

Les pailles traitées à l'ammoniac provenant de l'hydrolyse de l'urée dans l'alimentation de génisses de race laitière en croissance hivernale

M Chenost ¹, JM Besle ²

avec la collaboration de JP Chaise, JP Garel, L l'Hotelier

¹ Unité valeur alimentaire;

² SRNH-INRA de Clermont-Ferrand, Theix, Unité de la digestion microbienne,
63122 Saint-Genès-Champagnelle, France;

(Reçu le 26 Septembre 1991; Accepté le 29 Janvier 1992)

Résumé — L'objet de cette étude était : 1) de tester la possibilité de traiter des pailles par hydrolyse de l'urée apporté non plus manuellement mais mécaniquement au champ avec des quantités d'eau réduites et 2) d'évaluer l'intérêt de tels traitements par comparaison à ceux à l'ammoniac anhydre pour les bovins en croissance modérée pour lesquels les références font défaut en régions tempérées. On a réalisé pour cela deux essais. Une paille de blé (P1) a été traitée en 1987 avec de l'urée (6 kg/100 kg de paille) incorporée à la paille, soit par aspersion manuelle des balles rondes avec une solution apportant 0,12 kg de soja cru (source d'uréase) par 100 kg de paille et portant l'humidité de celle-ci à 30% (paille P2), soit directement au moment de la fabrication des balles rondes. Dans ce dernier cas, l'urée était incorporée soit en solution par une rampe d'aspersion placée au-dessus du pick-up de la presse (paille P6, mêmes quantités d'urée, de soja et d'eau que P2), soit sous forme solide avec (paille P3) ou sans soja (pailles P4 et P5), l'eau étant apportée séparément mais simultanément dans la rampe d'aspersion. Les taux d'humidité étaient de 30% pour P3 et P5 mais seulement de 25% pour P4. Ces pailles, dont on mesurait parallèlement la digestibilité sur moutons (quantités limitées), ont été distribuées à volonté par séquence de 4 semaines par paille (2 semaines d'adaptation suivies de 2 semaines de mesure des quantités ingérées) à 2 lots de 10 génisses PN de 2 sans avec 1.72 kg d'orge et du tourteau de soja : 0,43 kg pour P1 et 0,18 kg pour les pailles traitées. Les traitements à l'urée effectués à humidité réduite (inférieure ou égale à 30%) en présence d'une source d'uréase sont aussi efficaces (tableau I) que des traitements effectués aux humidités classiques de 40%. La mécanisation en est toutefois délicate par suite : 1) de pertes d'eau et sans doute d'urée pouvant intervenir lors du traitement et 2) d'une incorporation insuffisamment homogène. La technique même de l'apport mécanisé de l'urée n'affecte ni les augmentations de digestibilité (comprises entre 6,7 et 10,4 points), qui sont toutefois moins importantes qu'avec l'aspersion manuelle (12,6 points), ni les augmentations d'ingestibilité par les génisses (comprises entre 11 et 18%) (tableau III), qui restent modestes. Une paille de blé et une paille d'orge (PNT) ont été traitées, respectivement en 1986 et 1987, en tas à l'ammoniac anhydre (PNH₃) à la dose de 3 kg par 100 kg de paille et à l'urée (PU) par aspersion manuelle d'une solution apportant 6 kg d'urée et 0,12 kg de soja cru par 100 kg de paille et la quantité d'eau nécessaire pour amener l'humidité de la paille à 30% à la fermeture du tas. PNT, PU et PNH₃, dont on mesurait parallèlement la digestibilité sur moutons (quantités limitées), ont été distribuées à volonté pendant 3 mois pendant les 2 hivers successifs à 3 lots de 15 génisses de race PN âgées de 2 ans. Les compléments énergétiques et

azotés des pailles traitées (tableau II), apportés de façon à couvrir les besoins théoriques pour une croissance de 300 g/j étaient réduits de 1,75 kg de MS/j pour les 2 essais (de 1,34 kg MS/j pour la paille urée de 1986). Les augmentations de digestibilité permises par les traitements à l'urée sont variables 4,0 à 10,7 points) et inférieures à celles (6,9 et 13,3 points) permises par le traitement à l'ammoniac (tableau I). L'augmentation des quantités de paille ingérées par les génisses (tableau II) est moins bonne avec les traitements à l'urée (6 et 16%) qu'avec le traitement à l'ammoniac (20 à 28%) et ne permettent pas, à complémentation égale entre PU et PNH_3 , d'obtenir les croîts prévus réalisés avec PNH_3 (tableau II). Les variations dans l'efficacité du traitement des pailles à l'urée observées dans ces essais confirment celles observées dans la littérature. Elles sont probablement à relier à l'aptitude propre des pailles à réagir aux traitements alcalins. Dans le cas du traitement à l'urée, il est possible que ces variations, ainsi que la moins bonne efficacité du traitement par rapport à l'ammoniac, soient dues aux produits intermédiaires libérés lors de la transformation de l'urée à l'ammoniac. Ces derniers pourraient en effet diminuer les qualités organoleptiques des pailles et les quantités qui en sont volontairement ingérées. Ces deux derniers points mériteraient des études complémentaires.

