

LES PAILLES DE CEREALES : PROFIL DES FERMENTATIONS ET PRODUCTION DE METHANE

Reçu le 02/01/2004 – Accepté le 20/05/2008

Résumé

Dans le but de caractériser des pailles de céréales et de quantifier les quantités de méthane émises par les ruminants se nourrissant à base de régimes riches en parois, des pailles de blé et d'orge ont été analysées puis incubées *in vitro* en présence de jus de rumen. Au cours de cet essai, la composition chimique (MAT, MM et NDF) et les produits de fermentation (acétate, propionate et butyrate) ont été dosés. La production de méthane a ensuite été estimée par l'équation du modèle stœchiométrique proposé par Demeyer [1], reliant les proportions molaires de méthane à celles d'acides gras volatils.

La teneur en azote total (3.80 vs 3.20), les taux d'acides gras volatils et la production de méthane étaient en faveur des pailles d'orge. Les proportions molaires des principaux acides gras volatils produits lors des fermentations ont été accompagnées d'une diminution significative de méthane (281 vs 290.9 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$; $P = 0.0004$) chez les pailles d'orge. Ce résultat accorde un avantage pour les pailles d'orge qui semblent offrir un rendement énergétique meilleur que celui des pailles de blé.

Mots clés : paille, A.G.V, MAT, NDF, méthane, parois, ruminant

Abstract

In the goal to quantify quantities of methane produced by ruminant feed diets rich in walls, straws of wheat and barley have been analysed and then were incubated *in vitro*. Nutritional assessment has been achieved *in vitro*, on juice of rumen. In this study, chemical composition (total nitrogen, ash and NDF) fermentation Products (acetate, propionate and butyrate) have been measured. Methane production has been estimated according to the stoichiometric model proposed by Demeyer [1], joining molar proportions of methane to those volatile fatty acids.

The preliminary results of nitrogen content (3.80 vs 3.20), the rate of volatile fatty acids and methane production showed a clear importance at the barley straws. The molar proportions of volatile fatty acids were accompanied by a significant reduction of methane production at the barley straws (281 vs 290.9 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$; $P = 0.0004$). This result is favoured for barley straws because the methane production is less significant with a probably better energetic efficiency.

Keywords: straw, V.F.A, NDF, methane, walls, ruminant

D. OUACHEM¹
M. SOLTANE²
A. KALLI¹

¹Département d'Agronomie,
Université de Batna, 05000,
Algérie

²Institut d'Agronomie, Centre
Universitaire El Tarf, 36000,
Algérie

ملخص

من أجل دراسة كميات الميثان CH_4 الناتج عن طريق تخمر أعلاف غنية بالألياف، قمنا بإجراء تجارب تهدف إلى تقييم غذائي لكل من تبن الشعير و القمح. تبين من خلال النتائج تحسن إيجابي لتركيبية الزيوت الطيارة في تبن الشعير خاصة التي تحتوي على 2 و 3 كربون (C2-C3) بحيث، مقارنة بتبن القمح، أدى تخمر تبن الشعير إلى انخفاض في كل من نسبة C_2 (74,6% vs 72%) و كمية الميثان المنتج (281 vs 290,9) مع ارتفاع نسبي في C_3 . من خلال هذه النتائج نستخلص ان استعمال تبن الشعير في تغذية المجترات قد يؤدي إلى رفع مردود الطاقة عند الحيوان.

الكلمات المفتاحية : الميثان، تبن، الزيوت الطيارة، الألياف، المجترات

Dans les immenses espaces des zones arides de l'Algérie, la production fourragère est pratiquement absente à cause de conditions pédoclimatiques défavorables (sols dégradés et faiblesse dans les niveaux de précipitation). Dans ce contexte, la céréaliculture est considérée comme une culture vivrière lui permettant d'occuper une place prépondérante. Cette particularité a été derrière l'immersion d'un système d'élevage basé sur le principe d'une association de type : Elevage - Céréaliculture.

