



HAL
open science

L'alimentation au pâturage des ruminants en zone tropicale

Maryline Boval

► **To cite this version:**

Maryline Boval. L'alimentation au pâturage des ruminants en zone tropicale. Sciences du Vivant [q-bio]. Université des Antilles et de la Guyane, 2008. tel-02822219

HAL Id: tel-02822219

<https://hal.inrae.fr/tel-02822219>

Submitted on 6 Jun 2020

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

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

UNIVERSITE DES ANTILLES ET DE LA GUYANE

Mémoire présenté par

Maryline BOVAL

Chargé de Recherches 1ère Classe

INRA, Unité de Recherches Zootechniques

(UR143, Centre Antilles-Guyane)

en vue de l'obtention de
l'Habilitation à diriger des Recherches,
en Sciences de la vie

L'alimentation au pâturage des ruminants en zone tropicale méthodologies, facteurs de variation, & déterminisme

A soutenir devant le jury composé de :

D.Sauvant	Professeur à l'INA-PG, Paris	Président
M.Doreau	Directeur de Recherches à l'INRA	Rapporteur
D.Stilmant	Professeur au CRA de Gembloux	Rapporteur
J.L.Peyraud	Directeur de Recherches à l'INRA	Rapporteur
A.Ba	Professeur à l'Université Antilles Guyane	Examineur

REMERCIEMENTS

A l'INRA depuis 1989, arrivée en stage 1 semaine avant Hugo, puis en thèse et enfin agent INRA depuis 1995, j'apprécie de plus en plus mon environnement de travail, autant par les recherches réalisées qui sont bien sûr passionnantes, que par le contact de femmes et d'hommes, aussi simples qu'extraordinaires, qui n'imaginent pas à quel point ils m'apportent chacun de sympathie et de motivation...

Gisèle Alexandre et Alain Xandé, à l'origine de ce travail, qui ont cru en des travaux conduits au pâturage, alors que peu y croyaient à l'époque

Merci à Alain, qui a cru en moi et m'a toujours incité à en faire plus
Merci Gisèle de ton soutien et ton amitié

Daniel Sauvant, qui m'a toujours fait confiance et soutenu...depuis le début! Ca motive!

Harry Archimède, que j'ai rencontré en fin de thèse et qui a toujours été à l'écoute et de bon conseil...Mèci pou Fos la!

J-Louis Peyraud qui a accepté de m'encadrer en thèse à distance, par fax et téléphone à l'époque...et

G.Aumont qui m'a accueillie et beaucoup appris

M.Doreau, que je n'ai vu qu'une fois je crois, au jury de CR en 1995...Un des lers à publier sur l'attache!

Toute l'équipe de Gardel, en particulier Ode Coppry qui sous ses airs bougons, sait faire avancer les choses!
Jérôme qui s'est toujours démené pour que les essais soient réalisés
Angebert et Pierre, avec leur engagement et leur petites gâteries... à tous les autres qui au cours d'un CDD à Gardel m'ont tellement appris

A.Ba qui a accepté d'être mon parrain à l'Université

A tous et aux autres que j'ai pu oublier...
très sincèrement merci!

D.Stilmant qui a accepté de juger ce travail

L'équipe du laboratoire d'analyse, à Georges toujours prêt à fournir de la donnée et toute son équipe dévouée, Tatiana, Suzite et son sourire, Hughes et Lucien avec leur bonne humeur!

Maurice Mahieu qui m'a accueilli stagiaire en 1989 à la SECI et m'a fait rencontrer les « gens de l'INRA », toujours prêt à aider

Les collègues au secrétariat, Marie-Jo et Mélanie pour leur soutien logistique, avec qui j'apprécie de papoter...

Elin toujours accueillant sur qui on peut compter pour la biblio

Mes autres collègues chercheurs, Nathalie, Michael, pour leur amitié et les autres aussi...qui font que règne cette ambiance de travail à l'URZ!

Les jeunes en thèse qui sont une réelle source d'énergie et de motivation...Audrey, Séverine, Caroline, Eusebio... et tous les autres qui ont contribué à ce travail

Les agents de Duclos, que je connais moins que ceux de Gardel, mais avec qui j'aime déjà travailler, Caroline, Chickly, Frédérique et les autres

Merci à ma petite famille, qui me donne toujours tellement de bonheur et d'énergie tous les jours,

merci à Laurie, Jeremy, Jean-Marc

SOMMAIRE

<i>Curriculum vitae</i>	1
INTRODUCTION	10
A- ETUDE D'UN SYSTEME D'ELEVAGE BOVIN DIT TRADITIONNEL	13
CONTEXTE.....	13
PRINCIPAUX RESULTATS	13
CONCLUSION, IMPLICATIONS.....	15
B-MESURER L'ALIMENTATION AU PATURAGE POUR MIEUX L'AMELIORER	16
CONTEXTE.....	16
PRINCIPAUX RESULTATS ET METHODES DE MESURE TESTEES A L'URZ.....	17
MESURE DE L'INGESTION PAR PRELEVEMENT DE FOURRAGE AVANT-APRES.....	17
MESURE DE L'INGESTION VIA LE COMPORTEMENT ALIMENTAIRE.....	18
MESURE DE L'INGESTION PAR LA DETERMINATION DE L'EXCRETION FECALE ET LA DIGESTIBILITE	20
L'EXCRETION FECALE.....	20
LA DIGESTIBILITE	20
Les indicateurs fécaux.....	20
La Spectrométrie dans le proche Infra Rouge.....	21
Comparaison de 2 méthodes pour estimer la digestibilité.....	22
METHODES DE CARACTERISATION DU FOURRAGE PATURE.....	22
BILAN ET PERSPECTIVES.....	23
C-AMELIORER L'ALIMENTATION PAR LA GESTION DU FOURRAGE	25
CONTEXTE.....	25
PRINCIPAUX RESULTATS	25
COMPARAISON DE MODELES FOURRAGERS.....	25
COMMENT LES STADES DE REPOUSSE INFLUENT LE FOURRAGE ET L'ALIMENTATION ?	27
QUEL EST L'IMPACT DE LA FERTILISATION ?.....	28
ET LA FAUCHE DES REFUS POUR PRODUIRE UNE MEILLEURE REPOUSSE ?	30
BILAN ET PERSPECTIVES.....	31
D-AMELIORER L'ALIMENTATION PAR LA GESTION DES ANIMAUX	32
CONTEXTE.....	32
PRINCIPAUX RESULTATS	32
QUELLES QUANTITES DE FOURRAGE PROPOSER ?.....	32
QUELLE DUREE DE MISE AU PATURAGE ?	33
FAUT-IL FRACTIONNER LA SURFACE A PATURER ?	34
ET L'ASSOCIATION D'ESPECES ANIMALES ?.....	34
BILAN ET PERSPECTIVES.....	36

E- QUELS SONT LES DETERMINANTS D'UNE BONNE ALIMENTATION AU PATURAGE.....	37
CONTEXTE.....	37
PRINCIPAUX RESULTATS	38
ANALYSE DES DETERMINANTS LIES AU FOURRAGE.....	38
LA TENEUR EN MAT DU PROPOSE	38
LA TENEUR EN NDF	39
LA TENEUR EN MS	39
LA DIGESTIBILITE DU REGIME	39
LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU COUVERT.....	40
INFLUENCE DE QUATRE TYPES DE COUVERTS PRAIRIAUX SUR L'ALIMENTATION	40
FACTEURS ANIMAUX DETERMINANT L'ALIMENTATION AU PATURAGE	41
LE COMPORTEMENT ALIMENTAIRE	41
LA CAPACITE CELLULOLYTIQUE DU RUMEN	42
LA VITESSE DE REDUCTION DE TAILLE DES PARTICULES	42
L'ENCOMBREMENT DU RUMEN OU LA CAPACITE D'INGESTION	43
DETERMINISME SPECIFIQUE DE L'ALIMENTATION AU PATURAGE PAR RAPPORT A L'AUGE	43
BILAN ET PERSPECTIVES	44
F- EN CONCLUSION, COMMENT MIEUX ALIMENTER AU PATURAGE LES RUMINANTS... ?.....	46
G-PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	48
Références citées dans le texte.....	50
Copie de quelques travaux publiés	57

CURRICULUM VITAE

BOVAL Maryline

Chargée de Recherches à l'INRA, Unité de Recherches Zootechniques Centre Antilles Guyane,
Alimentation des animaux d'élevage, Zootechnicienne

Née le 18 décembre 1965

Nationalité française, 2 enfants

Email : maryline.boval@antilles.inra.fr

Tél : 0590 255989, 0690 718947

EXPERIENCES PROFESSIONNELLES

- 2006** Chargée de Recherches INRA 1^{ère} classe à l'INRA CRAG¹
Responsable du programme 'Alimentation et Systèmes Pâturés Tropicaux »
- 2002-2005** Adjointe au Délégué Régional à la Recherche et à la Technologie, Polynésie française
- 2000** Chargée de Recherches INRA 1^{ère} classe à l'INRA CRAG
- 1996** Chargée de Recherches INRA 2^{ème} classe à l'INRA CRAG
- 1995** Post-doctorat, BBSRC-IGER North Wyke, Royaume-Uni.
- 1990-1991** Maître auxiliaire en BTS Productions animales : Alimentation, reproduction et génétique des animaux d'élevage.

TITRES ET DIPLOMES

- 1992-1994** Doctorat de Biologie, Université Paris VI (*Très honorable & Félicitations*).
- 1991** Obtention d'une Equivalence de DEA, Université Paris VI.
- 1989** DESS Productions animales en régions chaudes, Maisons-Alfort (*mention B*)
- 1988** Maîtrise de Physiologie animale, Université Paris VI (*mention B*)

FORMATIONS COMPLEMENTAIRES

- 2008** Calibrations en spectroscopie dans le Proche Infra-Rouge (CRA, Gembloux)
- 2007** Réaliser un bilan Carbone (ADEME, Martinique)
- 2007** Le 7^{ème} PCRD, Contexte, Objectifs et Pratiques (INRA, Paris)
- 2007** Comprendre les aides européennes, optimiser leur utilisation (INRA, CRAG)
- 2006** Formation à EZPublish, outil de gestion de contenu de site Web (INRA)
- 2004** Formation aux financements européens (Welcomeurope, Paris)
- 1999** Formation à l'expérimentation animale à l'ENV de Nantes
- 1999** Formation à la diffusion et valorisation des résultats de recherche
- 1994** Formation à l'utilisation des modèles linéaires
- 1990** Formation à l'analyse de données multidimensionnelle

¹ CRAG : Centre de Recherches Antilles-Guyane, regroupant l'Unité de Recherche AgropédoClimatiques, (APC), l'Unité de Recherches Zootechniques (URZ), l'unité mixte sur la Qualité des produits (QUALITROP), unité mixte en Ecologie des Forêts de Guyane (Ecofog), une Unité de Recherches des Produits Végétaux (URPV) avec un total 230 personnes dont 50 chercheurs et ingénieurs et 150 étudiants/an) http://www.antilles.inra.fr/le_centre_antilles_guyane

PARTICIPATION A DES CONTRATS ET PROJETS DE RECHERCHES

- Projet européen REG-POT "Optimisation of productivity and sustainability of livestock farming systems in ultra peripheral regions of Europe"
- Projet de coopération Israel - France 2006-2008, on "agronomy and sustainable development, "nirs-aided evaluation of the impact on natural grasslands of sheep grazing under humid tropical, temperate, and semi-arid conditions"
- Projet CAPES-COFEUCUB 2001 - Dynamique des écosystèmes prairiaux du biome « Campos » ; bases fonctionnelles et études pour une utilisation durable par l'élevage. Projet accepté
- Projet Lefosys 2000 - 5^{ème} PCRD - Etude du potentiel du pâturage en avant en zone tempérée et en zone tropicale comme moyen de gestion durable du pâturage. Le projet a été bien noté en 2000 mais non retenu
- CPER 2000-2006 - Etude de solutions pour le passage de la saison sèche, la gestion des espaces herbagers par l'utilisation raisonnée des ruminants et le transfert de connaissances.
- CPER 1996-1999- Evaluation du potentiel de *Brachiaria humidicola* pour l'alimentation d'ovins à l'unité de sélection de l'ovin Matinik en Martinique (USOM)
- AIP Pâturage 1999- Optimisation de la production des prairies exploitées par des bovins en zone tropicale humide
- Projet INRA-CIRAD 1999 - 'Recherche des voies d'optimisation de l'ingestion au pâturage via une meilleure gestion de la prairie tropicale pour des troupeaux bovins'

RESPONSABILITES COLLECTIVES, ADMINISTRATION DE LA RECHERCHE & EXPERTISES

- Animation du groupe de Recherches « Alimentation et Systèmes Pâturés »
- En charge des relations transversales entre l'Unité Agropédologique et l'Unité de Recherches zootechniques
- Animation sur le Centre en matière de financements européens, avec la responsable des contrats du CRAG (2006-2007)
- Membre du Comité de Rédaction du journal interne du Centre (2008)
- Animation et Gestion du site Web de l'URZ (depuis 2006)
- Animatrice d'ateliers d'écriture d'articles scientifiques au CRAG (2000-2002)
- Responsable régionale de la coordination de la Fête de la Science en Polynésie (2003 et 2004)

- Administration de dossiers CIFRE, CORTECHS du Ministère de la recherche pour la Polynésie française et des autorisations de recherche aux chercheurs et aux navires étrangers (2002-2003).
- Co-organisateur des concours de création d'entreprises (2003)
- Co-rédacteur de la synthèse des actions de l'Etat en Polynésie en matière d'environnement (2003)

- Relectures d'articles scientifiques pour « *Grass and Forage Science* » et « *Small Ruminant Research* »(2006, 2007)
- Expertise scientifique de projets de recherche soumis pour financement au Ministère de l'Outre Mer en Polynésie (moyenne de 8/an, 2002-2005)
- Membre du jury du concours de la vocation féminine (2003)
- Membre de jury de concours de techniciens supérieurs INRA (2001 et 2007).

- Membre du Comité de Pilotage des Assises de la Recherche française dans le Pacifique (24-27 Août 2004, <http://www.assises-recherche-pacifique.org>)
- Membre du Comité de Réflexion sur l'Avenir de la Recherche en Polynésie (2004)

ENCADREMENTS

- ORTEGA JIMENEZ Euzebio - Thèse 1999-2002, co-encadrement - Production intensive de petits ruminants au pâturage en zone tropicale. La gestion des refus de fourrage.
- ASSOUMAYA Caroline - Thèse 2003-2007, co-encadrement - Stratégies de valorisation des fourrages tropicaux.
- FANCHONE Audrey - Thèse 2005-2008, encadrement principal - Détermination de l'ingestion des fourrages tropicaux par les ruminants : effet du mode d'alimentation Pâturage vs Auge.
- D'ALEXIS Séverine - Vatriat, 2006-2007, encadrement principal - Etude du pâturage mixte.
- JOUANNEAU Roseline - DEA, 1994, encadrement principal (Université de Rennes)
- LEDET Jean-Emmanuel - DEA, 1997, encadrement principal (Université de Rennes)
- D'ALEXIS Severine, Master 2^{ème} année Antilles-Guyane, 2006 (Université Antilles-Guyane).
- HEBRAUD Hélène - Master 1^{ère} année, 2007 (Productions animales en régions chaudes, PARC, Université Montpellier II & CIRAD-EMVT)
- COBO Emilie - Master 2^{ème} année, 2007 (Productions animales en régions chaudes, PARC, Université Montpellier II & CIRAD-EMVT)
- DISA Maël - Ingénieur 2^{ème} année, 2006 (ESCOM, Ecole Supérieure de Chimie Organique et Minérale, Cergy-Pontoise)
- NARDIN Sandra - BTS 2^{ème} année, 1997 (LEGTA de la Guadeloupe).
- DANICAN Rony- DUT Génie biologique 2^{ème} année, 2007 (IUT St Claude, Guadeloupe).

INFORMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE, CONTRIBUTION AU DEBAT PUBLIC

- Séminaire « Quel développement, quelle agriculture pour la Guadeloupe à l'horizon de 2010 ? » (Partenaires régionaux, M.Guillou, Présidente du CRAG, déc 06) ;
- Les Assises de l'Agriculture, de la Pêche et de la Ruralité (29 nov.-1er déc. 06, Conseil régional Guadeloupe)
- Co-construire avec l'éducation nationale (janv. 07)
- La Coopération Caraïbe (déc.06, Présidente du CRAG) ;
- Enjeux de la Recherche Outre-Mer sur la biodiversité (avril 2007, P. Feldmann, délégué aux ressources biologiques au CIRAD)

LISTE DES PUBLICATIONS

Revue de rang A, à comité de lecture international

1. Boval M, Peyraud J.L, Xande A, Aumont G, Copry O, Saminadin G (1996). Evaluation d'indicateurs fécaux pour prédire la digestibilité et les quantités ingérées de *Dichanthium sp.* par des bovins Créoles. *Annales de Zootechnie* 45, 121-134.
2. Boval M, Peyraud J.L, Xande A (1996). Influence du parcage nocturne et du fractionnement de la surface à pâturer sur l'ingestion de génisses Créoles conduites à l'attache. *Annales de Zootechnie* 45, 219-231.

3. Mahieu M, Aumont G, Michaux Y, Alexandre G., Archimède H., **Boval M.**, Theriez M. 1997. L'association d'ovins et de bovins sur prairies irriguées en Martinique (F.W.I) INRA-Productions Animales (numéro spécial sur les petits ruminants en milieu tropical), 10 (1): 55-66.
4. Archimède H, Poncet C, **Boval M**, Nipeau F, Philibert F, Xande A, Aumont G (1999). Comparative intake and digestion of fresh or dry grass of *Digitaria decumbens* consumed by Black-Belly sheep. *Journal of Agricultural Science*, 133, 235-240.
5. **Boval M**, Cruz P, Peyraud J.L, Penning P (2000) Herbage allowance effect on intake of Creole heifers tethered at pasture. *Grass and Forage Science*, 55, 201-208.
6. Cruz P & **Boval M** (2000) Effect of nitrogen on some morphogenetical traits of temperate and tropical perennial forage grasses. In: *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. (Eds Lemaire G., Hodgson J., de Moraes A., C. Nabinger and P.C. de F. Carvalho (eds). CAB International, Cambridge, UK, pp. 151-167.
7. Archimède H, **Boval M**, Alexandre G, Xande A, Aumont G, Poncet C (2000). Effect of regrowth age on intake and digestion of *Digitaria decumbens* consumed by Black-belly sheep, *Animal Feed Science and Technology*, 87, 153-162.
8. Alexandre G, Archimède H, Aumont G, **Boval M**, Mahieu M (2001). Producción de pequeños ruminantes a base de pastoreo intensivo in las Antillas. 2. Limitas del sistema y problematica. *Pastos y Forrajes*, 24, 2, pp 124-130.
9. **Boval M**, Cruz P, Ledet J.E, Coppry O, Borel H, And Archimède H (2002). Effect of nitrogen fertiliser on characteristics of a natural tropical sward and on intake and in vivo digestibility of the herbage consumed by Creole heifers. *Journal of Agricultural Science*, 138, 73-84
10. **Boval M.**, Archimède H, Xande A (2003). The ability of faecal nitrogen to predict digestibility for goats and sheep fed with tropical herbage. *Journal of Agricultural Science*, 140, 1-8.
11. **Boval M.**, Coates D.B., Lecomte P., Decruyenaere V., Archimède H. (2004). Faecal Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) to assess chemical composition, in vivo digestibility and intake of tropical grass by Creole cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 114, 1-4, pp 19-29.
12. Ortega-Jimenez E., Alexandre G, **Boval M**, Archimède H, Mahieu M & Xandé A, 2005a. Intake and milk production of suckling ewes reared at pasture in humid tropics according to the post-grazing residue management. *Animal Research*, 54, 459-469.
13. Ortega-Jimenez E., Alexandre G., **Boval M.**, Archimède H., Mahieu M., Morand-Fehr P., 2005b. Intake and milk production of suckling Creole goats reared at pasture in humid tropics according to the post-grazing residue management. *Small ruminant Research*, 59, 217-227.
14. **Boval M.**, Fanchone A., Archimède, H. and Gibb M.J (2007a) Effect of structure of a tropical pasture on ingestive behaviour, digestibility of diet and daily intake by grazing cattle, *Grass and Forage Science*, 62, 44-54.
15. **Boval M**, Archimède H, Cruz P., Duru, M (2007b) Intake and digestibility measured for heifers grazing tropical native grass, at two stages of maturation (14 vs 28 days), *Animal Feed Science and Technology*, 134, 18-31.
16. Fanchonne A., **Boval M.**, Lecomte Ph., Archimède H. (2007) Faecal NIRS to assess intake, in vivo digestibility and chemical composition of the herbage ingested by sheep, *Journal of NIRS*, 15, 107-113.
17. Assoumaya C., **Boval M.**, Sauvant D., Xande A., Poncet C., Archimède H. (2007a) Intake and digestive processes in the rumen of rams fed with *Digitaria decumbens* harvested at four stages of grass regrowth age. *Asian Australasian Journal of Animal Science*, 20(6), 925-932.