paille / traitement / uréolyse / croissance / génisse

Summary — Straw treated with ureolysis-generated ammonia for the feeding of wintering dairy heifers. *The aim of this study was to: 1) test the possibility of treating straws via hydrolysis of urea, mechanically in the field instead of manually, with reduced amounts of water and, 2) to assess the interest of such treatments in comparison with anhydrous ammonia for cattle with moderate growth in which references are lacking in temperate regions. Two trials were carried out: 1), One wheat straw (P1) was treated in 1987 with urea (6 kg/100 kg straw) that was incorporated in the straw either by manually spraying the round bales with a solution supplying 0.12 kg raw soybean (as a urease source) and raising the straw moisture to 30% (P2), or directly on the field when baling the straw. In the latter case urea was incorporated, either in the same solution as above and sprayed via a sprinkler fitted onto the pick-up of the baler (P6), or in solid form with (P3) or without (P4 and P5) raw soya. The water was then simultaneously but separately sprayed via the sprinkler. Moisture levels were 30% for P3 and P5 and only 25% for P4. These straws, in which digestibility was simultaneously measured in sheep (restricted feeding), were fed ad libitum to 2 groups of 10 2-years-old French Friesian heifers in 4-week sequences (2 weeks adaptation followed by 2 weeks intake measurement) per straw. The straws were all supplemented with 1.72 kg barley and with soybean meal: 0.43 kg for P1 and 0.18 kg for the treated straws. Treatments carried out at such low moisture levels (30% or below) in the presence of urease are as efficient (table I) as those currently performed under higher moisture conditions. However, their mechanization still remains critical in view of water and probably urea losses that occur when treating, ie inadequate homogeneous urea mixing. The apparatus for mechanical urea application does not affect the increase in digestibility (between 6.7 and 10.4 points), which is lower than that obtained with the manual application, or the increase in heifer intake (between 11 and 18%) (table III), that remains moderate. One wheat straw and one barley straw (NTS) were stack-treated in 1986 and 1987 respectively with anhydrous ammonia (3 kg/100 kg straw) (AS) and with urea (US) applied in solution supplying 6 kg urea and 0.12 kg raw soybean per 100 kg straw and water to raise the moisture level to 30%. NTS, AS and US, the digestibility of which was measured with sheep (restricted feeding), were simultaneously fed ad libitum for 3 months during the 2 subsequent winters to 3 groups of 2-year old French Friesian heifers. Energy and protein supplement (table II), which were supplied in order to cover the requirements needed for a 300 g/d liveweight gain (LWG), were reduced by 1.75 kg DM/d for AS and US for both trials (reduced by only 1.34 kg for US in 1986). Increases in digestibility resulting from urea treatments were variable (4.0–10.7 points) (table I). Increases in straw DM intake (table II) were lower with urea treatments (6–16%) than with ammonia treatments (20–28%); accordingly the expected LWG was not attained (achieved with AS) at the same supplementation level for AS and US (table II). Variation in the efficiency of urea as well as ammonia treatments observed in these 2 experiments are in agreement with those observed in the literature. These variations may be due to the ability of straws to respond to alkali treatment, as suggested elsewhere. In the particular case of urea treatment these variations as well as the lower efficiency of urea vs ammonia treatment might well be due to the intermediary compounds released through the*

ureolytic process. The latter could decrease the organoleptic properties of the treated straws and therefore their intake. The 2 latter hypotheses deserve further research.

straw / treatment / ureolysis / growth / dairy heifer

INTRODUCTION

Le traitement des pailles à l'ammoniac est maintenant bien adopté dans la pratique, surtout depuis le développement de la technique proposée en 1978 par Sundstøl *et al* permettant d'utiliser l'ammoniac anhydre. Toutefois, cet ammoniac n'est pas toujours disponible à la ferme en raison de l'absence soit de réseaux de distribution soit, dans certains pays, de l'ammoniac lui-même.

Une alternative est l'urée qui, incorporée dans la masse de paille en présence d'eau, s'hydrolyse en ammoniac si la température n'est pas trop basse (supérieure à 10–15 °C).

Cette technique, utilisée, déjà dès 1980 sur paille de riz en Asie du Sud-Est, à l'échelle de la petite exploitation, est bien maîtrisée, du moins lorsque l'humidité de la paille est amenée à 40–50% du poids de paille à traiter (*cf* les ouvrages de Jackson *et al*, 1981; Ibrahim et Schiere, 1986; Doyle *et al*, 1986). Sur le plan pratique, les quantités d'eau à ajouter sont considérables et entraînent un surcroît de main d'œuvre et, par là, du coût de l'opération. C'est pour ces raisons que de tels traitements ont finalement été assez peu pratiqués en zone tempérée pour l'alimentation des bovins.

Malgré de nombreux travaux entrepris depuis par différents auteurs dont Jayasuriya *et al* (1983), Williams *et al* (1984), Cloete et Kritzing (1984), Dias da Silva et Sundstøl (1986), aucun n'avait encore proposé de solution à ce problème.

Une étude approfondie de la réaction d'uréolyse entreprise par Sahnoune (1990) et Sahnoune *et al* (1990 et 1991) depuis quelques années nous a permis, à travers quelques essais préliminaires, de vérifier qu'on pouvait diminuer la teneur en humidité à 25–30% grâce à l'adjonction d'une source d'uréase, apportée par l'intermédiaire de farine de soja cru (Besle *et al*, 1990a) et, même, envisager la mécanisation de l'opération directement au champ au moment de la récolte et du conditionnement de la paille en balles (Besle *et al*, 1990b).

L'objet de cet article est de rapporter les résultats de 2 expériences entreprises dans le but : 1) de tester la possibilité d'application de cette technique à des quantités de paille importantes; 2) d'en évaluer, par comparaison au traitement à l'ammoniac anhydre, l'intérêt pour les bovins à besoins modérés pour lesquels les références font pratiquement défaut en régions tempérées.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

On a réalisé 2 essais : l'un, essai «ingestibilité», a été conduit au Centre de Theix pour mesurer la digestibilité (sur moutons) et l'ingestibilité (par des génisses de race laitière âgées de 2 ans) de pailles traitées à l'urée suivant diverses modalités d'application de l'urée dans les pailles.

L'autre essai «croissance» a été conduit pendant 2 hivers successifs au Domaine expérimental de Marcnat (Cantal) sur des génisses de race laitière âgées de 2 ans pour comparer les croissances hivernales permises par de la paille en l'état et la même paille traitée soit à l'ammoniac, soit à l'urée.

Essai «ingestibilité»

Pailles étudiées

Une paille de blé, récoltée en balles rondes en août 1987, a été soit stockée en l'état, soit traitée à l'urée selon les 2 techniques mécanisées déjà décrites antérieurement (Besle *et al*, 1990b). Nous les rappelons rapidement.

L'urée est incorporée, à raison de 60 kg/t (de matière sèche (MS)) de paille au moment de la fabrication des balles :

- soit en solution dans l'eau grâce à une rampe d'aspersion fixée au-dessus du pick-up de la presse;
- soit en granulés, grâce à un système de type semoir fixé également au-dessus du pick-up. L'eau était apportée séparément, mais simultanément, par la même rampe que précédemment.

