

Utilisation digestive des pailles

Chenost M.

in

Tisserand J.-L. (ed.), Alibés X. (ed.).
Fourrages et sous-produits méditerranéens

Zaragoza : CIHEAM

Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 16

1991

pages 67-72

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=91605047>

To cite this article / Pour citer cet article

Chenost M. **Utilisation digestive des pailles**. In : Tisserand J.-L. (ed.), Alibés X. (ed.). *Fourrages et sous-produits méditerranéens*. Zaragoza : CIHEAM, 1991. p. 67-72 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 16)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

Utilisation digestive des pailles

M. CHENOST

INRA UNITE DE LA VALEUR ALIMENTAIRE
THEIX 63122 ST GENES CHAMPANELLE FRANCE

RESUME - L'utilisation digestive correcte des pailles suppose que les conditions nécessaires à une bonne cellulolyse (nutrition et conditions physico chimiques favorables aux micro-organismes cellulolytiques) soient réunies : apport d'azote fermentescible proportionnel à l'énergie digestible ingérée ; apport des minéraux et des vitamines dont la paille est dépourvue ; régularité du pH (pas inférieur à 6,2) ; permanence de l'apport d'éléments nutritifs dans le rumen. La complémentation des pailles nécessaire à l'animal hôte ne doit pas compromettre ces conditions. Elle ne doit pas représenter plus du tiers de la ration et être répartie dans le temps. La fraction énergétique ne doit pas être trop rapidement fermentescible pour éviter les chutes de pH. Toutes les causes de variation de la digestibilité des pailles, malheureusement encore difficile à prédire, ainsi que celles de l'aptitude propre des animaux à digérer des régimes à base de fourrages très lignifiés doivent être prises en considération pour la conception de systèmes alimentaires permettant d'optimiser les pailles dans les régions où les fourrages classiques sont déficitaires.

SUMMARY - "Straw digestive utilization". A good digestive utilization of straw supposes that the conditions which favor the cellulolytic process in the rumen (nutrition of and physico chemical medium for the cellulolytic micro-organisms) are met : supply of fermentable nitrogen, proportionally to the fermentable energy intake ; supply of the missing minerals and vitamins ; constant rumen pH, not below 6.2 ; permanence of nutrient supply in the rumen. Supplementation of straws, necessary for the host animal productive purposes, should not impair the above conditions. It should not represent more than one third of the total DM diet and be evenly supplied. Its energy fraction should not be too easily fermentable in order to avoid pH drop. Any causes of variations of both the proper straw digestibility (unfortunately still difficult to predict) and the specific ability of host animals to digest lignified forage-based diets should be thoroughly taken into account in order to design efficient feeding systems in the regions where classical feed sources are in shortage.

Introduction

Les pailles sont constituées essentiellement de parois végétales très lignifiées qui représentent de 60 à 80 p 100 de la matière sèche. Ces parois sont composées de glucides complexes : cellulose vraie, hémicellulose et lignine (tableau 1). Elles sont partiellement dégradées par les micro-organismes cellulolytiques du rumen ou du gros intestin des herbivores non ruminants. Cette dégradation fermentaire est lente et limitée en raison de l'incrustation de la lignine dans les tissus de la plante, lignine qui non seulement est indigestible mais fait obstacle à la fixation des micro-organismes sur les particules végétales et à l'hydrolyse des polysaccharides par les enzymes cellulolytiques microbiens.

Nous nous proposons ici de rappeler rapidement les conditions d'une bonne cellulolyse et les principes d'alimentation permettant de les réunir lorsque la paille constitue la fraction principale de la ration de l'animal. Nous examinerons également les différents facteurs de variation de la digestion et de la digestibilité des pailles : ceux liés à l'animal et ceux liés à la plante. Nous essaierons enfin de dégager les principales conclusions rela-

tives à l'utilisation judicieuse des pailles dans les systèmes d'alimentation basés sur ces dernières.

Conditions d'une bonne cellulolyse

L'utilisation digestive correcte des pailles suppose que les micro-organismes cellulolytiques du rumen (ou des autres compartiments digestifs) puissent trouver les éléments nutritifs dont ils ont besoin pour se développer et dégrader les polysaccharides de la paroi végétale.

