

Fourrages tropicaux : valeur alimentaire comparée aux fourrages tempérés et évaluation au pâturage

ARCHIMEDE H. (1), SAUVANT D. (2), ASSOUMAYA C. (1), FANCHONE A. (1), BOVAL M. (1)

(1)INRA-UR143, recherches zootechniques, Prise d'Eau, Petit-bourg, F-97170 Guadeloupe, France.

(2)INRA-Agro Paris Tech, physiologie de la nutrition et alimentation, 16 rue Claude Bernard, 75231 PARIS

RESUME – La synthèse et l'analyse des données publiées relatives à la valeur alimentaire des graminées fourragères tropicales consommées en stalles ont été réalisées, en comparaison de données publiées pour des graminées tempérées et des pailles. Comparées dans des conditions 'similaires' la digestibilité ne diffère pas entre fourrages tropicaux ou tempérés alors qu'à teneurs équivalentes en azote et parfois l'ingestibilité est inférieure pour les fourrages tropicaux. Les principaux facteurs de variations connus pour les graminées tempérées se retrouvent avec les graminées tropicales. Parallèlement les données relatives à la valeur alimentaire des fourrages tropicaux pâturés, comparées à celle estimée en stalles ont été analysées. Bien que peu nombreuses, l'analyse de ces données montre que, comme en zone tempérée, on ne peut prévoir la valeur alimentaire des fourrages pâturés, à savoir ni leur digestibilité ni leur niveau d'ingestion, à partir de données obtenues en stalles. Les avancées méthodologiques visant à mesurer la valeur alimentaire au pâturage devraient favoriser une meilleure connaissance et valorisation des fourrages tropicaux pâturés.

Tropical forages: feeding value compared to temperate forages and assessment at pasture

ARCHIMEDE H. (1), SAUVANT D. (2), ASSOUMAYA C. (1), FANCHONE A. (1), BOVAL M. (1)

(1)INRA-UR143, recherches Zootechniques, Prise d'Eau, Petit-bourg, F-97170 Guadeloupe, France.

SUMMARY - The synthesis and the analysis of the data published relating to feeding value of tropical grass consumed in stalls were carried out, compared to data published for temperate grass and straws. Compared under 'similar' conditions, digestibility does not differ between tropical or temperate forages whereas, with equivalent contents of nitrogen and fibre, intake is lower for tropical forages. The main factors of variation of grass reported with temperate grass exist also with tropical grass. In parallel the data relating to the feeding value of grazed forages, compared with that estimated in stalls were analyzed. Although not very many, the analysis of these data shows that, like in temperate area, one cannot foresee the feeding value of grazed forage, namely neither digestibility nor intake, from data obtained in stalls. The methodological progress aiming at measuring the feeding value of grazed forages should support a better knowledge and valorisation of natural tropical pastures.

INTRODUCTION

Les fourrages sont à la base de l'alimentation des ruminants dans les zones tropicales. La part des céréales dans l'alimentation animale est en effet deux fois plus réduite dans les pays en voie de développement qu'en zone tempérée : 23 % de la production mondiale de céréales sont utilisées dans les PVD (pour 70 % des effectifs mondiaux de ruminants), contre 56 % en zone tempérée (*World Research Institute*, 2005). Les fourrages tropicaux présentent un intérêt grandissant pour l'alimentation animale, vue la progression de la demande en produits animaux qui devrait doubler dans les pays du Sud, contrairement au Nord où la demande devrait en revanche stagner (FAO, 2003, 2006). Les régions tropicales sont très diversifiées de par le niveau et la répartition annuelle des précipitations, les températures, les taux d'humidité, la nature des sols...En conséquence, les ressources fourragères utilisées sont aussi très variées (Preston, 1995 ; Roberge et Toutain, 1999) allant des classiques graminées et légumineuses (Mello J.P.F et Devendra C, 1995) aux coproduits de récolte, en passant par les arbres et arbustes fourragers (Patra, 2009). Pour un type de ressource donné, les fourrages tropicaux peuvent se différencier de ceux de la zone tempérée par leur composition chimique classique (glucides pariétaux et cellulaires, protéinés, lignine...), leur structure physique (organisation des tissus) et leur teneur dans certains composés secondaires (tanins, saponines, ...) Au pâturage des différences peuvent exister en matière d'architecture, de densité de couvert.

La présente synthèse va se limiter à l'étude des graminées. Ces dernières ont fait l'objet de différents travaux (Xandé *et al.*, 1989, Richard *et al.*, 1989) qui ont abouti à la

réalisation de tables de valeurs alimentaires dans différentes régions (Amérique du Sud, Caraïbes, Afrique, Océan Indien...). Les graminées tropicales sont généralement considérées très productives, mais de faible valeur alimentaire (Minson, 1990). Pour partie, ces conclusions pourraient s'expliquer par des stratégies de gestion de la graminée non optimales relativement à leur physiologie particulière. Les graminées tropicales sont des plantes dont la photosynthèse est de type C4. L'une des conséquences de cette physiologie particulière, relativement aux graminées de la zone tempérée qui sont de type C3, c'est un développement et une maturation rapide du fourrage (Wilson, 1991). Cela nécessiterait une exploitation plus précoce, comparativement aux graminées de la zone tempérée.

La valeur alimentaire d'un fourrage varie avec le mode de gestion qui lui est appliqué. En stalle, la valeur alimentaire peut être estimée par des essais d'alimentation, les études publiées sont relativement nombreuses. La relative abondance des données a permis la réalisation d'une méta-analyse. Au pâturage, leur valeur alimentaire est complexe à évaluer du fait de l'hétérogénéité des prairies tropicales et du comportement sélectif des animaux au pâturage. Elles sont généralement déduites de connaissances en stalles.

Cette synthèse a pour objectif principal de faire le point sur les connaissances acquises sur l'évaluation des graminées fourragères tropicales en les comparant notamment aux graminées tempérées. Pour ce faire nous aborderons dans un premier temps les informations à l'auge puis nous aborderons le pâturage.

