

TRAITEMENT DES PAILLES À L'URÉE

I - CONDITIONS D'UTILISATION DE L'URÉE, SOURCE D'AMMONIAC, DANS LE TRAITEMENT DE LA PAILLE

LA QUANTITÉ DE PAILLES UTILISÉES DANS L'ALIMENTATION DES RUMINANTS DEVIENT IMPORTANTE LORS DES ANNÉES DE DÉFICIT FOURRAGER. LES PAILLES DE céréales traditionnelles (blé, orge) sont les plus abondantes. Ce sont des résidus très chargés en constituants pariétaux mais pauvres en matières azotées, en minéraux et en vitamines. Les pailles sont donc peu digestibles et elles sont, en outre, consommées en faibles quantités. Elles ne couvrent même pas les besoins des bovins d'élevage en croissance modérée ou des bovins à viande en gestation ou en lactation (HODEN, 1973 ; DEMARQUILLY et PETIT, 1976).

Une complémentation appropriée permet déjà d'améliorer la valeur alimentaire de la paille (HODEN, 1972 ; DULPHY, 1978). Celle-ci est encore meilleure si la paille a été traitée chimiquement en vue d'augmenter sa concentration en énergie digestible.

Parmi les substances chimiques utilisées à cette fin, la soude a été la première et la plus utilisée (BECKMAN, 1921 ; KLOPFENSTEIN et WOODS, 1970 ; KLOPFENSTEIN et al., 1972 ; OLOLADE et al., 1970). L'ammoniac, aqueux ou gazeux, est de plus en plus utilisé car il augmente non seulement la valeur énergétique de la paille mais également sa teneur azotée (SUNDSTOL et al., 1978).

Cependant, l'emploi de l'ammoniac aqueux ou gazeux nécessite un équipement souvent difficile à acquérir et à manipuler dans les exploitations. L'urée peut, par hydrolyse, générer l'ammoniac nécessaire au traitement. Les conditions de son utilisation pratique ont été étudiées dans différentes situations climatiques (WILLIAMS et INNES, 1983 ; JAYA-SURIYA et PERERA, 1982 ; SAADULLAH et al., 1981). Dans une première étape, nous avons jugé utile de définir les conditions optimales de l'hydrolyse de l'urée et les améliorations de digestibilité et de teneur en azote de la paille d'orge qui en résultent pour nos propres conditions climatiques tunisiennes.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Traitement

Des échantillons de paille d'orge pesant 150 g ont été pris et individuellement brassés dans un bac en plastique avec une solution d'urée, de façon à apporter 0, 2, 4 ou 8 g d'urée et 45, 60 ou 75 ml d'eau pour 100 g de paille brute. Les échantillons préparés ont été mis à incuber à 37 °C dans des récipients en verre à fermeture hermétique pendant 30 jours. Chaque combinaison urée × eau a été effectuée en double.

Échantillonnage

A la fin de la période d'incubation, des échantillons frais ont été immédiatement mis à macérer dans l'eau pendant 24 heures et filtrés. Les filtrats ont servi à la mesure du pH et du taux d'uréolyse. Le taux d'uréolyse est mesuré par le rapport suivant : azote ammoniacal (N-NH₃) du

filtrat de macération de la paille traitée, moins N-NH₃ du filtrat de macération de la paille non traitée, divisé par l'azote apporté par l'urée.

D'autres échantillons ont été séchés à l'air ou à l'étuve à 55 °C. Sur les échantillons séchés à l'air on a dosé l'azote total (NT). Sur les échantillons séchés à l'étuve on a dosé les matières minérales (M.M.), les constituants organiques des parois cellulaires (N.D.F. et N.D.F. de l'A.D.F., méthode VAN SOEST), l'azote ammoniacal (sur filtrat de macération), l'azote total et la digestibilité *in vitro*.

