

Amélioration de la prévision de la valeur alimentaire de certains foins au laboratoire

J.P. Dulphy, M. Jailler, J. Jamot et H. Bousquet

La prévision de la valeur alimentaire (ingestibilité, valeur énergétique et valeur azotée) des foins au laboratoire a fait l'objet d'une mise au point récente très complète par DEMARQUILLY et ANDRIEU (1987). Dans cette mise au point, les auteurs ont signalé les lacunes de la composition chimique classique pour prévoir la valeur de certains foins : foins normaux d'association simple ou complexe de plantes, foins ayant chauffé, foins traités à l'ammoniac. Si quelques palliatifs faisant intervenir de nouveaux critères chimiques ou de nouvelles méthodes ont été proposés par ces auteurs, leur prise en compte n'avait pas été possible car le travail en cours sur ce sujet n'était pas terminé. Ce texte a donc pour objectif d'en présenter les résultats.

En ce qui concerne l'ingestibilité, qui a été mesurée sur moutons, nous avons cherché à prendre plus en compte la teneur en parois totales (ROHWEDER, BARNES et JORGENSEN, 1978 ; BRICENO et al., 1987) avec, comme but, de proposer une équation de prévision valable pour les associations graminées-luzernes (DULPHY, 1987). Nous avons également testé l'intérêt d'une méthode basée sur la mesure du spectre

MOTS CLÉS

Association végétale, digestibilité, foin, graminée, ingestibilité, luzerne, prairie naturelle, prévision, valeur alimentaire.

KEY-WORDS

Digestibility, feeding value, forecast, grass, hay, lucerne, natural pasture, plant association, voluntary intake.

AUTEURS

Station de Recherches sur la Nutrition des Herbivores, INRA, Centre de Clermont-Ferrand/Theix, F-63122 Ceyrat.

de réflexion dans le proche infra-rouge (NORRIS et al., 1976), méthode en plein développement.

Pour la digestibilité de la matière organique, et donc la valeur énergétique, nous avons repris une méthode à la pepsine-cellulase (AUFRERE, 1982), ainsi que celle de NORRIS et al. (1976).

Nous ne nous sommes pas intéressés directement à la valeur azotée, mais indirectement, par le biais des quantités de matières azotées non digestibles (MAND) retrouvées dans les fèces. Ce paramètre a maintenant un intérêt moins évident avec le système des PDI, protéines digestibles dans l'intestin grêle (VERITE et al., 1987), mais il peut permettre de calculer la digestibilité réelle des acides aminés alimentaires (dr) dans l'intestin grêle ou la classique teneur en matières azotées digestibles (MAD = MAT - MAND). Il permet surtout d'apprécier l'échauffement des foins rentrés trop humides et des dommages entraînés au niveau des protéines par le traitement à l'ammoniac (BENHAMED et DULPHY, 1986). Pour cette prévision on a déterminé :

— la teneur en azote insoluble dans la pepsine (DIJKSTRA et VAN DER SCHAAF, 1955 ; GOERING et al., 1972 ; GOERING, 1976) ;

— la teneur en azote insoluble dans un détergent acide (YU YU et THOMAS, 1976 ; YU YU, 1977).

Matériel et méthodes

• Fourrages

Trois catégories de foins ont été étudiées :

— des foins de graminées non traités (n = 98) préparés de 1981 à 1987 à Theix, Marcenat, Orcival, Laqueuille (INRA), Montoldre (CEMAGREF) et dans les Alpes du Nord, pour différents essais ; parmi ces foins, 70 provenaient de prairies naturelles et 28 de graminées pures (dactyle, ray-grass ou fétuque) ;

— des foins de graminées traités à l'ammoniac, secs ou humides (n = 33), préparés à Theix, Orcival et Montoldre de 1981 à 1985 dans le cadre des essais menés avec ZWAENEPOEL (cf. DULPHY, ZWAENEPOEL et PELHATE, 1986) et BENHAMED (BENHAMED et DULPHY, 1986) ;

— des foins de luzerne d'origines variées (n = 17) provenant de Theix ou de l'extérieur de 1981 à 1987.

Il n'y a donc pas de foins d'associations graminées-luzernes directement étudiés. Nous en parlerons donc seulement dans la discussion. Quant aux foins ayant chauffé, ils sont répartis dans le groupe des 98 foins de graminées. Nous y ferons allusion lorsque cela sera nécessaire.

• Mesures in vivo

Tous les foins étudiés ont été distribués ad libitum de novembre à juin à des lots de 6 moutons (béliers castrés de race Texel) placés en cage à métabolisme, à Theix, Marcenat et Orcival. Les animaux étaient adaptés à leur régime au moins pendant 2 semaines et les mesures, qui duraient 6 jours pour chaque foin, ont permis de déterminer :

- les quantités ingérées, par différence des quantités offertes et refusées, en tolérant 10 % de refus. Exprimées en g de matière sèche (MS) par kg P^{0,75} (P : poids vif), ces quantités seront appelées "ingestibilités" des foins (QIM) ;
- la digestibilité de l'ingéré par collecte totale des fèces.