1. VALEUR ALIMENTAIRE DES GRAMINEES FOURRAGES TROPICALES

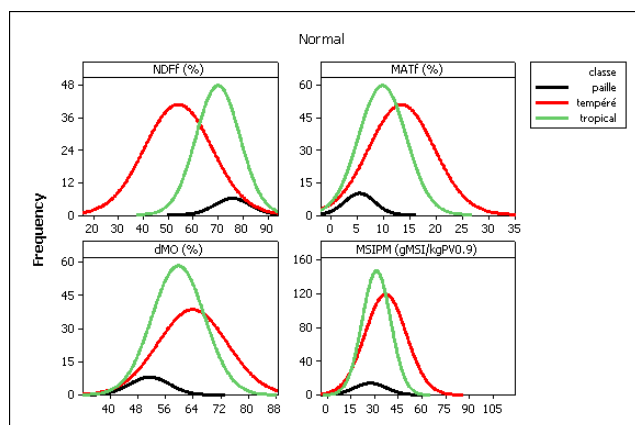
Différentes synthèses (Leng, 1990; Minson, 1990) indiquent que la digestibilité et l'ingestibilité des fourrages tropicaux sont en moyenne plus faibles que pour les fourrages tempérés. Cependant il existe peu de comparaisons réalisées au sein d'un même laboratoire dans des conditions expérimentales similaires. Assoumaya *et al.* (2007a) ont réalisé une méta-analyse de données représentatives de la valeur alimentaire des fourrages à partir d'essais publiés, conduits en zones tropicale et tempérée. Cette étude constitue la base des analyses développées ci-dessus. Les quatre cent soixante expérimentations issues de deux cent trente six publications scientifiques retenues, comportaient au moins l'une des mesures suivantes: quantité ingérée, durée de mastication, volume du rumen, transit digestif, digestibilité totale et/ou dans le rumen des principaux constituants (MO, NDF...). Les expérimentations pour lesquelles les animaux étaient nourris en quantité limitée et /ou avec une teneur en concentré supérieure à 20 % n'ont pas été prises en compte dans cette étude. De même, les expérimentations portant sur des fourrages broyés, des régimes mixtes (paille + fourrage) contenant plus de 15 % de paille, ainsi que des animaux en lactation ont été exclues de l'analyse. La base analysée comportait 680, 574 et 68 observations pour les fourrages tropicaux, tempérés et les pailles, respectivement.

1.1. COMPOSITION CHIMIQUE

Les fourrages tropicaux ont des teneurs en constituants pariétaux (NDF) plus élevées (+16 % en moyenne) que les fourrages tempérés (figure 1). A l'inverse les teneurs en matières azotées totales (MAT) sont plus faibles (- 8 % en moyenne), que celles des fourrages tempérés (figure 1).

Pour les deux types de fourrages, la corrélation entre teneurs en MAT et NDF est négative et l'analyse des données indique que la même régression s'applique : $MAT (\%) = -0,26 NDF (\%) + 28$ $n = 1171$; $\sigma = 4,63$; $P = 0,000$; $R^2 = 0,4$). Ainsi à même teneur en NDF, les fourrages tropicaux et tempérés présentent des teneurs en MAT équivalentes.

Figure 1 : dispersion des valeurs de composition chimique, de digestibilité de la matière organique et d'ingestibilité de la matière sèche en fonction des classes de fourrages (tempéré, tropical, paille) (Assoumaya *et al.*, 2007a)



Ces résultats sont à ajouter à ceux de la synthèse d'Aumont *et al.* (1995) qui, en analysant une base de données de 1313 fourrages de la zone Caraïbe, intégrant différents facteurs de variations (âge de repousse, type de

fouillage, niveau de fertilisation...) n'ont noté que de faibles variations des teneurs en parois végétales relativement aux MAT. Le type de fourrage, l'âge des repousses et leurs interactions expliquaient respectivement 20,6, 22,5 et 7,5 % ; 22,5, 4,3 et 6,5 % de la variabilité observée pour les protéines brutes et le NDF respectivement (Aumont *et al.*, 1995). Ces auteurs expliquaient l'effet important du type de fourrages par la présence de légumineuses dans leur base de données.

1.2. INGESTION

La compilation des données ($n = 1185$) d'Assoumaya *et al.* (2007a) indique que les fourrages tropicaux sont significativement moins bien ingérés que les fourrages tempérés, mais mieux consommés que les pailles (figure 1). Les valeurs moyennes d'ingestion ($g / kg PV^{0,75}$) non corrigées par l'espèce animale, sont respectivement pour les fourrages tropicaux tempérés, et les pailles de 57,8, 68,7, et 47,4 g ($P < 0,001$, $\sigma = 2,0$). Les valeurs équivalentes exprimées en $kg / \% kg PV$ sont 1,95, 2,03 et 1,63 ($P < 0,001$, $\sigma = 0,6$).

Quand les comparaisons sont réalisées à même niveau de NDF et MAT (pris en compte comme co-variables dans l'analyse) la hiérarchie ne change pas entre les fourrages tropicaux et tempérés (tableau 1) mais les différences ne sont significatives que lorsque les valeurs sont exprimées par unité de poids métabolique. Cette dernière est l'unité classiquement utilisée pour mesurer l'ingestibilité des fourrages. L'ingestion exprimée par rapport au poids vif permet de prendre en compte les différences entre espèces animales (Sauvant *et al.*, 2006, Poppi *et al.*, 1980). Les différences observées entre les modes d'expression pourraient traduire des phénomènes digestifs différents.

Les différences d'ingestion observées entre fourrages tropicaux et tempérés, même à niveau comparable de NDF et MAT, sont vraisemblablement liées à la structure physico-chimique des parois cellulaires. Comparativement aux graminées tempérées, les parois des graminées tropicales sont plus riches en tissus de soutien plus rigides (sclérenchyme) relativement au collenchyme (Wilson, 1991, 1994). Cette composition originale a des conséquences sur la dégradation physique de la paroi ce qui limite l'ingestion comme nous le verrons dans les paragraphes suivants.

Comme observé en zone tempérée, le stade physiologique du fourrage est un important facteur de variation. L'effet du stade physiologique peut être approché par l'âge de repousse. Aumont *et al.* (1995) concluaient que l'âge de repousse est le principal facteur de variation de l'ingestibilité des graminées. L'ingestibilité diminue en moyenne de 0,13 g de matière sèche par kilo de $P^{0,75}$ et par jour. Cette valeur est par ailleurs très proche des 0,17 g / j rapportés par Minson (1990). Ces valeurs sont plus faibles que la gamme de variation de 0, 41 à 0,65 $g / jour$ rapportée par Demarquilly *et al.* (1981) pour les fourrages tempérés. Assoumaya (2007b) indique, sur des moutons, une diminution d'ingestibilité de 0,75 $g / P^{0,75} / jour$ de repousse pour les graminées tropicales en travaillant sur des fourrages ayant une gamme de repousse plus large (14 à 56 jours) que ceux habituellement étudiés. Ces auteurs indiquent par ailleurs que la relation entre l'ingestion et l'âge de repousse est de type curvilinéaire illustrant une rapide maturation du fourrage au cours du premier mois. Mais selon Aumont *et al.* (1995) déjà cités, l'âge de repousse, le type de fourrage et leur interaction expliquent respectivement 33, 20 et 5 % de la variabilité observée sur

l'ingestibilité. Les autres facteurs généralement connus (origine, fertilisation, saison) n'expliquaient que 6 % de la variabilité. Certains auteurs (Minson, 1990 ; Chenost, 1975,...) ont également souligné l'importance de la teneur en eau dans l'ingestibilité des fourrages. Il semble cependant qu'il conviendrait davantage de distinguer un niveau seuil (Archimède *et al.*, 1999). Les teneurs en eau réduisent l'ingestion des fourrages verts quand elles atteignent plus de 80 %. L'ingestibilité est ainsi le critère de la valeur alimentaire qui varie le plus avec la maturation de la plante (Assoumaya, 2007b)

1.3. DIGESTION TOTALE, DANS LE RUMEN ET MO DIGESTIBLE INGÉREE

Assoumaya *et al.* (2007a) ont montré que la digestibilité totale de la matière organique (dMO) est significativement plus faible pour les fourrages tropicaux que pour les fourrages tempérés (59,8 vs. 63,9, $P < 0,001$, figure 1). Mais les fourrages tropicaux restent nettement plus digestibles que les pailles (59,8 vs. 51,5, $P < 0,001$, figure 1). Quand les comparaisons sont réalisées à même niveau de NDF et de MAT (tableau 1), la différence de dMO entre fourrages tropicaux et tempérés n'est plus significative, alors que la digestibilité de la paille reste nettement plus faible comparé aux deux autres fourrages ($P < 0,001$). La digestibilité totale des parois (dNDF) des fourrages tropicaux ne diffèrent pas de celle des fourrages tempérés (60,5 vs. 60,8, $P > 0,05$) et pour ces deux fourrages, la dNDF est supérieure de près de sept points à celle des pailles. Quand les comparaisons sont réalisées à même niveau de NDF et MAT la hiérarchie entre fourrages reste la même (tableau 1).