La détermination de N.D.F. (Neutral Detergent Fiber) et du N.D.F. de l'A.D.F. (Acid Detergent Fiber) a été utilisée pour calculer les teneurs en ligno-cellulose (matière organique du N.D.F. de l'A.D.F.) et en hémicellulose (matière organique du N.D.F. — ligno-cellulose). La détermination des taux d'azote (totaux et ammoniacaux) des filtrats a permis de calculer les taux d'azote fixés (N.F.) :

$$\% \text{ N.F.} = (\text{N paille traitée} - \text{N paille non traitée}) \times 100/\text{N urée.}$$

Digestibilité *in vitro*

On a utilisé le premier stade (digestion microbienne) de la technique de TILLEY et TERRY (1963). De chaque échantillon séché à l'étuve et broyé (tamis à mailles de 0,5 mm de diamètre), deux sous échantillons d'environ 0,5 g ont été prélevés pour incubation pendant 48 heures à 39 °C en présence de 10 ml de jus de rumen et de 40 ml de salive artificielle (Mc DOUGALL, 1948). L'inoculum a été prélevé dans les rumens de trois moutons fistulés, 4 à 5 heures après le repas (foin d'avoine à volonté + 200 g de concentré) et filtré sur huit épaisseurs de gaze chirurgicale. La salive artificielle a été enrichie en SO₄Fe₇H₂O, COCl₂ et SO₄Zn₇H₂O à raison de, respectivement, 75,0, 2,0 et 0,1 mg/l (TISSERAND et ZELTER, 1965) et en urée (1 g/l), en bleu de méthylène (0,0004 %) et en cystéine-HCl (GOERING et VAN SOEST, 1970). Le pH de la salive artificielle avant l'addition de cystéine était de 6,80.

A la fin de la période d'incubation, les cultures ont été conservées par congélation avant de déterminer les teneurs en N.D.F. déminéralisé. Ce dernier constitue l'indigestible organique alimentaire (VAN SOEST, 1982).

Analyses chimiques

Le pH a été mesuré par un pH mètre à électrodes combinées. N-NH₃ a été déterminé par la méthode de l'oxyde de magnésium (AOAC, 1975) où celui-ci a été remplacé par la soude. L'azote total a été déterminé par la méthode de KJELDAHL (AOAC, 1975). Les matières minérales ont été déterminées par incinération à 550 °C dans un four à moufle (AOAC, 1975). La fraction organique des constituants pariétaux a été déterminée selon la méthode modifiée de GOERING et VAN SOEST (1970) ne contenant ni sulfite de sodium ni décahydronaphthalène (ROBERSTON et VAN SOEST, 1977). Toutes les analyses ont été faites en double.

Analyse statistique

On a effectué une analyse de variance à deux facteurs sur les données obtenues. L'un des facteurs concerne l'apport d'eau (3 niveaux) et l'autre l'apport d'urée (4 niveaux). Lorsque l'effet d'un ou des deux facteurs est significatif ($P < 0,05$) les moyennes ont été comparées par la méthode de DUNETT (1964) décrite par DAGNELIE (1975).

RÉSULTATS

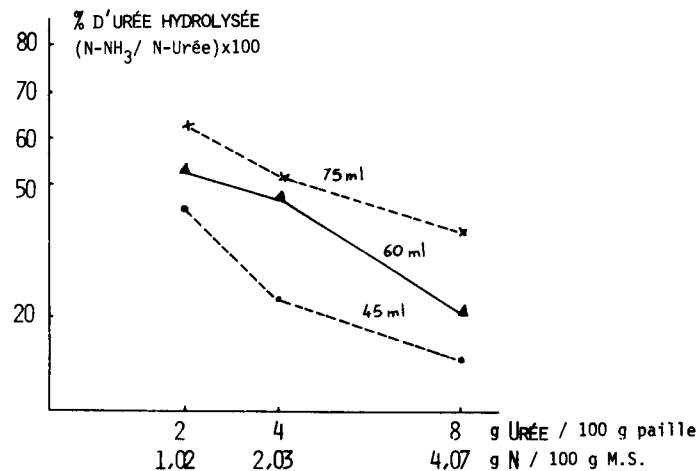
Teneur en matière sèche

Le traitement que nous avons pratiqué a amené la teneur en matière sèche de la paille de 90 % à une valeur moyenne égale à 59,2 %. Elle était de 65,1, 58,9 ou 53,7 % pour les trois niveaux croissants d'apport d'eau.