Elle a fait, ces dernières années, l'objet de plusieurs mises au point dont celles de VAN ES, 1984 et de DURAND, 1989 ; nous en résumerons les points les plus importants.

Fourniture d'azote

La flore cellulolytique est constituée pour 30 à 60 p 100 de protéines. Il est donc indispensable que les microbes puissent trouver l'azote (et l'énergie) nécessaire à la synthèse de leur protéines. Les pailles sont déficitaires

taires en azote (tableau 1) mais elles fournissent de l'énergie, libérée toutefois lentement au fur et à mesure de la dégradation des glucides complexes. Il faudra donc assurer en priorité une complémentation azotée.

Les besoins en azote des micro-organismes dépendent de la quantité d'énergie fermentescible présente. Dans le système PDI (INRA, 1978) ces besoins ont été fixés à 135 g de N x 6,25 par kg de matière organique digeste. Ils ont cependant été exprimés de différentes manières par les nombreux auteurs ayant étudié l'utilisation des fourrages pauvres. C'est ainsi, par exemple, que ROY et al. (1977) estiment à 7,8 g la quantité de N x 6,25 nécessaire par mégajoule (2392 k cal.) d'énergie métabolisable. Selon SATTER et ROFFLER (1975) la fermentation est limitée à partir d'une concentration d'azote ammoniacal dans le rumen inférieure à 5 mg/100 ml de jus de rumen.

L'azote peut être apporté sous forme non protéique (urée par exemple) à condition que l'apport soit bien étalé dans la journée. D'environ 12,5 mg d'urée avec la paille seule les quantités d'urée "valorisable" à apporter peuvent être facilement calculées grâce au système PDI qui permet de fixer, pour chaque ration, l'équilibre PDIE/PDIN.

Présence de minéraux et de vitamines

L'apport de minéraux dont la paille est carencée (tableau 1), est également nécessaire à la prolifération et à la croissance microbienne. Il s'agit des éléments majeurs, en particulier P, Ca, Mg, mais également des oligo-éléments tels que S, nécessaire pour la synthèse des acides aminés soufrés, et Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Se, qui peuvent avoir un effet direct sur les micro-organismes. LAMAND (1978) propose les recommandations alimentaires permettant d'éviter toutes carences minérales et vitaminiques (A, E, D3).

Apport de glucides fermentescibles et influence du pH

Les pailles, même correctement complétementées pour couvrir les besoins des microbes du rumen, ne permettent pas de couvrir la totalité des besoins d'entretien des animaux qui la reçoivent.

L'apport de petites quantités (5 à 10 % de la paille ingérée) de glucides facilement digestibles, a certes un effet stimulant sur la cellulolyse (SILVA et ORSKOV, 1985) mais il est nécessaire d'apporter ces derniers en quantité plus importante pour assurer les performances, même modestes, de l'animal.

L'addition de concentrés riches en glucides fermentescibles (amidon de céréales, mélasse, ...) dans la ration entraîne une chute du pH du rumen par suite de la pro-

duction rapide et importante d'acides gras volatiles (AGV) qui en résulte. Or on sait que la majorité des bactéries cellulolytiques réduisent leur activité à des pH inférieurs à 6,2 — 6,0 (MOULD ET ORSKOV, 1983/1984)

Ainsi, l'apport d'aliments énergétiques doit être effectué de manière telle que l'activité cellulolytique du rumen ne soit pas modifiée. Il conviendra pour cela de limiter ces apports à 30 — 40 % de la MS totale de la ration, particulièrement dans le cas des graines de céréales (VAN GLYSWYK et SCHWARTZ, 1984 ; DULPHY et al., 1983) et il faudra préférer des aliments riches en parois digestibles aux céréales riches en amidon. Cela permettra en outre une meilleure synchronisation de la libération des molécules d'ATP résultant de la fermentation de ces aliments et d'ammoniac et, par conséquent, une meilleure efficacité de la synthèse bactérienne.