Les traitements ont en outre différé par la présence ou non de farine de soja cru et par la teneur en humidité (25 ou 30%) des balles au moment du traitement.

On a effectué également un traitement manuel par aspersion de la solution d'urée sur les sections des balles rondes disposées verticalement au sol.

Après leur traitement, les balles ont été introduites dans une gaine de plastique, destinée à assurer l'herméticité.

L'essai a finalement porté sur la paille non traitée (P1) et 5 «pailles urée» (P2 - P6) dont les modalités de traitement sont résumées sur le tableau I.

Animaux et dispositif expérimental

Vingt génisses de race frisonne Pie Noire, maintenues en stabulation libre avec cornadis, âgées de 2 ans ont été réparties en 2 lots de 10 de poids vif moyen (mesurés par double pesée) comparable.

Après une période d'adaptation des 2 lots à la paille non traitée P1 (d'un mois et demi, terminée par une mesure des quantités ingérées pendant les 2 dernières semaines) l'un des lots a reçu les pailles urée P4 puis P3 et l'autre lot les pailles urée P5 puis P6. Chaque paille-urée a été distribuée pendant 4 semaines, les mesures des quantités ingérées ayant été effec-

tuées pendant les 2 dernières semaines. Chaque séquence P4-P3 et P5-P6 a été en fait encadrée par une période de «paille supplémentaire» PS, non traitée, de 4 semaines, le stock P1 s'étant avéré trop juste pour répéter P1 après les pailles urée (fig 1). On a pu ainsi contrôler à la fois les différences de capacité d'ingestion entre les 2 lots expérimentaux et l'évolution de cette dernière au cours de l'essai.

Rationnement

Les pailles étaient distribuées à volonté sous forme longue en 2 repas par jour (8 et 16 h). Elles étaient complétées (2 repas par jour également avant chaque distribution de paille) de la manière suivante :

- pour la PNT : 1,72 kg de MS d'orge et 0,43 kg de MS de tourteau de soja par jour et par animal;
- pour les pailles traitées : 1,72 kg de MS d'orge et 0,18 kg de MS de tourteau de soja par jour et par animal.

Ces quantités avaient été choisies de façon, d'une part à assurer des croissances de l'ordre de 3 à 400 g/j sur l'ensemble de l'essai et, d'autre part, à obtenir une proportion de paille dans la ration totale la plus voisine possible entre les PNT et les pailles traitées afin d'éviter d'éventuels effets de substitution différents d'une paille à l'autre.

Mesures

Les quantités de matière sèche ingérées étaient mesurées pendant 5 j par semaine. Un prélèvement effectué à cette occasion a permis de constituer un échantillon représentatif de chaque paille à chaque période pour en doser l'azote total (Kjeldahl), l'azote soluble (Verité et Demarquilly, 1978), la cellulose brute (Weende), et l'ADF (Goering et Van Soest, 1970) l'urée résiduelle (Sahnouné *et al*, 1991).

On a mesuré parallèlement sur moutons (6 animaux par lot) la digestibilité de chaque paille expérimentale. Les périodes d'adaptation étaient de 3 semaines et les périodes de mesure d'une semaine. Les pailles étaient apportées en quantités limitées à 30 g de MS/kg, P^{0.75} par jour. Seule, la paille de blé en l'état (PNT) a été complétée par un mélange (1/1) de maïs grain et de tourteau de soja. Toutes les

Tableau I. Composition chimique et digestibilité des différentes pailles expérimentales.

Pailles ^a	Croissance						Ingétabilité 1987					
	1986			1987			Pailles urée (blé) ^b			Pailles urée (blé) ^b		
	PNT	PU (blé)	PNH ₃	PNT	PU (orge)	PNH ₃	PNT	P1	S70ms P2	S70f P3	075f P4	070f P5
Teneurs en MS (%)	85,5	69,8	82,6	82,9	71,6	78,4	85,0	-	81,5	77,7	74,8	80,6
Composition (% MS)												
Cendres	10,0	11,7	10,5	7,5	6,9	7,4	13,1	12,7	13,3	13,8	13,1	13,4
CB	40,2	38,1	41,6	35,0	32,4	32,0	37,6	32,9	35,5	35,1	37,2	34,5
ADF	-	-	-	-	-	-	52,4	50,6	51,5	51,9	53,9	52,0
N x 6,25	3,4	7,7	7,0	4,1	7,9	9,3	4,8	14,6	9,6	16,4	10,4	11,3
Augmentation de N x 6,25 (traité-non traité)	0	4,3	3,6	0	3,8	5,2	0	9,8	4,8	11,6	5,6	6,5
N soluble % N total	-	-	-	-	-	-	34	66	38	62	53	46
Taux d'uréolyse (100-urée résiduelle % urée apportée)	-	83	-	-	96,2	-	-	70	94	52	84	94
Digestibilité des pailles dans la ration												
Matière organique (%)	47,5	51,5	54,4	42,9	52,2	56,2	43,0	55,6	49,7	53,4	51,4	50,9
Augmentation (traité-non traité)	0	4,0	6,9	0	10,7	13,3	0	12,6	6,7	10,4	8,4	7,9
MAND (g/kg MS)	44,9	58,5	57,3	52,2	51,7	60,7	54	55	54	50	57	60

^aPNT, pailles non traitées; PU, pailles traitées à l'urée en tas; PNH₃, pailles traitées à l'ammoniac anhydre en tas. ^bPailles urée 1987 : 70 et 75 = MS % lors du traitement; S, présence de soja; O, absence de soja; m, incorporation manuelle; f, mécanisée fractionnée; s, mécanisée simultanée (solution). P1 = paille non traitée. Incorporation manuelle : P2 = S70ms : soja, MS % = 70, urée et eau en solution. Incorporation mécanisée : P3 = S70f : soja, MS % = 70%, urée et eau apportées séparément; P4 = 075f : pas de soja, MS % = 75, urée et eau apportées séparément; P5 = 070f : pas de soja, MS % = 70, urée et eau apportées séparément; P6 = S70s : soja, MS % = 70, urée et eau en solution.