Ainsi, l'alimentation des ruminants repose, essentiellement, sur l'utilisation des pailles de céréales, le plus souvent pauvres en azote, riches en fibres, peu appétibles et peu digestibles.

Les fermentations ruminales de tels régimes, fournissent du méthane (CH_4), qui expiré dans l'atmosphère, agit comme un gaz à effet de serre [2]. En même temps, le méthane constitue une perte d'énergie pour l'animal et une perte économique pour l'éleveur.

A titre indicatif, selon Chenoweth [2], la contribution des ruminants dans la totalité du méthane émis représente environ 22% et atteint 29% en tenant compte des litières et du fumier.

La richesse en fibres des régimes à base de paille, serait à l'origine du développement des bactéries méthanogènes productrices de méthane. Ainsi, une partie du peu d'énergie contenu dans les parois, se trouve perdu sous forme de méthane [3].

APERCU SUR LA PRODUCTION DE METHANE ET LA METHANOGENESE

Ces dernières années, le réchauffement de la planète par effet de serre, a pris de l'ampleur, et est devenu une véritable préoccupation gouvernementale et scientifique.

Une pareille situation est due à l'accumulation de gaz dans l'atmosphère, caractérisés par leur pouvoir dans l'absorption du rayonnement infrarouge. Il s'agit particulièrement du dioxyde de carbone (CO_2), du méthane (CH_4), des chlorofluorocarbures (CFC) et des oxydes d'azote (NO_x) dont les contributions à l'effet de serre, ont été estimées à 49, 18, 14 et 06 % respectivement [4]. Comparativement au CO_2 , l'activité du méthane ne reflète pas sa concentration dans l'atmosphère qui est 200 fois plus faible que celle du CO_2 [5].

En revanche, sa capacité à absorber le rayonnement infrarouge serait 30 fois plus élevée que celle du CO_2 , selon Demeyer [5]. La concentration dans l'air du méthane est passée de 750 ppb il y a 100 ans à 800 ppb actuellement, selon Crutzen et al (1986), cités par Demeyer [5].

Compte tenu de ces caractéristiques, le méthane serait un excellent élément pouvant faire l'objet d'une surveillance particulière. En effet, sa durée de vie est bien inférieure à celle du dioxyde de carbone (10 contre 100 ans) [2].

Dans le cadre de cet article, on se propose d'estimer in vitro la production de méthane à partir des pailles de céréales, tout en faisant le lien avec le profil des fermentations.

MATERIELS ET METHODES

Des pailles de blé et d'orge provenant de céréales cultivées dans les conditions du semi-aride, dans une région à vocation céréalière ont fait l'objet d'une fermentation in vitro dans le but de doser les acides gras volatils et le méthane. Ainsi, 8 échantillons de paille (4 par espèce) ont été préparés d'une manière aléatoire à partir de 8 parcelles d'un hectare chacune (4 x 1ha / espèce), récoltés à 3 semaine d'intervalle (fin juin 2002 pour l'orge et 3 semaines plus tard pour le blé). Notons qu'avant leur récolte, les deux céréales ont connu une période sèche assez importante.

L'azote total ($\text{N} \times 6.25$) a été déterminé par la méthode Kjeldahl, la matière minérale a été obtenue après calcination des échantillons pendant 5 heures dans un four à moufle réglé à une température de 550°C , les parois totales (Van soest) ont été déterminées après attaque de l'échantillon par une solution NDF dans un fibertec.

L'incubation in vitro a été faite en présence d'une solution tampon (salive artificielle) dans un bain marie agité réglé à une température de 39°C tout en respectant les conditions d'anaérobiose. Le jus de rumen ayant servi aux incubations a été récolté juste après abattage de 4 moutons adultes, âgés de près de 30 mois qui étaient préalablement alimentés à base de pailles de céréales durant 15 jours.

Le jus de rumen de chaque mouton a été incubé (4 répétitions) avec les deux types de pailles.