Permanence de l'apport d'éléments nutritifs et "renouvellement" des micro-organismes

L'activité cellulolytique et plus particulièrement la synthèse protéique, dépendent également de la régularité des apports d'éléments nutritifs à la flore microbienne et du renouvellement de cette dernière comme l'ont souligné CHESSON et ORSKOV (1984) et PRESTON et LENG (1984). L'ingestion continue d'aliments par l'animal permet de régulariser ces apports. On cherchera donc à fractionner les repas de concentrés, voire à mélanger ces concentrés à la paille.

En définitive, et pour toutes ces raisons, le potentiel digestif des pailles ne pourra être exprimé que lorsque les conditions permettant d'optimiser la cellulolyse, dont nous venons de rappeler les plus importantes, seront observées.

C'est ainsi qu'une mesure de digestibilité de paille n'aura de véritable signification que si elle est effectuée selon des dispositions respectant ces conditions.

Vitesse et intensité de la cellulolyse : caractéristiques intrinsèques de la plante et aptitude cellulolytique de l'animal

La fixation des micro-organismes cellulolytiques sur les particules de fourrage et leur prolifération requièrent un certain délai. La dégradation des polysides pariétaux ne démarre que lorsqu'ils ont colonisé les tissus végétaux et qu'ils disposent des éléments nutritifs nécessaires. Pour un milieu de fermentation donné les vitesses de digestion en sachets de deux fourrages de même digestibilité mais d'accessibilité aux micro-organismes différente (liée à la structure de leurs parois) peuvent varier énormément.

L'action conjuguée de l'activité cellulolytique et de la mastication (ingestion + rumination) permet de réduire l'ingesta en particules suffisamment fines pour qu'elles

Tableau 1: Composition chimique et valeur nutritive moyenne des pailles et de quelques sous-produits.

| Aliments | Teneur en p 100 de la M.S. matière sèche (%) | | | | Cellulose M brute | Digestibilité de la matière organique (%) | par kg. M.S. | | Minéraux par kg de matière sèche | | | | | | | | | |
|---|--|-----|---------|-------|-------------------|---|--------------|---------|----------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| | Cendres | MAT | | | | | UF | MAT (g) | Ca (g) | P (g) | K (g) | Na (g) | Mg (g) | Zn (g) | Mn (g) | Cu (g) | S (g) | Co (mg) |
| (1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pailles | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avoine | 90 | 7,0 | 3,5 | 43 | 4 | 48,4 (47,9-49,6) | 0,48 | 24 | 3,8 | 1,2 | 20 | 2,5 | 1,2 | 130 | 15 | 4 | | |
| Orge | 90 | 6,0 | 3,5 | 43 | 20 | 43,7 (34,9-51,0) | 0,43 | 35 | 4,0 | 0,7 | 15 | 1,0 | 0,8 | 56 | 12 | 3 | | |
| Blé | 90 | 6,5 | 3,0 | 44 | 20 | 41,7 (32,0-49,1) | 0,40 | 38 | 2,5 | 0,8 | 10 | 1,0 | 0,9 | 50 | 5 | 3 | | |
| Cannes de maïs | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| sèches | 82 | 7,5 | 4,5-7,0 | 32 | | 56 | 0,48 | 10-20 | 3,5 | 1,5 | 10 | 2,0 | 2,2 | 25 | 50 | 12 | | |
| ensilées | 35 | 9,0 | 5,5-7,5 | 32 | | 58 | 0,50 | 15-20 | 4,0 | 2,0 | 10 | 2,0 | 2,2 | 25 | 50 | 12 | | |
| Marc de raisin ensilé | 30-35 | 9,0 | 13 | 20-30 | | 30 | 0,25 | 20 | 6,0 | 3,0 | | | 0,8 | 25 | 30 | 75 | | |
| Besoin en minéraux par kg de matière sèche de la ration (2 et 3) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | 1,5 | 80 | 50 | 10 | | |
| | | | | | | | | | 6,0 | 4,0 | 5,0 | 1,5 | 1,5 | 80 | 50 | 10 | 1,5 0,1 | |
| | | | | | | | | | 5,5 | 4,5 | 4,0 | 1,5 | 1,5 | 80 | 50 | 10 | | |

Pailles de céréales:

teneur en paroi (p 100 MS): 60 à 85
 cellulose vraie (p 100 des parois): 45 à 85
 hémicellulose (p 100 des parois): 20 à 25
 lignine (p 100 des parois): 8 à 12

INRA, 1978. Alimentation des ruminants.