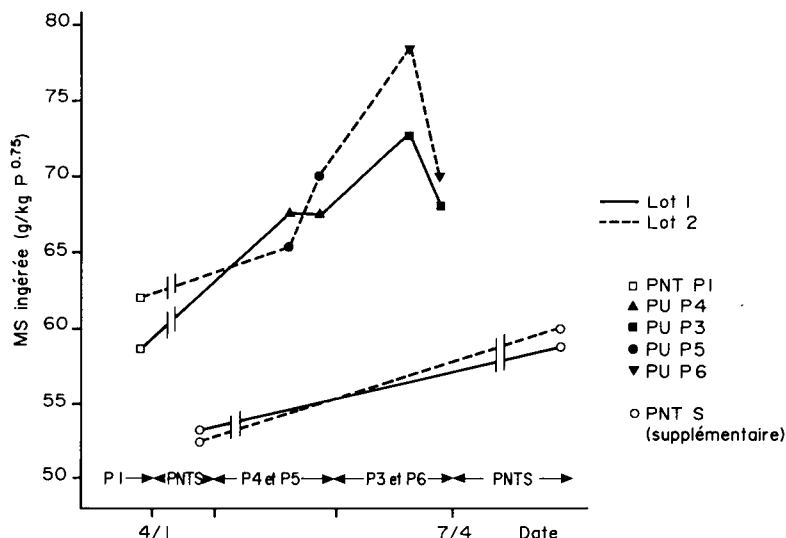


Fig 1. Évolution des quantités de pailles, en l'état et traitées à l'urée, volontairement ingérées par les génisses au cours de l'essai «ingestibilité».

pailles ont été complétées par 40 g/mouton d'un CMV soufré de type 14/14.

Les génisses ont été pesées au début et à la fin de l'essai et de chaque passage sur les pailles expérimentales par double pesée et systématiquement tous les 15 j par simple pesée. On a pu ainsi mesurer les croûts réalisés par les génisses durant la période pendant laquelle elles recevaient les différentes pailles traitées à l'urée.

Essai «croissance»

Pailles étudiées

On a utilisé une paille de blé pendant l'hiver 1986–1987 et une paille d'orge pendant l'hiver 1987–1988. Ces 2 pailles étaient conditionnées en balles cubiques de 10–13 kg de moyenne densité.

Les traitements à l'ammoniac ont été réalisés au mois d'août, peu de temps après le pressage des pailles, selon la technique des «tas»

par injection de 35 kg d'ammoniac/t (MS) de paille au sein de la meule enveloppée hermétiquement par un film plastique.

Les traitements à l'urée ont été réalisés simultanément par aspersion, à l'arrosoir, d'une solution d'urée par lits successifs des balles lors de la fabrication de la meule qui était ensuite recouverte d'un film du même plastique que celui pour le traitement à l'ammoniac. La solution d'urée avait été préparée de façon à apporter 60 kg d'urée/t de matière sèche de paille (traitement iso-alcalin avec celui à l'ammoniac) et une quantité d'eau permettant d'amener la teneur en humidité du tas au moment de sa fermeture à environ 30%. Pour les 2 pailles, de la farine de soja cru était mélangée à la solution à raison d'une fraction de soja pour 5 fractions d'urée.

Animaux et lots expérimentaux

En 1986–1987, 45 génisses de races montbéliarde et frisonne Pie Noire âgées de 2 ans en moyenne ont été réparties selon la race, leur poids et leur âge en 3 lots de 15 animaux recevant la paille de blé soit en l'état (PNT), soit traitée

tée à l'ammoniac (PNH_3), soit traitée à l'urée (PU). Les génisses de chaque lot pesaient en moyenne 483 kg.

En 1987–1988, 42 génisses, dont 21 de race frisonne Pie Noire et 21 de race montbéliarde âgées de 2 ans en moyenne, ont été appariées selon leurs race, poids, âge, en 3 lots de 14 animaux pesant en moyenne 463 kg et recevant la paille d'orge PNT, PNH_3 ou PU.

Les génisses étaient maintenues en stabulation libre (alimentation en lot) couverte sur aire paillée. Le renouvellement de la litière, tout en restant suffisant, était effectué de façon à limiter son ingestion par les génisses.

Rationnement

Les pailles, traitées ou en l'état, étaient distribuées à volonté (10–15% de refus) sous forme longue en 2 repas par jour (8 et 16 h). Elles étaient complémentées (2 repas par jour également avant chaque distribution de paille) de la manière suivante (tableau II) :

- pour la PNT : 2,20 kg de matière sèche de pulpe de betterave déshydratée et 0,44 kg de matière sèche de tourteau de soja/j (par animal dont la moitié sous forme de tourteau tanné);
- pour les pailles traitées : 0,64 kg de matière sèche de pulpe et 0,22 kg de matière sèche de tourteau de soja tanné.

La nature (pulpe, tourteau tanné) et les quantités de ces compléments énergétiques et azotés avaient été choisies en se basant sur les résultats obtenus antérieurement (Chenost, 1989) et pour assurer des croissances de l'ordre de 300 g/j (apports théoriques de 5,15 UFL et 450 g de PDI). La quantité de pulpes distribuée au lot PU de l'essai 1986–1987 a dû être augmentée de 0,64 à 2,20 kg/j en cours d'essai (1,08 kg en moyenne sur tout l'essai, tableau II) en raison des croissances réalisées plus faibles que prévues.

Les animaux consommant les PNT recevaient systématiquement 90 g d'urée par jour apportés en même temps que le concentré. Cette quantité d'azote non protéique correspondait, en moyenne, à la quantité d'azote fixé sur les pailles après leur traitement à l'ammoniac et à l'urée.

Les périodes expérimentales ont duré 90 et 80 j respectivement pour les 2 hivers successifs.

Elles étaient encadrées de périodes pré et post-expérimentales de 2–3 semaines chacune pendant lesquelles tous les lots recevaient le même régime (pailles NT) de façon à pouvoir corriger les poids vifs de la variation du poids des contenus digestifs dus aux régimes expérimentaux. Pour cela, on a pris comme hypothèse qu'une variation d'ingestion de 1 kg de matière sèche de paille entraînait une variation de poids du contenu digestif, donc de poids vif, de 6 kg.

