



# **Influence du traitement des fourrages à l'ammoniac sur leur dégradation azotée dans le rumen**

B. Michalet-Doreau, C.V.M. Guedes

## **► To cite this version:**

B. Michalet-Doreau, C.V.M. Guedes. Influence du traitement des fourrages à l'ammoniac sur leur dégradation azotée dans le rumen. Annales de zootechnie, 1989, 38 (4), pp.259-268. <hal-00888709>

**HAL Id: hal-00888709**

**<https://hal.science/hal-00888709v1>**

Submitted on 11 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

## Influence du traitement des fourrages à l'ammoniac sur leur dégradation azotée dans le rumen

B. Michalet-Doreau et C.V.M. Guedes \*

INRA, Centre de recherches de Clermont-Ferrand/Theix, station de recherches sur la nutrition des herbivores, unité de la valeur alimentaire, 63122 St-Genès, Champanelle, France

(reçu le 22 janvier 1989; accepté le 5 septembre 1989)

**Résumé** — La digestion de l'azote dans le rumen d'une paille, traitée avec de l'ammoniac anhydre (5 kg/100 kg) ou non traitée, et d'un foin tardif traité également avec de l'ammoniac (2 kg/100 kg) ou non traité, a été étudiée par la technique des sachets de nylon. Les teneurs en N ont augmenté après traitement respectivement de 11 et de 10 g/kg de MS, ce qui correspond à un taux de fixation de l'azote ammoniacal de 23% pour la paille et de 45% pour le foin.

Le traitement à l'ammoniac des fourrages a entraîné les modifications suivantes :

- la quantité d'azote rapidement dégradable (ou soluble) augmente dans des proportions importantes; elle passe respectivement de 4% pour la paille et 19% pour le foin à 62% pour les 2 fourrages traités;
- le pourcentage d'azote non dégradable n'est pas modifié par le traitement;
- la vitesse de dégradation de l'azote de la fraction potentiellement dégradable par les micro-organismes du rumen diminue. Seulement 2% de l'azote initial est dégradé entre 0 et 1 h d'incubation dans le rumen pour les 2 fourrages traités.

L'azote fixé au cours du traitement est théoriquement entièrement dégradé dans le rumen (90% pour la paille et 100% pour le foin), mais l'azote disparaissant des sachets n'est peut-être pas entièrement utilisable par les microorganismes du rumen, ce qui expliquerait l'augmentation de l'azote excréte dans les fèces avec des fourrages traités.

**paille — foin — traitement ammoniac — dégradabilité *in sacco* — valeur azotée**

**Summary** — Influence of ammonia treatment of forages on nitrogen ruminal degradation. Ruminant nitrogen digestion of ammonia-treated or untreated straw (5 kg/100 kg) and late-cut hay (2 kg/100 kg) was studied using the *in sacco* technique. The post-treatment crude protein contents increased by 11 and 10 g/kg DM, respectively, for straw and hay, corresponding to an ammonia nitrogen fixation rate of 23 and 45%, respectively.

Ammonia treatment of forages led to the following modifications :

- the percentage of rapidly degradable (or soluble) nitrogen was greatly increased, from 4 and 19% for straw and hay to 62% for the 2 treated forages;
- the content of non-degradable nitrogen was not modified by the treatment;
- the nitrogen degradation rate of the potentially degradable fraction by rumen microbes decreased; for the 2 forages, only 2% of the initial nitrogen was broken down between 0 and 1 h of incubation in the rumen.

\* Adresse actuelle : Université de Tras-os-Montes E Alto-Duro (UTAD), Vila Real (Portugal).