(1): ANDRIEU, DEMARQUILLY, 1987.

(2): GUEGEN, 1973.

(3): LAMAND, 1975.

puissent franchir l'orifice réseau/feuillet et quitter le rumen. C'est de cette réduction que va dépendre la masse et le volume des particules dans le rumen qui vont, eux mêmes, déterminer la possibilité, pour l'animal, d'ingérer de nouvelles quantités d'aliments (régulation physique de l'appétit). La cinétique de la cellulolyse va avoir aussi une influence sur la vitesse de libération des éléments digestibles du fourrage et la rapidité avec laquelle ces derniers vont pouvoir être mis à la disposition de l'animal hôte.

La vitesse et l'intensité de la digestion microbienne des parois végétales dans le tube digestif sont plus ou moins importantes suivant les caractéristiques intrinsèques du végétal.

Cependant, même lorsque les conditions nutritionnelles (énergie, azote, pH, ...) sont optima, cette vitesse et cette intensité de fermentation peuvent varier aussi suivant l'espèce animale.

Cet aspect, très complexe, fait l'objet de nombreux travaux de recherche. Nous dirons, grossièrement ici, qu'il existe deux groupes de phénomènes, propres à l'anatomie et à la physiologie de l'animal, et conférant à ce dernier son aptitude à digérer plus ou moins facilement des régimes riches en parois.

Le premier a trait à la taille des réservoirs de fermentation (volume par kg de poids vif). Plus le réservoir est grand, plus la cellulolyse est complète. C'est ainsi, par exemple, que les animaux récoltant des strates herbacées et arbustives sans beaucoup trier leur ration, ont un réticulo-rumen plus volumineux (KAY et al., 1980) que ceux possédant l'aptitude à trier les fractions les plus nutritives de ces strates.

Le deuxième a trait au temps de rétention (temps de séjour) des particules dans les réservoirs de fermentation. Ce temps de séjour est, par exemple, plus long chez les camélidés que chez les bovins. Il est lié à la vitesse de

réduction des particules fines et à la taille minimale requise pour qu'elles puissent quitter le rumen, mais aussi aux mécanismes, encore mal connus, de rétention sélective facilitant l'évacuation des plus grandes d'entre elles.

A côté des différences physiologiques propres à l'animal, il convient de rappeler l'importance et la nécessité de l'adaptation de l'animal à son régime et cela, particulièrement dans le cas des régimes à base de fourrages pauvres comme les pailles. L'activité cellulolytique mais surtout l'efficacité de la mastication, le volume du rumen etc... sont d'autant plus efficaces et importants que l'animal est habitué depuis longtemps à son régime.

Digestibilité des pailles: facteurs de variation et prediction

De nombreuses mises au point dont celles d'ANDRIEU et DEMARQUILLY, 1987 et de DOYLE et al., 1986, ont montré la grande variabilité de la digestibilité des pailles due, elle-même, à la grande variabilité de leur composition (Cf. ANTONGIOVANI dans le même ouvrage).

La digestibilité des pailles varie suivant leur proportion respective en tiges plus gaines et en limbes et selon la proportion et la composition des constituants pariétaux et cellulaires de ces organes.

Les principaux facteurs responsables de la variation de la composition morphologique et chimique des pailles sont,

— ceux du milieu dans lequel la plante donnant la paille a été cultivée : lumière, température, fourniture en eau, fertilisation, âge depuis le semis lors de la récolte, présence d'adventices ;

— le mode de récolte : type et réglage de la machine entraînant des pertes de limbes plus ou moins importantes, teneur en matière sèche et degré de maturité de la plante lors du battage, hauteur de coupe, temps de séjour en andains au sol de la paille et quantité de pluie reçue par celle-ci pendant ce séjour ;

— l'espèce et la variété de la plante et l'interaction génotype x milieu, des variétés pouvant être plus sensibles que d'autres aux conditions de milieu.