Tableau 1 : estimation des paramètres d'ingestion et digestion à même niveau de NDF et/ou MAT

	Tropical	Tempéré	Pailles	s.e.
Ingestion (g/kg PV ^{0,75}) (kg /% kg PV)	62,9 ^a 1,92	67,4 ^b 1,97	58,1 ^c 1,80	18,8 0,6
Digestibilité (%) Cov.: NDF, MAT				
dMO	61,5 ^a	61,9 ^a	57,4	7,0
dNDF	60,5 ^a	61,0 ^a	55,5	9,7
drMO	50,3 ^a	45,9 ^b	33,5	9,3
drNDF	55,6 ^a	56,7 ^a	-	13,1
Ingéré digestible (g/kg PV ^{0,75}) Cov.: MAT, MAT ² Cov.: NDF ²	35,4 ^b 37,2 ^a	39,9 ^a 38,8 ^a	30,6 ^c 28,8 ^b	11,5 11,4
Durées unitaires de mastication (min /gMSI / kgPV) Cov.: NDF	449,4 ^a	431,0 ^b		118,7
Encombrement ruminal NDF (kg/%kgPV) Cov.: NDF, NDF ²	1,4 ^b	1,2 ^a	1,1	0,3
Temps moyen de rétention (h) Cov.: NDF, NDF ²	32,7 ^a	36,9 ^b	38,3 ^b	15,4

1.3.1. La digestibilité ruminale de la MO (drMO) est plus faible de 1,6 points pour les fourrages tropicaux, comparés aux fourrages tempérés. Quel que soit le type de fourrage considéré, la drMO varie significativement avec les teneurs en NDF et MAT de la ration. En revanche quand les comparaisons sont réalisées à même niveau de NDF

et/ou de MAT (tableau 1) la drMO des fourrages tropicaux devient supérieure de plus de quatre points à celle des fourrages tempérés. Concernant la drNDF, l'analyse des données indique qu'il n'y a pas de différence significative entre fourrages tropicaux et tempérés (54,9 vs. 57,1, $P = 0,31$; $R^2 = 0,60$). Les comparaisons réalisées à même niveau d'azote confirment ce résultat.

1.3.2. Les quantités de MO digestible ingérées (MODI) sont plus faibles pour les fourrages tropicaux par rapport aux fourrages tempérés (40,4 vs. 31,6 g / kg PV, $P < 0,001$). La MODI des pailles est nettement inférieure à celle des deux autres fourrages (22,3 g / kg PV).

Quand les comparaisons sont réalisées à même teneur en MAT, les hiérarchies obtenues entre les trois types de fourrages sont globalement confirmées, mais avec des écarts moins marqués (tableau 1). A même teneur en NDF en revanche, les niveaux d'ingestion de matière organique digestibles ne sont plus significativement différents entre les fourrages tempérés et tropicaux (tableau 1).

Il apparaît que contrairement à la composition chimique et à l'ingestibilité, la digestibilité totale et ruminale de la MO et du NDF ne diffèrent pas significativement entre fourrages tropicaux et tempérés, quand on mène les comparaisons à même teneur en MAT et NDF. La différence de MODI mise en évidence par l'analyse de la base est liée aux niveaux d'ingestion variables.

1.4. MASTICATION, ENCOMBREMENT ET TRANSIT DIGESTIF

1.4.1. Les durées unitaires de mastication (DUM , min / gMSI / kgPV) des fourrages tropicaux ne diffèrent pas de celles mesurées sur les fourrages tempérés (441 vs. 423, $P > 0,6$). Cependant quand les comparaisons sont effectuées à même niveau de NDF dans le fourrage, la DUM des fourrages tropicaux tend à être plus élevée que celle des fourrages tempérés (tableau 1). La comparaison à même niveau de MAT aboutit à la même tendance.

1.4.2. L'encombrement, estimé par la quantité de NDF présente dans le rumen ramenée au PV (kg / % kgPV) est plus important pour les fourrages tropicaux comparativement aux fourrages tempérés (1,53 vs. 0,99, $P < 0,001$, $n = 140$). Par ailleurs l'encombrement dans le rumen augmente avec la teneur en NDF de la ration. Quand les comparaisons sont réalisées à même teneur en NDF dans la ration (tableau 1), l'encombrement des fourrages tropicaux demeure plus important que celui des fourrages tempérés et même des pailles.

1.4.3. Le transit digestif a été évalué soit par les temps de séjour dans le rumen (exprimés en heures, méthode des marqueurs) ou à partir des quantités de MS (ou de NDF) dans le rumen, rapportées aux excréments fécaux journalières respectives. Les valeurs obtenues par la seconde méthode ont été en général largement supérieures à celles obtenues par la première méthode. Cependant, la hiérarchie entre traitements est la même quelque soit la méthode retenue.

La durée de transit (exprimée en heures) est plus importante pour les fourrages tropicaux par rapport aux fourrages tempérés (36,7 vs. 33,9, $P < 0,001$, $n = 513$).

La teneur en NDF de la ration a significativement influencé le transit digestif, vraisemblablement en raison de son impact sur la vitesse de réduction des particules par la mastication. Quand les temps de transit ont été analysés à même niveau de NDF, les fourrages tropicaux et les pailles présentaient un transit plus long que celui des fourrages tempérés (tableau 1)

En conclusion, les paramètres qui illustrent l'activité masticatoire (durée unitaire de mastication, encombrement ruminal,...) discriminent significativement les fourrages tropicaux des fourrages tempérés, même à niveaux comparables de MAT et NDF. Ces résultats mettent en évidence l'impact des contraintes physiques sur l'ingestion des graminées tropicales qui contiennent davantage de cellules lignifiées au niveau du sclérenchyme, plus récalcitrantes à la dégradation physique (Wilson, 1994). Ainsi les durées journalières de mastication calculées pour les fourrages tropicaux (80 min supérieure à celle calculée pour les fourrages tempérés) sont très proches des temps maximum d'ingestion observés chez des animaux à l'entretien (Jarrige *et al.*, 1995). A composition chimique comparable, le travail masticatoire nécessaire par g de MS de fourrage tropical est plus important que pour les fourrages tempérés. Il en résulte des temps de séjour plus longs des fourrages tropicaux, un *turnover* moins rapide, limitant de fait l'ingestion de ces fourrages comparativement aux fourrages tempérés. Mac Leod *et al.* 1990, ont rapporté une augmentation moyenne du temps de mastication de 20 % pour les fourrages tropicaux relativement aux tempérés. Ce résultat met en évidence l'impact de contraintes physiques sur l'ingestion de graminées tropicales comme d'autres auteurs l'avaient déjà rapporté (Minson 1990, Kennedy 1995). Wilson (1991), a expliqué ces différences par la composition des parois cellulaires des graminées tempérées et tropicales.

2. VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES TROPICAUX PATURES

La valeur alimentaire des fourrages pâturés est plus difficile à appréhender que celle des fourrages fauchés et distribués en stalles. Les prairies tropicales en particulier présentent une grande hétérogénéité verticale en densité (quantité de MS présente dans un volume donné) et en valeur alimentaire (Sollenberger et Burns, 2001; Chilibruste *et al.*, 2005). Ils présentent par ailleurs des morphologies très variables avec des plantes tallifères (comme les C3) ou stolonifères avec un développement rapide des tiges (Cruz et Boval, 2000). Dans un contexte aussi hétérogène, davantage qu'en prairies tempérées, se pose la question de la valeur alimentaire évaluée, celle du fourrage proposé tel qu'il est échantillonné par l'expérimentateur, ou celle du fourrage consommé par l'animal. Or ces deux valeurs, observées sur le proposé et sur le consommé, peuvent être très éloignées au pâturage.

2.1. ETUDES COMPARATIVES PATURAGE VERSUS EN STALLES

Peu de comparaisons existent entre fourrages pâturés et fourrages fauchés dans des conditions similaires. La majorité des études publiées comparent surtout des « systèmes d'alimentation », avec en stalles de forts pourcentages d'aliment concentré dans la ration alors que le pâturage est souvent extensif sans concentrés. Ainsi, les différences mises en évidence dans certaines études sont davantage liées à des différences de densité nutritionnelle de la ration qu'à des différences de qualité de fourrage ingéré. Dans la majorité de ces études, les niveaux d'ingestion et les gains de poids sont plus faibles au pâturage, de - 20 à - 30 %, comparativement aux mesures faites en stalles (Raghuvansi *et al.*, 2006 ; Fiems *et al.*, 2002).

A notre connaissance, seules deux études ont comparé les deux milieux d'alimentation avec le même fourrage et à

quantité comparable. Monniruzzaman *et al.* (2002), avec le même fourrage associé à des niveaux de concentrés comparables, mesurent une plus forte ingestion au pâturage comparativement aux stalles. Dans le même temps, la croissance des animaux en stalles a été supérieure à celle mesurée au pâturage, ce qui pourrait s'expliquer en partie par l'augmentation des dépenses énergétiques au pâturage. Plus récemment, Fanchone *et al.* (2009b, 2009c) ont comparé la consommation par des moutons d'un même fourrage tropical produit dans les mêmes conditions, en stalles et au pâturage. La comparaison a été réalisée à deux âges de repousse (Fanchone *et al.*, 2009c), considérés comme discriminant de la qualité du fourrage en stalles comme au pâturage (Archimède *et al.*, 2000 ; Boval *et al.*, 2007). La digestibilité a été en général supérieure au pâturage alors que les quantités ingérées ont été plus importantes en stalles, pour les deux âges testés (tableau 2).

Tableau 2 : la digestibilité *in vivo* de la matière organique (DMO, %), les quantités ingérées (MOI, g/kg BW^{0,75}) et digérées (MODI, g/kg BW^{0,75}) mesurées simultanément au pâturage et à l'auge, pour des béliers alimentés avec du *Digitaria decumbens* à deux stades de repousse.

	21 jours de repousse			35 jours de repousse		
	Stalle	Pâturage	s.e.	Stalle	Pâturage	s.e.
DMO	69,8 ^b	71,3 ^a	1,2	68,0 ^b	69,9 ^a	0,9
OMI	78,7 ^b	71,6 ^b	8,3	69,3 ^a	59,7 ^b	6,3
DOMI	55,1 ^b	51,1 ^b	6,4	47,2 ^a	41,0 ^b	4,4

Avec des quantités offertes variables, des écarts du même ordre ont été mesurés entre le pâturage et les stalles, à la fois pour la digestibilité et l'ingestion (Fanchone *et al.*, 2009b).

Ainsi d'après les divers travaux publiés comparant les fourrages pâturés vs. fauchés, la valeur alimentaire, résultant de la digestibilité et des quantités ingérées, serait plus faible au pâturage. Selon Fanchone *et al.* (2009b, 2009c), la plus forte digestibilité au pâturage s'explique par une sélection plus importante du fourrage proposé au pâturage. La plus forte ingestion mesurée à l'auge, s'explique par une préhensibilité facilitée du fourrage présenté qui se retrouve tassé, et plus favorable à une prise importante par bouchée. Ces travaux révèlent par ailleurs que l'écart entre le pâturage et l'auge varie d'une situation à l'autre, quand varient la quantité offerte ou le stade de repousse (écarts plus grands à 35 qu'à 21 jours de repousse, tableau 2). Aussi, il n'est pas exclu que l'on puisse avoir des écarts différents entre pâturage et stalles, avec d'autres types de fourrages, plus denses.

Au pâturage, en dépit de la sélection du fourrage et du gain de digestibilité, l'ingestion ne serait pas favorisée par un *turnover* plus rapide du contenu ruminal. L'ingestion serait même pénalisée par la préhensibilité du couvert, et donc par le temps passé à trier, impliquant de petites bouchées, selon le concept de compromis entre qualité du régime et quantités ingérées développé par certains auteurs (Delagarde et O'Donovan, 2005 ; Parsons *et al.*, 1994). En fait la relation entre digestibilité et ingestion généralement positive en stalles ne se vérifie pas nécessairement au pâturage. Aussi se pose la question de la validité des estimations de la valeur alimentaire basées uniquement sur la mesure de la digestibilité, même si elle est considérée comme représentative dans des évaluations de routine

(Kitessa *et al.*, 1999). Il en est de même des travaux de sélection des fourrages tropicaux basés sur le seul critère de la digestibilité, quand ces fourrages sont destinés à être pâturés. La digestibilité est généralement corrélée à l'ingestion quand le fourrage est proposé en stalles *ad libitum*. Mais au pâturage, du fait de la sélection du fourrage par l'animal, la connaissance des deux paramètres, digestibilité et ingestion, est essentielle pour apprécier la valeur alimentaire de l'aliment (Coleman et Moore, 2003). C'est le produit de ces deux paramètres qui reflète l'apport réel en nutriments pour couvrir les besoins d'entretien et de production et qui est corrélé au gain de poids vif (Lippke, 1980 ; Lee *et al.*, 2002 ; Coleman et Moore, 2003 ; Archimède *et al.*, 2008).