18. Assoumaya C., Boval M., Weisbecker J.L, Saminadin G., Archimède H. (2007b) Limits of exogenous fibrolytic enzymes to improve digestion and intake of tropical grass. *Asian Australasian Journal of Animal Science*, 20(6), 914-919.
19. Assoumaya C., Sauvart, D., Pommier F., Boval, M., Calif, B., and Archimède H. (2007c) Effect of frequency of meals on intake and digestion of tropical grass consumed by rams (accepté à *Asian Australasian Journal of Animal Science*)
20. Fanchone A. Archimède H., Boval M. (2008) Comparison of methods to predict digestibility of fresh grass consumed by sheep, based on fecal crude protein or fecal near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Animal Science* (accepté, en révision).
21. Boval M., Ortega-Jimenez E., Fanchone A., Alexandre G. Archimède H. (2007) Faecal NIRS : Measurement at pasture of diet quality of nursing ewes - Relationships with milk production. *Asian Australasian Journal of Animal Science* (soumis)
22. D'Alexis S., Loranger, G., Mahieu, M., Bobval M., (2008) Influence of earthworms on the development of free-living stages of *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* in faeces of Creole goats grazing in tropical pastures. *Veterinary Parasitology* (Soumis)
23. Fanchone, A, Archimede H. Delagarde, R and Boval, M (2008) Nutrition of stall-fed and grazing animals : Intake and digestibility of *Digitaria decumbens* fed by sheep indoors or at pasture, at two stages of regrowth. *Journal of Animal Science* (soumis).

Communications dans des congrès et symposiums

1. Boval M, Alexandre G, Cruz P, Sophie S.A (1992). Ingestive behaviour and dry matter intake of creole suckling goats on Pangola pastures. *V International Conference on goats*, New Delhi, India, 2-8 Mars, 1992, p18.
2. Boval M, Alexandre G, Mahieu M, Cruz P, Meuret M (1993). Comparative use of *Digitaria decumbens* and *Cynodon nlemfuensis* by local suckling ewes in Martinique. *XVII International Congress-New Zealand and Queensland*, Australia, 8-21 Février 1993, 2004-2005.
3. Boval M, Borel H, Alexandre G, Xande A (1993). Study of traditional cattle breeding practices in Guadeloupe. *XVII International Grassland Congress-New Zealand and Queensland*, Australia, 8-21 Février 1993.
4. Boval M, Jouanneau R, Peyraud J-L, Xande A, Feuillet D (1994). Influence of pasture splitting up and duration of pasturage on herbage intake of creole heifers. *Journées de Recherches sur l'alimentation et la nutrition des herbivores*, 16-17 Mars 1994, p36.
5. Boval M, Xande A, Peyraud J-L, Aumont G, Copry O, Calif B (1994). Evaluation of fecal indicators to predict voluntary intake of *Dichanthium sp* by cattle in Guadeloupe. *Journées de Recherches sur l'alimentation et la nutrition des herbivores*, 16-17 Mars 1994, p33.
6. Mahieu M, Aumont G, Alexandre G, Fesneau X, Boval M, Mandonnet N, Kojfer L (1995). Mixed grazing by sheep of irrigated *Digitaria decumbens* pastures in Martinique (FWI). *IV Symposium International sur les herbivores*, 11-15 septembre 1995, Clermond-Ferrand, (texte intégral), p343.
7. Boval M, Peyraud J.L, Xandé A, Aumont G, Copry O, Saminadin G (1996). Evaluation d'indicateurs fécaux pour prédire la digestibilité et les quantités ingérées de *Dichanthium sp*. par des bovins Créoles. *Annales de Zootechnie* 45, 121-134.
8. Boval M, Peyraud J.L, Xandé A (1996). Influence du parcage nocturne et du fractionnement de la surface à pâturer sur l'ingestion de génisses Créoles conduites à l'attache. *Annales de Zootechnie* 45, 219-231.

9. Archimède H. Guignard E. **Boval M.** Calif B. Philibert L. Nipau F (1996). Comparative intake and digestion of fresh and dry grass of *Digitaria decumbens* consumed by sheep. In « Recent advances in small ruminant nutrition ». FAO-CIHEAM network of cooperative research on sheep and goats, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, 24-26 October 1996, p 36
10. **Boval M.** Archimède H. (1997). Effet de l'âge de repousse sur les quantités ingérées et la digestibilité du *Digitaria decumbens* ingéré par des boucs et des béliers Rencontres Recherches Ruminants, 4, p 89.
11. Penning P.D. and **Boval, M.**, (1997). Effects of fasting on ingestive behaviour of sheep grazing grass or white clover monocultures. In :Proceedings of the 18th International Grassland Congress, Canada, paper N°410.
12. Archimède H. **Boval M.** Poncet C. Depres E. Ajournin M. (1997). Effet de l'âge de repousse sur les quantités ingérées et la digestibilité du *Digitaria Decumbens* par les béliers Black Belly. Rencontres Recherches Ruminants, 4, p 88
13. Alexandre G. Archimède H. Aumont G. **Boval M.** (1997). Analisis critico sobre los sistemas de pastoreo en el tropico antillano. In "XV Reunion ALPA", Maracaibo (Venezuela), 25-28 November 1997 In "XV Reunion ALPA", Maracaibo (Venezuela), 25-28 November 1997. Arch. Latinoanim. Prod. Anim.5 (supl 1), pp 616-618
14. Aumont G. Mahieu M. Alexandre G. **Boval M.** Archimède H. (1997). Performances comparées de troupeaux d'ovins « martinik» élevées sur deux types de prairies irriguées : star grass vs pangola. Rencontres Recherches Ruminants, 4, p 158.
15. **Boval M.** Ledet J.E, Coppry O, Borel H, Alexandre G, Archimède H, Aumont G (1999). Herbage characteristics effects on in vivo digestibility and intake by creole heifers grazing a tropical sward. In "Nutritional Ecology of Herbivores": Proceedings of the Fifth International Symposium on the Nutrition of Herbivores. 1999. Editors: Hans-Joachim G. Jung and George C. Fahey. American Society of Animal Science, Savoy, IL, USA. P 836 (CD-ROM, post0051).
16. Tournebize R, **Boval M.** Brisson N (1999). STICS, a predictive model for dry matter production and leaf area of a tropical grass. In Proceedings of International Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology, 407-409.
17. Chevaux E. Alexandre G. Archimède H. Aumont G. **Boval M.** (1999). Supplementation management of Ovin Martinik ewes during the suckling period according to energy supplying levels and to litter size. In "Nutritional Ecology of Herbivores": Proceedings of the Fifth International Symposium on the Nutrition of Herbivores. 1999. Editors: Hans-Joachim G. Jung and George C. Fahey. American Society of Animal Science, Savoy, IL, USA. P 836 (CD-ROM, post0080).
18. Aumont G., Mahieu M, Pierre F, Archimède H, Alexandre G, **Boval M** (1999). Production and parasites of sheep in alternate grazing with cattle in the caribbean In Proceedings of the 17th international conference of the WAAVP, 15-19 August 1999, Copenhagen.
19. **Boval, M.**, Archimède, H., Alexandre, G., & Xandé A. (2000). Digestibility prediction of tropical grass consumed by bucks and rams, from faecal index. VIIth International Conference on goats, Tours-Poitiers, France, 15-21 Mai 2000, 69-70.
20. **Boval M.**, Borel H. and Alexandre G. (2001) La estaca, una forma económica de manejo animal, adaptada a pequeños espacios y a la policultura agricultura-ganadería. Caso de la Guadelupe. In la 17th Reunión Latinoamericana de Produccion Animal (ALPA) 20-23 Nov 2001, La Habana, Cuba, pp.401.
21. Cruz, P. and **Boval, M.** (2001). Nitrogen or water limitation to grassland growth during a moderate dry season in the humid tropics. Proc. of the XIX Int. Grassl. Congress, São Pedro, Brasil, pp. 255-256.

22. Alexandre G. G. Aumont Archimède H. **Boval M.** Mandonnet N. Menéndez-Buxadera A. Ortega-Jimenez E. (2001). Producción de la cabra creole de guadalupe: interes y limites de la ganaderia intensiva en pastoreo. In memorias "16 Réunion Nationale sobre Caprinocultura , el 17 al 19 de octubre, Puerto de Veracruz, Mexico" B, invited paper, p 20.
23. **Boval M.**, Archimède H., Tournebize R. and Coppry O., (2002). Stage of regrowth of tropical forage have various effect on diet quality of grazing heifers. In : 19th General Meeting of European Grassland Federation, La Rochelle, France, pp 108-109
24. **Boval M.** Coppry O. Cruz P, (2002). Water and nitrogen supply for a native tropical sward to feed grazing animals through the year. In : 19th General Meeting of European Grassland Federation, La Rochelle, France, pp 1022-1023.
25. **Boval M.** Cruz P. Archimède H. (2002). An integrated approach to nutrition for grazing cattle in the tropics. In : International Conference of the British Society of Animal Science "Responding to the Increasing Global Demand for Animal Products", Merida Mexico, 12-15 November 2002, Poster n° 109, 2 pp
26. Archimède H and **Boval M.** (2002). Quelle aide à la décision pour améliorer la production bovine sous les Tropiques ? L'apport de l'INRA Centre Antilles-Guyane. Actes du séminaire Inra-Cirad, 13-17 mai 2002, Pôle Elevage du Cirad-Réunion, pp 49-52
27. Mahieu M. **Boval M.** (2002). Conduite du pâturage pour des genisses sevrées en Martinique (FWI). Pâturage continu, ou rotation à 21 ou 28 jours de repousse? 38th annual congress of Carribean Food Crops Society , Trois Ilets Martinique, 1-5/07/02, pp 376-379
28. Alexandre G. Archimède H. **Boval M.** Mahieu M. Aumont G. Xandé A. (2002). A holistic approach to the multi-functionality of the grazing systems in the Carribean 19th General Meeting of European Grassland Federation, La Rochelle, France, pp 1004-1005.
29. Archimède H. Caspsa-bassien M. **Boval M.** Alexandre G. Zébus M. F. (2002). Integration of livestock production in the banana plantation : feasibility and researchable areas. In : International Conference of the British Society of Animal Science "Responding to the Increasing Global Demand for Animal Products", Merida Mexico, 12-15 November 2002, Poster n° 53, 2 pp.
30. Mahieu M. Alexandre G. **Boval M.** Archimède H. G. Aumont (2002). Pâturage alternatif de bovins et d'ovins. Une utilisation plus efficace du pâturage en zone tropicale humide. 38th annual congress of Carribean Food Crops Society , Trois Ilets Martinique, 1-5/07/0, pp 380-386
31. Ortega-Jimenez E. Alexandre G. Archimède H. **Boval M.** Mahieu M. (2002). How to solve some disadvantages of intensive grazing systems with suckling Creole goats via pasture management ?. International Conference of the British Society of Animal Science "Responding to the Increasing Global Demand for Animal Products", Merida Mexico, 12-15 November 2002, Poster n° 57, texte intégral p.2
32. **Boval M.** Lecomte P. Archimède H. (2003). Faecal near infrared reflectance spectroscopy (nirs) to assess chemical composition, digestibility and intake of tropical fresh grasses by Creole cattle. In VIth International Symposium on the Nutrition of Herbivores, 19-24/october/2003, Merida Mexico. Tropical and Subtropical, pp 453-456
33. Ortega-Jimenez E., Alexandre G, **Boval M.** Archimède H, Mahieu M & Xandé A, (2003). Forage intake and milk production of suckling goats and ewes reared at pasture in Guadeloupe (F.W.I). International Symposium on the Nutrition of Herbivores, 19-24 october 2003, Merida Mexico.
34. Mahieu M. Alexandre G. Archimède H. **Boval M.** (2003). Association bovins - petits ruminants, une utilisation plus efficace du pâturage en zone tropicale humide Symposium Régional Interdisciplinaire sur les Ruminants. Elevage et Valorisation - La Réunion (<http://www.region-reunion.com/symposium06/session3.pdf>)

35. Alexandre G, Archimède H, Boval M (1997). Alimentation et conduite des ruminants au pâturage. Cours 1ère année Maîtrise Sciences et Techniques, mention Sciences Agronomiques et Développement Rural - Université Antilles Guyane, pp 36.
36. Alexandre G. Archimède H. Aumont G. Boval M. Hostache G. Leimbacher F. Mahieu M. Mandonnet N. Navès M. Xandé A. (1999). Systèmes pâturés tropicaux en espaces restreints, un programme de recherche pluridisciplinaire pour la promotion d'une agriculture productive et raisonnée. Table Ronde sur l'Agriculture Raisonnée, Cinquantenaire de l'INRA-CRAG, 13 et 14 décembre 1999, Petit Bourg, 12 pp
37. L. Liméa, B. Bocage, O. Coppry, M. Boval, H. Archimède and G. Alexandre (2008) Effect of forage feeding on goat meat production: carcass characteristics and qualities of Creole kids reared either at pasture or indoors. In : XXè International IGX-IRC 2008, 29th June-5th July, Hohhot, China (accepté).
38. Boval M Fanchone F, Ortega-Jimenez E, Alexandre G (2008) Measurement at pasture of intake, digestibility and chemical composition of the diet of nursing ewes, using Faecal NIRS. In : XXè International IGX-IRC 2008, 29th June-5th July, Hohhot, China (accepté).
39. Boval M, Fanchone, M. Archimède (2008) Comparison of methods to predict digestibility of fresh grass consumed by sheep, based on fecal crude protein or fecal nitrogen. In : XXè International IGX-IRC 2008, 29th June-5th July, Hohhot, China (accepté).

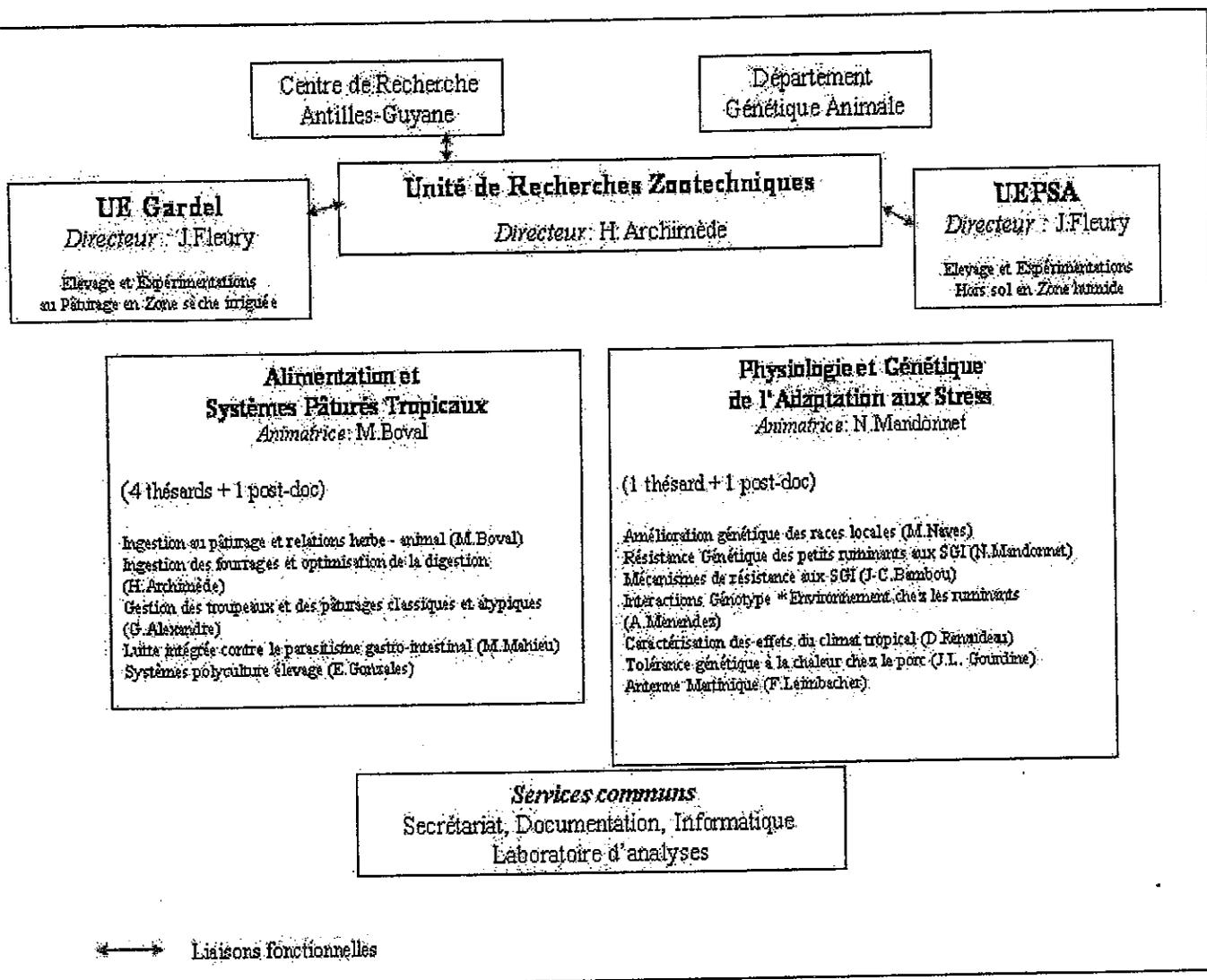
Rapports diplômants

40. Boval M. (1989). Comparaison du Pangola (*Digitaria decumbens*) et du Stargrass (*Cynodon nlemfluensis*) exploités par des ovins. Rapport de stage de DESS, EMVT Maisons-Alfort, 35p.
41. Boval M. (1994). Etude de l'ingestion au pâturage - La conduite à l'attache de bovins Créoles. Rapport de Doctorat d'Université, Paris VI, Pierre et Marie Curie, 122p.
42. Jouanneau R (1994) Effet de la durée de pâturage sur l'ingestion de génisses au pâturage. Mémoire de fin d'études. 'D.A.A 'Zootechnie'-ENSAR Rennes, pp 38.
43. Ledet J.E. (1997) Influence des caractéristiques d'un couvert végétal de *Dichanthium* sp sur les quantités ingérées et le comportement alimentaire de bovins au pâturage. Mémoire de fin d'études. 'D.A.A 'Zootechnie'-ENSAR Rennes, pp 47.
44. Nardin S. (1996) L'amélioration de l'alimentation au pâturage. Mémoire de BTS 2^{ème} année, LEGTA Guadeloupe, 16p
45. Hebraud H. (2007) Etude du déterminisme de l'ingestion des ovins et de l'impact de différents systèmes d'alimentation (Auge et pâturage). Rapport de stage Master 1^{ère} année, Productions animales en régions chaudes, PARC, Université Montpellier II & CIRAD-EMVT, 20p.
46. Cobo, E ; (2007) Etude de l'effet de différents niveaux de proposé sur l'ingestion de fourrage vert à l'auge et au pâturage apr des ovins en zone tropicale humide. Master 2^{ème} année, Productions animales en régions chaudes, PARC, Université Montpellier II & CIRAD-EMVT, 35p.
47. Disa, M. (2006) Détermination de la valeur nutritive de divers fourrages tropicaux. Rapport de stage d'Ingénieur 2^{ème} année, Ecole Supérieure de Chimie Organique et Minérale, Cergy-Pontoise, 30p.
48. Danican, R. (2007) Méthodes de laboratoire utilisables pour l'alimentation des petits ruminants. Rapport de stage de DUT Génie biologique 2^{ème} année, IUT St Claude, 24p.