24 heures après, les fermentations ont été stoppées avec 1 ml de H_2SO_4 10N. Après centrifugation à 12000g pendant 15 minutes, le surnageant a été filtré sur du papier filtre. Ainsi, les proportions molaires des principaux acides gras volatils (acides acétique, propionique et butyrique) ont été déterminées par chromatographie en phase gazeuse (Shimadzu Gas Chromatograph GC-14A), sous courant d'azote gazeux de $1.25\text{kg}/\text{cm}^2$, pression d'air de $0.6\text{kg}/\text{cm}^2$ et celle de l'hydrogène de $0.7\text{kg}/\text{cm}^2$. La colonne en acier inox (1/4 de diamètre et 6 feet de long) est remplie d'un mélange de chromosorb, de tween 80 et de H_3PO_4 concentré. La température du détecteur, de la colonne et de l'injecteur était de 180, 130 et 170°C respectivement.

En acceptant une récupération moyenne de 90% de l'hydrogène métabolique, la production de méthane a été estimée selon l'équation proposée par Demeyer [1].

$$M = 0.450A - 0.275P + 0.400B$$

(M): méthane; (A) : acétate ; (B) : butyrate ;(P) : propionate

L'analyse de la variance suivie du test de Newman et Keuls, était l'outil statistique utilisé pour comparer les différentes moyennes au seuil de signification de 5%.

RESULTATS

Les résultats de la composition chimique et ceux relatifs aux taux d'acides gras volatils produits *in vitro* (A.G.V) ainsi que la production de méthane figurent dans le tableau 1.

Tableau 1 : Composition chimique et produits de Fermentations (A.G.V et Méthane) de Pailles d'orge et de blé.

	Paille de blé	Paille d'orge	Signification
MAT (N x 6.25) % MS	3.20 ^(b) ±0.31	3.80 ^(a) ±0.29	p = 0.001
NDF % MS	79.0 ±2.27	80.0 ±1.34	p = 0.09
MM % MS	9.38 ±0.7	8.68 ±0.8	p = 0.13
Acide Acétique (C ₂)	74.60 ^(a) ±0.80	72.0 ^(b) ±1.0	p < 0.0001
Acide Propionique (C ₃)	15.60 ^(b) ±0.9	17.10 ^(a) ±0.7	p = 0.001
Acide Butyrique (C ₄)	7.60 ^(b) ±0.7	8.70 ^(a) ±0.8	p = 0.008
C ₂ / C ₃	4.78 ±1.0	4.20 ±0.6	p = 0.02
CH ₄ (μmol/mmol. A.G.V totaux)	290.9 ^(a) ±5.47	281.0 ^(b) ±3.55	p = 0.0004

(a-b): les moyennes affectées de lettres différentes sont statistiquement différentes au seuil de signification de 5%. Les AGV sont exprimés en %.

De façon générale, la teneur en MAT des deux types de pailles est faible. Cependant, statistiquement, les pailles d'orges apparaissent plus riches en azote que les pailles de blé (p = 0.001). Les teneurs en cendres brutes et en parois totales corroborent celles décrites abondamment à travers la littérature.

Par ailleurs, la paille d'orge a montré une importance nutritionnelle nette à travers des produits de fermentations étudiés. Avec 72% contre 74.6% pour l'acide acétique et 281 μmol par mmol.A.G.V totaux contre 290.9 pour le méthane, l'analyse statistique comparative a montré que les pailles d'orge ont tendance à produire d'une part, moins d'acide acétique dans le mélange des acides gras volatils que les pailles de blé (p < 0.0001) et moins de méthane (p = 0.0004) et d'autre part, plus d'acide propionique (17.1% contre 15.6% ; p = 0.001) et d'acide butyrique (8.7% contre 7.6% ; p = 0.008).

Le rapport acide/acétique acide propionique diminue d'une manière significative en faveur de la paille d'orge (p = 0.02).

DISCUSSION

1- Composition chimique

La teneur des pailles de céréales en azote total reste faible et loin de la valeur de 8% citée par Van soest [6] comme seuil pour assurer une bonne ingestion et une croissance microbienne satisfaisante.