2.2. VALEURS ALIMENTAIRES MESUREES ET FACTEURS DE VARIATION

Les estimations de la digestibilité et des quantités ingérées au pâturage en zone tropicale sont ainsi peu répandues. Le peu de données tient de la faible disponibilité de méthodes fiables et surtout faciles à mettre en œuvre au pâturage (Coleman, 2006), même si il y eu ces dernières années des avancées notables (Dixon et Coates, 2009). Les quelques valeurs disponibles sont par ailleurs obtenues avec des méthodes très variées ou alors déduites de l'analyse chimique du fourrage proposé ou extrapolées à partir de mesures réalisées en stalles. Mais ces extrapolations peuvent conduire à des erreurs importantes, dues à la sélection du fourrage par l'animal (VanSoest, 1996; Zemmeling et t'Mannetje, 2002), qui complique par ailleurs la mise en place de modèles de prévision de la valeur alimentaire (Beever et Doyle, 2007).

Les quelques données disponibles indiquent que les valeurs alimentaires mesurées en pâturage tropical sont très variables et peuvent atteindre de bons niveaux, allant au-delà des valeurs reportées par Minson (1990). Des digestibilités élevées de 77, 74 et 73 % ont en effet été mesurées pour des fourrages pâturés pour des moutons (Lee *et al.*, 2002) et des bovins (Boval *et al.*, 2000 ; Aharoni *et al.*, 2004) respectivement en Australie, dans la Caraïbe et en Israël.

Les valeurs alimentaires peuvent varier entre espèces et certaines ont ainsi été sélectionnées sur la base de leur productivité, de leur composition chimique et de leur faculté d'adaptation à divers milieux (Lowe *et al.*, 2007). Cependant la variabilité de la valeur alimentaire entre espèces est vraisemblablement plus réduite que celle engendré pour une même espèce par des modalités de gestion diverses (Aumont *et al.*, 1995). La gestion des fourrages constitue en effet un moyen essentiel pour améliorer la qualité des fourrages tropicaux.

L'âge de repousse constitue ainsi un facteur déterminant de la valeur alimentaire des fourrages tropicaux, avec des effets au pâturage, spécifique de ceux mesurés en stalles. En comparant la consommation de fourrages au pâturage à deux ou quatre semaines de repousse, Boval *et al.* (2007) ont mesuré des digestibilités supérieures à deux semaines (70 % vs. 67 %, $P < 0,001$) mais des ingestions plus importantes à quatre semaines (58 vs. 66 g MO / kg $P^{0,75}$, $P < 0,001$). Au stade le plus précoce, le fourrage a été plus feuillu, plus riche en MAT et plus digestible, mais les tiges et les feuilles ont été plus courtes qu'au stade plus mature, limitant la prise instantanée de fourrage (161 mg vs. 226 mg OM / bouchée, $P < 0,001$) et ce, même en dépit d'une durée de pâturage accrue à ce stade précoce.

La fertilisation constitue également un levier important pour la gestion des prairies tropicales, comme en prairies tempérées, avec des bénéfices pour des bovins pouvant aller de 1,3 à 4,7 kg PV / ha / an, par kg d'azote supplémentaire ajouté par ha (Mears et Humphreys, 1974). Peu de données relatives à l'impact de la fertilisation sur la valeur alimentaire existent en effet et les gains mesurés sont généralement expliqués par l'augmentation de la production de MS ou la teneur en azote induite par la fertilisation. Mais à même niveau de disponible (fixée par la surface à pâturer), Boval *et al.* (2002) ont mesuré un gain de 21 % des quantités ingérées et digérées par des bovins pour des surfaces fertilisées (50 kg / ha) comparativement à des surfaces non fertilisées. Le gain a été permis, non pas par un accroissement de la MS proposée, comparable sur les deux types de couverts (3,4 vs. 3,5 kg MO / kg $P^{0,75}$ / j), mais par une élongation considérable des tiges et des feuilles, à la fois très préhensibles et de bonne qualité. Les caractéristiques du couvert peuvent ainsi davantage influencer l'alimentation que les quantités proposées. L'impact de ces caractéristiques est encore mal connu pour les prairies tropicales très diverses, contrairement aux prairies tempérées plus homogènes (Baumont *et al.*, 2004).

Les quantités proposées apparaissent comme un facteur déterminant de la valeur alimentaire dans diverses études tropicales, avec un effet positif évalué sur la production laitière (Cowan *et al.*, 1975 ; Stobbs, 1977) ou le gain de poids vif (Adjei *et al.*, 1980 ; Humphreys, 1991). Mais contrairement à la zone tempérée, où une relation curvilinéaire est connue avec une ingestion maximum atteinte pour un disponible de 55 kgMO / kg PV / j (Chilibroste *et al.*, 2005), la quantité de MS optimale à proposer en pâturage tropical est mal évaluée. Par ailleurs dans certaines études, la quantité proposée ne constitue pas le facteur limitant majeur de l'alimentation (Boval *et al.*, 2000 ; Kuusela et Khalili, 2002, Fanchone *et al.*, 2009b). En fait tout dépend des caractéristiques du fourrage proposé, pouvant avoir un rôle majeur sur la consommation par l'animal, que ce soit la densité (Stobbs, 1975 ; Chacon *et al.*, 1978) ou la composition morphologique (Cherney *et al.*, 1990).

Devant la complexité des facteurs influençant la valeur alimentaire des fourrages tropicaux pâturés, qui expliquent d'ailleurs l'écart entre valeurs mesurées au pâturage et en stalles, l'évaluation *in situ* de la valeur des fourrages pâturés est essentielle. Les avancées méthodologiques récentes que l'on note dans la bibliographie, sont prometteuses pour y parvenir.

2.3. METHODES D'EVALUATION DE LA VALEUR ALIMENTAIRE AU PATURAGE

Pour évaluer la valeur alimentaire des fourrages pâturés, de nombreuses études ont été réalisées ces cinquante dernières années (Fahey et Hussein, 1999). Peu de méthodes pratiques à mettre en œuvre sont néanmoins disponibles et utilisables en routine (Coleman, 2006 ; Dixon et Coates, 2009).

Les premières méthodes testées étaient basées sur la mesure des variations du poids vif mesurées avant et après pâturage (Penning et Hooper, 1985). Ces méthodes déjà fastidieuses à mettre en œuvre, ont été par ailleurs très peu approfondies du fait d'estimations assez approximatives.

D'autres auteurs ont testé les mesures de fourrage avant et après pâturage (Macon *et al.*, 2003) mais cette méthode est utilisable pour des prairies homogènes et à condition

que la repousse du fourrage soit négligeable entre deux mesures (Minson, 1990).

Le comportement alimentaire avec des estimations de la taille de bouchées, de leur fréquence et de la durée de pâturage (Allden et Whittaker, 1970), sert très souvent de base pour extrapoler les niveaux d'ingestion par de nombreux auteurs. Cependant les mesures sont généralement réalisées sur des laps de temps courts, alors que le comportement varie au cours de la journée, même quand les caractéristiques du couvert sont constantes (Gibb *et al.*, 1998). Rares sont les études qui ont mesuré les trois paramètres à la fois et les relations entre comportement instantané et ingestion quotidienne sont ainsi peu documentées (Burns et Sollenberger, 2002).