*Nitrogen bound during the treatment was theoretically fully degraded in the rumen (90 and 100% for straw and hay, respectively), but the nitrogen disappearing from the bags could perhaps not be completely used by the rumen microbes and this would account for the increase in faecal nitrogen excretion with the treated forages.*

**straw — hay — ammonia treatment — in sacco degradability — nitrogen value**

## INTRODUCTION

Le traitement des fourrages pauvres à l'ammoniac anhydre pour améliorer leur valeur alimentaire est largement utilisé actuellement pour les pailles de céréales (Sundstøl *et al.*, 1978), et plus récemment pour les foin (Dulphy *et al.*, 1984b). La plupart des travaux réalisés jusqu'ici ont mis en évidence l'effet positif du traitement à l'ammoniac sur la teneur en azote, les quantités ingérées et la valeur énergétique. Cependant, malgré l'enrichissement des fourrages en azote, l'augmentation de la valeur azotée est plus faible que prévue aussi bien pour la paille (Borhami et Johnson, 1981; Dulphy *et al.*, 1984a) que pour le foin (Dulphy *et al.*, 1984b; Benhamed et Dulphy, 1986). En effet, le traitement à l'ammoniac des foin et des pailles entraîne une augmentation anormale de l'azote excrété dans les fèces (Benhamed et Dulphy, 1985 et 1986; Ramihone, 1987). Celle-ci pourrait être due :

— soit à la fixation d'une partie de l'azote apporté par le traitement sur des parois indigestibles, ou non digérées dans le rumen, en raison de la baisse d'activité cellulolytique du rumen observée avec les rations à base de paille traitée (Chenost et Dulphy, 1987) ou de l'augmentation de la vitesse de transit ruminal (Steg et den Boer, 1982);

— soit au fait qu'une partie des protéines du fourrage est rendue indigestible par

suite de l'échauffement dû au traitement (effet Maillard) (Solaiman *et al.*, 1979);

— soit au fait qu'une partie de l'azote fixé lors du traitement n'est pas utilisable par les micro-organismes du rumen.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Fourrages

Nous avons utilisé une paille de blé et un foin de 1<sup>er</sup> cycle de prairie permanente récolté tardivement et pressé à 75% de matière sèche. Dès leur récolte, les fourrages ont été traités à l'ammoniac anhydre selon la technique en meules bâchées hermétiques, à raison de 5 kg d'ammoniac par 100 kg de fourrage brut pour la paille et de 2 kg d'ammoniac par 100 kg pour le foin.

### Animaux

Trois vaches tarries munies d'une canule du rumen recevant une ration à base de foin de dactyle (70%) et de concentré\* (30%), à raison de 7 kg de MS/animal/jour, ont été utilisées pour les mesures de dégradation *in sacco* dans le rumen.

\* Composition du concentré (en % MS) : orge (38), pulpe de betterave (41), tourteau de soja (10), urée (2), minéraux + oligo-éléments (9).

## Dispositif expérimental

Les 4 fourrages (foin et paille, non traité et traité à l'ammoniac) ont été broyés à la grille de 0,8 mm et introduits dans des sachets en tissu de nylon de 46 µm de taille de pores, à raison de 3 g de fourrage par sachet (Michalet-Doreau *et al.*, 1987). Les dimensions externes et internes des sachets étaient respectivement de 7,5–15 cm et 6–11 cm, soit un rapport poids d'échantillon/surface de 20 mg/cm<sup>2</sup>.

Chaque série d'incubation comprenait 6 points de cinétique, soit 2–4–8–16–24 et 48 h d'incubation, et à chaque point de cinétique correspondaient 6 mesures (3 vaches x 2 répétitions). Après incubation, les sachets ont été battus pendant 7 min dans un «stomacher», puis lavés à l'eau froide et séchés (Ould-Bah *et al.*, 1988).

Le traitement au «stomacher» avait pour effet non seulement de débarrasser les sachets des particules alimentaires ou microbiennes présentes sur le tissu, mais aussi de décrocher le maximum de bactéries fixées sur les particules alimentaires restant dans le sachet.

## Analyses

Pour chaque fourrage, nous avons déterminé les teneurs en azote (méthode Kjeldahl), en parois (NDF) et en constituants ligno-cellulosiques (ADF) (Goering et Van Soest, 1970). La teneur en azote des résidus des sachets a également été déterminée par la méthode Kjeldahl, après regroupement des 2 sachets correspondant à un même point de cinétique et un même animal.