Hydrolyse de l'urée

L'hydrolyse de l'urée ajoutée a été mise en évidence par le dégagement d'ammoniac et la présence d'azote ammoniacal (N-NH₃) dans les filtrats de macération des échantillons prélevés aussitôt après l'ouverture des récipients. La figure 1 montre le taux minimum pour chaque apport d'eau. Celui-ci a augmenté ($P < 0,05$) avec le volume d'eau apporté mais a

FIGURE 1
HYDROLYSE DE L'URÉE AJOUTÉE
(en %, selon la quantité d'eau en ml ajoutée pour 100 g de paille)



diminué ($P < 0,05$) quand l'apport d'urée a augmenté. Les moyennes étaient de 28,9, 41,6 et 52,0 et de 54,0, 41,3 et 27,1 % pour respectivement les trois niveaux croissants d'apport d'eau et d'urée.

Teneur en azote total

Les teneurs en N.T. des pailles séchées à l'air jusqu'à une teneur moyenne en matière sèche (M.S.) de 71,71 % n'ont pas été affectées ($P > 0,05$) par le volume d'eau mais ont augmenté ($P < 0,05$) avec l'apport d'urée. En moyenne, la teneur en N.T. est passée de 0,88 pour le témoin à 1,52, 2,06 et 3,88 % pour les trois niveaux croissants d'apport d'urée (tableau I). L'azote fixé sur la paille (en % de l'azote ajouté) n'a pas été affecté ($P > 0,05$) par le volume d'eau. L'azote fixé sur la paille traitée à 8 % d'urée a été supérieur ($P < 0,05$) à celui fixé sur la paille traitée à 2 ou

TABLEAU I
POURCENTAGES D'AZOTE FIXÉ SUR PAILLE TRAITÉE
À L'URÉE ET SÉCHÉE À L'AIR OU À L'ÉTUVE

Urée ajoutée g pour 100 g de paille	Eau ajoutée ml	Paille séchée à l'air (1)		Paille séchée à l'étuve (1)	
		N total fixé % de l'N ajouté	N total fixé % de l'N ajouté	N total fixé % de l'N ajouté	N-NH3 fixé % de l'N fixé
2	45	58,47	21,61	41,24	
	60	58,43	22,59	33,25	
	75	72,69	14,73	61,07	
	Moyenne	63,20 a	19,64 a	45,19 a	
4	45	67,32	34,64	23,39	
	60	52,57	28,00	29,99	
	75	54,54	22,84	41,97	
	Moyenne	58,14 a	28,55 b	31,79 b	
8	45	81,94	58,11	13,83	
	60	80,46	55,40	14,82	
	75	58,97	44,03	12,09	
	Moyenne	73,79 b	52,51 c	13,58 c	

a,b,c,d : des moyennes de la même colonne portant différentes lettres sont significativement différentes ($P < 0,05$).

* La teneur moyenne en MS de la paille après séchage à l'air a été de 71,7 %.
 La teneur moyenne en azote total de la paille non traitée séchée à l'air ou à l'étuve a été respectivement de 0,88 et 0,77 % de la MS.

à 4 % d'urée. Les valeurs moyennes ont été de 63,2, 58,1 et 73,8 % pour les trois niveaux croissants d'apport d'urée.

Les teneurs en N.T. des pailles séchées à l'étuve ont été égales à 0,77 pour le témoin et 0,97, 1,35 et 2,90 % de la M.S. pour les trois niveaux croissants d'urée. La teneur moyenne de la paille traitée à 75 ml d'eau a été plus faible (N.T. = 1,38) ($P < 0,05$) que celle des pailles traitées à 45 ml (N.T. = 1,61 %) ou 60 ml (N.T. = 1,51 %). Les pailles séchées à l'étuve ont fixé en moyenne 19,6, 28,5 et 52,5 % de l'azote ajouté pour les trois niveaux croissants d'apport d'urée. L'ammoniac a représenté 45,2, 31,8 ou 13,6 % de l'azote fixé pour les trois niveaux croissants d'apport d'urée.