• Mesures au laboratoire

Les critères mesurés au laboratoire ont été les suivants :

- cendres, après incinération à 550°C pendant 6 heures pour les fourrages offerts, les refus et les fèces. Ce critère est nécessaire pour calculer ensuite la digestibilité de la matière organique (DMO) ;
- matières azotées totales (MAT) par la méthode de KJELDHAL ($N \times 6,25$) ;
- cellulose brute (CB) par la méthode de WEENDE ;
- parois totales (NDF de VAN SOEST) par la méthode de GOERING et VAN SOEST (1970) ;
- ligno-cellulose (ADF de VAN SOEST, effectuée directement) sur laquelle on dose la teneur en azote pour calculer la teneur en matières azotées insolubles dans le détergent acide (YU YU et THOMAS, 1976) (MAIDA) ;
- matières azotées ($N \times 6,25$) insolubles dans une solution de pepsine acide (GOERING et VAN SOEST, 1970 ; GOERING, 1976) (MAIP). La détermination se fait après attaque à la pepsine (1 % poids/volume) dans une solution de HCl 0,1 N à 39°C pendant 20 heures ;
- digestibilité in vitro de la matière sèche par la pepsine-cellulase, selon la méthode de J. AUFRERE (1982) (dcel). La détermination se fait après un pré-

traitement dans une solution acide (HCl 1N) de pepsine pendant 24 h à 40°C puis traitement par une cellulase pendant 24 h à 40°C.

Nous avons mesuré enfin les spectres de réflexion infra-rouge pour 20 longueurs d'onde à l'aide d'un appareil à filtres Technicon Infra-Analyzer 400.

Les résultats moyens et les écarts types des moyennes, par catégorie de foins, figurent dans le tableau 1. Dans ce tableau nous n'avons pas séparé les foins de graminées en 2 groupes, comme nous l'avons fait plus loin pour étudier l'ingestibilité. En effet, les résultats obtenus pour ces 2 groupes (prairies naturelles et prairies temporaires) sont proches :

- MAT : 115 g/kg MS pour les graminées pures contre 114 pour les prairies naturelles ;
- CB : 318 g/kg MS contre 304 g ;
- NDF : 685 g/kg MS contre 663 g ;
- QIM : 53,6 g/kg P^{0,75} contre 57 g.

	Graminées	Graminées traitées	Luzernes
Nombre de foins (n)	98	33	17
Teneurs (g/kg MS)			
- Matières azotées totales (MAT)	114 ± 36	188 ± 60	149 ± 25
- Cellulose brute (CB)	308 ± 34	322 ± 35	330 ± 47
- Pérois totales (NDF)	669 ± 55	652 ± 48	545 ± 70
- Matières azotées insolubles dans la pepsine (MAIP)	37,9 ± 11,7	50,6 ± 24,3	38,9 ± 10,5
- Matières azotées insolubles dans le détergent acide (MAIDA)	11,1 ± 5,5	-	14,7 ± 5,9
Autres critères			
- Quantités de MS ingérées (g/kg P ^{0,75})	56,0 ± 9,7	62,0 ± 8,6	68,1 ± 14,2
- Digestibilité in vivo de la MO (DMO, en %)	60,7 ± 5,0	61,7 ± 3,1	57,7 ± 4,6
- Digestibilité à la pepsine-cellulase (d. cell, en %)	60,0 ± 5,9	60,0 ± 4,6	60,3 ± 5,6
- Valeur énergétique (UFL/kg MS)	0,68 ± 0,08	0,70 ± 0,05	0,63 ± 0,07
- Teneur en matières azotées non digestibles (MAND, en g/kg MS)	50,0 ± 7,5	90,0 ± 24,4	51,6 ± 7,8

TABLEAU 1 : **Caractéristiques des foins étudiés** (moyennes et écarts types).

TABLE 1 : *Characteristics of the studied hay samples (means, standard deviations).*

Résultats

• Prévision de l'ingestibilité

Globalement la prévision de l'ingestibilité des foins (QIM, tableau 2) n'est jamais très précise. Pour l'ensemble des graminées et surtout les prairies naturelles, le cri-