Mesures

On a effectué les mêmes dosages que lors de l'essai précédent sur les échantillons représentatifs des différentes pailles et des fèces correspondantes.

Les génisses ont été pesées tous les 15 j par pesées simples et au début et à la fin de chaque période par double pesée.

La quantité de matière sèche de paille ingérée étaient mesurée 3 j par semaine (lundi, mardi et mercredi), pendant toute la durée des essais. Un prélèvement, effectué à cette occasion, a permis de constituer un échantillon cumulé représentatif des pailles distribuées pendant les périodes expérimentales. On a fait de même pour les pulpes déshydratées et les tourteaux de soja normal et tanné.

Pour chaque essai, on a mesuré parallèlement sur moutons (6 par lot), la digestibilité de toutes les pailles. Celles-ci étaient distribuées aux moutons en quantité limitée à 30 g de matière sèche par kg $\text{P}^{0.75}$ et complémentées dans les mêmes proportions que pour les génisses.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Valeur nutritive des pailles.

Effet de la technique de traitement

Le tableau I regroupe l'ensemble des résultats d'analyse et les valeurs de digestibilité des diverses pailles des 2 essais.

Le traitement à l'ammoniac de 1987 a été correctement réussi. Il a permis d'augmenter la teneur en équivalent matières

Tableau II. Quantités ingérées et croissances journalières des génisses de 2 ans de race laitière (essais de croissance).

Paille	Nbre animaux	Poids vif moyen (kg)	Quantités ingérées (kg MS/j)			Encombrement des pailles		Quantité de MOD ingérée (g/j)	Croissance (g/j)					
			Pulpes	Paille	Compléments ^a	(UEB/kg MS)	(p)							
			Tst	Ts	Urée	CMV	b	Paille totale p/t (t)	(%)					
Hiver 1986-1987 (90 j) paille de blé														
Non traitée	15	490	5,65	2,20	0,22	0,22	0,09	0,10	67	1,52	2 683	4 433	61	159 ± 138
Paille urée	15	494	6,05	1,08	-	0,22	-	0,10	81	1,56	3 113	3 979	78	147 ± 144
Paille NH ₃	15	496	6,85	0,64	-	0,22	-	0,10	88	1,40	3 728	4 358	86	295 ± 140
Hiver 1987-1988 (80 j) paille d'orge														
Non traitée	14	482	5,70	2,15	0,22	0,22	0,09	0,10	67	1,49	2 257	4 571	49	413 ± 150
Paille urée	14	470	6,50	0,64	-	0,22	-	0,10	87	1,41	3 125	3 924	80	22 ± 190
Paille NH ₃	14	472	7,20	0,64	-	0,22	-	0,10	88	1,27	3 755	4 554	82	330 ± 155

^a Tst, tourteau de soja tanné; Ts, tourteau de soja; ^b Paille % MS totale.

azotées (N x 6,25) de 4,1 à 9,3% de la MS et la digestibilité de la matière organique (dMO) de 42,9 à 56,2%, augmentations tout à fait comparables à celles observées pour des traitements réussis (Chenost et Dulphy, 1987). En revanche, le traitement de 1986 a été moins efficace puisqu'il n'a entraîné une augmentation de la teneur en N x 6,25 que de 3,6 points et de la dMO que de 6,9 points. L'explication de cette moins bonne efficacité est sans doute à rechercher dans un sous-dosage qui serait survenu de manière incontrôlée lors de l'injection de l'ammoniac dans les meules.

Le traitement à l'urée de 1986 a eu une efficacité comparable à celle de l'ammoniac, du moins en ce qui concerne l'augmentation de la teneur en N x 6,25 observée qui a été du même ordre (4,3 points) mais inférieure en ce qui concerne l'augmentation de la dMO, qui n'a été que de 4,0 points (contre 6,9, avec le traitement à l'ammoniac).

Le traitement à l'urée de 1987 (paille d'orge) a, en revanche, été plus efficace qu'en 1986, du moins en ce qui concerne l'augmentation de la digestibilité qui a été de 10,7 points (contre 13,3 pour le traitement NH_3), alors que l'augmentation de la teneur en N x 6,25 n'a été que de 3,8 points (contre 5,2 pour le traitement à l'ammoniac correspondant).

Les différents traitements mécanisés à l'urée effectués en 1987 ont été dans l'ensemble satisfaisants (tableau I) du point de vue de la fixation d'azote puisqu'ils ont permis d'atteindre des teneurs en N x 6,25 supérieures ou égales à 9,6% (de 9,6 à 16,4), correspondant à des augmentations allant de 4,8 à 11,6 points. L'uréolyse n'a toutefois été que partielle (52 à 70%) dans le cas, respectivement, du traitement mécanisé fractionné sans soja à 25% d'humidité (P4) et du traitement manuel (P2) pourtant effectué avec du soja et à une humidité plus élevée (30%). Elle a été tout à

fait correcte pour les 3 autres traitements. C'est d'ailleurs cette uréolyse incomplète qui explique l'augmentation plus élevée de la teneur en N x 6,25 pour ces 2 traitements, reflétée par une proportion d'N soluble plus importante que pour les 3 autres traitements. L'efficacité de ces traitements sur l'amélioration de la dMO (tableau I) a été correcte (augmentation comprise entre 6,7 et 12,6 points). Elle est toutefois moins élevée que celle observée lors d'une série de traitements antérieurs, mécanisés eux aussi (Besle *et al*, 1990a), où l'augmentation de dMO avait pu atteindre jusqu'à 20 points et être en moyenne aussi élevée qu'avec le traitement en tas à l'ammoniac (16,4).

L'efficacité du traitement est meilleure avec l'aspersion manuelle des balles (augmentation de la dMO de 12,6 points) qu'avec l'aspersion mécanisée sur le pick-up de la presse (augmentation de dMO comprise entre 6,7 et 10,4 points). Dans ce dernier cas, à teneur égale en humidité lors du traitement (70% de MS) et à l'ouverture des balles (80% de MS), l'efficacité du traitement a été pratiquement indépendante de la technique même d'incorporation de l'urée : 6,7 et 7,9 points d'augmentation de dMO, respectivement pour l'apport fractionné de l'eau et de l'urée et simultanée (urée en solution).