Constituants membranaires

Les teneurs en N.D.F., ligno-cellulose et hémicellulose des pailles traitées et non traitées figurent dans le tableau II. Le traitement a diminué ($P < 0,05$) la teneur en N.D.F. La diminution a augmenté avec la dose d'urée. La teneur en ligno-cellulose a seulement diminué ($P < 0,05$) pour les doses 4 et 8 % d'urée. Quant à la teneur en hémicellulose, elle a diminué ($P < 0,05$) après traitement, et surtout avec la dose 8 % d'urée. Les teneurs en N.D.F., ligno-cellulose et hémicellulose n'ont pas été affectées ($P > 0,05$) par le volume d'eau. L'interaction eau \times urée n'a pas été significative ($P > 0,05$).

TABLEAU II
TENEUR EN MATIÈRE ORGANIQUE
DES CONSTITUANTS MEMBRANAIRES DE LA PAILLE D'ORGE
TRAITÉE OU NON À L'URÉE (en %)

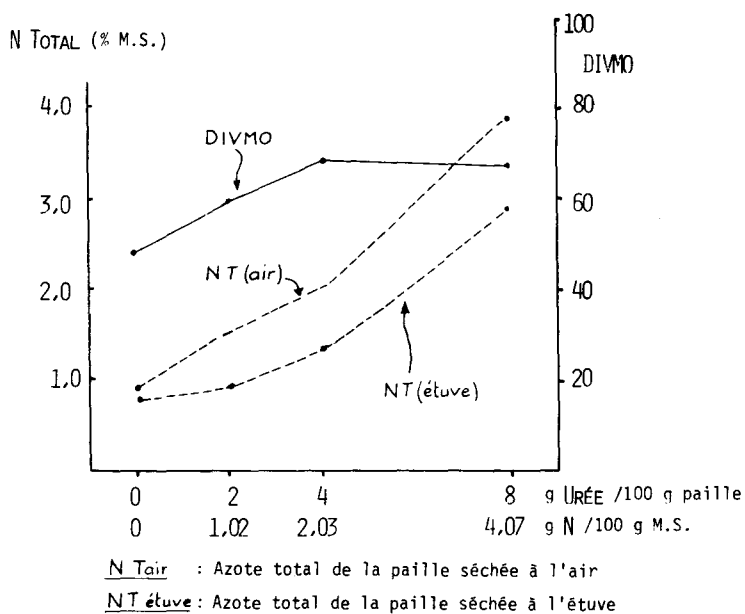
Urée (g/100 g paille)	0	2	4	8
Matière organique du N.D.F.	75,89 a	73,19 b	71,60 c	68,19 d
Ligno-cellulose	46,53 a	46,28 a	44,63 b	43,93 b
Hémicellulose	29,19 a	26,91 b	26,96 b	24,25 c

a,b,c,d : Les moyennes de la même ligne portant différentes lettres sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Digestibilité in vitro

Les valeurs de digestibilité in vitro de la matière organique (D.I.V.M.O.) sont représentées sur la figure 2. La digestibilité n'a pas été affectée ($P > 0,05$) par le volume d'eau du traitement et l'interaction eau \times urée n'a pas été significative ($P > 0,05$). Elle a, en revanche, augmenté avec l'apport d'urée compris entre 0 et 4 %. Les valeurs moyennes ont été

FIGURE 2
EFFET DU NIVEAU D'APPORT D'URÉE SUR LA TENEUR
EN AZOTE TOTAL (N.T.) ET SUR LA DIGESTIBILITÉ IN VITRO
DE LA MATIÈRE ORGANIQUE (D.I.V.M.O.) DE LA PAILLE
 (moyennes générales pour les 3 volumes d'eau rajoutés)



égales à 47,6 % pour le témoin contre 59,5, 68,1 et 67,4 ; soit une amélioration égale à 11,9, 20,5 et 19,8 points, pour les trois niveaux croissants d'apport d'urée.

DISCUSSION

La paille non traitée avec l'urée (eau sans urée), ayant en moyenne 58 % de M.S., s'est mal conservée. Elle a présenté des taches de moisissures blanches. En revanche, il n'y avait apparemment pas de telles moisissu-

res sur les pailles traitées avec l'urée. L'ammoniac libéré par hydrolyse de l'urée aurait inhibé le développement des moisissures en accord avec l'observation de KNAPP et al. (1974, 1975). Ces auteurs ont montré que des foins humides (68 % de M.S.) traités avec 1 % d' NH_3 s'étaient conservés sans apparition de moisissures contrairement aux mêmes foins non traités.