Le moyen le plus fiable pour apprécier la valeur alimentaire des fourrages pâturés et qui est le plus largement utilisée demeure la mesure de l'excrétion fécale et de la digestibilité (Streeter *et al.*, 1969) : le fourrage ingéré (I) étant en partie digéré (dI) et en partie excrété *via* les fèces (F), on peut écrire $I = F + dI$, dont il résulte $I = F / (1-d)$.

L'excrétion fécale est soit mesurée par collecte totale (Doyle *et al.*, 1994 ; Boval *et al.*, 2000) ou estimée *via* l'utilisation de marqueurs dits externes tels que le sesquioxyde de chrome ou Cr₂O₃, l'oxyde d'ytterbium, les alcanes synthétiques ou le polyéthylène glycol. L'utilisation du Cr₂O₃ est la plus courante dans les études publiées, y compris encore récemment dans des études menées en milieu tropical (Morenz *et al.*, 2006 ; Lima *et al.*, 2008).

La digestibilité est estimée soit à partir de constituants présents dans des échantillons 1) du fourrage proposé prélevé manuellement 2) de bols œsophagiens ou 3) de fèces.

Parmi les méthodes d'estimation de la digestibilité basées sur l'analyse d'échantillons fourragers, la fermentation *in vitro* avec la méthode de Tilley et Terry (1963) reste la plus courante encore récemment dans des études tropicales (Coser *et al.*, 2008 ; Favoreto *et al.*, 2008). D'autres études ont recours au dosage de constituants indigestibles du fourrage, qui constituent des marqueurs internes et qui peuvent être la silice, la lignine, les chromogènes ou le NDF indigestible (Lippke *et al.*, 2000 ; Sales et Janssens, 2003). Tous ces marqueurs ne sont pas systématiquement récupérables en totalité et leur utilisation nécessite de doser le marqueur dans la plante, à partir d'un échantillon rarement représentatif du fourrage réellement consommé. Les alcanes, présents naturellement dans la cire des cuticules des végétaux constituent les marqueurs internes les plus utilisés (Dove et Mayes, 2006). Mais comme pour les autres marqueurs internes se pose la difficulté de la récupération totale du marqueur, qui peut être influencée par le régime et des facteurs animaux (Lin *et al.*, 2007).

Afin de pallier le manque de représentativité d'échantillons de fourrage proposé, la digestibilité peut être estimée à partir d'échantillons œsophagiens. Cependant la période d'échantillonnage est généralement courte, le temps que se remplisse la fistule, peu propice à la collecte d'un échantillon représentatif de la ration prélevée sur la journée (Jones et Lascano, 1992 ; Pereira *et al.*, 2009).

La mesure de la digestibilité basée sur l'analyse d'échantillons fécaux est moins répandue que celle établie à partir de constituants fourragers, bien qu'elles permettent d'avoir une représentativité du fourrage réellement prélevé

par l'animal, sans biais lié à l'échantillonnage du fourrage proposé. Il s'agit de mettre au point des relations utilisables entre la digestibilité et 1) des constituants chimiques fécaux, tels que la teneur en azote indigestible ou 2) des caractéristiques physiques des fèces *via* la spectroscopie dans le proche-infra-rouge (SPIR).

L'azote est le constituant fécal le plus étudié pour estimer la digestibilité du fourrage pâturé. La principale limite de la méthode réside dans la nécessité de mettre au point des équations établies en conditions contrôlées (Leite et Stuth, 1990) qui sont normalement utilisable dans la gamme de variation dans laquelle elles ont été établies. Cependant avec des modèles hyperboliques ou exponentiels, qui traduisent bien la relation physiologique entre la teneur en azote fécal et la digestibilité décrite initialement par Lancaster (1949), les équations mises au point peuvent être utilisées en dehors de la gamme de variation dans laquelle elles ont été établies (Wehausen, 1995 ; Boval *et al.*, 2003 ; Schlecht et Susenbeth, 2006 ; Lukas *et al.*, 2005). Ainsi, les équations de la digestibilité établies à partir de l'azote fécal avec un nombre de données et des gammes de variation de l'N fécal plus ou moins grandes (n = 40, 9-16 % d'N fécal ou n = 174, 8 à 20 % d'N fécal) présentent des paramètres significativement comparables (Fanchone *et al.*, 2009a). Cette étude suggère qu'un nombre limité de données (n = 40) permet déjà de bien décrire la relation physiologique entre la digestibilité et l'N fécal.

Enfin l'estimation de la digestibilité par l'analyse physique des fèces *via* la SPIR s'est largement développée ces dernières années, avec un certain nombre de calibrations publiées et récemment synthétisées par Dixon et Coates (2009). Le grand intérêt de la méthode est qu'elle permet, en sus de la digestibilité (Landau, 2006 ; Coleman, 2006 ; Dixon et Coates, 2009) d'estimer à partir d'un même échantillon la composition chimique du fourrage ingéré (Boval *et al.*, 2004 ; Fanchone *et al.*, 2007 ; Li *et al.*, 2007), mais aussi sa composition botanique (Glasser *et al.*, 2008), à condition cependant que les calibrations soient développées pour chacun des paramètres à prédire. Enfin les quantités ingérées peuvent être directement prévues dans certaines conditions, avec des calibrations néanmoins moins précises que pour la digestibilité. L'ingestion dépend, outre des facteurs fourragers, de nombreux facteurs liés à l'animal (format, taille de rumen, stade physiologique, comportement alimentaire). La prévision des quantités ingérées est néanmoins améliorée quand on associe aux spectres fécaux des spectres d'échantillons fourragers proposés (Decruyenaere *et al.*, 2009). Par ailleurs l'association de facteurs animaux (PV, semaine de lactation) aux spectres fécaux pour des vaches laitières en pâturage tropical au Vietnam et à la Réunion a significativement amélioré la prédiction (Tran *et al.*, 2009).

CONCLUSIONS

La digestibilité ne discrimine pas les graminées tropicales des graminées tempérées. La différence majeure entre ces fourrages tropicaux et tempérés est la moindre ingestibilité des premiers même lorsque la comparaison est faite à même teneur en parois. On peut supposer que l'explication réside dans le fait que digérer les parois cellulaires des fourrages tropicaux nécessite un travail de mastication plus important comme l'indique les résultats des durées unitaires de mastication. Nous émettons aussi l'hypothèse que des vitesses de digestion plus faibles avec les

fourrages tropicaux pourraient aussi expliquer le niveau d'ingestion plus faible, comme semble l'indiquer l'encombrement du rumen et les temps de séjour plus longs avec ces fourrages. Mais les fourrages tropicaux sont généralement exploités comme les fourrages tempérés et la recherche de modalités de gestion appropriées à leur physiologie en C4, permettrait une meilleure valorisation de leur potentiel alimentaire. Les résultats plaident par exemple pour une valorisation de ces fourrages à des stades plus précoces qu'avec les fourrages tempérés.

