées. L'estimation de la part d'azote fixé est certainement biaisée, car des pertes inhérentes à la préparation des échantillons pour analyse sont inévitables dans nos conditions expérimentales. La détermination des fractions azotées sur le produit frais nous semble indiquée. De même, les teneurs en MS nécessiteraient une correction pour ce produit volatil. Hadjipanayiotou (1982) trouve que le taux de fixation de l'azote est de 44,4% après une durée de traitement de 30 jours. Au-delà, la quantité d'ammoniac libérée devient très faible. Des résultats de fixation d'azote assez comparables ont été obtenus avec traitement à l'ammoniac. Waagepetersen & Vestergaard-Thomsen (1976) trouvent que 32% de l'azote apporté par le traitement sont très fermement liés à la paille.

L'action positive du traitement à l'urée sur la digestibilité est comparable aux résultats obtenus avec la soude (par exemple Jackson, 1977; Garret *et al.*, 1979) ou à l'ammoniac (par exemple Sundstøl *et al.*, 1978; Cordesse & Tabatabai, 1981; Chermiti & Cordesse, 1986; Chenost & Dulphy, 1987). L'augmentation de la digestibilité *in vitro* de la MO est significativement plus importante en présence de l'enzyme uréolytique. Cette amélioration a été maximale (+ 43%) pour la dose d'urée de 60 g/kg de MS et 250 g d'eau. Toutefois, d'autres auteurs n'observent pas d'effets bénéfiques de l'adjonction d'une source d'uréase. Ainsi, Kiangi *et al.*

(1981) et Wanapat *et al.* (1985) trouvent que cet apport n'a pas d'effet significatif sur l'amélioration de la digestibilité des pailles. Jayasuriya & Pearce (1983) trouvent, quant à eux, que l'addition de l'uréase sous forme de graines de soja broyées améliore significativement la digestibilité et ramène la durée minimale de traitement à 2-4 jours. Les améliorations des DMO que nous obtenons ne sont probablement pas dues uniquement au traitement, mais aussi à la contribution des graines de soja, qui apportent en moyenne 11 g de MAT par kg de paille. Cette quantité, aussi faible soit-elle, constitue un apport d'acides aminés de meilleure valeur nutritive que l'azote non protéique apporté. Cet effet serait probablement plus marqué pour les digestibilités *in vivo* que pour les digestibilités *in vitro*.

L'addition d'eau semble, dans nos conditions expérimentales, être un facteur important pour la réussite du traitement. Cette constatation est confortée par les résultats rapportés par Williams *et al.* (1984) relatifs à l'augmentation de la digestibilité de la MS de la paille traitée à l'urée de 18 à 8% lorsque l'humidité initiale est, respectivement, de 400 et 300 g/kg. L'ammoniac provenant de l'urée n'agit qu'en présence d'eau et c'est l'ion ammonium (NH_4^+) qui est actif.

L'intérêt de l'humidification des pailles a été aussi montré à travers les résultats de Waiss *et al.* (1972), Sundstøl *et al.* (1979) et Solaiman *et al.* (1979). Cependant, un apport très élevé d'eau risque probablement d'entraver la diffusion du gaz et de favoriser le lessivage de l'urée. Cela est très net si on examine les MAT fixées qui sont supérieures avec l'addition de 250 g d'eau par kg de paille. Cette constatation souligne l'intérêt d'un bon mélange paille hachée, eau, urée.

Les améliorations de la digestibilité obtenue par les techniques *in vitro* sont

confirmées par les mesures *in vivo*. Cependant, il est généralement admis pour les fourrages traités aux alcalis que les digestibilités *in vitro* sont supérieures à celles obtenues *in vivo* (par exemple Klopfenstein *et al.*, 1972). Toutefois, nos résultats montrent le contraire. Jayasuriya & Perera (1982) rapportent le même phénomène avec de la paille de riz traitée avec de l'urée. Ils l'expliquent partiellement par une meilleure efficacité de l'activité des micro-organismes du rumen en présence d'une concentration suffisante en ammoniac. Ces améliorations sont analogues à celles obtenues par Jayasuriya (1981), Saadullah *et al.* (1981) et Schmidt *et al.* (1982).

La digestibilité des MAT de la paille tunisienne non traitée, sans complémentarisation, paraît plus élevée (+ 21,2%) que celle observée dans les pays de la rive nord de la Méditerranée, où elle est souvent négative (par exemple Hadjipanayiotou, 1982). La présence d'adventices de graines et d'un rapport feuilles/tiges élevé pourraient être à l'origine de ces différences. C'est ainsi que la paille de blé dur utilisée dans nos essais a des teneurs en NDF plus réduites et en MAT plus élevées que celles habituellement rencontrées en France (Cordesse & Taba-Tabai, 1981).