L'influence du soja en tant que source d'uréase sur le degré d'uréolyse et sur l'augmentation de digestibilité, aux teneurs en humidité auxquelles nous avons travaillé, a été moins marquée que lors d'essais antérieurs (Besle *et al*, 1990a; Besle *et al*, 1990b). Il convient toutefois de souligner que les résultats (uréolyse, teneur en azote, dMO), globalement comparables entre les traitements avec et sans soja ont été obtenus, pour les pailles P3 et P6, à des teneurs en humidité réelle (18,5 et 19,4%) pourtant considérablement plus faibles que celles de 30% initialement prévue. Il est donc vraisemblable que la pré-

sence d'uréase ait contrebalancé ce manque d'eau. En effet, les taux d'uréolyse ont été plus élevés et les augmentations de dMO assez peu inférieures (6,7 et 7,9 contre 10,4 et 8,4 points) à ceux obtenus avec les pailles P4 et P5, sans soja, mais dont l'humidité réelle avait été plus élevée (22,3 à 25,2%). On sait en effet (Williams *et al*, 1984a et b; Sahnoune, 1990) que la réaction d'uréolyse devient difficile à partir de teneurs en humidité du milieu inférieures à 30–35%.

Une des principales conclusions pratiques de ces résultats est finalement que le traitement à l'urée effectué à humidité réduite (inférieure ou égale à 30%) en présence d'uréase est aussi efficace que des traitements effectués à des humidités de l'ordre de 40% ou à l'ammoniac anhydre. Toutefois, la mécanisation des traitements est encore délicate par suite :

- de pertes d'eau et, sans doute, d'urée pouvant survenir de manière incontrôlée lors du traitement;
- d'incorporation insuffisamment homogène.

Ingestibilité des pailles

Les pailles non traitées des 2 essais ont été bien ingérées (tableaux II et III) et leurs valeurs d'encombrement ont été voisines de 1,50 UEB.

Comme le montrent les figures 1 et 2, les quantités de pailles non traitées ingérées ont augmenté tout au long des 2 essais. C'est ainsi que dans l'essai «ingestibilité» ces quantités sont passées, en moyenne, de 53 à 59 g/kg, $P^{0,75}$ entre le début et la fin de l'essai (fig 1). Cette évolution est certainement à mettre au compte de l'adaptation progressive des animaux aux régimes paille qui, comme l'avait déjà observé Xandé (1978) avec des moutons, peut durer 6 mois avant que les quantités ingérées se stabilisent. Elle correspond à une augmentation de la capacité d'ingestion des génisses de 0,076 g/kg $P^{0,75}$ par jour. Pour cet essai, nous avons donc corrigé les quantités de matière sèche ingérée des pailles étudiées de cette augmentation afin de mieux comparer les différentes pailles qui avaient été

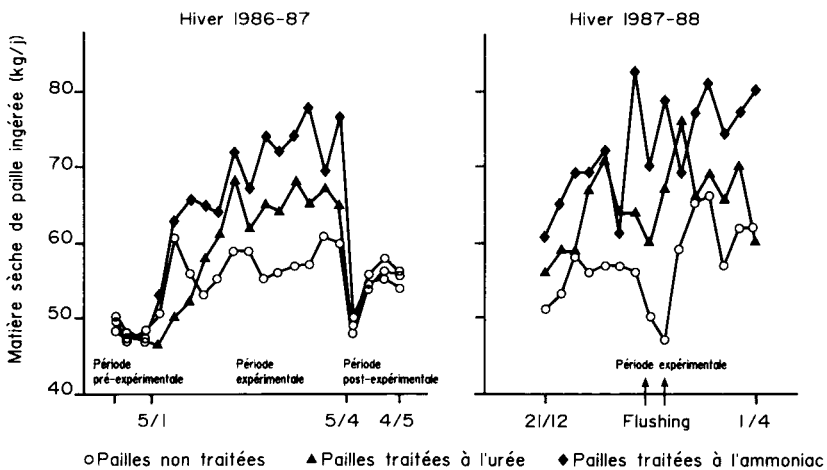


Fig 2. Évolution des quantités de matière sèche journalière de pailles ingérées par les génisses au cours des 2 essais croissance.

Tableau III. Quantités de paille ingérées et croissance journalières réalisées par des génisses de 2 ans de race laitière consommant une paille de blé traitée à l'urée selon différentes techniques (essai ingestibilité).

Nature des pailles	Animaux		Paille ingérée		Encombrement (UEB/kg)	Paille % MS totale ingérée	Compléments ingérés (kg MS/l)	Croûts réalisés pendant les périodes pailles-urée (g/l)
	Nombre	Poids vif moyen (kg)	kg MS/l	g/l/kg, P _{0.75}				
Paille non traitée (PNT)	20	496	6,23	59,3 ± 2,0	1,52	73	Total = 2,16 (orge 1,72) (tt soja 0,43)	-
Pailles uréées ^b								
Lot 1								
P4 0-75-f	10	515	6,89	63,7 ± 0,8	1,41	79		Lot 1 = 345
P3 s-70-f	10	530	7,04	63,7 ± 3,4	1,35	80		
Lot 2								
P5 0-70-f	10	514	6,94	64,3 ± 3,1	1,41	79	Total = 1,90 (orge 1,72) (tt soja 0,18)	Lot 2 = 393
P6 S-70-S	10	530	7,37	66,7 ± 6,6	1,40	81		

^a Δ , augmentation des quantités de MS de paille ingérées en % de PNT; ^b mêmes abréviations qu'au tableau I; tt : tourteau.

distribuées à des époques très différentes (tableau III). On a supposé pour cela que l'augmentation des quantités de paille non traitée ingérées avait été linéaire pendant la période considérée.

Les traitements à l'ammoniac ont permis d'augmenter les quantités de paille ingérées de 20% en 1986–1987 avec la paille de blé et de 28% en 1987–1988 avec la paille d'orge, (les valeurs d'encombrement sont ainsi 1,40 et 1,27 UEB) (tableau II). Ces augmentations reflètent bien l'efficacité du traitement appréciée à travers la teneur en N x 6,25 et la digestibilité de ces pailles.