Malgré l'avantage significatif des pailles d'orge vis à vis de cet élément (3.80 vs 3.20 ; soit un écart de près de 19%), la teneur en azote des pailles d'orge demeure insuffisante pour assurer l'azote nécessaire aux micro-organismes du rumen.

L'importance en parois totales constatée chez les deux espèces, montre clairement qu'elles demeurent les constituants essentiels de la matière sèche des pailles.

A travers la littérature, les avis sont différents concernant ce paramètre et nous retiendrons ceux de Jackson [7] et Bouguettaya [8]. Selon ces deux auteurs, les pailles de blé renferment plus de parois que les pailles d'orge (81.7% contre 78%) pour Bouguettaya, tandis que, l'effet inverse a été rapporté par Jackson [7] (81% pour l'orge et 80% pour le blé). Ainsi, pour les deux auteurs l'effet espèce existe.

Cependant, il faut noter que cet effet n'est pas absolu. En effet, d'importantes variations peuvent être observées entre les deux espèces selon les variétés, les conditions de culture, la présence d'adventices et le climat.

Contrairement à ce que a été évoqué, l'effet espèce quant à la teneur des pailles en parois totales ne s'est pas manifesté dans notre cas. Ceci va à l'encontre de nos résultats, en effet, avec un écart de 1.56 points, l'analyse statistique n'a pas fait ressortir un avantage d'une espèce par rapport à l'autre et nous nous pouvons que retenir l'hypothèse nulle d'égalité de moyennes des deux espèces en matière de la teneur en parois totales car les écarts qui étaient à l'origine des différences signalées par les deux auteurs cités plus haut, n'étaient pas aussi important que le notre (1.75 et 1 point en faveur de blé et de l'orge) pour Bouguettaya [8] et Jackson [7] respectivement.

2- Acide acétique

La production d'acide acétique par les pailles de céréales (74.6% pour le blé et 72% pour l'orge) nous semble proche de celle rapportée par Minson [9], chez des fourrages tropicaux (72.8%). Cette similitude, notamment

avec l'orge, se confirme encore avec les résultats observés par Chermiti [10], sur bovins recevant de la paille à volonté (70.4%).

La production d'acétate par les pailles de blé, nous semble élevée par rapport à celle observée par Dulphy et al. [11], qui la situent aux alentours de 71%, elle reste également supérieure à celle fermentée par des foin de graminées (72%) [12].

En revanche, la fermentation acétique des pailles d'orge est comparable à celle de fourrages verts et de foin de graminées et de luzerne. A ce propos, nous pouvons citer, les valeurs de 72% et 70% observées par Jouany et al. [12], avec respectivement, des foin de graminées et des fourrages verts de graminées.

Les fortes proportions d'acétate produites par les deux espèces, trouvent leurs origines dans leurs richesses en fibres, et surtout dans leurs caractéristiques pariétales (teneur en glucides pariétaux et en lignine, mais aussi, de l'importance de l'imprégnation des parois cellulaires par la lignine).

Par ailleurs, il est admis que le rendement énergétique, dépend entre autre, de la nature et la proportion des principaux acides gras volatils et que les pertes par extra-chaud sont plus élevées avec l'acide acétique qu'avec les deux autres principaux acides gras volatils. C'est ainsi que chez le ruminant à l'entretien, le rendement de l'énergie métabolisable en énergie nette (K_m) de l'acide acétique est égal à 55-60%, il est de 86% pour l'acide propionique et 76% pour l'acide butyrique [13].

Dans ce cas, l'utilisation des pailles pour la couverture des besoins d'entretien, fait perdre aux animaux les consommant environ 50% du peu d'énergie disponible.