Critère de prévision	Equation	Sxy	r (équation simple) ou R (équation multiple)	
Graminées (n = 98)				
- MAT	MAT est non significatif (NS)			NS
- CB	QIM = 104,4 - 0,157 CB	± 7,9	- 0,571	S
- NDF	QIM = 135,2 - 0,118 NDF	± 7,0	- 0,680	S
- MAT + CB	MAT est NS			NS
- MAT + NDF	QIM = 120,8 - 0,107 NDF + 0,061 MAT	± 6,7	0,716	S
Prairies naturelles (n = 70)				
- MAT	MAT est NS			NS
- CB	QIM = 98,8 - 0,138 CB	± 8,6	- 0,474	S
- NDF	QIM = 136,5 - 0,120 NDF	± 7,2	- 0,678	S
- MAT + CB	MAT est NS			NS
- MAT + NDF	MAT est NS			NS
Graminées pures (n = 28)				
- MAT	MAT est NS			NS
- CB	QIM = 114,3 - 0,190 CB	± 5,7	- 0,780	S
- NDF	QIM = 128,6 - 0,109 NDF	± 6,9	- 0,647	S
- MAT + CB	MAT est NS			NS
- MAT + NDF	QIM = 96,1 - 0,078 NDF + 0,096 MAT	± 5,7	0,780	S
Graminées traitées (n = 33)				
- MAT	MAT est NS			NS
- CB	QIM = 108,3 - 0,143 CB	± 7,0	- 0,591	S
- NDF	QIM = 98,0 - 0,055 NDF	± 8,3	- 0,310	NS
- MAT + CB	MAT est NS			NS
- MAT + NDF	MAT est NS			NS
Luzernes (n = 17)				
- MAT	QIM = 25,1 + 0,289 MAT	± 12,6	+ 0,512	S
- CB	QIM = 95,9 - 0,084 CB	± 14,1	- 0,281	NS
- NDF	QIM = 105,3 - 0,068 NDF	± 13,8	- 0,337	NS
- MAT + CB	QIM = 42,2 - 0,041 CB + 0,27 MAT	± 12,9	0,529	NS
- MAT + NDF	QIM = 29,7 - 0,0057 NDF + 0,28 MAT	± 13,1	0,513	NS
Graminées + Luzernes (n = 115)				
- MAT	QIM = 40,6 + 0,144 MAT	± 9,9	0,478	S
- CB	QIM = 92,2 - 0,11 CB	± 10,4	- 0,370	S
- NDF	QIM = 125,5 - 0,10 NDF	± 8,3	- 0,671	S
- MAT + CB	QIM = 61,2 - 0,056 CB + 0,117 MAT	± 9,7	0,505	S
- MAT + NDF	QIM = 107,2 - 0,088 NDF + 0,069 MAT	± 8,0	0,702	S

TABLEAU 2 : Prévision de l'ingestibilité des foins (QIM, en g/kg P^{0,75}).

TABLE 2 : Forecast of voluntary intake of hay samples (QIM, g/kg live weight).

ère NDF est le meilleur (écart type résiduel, $S_{xy} = 7,0$ et $7,2$ g MS/kg $P^{0,75}$). Son intérêt est légèrement renforcé si on lui associe le critère MAT (S_{xy} devenant 6,7 pour les graminées).

A l'inverse, pour les graminées pures et les graminées traitées à l'ammoniac, le critère CB est le meilleur (S_{xy} respectivement égaux à 5,7 et 7,0).

Pour les foins de luzerne, seul le critère MAT a un effet significatif mais faible ($S_{xy} = 12,6$) dans ce travail.

Pour les associations de graminées et de luzernes (simulées en mélangeant pour le calcul les foins de graminées non traités et ceux de luzerne) seul le critère NDF est intéressant, associé au critère MAT. Dans ce cas, la précision de la prévision reste acceptable ($S_{xy} = 8,0$ contre 9,7 avec CB et MAT) et surtout, à même teneur en NDF, les ingestibilités des graminées et des luzernes sont proches (figures 1a et 1b), d'où l'intérêt de ce critère si on mélange graminées et luzernes. Ceci n'est pas le cas avec le critère CB.

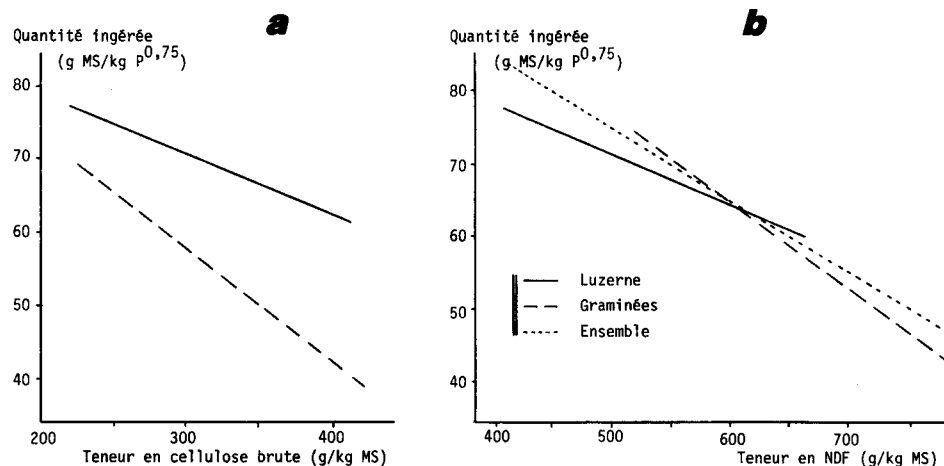


FIGURE 1 : Relation entre l'ingestibilité des foins et leur teneur en cellulose brute (a) ou en NDF (b).