Par ailleurs, nous avons cherché à préciser la forme de l'azote des fourrages. Pour cela, nous avons dosé, sur les 4 fourrages, l'ammoniac libéré par extraction aqueuse à + 4 °C pendant 18 h (N-NH<sub>3</sub>) (méthode de Conway, rapportée par Dulphy et Demarquilly, 1981), et nous avons déterminé le pourcentage d'azote solubilisé dans un tampon (azote soluble par la méthode Durand, rapporté par Vérité et Demarquilly, 1978), dans des détergents neutre (N-ADS) ou acide (N-ADS).

## Calculs

Malgré l'utilisation du «stomacher» pour diminuer la colonisation des sachets par les bactéries du rumen, une quantité de matière sèche bactérienne notablement réduite (< 4% de la matière sèche résiduelle) mais non négligeable, reste encore présente dans les sachets. Mais ce pourcentage de matière sèche bactérienne étant indépendant de la nature du fourrage, il est possible de calculer pour chaque point de cinétique, la quantité d'azote alimentaire résiduel à partir de la quantité d'azote résiduel après passage au stomacher et de ce pourcentage de matière sèche bactérienne (Ould-Bah *et al.*, 1988).

Pour calculer la dégradabilité de l'azote alimentaire dans le rumen, les résultats de dégradation par aliment et par animal ont été ajustés à un modèle exponentiel décrit par Orskov et McDonald (1979), à savoir :

$$D(t) = a + b(1 - \exp(-ct))$$

qui suppose 3 fractions azotées : une fraction immédiatement dégradable (*a*); une autre dont la dégradation se fait plus lentement (*b*) avec une vitesse qui diminue exponentiellement

$$(\exp(-ct)); \text{ et une fraction non dégradable } (100 - a - b).$$

Pour comparer la dégradabilité de l'azote des fourrages dans le rumen, un taux de passage des particules alimentaires hors du rumen de 0,06 par heure a été retenu (Vérité *et al.*, 1987) et la dégradabilité de l'azote (*D*) a été calculée à l'aide de la formule suivante :

$$D = a + bc/(c + 0,06)$$

## RÉSULTATS

La composition chimique des fourrages avant et après traitement est donnée dans le Tableau I. Les teneurs en N de la paille et du foin ont augmenté après traitement, respectivement de 11 et de 10 g/kg de MS, ce qui correspond à un taux de fixation de l'azote de 23% pour la paille et de 45% pour le foin.

**Tableau I.** Composition chimique des fourrages avant et après traitement à l'ammoniac.

	MS (%)	NT	NDF (g/kg MS)	ADF
Paille				
non traitée	92,6	6,6	82,6	58,6
traitée	92,1	17,8	73,7	55,3
Foin				
non traité	89,3	17,8	56,4	38,2
traité	88,3	27,7	58,3	39,9

Le traitement à l'ammoniac n'a pas modifié les teneurs en constituants pariétaux du foin, mais la teneur en parois de la paille a diminué de 89 g/kg de MS, soit de 11%. La diminution observée est principalement liée à celle des hémicelluloses, respectivement 56 g/kg de MS pour les hémicelluloses contre 33 g/kg de MS pour la fraction ligno-cellulosique.

Les différents constituants de la fraction azotée des fourrages sont donnés dans le Tableau II. Le traitement a entraîné une augmentation très importante de la fraction soluble dans un tampon, qui passe de 1,9 à 10,2 g/kg de MS pour la paille et de 8,4 à 17,4 pour le foin. En proportion de l'azote fixé, on retrouve 91% de l'azote sous forme soluble pour le foin traité à l'ammoniac, dont 89% sont constitués d'azote ammoniacal. Pour la paille traitée, la fraction d'azote fixé qui est sous forme soluble, reste élevée (75%), mais cependant plus faible que pour le foin et l'azote, encore sous forme d'ammoniac, ne représente plus que 55% de cette fraction, le reste se trouvant sous une forme indétéminée.

Quant à la fraction azotée qui n'est pas solubilisée par un détergent neutre (N-NDF), elle n'est pas modifiée par le traitement à l'ammoniac pour le foin (7,1 g/kg de MS contre 7,9 g/kg de MS), mais elle augmente pour la paille traitée; elle passe de 1,9 à 4,4 g/kg de MS après traitement, et cette augmentation est d'ailleurs d'autant plus importante que parallèlement la teneur en NDF des pailles traitées a diminué. 23% de l'azote fixé au cours du traitement de la paille se retrouve sous forme d'azote lié à la fraction NDF, et seulement 7% est lié à la fraction ADF. Enfin, quel que soit le fourrage considéré, foin ou paille, traité à l'ammoniac ou non traité, la fraction d'azote qui n'est pas solubilisée par la pepsine est toujours plus importante que la fraction d'azote liée à l'ADF.