Documents à vocation de transfert

49. Aumont, G., Alexandre, G., Archimede, H. & Boval, M., 1996. Etude des systèmes pâturés en espaces limités: L'association d'ovins et de bovins sur prairies irriguées en Martinique (F.W.I.). Compte rendu des actions de l'INRA Unité de Recherches Zootechniques. Programme opérationnel FEOGA Martinique (section orientation), Unité de recherches Zootechniques (Guadeloupe, F.W.I.), pp 75.
50. Alexandre, G., Archimede, H. & Boval, M., 1997. Alimentation et conduite des ruminants au pâturage. Cours 1ère année Maîtrise Sciences et Techniques, mention Sciences Agronomiques et Développement Rural - Université Antilles Guyane, pp.
51. Mahieu, M., Aumont, G., Michaux, Y., Alexandre, G., Archimede, H., Boval, M. & Theriez, M. 1997. L'association D'ovins Et De Bovins Sur Prairies Irriguées En Martinique (F.W.I.). Rapport de la commission Ovine et Caprine de l'INRA, mai 1995. Productions Animales (numéro spécial sur les petits ruminants en milieu tropical), 10 (1): 55-66.
52. Boval, M. (2007) Les contrats européens -Recherche collaborative - *Inaccessible pour nous?* (25 diapos), Duclos-Guadeloupe.

Figure 1 - Organigramme de l'Unité de Recherches Zootechniques



ams

INTRODUCTION

Les recherches présentées dans ce Rapport ont été pour l'essentiel menées à l'Unité de Recherches Zootechniques du Centre de Recherches Antilles-Guyane de l'INRA en Guadeloupe entre 1992, année où j'ai débuté une thèse et 2002.

Entre juillet 2002 et décembre 2006, je me suis davantage consacré à l'administration de la recherche et à la diffusion scientifique, en exerçant les fonctions d'adjointe au Délégué Régionale à la Recherche et à la Technologie en Polynésie française¹. L'exercice de cette fonction m'a permis de développer entre autres mes compétences pour la gestion de contrats de financements, pour l'animation de chercheurs, d'enseignants et d'universitaires d'horizons divers et pour la diffusion scientifique. Ces 4 années m'ont par ailleurs permis de prendre du recul sur mes précédents travaux de recherche.

Depuis janvier 2006, de retour à l'URZ, j'ai repris à plein temps mes travaux de recherche et leur valorisation.

Mes recherches ont visé l'amélioration de l'alimentation des ruminants au pâturage, qui avec la santé animale, constituent les deux contraintes majeures de la production animale en zone tropicale. Ces recherches ont bénéficié des compétences de mes collègues de l'URZ (Figure 1), en zootechnie, nutrition, ou agronomie, au service d'un objectif commun : « produire et diffuser des alternatives à la gestion des ressources végétales et animales en milieu tropical humide ».

En zone tropicale, dans la grande majorité des systèmes de production de ruminants, l'alimentation est basée sur les prairies, les savanes et les résidus de culture. Les systèmes de production ont pour l'essentiel recours au pâturage, tout en étant très diversifiés allant du pastoralisme, aux systèmes agro-pastoraux intensifs, avec des apports d'intrants (fertilisation, irrigation, pharmacopée) plus ou moins importants (Humphreys, 1991 ; Faye et Alary, 2001).

Les systèmes tropicaux de production de ruminants, bien qu'ils regroupent les 2/3 du cheptel mondial de ruminants, ne contribuent qu'à 40 % de la production mondiale de viande et de lait. Or sous l'effet de la diversification des habitudes alimentaires, l'extension des villes et l'accroissement des revenus, la demande en produits animaux dans ces zones, déjà en progression régulière depuis 1980, va encore progresser d'autant d'ici à 2020 (FAO, IFPRI², 2002, Plimflin, 2008).

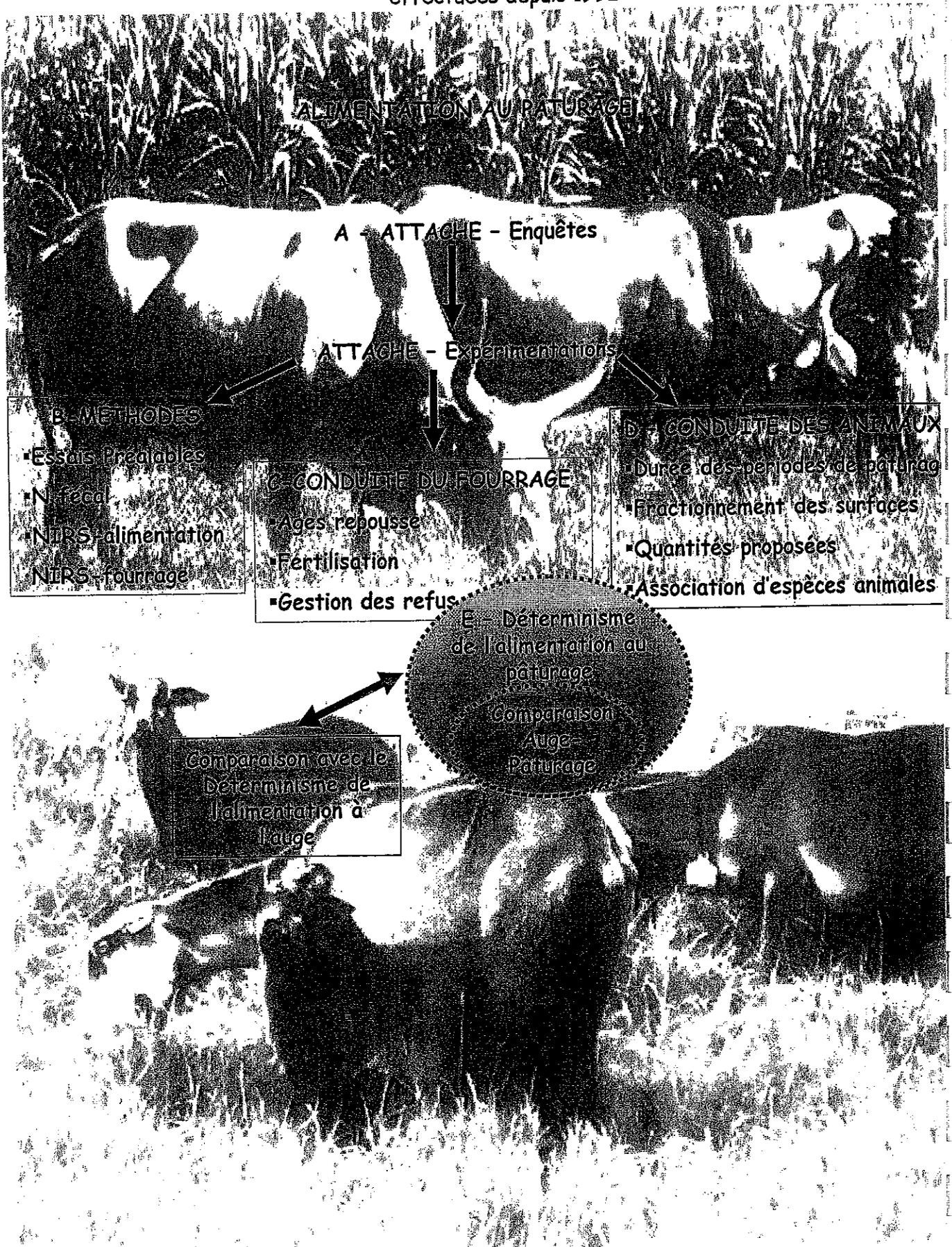
Comme il est peu probable que les surfaces vouées à l'élevage augmentent significativement dans les prochaines années (Bouwman et al, 2005 ; Delgado, 2001), il est capital pour satisfaire la consommation croissante, d'accroître l'efficacité de l'élevage.

Cependant l'intensification, si elle est indispensable, doit tirer parti de l'expérience des pays développés, où l'intensification a conduit entre autres, à la pollution liée à l'usage excessif d'engrais et aux transferts massifs d'azote dans les effluents d'élevage et à l'emploi abusif de biocides, pouvant s'accumuler dans la chaîne alimentaire (Delgado, 1999).

¹ Les Délégations régionales à la Recherche et à la Technologie (D.R.R.T.) sont des représentations du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, chargées de mission auprès des préfets de région, et conseillers auprès des recteurs. Ils sont chargés de l'action déconcentrée de l'Etat dans les domaines de la recherche, de la technologie et de l'innovation, de la diffusion de la culture scientifique, en interaction avec le monde socio-économique et le grand public.

² IFPRI : International Food Policy Research Institute (Institut international de Recherches sur les politiques alimentaires, <http://www.ifpri.org>).

Figure 2 - Représentation des travaux de recherches effectuées depuis 1992



Jobas

Une des voies de l'intensification en zones tropicales, largement prônée par divers organismes de veille de la production animale dans les PVD (FAO, IFPRI, CGIAR³, ILRI⁴), est l'amélioration de l'alimentation à base de fourrages, de sous-produits et au pâturage. L'élevage au pâturage, bien conduit, est en effet compatible avec : la préservation de la fertilité des sols ; le maintien des petits systèmes de production, qui tirent de l'élevage un revenu important (Plimflin, 2008); l'intégration de l'agriculture et l'élevage par une valorisation des résidus de récolte par les ruminants, la valorisation des terres en friche (Delgado, 2001); le maintien de la biodiversité, par le contrôle de la dispersion des graines, de la germination et la qualité du sol (Bullock et al, 2000 ; Rook and Tallwin, 2003). Le pâturage, est en outre la seule utilisation possible de vastes espaces naturels à pluviométrie faible ou irrégulière, de terrains accidentés ou trop pentus, ou de sols trop acides et peu fertiles rendant impraticables la fauche d'herbe et la mise en culture.

Pour améliorer l'alimentation des ruminants au pâturage, ma 1^{ère} démarche a été de comprendre pourquoi les recommandations issues des premiers travaux sur l'alimentation animale en zone tropicale à l'INRA (Stehle, 1951 ; Degras, 1968 ; Salette, 1970), n'étaient pas largement adoptées par les éleveurs. Ces recommandations étaient basées sur une conduite intensive avec rotation des animaux sur des parcelles clôturées et plantées en fourrage sélectionné (notamment *Digitaria Decumbens*) pour leur forte productivité (Salas, 1989). En dépit de campagnes d'informations et des aides financières, une pratique traditionnelle d'élevage a perduré et prédomine encore actuellement. Cette pratique est basée sur l'exploitation de savanes naturelles avec des animaux conduits à l'attache.

L'étude de cette pratique traditionnelle a constitué un de mes premiers travaux de recherche (Chap.A) et a fortement influencé la suite des travaux réalisés (Figure 2), avec des bovins dans un premier temps, avec des moutons et des caprins par la suite.

J'ai été amenée à développer en parallèle, des méthodes de mesure de l'alimentation au pâturage, afin de mieux étudier les systèmes pâturés (Chap.B). Une fois ces méthodes d'étude utilisables, il a été possible de tester l'impact de diverses modalités de gestion de l'élevage, sur l'alimentation (Figure 1). J'ai d'une part testé diverses gestions de la prairie, modifiant la qualité du fourrage proposé et consommé (Chap.C). D'autre part j'ai évalué l'impact de différentes conduites animales (Chap.D).

Enfin l'analyse de l'ensemble des données récoltées, permet actuellement de mieux identifier les principaux déterminants d'une bonne alimentation au pâturage (Chap.E, Figure 1). Cette approche doit favoriser l'émergence de nouvelles propositions innovantes pour mieux gérer « le pâturage », en vue d'améliorer l'alimentation animale en zone tropicale.

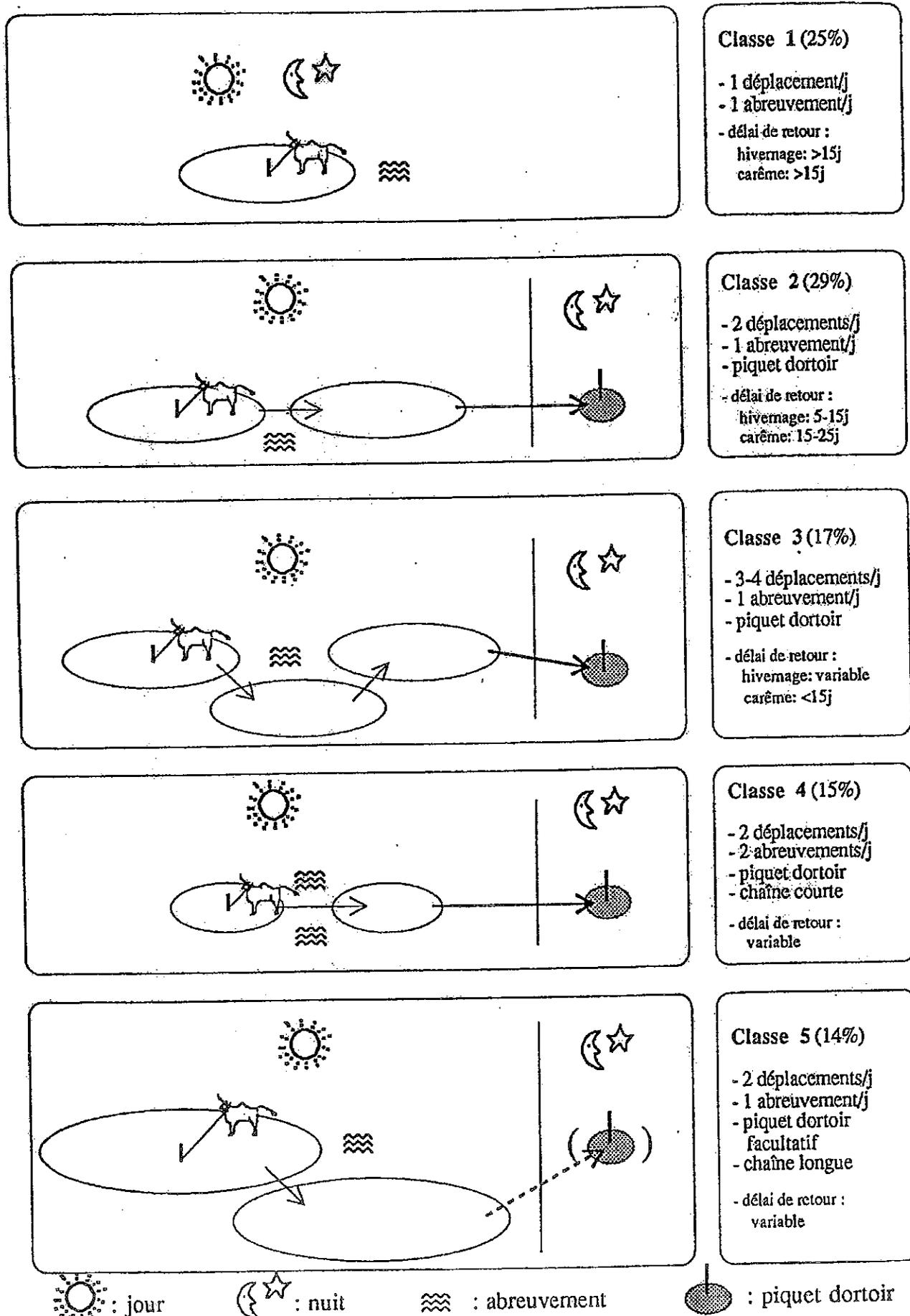
L'ensemble de ce travail résulte de mes propres expérimentations et de celles réalisées au sein du groupe de recherches que j'anime (Figure 2) et lors de l'encadrement de diverses thèses réalisées par E.Ortega (2003), C.Assoumaya (2007), A.Fanchone (2008) et S.d'Alexis (en cours). Ce travail a également pu bénéficier des collaborations fructueuses développées avec d'autres collègues de l'INRA, du CIRAD (P.Lecomte) de l'IRD (G.Loranger) ou d'organismes extérieurs, comme le CSIRO en Australie (DB.Coates), l'IGER en UK (P.Penning, M.Gibb, M.Rutter), le Volcani Center en Israël (Y.Landau), le CRA de Gembloux (P.Dardenne et V.Decruyenaere) et le Moredun research Institute, Edinburgh, UK (F.Jakson).

³ CGIAR : Groupe consultatif pour la Recherche Agricole Internationale (www.cgiar.org/)

⁴ ILRI : Institut international de recherche sur l'élevage (Nairobi, Kenya et Addis Ababa, Éthiopie , www.ilri.org)

Ce rapport présente l'état d'avancement de mon travail de recherches au sein de l'URZ. Des perspectives existent pour les différentes orientations qu'a pris ce travail, et sont présentées à la fin des différents chapitres. Mais des perspectives plus larges envisageables à la suite des travaux conduits sur l'alimentation, sont présentées à la fin du rapport (**Chap. 6**).

Figure A1 - Schéma des principaux types de conduite à l'attache, recensés dans les exploitations Guadeloupéennes (en fonction des longueurs de chaîne, fréquences de déplacement, d'abreuvement, stades de repousse et piquet d'ortoir)



: jour

: nuit

: abreuvement

: piquet d'ortoir

A- ETUDE D'UN SYSTEME D'ELEVAGE BOVIN DIT TRADITIONNEL

CONTEXTE - En 1992, les bovins constituaient la principale production animale de l'archipel guadeloupéen et représentaient 10 % de la production agricole finale. La production bovine assurait cependant moins de 50 % de la consommation locale et était fortement concurrencée par les viandes importées (SCES-INSEE, 1992). Cette situation de l'élevage est toujours d'actualité.

L'élevage bovin est orienté vers la production de viande selon un modèle allaitant. Les éleveurs souvent pluriactifs ont des troupeaux de petite taille (10 têtes en moyenne) et la superficie des exploitations est généralement inférieure à 3 ha (SCES-INSEE, 1992, 2006). Les bovins sont en majorité de race créole et sont bien adaptés aux conditions d'élevage les plus sévères (Gauthier *et al.*, 1984; Berbigier, 1983; Salas *et al.*, 1988). Les animaux sont en grande majorité conduits à l'attache autour d'un point fixe, sur des savanes naturelles dont les plus répandues sont celles à *Dichanthium sp* (Buisson et Salas, 1985; Salas, 1989).

L'alimentation constitue le principal facteur limitant de la productivité de l'élevage bovin en Guadeloupe. Pour y remédier, des fourrages tropicaux productifs et de meilleure qualité ont été importés dès les années 50. Ainsi le *Digitaria decumbens*, originaire d'Afrique orientale est étudié en Guadeloupe pour sa productivité et sa valeur nutritive (Stehle, 1951; Degras, 1968; Chenost, 1971). A partir des années 70, la conduite en rotation de prairies plantées en *Digitaria decumbens* et fertilisées, est préconisée aux éleveurs guadeloupéens. Pourtant en dépit de mesures d'incitation, cette conduite a été rarement adoptée dans les exploitations, où la conduite à l'attache sur des savanes naturelles perdure (Salas, 1989). Dans le même temps les savanes naturelles à *Dichanthium spp* et les pratiques d'élevage locales n'avaient jamais été étudiées.