De même, l'énergie nette apportée par les aliments est utilisée pour l'entretien et la production. Dans ce cas, le rendement de l'énergie métabolisable en énergie nette pour l'engraissement, varie lui aussi en fonction des produits terminaux. C'est ainsi qu'il est de 33% pour l'acétate, 56% pour le propionate et 62% pour le butyrate. Le rendement de l'énergie métabolisable en énergie nette, diminue d'autant plus que la production d'acide acétique est élevée. Ceci dit, dans les deux cas (entretien et production), la consommation de régimes à base de pailles, et particulièrement celles de blé, fait perdre au ruminant une partie importante d'énergie par extra-chaud.

3- Acide propionique

La production d'acide propionique par les pailles d'orge (17.1%) est très significative, dans la mesure où elle reste comparable à bon nombre de résultats rapportés par différents auteurs ; notamment ceux de Minson [9], qui estime que des fourrages tropicaux fermentent environ 18% de propionate, et ceux de Jouany et al. [12], rapportant une valeur de 17% d'acide propionique avec des fourrages verts et des foin de graminées.

En comparaison avec des régimes associant du concentré, le taux d'acide propionique issu des pailles d'orge, nous semble proche, surtout de celui observé par Benahmed et Dulphy [14] ; (16.2 à 18.5%) avec un régime de foin de fétuque de mauvaise qualité traité à l'ammoniaque et celui de Berge et Dulphy [15] ; (18 à

20%), observé avec des foin de prairies naturelles coupés à différents stades et distribués en quantités limitée.

Par rapport aux pailles de blé, celles d'orge semblent ainsi plus intéressantes du point de vu nutritionnel, pourvu qu'elles produisent plus d'acide propionique dans le mélange des acides gras volatils et tant que le rapport acétate/propionate est moins important.

Ainsi donc, les pailles d'orge, par rapport à leurs homologues de blé, méritent à travers ce résultat, une attention particulière. Il s'agit en effet, d'une paille seule et l'amélioration attendue est certaine quand cette paille est traitée et complémentée avec des aliments concentrés énergétiques ; ceci aura pour conséquence, l'orientation des fermentations acétiques en faveur de l'acide propionique ; faisant abaisser d'avantage le rapport (C_2/C_3).

4- Acide butyrique

Pour ce paramètre, il existe une différence spécifique significative en faveur de la paille d'orge ($P=0.008$). Globalement, les pailles étudiées, et particulièrement celles d'orge fournissent un taux d'acide butyrique proche de celui observé par Minson [9] sur des fourrages tropicaux (7.9%). Il est également comparable aux taux réalisés par Jouany et al. [12] en présence des fourrages verts et des foin de graminées (8 et 7% respectivement) et le taux d'acide butyrique produit avec du foin de luzerne (8%) signalé par Ouachem [13].

La production d'acide butyrique par les pailles d'orge (8.7%) reste comparable à celles rencontrées à travers la bibliographie, et qui vont de 7.46% [11] à 8.1% [10] pour le blé et 8.3% [13] pour l'orge.

Par ailleurs, la complémentation d'une ration de base par des aliments concentrés riches en amidon ou en glucides solubles, a un effet sur l'élévation du taux de présence de l'acide butyrique. Ainsi, Zeffoun [16], situe ce taux entre 11 et 13% sur 24 écotypes de fétuque complémentés avec un concentré énergétique.

L'importance de la paille d'orge vis à vis de ce produit de fermentation se maintient encore et trouve une explication dans de l'idée de Kolb [17], selon laquelle, l'acide butyrique prend naissance par combinaison avec l'acide acétique et l'acide propionique (facteur limitant).

Encore une fois, le taux d'acide butyrique supérieur observé avec les pailles d'orge, confirme l'importance nutritionnelle des pailles d'orge par rapport à leurs homologues de blé.

5- le Méthane

Tout comme pour les autres paramètres déjà étudiés, on note une différence statistique défavorisant les pailles de blé ($P=0.0004$). Ce résultat est logique, parce que les taux les plus élevés en acide acétique (facteur favorable à la production de méthane), étaient plus élevés chez le blé.