La quantité d'azote immédiatement dégradable dans les sachets qui est souvent assimilée à la quantité d'azote solubilisée dans le rumen, est presque nulle pour la paille, et relativement faible pour le foin (3,4 g/kg MS) (Tableau III); par opposition, la quantité d'azote potentiellement dégradable par les micro-organismes du rumen

Tableau II. Répartition de l'azote dans les fourrages avant et après traitement.

	N total		N soluble				N lié aux parois				N insoluble pepsique		
	N total		N-NH3		N non NH3		N - NDF		N - ADF				
	g/kg MS	%NF	g/kg MS	%NF	g/kg MS	%NF	g/kg MS	%NF	g/kg MS	%NF	g/kg MS	%NF	
Paille													
non traitée	6,6	1,9	-	0	1,9		1,9	-	1,2	-	2,5	-	
traitée	17,7	10,2	74,8	4,6	41,5	33,3	4,4	22,5	2,0	7,2	4,7	19,8	
Foin													
non traité	17,8	8,4	-	1,0	-	7,4	-	7,1	-	2,6	-	5,4	-
traité	27,7	17,4	90,9	9,0	80,8	10,1	7,9	8,1	3,2	6,1	6,5	9,1	

% NF = en p. 100 N fixé au cours du traitement.

est importante et représente à elle seule 75% de l'azote total pour les 2 fourrages (Fig. 1). Les quantités d'azote non dégradables du foin et de la paille sont identiques (1,2 g/kg MS), mais ramenée en % de l'azote total du fourrage, cette fraction est significativement plus élevée pour la paille (20%) que pour le foin (7%). Cette différence est compensée par une vitesse de dégradation plus élevée de l'azote de la paille. Entre 0 et 1 h d'incubation, 10% de l'azote de la paille est dégradé dans le rumen contre seulement 6% pour le foin. Aussi, le pourcentage d'azote dégradé dans le rumen est-il tout à fait comparable pour les 2 fourrages, soit 61% pour la paille et 62% pour le foin, quand le taux de renouvellement des particules dans le rumen est fixé à 0,06 par h.

Après traitement à l'ammoniac, la quantité d'azote immédiatement dégradable augmente considérablement, +10,7 g/kg MS pour la paille et + 13,6 g/kg MS pour le foin (Tableau III) et représente 62% de l'azote total pour les 2 fourrages traités (Fig. 1); parallèlement, la quantité d'azote qui se dégrade lentement reste constante ou même diminue dans le cas du foin. Quant à la fraction d'azote non dégradable, elle reste comprise entre 1,0 et 1,3 g/kg MS quel que soit le fourrage considéré, traité ou non. En pourcentage de

l'azote total, cette fraction ne représente plus que 8% pour la paille et 4% pour le foin, contre respectivement 20 et 7% avant traitement. La vitesse de dégradation des 2 fourrages traités est significativement plus faible que celle des fourrages non traités; entre 0 et 1 h d'incubation, 2% de l'azote est dégradé dans le rumen contre respectivement 10 et 6% pour la paille et le foin non traité. Malgré cette diminution de la vitesse de dégradation, le pourcentage d'azote dégradé dans le rumen passe de 62 avant traitement à 78% après traitement, cette augmentation étant due essentiellement à l'augmentation de la fraction immédiatement dégradable.