PRINCIPAUX RESULTATS - Face à l'élevage traditionnel qui perdurait, il fallait comprendre pourquoi cette pratique traditionnelle était tant ancrée dans les systèmes de production, afin de dégager des pistes de recherches pour améliorer l'alimentation dans ces systèmes. Nous avons choisi d'orienter les enquêtes sur la description technique des pratiques, comment elles contribuaient à mieux gérer le pâturage, même si des informations quant aux moyens de production, à la situation sociale ou à la commercialisation ont également été collectées. Après une pré-enquête réalisée chez 40 éleveurs, pour affiner le questionnaire préalablement mis au point, 235 enquêtes ont été réalisées en 1992 dans les principales communes de la Guadeloupe, au prorata du nombre d'élevages recensés (INSEE 1989).

Les informations collectées ont été analysées surtout sous l'angle technique

Cinq types de conduite ont été mis en évidence en fonction des diverses interventions (Figure A1, Boval *et al.*, 1994, 2001), le nombre de déplacement ou d'abreuvement, la fréquence de retour au même emplacement ou la longueur de chaîne. On distingue des pratiques sommaires, comme la classe 1 à des pratiques plus exigeante comme la classe 3 avec 3 voire 4 déplacements/jour. Pendant la nuit, 40 % des éleveurs ont recours au « piquet dortoir » pour fabriquer du fumier en regroupant les animaux sur une surface réduite. Cela permettrait par ailleurs, aux dires des éleveurs de stimuler l'ingestion diurne et d'améliorer la repousse du fourrage.

Tableau A1 - Présentation des classes de structure caractérisées par les moyens de production, la situation familiale et sociale et les modalités de commercialisation (fréquences de réponse par classe)

Fréquences de réponse dans chaque classe (%)				
(Nombre d'individus/classe)	CLASSE 1 (41)	CLASSE 2 (56)	CLASSE 3 (68)	CLASSE 4 (70)
Nombre total de bovins				
2-5	0,0	0,0	45,6*	35,7*
6-7	0,0	8,9	35,3*	22,8
8-10	4,8	26,8	13,2	21,4
11-14	0,0	62,5*	2,9	10,0
15-46	85,3*	1,8	0,0	8,5
Moy ± écart-type	22,6±8,0	10,9±2,3	5,7±2,1	8,1±5,5
Surface en savane naturelle et Petit Foin (ha)				
1-2	2,4	7,1	17,6	24,3*
2-4	29,2	44,6*	16,2	28,5
4-35	60,9*	26,8	10,3	14,3
Moy ± écart-type	5,1±5,6	2,8±1,9	1,8±1,9	2,0±1,5
Quel est le mode de faire-valoir de la savane				
Propriété	60,9	42,8	47,0	60,0
Indivision	4,8	12,5	29,4	10,0
Autres	14,5	33,8*	10,2	15,6
Surface de canne cultivée (ha)				
0	34,1	23,2	55,8	70,0*
0,1-1	4,8	8,9	16,1	11,4
1-5	51,2*	64,3*	22	14,3
Moy ± écart-type	1,2±1,2	1,5±1,4	0,5±0,8	0,3±0,7
Avez-vous des cultures vivrières				
oui	39,0*	35,7*	14,7	12,8
non	60,9	64,3	85,3*	82,8
Avez-vous un jardin pour l'autoconsommation				
oui	48,7	32,1	45,6	65,7*
non	51,2	67,8*	54,4	30,0
Faites-vous de la fertilisation				
oui	56,1*	62,5*	26,4	37,1
non	41,4	35,7	73,5	61,4
Arrosez-vous				
oui	12,2*	8,9	1,4	2,8
non	75,6	85,7	98,5*	88,5

* : les modalités caractéristiques de la classe avec un seuil de $P < 0,05$

Les fréquences de réponses manquantes ne sont pas indiquées

Les diverses conduites à l'attache sont pratiquées par des éleveurs plus ou moins importants sur la base de leurs moyens de production, la situation sociale et les modalités de commercialisation, que nous avons typé en 4 classes (Tableaux A1, A2). La taille des troupeaux ainsi conduits à l'attache peut ainsi aller de 2-5 têtes pour les éleveurs de type 3 et 4, jusqu'à 15-46 têtes pour de plus gros éleveurs (classe 1, Tableau A1), qui sont exploitants agricoles déclarés, ayant par ailleurs des surfaces en canne et en cultures vivrières, qu'ils irriguent et fertilisent.

Aucune relation entre types de conduite et type d'éleveurs, n'a été mis en évidence. La **diversité des pratiques** semble surtout dépendre de la zone géographique. Ainsi la conduite de type 1 (Figure A1) assez sommaire est répandue dans des plaines argileuses périurbaines (1500-2000 mm/an) où domine la polyculture et où les pâturages sont productifs. En revanche, la conduite de type 5, plus contraignante avec 2 déplacements quotidiens, de longues chaînes, est surtout pratiquée au Nord, zone de grands plateaux calcaires (1000 à 1250 mm/an) où coexistent la culture de la canne à sucre et les savanes sèches à *Dichanthium spp.* Cependant, hormis la zone géographique, il y a pu avoir une simple diffusion de conduites spécifiques, au sein de micro-régions. Celles-ci se seraient perpétuées au cours du temps, sans être par la suite affectées par des évolutions structurelles des élevages, ou des besoins financiers des éleveurs.

Ce sont tout d'abord les **atouts de cette conduite** qui semblent motiver sa large diffusion et sa pérennité (75 % des éleveurs), en dépit des incitations à l'adoption de systèmes de production plus intensifs. Les éleveurs disent la pratiquer parce qu'elle nécessite peu d'investissements¹ (12% d'éleveurs), est adaptée aux superficies réduites des pâturages² (29 % d'éleveurs) et permet une gestion optimale des savanes et des animaux.

Cette conduite répond bien aux objectifs de production des éleveurs. Ils diversifient en effet leur activité d'éleveur, soit vers la production d'autres cultures (association agriculture élevage), ou vers une autre activité non agricole (éleveur et artisan, ou commerçant ou fonctionnaire...) et cette diversification est un facteur de sécurisation qui permet de maintenir un revenu global stable et confère aux systèmes de production une autonomie et une capacité de résistance aux fluctuations du marché de production. Mais l'élevage n'en est pas moins rentable, avec des productions de viande estimées à 350-500 kg de poids vif/ha/an (vente et croît du troupeau) dans certaines exploitations. Les bovins interviennent par ailleurs pour la fabrication de fumier et la traction, contribuant ainsi à rentabiliser l'élevage.

En majorité les éleveurs ne trouvaient pas d'**inconvenients majeurs** à cette conduite (53% d'enquêtés) qui résident surtout dans les déplacements individuels et quotidiens, qui peut s'amplifier rapidement avec la taille du troupeau à gérer. Mais les éleveurs limitent ces contraintes en familiarisant très jeunes leurs animaux à l'attache et en sélectionnant les animaux dociles ; il n'est pas rare de voir impliqués les différents membres de la famille aux déplacements du troupeau. Mais il est vrai que certains éleveurs n'ont jamais pratiqué une autre conduite, en l'occurrence la rotation et n'ont donc aucun critère de comparaison.

¹Dans certains cas, seules les chaînes sont achetées, les points d'attache pouvant être des troncs d'arbre ou des rochers, et ce matériel est facile à déplacer. Quand les points d'attache sont des piquets en fer, ils sont déplacés avec l'animal. Le déplacement du troupeau d'une surface à l'autre ou le fractionnement du troupeau à différents endroits, est alors possible sans exigence matérielle particulière.

² L'utilisation temporaire de surfaces inondables (les zones d'arrière mangrove) incultes ou en friche, de terrains annexes disponibles momentanément, est possible. Cela permet de compenser la pénurie fourragère pendant le carême

Tableau A2 - Présentation des classes de structure caractérisées par les moyens de production, la situation familiale et sociale et les modalités de commercialisation (fréquences de réponse par classe)

Fréquences de réponse dans chaque classe (%)				
(Nombre d'individus/classe)	CLASSE 1 (41)	CLASSE 2 (56)	CLASSE 3 (68)	CLASSE 4 (70)
Age de l'enquête (ans)				
17-40	17,0	14,3	39,7*	0,0
40-50	17,0	42,8*	23,5	0,0
50-60	21,9	14,3	25,1	7,1
60-67	29,3	16,0	1,4	35,7*
68-80	7,3	8,9	0,0	57,1*
Moy ± écart-type	54,1±13,7	49,0±12,7	41,3±1,5	68,0±1,5
Nombre de personnes à charge				
0	41,4	30,3	48,5	64,3*
3-9	34,1	44,6*	32,3	10,0
Quelle est votre activité principale				
Pas d'activité (Retraité)	21,9	14,3	2,9	90,1*
Exploitant agricole	36,6	44,6*	33,8	4,3
Ouvrier agricole	9,7	17,8*	4,4	0,0
Employés	9,7	7,1	16,1*	1,4
Autres	17,0	7,1	27,9*	0,0
Quelle est votre source de revenu				
Exploitation agricole	34,1*	25,0	26,4	2,8
Salaire d'ouvrier agricole	2,4	10,7	2,9	0,0
Elevage	14,5	17,8	13,1	10,0
Pensions/allocations	7,3	0,0	1,4	64,3*
Autres	36,6	33,9	48,6*	5,7
Adhérez-vous à un organisme agricole				
GDS	73,1*	60,7	44,1	50
GDS et autres	0	12,5*	2,9	0
Aucun	14,6	25	41,1	41,4
La vente est-elle ?				
Régulière	32,8*	41,8*	11,9	13,4
Irrégulière	11,1	15,5	33,3	40*
Nombre d'animaux vendus/an				
<1	7,3	17,8	30,8*	18,5
2	24,4	33,9*	4,4	8,5
>3	41,4*	23,2	7,3	1,4
Moy ± écart-type	3,9±3,2	2,6±1,1	1,5±0,8	1,5±0,7
Quelle est le but de votre élevage				
Épargne	43,9	46,4	41,1	58,5
Fumier	2,4	3,5	19,1*	15,7
Rôle socio-culturel	19,5*	17,8	4,4	2,8
Traction	7,3	10,7	11,7	5,7
Épargne et élevage productif	4,8	1,8	4,4	1,4
Zone de résidence de l'enquête				
Ouest	19,5	14,5	27,9	30,4
Nord	14,6	29,1	10,3	21,7
Est	51,2*	36,3	27,9	27,5
Marie-Galante	14,6	20	33,8*	20,3

* : les modalités caractéristiques de la classe avec un seuil de $P < 0,05$
 Les fréquences de réponses manquantes ne sont pas indiquées

148

CONCLUSION, IMPLICATIONS - La description par les éleveurs de leurs pratiques, montre qu'elle permet en fait une gestion intensive, souple, raisonnée et économique de l'espace agricole, qui est restreint en milieu insulaire. C'est par ailleurs une gestion bien adaptée à leur système de production.

Après enquêtes sur cette pratique traditionnelle, on peut comprendre pourquoi les campagnes d'intensification menées n'ont pas abouties. Les recommandations dispensées n'étaient pas en adéquation avec les systèmes de production des éleveurs locaux. En effet la conduite en rotation et la mise place de prairies plantées, représentait un coût supplémentaire pour la clôture de parcelles, pour l'irrigation et la fertilisation, que ne pratique que les éleveurs des classes 1 et 2 (Tableau A1), soit 41 % des éleveurs. Par ailleurs ces nouvelles recommandations n'étaient applicables que pour les éleveurs disposant de surfaces suffisantes, or beaucoup d'éleveurs bénéficient de surfaces annexes, leur permettant de dégager un revenu à moindre coût. Cette première étude des systèmes traditionnels guadeloupéens, appelle des études complémentaires pour mieux comprendre le fonctionnement et la dynamique de ces exploitations, et mieux apprécier l'opportunité et l'efficacité des différents types de conduite.

Mais avec les zootechniciens de l'URZ qui m'encadraient en 1992, nous avons opté pour des études axées sur l'alimentation des bovins, ayant une portée plus large, mais en se basant sur ces systèmes traditionnels, pratiquant l'attache. Les enquêtes ont mis en évidence que les éleveurs avaient une conduite raisonnée du pâturage, basée sur leur connaissance intrinsèque et qu'il convenait de se fonder sur leurs acquis pour générer une réelle avancée des recherches en alimentation au pâturage. Il s'agissait dans un premier temps d'évaluer le potentiel de ces systèmes de production, qui semblaient relativement productifs en regard des intrants apportés. Il s'agissait aussi d'identifier les modalités les plus favorables à une bonne alimentation en analysant l'impact de telle ou telle autre modalité, qui détermine en fait des paramètres de gestion classiques : les quantités proposées (longueur de chaîne), l'âge de repousse du fourrage (fréquence de retour)... Ainsi l'étude de ce système traditionnel a constitué une réelle ouverture par rapport aux schémas classiques d'élevage au pâturage, comme le pâturage sur parcelles clôturées, en rotation ou en continu : gestion de petites surfaces, association de l'élevage et des cultures, utilisation des jachères, production de fumier... L'analyse des pratiques des éleveurs nous a en effet conduit à nous intéresser à des modalités de conduite qui à première vue nous semblait aberrantes, comme l'exploitation du fourrage à moins de 28 jours de repousse (chap C), ou l'impact des durées de pâturage (chap D).

Cette pratique présentait par ailleurs de réels atouts pour des investigations méthodologiques (cf chap B) et a permis d'envisager des mesures individuelles de l'alimentation au pâturage, d'abord pour des bovins (facilité à collecter individuellement les fèces), puis pour des petits ruminants. Parallèlement à la mesure de l'ingestion, la caractérisation du fourrage pâturé a été possible, et toujours de façon individuelle.

Tableau B1 - Diverses méthodes de mesure des quantités ingérées au pâturage.

METHODES, PRINCIPES & REFERENCES				
Prélèvements fourragers avant et après pâturage	Woodward, 1936; Frame, 1981; Smit et al, 2005; Maccoon et al, 2003; Meijs, 1981 ;			
Variation de poids vif avant/après, en tenant compte des quantités de fèces et d'urine excrétées et des pertes insensibles de poids	Erizian, 1932 ; Penning and Hoper, 1985			
Comportement alimentaire où l'Ingestion = Taille de bouchée X Fréquence de bouchée X Durée de pâturage (Spedding et al, 1966; Alden et Whitaker, 1970; Hodgson, 1982)	Taille de bouchée	<ul style="list-style-type: none"> • Pesée avant-après d'aniamux • Simulation manuelle • Animaux porteurs de fistules oesophagiennes (Stobbs, 1973, Jones et Lascano, 1992) 		
	Fréquence de bouchée	Observation visuelle (Gordon, 1995; Henley et al, 2001)		
	Durée de pâturage	<ul style="list-style-type: none"> • Observation visuelle (Gordon, 1995; Henley et al, 2001) • App.d'enregistrement automatique (Rutter et al, 1997) 		
L'excrétion fécale (F) et la digestibilité (D) Streeter et al, (1969) ¹	Excrétion fécale	Récolte totale	(Langlands, 1987 ; Galyean et al, 1993 ; Doyle et al, 1994)	
		Marqueurs externes	<ul style="list-style-type: none"> • N-alkanes, marqueurs fécaux (Mayes et al, 1986 ; 1995) • Cr2O3 (Langlands, 1975 ; Mayes et al, 1995) • PEG (Landau et al 2005) 	
	Digestibilité	Analyses chimiques du fourrage	In vitro	Tilley & Terry, 1963)
			In sacco techniques	(Review by Huntington and Givens, 1995; Mould, 2003)
			In situ Techniques	Pepsin cellulase
		Analyse chimique des fèces (Marqueurs fécaux non digestible, dosé dans les fèces)	<ul style="list-style-type: none"> • Azote fécal (Lancaster, 1947 ; Burns et al, 1994 ; Coleman, 2005; Lukas et al, 2005) • Chromogène pigment présent dans les fèces • Silice • Cendres insolubles dans l'acide • Lignine • Fibres indigestibles • N-alkane 	
Mesure physique du fourrage ou des fèces, NIRS	<ul style="list-style-type: none"> • Spectres fourragers (Kitessa et al, 1999) • Spectres fécaux (Coleman et al, 1995, 1999 ; Coates, 2000; Landau et al, 2005 ; Bertrand et al, 2002) 			

¹ Selon Streeter, (1969) les quantités ingérées sont en partie digérées (DI) et en partie excrétées (F). La fraction digérée (D) est le ratio de la quantité qui disparaît dans le tube digestif (I-F) sur la quantité ingérée (I). Pour estimer les quantités ingérées ($I = F/(1-D)$), il convient de déterminer les quantités excrétées (F) et la fraction digérée (D).

B-MESURER L'ALIMENTATION AU PATURAGE POUR MIEUX L'AMELIORER

CONTEXTE - L'amélioration de la ration alimentaire des animaux qui pâturent, passe par une amélioration de la valeur de la prairie, mais surtout de la valeur du fourrage qui est prélevé et ingéré. Il faut donc arriver à apprécier le fourrage qui est prélevé, pour avoir les moyens d'améliorer efficacement la prairie proposée. Cela revient à se demander « Quel fourrage produire, avec quelles propriétés, pour qu'il soit consommé et valorisé au mieux par les ruminants ? »

Cependant mesurer l'alimentation au pâturage est complexe, en raison de la présentation du fourrage sur pied, de l'hétérogénéité naturelle des pâturages et de la consommation disparate du fourrage par les animaux (Revue de Chilbroste et al, 2005). Aussi y a-t-il peu de méthodes actuellement disponibles pour apprécier le régime des ruminants qui pâturent, qui soient à la fois fiables et facile d'utilisation (Revue de Coleman, 2005). La consommation du fourrage au pâturage est donc généralement évaluée par extrapolation, basées sur des mesures réalisées en conditions contrôlées, à l'auge ou à partir des caractéristiques chimiques des fourrages, (Coleman & Moore, 2003) Cependant ces diverses extrapolations peuvent conduire à des erreurs d'estimations importantes, due à la sélection par l'animal (Van Soest, 1996). Pour exemple, de très nombreux articles reportent une valeur de digestibilité moyenne de 0.55 pour des fourrages tropicaux, (Minson, 1990 ; Aumont et al, 1995) permettant en théorie des ingestions faibles et un gain de poids vif limité des animaux, alors qu'on observe classiquement des croissances supérieures à celles attendues (Humphreys, 1991 ; Burns and Sollenberger, 2002).

Pour améliorer l'alimentation au pâturage, diverses variables doivent être estimées : Celles qui renseignent sur ce que consomment les animaux, mais également celles qui décrivent le fourrage proposé.

Pour évaluer ce que consomment les ruminants au pâturage, en quantité et qualité, comme à l'auge, les variables incontournables sont les quantités ingérées et la digestibilité. Elles sont considérées comme les meilleurs indicateurs de la valeur nutritive de l'aliment et les productions attendus de l'animal. De bonnes corrélations ont en effet été obtenues entre le gain de poids vif et l'ingestion de MS digestible (Lippke, 1980 ; Coleman et Moore, 2003, Archimède et al, 2008). Le produit de ces 2 variables, les quantités ingérées digestibles, reflète l'apport réel en aliments, utilisables en nutriments pour couvrir les besoins du métabolisme de base et de production

De nombreuses méthodes de mesure des quantités ingérées et de la digestibilité au pâturage ont été testées, les 1ères basées sur des mesures sur le fourrage prélevé avant et après le pâturage (Tableau B1). Les autres mesures sont basées sur des variations du poids vif, la mesure du comportement alimentaire, les alcanes, les indicateurs fécaux et l'excrétion fécale, ou plus récemment le NIRS (Tableau B1).