Dans notre expérience le taux d'hydrolyse de l'urée a augmenté avec l'apport d'eau mais il a diminué avec la quantité d'urée (figure 1). Il a été cependant sous-estimé : en réalité, l'hydrolyse serait complète en raison des conditions de pH ($\text{pH} > 8$) et de la durée d'action (30 jours) apparemment favorable à l'action de l'uréase. TODOROV (1982) a rapporté que la plupart de l'urée ajoutée à raison de 2 à 10 g/100 g de M.S. de paille a été dégradée dans les 2 à 8 jours après traitement.

Nous n'avons pas pu évaluer le taux d'urée résiduelle mais, dans un essai récent qui fera l'objet d'un autre article, 5 t de paille traitée ont été utilisées sans apparition de signes de toxicité pour l'alimentation de taurillons (50 % de la ration) et de moutons (mesures de digestibilité). Le niveau d'urée résiduelle était donc bien compatible avec l'alimentation animale.

Le traitement à l'urée a augmenté la teneur azotée de la paille mais l'azote fixé a diminué après séchage à l'étuve (tableau I et figure 2). Cette perte se serait produite sous forme d'ammoniac, en accord avec les conclusions de GORDON et CHESSON (1983) qui ont rapporté une diminution de la teneur en azote pendant le stockage de la paille traitée avec l'ammoniac. Dans notre expérience, une fraction variant de 13,6 à 45,2 % de l'azote fixé se trouve sous forme ammoniacale (tableau I), l'autre serait liée à l'A.D.F. SOLAIMAN et al. (1979) ont trouvé que le traitement de la paille de blé avec de l'ammoniaque (3,3 g d'équivalent NH_3 /100 g M.S.) a augmenté la teneur en azote de 0,78 à 1,73 g / 100 g de M.S., soit une fixation égale à 34,9 % de l'azote ajouté. N- NH_3 et N-NDF ont représenté, respectivement, 43,4 et 12,6 % de l'azote fixé. CORDESSE et TABA-TABAI (1981) ont rapporté que le traitement de la paille de blé avec 5 % d' NH_3 a permis la fixation de 1,04 g d'azote / 100 g M.S. et que l'azote fixé a été de faible solubilité.

L'enrichissement de la paille en azote par les traitements à l'ammoniac a été bien démontré dans plusieurs autres études (HORTON, 1978 ; 213
à l'urée en Tunisie

LAWLOR et O'SHEA, 1979). L'efficacité de l'utilisation par l'animal de l'azote fixé sur la paille a été aussi démontrée (ARNASON et MO, 1977 ; MOORE et al., 1983). L'apport d'azote par la paille traitée peut être remplacé par la distribution d'un supplément azoté (farines animales, tourteaux) au niveau de la mangeoire comme le suggèrent les études d'ARNASON et MO (1977) et MOORE et al. (1983).

Le traitement à l'urée a amélioré la D.I.V.M.O. (figure 2). L'amélioration est comparable à celles dues aux traitements à l'ammoniac (KJOS et al., 1987 ; SOLAIMAN et al., 1979) ou à l'urée (TODOROV, 1982).

L'augmentation de la digestibilité était due à la solubilisation d'une fraction du N.D.F. par le traitement (effet direct) et à l'intensification de l'action des micro-organismes utilisés dans la détermination de la digestibilité (effet indirect).

Les quantités solubilisées du N.D.F. et celles de ses composantes hémicellulosiques et ligno-cellulosiques ont augmenté avec la dose d'urée (tableau III). Cet effet direct a été aussi rapporté par LAURENT et al.

TABLEAU III
EFFET DU TRAITEMENT SUR LA DIGESTIBILITÉ
DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DE LA PAILLE
TRAITÉE AVEC L'URÉE

Urée (g/100 g paille)	2	4	8
Augmentation de la DIVMO (points)	11,85	20,48	19,80
Effet direct ou NDF solubilisé (g/100 g M.O.)	3,00	4,83	8,60
- Hemicellulose solubilisée (g/100 g M.O.)	2,28	2,22	4,93
- Lignocellulose solubilisée (g/100 g M.O.)	0,25	1,19	2,60
Effet indirect ou M.O. rendue digestible (g/100 g M.O.)	8,85	15,65	11,40