## DISCUSSION ET CONCLUSION

La teneur en azote de la paille a augmenté après le traitement à l'ammoniac, de 11 g/kg MS, soit une valeur un peu plus élevée que celle rapportée par Chenost et Dulphy (1987) dans leur synthèse bibliographique (8 g/kg MS), et la teneur en azote du foin est passée de 17,8 g à 27,7 g/kg de MS, ce qui correspond à une fixation de 12 g d'ammoniac/kg de MS, contre

**Tableau III.** Dégradation ruminale de l'azote des fourrages avant et après traitement (g/kg MS).

Azote	Immédiatement dégradable	Lentement dégradable	Non dégradable	Dégradé dans le rumen
<b>Paille</b>				
non traitée	0.3	5.0	1.3	4.0
traitée	11.0	5.4	1.3	13.9
<b>Foin</b>				
non traité	3.4	13.1	1.2	11.1
traité	17.0	9.6	1.0	21.5

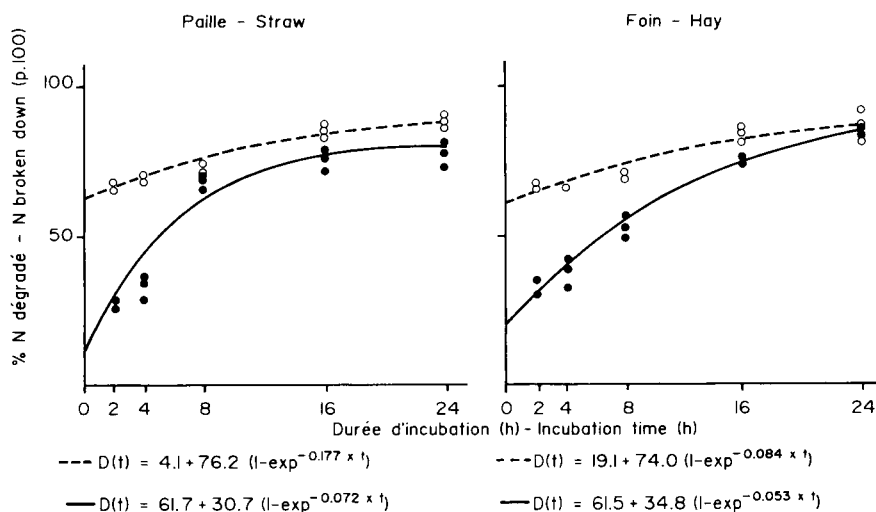


Fig. 1. Cinétique de dégradation de l'azote dans le rumen des fourrages avant (●—●) et après traitement (○---○).

19 g trouvé en moyenne par Benahmed et Dulphey (1986) avec des foins humides.

La dégradabilité de l'azote de la paille non traitée est de 61% dans cet essai, Varvikko et Lindberg (1985) ont trouvé une valeur de dégradabilité de la paille tout à fait comparable (62%); par contre, Bernard *et al.* (1988) rapportent une valeur un peu plus élevée (71%), la contamination microbienne des résidus de sachets ayant été mesurée dans les 2 essais par marquage de la population bactérienne du rumen avec du  $^{15}\text{N}$ . Après traitement à l'ammoniac, la dégradabilité de l'azote de la paille augmente fortement (78%), mais cette valeur reste inférieure à celle calculée à partir des résultats de Dryden et Kempton (1983), à savoir 94%. En effet, ces auteurs ne prennent pas en compte dans leur modèle la fraction azotée non dégradable. Par ailleurs, le pourcentage d'azote immédiatement dégradable est un peu plus faible dans notre essai (62%) que celui rapporté par Dryden et Kempton (74%).

Cette augmentation de la dégradabilité de l'azote des fourrages traités est due essentiellement à une augmentation de l'azote rapidement solubilisée dans le tampon ou dans le rumen; 75% de l'azote fixé au cours du traitement se retrouve sous forme d'azote soluble dans notre essai, soit une valeur très proche de celles rapportées par Gordon et Chesson (1983) et Dryden et Kempton (1983), respectivement 73 et 67%. Cette fraction solubilisée correspondrait à la fraction rapidement dégradée qui représente 96% de l'azote fixé au cours du traitement.