La composition chimique de l'ingéré est également importante pour évaluer l'équilibre en azote et énergie des rations, mais elle est encore plus difficile à mesurer. Elle peut être estimée à partir d'un échantillon de fourrage prélevé manuellement, avec des animaux porteurs de canules œsophagiennes au pâturage (Gordon, 1995 ; Henley & al, 2001 ; Jones

Tableau B2 - Estimation des quantités consommées au pâturage par différence entre les quantités mesurées avant et après pâturage.

	<i>Mesure du fourrage Avant/Après pâturage</i>		
Quantités proposées (kg MO)	9.65	13.83	15.93
Quantités refusées (kg MO)	7.76	11.54	13.46
Quantités disparues (kg MO)	1.88	2.28	2.48
Digestibilité in vitro ²	0.56	0.55	0.56
UFL ingérés /jour ³	1.15	1.36	1.52

	<i>Croissance observée</i>		
Poids vif avant pâturage (kg)	198.16	202.66	207.56
GMQ (kg/j) ⁴	583.33	726.19	653.23
Valeur énergétique théorique nécessaire ⁵	4.74	4.67	4.35

Figure B1 - Tracés issus de l'analyse des enregistrements réalisés à l'aide d'appareils automatiques, avec les pics liés à la mastication, (en foncé) ou à la préhension (en clair).

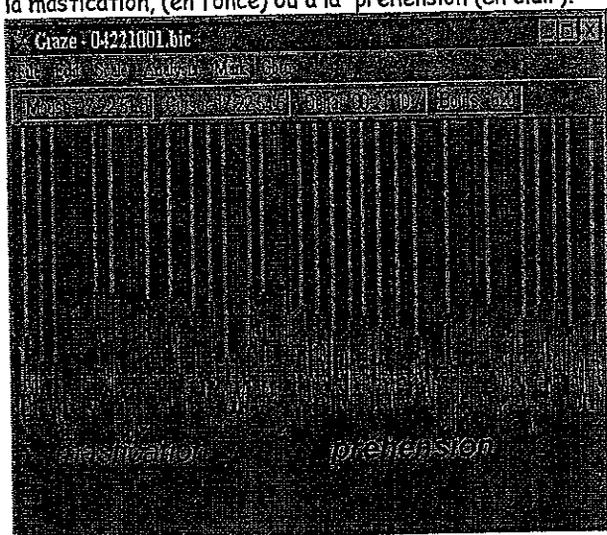
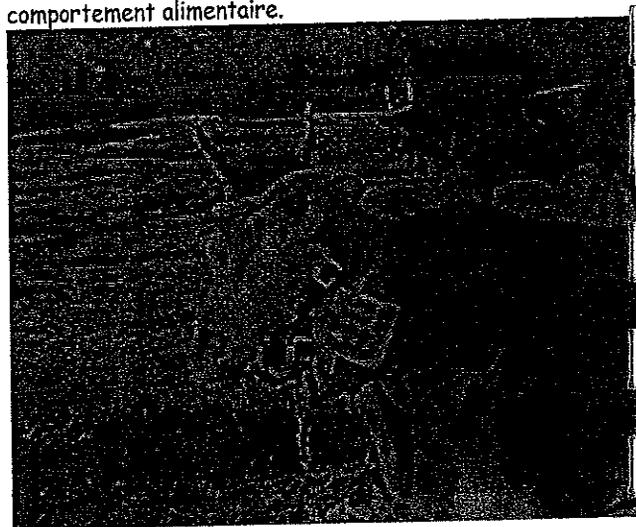


Photo B1 - Génisse Créole au pâturage, à l'attache, équipée d'un appareil automatique d'enregistrement du comportement alimentaire.



² Digestibilité in vitro selon la méthode de Tilley et Terry (1963) : Fourrage broyé mis à incuber 48h avec du jus de rumen frais

³ UFL/j=UFL/kg MO ingérées x Quantités disparues : UFL/kg MO ingéré = 1.55xDigestibilité - 0.255 (R²=0.98 ; ETR=0.009, Aumont et al, 1991 ; Boval et al, 1994) ; Ici la digestibilité considérée, c'est la Digestibilité in vitro.

⁴ Gain Moyen Quotidien

⁵ Valeur énergétique nécessaire : (0.04 + 0.0415 x GMQ^{1.4})*1.2, selon Troccon et al (1987).

and Lascano, 1992) ou par extrapolation, avec des animaux consommant le fourrage de la prairie mais distribué haché à l'auge.

L'évolution du poids vif est aussi une variable importante (Humphreys, 1991 ; Mannelje et al, 1985) et plus facile à mesurer que les variables précitées, mais nécessite un suivi sur un pas de temps relativement important (sur l'année, prenant en compte l'effet saison) par rapport au cycle production-consommation du fourrage (de l'ordre de la journée). Ce pas de temps de mesure limite l'intérêt de ce critère pour évaluer rapidement l'alimentation et pour mieux gérer le pâturage. Cependant l'évolution du poids vif est essentielle et permet de valider sur le long terme les mécanismes impliqués à court terme.

La caractérisation du fourrage proposé sur pied a consisté pendant très longtemps à déterminer la composition chimique du fourrage comme réalisé dans les études à l'auge (Mould, 2003). Les teneurs en Matières azotées totales (MAT) d'une part et les teneurs en fibres ou composants pariétaux (NDF et ADF), sont classiquement mesurées par les méthodes de Kjeldahl (Nelson and Sommers, 1980) et Van Soest et al. (1991) respectivement.

L'étude des caractéristiques physiques liées au comportement alimentaire des ruminants au, date des années 70 avec des études australiennes (Stobbs, 1973, 1975, 1977) et a engendré une nouvelle génération d'études plus descriptives du fourrage proposé. Les mesures au pâturage, comportent généralement l'estimation de la biomasse (production de fourrage par unité de surface), la hauteur du couvert et la composition morphologique (les proportions de feuilles, tiges et débris) et la mesure des organes de plants *in situ* est réalisée manuellement à l'aide d'une règle (Meijs, 1981).

PRINCIPAUX RESULTATS & METHODES DE MESURES TESTEES A L'URZ - Nous avons investi du temps dans l'investigation de méthodes de mesure de l'ingestion et la digestibilité. Parmi les méthodes connues dans la bibliographie (Tableau B1), nous avons testé 3 grands types de méthodes à l'URZ, dont l'un fait appel à 2 autres méthodes d'estimation de la digestibilité. Nous avons également cherché à développer des outils pour mieux caractériser le fourrage proposé sur pied.

MESURE DE L'INGESTION PAR PRELEVEMENT DE FOURRAGE AVANT-APRES PATURAGE

Nous avons tenté d'estimer l'ingestion de bovins conduits à l'attache, par la mesure du fourrage avant et après pâturage, à divers niveaux de proposés (Tableau B2). Si la croissance du fourrage est négligeable entre l'entrée et la sortie des animaux, les quantités disparues peuvent être assimilées aux quantités ingérées. La conduite à l'attache où les animaux pâturent individuellement, une surface donnée de taille réduite et en 24h maximum, nous est apparue la conduite *ad hoc* pour tester cette méthode.

Pour des quantités proposées de 9.7 à 15.9 kg de matière organique (MO) par jour (Tableau B2), nous avons mesuré des quantités disparues de 1.9 à 2.5 kg de MO. La digestibilité *in vitro* a été par ailleurs estimé sur des échantillons de proposé (0.56 en moyenne¹) et a conduit à des quantités ingérées d'UFL de 1.18 à 1.48 UFL/j. Mais les apports

¹ La DIV du fourrage proposée a été de 0.56 en moyenne, proche des valeurs habituellement reportées pour des fourrages tropicaux (Minson, 1990). Le fourrage résiduel a eu pratiquement la même DIV que le fourrage proposé, voire un peu plus, à savoir 0.57.

Tableau B3 - Estimation de l'ingestion à partir de simulations manuelles de la taille des bouchées et d'observations visuelles de la durée de pâturage et de la fréquence des bouchées, pour des chèvres allaitantes, pendant 2 nycthémères (n=605 Simulations).

	Jour 1	Jour 2	Jour 3
Taille de bouchée (mg MS/bouchée)	215	164	161
Fraction de feuille dans la bouchée	0.81	0.71	0.69
Durée de pâturage (min/24h)	510	505	563
Fréquence de bouchées (/min)	32.9	33.6	33.8
Quantités ingérées estimées (kgMS/24h)	3.6	2.8	3.1
Quantités ingérées estimées (gMS/Kg P ^{0.75})	241.45	186.45	207.9

Figure B2 - Evolution de la taille de bouchées (mg OM) avec les quantités ingérées quotidiennes (kg MO) de génisses Créoles au pâturage au pâturage.

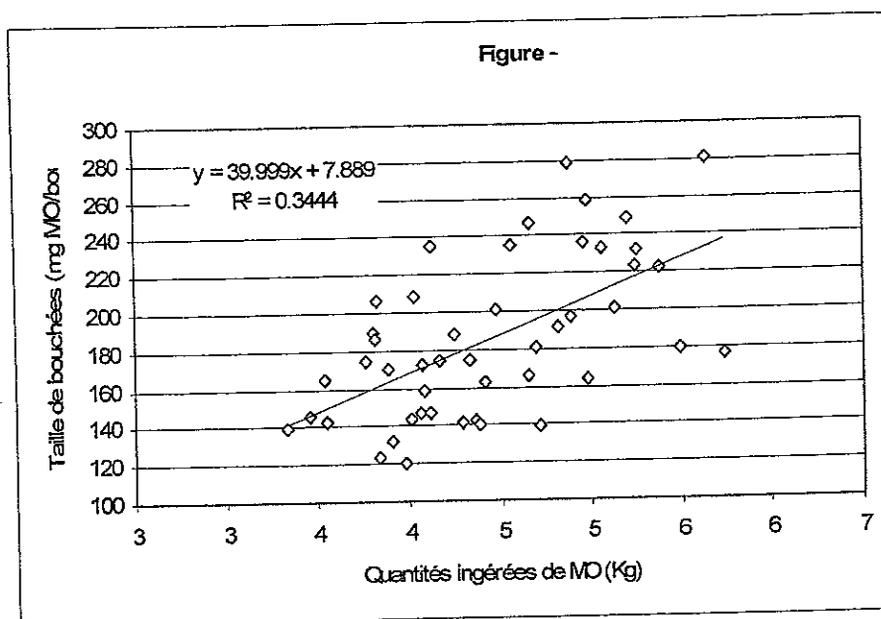


Tableau B4 - Equations de prédiction de l'ingestion de matière organique (MO, gMO/kg P^{0.75}) à partir de variables du comportement alimentaire (taille de bouchée (TB), fréquence de bouchées (FB), profondeur de bouchées (PB), vitesse d'ingestion (VI), durée de pâturage (TP)), pour des génisses Créoles.

	R ²	R.S.D
OM Ingestion = 52.3 + 0.147 TB	0.32	8.18
OM Intake = 32.5 + 5.06 VI	0.65	5.77
OM Intake = 11.3 + 5.15 VI + 0.399 FB	0.70	5.43
OM Intake = -73.84 + 0.301 TB + 1.347 FB + 0.0622 TP	0.75	4.97
OMD = 0.560 + 5.892 10 ⁻⁴ TB	0.40	0.027
OMD = 0.629 + 9.09 10 ⁻³ PB	0.44	0.031
OMD = 0.570 + 0.00493 PB + 4.086 10 ⁻⁴ PB	0.53	0.029

R.S.D: residual standard deviation, ou erreur résiduelle

178

en éner555gie estimée par cette méthode sont largement en deçà des besoins théoriques, représentant 24 à 34 % seulement de ces besoins, pourtant estimés à partir de la croissance des animaux (Tableau B2). Pourtant nous avons apparié les prélèvements avant et après pâturage, pour bien prendre en compte l'hétérogénéité des parcelles. Mais cette méthode sous-estime l'alimentation réelle des animaux.

MESURE DE L'INGESTION VIA LE COMPORTEMENT ALIMENTAIRE

Nous avons testé l'estimation de l'ingestion via des mesures du comportement alimentaire (Tableau B1) pour des génisses à l'attache, leur abord étant grandement facilitée par rapport à des animaux libres. L'ingestion serait la résultante de la durée de pâturage, de la fréquence de prélèvement (ou fréquence de bouchée) et de la quantité prélevée par bouchée selon (Aldden & Whittaker, 1970, Tableau B1).

La mesure de la durée de pâturage a été tout d'abord testée avec des appareils portables d'enregistrement du comportement alimentaire, des vibrographes (Béchet, 1978).² Par la suite des appareils de l'équipe de P.Penning³ à North Wyke, UK (Rutter *et al*, 1997UK) ont été testés à l'URZ (Figure B1) pour mesurer la durée de pâturage mais aussi la fréquence des bouchées. Ces appareils distinguent par ailleurs l'enregistrement des coups de mâchoire liés à la préhension, de ceux liés à la mastication. Ces appareils étaient surtout utilisés sur des périodes courtes de pâturage, et nous avons voulu les tester sur des pas de temps plus longs, de 12 à 24h, afin de prendre en compte les variations du comportement alimentaire.

Néanmoins les enregistrements avec ces 2 types d'appareils nécessitent une calibration avec des enregistrements visuels, pour repérer les différents types de mouvements de mâchoire. Par ailleurs la vérification des branchements plusieurs fois par jour, en particulier au pâturage (Photo B1), ont rendu fastidieux l'usage courant de ces appareils. Après de nombreux essais, tant à l'auge qu'au pâturage, sur ovins et bovins, nous avons préféré à ces appareils, les observations visuelles⁴. Celles-ci demandent une présence importante sur les parcelles, mais la collecte des données est assurée, et à moindre coût financier.

Des observations visuelles de chèvres et de brebis ont ainsi permis des estimations cohérentes de la durée de pâturage par rapport à la bibliographie : 405 et 491 min/24h de pâturage, respectivement pour des chèvres et des brebis (données non publiées). Les fréquences de bouchées estimées simultanément à l'estimation des durées de pâturage, sont également pertinentes par rapport à celles d'autres auteurs : 29 et 33 bouchées/min, respectivement pour des chèvres et des brebis. Il en est de même pour les bovins (Boval *et al*, 1996b, 2002, 2007b).

Pour mesurer la taille de bouchée nous avons tout d'abord testé la simulation manuelle. Cela consiste à observer les animaux qui pâturent et à réaliser simultanément des prises de fourrage avec la main, afin de prélever autant que possible les mêmes organes et en quantité comparable. La quantité ingérée par bouchée, estimée par simulation manuelle pour des

² Ces appareils enregistrent en continu (toutes les 2,5 s), des variations de pression induites par les mouvements de mâchoire, à l'aide d'une poire en caoutchouc maintenue par un licol.

³ Ces appareils enregistrent les distensions d'un licol, transformés en signaux électriques et présentent l'avantage de faire la distinction entre la préhension et la mastication ingestive

⁴ L'observation visuelle consiste à noter toutes les 5, l'activité en cours des animaux observés, au cours de périodes de 24h à 36h. Après une période d'adaptation des animaux aux observateurs, les animaux sont approchés à moins de 3m sans aucun comportement de gêne observé. La fréquence de bouchée est parallèlement estimée par comptage du nombre de bouchées réalisées en 1 mn, pendant l'activité de pâturage.

Photo B2 - Mouton Black-Belly équipé d'un sac en jersey pour la récolte des fèces et d'une cannule oesophagienne, au pâturage, à l'attache.



Figure B3 - Evolution de la digestibilité de la MO, en fonction des teneurs en MAT fécales, estimées avec les équations 1, 2 ou 3 (cf Tab.B5).

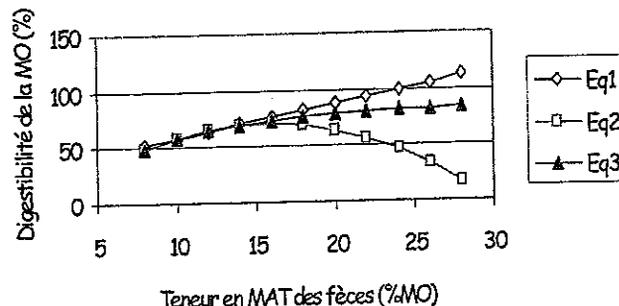


Tableau B5 - Equations de prédiction de la digestibilité de la matière organique (DMO, %) à partir de la teneur en constituants fécaux (% MO), calculées avec 40 mesures moyennes individuelles à l'auge, pour des bovins Créoles.

Modèles	ETR	CV (%)	R ²	ddl	Effet taurillon (P>T)		
					Int	Var.1	Var.2
1) 29,202 + 2,943 MATf	2,43	3,8	0,83	37	0,71	0,79	
2) -21,190 + 11,606 MATf - 0,366 MATf ²	2,53	3,9	0,84	37	0,98	0,99	0,99
3) 98,434 - 400,25/MATf	2,30	3,6	0,84	37	0,54	0,43	
4) 254,213 - 2,471 NDFf	2,68	4,2	0,79	37	0,25	0,27	
5) 173,399 - 2,579 ADFf	3,43	5,4	0,65	37	0,53	0,51	
6) 32,806 + 3,405 MATf - 3,152 NADFF	2,54	3,9	0,84	37	0,94	0,93	0,92

MATf, NDFf, ADFf, NADFF : teneurs (% MO) respectives en matières azotées totales, parois totales, lignocellulose et azote contenu dans l'ADF des fèces ; CV : Coefficient de variation; Int. : seuil de signification de l'effet individu sur l'ordonnée à l'origine; Var 1. et Var.2 : seuils de signification de l'effet taurillon sur la pente du 1er paramètre et du 2nd paramètre de la régression

188

chèvres allaitantes, est élevée en moyenne (1.8 g MS/bouchée Tableau B3). Ces tailles de bouchées, combinées à la durée de pâturage et à la fréquence de bouchée (Tableau B3), conduisent à des estimations des quantités ingérées de 3.16 kg MS/chèvre/jour, soit plus de 200 g MS/kg P^{0.75}, ce qui est anormalement élevé. Par ailleurs, c'est une méthode laborieuse à mettre en œuvre au pâturage.

Il est possible de déterminer la taille de bouchées avec des animaux porteurs de canule à l'œsophage (Tab.B1), ce que j'ai eu l'occasion de tester lors d'un post-doc dans l'équipe de P.Penning, UK (Penning et Boval, 1997). Mais avec cette méthode, les animaux subissent un jeûne préalable de 24h dont l'effet sur la taille de bouchées, la vitesse d'ingestion et la taille des particules dégluties ne s'estompent qu'après 24 heures, interférant alors sur l'estimation de la taille de bouchée. Par ailleurs cette méthode nécessite une récupération totale du contenu des canules et est sensible à la contamination salivaire.

Par la suite, dans nos essais au pâturage, nous avons estimé la taille de bouchées, en divisant l'ingestion journalière par le nombre total de bouchées réalisées (= fréquence de bouchée x durée de pâturage). Nous avons alors obtenu des tailles de bouchées plus cohérentes par rapport à la bibliographie (où la taille de bouchées est généralement estimée sur des temps très courts), de 150 à 300 mg OM/bouchée pour des bovins (Boval et al, 2002, 2007b).