D'une manière générale, la digestibilité des pailles se classe dans l'ordre avoine > orge > blé (tableau 1) mais il existe une très grande variabilité d'une paille à l'autre pour une même espèce. C'est ce que montre aussi le tableau 2 où nous avons regroupé des résultats de digestibilité de pailles de riz en Asie (DOYLE et al., 1986), d'orge au Moyen Orient (CAPPER et al., 1989) et de blé en région tempérée (CHENOST, non publié).

Même si les conditions de mesure de la digestibilité de ces pailles a pu varier d'une région à l'autre et, pour

Tableau 2: Quelques exemples de variations de la digestibilité des pailles et des quantités qui sont volontairement ingérées (mesures effectuées sur moutons).

| | digestibilité de la matière organique | quantités volontairement ingérées (g/kg/P0,75) | |
|--------------------|---------------------------------------|--|------------------------------|
| | | matière sèche | matière organique digestible |
| Pailles de riz (1) | 35 à 55 | 25 à 65 | 8,8 à 25,2 |
| Pailles d'orge (2) | 43,0 à 47,7 | 34,8 à 50,9 | 14,7 à 21,0 |
| Pailles de blé (3) | 34,8 à 46,2 | 23,3 à 34,6 | 8,1 à 13,1 |

(1) 20 références bibliographiques, Australie et Asie. DOYLE et al., 1986.

(2) 7 variétés, I.C.A.R.D.A., Syrie. CAPPER et al., 1989.

(3) 15 mesures effectuées à l'INRA de Theix de 1981 à 1989 dans les mêmes conditions d'une année sur l'autre.

l'Asie, d'un auteur à l'autre (il s'agit du regroupement d'une vingtaine de références bibliographiques différentes), la digestibilité varie dans des proportions très importantes. Les quantités qui en sont volontairement ingérées sont encore plus variables notamment dans le cas des pailles de riz où les quantités de matière organique digestible ingérées varient finalement du simple au triple (de 8,8 à 25,2 g par kg P0,75).

Il est donc très important de pouvoir caractériser, et ainsi prédire, ces variations pour,

— aider les agronomes dans leur travail de sélection et d'exploitation de variétés de céréales intéressantes non seulement pour la production de grains mais, également, de paille pour l'alimentation des ruminants dans les régions où les ressources fourragères classiques sont limitées;

— mieux connaître la valeur alimentaire des pailles distribuées aux animaux afin de les compléter judicieusement ;

— décider, en meilleure connaissance de cause, de l'intérêt de leur appliquer des prétraitements (et lesquels) pour en améliorer la valeur alimentaire.

Les différentes méthodes existantes ou prometteuses permettant de prévoir la digestibilité et l'ingestibilité des pailles ont fait l'objet, entre autres, d'une session spéciale lors de la tenue en 1987 d'un atelier de travail CEE sur l'Evaluation des pailles pour l'alimentation des ruminants.

Les principales conclusions de cette session, toujours valables à l'heure actuelle, sont que les méthodes simples, rapides et fiables sont peu nombreuses et qu'un gros travail de recherche reste encore à effectuer.

Les analyses chimiques classiques ne sont pas assez précises et ne renseignent pas suffisamment sur la digestibilité des pailles. C'est en connaissant mieux le rôle de la lignine et l'architecture moléculaire des parois (CHES-SON et MURISON, 1989) qu'on pourra obtenir de meilleurs prédicteurs. La densité optique (LAU et VAN SOEST, 1988 ; BESLE et al., 1989) est actuellement le meilleur critère chimique pour la prédiction de la digestibilité.