FIGURE 1 : Relationship between hay voluntary intake and crude protein content (a) or NDF content (b).

La comparaison statistique des différentes droites obtenues indique que, pour le critère CB, seules celles concernant graminées pures et prairies naturelles ne sont pas significativement différentes. Pour le critère NDF, seule la droite des foins de graminées traités se différencie significativement. Celles des foins de graminées non traités et de luzernes sont donc bien comparables.

La mesure du spectre de réflexion dans le proche infra-rouge a permis de calculer la régression entre l'ingestibilité des foins et les résultats pour les 20 longueurs d'onde. Les écarts types résiduels des régressions sont faibles : respectivement 5,2 g MS/kg P^{0.75} pour l'ensemble des graminées, 2,9 pour les graminées pures, 5,0 pour les prairies naturelles, 3,5 pour les graminées traitées et 4,8 pour les luzernes. Les liaisons obtenues sont donc très bonnes. Il reste maintenant à approfondir ce travail pour mieux connaître l'intérêt respectif des différentes longueurs d'onde et mettre au point des équations de prévision généralisables.

• Prévision de la digestibilité de la matière organique

L'éclatement des foins de graminées en 2 groupes ne présente pas ici d'intérêt.

Pour les 3 catégories de foins retenues, le critère CB n'est pas un bon critère de prévision de la digestibilité (S_{xy} égal ou supérieur à 3 points, tableau 3). La teneur en MAT est un critère intéressant pour les foins de graminées traités à l'ammoniac (S_{xy} = 2,4 g/kg MS). C'est cependant le critère "digestibilité à la pepsine-cellulase" qui semble le meilleur, surtout pour les foins traités et les luzernes (S_{xy} = 2,1 et 2,2). Pour les foins de graminées, il se trouve que la liaison avec la digestibilité à la pepsine-cellulase n'est pas très bonne ; elle devient acceptable si on associe la teneur en MAT (S_{xy} devient égal à 2,6).

Critère de prévision	Equation	S _{xy}	r	ou R
Graminées (n = 98)				
- MAT	DMO = 48,5 + 0,107 MAT	± 3,2	0,777	S
- CB	CB est NS			NS
- d.cel	DMO = 19,6 + 0,686 d.cel	± 2,9	0,813	S
- MAT + CB	DMO = 64,9 + 0,081 MAT - 0,044 CB	± 3,0	0,811	S
- MAT + d.cel	DMO = 28,0 + 0,444 d.cel + 0,053 MAT	± 2,6	0,854	S
Graminées traitées (n = 33)				
- MAT	DMO = 55,5 + 0,033 MAT	± 2,4	0,636	S
- CB	DMO = 71,3 - 0,0298 CB	± 3,0	- 0,339	S
- d.cel	DMO = 32,3 + 0,488 d.cel	± 2,1	0,731	S
- MAT + CB	DMO = 57,9 + 0,031 MAT - 0,0066 CB*	± 2,5	0,640	S
- MAT + d.cel	DMO = 36,2 + 0,0182 MAT + 0,367 d.cel	± 2,0	0,791	S
Luzernes (n = 17)				
- MAT	MAT est NS			NS
- CB	DMO = 82,2 - 0,074 CB	± 3,1	- 0,757	S
- d.cel	DMO = 13,1 + 0,739 d.cel	± 2,2	+ 0,888	S
- MAT + CB	MAT est NS			NS
- MAT + d.cel	MAT est NS			NS

*: CB n'a pas d'effet significatif dans cette relation

TABLEAU 3 : Prévision de la digestibilité des foins (DMO, en %).

TABLE 3 : Forecast of digestibility of hay samples (DMO, %).

Pour le critère MAT, les 3 droites obtenues sont significativement différentes. Pour le critère CB, seules celles des foins de graminées non traités et traités sont différentes entre elles. Pour le critère dcel, la droite de la luzerne se distingue significativement de celles des 2 familles de graminées, ces dernières n'étant pas significativement différentes entre elles.

Nous avons en outre testé l'intérêt du spectre de réflexion dans le proche infra-rouge comme critère de prévision. Pour l'ensemble des 20 longueurs d'onde dont nous disposons, on obtient des écarts types résiduels parfois très faibles pour les régressions entre la digestibilité et les caractéristiques du spectre de réflexion : respectivement $\pm 2,7$ pour l'ensemble des foins de graminées, $\pm 1,2$ pour les foins de graminées pures, $\pm 2,4$ pour les foins de prairie naturelle, $\pm 1,9$ pour les foins de graminées traités à l'ammoniac et $\pm 0,9$ pour les foins de luzerne.