La quantité d'azote indigestible dans le tube digestif (Goering *et al.*, 1972), ou non dégradable par les micro-organismes du rumen (Krisnamoorthy *et al.*, 1983) ou par une protéase simulant l'activité protéolytique ruminale (Pichard, 1977) est liée à la quantité d'azote insoluble dans un solvant acide (N-ADF). Dans notre essai, la quantité d'azote non dégradable n'est pas modifiée par le traitement à l'ammoniac, alors



que l'azote lié à l'ADF augmente de 0,8 g/kg MS pour la paille et de 0,6 g/kg MS pour le foin. Cette augmentation de l'azote lié à l'ADF est du même ordre de grandeur que celle rapportée par Dias Da Silva (1986) et Ramihone (1987), sur des pailles traitées à l'urée ou à l'ammoniac. Il semblerait donc que, pour les 2 fourrages traités à l'ammoniac, les modifications de répartition de l'azote dans le végétal ne se traduisent pas par des différences de digestion ruminale.

Des 3 hypothèses proposées précédemment pour expliquer l'augmentation anormale de l'azote excrété dans les fèces avec des fourrages traités à l'ammoniac, seule la dernière est en accord avec les résultats obtenus dans cet essai. En effet, le traitement à l'ammoniac des fourrages :

- n'a pas modifié la quantité d'azote non dégradable dans le rumen. L'azote apporté lors du traitement ne semble donc pas se fixer sur les parois indigestibles du fourrage; de même, les protéines du fourrage n'ont pas été rendues, même partiellement, indigestibles par le traitement;

- n'a augmenté que de 10% la quantité d'azote lentement dégradable de la paille et a même rendu immédiatement dégradable une partie de cette fraction dans le cas du foin. Cette fraction ne représente que 30 à 35% de l'azote des fourrages traités; aussi, la dégradabilité de l'azote de ces fourrages dans le rumen est-elle peu sensible aux variations d'activité microbienne ou de temps de séjour des particules dans le rumen. D'ailleurs, malgré l'effet favorable d'une complémentation protéique sur la digestibilité de la matière organique des pailles traitées à l'ammoniac (McAllan et Griffith, 1987), les quantités de matières azotées non digérées dans l'ensemble du tube digestif restent élevées avec ce type

de fourrage (Ramihone, 1987). Enfin, quand le temps de séjour des particules dans le rumen passe de 24 à 17 h, la dégradabilité *in sacco* de l'azote des fourrages traités ne diminue que de 4%. L'hypothèse suivant laquelle l'azote fixé serait lié à des parois non digérées dans le rumen ne peut donc être retenue;

- a entraîné une augmentation très importante de la quantité d'azote solubilisé dans une solution tampon, cette fraction représentant à elle seule environ 60% de l'azote des fourrages traités à l'ammoniac.

Cet azote qui, dans les essais *in sacco*, disparaît très rapidement, est implicitement considéré comme totalement dégradé dans le rumen. Or seulement 40 à 60% de cet azote soluble se trouvent sous forme d'ammoniac (Dryden et Kempton, 1983; Gordon et Chesson, 1983; Ramihone, 1987); le reste se trouve sous une forme inconnue. Cette forme d'azote est-elle utilisable par les micro-organismes du rumen? On peut se poser la question, d'autant que des essais réalisés en fermentateur semi-continu semblent montrer qu'une partie de l'ammoniac apporté par le traitement n'est pas utilisé par les micro-organismes du rumen (Ramihone, 1987). Cette hypothèse nécessiterait d'être approfondie en étudiant l'utilisation ruminale de l'azote d'une paille traitée à l'ammoniac et préalablement marquée.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient M. Chenost (INRA) et G. Cabon (ITCF) pour les échantillons de paille et de foin qu'ils ont mis à leur disposition.