Mais la mesure du comportement alimentaire permet-il réellement d'apprécier l'ingestion ? Au cours de différents essais conduits au pâturage, nous avons estimé par la durée de pâturage et la fréquence de bouchée (par observation visuelle) ainsi que la taille de bouchées⁵. Nous avons ainsi analysé les relations entre l'ingestion et les variables du comportement alimentaire, selon l'hypothèse d'Allden et Whittaker (1970). Les corrélations entre l'ingestion, la durée de pâturage ou la fréquence de bouchées ne sont pas significatives (Boval et al, 2007a). Seule la taille de bouchée est corrélée à l'ingestion ($r=0.59$, $P<0.001$, Figure B2), sans pour autant permettre une prédiction fiable (Tableau B4). Nous attendions des corrélations plus fortes entre taille de bouchée et ingestion, ayant estimé la taille de bouchée à partir de l'ingestion journalière. L'ingestion est mieux prédite, quand tous les paramètres du comportement alimentaire sont associés ($R^2=0.75$). Dans beaucoup d'études en effet la taille de bouchée est généralement estimée sur de courtes périodes et les auteurs extrapolent souvent les valeurs d'ingestion à partir des seules estimations de la taille de bouchée. Mais aucune étude à notre connaissance a vérifié la validité de la relation entre taille de bouchée et ingestion au pâturage.

Ainsi si le comportement alimentaire peut être utile pour mesurer l'ingestion au pâturage, il faut vraisemblablement mesurer plusieurs paramètres du comportement alimentaire pour approcher l'ingestion et non se contenter de l'estimation d'un ou deux paramètres du comportement. Mais ces résultats sont à vérifier dans d'autres situations de pâturage, mais à condition de réaliser en parallèle des mesures de comportement, une mesure fiable de l'ingestion. Quoiqu'il en soit, c'est de toute façon une méthode laborieuse, avec 3 variables à estimer, dont le produit contribue à multiplier les sources d'erreur.

En revanche l'étude du comportement alimentaire revêt toute son importance pour comprendre les stratégies alimentaires des ruminants au pâturage, apportant des éléments de compréhension des différences d'ingestion. La combinaison de mesures du comportement

⁵ La taille de bouchée est estimée en divisant l'ingestion totale par le nombre total de bouchée. Celui-ci est en fait le produit de la fréquence de bouchée (nombre de bouchées/mn) par la durée de pâturage.

Tableau B6- Equations de prédiction de la digestibilité, à partir de la teneur en azote des fèces (CPf), pour des boucs Créole et des béliers Black Belly, alimentés avec du *Digitaria decumbens*.

Predictive models	r.s.d	R ²
Creole bucks (d.f.=39)		
1/ 0.816 (±0.065) - 19.864 (± 6.987) /CPf	0.0265	0.79
2/ 0.475 (± 0.061) + 0.143 (±0.054) CPf	0.0269	0.79
3/ 0.672 (±0.225) - 13.477 (±12.765) /CPf + 0.119 (±0.151) CPh	0.0243	0.86
Black-belly rams (d.f.=39)		
1/ 0.866 (±0.073) - 26.623 (±8.371) /CPf	0.0295	0.74
2/ 0.441 (±0.072) + 0.164 (±0.059) CPf	0.033	0.68
3/ 0.532 (±0.185) - 11.140 (±10.740) /CPf + 0.258 (±0.132) CPh	0.0235	0.87

r.s.d : residual standard deviation.

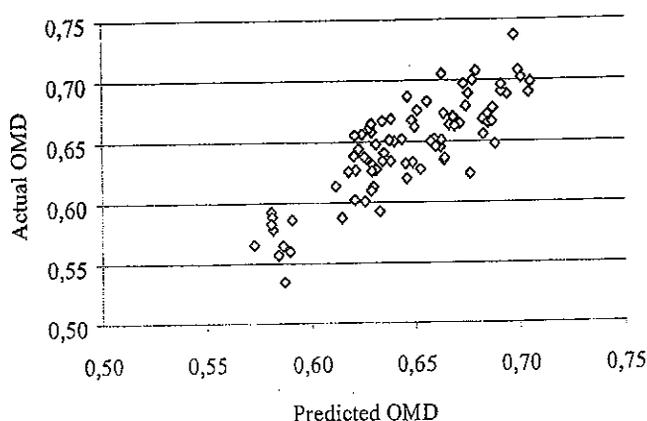
CPh : teneur en azote du fourrage

Table B7 - Valeurs moyennes et paramètres de calibration-validation obtenus à partir de spectres fécaux, pour la composition chimique des fèces (MMf, MATf, NDFf et ADFf), du fourrage ingéré (MATi, NDFi, ADFi), de la digestibilité de la matière organique (OMD) et des quantités ingérées de matière organique (OMI), pour des taurillons Créoles alimentés avec *Digitaria decumbens* et *Dichanthium spp.*

	N	Moyenne	e.c	Min-Max	Calibration		Validation	
					SEC	R ²	SECV	R ² _{cv}
MMf	84	22.46	4.22	9.81-35-11	0.398	0.991	0.611	0.979
MATf	84	11.32	1.47	6.92-15.72	0.162	0.988	0.229	0.975
NDFf	86	74.53	3.03	65.44-83.62	0.625	0.957	0.868	0.917
ADff	83	40.16	2.50	32.65-47.66	0.708	0.919	0.902	0.868
MATi	86	10.51	2.26	3.73-17.29	0.331	0.978	0.503	0.950
NDFi	87	75.45	2.73	67.27-83.63	0.959	0.876	1.219	0.800
ADFi	86	39.58	2.47	32.16-47.00	0.813	0.892	0.982	0.844
OMD	87	0.645	0.039	0.53-0.76	0.021	0.723	0.022	0.694
OMI (g/kg W ^{0.75})	87	76.41	6.26	57.62-95.19	4.617	0.606	5.291	0.515

MM : matières minérales ; MAT:matières azotées ; NDF et ADF : Neutra land Acid Detergent Fibre

Figure B4 - Evolution de la digestibilité de la matière organique (OMD) mesurée (en ordonnée) en fonction de OMD prédite à partir des spectres fécaux.



alimentaire et de mesures de l'ingestion, contribue à une bonne compréhension des mécanismes de préhension au pâturage.

MESURE DE L'INGESTION PAR LA DETERMINATION DE L'EXCRETION FECALE ET LA DIGESTIBILITE

Selon le principe de Streeter (1969, Tableau B1). Les quantités ingérées peuvent être calculées à partir de l'excrétion fécale et la digestibilité.

L'EXCRETION FECALE est mesurée à l'URZ par collecte totale et individuelle des fèces, sur plusieurs jours.

- Dans le cas des bovins, à l'attache, les fèces sont directement collectées manuellement au pâturage. Là encore l'attache et les surfaces individuelles, facilitent le repérage des bouses. Nous obtenons un coefficient de variation résiduel inférieur (8%, Boval et al 1996a) à celui rapporté dans d'autres travaux, où l'excrétion fécale est estimée (et non mesurée) à partir de marqueurs. Dans nos conditions, le taux de MS élevé des bouses, facilite la collecte manuelle et la fraction de fèces non récoltable a été estimée à 2 % (Boval et al 1996a).

- Dans le cas des petits ruminants, les fèces sont collectées à l'aide de sacs fixés et vidés 2 fois par jour. Au préalable des sacs fixés avec des sangles et des fermetures éclairs, pour le vidage, ont été essayées, mais causaient des plaies importantes aux animaux. Actuellement des sacs en jersey de coton sont directement collés et permettent de séparer aisément les fèces de l'urine qui s'écoule directement par les mailles. Ces sacs se sont avérés être très efficaces dans de nombreuses expérimentations, y compris avec des jeunes animaux (Photo B2), et sont même couramment utilisés à l'auge également.

LA DIGESTIBILITE est mesurée selon deux méthodes testées à l'URZ

Les indicateurs fécaux, la teneur en matières azotées (MAT) des fèces, mais aussi les teneurs en fibres (NDF et ADF) en lignine (ADL), ainsi que l'azote contenu dans le NDF (NADF).

- Ainsi pour des bovins, la teneur en MAT des fèces a été l'indicateur le plus précis de la digestibilité, parmi tous les composés testés (Tableau B5, Boval et al, 1996a). Nous avons mis en évidence une relation du type $a-b/MAT$ qui reflète bien la relation physiologique qu'avait énoncé Lancaster (1949), entre la teneur en MAT des fèces et la digestibilité. Ce modèle résulte de l'hypothèse que la quantité de MAT excrétée est constante pour 100g de MO ingérée. Un tel modèle permet ainsi de prédire la digestibilité à partir des teneurs en MAT des fèces, dans une gamme de variation plus large que celle dans laquelle il a été établi (Figure B3). Des modèles similaires ont depuis été publiés par des équipes allemandes (Lucas et al, 2005 ; Schlecht and Susenbeth, 2006). L'addition d'autres critères à la MAT fécale, notamment le NADF n'a pas permis d'améliorer la précision de la prédiction.

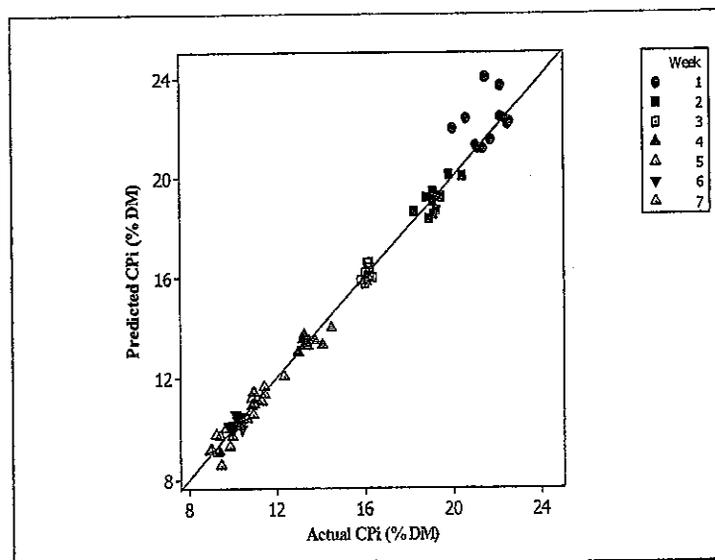
- Pour des caprins et des ovins, les mêmes indicateurs que pour les bovins ont été testés (Boval et al, 2003). L'estimation de la digestibilité à partir de la teneur en MAT des fèces a également été la plus précise, pour les béliers et pour les boucs (Tableau B6) et comme pour les bovins, c'est avec un modèle de type $a-b/MAT$ que l'erreur résiduelle est la

Tableau B8 - Valeurs moyennes et paramètres de calibration-validation obtenus à partir de spectres fécaux, pour la composition chimique du fourrage ingéré (CPI, NDFi, ADFi), de la digestibilité de la matière organique (OMD) et des quantités ingérées de matière organique (OMI), pour des béliers Martinik, alimentés avec *Digitaria decumbens*.

Variables	n	Mean	SD	Calibration		Validation	
				SEC	R ²	SECV	R ² cv
MATi (%)	84	14,2	4,22	0,33	0,99	0,61	0,98
ADFi (%)	84	35,9	2,58	0,59	0,95	0,78	0,91
NDFi (%)	84	72,7	2,20	1,54	0,51	1,64	0,45
ADLi (%)	84	4,6	0,72	0,24	0,88	0,34	0,77
DMO (%)	84	68,8	4,12	1,78	0,81	2,02	0,77
MOI (g/PV ^{0,75})	84	56,5	13,81	6,64	0,77	11,04	0,45

MM : matières minérales ; MAT:matières azotées ; NDF et ADF : Neutra land Acid Detergent Fibre

Figure B5 - Evolution de la teneur en MAT du fourrage ingéré prédite (Predicted CPI) via les spectres fécaux, en fonction de la teneur mesurée à l'auge (Actual CPI) pour des béliers alimentés avec *Digitaria decumbens*



206

plus faible. Comme pour les bovins, l'addition d'autres variables à la MAT, n'améliore pas la prédiction.

Ainsi la combinaison de la MAT fécale comme indicateur de la digestibilité, et de mesures de l'excrétion fécale, a permis des estimations individuelles de l'ingestion, cohérente avec les besoins des animaux pour la croissance qu'ils ont réalisée au pâturage, pour des bovins (Boval, et al, 1996b, 2000, 2002, 2007b) et pour des petits ruminants, (Ortega et al, 2005a, 2005b). Dans nos équations de prédiction, la valeur de b du modèle $a-b/MAT$ est proche d'estimations de la quantité d'azote endogène reportée par d'autres auteurs pour des boucs et pour des béliers⁶. Cela tend à valider l'hypothèse de Lancaster. Si tel est le cas, la détermination directe de la teneur en azote endogène reportée dans les fèces, permettrait de prédire directement la digestibilité au pâturage, sans passer par la mise au point d'équations avec des essais de digestibilité à l'auge. Des analyses sont en cours pour vérifier cette hypothèse.

La spectrométrie en Infra Rouge (SPIR) ⁷ a également été utilisée, pour estimer la digestibilité, mais aussi la composition chimique de l'ingéré, et l'ingestion directement. C'est une méthode rapide (3h pour une analyse labo vs 1min avec la SPIR), reproductible qui limite l'utilisation de réactifs toxiques. Par ailleurs, de nombreuses analyses du même échantillon peuvent être réalisées sans coût additionnel, pour peu que le spectromètre soit correctement étalonné. L'obtention d'échantillons fécaux est plus facile et nous avons donc testé la possibilité de prédire à partir des spectres fécaux un certain nombre des paramètres nutritionnels de bovins et d'ovins au pâturage.

- Pour des bovins alimentés à l'auge avec du fourrage vert (*Dichanthium spp.* ou *Digitaria decumbens*), nous obtenons une bonne prédiction de la digestibilité de la ration à partir des spectres des fèces (Tableau B7), ainsi que de la composition chimique du fourrage ingéré : la teneur en MAT du fourrage ingéré (MATi) et la teneur en parois de l'ingéré (NDFi et ADFi). La prédiction de l'ingestion est moins satisfaisante que pour la digestibilité (Figure B4), mais le SEC est néanmoins acceptable, étant inférieur à la variabilité interindividuelle connue dans la littérature (6 à 11, Boval et al, 2004).

- Pour des ovins, alimentés à l'auge avec *Digitaria decumbens*, les prédictions de la digestibilité et de la composition chimique du fourrage consommé, notamment la teneur en MAT du fourrage réellement consommé (MATi, Tableau B8, Figure B5) sont également satisfaisante (Fanchone et al, 2007) comme pour les bovins. Par ailleurs dans cette étude nous avons pu prédire la teneur en lignine du fourrage ingéré (ADLi), avec une précision intéressante de 5% (ratio de SEC/Moy) vus la difficulté à estimer la teneur en lignine par des méthodes classiques de laboratoire, et l'intérêt de ce paramètre pour comprendre les

⁶Dans nos modèles, la valeur de b est de 19.86 et 26.62 respectivement pour des boucs et des béliers, et est proche d'estimations de la quantité d'azote endogène reportée pour des boucs (13.75 à 25.63, Majumdar, 1960) et pour des béliers (22 à 23 g/kg OMI Bruchem et al, 1997 ; Krawietlitzki et al, 1999).

⁷ La spectroscopie étudie l'interaction de la lumière avec la matière, c'est à dire les spectres lumineux ou spectres des rayonnements électromagnétiques émis ou absorbés par une substance (Bertrand, 2002). Les groupements chimiques de la forme X-H (X comme atomes de carbone, d'oxygène ou d'azote) présentent une absorption dans la région du Proche Infra Rouge (800 à 2500 nm). L'absorption de l'énergie d'un rayon lumineux incident ne peut avoir lieu que lorsque la fréquence de la lumière est identique à la fréquence propre de la liaison intermoléculaire. Seules les liaisons qui présentent un moment électrique dipolaire sont actives dans l'infra-rouge (Bertrand, 2002).

Tableau B9 - Equations de prédiction de la digestibilité (OMD) établies à partir de la MAT des fèces (MATf, Eq Eq1_{CP} et Eq2_{CP}) ou de la SPIR fécale (Eq1_{NIRS} et Eq2_{NIRS}).

Item	n	Equation	Residual SD	r ²
Eq1 _{CP} ¹	40	OMD = 86.6 (±7.3) - 266.2 (±83.1) / MATf	2.95	0.79
Eq2 _{CP} ²	174	OMD = 88.4 (±4.72) - 263.9 (±64.4) / MATf	2.92	0.63

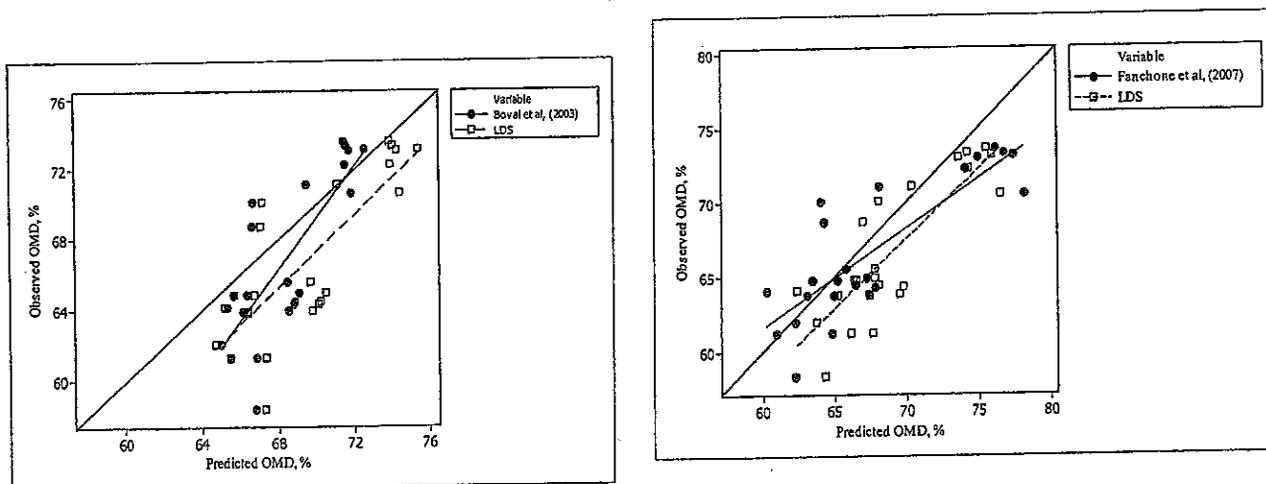
Item	n	Mean	SD	SEC ³	R ²	SECV ⁴	R ² cv ⁵
Eq1 _{NIRS} ³	84	68.8	4.12	1.78	0.81	2.02	0.77
Eq2 _{NIRS} ²	174	67.0	4.48	1.48	0.89	1.75	0.85

¹Eq1_{CP} : équation de Boval et al (2003)

²Eq2_{CP} et Eq2_{NIRS} : Equations dérivées d'une large base de données (LDS=174)

³Eq1_{NIRS} : équation de Fanchone et al, 2007

Figure B6 - a - Valeurs observées et prédites de la digestibilité (OMD) en fonction de la teneur en MAT des fèces, d'après l'équation de Boval et al. (2003) ou d'après une équation établie sur un large set de données (LDS=174) - **b**- Valeurs observées et prédites de la digestibilité (OMD) par la SPIR, d'après l'équation de Fanchone et al (2007) ou d'après une calibration réalisée sur un large set de données (LDS=174),



21B

processus digestifs⁸. La lignine masque en effet la dégradation d'autres composants des membranes, tout en n'étant pas dégradé par les micro-organismes du rumen.

La SPIR fécale est réellement prometteuse pour l'avenir de la recherche sur l'alimentation au pâturage des ruminants. Ainsi à partir des mêmes échantillons fécaux, l'évaluation synchrone de la digestibilité et de la composition chimique du régime, voire de l'ingestion est réalisable, en des temps nettement réduits par rapport aux analyses classiques en laboratoire. L'approche individuelle de l'alimentation est par ailleurs envisageable pour des animaux conduits librement, en prélevant par voie rectale des échantillons fécaux.