L'amélioration spectaculaire de la fixation d'azote sur la paille traitée (taux multiplié par 2,7) est limitée par l'augmentation concomitante de la fraction azotée non digestible. Les mêmes résultats ont déjà été montrés par Benhamed & Dulphy (1986) avec des foins et des pailles après traitement à l'urée ou à l'ammoniac.

La paille hachée réagit mieux vis-à-vis du traitement à l'urée, cela étant probablement dû à une répartition plus homogène du réactif dans la masse, si l'on considère que le hachage seul n'améliore pas la digestibilité. Il est établi que le hachage ou

le broyage de la paille augmentent les quantités ingérées et non les digestibilités (Greenhalgh & Wainman, 1972).

Le traitement de la paille conditionnée en balles et arrosée avec une solution d'urée pose sans doute un problème au niveau de la diffusion homogène du réactif. Certaines zones (le plus souvent la partie supérieure) de la meule sont plus humides que d'autres. De ce fait, à ces endroits, la paille est certainement plus riche en azote. Ces aspects posent le problème d'échantillonnage et expliquent les différences en MS que nous observons entre de la paille traitée en balles et de la paille hachée traitée (Tableau II).

Aussi, au niveau de l'utilisation par les animaux, une certaine prudence s'imposerait, afin d'éviter des risques de consommation excessive d'azote non protéique.

CONCLUSION

La paille de blé dur d'origine tunisienne étudiée au cours de cette expérience est relativement moins riche en pailles totales (74,5% de la MS) et présente une digestibilité *in vivo* de la MO plus élevée (48,3%) que les pailles de blé dur cultivées à Montpellier. Ces valeurs sont probablement dues à des conditions culturelles différentes, à la présence d'adventices. Les pailles tunisiennes pourraient donc avoir une valeur nutritive, avant traitement, supérieure à celle apportée par les pailles récoltées en France.

Nos résultats nous permettent de proposer, dans les conditions tunisiennes, l'emploi de l'urée comme source d'ammoniac pour le traitement des pailles. L'addition d'une source uréolytique comme la fa-

rine de soja améliore légèrement l'uréo-lyse, sans toutefois assurer une transformation totale de l'urée en ammoniac. Le traitement à la dose de 60 g d'urée, 250 g d'eau et 30 g de farine de soja par kg de MS de paille hachée permet d'obtenir la plus forte digestibilité *in vitro*. Les essais conduits *in vivo* ont montré la nécessité d'assurer un mélange efficace de l'urée et de la paille. En effet, le traitement avec de la paille hachée a permis, avec une dose de 40 g d'urée et 250 g d'eau par kg de paille, une amélioration de la digestibilité de 14 points alors que cette amélioration n'a été que de 6 points lorsque le traitement a été réalisé par arrosage des balles.