La valeur alimentaire des fourrages pâturés ne peut être réellement évaluée à partir de la consommation de fourrage fauché consommé en stalles. La digestibilité des fourrages consommés au pâturage apparaît supérieure à celle consommée en stalles, alors que ce serait l'inverse pour l'ingestion, avec un différentiel variable en fonction des caractéristiques de la prairie. Il n'est pas exclu que pour des caractéristiques prairiales données, l'espèce animale soit un important facteur de variation qu'il conviendrait d'analyser pour une meilleure valorisation de certains pâturages. Les progrès méthodologiques doivent se poursuivre pour élargir la mesure de la valeur alimentaire de diverses ressources naturelles tropicales, indispensable au développement des productions animales requises dans les PVD. Parmi les méthodes d'évaluation du fourrage pâturé basées sur l'excrétion fécale et la digestibilité, celles nécessitant l'analyse des constituants fécaux sont les plus prometteuses, permettant d'estimer au mieux le régime réellement consommé. De par son faible coût et du grand nombre d'application possibles, la SPIR constitue un outil digne d'intérêt pour le développement des productions animales à partir de ressources naturelles dans les PVD (Shepherd *et al.*, 2007). Les données mesurées à l'auge, si elles ne permettent pas d'extrapoler la valeur alimentaire des fourrages pâturés, constituent une ressource importante pour la mise au point d'outils de mesure pour estimer la qualité du régime pâturé. Le challenge est de rassembler des bases de données conséquentes pour le développement d'équations robustes, applicables au pâturage dans des situations contrastées.

Adjei M.B., Mislevy P. And Ward C.Y. , 1980. *Agronomy Journal*, 72, 863-868.

Aharoni Y., Brosh A., Orlov A., Shargal E. et Gutman M., 2004. *Livestock Production Science*, 90, 89-100.

Allden W.G. et Whittaker A.M.C., 1970. *Australian Journal of Agricultural Research*, 21, 755-766.

Archimède H., Boval M., Alexandre G., Xande A., Aumont G. et Poncet C., 2000. *Animal Feed Science and Technology*, 87, 153-162.

Archimède H., Pellonde P., Despois P., Etienne T. et Alexandre G., 2008. *Small Ruminant Research*, 75, 162-170.

Assoumaya C., Boval M., Sauvant D., Xande A., Poncet C. et Archimède H., 2007a. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20, 925-932.

Archimède H., Poncet C., Boval M., Nipeau F., Philibert L., Xande A., Aumont G. 1999. *Journal of agricultural Science*, 133, 235-240.

Assoumaya C. 2007b. Thèse Agro Paris Tech.

Assoumaya C, Sauvant D and Archimède H. 2007a. INRA Prod. Anim., 20, 383-392.

Aumont G., Caudron I., Saminadin G. et Xande A., 1995. *Animal Feed Science and Technology*, 51, 1-13.

Baumont R., Cohen-Salmon D., Prache S. et Sauvant D., 2004. *Animal Feed Science and Technology*, 112, 5-28.

Beever D.E. et Doyle P.T., 2007. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47, 645-657.

Boval M., Archimède H., Fleury J. et Xande A., 2003. *Journal of Agricultural Science*, 140, 443-450.

Boval M., Coates D.B., Lecomte P., Decruyenaere V. et Archimède H., 2004. *Animal Feed Science and Technology*, 114, 19-29

Boval M., Cruz P., Ledet J.E., Coppry O. et Archimède H., 2002. *Journal of Agricultural Science*, 138, 73-84

Boval M., Cruz P., Peyraud J.L. et Penning P., 2000. *Grass and Forage Science*, 55, 201-208

Boval M., Fanchone A., Archimède H. et Gibb M.J., 2007. *Grass and Forage Science*, 62, 44-54.

Burns J.C. and Sollenberger L.E., 2002. *Crop Science*, 47, 873-881.

Chacon E.A., Stobbs T.H. et Dale M.B., 1978. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 89-102.

Chenost M., 1975. *Ann. Zootech.* 24:327-349.

Cherney D.J.R., Mertens D.R. et Moore J.E., 1990. *Journal of Animal Science*, 68, 4387-4399.

Chilibroste P., Gibb M., Tamminga S., 2005. In: *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*, 2nd edition (eds). Dijkstra, JM Forbes and J. France), 682 p.

Coleman S.W. et Moore J.E., 2003. *Field Crops Research*, 84, 17-29.

Coleman S. W., 2006. In *Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, 13-18 August, 2006 pp. 14-06.*

Coser A.C., Martins C.E., Deresz F., de Freitas A.F., Paciullo D.S.C., de Alencar C.A.B. et Vitor C.M.T., 2008. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 43, 1625-1631.

Cowan R.T., Byford L.J.R. et Stobbs T.H., 1975. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15, 740-746.

Cruz P. and Boval M., 2000. In : *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. CAB International, Cambridge, UK, pp. 151-167.

Decruyenaere V., Lecomte P., Demarquilly C., Aufrère J., Dardenne P., Stilmant D. et Buldgen A., 2009. *Animal Feed Science and Technology*, 148, 138-156.

Demarquilly, C., Andrieu J. et Weiss Ph. 1981. Prédiction de la valeur nutritive des aliments des Ruminants, I.N.R.A. 155-167.

Dixon R. and Coates D., 2009. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 17, 1-31.

Dove H. et Mayes R.W., 2006. *Nature Protocols*, 1, 1680-1697.

Doyle P.T., Casson T., Cransberg L. et Rowe J.B., 1994. *Small Ruminant Research*, 13, 231-236.

Fahey G.C. et Hussein H.S., 1999. *Crop Science*, 39, 4-12.

Fanchone A., Archimède H. et Boval M., 2009a. *Journal of Animal Science*, 87, 236-243.

Fanchone A., Archimède H., Baumont R., Boval M. 2009b. *Animal Feed Science and Technology* (accepté).

Fanchone A., Archimède H., Delagarde R., Boval M. 2009c. *Animal Feed Science and Technology* (soumis).

Fanchone A., Boval M., Lecomte P. et Archimède H., 2007. *Journal of near Infrared Spectroscopy*, 15, 107-113.

FAO, 2003. *World Agriculture : towards 2015/2030 : an FAO perspective*

FA, Ed. JBruinsma Earthscan Publications, Ltd, Londn 407p.O, 2006. *World Agriculture: towards 2030/2°50 Interim report Porspects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups. Global perspectives Studies. Unit Food and Agriculture Organisation of the United Nations Rome, June 2006, 78p.*

Delagarde R, O'Donovan M, 2005. *Productions animales*, 18, 4, 241-253.

Favoreto M.G., Deresz F., Fernandes A.M., Vieira R.A.M. et Fontes C.A.D., 2008. *Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science*, 37, 319-327.

Fiems L.O., De Campeneere S., De Boever J.L. et Vanacker J.M., 2002. *Livestock Production Science*, 77, 35-43.