• Prévision de la teneur en matières azotées non digestibles

Ici aussi l'éclatement des foins de graminées en 2 groupes n'a pas d'intérêt.

Pour les foins de graminées normaux, la teneur en MAT est déjà un bon critère de prévision ($S_{xy} = 5,4$ g/kg MS, tableau 4). Ensuite, parmi les deux nouveaux critères étudiés, la teneur en matières azotées insolubles dans la pepsine (MAIP)

Critère de prévision	Equation	S_{xy}	r	ou R
Graminées (n = 98)				
- MAT	MAND = 33,5 + 0,144 MAT	$\pm 5,4$	0,701	S
- MAIDA	MAND = 46,7 + 0,298 MAIDA	$\pm 7,3$	0,218	S
- MAIP	MAND = 33,5 + 0,434 MAIP	$\pm 5,5$	0,677	S
- MAT + MAIDA	MAIDA est NS			NS
- MAT + MAIP	MAND = 31,3 + 0,0906 MAT + 0,22 MAIP*	$\pm 5,1$	0,736	S
Graminées traitées (n = 33)				
- MAT	MAND = 20,4 + 0,370 MAT	$\pm 10,2$	0,911	S
- MAIP	MAND = 46,0 + 0,87 MAIP	$\pm 12,3$	0,868	S
- MAT + MAIP	MAND = 24,3 + 0,244 MAT + 0,392 MAIP	$\pm 8,5$	0,942	S
Luzernes (n = 17)				
- MAT	MAT est NS	$\pm 6,7$	+ 0,557	S
- MAIDA	MAND = 40,9 + 0,726 MAIDA	$\pm 4,6$	+ 0,822	S
- MAIP	MAND = 28,0 + 0,607 MAIP			
- MAT + MAIDA	MAT est NS			
- MAT + MAIP	MAT est NS			

*: MAIP n'a pas d'effet significatif dans cette relation

TABLEAU 4 : Prévision de la teneur en matières azotées non digestibles des foins (MAND, en g/kg MS).

TABLE 4 : Forecast of indigestible protein contents of hay samples (MAND, g/kg DM).

est le critère le plus intéressant soit seul (luzernes : $S_{xy} = 4,6$), soit associé à la teneur en MAT (graminées traitées : $S_{xy} = 8,5$; graminées non traitées : $S_{xy} = 5,1$).

Pour le critère MAT, les 3 droites sont significativement différentes entre elles. Par contre, pour le critère MAIDA, graminées et luzernes donnent des droites non significativement différentes. Enfin, pour le critère MAIP, la droite des graminées traitées est significativement différente de celle des graminées non traitées et des luzernes qui sont comparables entre elles.

Les caractéristiques du spectre de réflexion dans le proche infra-rouge donnent de bons résultats en combinant les 20 longueurs d'onde : respectivement $\pm 3,6$ g/kg MS pour les foins normaux de graminées, $\pm 6,7$ g pour les foins traités de graminées et $\pm 2,7$ g pour les foins de luzerne.

En ne retenant que les 39 foins de graminées ayant une teneur en MAND supérieure à 50 g/kg MS (une partie importante de ces foins ayant plus ou moins chauffé), on obtient une régression avec un faible écart type : $\pm 3,2$ g/kg MS.

Discussion - conclusion

Ces résultats complètent donc ceux présentés récemment par DULPHY (1987) et par DEMARQUILLY et ANDRIEU (1987). Ils complètent aussi, sur des points précis, les tables de DEMARQUILLY et al. (1981) qui concernent des foins normaux d'espèces végétales connues, et qui ne sont pas remises en cause par ce travail.

Par rapport aux résultats présentés en 1987 (références ci-dessus), qui étaient partiels, nous disposons maintenant de près de 150 foins contre 75 alors, grâce à l'addition de 37 foins de prairie naturelle, de 33 foins de graminées traités à l'ammoniac et de 3 foins de luzerne.

• Ingestibilité

En ce qui concerne la prévision des ingestibilités, il se confirme que la teneur en parois n'est pas le critère idéal, mais il demeure plus facile à déterminer que la teneur en cellulose brute. Joint à la teneur en MAT, qui est en général toujours mesurée, ce critère "parois totales" ou NDF permet une précision acceptable dans la prévision des ingestibilités ($S_{xy} = 6,7$ g MS/kg $P^{0,75}$). Ce résultat est comparable à ceux qu'obtiennent DEMARQUILLY et al. (1981) qui, pour une espèce végétale et un cycle donnés, proposent des équations de prévision basées sur le critère cellulose brute, avec des écarts types compris entre 4,5 et 8,9 g MS/kg $P^{0,75}$. En revanche, pour les foins de luzerne dont nous disposons, les différents critères étudiés ne sont pas liés aux ingestibilités très variables de ces foins. Ces ingestibilités sont très légèrement supérieures (+ 4%) à celles mesurées par DEMARQUILLY et al. (1981)