Cependant les équations disponibles actuellement doivent être confortées, pour une utilisation courante au pâturage. La validation des prédictions dans des essais au pâturage a néanmoins démarré (Boval et al, 2008) et sera répétée régulièrement avec les équations recalculées après incrémentation avec des données nouvelles.

Comparaison de l'N fécal et de la SPIR pour estimer la digestibilité

Ces deux méthodes d'estimation de la digestibilité présente en fait chacune leurs avantages et ont été validés simultanément sur un set de données indépendant dans le cadre de la thèse d'A.Fanchone (Fanchone et al 2008). Par ailleurs pour les 2 méthodes, des calibrations sur des sets restreints (n=40 ou n=84) et plus larges (n=174, Tableau B9) ont été réalisées et comparées.

Les deux méthodes donnent des estimations précises de la digestibilité (Figure B6). Cette précision est améliorée dans le cas de la SPIR, quand le set de données de calibration passe de 84 à 174 données. En revanche pour l'N fécal, la précision est comparable quelque soit le set de données (Tableau B9). De la comparaison des 4 estimations réalisées, c'est la SPIR qui conduit à des estimations plus proches des valeurs mesurées (Figure B6). Mais l'azote fécal reste un outil intéressant, pour estimer la digestibilité au pâturage, permettant des prédictions relativement fiables de la digestibilité, à partir de petits sets de donnée. Le modèle testé de type a-b/MAT permet en effet de prédire dans des gammes plus larges que celle dans laquelle l'équation a été établie (Boval et al, 2003 ; Fanchone et al, 2008).

METHODES DE CARACTERISATION DU FOURRAGE PATURE

A l'URZ, outre les compositions chimique déterminées classiquement par notre laboratoire d'analyses, nous mesurons également des plants *in situ* dans la prairie, donnant une description sur pied du fourrage (nombre et longueurs des feuilles, des tiges...). D'autres variables comme la densité du couvert ou l'indice foliaire⁹, davantage employées par des agronomes, sont également mesurées dans certains essais. Parmi les mesures réalisées la composition morphologique (fractions de feuilles, tiges et débris) déterminante pour apprécier le comportement sélectif au pâturage, est la plus chronophage (± 90 mn pour 100 g de fourrage frais/personne). Nous avons donc testé deux méthodes pour faciliter la détermination de ce paramètre.

⁸ La lignine masque en effet la dégradation d'autres composants des membranes, tout en n'étant pas dégradé par les micro-organismes du rumen.

⁹ L'indice foliaire est la surface foliaire (des feuilles) projetée par unité de surface au sol. Ce nombre est donc exprimé en m² de feuilles par m² de sol. L'indice foliaire varie typiquement entre 3 pour des peuplements peu denses à 8 pour des peuplements très fermés.

Figure B7 - Teneur en feuilles (%MS) dans la biomasse totale collectée au pâturage, prédites via des spectres fourragers, en fonction de valeurs mesurées (tri manuel) sur des parcelles à *Dichanthium spp.*

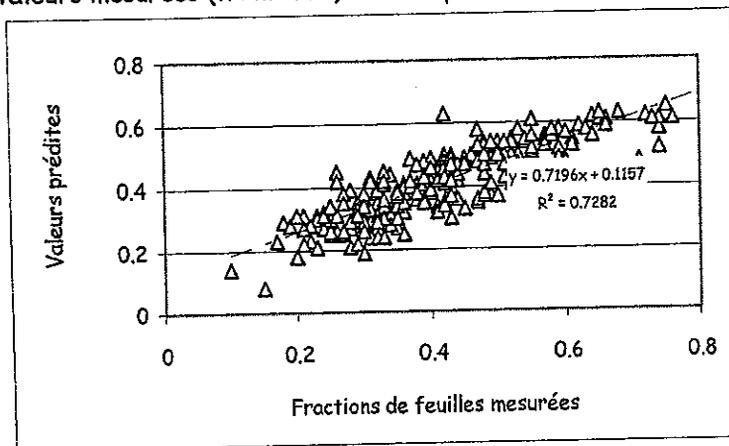
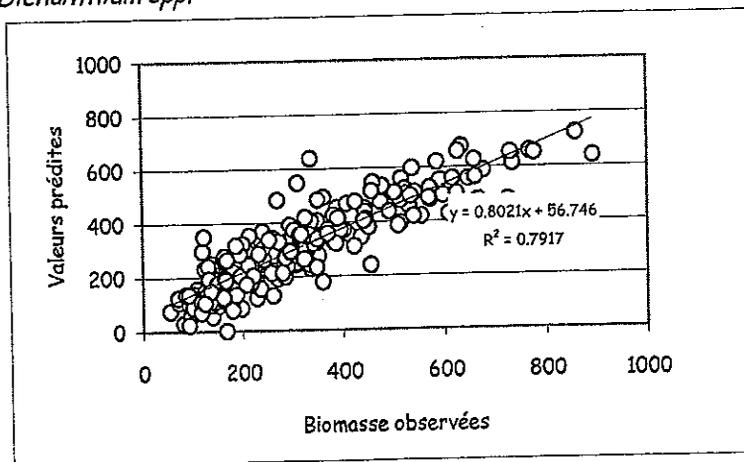


Figure B8 - Biomasses (gMS/m²) prédites via des spectres fourragers (séchés, broyés) en fonction des biomasses mesurées, sur des parcelles à *Dichanthium spp.*



Une « Colonne densimétrique » a été utilisée pour estimer la composition morphologique de brins de fourrages, par différence de densité. La densité linéique (gMS/cm) des tiges est en effet de 2 à 4 fois supérieure à la densité linéique des feuilles.

Des échantillons de *Dichanthium spp.*, et de *Digitaria d.* ont été coupés en brins de 1 cm, et ont été passés à travers une colonne densitométrique (S.R.C dans la Sarthe). Le tri par la colonne de 14 échantillons de *Dichanthium spp* et de *Digitaria decumbens* a conduit à des fractions (F1 à F4) significativement corrélées avec les fractions mesurées par le tri manuel ($0,5 < r < 0,70$, $P < 0,001$). Cependant il nous fallait adapter une colonne conçue pour des grains de céréales, pour une utilisation pour des échantillons de fourrage ayant des densités très faibles par rapport à des grains de céréales. Par ailleurs il fallait concevoir un outil pour l'automatisation de la coupe des brins. Nous avons arrêté ces investigations et testé la SPIR, qui permettait des utilisations plus diverses.

La spectrométrie en Infra-Rouge (SPIR) sur des échantillons fourragers est classiquement utilisée pour déterminer des critères chimiques. Nous avons testé cette méthode pour apprécier les fractions de feuilles, tiges et débris. Des spectres d'échantillons de *Dichanthium spp.* ont été mesurés à Libramont, pour lesquels nous avons mesuré à l'URZ, les proportions de feuilles, tiges et débris (par tri manuel) mais également la DIV, les teneurs en matières minérales (MM), MAT, NDF et ADF.

Les équations de calibration de la proportion d'organes, à partir des spectres des échantillons de fourrages (Figure B7) sont encore perfectibles, mais les 1ères relations entre valeurs observées et prédites sont prometteuses. Nous obtenons par ailleurs de bonnes prédictions de la composition chimique (MM, MAT, NDF et ADF) et de la DIV. La prédiction de la biomasse produite à partir de spectres fourragers, même mesurés sur des échantillons secs et broyés est également satisfaisante (Figure B8). Nous poursuivons les investigations pour développer cette application de la SPIR.

BILAN & PERSPECTIVES

Suite aux divers travaux méthodologiques conduits entre 93 et 2002, il est possible d'évaluer un certain nombre de paramètres dans les essais d'alimentation conduits au pâturage à l'URZ.

Les quantités ingérées et la digestibilité, les indicateurs essentiels de la valeur nutritive du fourrage pâturé, peuvent être estimés à partir de l'excrétion fécale (collecte totale), combinée à la digestibilité estimée soit par la teneur en azote fécal, soit par les spectres IR fécaux. La composition chimique du fourrage ingéré peut en outre être estimée via les spectres IR. Néanmoins pour être efficace dans toutes les situations, les calibrations SPIR doivent se faire sur des bases de données importantes. L'incrémentation des bases de données disponibles est donc une étape préalable essentielle que nous mettons en œuvre via des collaborations avec d'autres équipes. Mais l'azote fécal reste un outil intéressant, à utiliser dans certaines situations, même si cette méthode ne permet pas de prédire autant de variables que la SPIR. Les équations *via* la MAT fécal, calculées sur des sets de données, restreints ($n=40$), sont en effet précises, contrairement à la SPIR qui nécessite des sets de

données plus importants. Cette méthode sera d'autant plus intéressante si on arrive à déterminer la relation entre digestibilité et N endogène.

En revanche, la mesure du comportement alimentaire reste laborieuse, l'utilisation des appareils automatiques ne s'étant pas avérés très efficaces. J'envisage peu de développements méthodologiques pour la mesure de ces variables comportementales. Les observations visuelles bien que chronophages, donnent des estimations satisfaisantes et à moindre coût financier.

La caractérisation du fourrage produit sur pied est en revanche en bonne voie d'être allégée, notamment via la SPIR qui appliquée cette fois à des échantillons fourragers semblent permettre la prédiction simultanée de nombreux caractères (biomasse, fractions de feuilles, tiges...en plus de la composition chimique). Les bases de données de calibration sont en cours d'incrémentation. Parallèlement d'autres méthodes sont testées actuellement, en collaboration avec l'Unité Agro-Pédo-Climatique du CRAG, à savoir l'utilisation de ceptomètre, mesurant le rayonnement incident, qui est bien corrélée à l'indice foliaire et vraisemblablement à la biomasse de feuilles ; le modèle STICS (Brisson et al, 2004) qui adapté aux prairies tropicales, devrait aider à mieux estimer les biomasses.

C-AMÉLIORER L'ALIMENTATION PAR LA GESTION DU FOURRAGE

CONTEXTE - Pour améliorer les fourrages proposés aux ruminants, la démarche classique de nombreux organismes de recherche a été de sélectionner différentes espèces fourragères, sur la base de leur productivité et de leur composition chimique mais aussi de part leur faculté d'adaptation à divers milieux (Hacker, 1981 ; Bray and Hutton, 1985 ; Williams et al, 1985). Cette démarche est encore d'actualité (Lowe et al, 2007), même si le nombre de programmes de sélection décline (Taylor, 2008).

Les espèces retenues jugées les plus productives et de bonne valeur nutritive, sur la base de la digestibilité *in vitro* de Tilley and Terry (1963 ; Williams et al, 1985) ont ensuite été recommandées aux éleveurs, et ont constituées la base des prairies artificielles. L'utilisation intensive des fourrages a alors été une des voies majeurs pour accroître la production animale en zone tropicale, en Amérique latine (CIAT, 1985 ; Osuji, 1987) en Asie et en Australie (Kochapakdee et al, 1994 ; Humpreys, 1991 ; Corbett, 2001).

Aux Antilles comme ailleurs, les fourrages cultivés de l'ensemble de la zone Caraïbe et de la Réunion (produits en conditions non limitatives, irrigués et fertilisés) ont été étudiés et comparés sur la base de leur composition chimique (Stehle, 1951 ; Salette, 1970). Des tables de valeur alimentaire ont été réalisées permettant le choix de tel ou tel fourrage sur la base de leur composition chimique, leur valeur énergétique et d'encombrement (Xandé, 1985 ; Aumont et al, 1995 ; Salas et al, 1992).

PRINCIPAUX RESULTATS - Plutôt que de comparer entre elles diverses espèces fourragères, nous avons surtout cherché à étudier des modèles fourragers, ayant des ports bien discriminés, étant soit indigène ou importée, afin de rechercher les mieux adaptées au pâturage. Dans un 1^{er} temps, nous avons comparé ces modèles fourragers sur la base de critères relativement généraux (la productivité, les caractéristiques chimiques) mais aussi sur la base d'indicateurs liés aux animaux pâturant ces fourrages (le gain de poids ou le comportement alimentaire). Dans un 2^d temps, disposant d'outils de mesure de l'alimentation au pâturage, nous avons mené des comparaisons sur des critères davantage liés à l'alimentation, en mesurant les quantités ingérées et la digestibilité.

Par la suite il a de plus en plus été question d'étudier le potentiel d'une même espèce fourragère, conduites selon diverses modalités.

COMPARAISON DE MODELES FOURRAGERS

Une comparaison entre *Cynodon plectostachius* et *Digitaria decumbens* a ainsi été réalisée sur la base de leur productivité et leur composition morphologique, ainsi que sur les performances de croissance de brebis allaitantes, afin de choisir le fourrage le plus approprié pour le pâturage (Boval et al, 1993).

*Cynodon plectostachius*¹ présente des stolons rampants alors que *Digitaria decumbens*², a un port semi-dressé Les parcelles des 2 fourrages (fertilisées et irriguées) étaient pâturées

¹ *Cynodon plectostachius* est une graminée pérenne très productive, à stolons rampants (pouvant atteindre 4m) et implantation rapide.

en rotation (en 7 j, à 24.5 j de repousse) par deux troupeaux de 64 brebis allaitantes (± 40 kg de poids vif). La biomasse totale, mais aussi celles de feuilles et de tiges ont été plus importantes sur les parcelles à *Cynodon* (+ 50 %, Tableau C1). En revanche, la proportion de feuilles par rapport aux tiges, a été plus faible avec *Cynodon* qu'avec *Digitaria*. (0.26 vs 0.34, Tableau C1).

Pour les 2 espèces, les durées de pâturage des brebis ont été comparables (Tableau C1), mais les fréquences de bouchées ont été moindres sur les parcelles à *Cynodon*, relativement aux parcelles à *Digitaria*. Dans le même temps, toujours sur les parcelles à *Cynodon*, les croissances des agneaux jusqu'au sevrage, ont été plus faibles (-21 %, $P < 0.001$) et leur mortalité plus élevée (+12 %), relativement aux parcelles à *Digitaria*. Les productions annuelles d'agneaux sevrés/ha ont confirmé cette tendance avec un gain 1.5 fois plus important sur *Digitaria* que sur *Cynodon* (1180 vs 773 kg PV/ha/an).

Même si les biomasses produites par *Cynodon* ont été plus importantes, les brebis ont dû en consommer qu'une partie, et les parcelles de *Digitaria* étant proportionnellement plus feuillues, elles ont vraisemblablement permis une ingestion de meilleure qualité, et donc de meilleures croissances des agneaux. Il aurait été intéressant de tester une autre gestion de *Cynodon plectostachius*, l'exploitation à 24 j n'étant sans doute pas appropriée ; il aurait aussi fallu tester si ce fourrage ne serait pas davantage approprié pour des bovins.

Une autre comparaison a été réalisée entre *Digitaria decumbens* et *Dichanthium*³ spp. (espèce dominante dans les savanes naturelles), sur la base cette fois de critères alimentaires, pour des brebis et pour des chèvres à l'entretien (via la méthode des index fécaux, cf Chap B). Les parcelles des 2 fourrages (fertilisées et irriguées) étaient pâturées cette fois par des animaux conduits à l'attache. L'écart de biomasse entre les 2 fourrages a été moindre que précédemment, avec un avantage pour le *Dichanthium* (+ 7.3 %) et surtout les proportions de feuille pour *Digitaria* et *Dichanthium* ont été nettement supérieures à l'étude précédente (Tableau C2).

- Pour les brebis, la digestibilité mesurée sur les parcelles à *Digitaria* a été supérieure de 1.8 point, alors que l'ingestion a été 20 % plus faible par rapport aux parcelles à *Dichanthium*. Les quantités de matière organique ingérées et digérées (MODI) résultantes ont ainsi été supérieures de 22 % pour *Dichanthium* par rapport à *Digitaria*. (Tableau C2).

- Pour les chèvres, les mêmes tendances qu'avec les brebis ont été observées, mais avec des écarts entre espèces beaucoup plus ténus : une digestibilité équivalente pour les 2 fourrages et une ingestion plus faible pour *Digitaria*, relativement à *Dichanthium*. Les MODI n'ont pas été significativement différentes d'un fourrage à l'autre.

Dans cette dernière étude, *Dichanthium* spp a été donc mieux valorisée que *Digitaria* (sur la base de la MODI) à mêmes niveaux d'intrants. Ce résultat divergeait des connaissances engrangées quand au *Digitaria*, espèce ayant été sélectionnée et largement recommandée pour l'alimentation, alors que *Dichanthium*, graminée spontanée et sans doute mieux adaptée, ne bénéficiait pas d'autant de crédit.

² *Digitaria decumbens*, également stolonifère et pérenne, a quand à elle un port semi-dressé et des tiges pouvant atteindre 1m.

³ Le *Dichanthium* est une graminée à touffe, pouvant atteindre une hauteur maximum de 1m, présentant des thalles ou des stolons selon le milieu et le stade de développement de la plante. Chaque noeud présente des feuilles distribuées le long des tiges. Les tiges et les feuilles sont produites comme des organes aériens. Les tiges sont minces et les feuilles mesurent de 3-8 cm (Bogdan, 1977; Cruz and Boval, 2000).

Tableau C3 - Valeurs d'ingestion, de digestibilité de la MO et données du comportement alimentaire, pour des génisses au pâturage sur des parcelles à *Dichanthium spp.*

	14 jours	28 jours	S.E.D
Ingestion de MO (g/kg PV ^{0.75})	57.53 ^b	65.86 ^a	1.50
Digestibilité de la MO	0.70 ^a	0.67 ^b	0.01
Quantité ingérée par bouchée (mg MO)	160.83 ^b	226.06 ^a	9.54
Durée de pâturage (min/24h)	417.07 ^a	359.96 ^b	14.54

Les valeurs d'une même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de $P < 0.05$.

Tableau C4 - Valeurs d'ingestion et de digestibilité de la matière organique (MO) pour des moutons alimentés avec *Digitaria decumbens* fauché et distribué à l'auge, à différents âges de repousse (14 à 56 jours)

Jours de repousse	14	28	42	56	S.E.
Ingestion de MO (g/kg PV ^{0.75})	83.1 ^a	73.8 ^b	62.7 ^c	55.9 ^d	2.3
Digestibilité de la MO	0.73 ^a	0.66 ^b	0.65 ^b	0.63 ^c	0.009
MO ingérée digérée (g/kg PV ^{0.75})	53.1 ^a	42.8 ^b	35.9 ^c	30.9 ^d	1.5

Les valeurs d'une même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de $P < 0.05$.

26B

Ces 2 études montrent que le potentiel alimentaire des fourrages varie entre espèces, quand ils sont conduits de la même façon (fréquence d'exploitation, irrigation, fertilisation). Mais d'une étude à l'autre en fonction du mode de gestion des prairies, les résultats peuvent différer. Davantage de comparaisons sur des critères « alimentaires » auraient été nécessaires pour sélectionner les modèles fourragers les mieux adaptés au pâturage.

Mais j'ai choisi de davantage investir les recherches sur les modalités de gestion d'une même espèce fourragère déjà présente dans les systèmes d'élevage, présentant un potentiel plus grand et plus facile à exploiter, pour améliorer l'alimentation.

Ainsi les études réalisées par la suite portent davantage sur la comparaison de diverses modalités de gestion d'un même fourrage, *Dichanthium* ou *Digitaria*

COMMENT LES STADES DE REPOUSSE INFLUENT LE FOURRAGE ET L'ALIMENTATION ?

Une étude de la croissance de *Digitaria decumbens*, à différents stades, réalisée au CRAI (Cruz et al, 1989) avait mis en évidence le développement rapide des tiges par rapport aux feuilles, dès la 3^{ème} semaine de repousse. On sait par ailleurs que de par la morphologie en C4 des graminées tropicales, elles lignifient rapidement, leurs teneurs en NDF et ADF augmentant rapidement, par rapport à des fourrages tempérés en C3 (Wilson, 1994) et l'âge de repousse est donc connu comme l'un des facteurs majeurs affectant la morphologie et la qualité des fourrages (Jung and Allen, 1995; Fahey and Hussein, 1999). Nous avons voulu quantifier l'impact des stades de repousse sur l'alimentation, à l'auge ou au pâturage.