Les traitements à l'urée de l'essai «ingestibilité» ont augmenté les quantités de paille ingérée, corrigées de l'augmentation de la capacité d'ingestion, mais dans des proportions plus faibles qu'avec NH_3 et comprises entre 11 et 18% (tableau III). Ces augmentations ne diffèrent pas suivant les traitements. Les valeurs d'encombrement passent ainsi de 1,52 (PNT) à des valeurs allant de 1,41 (PO 70f) à 1,35 (PS 70f), non significativement différentes entre traitements. C'est toutefois pour les pailles P4 et P5, les plus humides et où l'uréolyse a été moins complète, que l'augmentation a été la moins élevée.

Les «pailles urée» de l'essai «croissance» ont toujours été moins bien ingérées que les pailles ammoniac (fig 2). Les quantités qui en ont été ingérées n'ont augmenté, en moyenne, que de 6 et 16% par rapport aux PNT, cette dernière augmentation étant comparable à celles observées avec les traitements mécanisés. Leurs valeurs d'encombrement n'ont donc pas beaucoup changé par rapport aux PNT (tableau II).

Ces augmentations d'ingestibilité sont inférieures à celles observées antérieurement au laboratoire lors de mesures de digestibilité effectuées sur moutons pour

tester différents modes de traitements à l'urée. Il s'agissait :

- soit de traitements comparables, également mécanisés, à 30% d'humidité avec uréase (Besle *et al*, 1990a). Les quantités de MS ingérées étaient passées de 34,6 à 47,7 g/kg, $P^{0,75}$;

- soit de traitements plus classiques par aspersion de balles cubiques en tas (Besle *et al*, 1990a) à 30% d'humidité ou de balles rondes à 40% d'humidité (résultats non publiés). Les quantités de MS ingérées étaient passées de 34,6 à 65,2 et de 22,4 à 37,6 g/kg $P^{0,75}$;

Elles sont également inférieures à celles observées par des auteurs étrangers, également sur moutons, avec des traitements à 40% d'humidité en tas (Cloete et Kritzing, 1983) ou par mélange de la solution à la paille en vrac (Hadjipanayiotou, 1982; Dias-Da-Silva et Sundstøl, 1986).

Elles sont toutefois supérieures à celles observées sur moutons par ces derniers auteurs avec des traitements à 4% d'urée par aspersion de balles cubiques en tas.

En fait, ces augmentations (15% en moyenne) de quantités ingérées sont comparables à celles calculées à partir de 11 essais, compilés par Doyle *et al* (1986), réalisés sur des bovins en croissance dans différents pays d'Asie. Les animaux recevaient des pailles de riz traitées à 4 ou 5% d'urée à des taux d'humidité élevés (pas inférieurs à 40%); ces pailles, dont la digestibilité avait augmenté de 10 à 12%, étaient complétées de la même façon que les pailles en l'état.

Tout ceci montre en fait que, indépendamment de la technique même de son application, le traitement à l'urée est encore sujet à de grandes variations dans son effet sur l'ingestibilité des pailles traitées. C'est ce qu'un travail récent (Dulphy *et al*, 1992) s'est efforcé d'analyser.

Croissances permises

Les croûts réalisés pendant l'essai «croissance» (tableau II) avec les pailles non traitées (PNT) ont été inférieurs (159 ± 138 g/j), pendant le premier hiver avec la paille de blé et supérieurs (413 ± 150 g/j), pendant le deuxième hiver avec la paille d'orge, aux objectifs fixés (300 g/j) malgré la même complémentation et une quantité de dMO ingérée (4 500 g/j) comparable dans les 2 cas.

Les croûts réalisés avec les pailles traitées à l'ammoniac ont été satisfaisants pendant les 2 hivers et ont atteint les objectifs fixés. Ils ont pu être réalisés malgré une réduction de l'apport d'aliment complémentaire de 1,75 kg de MS/j (1,53 kg de pulpe et 0,22 kg de tourteau de soja) par rapport à la PNT. Ce bénéfice est du même ordre que celui observé lors d'une série d'essais antérieurs (Chenost, 1989) effectués pendant 3 ans avec des pailles traitées à l'ammoniac.

Les croûts réalisés avec les pailles traitées à l'urée n'ont pas permis d'atteindre les objectifs fixés. Ils n'ont, au mieux, été que comparables (147 plus ou moins 144 g/j) à ceux permis par la paille non traitée du premier hiver. Ils ont même été pratiquement nuls (22 plus ou moins 190 g/j) pendant le deuxième hiver (paille d'orge), malgré les quantités de matière organique digestible ingérées, totales et sous forme de paille, pourtant voisines de celles du premier hiver (tableau II). Les quantités de MOD ingérées sous forme de PU ont été en effet largement inférieures à celles ingérées sous forme de PNH_3 et pas suffisamment élevées pour compenser la réduction du niveau de complémentation qui avait dû être réaugmenté en cours d'essai.

Il est regrettable que les performances réalisées par les génisses consommant la paille d'orge traitée à l'urée aient été si

faibles et, surtout, qu'on ne puisse pas expliquer cela dans le cadre de ce travail. Il convient donc de ne pas leur donner trop d'importance.

En effet, les croûts réalisés en 1987 par les génisses consommant les pailles de blé traitées à l'urée de l'essai ingestibilité ont été plus satisfaisants. Mais il est vrai que le niveau de la complémentation avait volontairement été plus élevé qu'au cours de l'essai croissance afin de comparer l'ingestibilité des pailles à proportion dans la ration (tableau III) la plus voisine possible entre pailles traitées et pailles en l'état. Tout se passe en définitive, pour cet essai, comme si l'efficacité des traitements urée, exprimée en terme d'économie de concentré, avait été d'1 kg inférieure à celle de traitements ammoniac classiques.

CONCLUSION

L'ensemble de ces résultats amène 2 groupes de remarques.

Pour ce qui concerne les modalités du traitement à l'urée, l'apport d'une source d'uréase (farine de soja cru) permet de réduire les quantités d'eau à apporter sans diminuer l'uréolyse. La mécanisation possible qui en résulte est intéressante, mais requiert encore des travaux complémentaires pour parfaire la maîtrise de l'incorporation et de l'homogénéisation au sein de la masse de paille des quantités d'eau, d'urée et de soja nécessaires. Les modifications de la valeur nutritive des pailles qui en résultent ne varient pas suivant les modalités techniques de la mécanisation du traitement.