Galyean M.L., 1993. *Journal of Animal Science*, 71, 3466-3469

- Gibb M.J., Huckle C.A. and Nuthall R., 1998. *Grass and Forage Science*, 53, 41–46.
- Glasser T., Landau S., Ungar E.D., Perevolotsky A., Dvash L., Muklada H., Kababya D. et Walker J.W., 2008. *Journal of Animal Science*, 86, 1345-1356
- Humphreys L.R., 1991. In *Tropical Pasture Utilisation*. Cambridge University Press, 210p.
- Jarrige R., Dulphy J.-P., Faverdin P., Baumont R. and Demarquilly C., 1995. In Nutrition des ruminants domestiques. Ingestion et digestion. INRA Editions. 123-182.
- Jones R.J. et Lascano C.E., 1992. *Grass and Forage Science*, 47, 128-132.
- Kennedy P.M., 1995. In: M. Journet, E. Grenet, M-H. Farce, M. Thériez, C. Demarquilly (eds), *Recent development in the Nutrition of herbivores, Proc. IV Intern. Symp. Nutr. Herb.*, 309-328. INRA Editions, Paris.
- Kitessa S., Flinn P.C. et Irish G.G., 1999. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50, 825-841.
- Kuusela E., Khalili H., 2002. *Animal Feed Science and Technology*, 98, 87-101.
- Lancaster R. J., 1949. *Nature* 163,330–331.
- Landau S., Glasser T. et Dvash L., 2006. *Small Ruminant Research*, 61, 1-11.
- Lee G.J., Atkins K.D. et Swan A.A., 2002. *Livestock Production Science*, 73, 185-198.
- Leite E.R. et Stuth J.W., 1995. *Small Ruminant Research*, 15, 223-230.
- Leng, R.A., 1990. *Nutr. Res. Reviews.*, 3, 277-303.
- Li H., Tolleson D., Stuth J., Bai K., Mo F. et Kronberg S., 2007. *Small Ruminant Research*, 68, 263-268.
- Lima J., Graca D.S., Borges A., Saliba E.O.S. et Simao S.M.B., 2008. *Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinaria E Zootecnia*, 60, 1197-1204.
- Lin L.J., Luo H.L., Zhang Y.J. et Shu B., 2007. *Journal of Agricultural Science*, 145, 87-94.
- Lippke H., Forbes T.D.A. et Ellis W.C., 2000. *Journal of Animal Science*, 78, 1625-1635.
- Lowe K.F., Bowdler T.M., Casey N.D., Lowe S.A., White J.A. et Pepper P.M., 2007. *Tropical Grasslands*, 41, 9-25.
- Lukas M., Südekum K.-H., Rave G., Friedel K. and Susenbeth A., 2005. *Journal of Animal Science*, 83, 1332-1344.
- Lukas, M., K.-H. Südekum, G. Rave, K. Friedel, and A. Susenbeth, 2005. *Journal of Animal Science*, 83:1332–1344.
- Macoon B., Sollenberger L.E., Moore J.E., Staples C.R., Fike J.H. et Portier K.M., 2003. *Journal of Animal Science*, 81, 2357-2366.
- McLeod M.N., Kennedy P.M and Minson D.J., 1990. *Brit. J. Nutr.*, 63, 105-119.
- Mears P.T. and Humphreys L.R., 1974. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 83, 469–478.
- Mello J.P.F and Devendra C, 1995. Tropical legumes in animal nutrition. Ed: J.P.F. Mello and C.Devendra. Commonwealth Agricultural Bureaux International, Wallingford, Oxon, OX10 8DE, UK. ISBN 0 85198 926 8. 338pp.
- Minson D.J., 1990. In *Forage in Ruminant Nutrition*, (Ed D.J. Minson), Academic Press, Inc San Diego, California, 483.
- Moniruzzaman, M., M. A. Hashem, S. Akhter, and M. M. Hossain., 2002. *Journal of Animal Science*, 15, 1453-1457.
- Morenz M.J.F., da Silva J.F.C., Aroeira L.J.M., Deresz F., Vasquez H.M., Paciullo D.S.C., Lopes F.C.F., Elyas A.C.W. et Detmann E., 2006. *Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science*, 35, 1535-1542.
- Parsons A.J., Thornley J.H.M., Newman J. et Penning P.D., 1994. *Functional Ecology*, 8, 187-204.
- Patra A. K., 2009. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. On line; DOI: 10.1111/j.1439-0396.2008.00914.x.
- Penning, P. D., and G. E. Hooper., 1985. *Grass Forage Science*, 40, 79-84.
- Pereira J., Tarre R., Macedo R., Rezende C.D., Alves B., Urquiaga S. et Boddey R., 2009. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 83, 179-196.
- Poppi D.P., Minson D.J., Ternouth J.H., 1981. *Aust. J. Agric. Res.*, 32, 99-108.
- Preston, T.R. 1995. *FAO Animal Production and Health Paper* 126.
- Raghuvansi, S. K. S., R. Prasad, M. K. Tripathi, A. S. Mishra, O. H. Chaturvedi, A. K. Misra, B. L. Saraswat, and R. C. Jakhmola., 2007. *Animal*, 1, 221-226.
- Richard D., Guerin H. et Safietou T Fall. 1989. In : Ruminant Nutrition. R Jarrige (Ed), INRA Edition, Paris
- Roberge G., Toutain B., 1999. Roberge G., Toutain B. Eds (1999) Cultures fourragères tropicales, 369 p, Coll. Repères. ISSN 1251-7274, ISBN 2-87614-361-5.
- Sales J et Janssens G.P.J., 2003. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 12, 383-401.
- Sauvant D., Assoumaya C., Giger-Reverdin S., Archimède H., 2006. *Renc. Rech. Rum.*, 13, 103.
- Schlecht E., and Susenbeth A., 2006. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 90, 369-379.
- Schlecht E., and Susenbeth A., 2006. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 90, 369-379.
- Shepherd K.D. et Walsh M.G., 2007. *Journal of near Infrared Spectroscopy*, 15, 1-19.
- Sollenberger L.E. et Burns J.C., 2001, 19th International Grassland Congress, 321-327.
- Stobbs T.H., 1977. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 17, 892-898.
- Stobbs, T.H. 1975. *Australian Journal of Agricultural Research*, 26, 997-1007.
- Streeter C.L., 1969. *Journal of Animal Science*, 29, 757-768
- Tilley J.M.A. et Terry R.A., 1963. *Journal of the British Grassland Society*, 18, 104-111.
- Tran H., Salgado P., Tillard E., Nguyen X.T., Nguyen T.L., Cuong V.V, Lecomte P, 2009. *Asian-Australian Journal of Animal Science (submitted)*.
- VanSoest P.J., 1996. *Zoo Biology*, 15, 455-479.
- Waghorn G.C. et Clark D.A., 2004. *New Zealand Veterinary Journal*, 52, 320-331.
- Wehausen J.D., 1995. *Journal of Wildlife Management*, 59, 816-823.
- Wilson J.R., 1991. In: *Recent Advances on the Nutrition herbivores*, 207-216.
- Wilson J.R., 1994. *Journal of Agricultural Science*, 122, 173-182
- World Resources Institute, 2005. *Earth trends, Agriculture & food, Table data base*
http://earthtrends.wri.org/pdf_library/data_tables/agr1_2005.pdf
- Xandé A., Garcia-Trujillo R. et Caceres O. 1989. In : Ruminant Nutrition. R Jarrige (Ed), INRA Edition, Paris.
- Zemmelink G. et t Mannelje L., 2002. *Animal Feed Science and Technology*, 96, 31-42.