Par ailleurs, il est admis que les fourrages riches en parois, ont tendance à produire plus d'acide acétique dans le mélange des acides gras volatils, au détriment des acides propionique et butyrique. En se référant à la synthèse de Adamou [18], dans laquelle il estime que parmi les substrats préférentiels des méthanogènes, figure l'acétate,

on comprend que de fortes proportions d'acétate dans le mélange des AGV, sont synonymes d'une méthanogenèse excessive.

A ce sujet, Bicaba (1991) cité par Adamou [18], rapporte qu'une élévation de la teneur en paroi totale, est souvent accompagnée d'une forte proportion d'acide acétique au détriment de l'acide propionique. Van Nevel et Demeyer [19], ont montré par ailleurs qu'une réduction du rapport acétate/propionate, tend à faire baisser la production de méthane dans le rumen.

D'autres auteurs ont montrés aussi bien *in vivo* qu'*in vitro*, l'importance de l'orientation des fermentations ruminales, et particulièrement, celles visant l'amélioration de la présence de l'acide propionique dans le but de réduire la production de méthane [20, 21, 3, 22].

La production de méthane serait influencée par la composition du régime. Ainsi, lors d'incubations *in vitro*, et en présence d'un concentré énergétique, une production moyenne de 248 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ AGV totaux (217-282) a été observée par Zeffoun [16] chez 24 écotypes de foin de fétuque cultivés en milieu tropical. La production moyenne de méthane observée avec des fourrages de régions tempérées composés de ray-gras et de trèfle, était de l'ordre de 214 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ AGV totaux [23].

Néanmoins, et en dépit de toute attente, la production de méthane par les pailles de céréales et particulièrement par celles d'orge, nous semble proche de la moyenne de 248 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ AGV totaux, observée par Zeffoun [16], sur foins de fétuque.

Nous pensons trouver une explication à cette performance, à travers l'hypothèse de Rinaudo (1990) cité par Bouguettaya [8] selon laquelle, le degré d'imprégnation des pailles par la lignine serait faible, lorsque celles ci sont produites au moment où l'humidité fait défaut (cas de l'Afrique du nord). Dans ce cas, la lignine ne peut avoir qu'un effet physique et ne forme pas de liaisons chimiques avec les autres composés de la paroi. Ceci aura pour conséquence, une amélioration sensible de la digestibilité des parois, se traduisant par un changement dans le profil des fermentations par diminution de la proportion molaire de l'acide acétique.

A ce sujet, Minson [9], Day et al. [24], Flachowsky et al. [25], rapportent que l'ingestion volontaire et la digestibilité des fourrages, ne seraient pas liées uniquement à leurs teneurs en fibres, mais aussi les caractéristiques physiques de ces fibres sont également importantes. Ceci se confirme dans les travaux de Cherny et al. [26], puis ceux d'Orskov (1994) cité par Zeffoun [16], qui ont observé que les différences morphologiques entre les fourrages, peuvent être à l'origine de modifications dans l'ingestibilité et la digestibilité, quand bien même leurs compositions chimiques sont similaires.

Toutefois, il y a lieu de signaler que ce qui vient d'être cité, ne peut pas constituer un argument à une méthanogenèse excessive ou faible. En effet, de grandes variations dans les émissions journalières de méthane, ont été observées chez les ruminants, selon le stade physiologique et le niveau de production. Ceci se trouve, notamment, dans les travaux de Vermorel [27], qui rapporte que l'émission annuelle de méthane d'une brebis allaitante

de 60 kg de poids vif, est en moyenne de 16.7 m^3 , celle d'une brebis laitière de 70 kg, s'élève en moyenne à 20.8 m^3 ; pour une production laitière de 270 litres; elle varie encore de 19.6 à 22.1 m^3 , quand la production laitière passe de 220 à 320 litres.

Selon le même auteur, la qualité des produits obtenus, serait un facteur de la méthanogenèse ruminale. En effet, selon cet auteur, les émissions de méthane par une brebis laitière, produisant un lait plus riche en matières grasses et en protéines, seraient deux fois plus importantes que celles d'une chèvre et 2.5 à 3 fois plus élevées à celles d'une vache laitière.