En ce qui concerne l'effet des traitements à l'urée sur la valeur alimentaire des pailles, les augmentations de digestibilité et l'ingestibilité restent toutefois inférieures à celles permises par les traitements à l'ammoniac anhydre et, même, à

celles permises par les traitements effectués par mélange de la solution d'urée à la paille en vrac observées aussi bien sur des essais réalisés antérieurement au laboratoire que par d'autres équipes; les variations dans l'efficacité du traitement des pailles à l'urée, aussi bien d'ailleurs qu'à l' NH_3 rapportées dans la littérature et observées ici, doivent sans doute être à relier à l'aptitude propre des pailles à réagir aux traitements alcalins (indice de saponification) comme le suggèrent Dias-Da-Silva et Guedes (1990). Dans le cas des traitements à l'urée, il est possible que cette variation, de même que la moins bonne efficacité du traitement par rapport à l'ammoniac, soient dues aussi aux produits intermédiaires libérés lors de la transformation de l'urée en ammoniac. Ces derniers pourraient en effet diminuer les qualités organoleptiques des pailles et les quantités qui en sont volontairement ingérées. Des études complémentaires seraient à cet égard intéressantes.

RÉFÉRENCES

- Besle JM, Chenost M, Tisserand JL, Lemoine JP, Faurie F, Saleh H, Grenet N (1990a) Ammoniation of straw by urea: extent of ureolysis and improvement of nutritive value at low level of added water. *Reprod Nutr Dev suppl* 2, 174s, 5^e Journ alim nutr herbivores, INRA, mars 1989
- Besle JM, Zwaenepoel P, Chenost M, Beaulieu G, Tisserand JL, Faurie F, Grenet N (1990b) Ammoniation of straw by urea: influence of addition of soybean and/or molasses on characteristics of treatment. *Reprod Nutr Dev suppl*, 2, 175s, 5^e Journ alim nutr herbivores, INRA, mars 1989
- Chenost M (1989) Intérêt comparé du traitement à l'ammoniac et d'une complémentarisation appropriée de paille de blé (niveau et nature des compléments énergétiques et azotés) pour l'alimentation des génisses de race laitière de deux ans en croissance hivernale modérée. *Ann Zootech* 38, 29-47
- Chenost M, Dulphy JP (1987) Amélioration de la valeur alimentaire (composition, digestibilité, ingestibilité) des mauvais foin et des pailles par les différents types de traitement. In: *Les fourrages secs: récolte, traitement, utilisation* (C Demarquilly, ed) INRA, Paris, 199-230
- Cloete SWP, Kritzinger NM (1984) Urea ammoniation compared to urea supplementation as a method of improving the nutritive value of wheat straw for sheep. *Anim Feed Sci Technol* 14, 59-63
- Dias da Silva AA, Sundstøl F (1986) Urea as a source of ammonia for improving the nutritive value of wheat straw. *Anim Feed Sci Technol* 14, 67-79
- Dias da Silva AA, Guedes CMV (1990) Variability in the nutritive value of straw cultivars of wheat, rye and triticale and response to urea treatment. *Anim Feed Sci Technol* 28, 79-89
- Doyle PT, Devendra C, Pearce GR (1986) *Rice straw as a feed for ruminant*. IDP, Canberra 117p
- Dulphy JP, Jamot J, Chenost M, Besle JM, Chiofalo V (1992) The influence of urea treatment on the intake of wheat straw in sheep. *Ann Zootech* 41, 169-185
- Goering HK, Van Soest PJ (1970) *Forage fiber analysis (apparatus, reagents, and some applications)*. USDA Handbook 379, ARS, USDA, Washington
- Hadjipanayiotou M (1982) The effect of ammoniation using urea on the intake and nutritive value of chopped barley straw. *Grass For Sci* 37, 89-93
- Ibrahim MNM, Schiere JB (1986) Rice straw and related feeds in ruminant rations. In: *Proc Int Workshop, Kandy Sri Lanka*, 24-28 Mars 1986, 408 p
- Jackson MG, Dolberg F, Davis CH, Mozammel-Haque, Saadulah M (1981) Maximum livestock production from minimum land. In: *Proc Semin Bangladesh*, 2-5 Février 1981, 557 p
- Jayasuriya MCN, Pearce GR (1983) The effect of urease enzyme on treatment time and the nutritive value of straw treated with ammonia as urea. *Anim Feed Sci Technol* 8, 271-281
- Sahnoune S (1990) Le traitement des pailles à l'ammoniac produits par hydrolyse de l'urée. Thèse de Doctorat d'Université, UFR Science Clermont II, 104 p

- Sahnoune S, Girard L, Besle JM, Chenost M (1990) A kinetic study of ammoniation of straw either via the hydrolysis or urea or by anhydrous ammonia. VI^{es} Journ alim nutr herbivores, INA-PG, 21-22 mars 1990
- Sahnoune S, Besle JM, Chenost M, Jouany JP, Combes D (1991) Ammoniation of straw via the hydrolysis of urea. 1. Ureolysis in low water medium. *Anim Feed Sci Technol* 34, 75-93
- Sundstøl F, Coxworth E, Mowat DN (1978) Improving the nutritive value of straws and other low quality roughages by treatment by ammonia. *World Anim Rev* 26, 13-21
- Verité R, Demarquilly C (1978) Qualité des matières azotées des aliments pour les ruminants. In: *La vache laitière*. INRA Publications Versailles, 143-157
- Williams PEV, Innes GM, Brevet A (1984a) Ammonia treatment of straw via the hydrolysis of urea. I. Effects of dry matter and urea concentrations on the rate of hydrolysis of urea. *Anim Feed Sci Technol* 11, 103-113
- Williams PEV, Innes GM, Brevet A (1984b) Ammonia treatment of straw via the hydrolysis of urea. II. Additions of soya bean (urease), sodium hydroxide and molasses; effects on the digestibility of urea-treated straw. *Anim Feed Sci Technol* 11, 115-124
- Xandé A (1978) 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. *Ann Zootech* 27, 583-589