à même teneur en cellulose brute. Pour les foins de prairie naturelle nous trouvons, avec le critère cellulose brute, des résultats très proches de ceux de DEMARQUILLY et al. (1981). Ces derniers proposent la relation suivante : $QIM = 91,0 + 0,122 CB$ ($\pm 8,2$) mais, pour une teneur en cellulose brute de 310 g/kg MS, nous enregistrons encore des ingestibilités plus élevées de 5%. Pour ces foins, le critère NDF améliore légèrement la précision de la prévision. Enfin, pour les associations graminées-luzerne, il s'avère que le critère NDF est le seul utilisable car, à même teneur, graminées et luzernes ont des ingestibilités comparables.

Notons aussi qu'un travail récent de REID et al. (1988) démontre l'intérêt du critère NDF, mais compte tenu du très grand nombre de fourrages étudiés, les écarts types résiduels restent très élevés : $QIM = 134,5 - 0,101 NDF$ ($\pm 14,7$) pour 428 fourrages distribués à des moutons par ces auteurs.

Enfin, le travail préliminaire basé sur l'utilisation du spectre de réflexion dans le proche infra-rouge est très encourageant. Le fait de trouver des régressions avec l'ingestibilité qui ont un écart type compris entre 3 et 5,2 g MS/kg $P^{0,75}$ est remarquable. Dans un travail récent, REDSHAW et al. (1986) trouvent 6,3 g pour les moutons et 7,6 g pour les bovins. Bien sûr, il ne s'agit pour l'instant que d'équations de calibration dont il faudra tester la valeur en tant qu'outil de prévision. Insistons cependant sur le fait que la répétabilité des mesures d'ingestibilité est faible. Par exemple, pour 12 mesures concernant le même foin et faites par ailleurs, nous avons trouvé une ingestibilité de 76 g, mais un écart type inter-mesures de 4,3 g avec 6 moutons/lot (DULPHY, non publié) pour des conditions de mesure identiques à celles rencontrées dans les essais présentés ici (animaux d'âge variable, d'état d'engraissement variable, à des saisons différentes).

Les écarts types résiduels élevés trouvés pour la prévision des ingestibilités proviennent donc en partie d'une insuffisance de standardisation des mesures, y compris pour celles de DEMARQUILLY, ANDRIEU et WEGAT-LITRE (1981). A l'avenir il faudra donc corriger les ingestibilités en les comparant à celles d'un foin standard comme le proposent EVANS et POTTER (1984). Avec une meilleure standardisation des mesures et le recours à la spectro-photométrie infra-rouge on devrait disposer, dans les années qui viennent, de méthodes efficaces pour prévoir l'ingestibilité des foins. Il est probable cependant que l'existence de mécanismes complexes de régulation des quantités ingérées au niveau sensoriel (goût-odeur) et métabolique empêcheront toujours d'avoir des équations de prévision aussi précises que celles concernant la digestibilité.

• Digestibilité

Nos résultats sur la prévision de la digestibilité des foins sont moins intéressants que les précédents, car les méthodes de prévision actuelles sont déjà très pré-

cises. Nous confirmons par exemple que la digestibilité à la pepsine-cellulase de J. AUFRERE (1982) permet une bonne prévision de la digestibilité *in vivo*. Pour 34 foins de graminées cet auteur trouvait : $DMO = 14,1 + 0,75 \text{ dcel } (\pm 2,3)$, et pour 19 foins de luzernes différentes des nôtres : $DMO = 12,0 + 0,77 \text{ dcel } (\pm 1,9)$. Il existe des petites différences entre nos équations et celles de J. AUFRERE (1982), différences sans gravité si on prend soin de calculer, dans les conditions de chaque laboratoire, une équation de prévision spécifique basée sur des échantillons de valeur bien connue. La méthode de J. AUFRERE est également efficace pour des foins aussi particuliers que ceux traités à l'ammoniac. Notons aussi que cette méthode peut être légèrement améliorée en introduisant le critère MAT, critère qui est toujours mesuré pour le calcul des valeurs azotées.

Comme le signalent DEMARQUILLY et ANDRIEU (1987), la spectro-photométrie infra-rouge a maintenant de fortes chances de supplanter rapidement les méthodes de prévision actuelles. En effet les écarts types des régressions obtenues sont égaux ou inférieurs à ceux des régressions obtenues avec la méthode à la pepsine-cellulase, déjà très précise. La méthode infra-rouge pourra apporter une grande rapidité dans les prévisions. Il reste à l'adapter à un usage de routine, travail en cours dans de nombreux laboratoires (par exemple LINDGREN, 1988 ; ANDRIEU, AUFRERE et DEMARQUILLY dans notre station), mais qui n'était pas ici notre objectif.