Le caractère intensif ou extensif de l'élevage, peut être lui aussi inclus parmi les facteurs de variation de la méthanogenèse. Ceci se trouve dans les travaux de Harper et al. [28] qui ont montrés, qu'au pâturage, les bovins avaient tendance à produire 3 à 3.5 fois plus de CH_4 par animal et par jour qu'en intensif avec des régimes riches en concentré énergétique.

CONCLUSION

A travers les résultats du profil des fermentations et la production de méthane, les pailles d'orges, par rapport à leurs homologues de blé, offrent un avantage net aux animaux les consommant.

La proportion molaire d'acide acétique, le rapport C_2/C_3 et la production de méthane observés chez les pailles d'orge, laissent supposer qu'il n'est pas exclu que les pertes d'énergie par extra-chaleur seraient moins importantes et le rendement de l'énergie métabolisable en énergie nette serait meilleur avec des pailles d'orge.

Par ailleurs, en se basant sur les propos de Rinaudo cité par Bouguettaya [8], il semble que le degré d'imprégnation des parois par la lignine, chez les deux espèces, n'est probablement pas prononcé et que cette dernière n'aura qu'un effet physique couvrant les parois. En effet, le dépôt de lignine dans les conditions climatiques des zones arides et semi-arides coïncide avec une période sèche et où l'humidité fait défaut. Dans ce cas, cette dernière se dépose sans qu'elle puisse faire de liaisons chimiques avec les autres composés de la paroi. Néanmoins, l'importance des pailles d'orge tant signalée par rapport aux pailles de blé reste timide tant que la composition chimique demeure insuffisante pour la couverture des besoins énergétiques et azotés de la flore cellulolytique.

Enfin, dans les conditions alimentaires difficiles et quand les fourrages font défaut, les pailles d'orge doivent attirer l'attention des éleveurs et le recours à leur traitement avec une source d'azote non protéique et leur complémentation en énergie ne peuvent être que bénéfique.

REFERENCES

- [1] - Demeyer D.I., "Quantitative aspects of microbial metabolism in the rumen and hindgut". In: Jouany J.P. (Eds), rumen microbial metabolism and ruminant digestion, INRA, Paris, (1991), pp. 217-237.