RÉFÉRENCES

- AOAC (1975) *Official Methods of Analysis*, 12th ed. Washington, DC
- Benhamed H. & Dulphy J.P. (1986) Influence du traitement des foin à l'ammoniac sur leur valeur azotée appréciée par la méthode des bilans azotés. *Ann. Zootech.* 35, 387-400
- Chermiti A. & Cordesse R. (1986) Valorisation des fourrages par l'ammoniac. *Doc. Tech. INRAT (Tunisie)* 98
- Chenost M. & Dulphy J.P. (1987) Amélioration de la valeur alimentaire des mauvais foin et des pailles par différents types de traitements. *In : Les Fourrages Secs* (Demarquilly C., ed.), Paris, pp. 230-242
- Cordesse R. (1980) Le traitement à l'ammoniac : une bonne solution pour valoriser vos pailles. *Elevage* 107, 35-38
- Cordesse R. & Taba-Tabai M. (1981) Alimentation d'agneaux à partir de la paille traitée à l'ammoniac. 1. Valeur nutritive, croissance et qualité des carcasses des animaux. *Ann. Zootech.* 30, 137-149
- Garret W.N., Walker H.C., Kohler C.O. & Hart M. (1979) Response of ruminants to a diet containing sodium hydroxide or ammonia treated rice straw. *J. Anim. Sci.* 48, 92-103
- Greenhalgh J.F.D. & Wainman F.W. (1972) The nutritive value of processed roughage for fattening cattle and sheep. *Proc. Br. Soc. Anim. Prod.* 1, 61-72
- Hadjipanayiotou M. (1982) The effect of ammoniation using urea on the intake and nutritive value of chopped barley straw. *Grass Forage Sci.* 37, 89-93
- INRA (1984) *L'Alimentation des Animaux Monogastriques (Porc, Lapin, Volailles)*. INRA, Paris, p. 200
- Jackson M.G. (1977) Review article : the alkali treatment of straws. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2, 105-130
- Jayasuriya M.C.N. (1981) Effect of urea-ensiling of rice straw on digestibility, voluntary intake and VFA production in growing buffalo calves. *In : Proc. 2nd Coordination Meeting on the Use of Nuclear Techniques to Improve Domestic Buffalo Production in Asia-Bangkok* (Thailand), March, 1981, pp. 46-50
- Jayasuriya M.C.N. & Perera H.G.D. (1982) Urea, ammonia treatment of rice straw to improve its nutritive value for ruminants. *Agric. Wastes* 4, 143-150
- Jayasuriya M.C.N. & Pearce G.R. (1983) The effect of urease enzyme on treatment time and the nutritive value of straw treated with urea ammonia. *Anim. Feed Sci. Technol.* 8, 271-281
- Kiangi E.M.I., Kategile J.A. & Sundstøl F. (1981) Different sources of ammonia for improving the nutritive value of low quality forages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 6, 377-386
- Klopfenstein T.J., Krause V.E., Jones M.J. & Woods W. (1972) Chemical treatment of low quality roughages. *J. Anim. Sci.* 35, 418-422
- Oji U.I., Mowat D.N. & Winch J.E. (1977) Alkali treatment of corn stover to increase nutritive value. *J. Anim. Sci.* 44, 798-802
- O'Shea J., Lawlor M.J. & Drennan M.J. (1981) Chemical treatment improves the feeding value of straw. *Farm Food Res.* 11, 174-176
- Owen E., Klopfenstein T. & Urio N.A. (1984) Treatment with other chemicals. *In : Straw and Other Fibrous By-Products as Feed* (Sundstøl F. & Owen E., eds.), *Dev. Anim. Vet. Sci.* 11
- Saadullah M., Haque M. & Dolberg F. (1981) Effectiveness of ammonification through urea in improving the feeding value of rice straw in ruminants. *Trop. Anim. Prod. Health* 6, 60-63

- Schmidt L., Weissbach F., Block H.J. & Kati H. (1982) Harnstoff als Konservierungsmittel bei der Lagerung feuchter Futterstoffe. *Arch. Tierernähr.* 11, 57-68
- Solaiman S.G., Horn G.W. & Owens F.N. (1979) Effect of ammonia hydroxide treatment on the nutritive value of straw. *J. Anim. Sci.* 49, 802-808
- Sundstøl F.E., Coxworth E. & Mowat D.N. (1978) Improving the nutritive value of straw and other low quality roughages by treatment with ammonia. *World Anim. Rev.* 26, 13-21
- Sundstøl F.E., Said A.N. & Arnason J. (1979) Factors influencing the effect of chemical treatment on the nutritive value of straw. *Acta Agric. Scand.* 29, 179-190
- Tilley J.M. & Terry R.A. (1963) A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Br. Grassl. Soc.* 18, 104-111
- Van Soest P.J. (1973) The uniformity and nutritive availability of cellulose. *Fed. Proc.* 32, 1804-1808
- Waagepetersen J. & Vestergaard-Thomsen K. (1976) Metoder til ammonia-behandling af halm belyst ved laboratorie forsøg. *Ugeskr. Agron. Hort. Forstk. Lic.* 121, 714-716
- Waiss A.G., Guggolz J., Kohler G.O., Walker H.G. & Garret W.N. (1972) Improving digestibility of straw for ruminant feed by aqueous ammonia. *J. Anim. Sci.* 35, 109-112
- Wanapat M., Sundstøl F. & Garmo T.H. (1985) A comparison of alkali treatment methods to improve the nutritive value of straw. I. Digestibility and metabolisability. *Anim. Feed Sci. Technol.* 12, 295-309
- Williams P.E.V. & Innes G.M. (1982) Effects of ammonia from urea hydrolysis on the dry matter loss from dracon bags of barley straw. *Anim. Prod.* 34, 385 (abstr.)
- Williams P.E.V., Innes G.M. & Brewer A. (1984) Ammonia treatment of straw via the hydrolysis of urea. 1. Effects of dry matter and urea concentration on the rate of hydrolysis of urea. *Anim. Feed Sci. Technol.* 11, 103-113