214 DIVMO du témoin = 47,6 % (Digestibilité in vitro de la matière organique)
M.O. : matière organique

Traitement des pailles

(1982) et HORTON (1983) qui ont trouvé une diminution des teneurs en N.D.F., hémicellulose, cellulose et lignine après traitement avec l'ammoniac. En revanche, SOLAIMAN et al. (1979) ont trouvé une diminution du N.D.F. (-6,3 %) et de l'hémicellulose (-10,3 %) mais une augmentation de l'A.D.L. (+ 0,8 %) et de la cellulose (+ 2,8 %). La contribution de l'effet indirect a été maximale pour le traitement à 4 % d'urée. Cet effet serait dû à une altération de la structure cristalline de la cellulose (BAKER et al., 1959 ; HAN et al., 1983).

CONCLUSION

Les résultats de la présente étude indiquent que l'urée peut se substituer à l'ammoniac dans le traitement de la paille. Celui-ci enrichit la paille en azote et améliore la digestibilité de la matière organique. La combinaison optimale semble être 45 ml d'eau × 4 g d'urée / 100 g de paille. Un traitement à plus grande échelle à la température ambiante suivi d'études in vivo (bilan azoté, performances animales) est nécessaire pour tester l'efficacité de la combinaison et sera présenté ultérieurement.

H. ABDOULI et T. KHORCHANI,
E.S.A. Mateur, Tunisie

avec la collaboration technique de S. LARBI

LISTE DE MOTS-CLÉS

Afrique du Nord, digestibilité, fraction azotée, in vitro, paille, pays méditerranéen, Tunisie, urée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AOAC (1975) : *Official Methods of Analysis*, (12 th), Ass. of official analytical chemists, Washington DC.
- ARNASON J. et MO Magne (1977) : « Ammonia treatment of straw », *Report of 3rd straw utilization conf.*, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, A.R. Staniforth (Ed).
- BECKMANN E. (1921) : Conversion of grain straw and lupins into feeds of high nutrient value, *Festscher, Kaiser Wilhelm Ges. Ford. Wiss. Zehnjährigen Jubiläum*, 18-26.
- BAKER T.I., QUIKE G.V., BENTLEY O.G., JOHSON R.R., MOXON A.L. (1959) : *J. Anim. Sci.*, 18, 655 (cité par HAN et al. 1983).
- CORDESSE R., TABA-TABAI (1981) : « Alimentation d'agneaux à partir d'une paille traitée à l'ammoniac. I - Valeur nutritive, croissance et composition », *Ann. Zootch.*, 30, 137.
- DAGNELIE P. (1975) : *Théorie et méthodes statistiques*, 2^e éd., vol. 2, Press. Agron. Gembloux AS.BL.
- DEMARQUILLY C., PETIT M. (1976) : *Utilisation des pailles et autres sous-produits celluloseux de grandes cultures dans les systèmes de production animale intensifs. Comparaison avec les systèmes classiques*, F.A.O., Rome.
- DULPHY J.P. (1978) : « La valeur alimentaire des pailles », *Rev. Élevage*, N° Spécial Fourrage sec.
- GORDON A.H., CHESSON A. (1983) : « The effect of prolonged storage on the digestibility and nitrogen content of ammoniated barley straw », *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 8, 147.
- GOERING H., VAN SOEST P.J. (1970) : *Forage analyses* (Apparatus, reagents, procedures, and some applications), A.R.S., U.S.D.A. Agr., N° 379.
- HAN Y.W., CATALANO E.A., CIEGLER A. (1983) : « Treatments to improve the digestibility of crop residues », *Wood and agricultural residues. Research on use for feed, fuel and chemicals*, Academic press, New York.
- HODEN A. (1972) : « Valeur alimentaire des fourrages pauvres pour les ruminants. Effet de la complémentation azotée », *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.*, 12, 7.