• Matières azotées non digestibles

Le dernier paramètre étudié est la teneur en MAND des foins. DEMARQUILLY, GRENET et ANDRIEU (1981) ont déjà fourni, pour des foins normaux, de nombreux renseignements sur les teneurs en MAD. Nous n'insisterons pas sur ces foins normaux d'autant plus que le développement du système des PDI (VERITE et al., 1987) rend pratiquement sans intérêt la prévision de la digestibilité apparente des matières azotées chez le ruminant. En l'état actuel on ne dispose cependant pas de méthode pour connaître précisément la valeur azotée des foins rentrés trop humides et qui chauffent ainsi que de ceux traités à l'ammoniac. La détermination de leur teneur en MAND n'est qu'un pis-aller (BENHAMED et DULPHY, 1986) en attendant des méthodes plus directes de prévision de leur valeur PDI.

La précision des équations que nous proposons est relativement bonne et supérieure à celle de GOERING et al. (1972), le critère matières azotées insolubles dans la pepsine se révélant plus intéressant que le critère matières azotées insolubles dans les détergents acides, ce pour les 3 catégories de foins étudiés. Lorsqu'elle sera passée dans la routine, la spectro-photométrie infra-rouge permettra de savoir si le foin a subi ou non un échauffement en estimant sa teneur en MAND. On pourra considérer qu'il y a échauffement si cette teneur en MAND dépasse 55 g/kg MS. On disposera alors d'une technique rapide de discrimination des foins et de la possibilité d'étudier facilement les techniques modernes de fenaison.

• Conclusion

Les résultats présentés ici, même s'ils doivent être complétés, apportent des facilités pour la prévision de la valeur alimentaire des foins dans des cas où les conditions d'application des tables de DEMARQUILLY, ANDRIEU et WEGAT-LITRE (1981) sont difficiles à réunir ou lorsqu'on ne dispose pas encore de méthode efficace. Le critère NDF, associé à la teneur en MAT est intéressant pour prévoir l'ingestibilité des foins dont l'espèce et le cycle sont inconnus, celle des mélanges graminées-luzernes et celle des prairies naturelles. La digestibilité à la pepsine-cellulase est confirmée comme un bon critère de prévision de la digestibilité *in vivo*, y compris pour les foins traités à l'ammoniac. La teneur en matières azotées insolubles dans la pepsine, par le biais de l'estimation des teneurs en MAND est confirmée aussi comme critère permettant de connaître le degré d'échauffement des foins. Cependant, même si tous ces critères apportent un progrès certain, il apparaît que, dans les années qui viennent, ils seront remplacés par la spectro-photométrie infra-rouge, probablement délicate à mettre au point mais incomparablement plus rapide.

Accepté pour publication, le 20 janvier 1990

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUFRERE J. (1982) : "Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique", *Ann. Zootech.*, 31 (2), 111-130.
- BENHAMED H., DULPHY J.P. (1986) : "Influence du traitement des foins à l'ammoniac sur leur valeur azotée appréciée par la méthode des bilans azotés", *Ann. Zootech.*, 3 (4), 387-400.
- BRICENO J.V., VAN HORN H.H., HARRIS B. Jr, WILCOX C.J. (1987) : "Effects of neutral detergent fiber and roughage source on dry matter intake and milk yield and composition of dairy cows", *J. Dairy Sci.*, 70, 298-308.
- DEMARQUILLY C., ANDRIEU J. (1987) : "Prévision de la valeur alimentaire des fourrages secs au laboratoire", *Les fourrages secs ; récolte, traitement, utilisation*, p. 243-276, C. Demarquilly Ed., INRA Publications, Route de St Cyr, 78000 Versailles, 689 pages.
- DEMARQUILLY C., ANDRIEU J., WEGAT-LITRE E. (1981) : "Tables de prévision de la valeur alimentaire des fourrages", *Prévision de la valeur nutritive des aliments des Ruminants*, p. 345-583, Ed. INRA Publications, Route de St Cyr, 78000 Versailles, 585 p.
- DEMARQUILLY C., GRENET E., ANDRIEU J. (1981) : "Les constituants azotés des fourrages et la prévision de la valeur azotée des fourrages", *La prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*, p. 129-154, Ed. INRA Publications, Route de St Cyr, 78000 Versailles, 585 p.
- DIJKSTRA N..D., VAN DER SCHAAF D. (1955) : *The feeding value of heated hay*, Versl. Landbonwk. Onderz., n° 61-15 'S-Gravenhage 33 p.
- DULPHY J.P. (1987) : "Prévision de l'ingestibilité des foins chez le mouton à partir de leur teneur en parois", *Reprod. Nutr. Develop.*, 27 (1B), 193-194.