## RÉFÉRENCES

- Benahmed M. & Dulphy J.P. (1985) Note sur la valeur azotée des fourrages pauvres traités par l'urée ou l'ammoniac. *Ann. Zootech.* 34, 335-346
- Benahmed M. & 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
- Bernard L., Marvalin O., Yang W. & Poncet C. (1988) Colonisation bactérienne des différents types d'aliments incubés *in sacco* dans le rumen : conséquences pour l'estimation de la dégradabilité de l'azote. *Reprod. Nutr. Dev.* 28, 105-106
- Borhami B.E.A. & Johnson F. (1981) Digestion and duodenal flow of ammonia-treated straw and sodium hydroxide treated straw supplemented with urea, soybean meal or viscera silage. *Acta Agric. Scand.* 31, 245-250
- Chenost M. & Dulphy J.P. (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* (Demarquilly C., ed.), INRA, Paris, 199-230
- Dias Da Silva A.A. (1986) Urea as a source of ammonia for improving the nutritive value of wheat straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 14, 67-79
- Dryden G. McL. & Kempton T.J. (1983) Digestion of organic matter and nitrogen in ammoniated barley straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 10, 65-75
- Dulphy J.P. & Demarquilly C. (1981) Problèmes particuliers aux ensilages. In : *Prévision de la Valeur nutritive des Aliments des Ruminants*. INRA, route de Saint-Cyr, 78000 Versailles, 81-104
- Dulphy J.P., Komar A. & Zwaenepoel P. (1984a) Effets comparés des traitements à l'ammoniac et à la soude sur la valeur alimentaire des fourrages pauvres. *Ann. Zootech.* 33, 321-342
- Dulphy J.P. & Zwaenepoel P., Komar A. & Aboulfaraj S. (1984b) Valeur alimentaire des foin traités par l'ammoniac. *Ann. Zootech.* 33, 187-200
- Gordon A.H. & Chesson A. (1983) The effect of prolonged storage on the digestibility and nitrogen content of ammonia-treated barley straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 8, 147-153
- Goering H.K., Gordon C.H., Hemken R.W., Waldo D.R., Van Soest P.J. & Smith L.W. (1972) Analytical estimates of nitrogen digestibility in heat-damaged forages. *J. Dairy Sci.* 55, 1275-1280
- Goering H.K. & Van Soest P.J. (1970) Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agric. Handbk.* N° 379, Agricultural Research Service, USDA
- Krishnamoorthy U., Muscato T., Sniffen C.J. & Van Soest P.J. (1983) Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *J. Dairy Sci.* 65, 217-225
- McAllan A.B. & Griffith E.S. (1987) The effects of different sources of nitrogen supplementation on the digestion of fibre components in the rumen of steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 17, 65-73
- Michalet-Doreau B., Vérité R. & Chapoutot R. (1987) Méthodologie de mesure de la dégradabilité *in sacco* de l'azote des aliments dans le rumen. *Bull. Tech. CRZV Theix, INRA*, 69, 5-7
- Orskov E.R. & McDonald J. (1979) The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. Camb.* 92, 499-503
- Ould-Bah M.Y., Michalet-Doreau B. & Jamot J. (1988) Colonisation bactérienne des résidus alimentaires des sachets incubés dans le rumen : utilisation du «stomacher» pour la réduire et conséquences sur la mesure de la dégradabilité ruminale de l'azote. *Reprod. Nutr. Dev.*
- Pichard G. (1977) Forage nutritive value. Continuous and batch *in vitro* rumen fermentations and nitrogen solubility. PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, NY, 91 pp.
- Ramihone B. (1987) Facteurs limitant la fermentation dans le rumen des pailles de céréales traitées à l'ammoniac anhydre. Thèse, Univ. des Sciences et Techniques, Languedoc, 85 pp.
- Solaiman S.G., Horn G.W. & Owens F.N. (1979) Ammonium hydroxide treatment on wheat straw. *J. Anim. Sci.* 49, 802-808
- Steg A., Den Boer D.J. (1982) Voeder waardschatting van ontsloten rowvoer. *Bedrijfsontwikkeling* 13, 607-612
- Sundstøl T., Coxworth E. & Mowat D.N. (1978) Improving the nutritive value of straws and other

low quality roughages by treatment with ammonia. *World Anim. Rev.* 26, 13-21

Varvikko T., Lindberg J.E. (1985) Estimation of microbial nitrogen in nylon bag residues by food  $^{15}\text{N}$  dilution. *Brit. J. Nutr.* 54, 473-481

Vérité R. & Demarquilly C. (1978) Qualité des matières azotées des aliments pour ruminants.

*In: La Vache Laitière.* INRA Publ., route de Saint-Cyr, 78000 Versailles, 143-157

Vérité R., Michalet-Doreau B., Chapoutot P., Peyraud J.L. & Poncet C. (1987) Révision du système des protéines digestibles dans l'intestin (PDI). *Bull. Techn. CRZV Theix, INRA* 70, 19-34