- HODEN A. (1973) : « Alimentation azotée des bovins d'élevage et des troupeaux allaitants recevant des fourrages de faible valeur nutritive », *Journées d'information sur l'alimentation azotée des animaux*, 21 - 22 novembre.
- HORTON G.M.J. (1978) : « The intake and digestibility of ammoniated cereal straws by cattle », *Can.J.Anim. sci.*, 58, 471.
- HORTON G.M.J. (1983) : « Composition and digestibility of cell Wall components in cereal straws after treatment with anhydrous ammonia », *Can.J.Anim. sci.*, 61, 1059.
- JAYASURIYA M.C.N., PERERA H.G.D. (1982) : « Urea-ammonia treatment of rice straw to improve its nutritive value for ruminants », *Agri. Wastes*, 4, 143-150.
- KJOS N.P., SUNDSTOL F., MC BURNEY M.I. (1987) : « The nutritive value of weather-damaged and good-quality straw of barley, wheat and oat, untreated and treated with ammonia or sodium hydroxide », *Anim. Physiol. and Anim. Nutr.*, 57, 1-15.
- KLOPFENSTEIN T.J., WOODS W.R. (1970) : « Sodium and potassium hydroxide treatment of wheat straw and corn cobs », *J. Anim. Sci.*, 31, 246.
- KLOPFENSTEIN T.J., KRAUSE V.E., JONES M.J., WOODS W.R. (1972) : « Chemical treatment of low quality roughages », *J. Anim. Sci.*, 35, 418.
- KNAPP W.R., HOLT D.A., LECHTENBERG V.L. (1974) : « Anhydrous ammonia and propionic acid as hay preservatives », *Agron. J.*, 66, 823.
- KNAPP W.R., HOLT D.A., LECHTENBERG V.L. (1975) : « Hay preservation and quality improvement by anhydrous ammonia treatment », *Agron. J.*, 67, 766.
- LAWLOR M.J., O'SHEA J. (1979) : « The effect of ammoniation on the intakes and nutritive value of straw », *Anim. Feed Sci. Technol.*, 4, 169.
- LAURENT F., BLANCHART G., VINGNON B. (1982) : « Influence des traitements à l'ammoniac sur la composition de la paille et son utilisation par les ruminants », *Bull. E.N.S.A. Nancy*, 24.
- MC DOUGALL E.I. (1948) : « Studies of ruminal saliva : The composition and out put of sheep's saliva », *Biochem. J.*, 43, 49.
- MOORE K.J., LECHTENBERG K.S., HENDRIX K.S., HERTEL J.M. (1983) : « Improving hay quality by ammoniation », *Nut. Abstr. Rev.*, Serie B, vol. 53, N° 7.
- OLOLADE B.G., MOWAT D.N., WINCH J.E. (1970) : « Effect of processing methods on the in vitro digestibility of sodium hydroxide treated roughages », *Can. J. Anim. Sci.*, 50, 657.

- ROBERSTON J.B., VAN SOEST P.J. (1977) : « Dietary Fiber estimation in concentrate feedstuffs », *J. Anim. Sci.*, 45 (suppl. 1), 254.
- 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.*, 7, 187-190.
- SOLAIMAN S.G., HORN G.W., OWENS F.N. (1979) : « Ammonium hydroxide treatment on wheat straw », *J. Anim. Sci.*, 49, 802.
- SUNDSTOL F., COXWORTH E., MOWAT D.N. (1978) : « Improving the nutritive value of straw and other low quality roughages by treatment with ammonia », *World Anim. Review*, 26, 13-21.
- TILLEY J.M., TERRY R.A. (1963) : « A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops », *J. Brit. Grassl. soc.*, 18, 104.
- TISSERAND J.L., ZELTER S.Z. (1965) : « Essai de normalisation d'une technique de mesure de la digestion des fourrages in vitro (rumen artificiel) », *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 5, 101.
- TODOROV N.A. (1982) : « Ensiling waste roughage with urea to increase energy and protein value », *Nut. Abst. Rev.*, Serie B, vol. 53, N° 9.
- VAN SOEST P.J. (1981) : « Limiting factors in plant residues of low biodegradability », *Agr. envir.*, 6, 135.
- VAN SOEST P.J. (1982) : *Nutritional ecology of the ruminant*, O and B Books, Inc Oregon, U.S.A.
- WILLIAMS P.E.V., INNES G.M. (1983) : « Factors affecting the hydrolysis of urea when applied to barley straw », *Br. Soc. Anim. Prod., winter Meeting, paper N° 36*.