- DULPHY J.P., ZWAENEPOEL P., PELHATE J. (1986) : "La conservation des foins humides : étude de différents conservateurs et conséquences de leur utilisation sur la valeur alimentaire", *Bull. Tech. CRZV Theix*, 65, 17-23.
- EVANS E.M., POTTER J.F. (1984) : "The reproducibility of in vivo estimates of digestibility and voluntary digestible organic matter intake of grass varieties by sheep", *Grass and for. Sci.*, 39, 101-106.
- GOERING H.K. (1976) : "A laboratory assessment on the frequency of overheating in commercial dehydrated alfalfa samples", *J. Anim. Sci.*, 43, 4, 869-872.
- GOERING H.K., GORDON C.N., 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, 9, 1275-1280.
- GOERING H.K., VAN SOEST P.J. (1970) : *Forage fiber analyses*, US Dept of Agriculture, Agr. Handbook n° 379, 20 p.
- LINDGREN E. (1988) : "Prediction of energy value and protein content of forages by near infra-red reflectance spectroscopy", *Swedish J. Agric. Res.*, 18, 21-26.
- NORRIS K.M., BARNES R.F., MOORE J.E., SHINKS J.S. (1976) : "Predicting forage quality by infra-red reflectance spectroscopy", *J. Anim. Sci.*, 43, 889-897.
- REDSHAW E.S., MATHISON G.W., MILLIGAN L.P., WEISENBURGER R.D. (1986) : "Near infrared reflectance spectroscopy for predicting forage composition and voluntary consumption and digestibility in cattle and sheep", *Can. J. Anim. Sci.*, 66, 103-115.
- REID R.L., JUNG G.A., THAYNE W.V. (1988) : "Relationships between nutritive quality and fiber components of cool season and warm season forages : a retrospective study", *J. Anim. Sci.*, 66, 1275-1291.
- ROHWEDER D.A., BARNES R.F., JORGENSEN N. (1978) : "Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality", *J. Anim. Sci.*, 47, 747-759.
- VERITE 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.
- YU YU (1977) : "Effect of heating of forages on quantitative changes of acid-detergent insoluble nitrogen", *J. Dairy Sci.*, 60, 11, 1813-1815.
- YU YU, THOMAS J.W. (1976) : "Estimation of the extent of heat damage in alfalfa haylage by laboratory measurement", *J. Anim. Sci.*, 42, 3, 766-774.

RÉSUMÉ

La valeur alimentaire sur moutons (ingestibilité, digestibilité de la matière organique et des matières azotées) de 148 foins (98 de graminées normaux, 33 de graminées traités à l'ammoniac et 17 de luzernes) ainsi que plusieurs critères de laboratoire ont été mesurés afin de déterminer les critères de prévision de la valeur alimentaire les plus précis.

Pour prévoir les ingestibilités, le critère NDF de Van Soest (parois totales), associé au critère matières azotées totales (MAT), est en général supérieur au critère cellulose brute, surtout si on

ne connaît ni l'espèce ni le cycle du foin. Ce critère NDF est le seul utilisable pour les mélanges graminées-luzernes.

Pour prévoir la digestibilité de la matière organique, le critère "digestibilité à la pepsine-cellulase" voit son intérêt confirmé, y compris pour des foins particuliers tels que ceux traités à l'ammoniac pour lesquels il n'y a pas d'autre méthode.

La teneur en matières azotées non digestibles des foins, traités ou non à l'ammoniac, peut être prévue assez précisément par la teneur en matières azotées insolubles dans la pepsine. Ce critère est intéressant pour identifier les foins ayant chauffé et le degré de dégradation correspondant des MAT.

Enfin, les liaisons entre les paramètres de la valeur alimentaire des foins et les caractéristiques du spectre de réflexion dans le proche infra-rouge ont été calculées. Cette dernière méthode devrait être à l'avenir une technique rapide et efficace pour prévoir les principaux paramètres de la valeur alimentaire des foins.

SUMMARY

An improved laboratory determination of the feeding value of certain hays

The feeding value for sheep (voluntary intake, digestibility of organic matter and of protein) was determined on 148 samples of hay (98 untreated grass hays, 33 grass hays treated with ammonia, and 17 lucerne hays), together with certain laboratory measurements that would make possible a more accurate evaluation of this feeding value.

For the determination of voluntary intake, Van Soest's Neutral Detergent Fiber is generally a better index, when associated with the crude protein content, than the crude fibre index, especially when the botanical composition and the cutting rank of the hay sample are not known. In the case of mixed grass-lucerne hays, NDF is the only index that can be used.

For the evaluation of digestibility, the interest of the pepsine-cellulase method is confirmed, including for special types of hay such as those treated with ammonia for which no other method is available.

The content of pepsin-insoluble protein is a rather good index of the indigestible protein content of hays, be these treated with ammonia or not. This method has the advantage of showing whether the hay samples have been overheated and how far a corresponding degradation of the crude protein has occurred.

Lastly the association between the factors of the feeding value of hay and the characteristics of near infra-red reflectance have been evaluated. This could lead in the future to a fast and efficient technique for the determination of these feeding value factors.