Des méthodes physiques comme l'infra rouge ou la résonance magnétique nucléaire (RMN), sont à l'étude (VAN DER MEER, 1989). Des propriétés mécaniques comme la résistance au broyage (CHENOST, 1966), susceptibles de refléter non seulement la digestibilité mais également la vitesse de dégradation des parois et, par là, leur ingestibilité, sont également à l'étude en Australie (DOYLE et CHANPONGSANG, 1990) et en Syrie (THOMSON et CECCARELLI, 1990) sur des pailles. Enfin, une caractérisation de l'histologie des pailles par les examens microscopiques (GRENET, 1990) devrait permettre de mieux appréhender les phénomènes physiques de leur dégradation dans le rumen.

C'est surtout, pour le moment, les tests biologiques comme l'attaque aux enzymes (REXEN, 1977 ; AUF-FRERE, 1982) ou in situ en sachets de nylon (CHENOST et al., 1970 ; ORSKOV et al., 1988) qui, approchant ou reproduisant les phénomènes de dégradation prenant place dans le rumen, permettent de prévoir respectivement la digestibilité et l'ingestibilité avec la meilleure précision. Ces méthodes sont malheureusement encore difficile à appliquer au niveau de l'analyse de routine.

Influence des traitements sur l'utilisation digestive des pailles

Il existe actuellement de nombreuses références bibliographiques sur le sujet. En se cantonnant aux traitements à l'ammoniac anhydre (maintenant bien au point et largement répandu dans la pratique dans les pays tempérés) et à l'ammoniac générée par hydrolyse de l'urée (qui se développe dans les régions chaudes dépourvues d'industrie et/ou de circuits de distribution de l'ammoniac) il apparaît toutefois utile de rappeler certains points.

L'augmentation de digestibilité due au traitement est d'autant moins importante que la digestibilité de la paille non traitée est élevée. Il est donc important de connaître ou de pouvoir prédire la digestibilité d'une paille donnée avant de décider de la traiter, et cela, surtout dans le cas où l'on disposerait par ailleurs des ressources fourragères permettant de la compléter correctement pour la distribuer aux animaux en l'état.

Les règles d'utilisation des pailles traitées sont les mêmes que pour les pailles non traitées, elles visent à favoriser les conditions d'une bonne cellulolyse. Elles

doivent même être respectées avec plus de rigueur si l'on ne veut pas perdre le bénéfice du traitement. C'est ainsi que DULPHY et al. (1983) ont montré, sur paille traitée à la soude, l'importance de la proportion et de la nature de la complémentation énergétique, valable également pour les pailles traitées à l'ammoniac (CHENOST, 1989). En outre, comme le traitement augmente l'ingestibilité des pailles et par là entraîne une diminution de leur temps de séjour dans le rumen, on cherchera à allonger ce dernier en évitant de les distribuer à volonté pour en ralentir le transit afin de maintenir l'intensité de la cellulolyse.

Enfin, comme l'ont souligné DEMARQUILLY et al. (1989), la mauvaise utilisation de l'ammoniac du traitement par les micro-organismes du rumen (qui se traduit par une augmentation anormale de l'excrétion azotée fécale) peut être compensée par l'apport d'une source d'azote protéique peu ou pas fermentescible (PDIA). Celle-ci est bénéfique non seulement pour l'animal hôte mais également pour les micro-organismes du rumen dont l'activité cellulolytique est ainsi améliorée.

Conclusion

L'utilisation digestive des pailles n'est correcte que si les conditions favorables à une bonne cellulolyse dans le rumen sont réunies. Ceci suppose, avant tout, que l'azote nécessaire aux micro-organismes soit apporté en quantité suffisante, ainsi que les minéraux et les vitamines dont les pailles sont carencées. Si la paille est complétement afin de satisfaire les besoins de production de l'animal, il ne faut pas que cette complémentation nuise à la cellulolyse. Pour cela, il est important que les compléments ne représentent pas plus de 30 p 100 (40 maximum) de la matière sèche totale de la ration, qu'il soient apportés de la façon la plus régulière possible et que leur fraction énergétique ne soit pas trop rapidement fermentescible pour éviter les chutes de pH nuisibles aux micro-organismes cellulolytiques.

La flore cellulolytique des animaux consommant des rations à forte proportion de paille est d'autant plus stable et efficace que ces derniers sont bien accoutumés à leurs régimes.