- [2] - **Chenoweth D.P.**, "Environmental impact of methanogenesis". *Environ. Monit. Assess.* **42** (1996) : 3-18.
- [3] - **Mbanzamihigo L.**, "Optimisation de la digestion ruminale". Thèse de Ph.D. Univ de Gent, Belgique, (1996).
- [4] - **Rhode H.**, "A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect". *Science*, **249** (1990): 1217.
- [5] - **Demeyer D.I.**, "Ruminants et environnement : la méthanogenèse". *Ann. Zootech, INRA, Paris.* **49** (2000) :95-112.
- [6] - **Van Soest P.J.**, "The whole animal: Intake". In Van Soest P.J. (Eds), *nutritional ecology of the ruminant* (1982), pp. 276-293.
- [7] - **Jackson M.G.**, "The alkali treatment of straws. *Anim. Feed Sci. Technol* **2** (1977): 105-130
- [8] - **Bouguettaya M.T.**, "Les pailles de céréales: Variations de la composition chimique et comportement uréolytique". Thèse de Magister. Inst. Scs de la Nat. Univ de Annaba, Algérie (1999).
- [9] - **Minson D.J.**, "Nutritional differences between tropical and temperate pastures". In: *Grazing animals*, World. *Anim. Sci. B1* (1981) 143-157.
- [10] - **Chermiti A.**, 1999. "Place des pailles de céréales dans l'alimentation des ruminants". *Rev. Scs. Agronomiques. Tunisie*, (1999), 75p.
- [11] - **Dulphy J.P., Jamot J., Chenost M., Besle J.M., Chiofalo V.**, "The influence of urea treatment on the intake of wheat straw in sheep". *Ann. Zootech, INRA, paris.* **41** (1992): 169-185.
- [12] - **Jouany J.P., Broudiscou L., Prins R.A., Komisarczuk B.S.**, "Métabolisme et nutrition de la population microbienne du rumen". In: Jarrige R., Ruckebusch Y., Demarquilly C., Farce H.M., Journet M. (Eds), *nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion*, Paris, France, (1995), pp. 349-382.
- [13] - **Ouachem D.**, "Alimentation énergétique". In : *alimentation et nutrition, cours d'alimentation des ruminants*, Inst d'Agro, Univ de Batna, Algérie, (2001), pp. 6-33.
- [14] - **Benahmed H., Dulphy J.P.**, " Influence de la complémentation des foin traités à l'ammoniac sur la valeur nutritive." *Ann. Zootech. INRA-Theix.* **36** (1987): 153-170.
- [15] - **Berge P., Dulphy J.P.**, " Etude des interactions entre fourrages et aliments concentrés chez le mouton : facteurs de variation de la digestibilité". *Ann. Zootech. INRA-Theix.* **40** (1991): 227-246.
- [16] - **Zeffoun A.**, "Evaluation nutritionnelle de la fétuque élevée comme un aliment pour Ruminant". Thèse de Master. Inst de médecine tropicale, Anvers, Belgique (2000).
- [17] - **Kolb E.**, "Physiologie des animaux domestiques". INRA, Paris, France, 1975, pp. 267- 284.
- [18] - **Adamou A.**, "Aperçu bibliographique sur la méthanogenèse chez les ruminants". Mémoire d'ingénieur agronome, Inst d'Agronomie, Univ de Batna, Algérie (2001).
- [19] - **Van Nevel C.J., Demeyer D.I.**, "Manipulation of rumen fermentation". in: *the Rumen Microbial Ecosystem*, Elsevier Applied Science, London and New York, (1988), pp. 387- 443.
- [20] - **Chalupa W.**, " Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants". In: Y.Ruckebusch and P.Thivend. (Eds), Lancaster, England, (1980), pp. 325-347.
- [21] - **Jouany J.P.**, "Les fermentations dans le rumen et leurs optimisations". *Prod. Amin, INRA, Paris.* **7** (1994,) 207-225.
- [22] - **Nagaraja T.G., Towne G., Beharka A.A.**, "Moderation of ruminal fermentation by ciliated protozoa in cattle fed a high-grain diet". *Appl. Environ. Microbiol.* **58** (1998) : 2410- 2414.
- [23] - **Mbanzamihigo L., Dacosta Gomez C., Fievez V., Piattoni F., Demeyer D.I.**, in : *Proceedings of the 25^e studiedag voor Nederlandstalige Voedingsonderzoekers*, Netherlands. 28 april (2000), pp. 38-39.
- [24] - **Day J.E., Kyriazakis I., Rogers P.J.**, " Food choice and intake: towards a unifying framework of learning and feeding motivation". *Nutr. Res . Rev.* **11** (1998) 2543.
- [25] - **Flachowsky G., Kamra D.N., Zadrazil F.**, " Cereal straws as animal feed – possibilities and limitations". *J. Appl. Anim. Res.* **16** (1999) 105-118.
- [26] - **ChernyD.J., Mertens D.R., Moore J.E.**, " Intake and digestibility by wethers as influenced by forage morphology at three levels of forage offering". *J. Anim. Sci.* **68** (1990) 4387- 4399.
- [27] - **Vermorel M.**, " Emissions annuelles de méthane d'origine digestive par les bovins en France. Variations selon le type d'animal et le niveau de production". *Prod. Amin, INRA, Paris.* **8** (1995) 265-272.
- [28] - **Harper L.A., Denmead T.O., Freney J.R., Byers F.M.**, " Direct measurements of methane emissions from grazing and feedlot cattl". *J. Anim. Sci.* **77** (1999) 1392-1401.