Par ailleurs les variations de la digestibilité et de l'ingestibilité des pailles sont importantes. Il est important de pouvoir les détecter, mais les tests de prédiction fiables et simples font encore défaut. Il existe également des différences entre espèces et types d'animaux dans leur aptitude à digérer efficacement les pailles. Elles sont liées à leur physiologie digestive.

Tout système d'alimentation basé sur les pailles, en particulier les systèmes méditerranéens associant céréali-culture et élevage, doivent donc jouer sur ces différentes considérations, tant en ce qui concerne le choix des res-

sources fourragères et de leurs combinaisons appropriées, que dans celui du choix des animaux et, surtout, de la conception de leur alimentation.

Références

- ANDRIEU, J. et DEMARQUILLY, C., 1987. Composition et valeur alimentaire des foin et des pailles. In "Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation" C. Demarquilly Ed. ; INRA, Paris 1987, pp 163-182.
- AUFRERE, J., 1982. Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique. *Ann. Zootech.*, 31, 111-130.
- BESLE, J.M., SIGNORET, C., CHENOST, M., AUFRERE, J. and JAMOT, J., 1989. Prediction of the organic matter of ammoniated and untreated straw by densitometry comparison with other predictors. In "Evaluation of straws in Ruminant feeding" Ed. Chenost M. and Reiniger P., pp 134-143.
- CAPPER, B.S., THOMSON, E.F. and RIHAWI, S., 1989. Voluntary intake and digestibility of barley straw as influenced by variety and supplementation with either barley grain or cottonseed cake. *Animal Feed Science and Technology*, pp 105-118.
- CHENOST, M., 1966. Fibrousness of forages : Its determination and its relationship to feeding value. *Proceedings of the 10th Int. Grassl. Congr.*, Helsinki, Finland, pp 406-411.
- CHENOST, M., 1989. Intérêt comparé du traitement à l'ammoniac et d'une complémentation appropriée des pailles de blé (niveau et nature des compléments énergétiques et azotés) pour l'alimentation des génisses de race laitière de 2 ans en croissance hivernale modérée. *Ann. Zootech.*, 38, pp 29-47.
- CHENOST, M., GRENET, E., DEMARQUILLY, C. and JARRIGE, R., 1970. The use of the nylon bag technique for the study of forage digestion in the rumen and for predicting feed value. *Proc. XIth Int. Grassl. Congr.*, pp 697-702, Surfers Paradise, Australia.
- CHESSON, A. and ORSKOV, E.R., 1984. Microbial degradation in the digestive tract. In "Straw and Other fibrous" by products as feed; Sundstol and Owen E., Ed. Elsevier, Amsterdam, pp 340-372.
- CHESSON, A. and SANDRA D. MURISON, 1989. Biochemical evaluation of straw as a feedstuff for ruminants. In "Evaluation of straws in Ruminant feeding" Ed. Chenost M. and Reiniger P., pp 124-133.
- DEMARQUILLY, C., CHENOST, M. and RAMIHONE, B., 1989. Intérêt zootechnique du traitement des pailles à l'ammoniac. In *Pâturage et alimentation des ruminants en zone tropicale humide. Pointe à Pitre (Guadeloupe)*, 2-6 juin 1987. Ed. INRA, Paris, pp 441-455.
- DOYLE, P.T. and CHANPONGSANG, S., 1990. The feeding value of cereal straws for sheep. II Rice straws. *Animal Feed Science and Technology*, 29, pp 15-28.
- DOYLE, P.T., DEVENDRA, C. and PEARCE G.R., 1986. Ed. "Rice Straw as feed for ruminants". IDP Canberra, pp 23-49.
- DULPHY, J.P., BRETON, J., LOUYOT, J.M. et BIENALME, A., 1983. Etude de la valeur alimentaire des pailles de céréales traitées ou non à la soude. III Influence du niveau d'apport d'aliment concentré. *Ann. Zootech.*, 32, (1), 55-81.
- DURAND, M., 1989. Condition for optimizing cellulolytic activity in the rumen. In "Evaluation of straws in Ruminant Feeding. Ed. M. CHENOST and P. REINIGER, Elsevier Science Publishers L.T.D., pp 3-18.
- ES Van, A.J.H., 1984. Nutrition and feeding aspects of using lignocellulosic materials for animal feed. *Proceedings of an OECD workshop on "Improved utilization of lignocellulosic materials with special reference to animal feed" held on 19-20 september 1984 in Braunschweig, FRG*, pp. 54-64.
- GRENET, E., 1990. La dégradation des parois végétales par les microbes du rumen : Etude ultrastructurale. Rôle particulier des champignons anaérobies du rumen. Thèse Université Joseph Fourier. Grenoble I, pp 136.
- GUEGEN, L., 1973. la complémentation minérale des régimes à base de céréales pour les ruminants. In "L'utilisation des céréales (grains) dans l'alimentation des ruminants". 4ème Journées du Grenier de Theix, pp 127-128, Editions SEI.
- INRA, 1978. *Alimentation des Ruminants*. Ed. INRA Publications, Route de Saint-Cyr, 78000 VERSAILLES.
- KAY, R.N.B., ENGELHARDT, W. and WHITE, R.G., 1980. The digestive physiologie of wild ruminants. In "Y. Ruckehusch et P. Thivend," Ed. *Digestive physiology and metabolism in ruminants*. MTP Press, Lancaster, pp 743-761.
- LAMAND, M., 1975. Notions de digestibilité et teneurs recommandées dans la ration : "prophylaxie et traitement. In *Les acquisitions récentes sur les carences en oligo-éléments du sol aux ruminants*", pp 90-94. Suppl. au Bull. Techn. CRZV, Theix, INRA, numéro spécial.
- LAMAND, M., 1978. In "Alimentation des Ruminants". INRA Publ. Versailles, pp 143-159.
- LAU, M.M. and VAN SOEST, P.J., 1981. Titrable groups and soluble phenolic compounds as indicators of the digestibility of chemically treated roughages. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 6, 123-131.
- MOULD, F.L. and ORSKOV, E.R., 1983. Manipulation of rumen fluid pH and its influence on cellulolysis in sacco, dry matter degradation and the rumen microflora of sheep offered hay or concentrates. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 10, pp 1-14.
- ORSKOV, E.R., REID, G.W. and KAY, M., 1988. Prediction of intake by cattle from degradation characteristics of roughages. *Anim. Production*, 46, pp 29-34.
- PRESTON, T.R. and LENG, R.A., 1984. Supplementation of diets based on fibrous residues and by products. In "Straw and other fibrous by products as feed. In, Sundstol and Owen E., Eds ; Elsevier, Amsterdam, pp 373-413.
- ROY, J.H.B., BALCH, C.C., MILLER, E.L., ORSKOV, E.R. and SMITH, R.H., 1977. Calculation of the N requirement for ruminants from nitrogen metabolism studies. In "Protein metabolism and nutrition", Pudoc, Wageningen, pp 126-129.
- SATTER, L.D. and ROFFLER, R.E., 1975. Nitrogen requirement and utilization in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 58, pp 1219-1237.
- SILVA, A.T. and ORSKOV, E.R., 1985. Effect of ummolassed sugar beet pulp on the rate of straw degradation in the rumen of sheep given barley straw. *Proc. Nutr. Soc.*, 44, pp 50A.
- THOMSON, E.F. and CECCARELLI, S., 1990. Progress and future directions of applied research on cereal straw quality at ICARDA. *Proceedings of an EEC Workshop held in Reggio Emilia, Italy, 16-19 May 1990*. In press.
- VAN DER MEER, J.M., 1989. Physical methods in the study of cell wall structures and cell wall degradation. In "Evaluation of straws in Ruminant feeding. Ed. M. CHENOST and P. REINIGER? Elsevier Science Publishers LTD", pp 108-124.
- VAN GYLSWYK, N.D. and SCHWARTZ, H.M., 1984. Microbial ecology of animals fed high-fibre diets. In "GILCHRIST F.M.C., MAC-KIE R.I.", *Herbivore Nutrition in the subtropics and tropics*. The Science Press, Graighall, South Africa, pp 359-377.