Au pâturage nous avons comparé la consommation de *Dichanthium* à 14 et 28 jours de repousse par des génisses (Boval et al, 2007b). Si on enregistre une digestibilité plus faible à 28 qu'à 14 jours de repousse (- 3 points, Tableau C3), l'ingestion est plus importante à 28 qu'à 14 jours (+8.3 g. La matière organique ingérée et digérée (MOID) résultante est du coup inférieure de 9%, à 14 jours de repousse (40.3 vs 44.1 g/kg P^{0.75}, Tableau C4). A ce stade plus précoce si le fourrage est en effet plus feuillu, plus riche en MAT et plus digestible, la taille des bouchées qu'ont effectué les génisses était significativement plus faible qu'à 28 jours. Les génisses prélevaient alors peu de fourrage à chaque bouchée, en raison des tiges et des feuilles plus courtes qu'à 28 jours, et en dépit d'une durée de pâturage accrue, l'ingestion a été limitée. Ces résultats ont divergé d'une précédente étude étudiant également l'impact des stades de repousse, mais réalisée à l'auge.

A l'auge, une étude avec des moutons alimentés avec du *Digitaria decumbens* récolté à 14, 28, 42 et 56 jours (Archimède et al, 2000) montrent que de 14 à 56 jours, la digestibilité décroît en effet très vite (- 10 points de digestibilité, Tableau C4), la plus forte baisse étant enregistrée entre 14 et 28 jours (-7 points). De même l'ingestion a diminué également de 14 à 28 jours (-9.3 g) et jusqu'à 56 jours repousse (-27,2g, Tableau C4). Ainsi parmi tous les âges testés, le fourrage consommé à 14 jours a été à la fois le plus digestible et le mieux ingéré, avec une MODI résultante de 37 g/j/kg P^{0.75}.

Même si ces 2 essais n'ont pas été réalisés dans les mêmes conditions, ni avec les mêmes ruminants, ces résultats confirment l'importance du choix du stade de repousse pour l'alimentation et que des différences de régime peuvent être significatives à moins de 15 jours de repousse près. Mais ces essais laissent aussi supposer que l'impact du stade de repousse fluctue en fonction du mode d'alimentation retenu et qu'en sus de la qualité du

Tableau C5 - Valeurs d'ingestion et de digestibilité mesurées pour des génisses au pâturage sur des parcelles à base de *Dichanthium spp.*, fertilisées selon 2 niveaux (0 vs 50 UN/ha)

	0 UN/ha	50 UN/ha	S.E.
Ingestion de la MO (g/kg PV ^{0.75})	76.6 ^b	83.6 ^a	1.53
Digestibilité de la MO	0.64 ^b	0.74 ^a	0.002
Ingestion de MO digestible (g/kg PV ^{0.75})	49.3 ^b	59.5 ^a	1.11

Les valeurs d'une même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de P<0.05.

Tableau C6 - Caractéristiques de prairies à *Digitaria decumbens* et *Dichanthium spp.*, Irrigué (I), fertilisée (F, 2.5 kgN/ha), ou irriguée et fertilisée (IF), par rapport à une prairie 'contrôle' (C).

	<i>Digitaria decumbens</i>				<i>Dichanthium spp.</i>			
	C	I	F	IF	C	I	F	IF
Biomasse (t MS/ha)	3.83 ^a	3.91 ^b	4.42 ^a	3.39 ^a	2.22 ^b	2.26 ^b	3.37 ^a	3.46 ^a
Haut (cm)	66.2 ^c	85.0 ^b	93.5 ^b	112.9 ^a	33.8 ^b	37.8 ^b	59.9 ^a	61.8 ^a
Feuilles (t MS/ha)	1.25 ^a	1.30 ^a	1.51 ^a	1.43 ^a	0.83 ^c	1.07 ^b	1.43 ^a	1.47 ^a
Tiges (t MS/ha)	1.85 ^b	1.78 ^{ab}	2.14 ^a	2.04 ^a	0.50 ^b	0.53 ^b	1.05 ^a	1.03 ^a
Teneur en MAT (%MS)	9.6 ^d	10.9 ^c	12.2 ^a	11.6 ^a	7.7 ^b	7.5 ^b	9.8 ^a	9.9 ^a
Teneur en ADL (%MS)	4.5 ^a	3.7 ^b	3b.8 ^b	3.6 ^b	5.8 ^b	6.2 ^a	5.4 ^c	5.2 ^d

Les valeurs d'une même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de P<0.05.

28B

fouillage (composition chimique et digestibilité), il faut tenir compte de la préhensibilité de celui-ci (la quantité qui est prélevée par coup de mâchoire). Cette préhensibilité serait en effet affectée par le mode de présentation du fouillage : à l'aube tassé en bac avec une densité de MS plutôt stable vs au pâturage, dressé, avec une densité variable en fonction de la conduite agronomique et autres facteurs extérieurs.

Les résultats de ces essais ont inspiré le projet de thèse d'A. Fanchone, où le même fouillage produit sur les mêmes parcelles et selon la même conduite, est proposé soit fauché, haché et distribué en bacs, soit pâturé directement sur place.

QUEL EST L'IMPACT DE LA FERTILISATION ?

La fertilisation azotée a toujours été largement utilisée pour accroître la production animale au pâturage, avec des gains de poids variant de 1.3 à 4.7 kg PV/ha/an, par kg d'azote ajouté par ha (Mears and Humphreys, 1974 ; Jones, 1990 ; Humphreys, 1991). Généralement les auteurs expliquent le gain de la production animale, par le gain de la production fourragère ou de la teneur en MAT du fouillage, induites par la fertilisation. Mais l'impact de la fertilisation sur d'autres caractéristiques du fouillage (hormis la teneur en MAT et la biomasse) et par conséquent sur l'alimentation a été peu étudié.

Il nous a pourtant semblé important de comprendre comment la fertilisation agit sur le fouillage, (était ce seulement un impact sur la teneur azotée et la biomasse ?) pour rechercher des alternatives à la fertilisation minérale, polluante et coûteuse.

Deux niveaux de fertilisation (0 vs 50 UN) ont alors été appliqués sur des pâturages de *Dichanthium spp.*, pâturés par des bovins (Boval et al., 2002), mais avec des surfaces et des propositions comparables (18kg MS/jour). Sur les parcelles fertilisées (F), à la fois l'ingestion et la digestibilité ont été accrues de 9% et la DOMI résultante a été augmentée de 20 %, relativement aux parcelles non fertilisées (NF, Tableau C5). L'impact de la fertilisation n'était pas lié aux quantités proposées comparables. D'autre part l'accroissement de la teneur en MAT n'a expliqué que partiellement le gain d'ingestion (16% de la variance). Nous avons pu expliquer ce gain de DOMI par un encombrement moindre du rumen avec le couvert F, par rapport à celui NF : la proportion d'indigestible dans la ration prélevée sur le couvert F ayant représenté 29 % alors qu'elle était de 36 % avec le couvert NF. En pâturant ce dernier couvert, les génisses ont vraisemblablement consommé du fouillage peu digestible, qui a rapidement encombré le rumen et limité par la suite l'ingestion.

Ainsi dans notre étude, la fertilisation n'a pas influencé que la production de fouillage, et les quantités proposées. La fertilisation modifie également les caractéristiques de la biomasse produite, et donc la préhensibilité du fouillage.

Mais dans la pratique, la fertilisation est souvent combinée à l'irrigation⁴. Aussi avons-nous cherché dans une autre étude, à évaluer l'intérêt de combiner la fertilisation à l'irrigation pour *Digitaria decumbens* et *Dichanthium spp.* La croissance de ces 2 fourrages a été mesurée à différents âges de repousse, fertilisés ou non, (0 vs 150 kg N/ha), avec ou sans irrigation (Cruz et Boval, 2001).

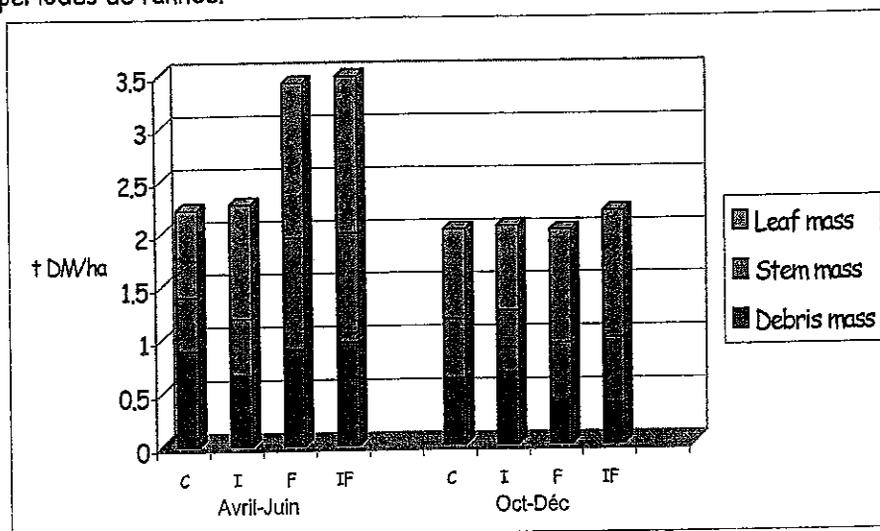
⁴ Cela tient sans doute à la campagne d'intensification des prairies avec des espèces sélectionnées très productives mais aussi très exigeantes en eau, comme *Digitaria decumbens*.

Tableau C7 - Estimations des biomasse de feuilles, tiges et débris d'un prairie à base de *Dichanthium spp*, Irrigué (I), fertilisée (F, 2.5 kgN/ha), ou irriguée et fertilisée (IF), par rapport à une prairie 'contrôle' (C) à deux périodes de l'année.

	Avril-Juin (Saison sèche)				Octobre-Décembre (Saison des pluies)			
	C	I	F	IF	C	I	F	IF
Tiges (t MS/ha)	0.51 ^b	0.53 ^b	1.05 ^a	1.03 ^a	0.55 ^b	0.58 ^b	0.53 ^b	0.61 ^b
Feuilles (t MS/ha)	0.82 ^c	1.08 ^b	1.47 ^a	1.49 ^a	0.85 ^c	0.80 ^c	1.07 ^b	1.20 ^b
Débris (t MS/ha)	0.89 ^a	0.66 ^b	0.90 ^a	0.96 ^a	0.62 ^b	0.67 ^b	0.41 ^c	0.38 ^c

Les valeurs d'une même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de $P < 0.05$.

Figure C1 - Evolution des biomasses totales (tMS/ha) et des quantités de feuilles, tiges et débris (leaf, stem and debris mass) en fonction de l'irrigation (I) ou la fertilisation (F) et à 2 périodes de l'année.



• Pour *Digitaria decumbens*, la fertilisation (F) a généré un accroissement significatif de la biomasse totale et notamment de la biomasse de tiges et de la teneur en MAT du fourrage, par rapport à l'irrigation seule (I). Quand la fertilisation et l'irrigation ont été combinées (FI), seule la hauteur du couvert a été encore accrue de 20 %, la biomasse et la teneur en MAT restant comparables (Tableau C6).

• Pour *Dichanthium spp*, la fertilisation associée à l'irrigation (FI), n'induit aucune modification significative des paramètres mesurés (Tableau C6). En revanche, la fertilisation seule (F), a accru l'ensemble des paramètres mesurés de façon significative, comparé à l'irrigation seule (I) qui n'a pratiquement eu aucun effet (excepté la biomasse en feuilles).

Ces quelques résultats ont montré que pour les 2 espèces considérées, l'irrigation combinée à la fertilisation (FI) n'induisait pas nécessairement un accroissement de la biomasse ou une amélioration de celle-ci (quantité de feuilles, teneur en MAT...etc). Seul un effet de la combinaison FI sur la hauteur et pour *Digitaria decumbens*, a été mesuré mais sans répercussion sur la MS produite. Par ailleurs si l'irrigation a été bénéfique à *Digitaria decumbens* (induisant un accroissement de la biomasse, de la hauteur du couvert, et de la teneur en MAT), il n'en a rien été pour *Dichanthium*. Cette espèce en revanche a réagi à la fertilisation seule.

Ces résultats suggèrent qu'il convient vraiment d'adapter les pratiques agronomiques, en fonction des espèces fourragères à exploiter.

Enfin si la fertilisation reste dans la pratique souvent combinée à l'irrigation⁵ les éleveurs qui n'ont pas les moyens d'irriguer, procède à la fertilisation en saison des pluies. Mais aux Antilles, la saison des pluies se caractérise aussi par des jours courts. Hors des travaux précédents avait mis en évidence l'effet de la photopériode sur la croissance de *Dichanthium.spp* (Cruz et Moreno, 1992). Nous avons donc testé l'intérêt de la fertilisation (2.5 kg N/ha) et de l'irrigation sur la croissance de *Dichanthium spp*. (Boval et al, 2002) en saison sèche (SS, avril-juin, 76 mm, jours longs, 23-29°C) et en saison des pluies (SP, octobre-décembre, 218mm, jours courts, 22-28°C).

La production de biomasse en SS a été accrue avec la fertilisation (+ 53%, Tableau C7, Figure C1) avec ou sans irrigation (F ou FI), comme dans l'étude précédente (cf C-3-2). En revanche, en SP, la fertilisation n'a eu aucun effet. A cette saison, le facteur limitant de la croissance du *Dichanthium* serait la photopériode, et même l'addition de fertilisant n'a pas levé ce frein. Par ailleurs même en SS, l'irrigation n'a pas généré une biomasse plus importante de *Dichanthium* (comme dans l'essai précédent). Cette graminée serait en effet capable d'extraire l'eau du sol grâce à un système racinaire bien développé (Cabidoche, communication personnelle).

Ces données laissent à penser que la meilleure stratégie de fertilisation du *Dichanthium* serait l'addition d'azote pendant la saison sèche, ou alors sans irrigation. Une telle stratégie profiterait à une meilleure production de biomasse, intéressante à une saison où il y a pénurie des autres fourrages. Néanmoins, ces résultats devraient être confirmés sur d'autres parcelles.

La fertilisation azotée est un outil de gestion pour accroître la biomasse fourragère mais aussi pour améliorer les caractéristiques de cette biomasse. Dans nos essais, à même biomasse proposée, seules des variations des caractéristiques (talles et feuilles longues

Tableau C8 - Biomasses proposées et teneurs en MAT, valeurs d'ingestion et de digestibilité de la MO pour des chèvres et des brebis allaitantes, pâturant des parcelles à *Digitaria decumbens*, dont les refus sont fauchés (RF) ou non (R) après pâturage.

	RF	R	s.e.m
Chèvres			
Biomasse (tMS/ha)	3.1	5.0	0.36
MAT (%MS)	12.3	10.7	1.6
Ingestion de MO	69.0	70.5	14.4
Digestibilité de la MO	0.70	0.69	0.008
Brebis			
Biomasse (tMS/ha)	2.5	3.8	0.30
MAT (%MS)	9.9	8.5	1.3
Ingestion de MO	83.7	79.3	14
Digestibilité de la MO	0.67	0.68	0.09

29B

feuilles, Boval et al, 2007b) ont permis d'accroître la MODI. Ces quelques résultats encouragent à rechercher d'autres modalités de gestion qui en modifiant les caractéristiques prairiales, améliorerait l'alimentation.

Par ailleurs nos essais tendent à montrer que les modalités de la fertilisation doivent être adaptées à la morphologie du fourrage à produire et du milieu dans lequel il pousse (en fonction de la pluviométrie, de la photopériode, voire de la teneur en azote du sol) pour une gestion plus rationnelle et plus économique des pâturages. La fertilisation bio-organique⁶ est une voie intéressante que nous pensons initier à l'URZ, via des collaborations avec l'Unité Agro-Pédo-Climatique du Centre. Cela d'autant plus que le recours à la macrofaune du sol, aurait un effet dépressif sur l'infestation parasitaire des petits ruminants (D'Alexis, 2008).

ET LA FAUCHE DES REFUS POUR PRODUIRE UNE MEILLEURE REPOUSSE ?

Les systèmes intensifs de petits ruminants au pâturage, irrigués et fertilisés induisent des productions importantes (Alexandre et al, 1997, 1999 ; Corsi et al, 2001), mais génèrent des biomasses résiduelles non consommées, considérables. Celles-ci non exploitées, peuvent limiter la croissance du fourrage lors du prochain cycle de pâturage, et générer à long terme une biomasse ainsi qu'une alimentation de moindre qualité. Nous avons donc testé l'intérêt de faucher les résidus des surfaces pâturées, sur l'alimentation de chèvres et de brebis.

Deux troupeaux de 20 chèvres et de 20 brebis allaitantes ont été conduits en rotation sur des parcelles à base de *Digitaria decumbens*, qui étaient fauchées ou non, après avoir été pâturées (Ortega et al, 2005a, 2005b).

Dans le cas des chèvres la fauche des refus a engendré une biomasse moindre au cycle suivant de pâturage, mais plus riche en MAT (Tableau C8) relativement aux parcelles non fauchées. L'alimentation des chèvres a cependant été comparable, que les refus aient été fauchés ou non. Dans les 2 cas, les chèvres ont eu des quantités de fourrage non limitantes et en qualité suffisante, pour satisfaire leurs besoins.

Dans le cas des brebis, les résultats ont été comparables à ceux obtenus avec les chèvres (Tableau C8). L'ingestion et la digestibilité du régime ont été du même niveau sur les 2 parcelles, malgré des biomasses plus importantes mais à moindre valeur azotée sur les parcelles F. Comme pour les chèvres les quantités proposées et la qualité du fourrage n'ont pas été les premiers facteurs limitant.

Le fourrage qui repousse après pâturage est globalement de moindre qualité, quand les résidus laissés par les animaux à la précédente période de pâturage, ne sont pas fauchés. Cependant, les chèvres et les brebis ont pu pâturer les parties supérieures du couvert, sur des parcelles non fauchées, pour se constituer une ration équivalente aux animaux pâturant les parcelles fauchées. Mais la fauche des refus est peut être plus avantageuse dans d'autres situations de pâturage.

⁶ la Fertilisation Bio-Organique (Senapati et Lavelle, 2000) consiste à apporter au sol dégradé une biomasse importante de vers de terre, ainsi qu'une fertilisation organique (compost). Ces études ont mis en avant que l'augmentation de la macrofaune s'accompagne d'une augmentation de la porosité et de l'humidité du sol, favorisant alors un développement des communautés microbiennes et de leur activité, et relançant ainsi les cycles de minéralisation. Dans ce cas, la FBO a apporté un gain de rendement de 260% par rapport à une conduite conventionnelle dans des plantations de thé en Inde.

Tableau C9 - Synthèse des gains des quantités ingérées digestibles mesurées, avec diverses modalités de gestion du fourrage ou des animaux au pâturage, à l'URZ.

Modalités testées		Espèces animales (PV)	MODI (g MO/kg PV ^{0.75})	GMQ 70-200j (g/j)	Gain %
Espèces fourragères	Dd ¹ vs D.spp ²	Chèvres	20.9 vs 21.7		ns
	Dd vs D.spp	Brebis	21.7 vs 26.7		23 %
	C.d ³ vs D.d	Agneaux		140 vs 170	21 %
Stades de repousse	14 vs 28 jours	Génisses	40.3 vs 44.1		9 %
Fertilisation azotée	0 vs 50 UN/ha	Génisses	49.3 vs 59.5		21 %
Fauche des refus	Refus vs Fauche	Chèvres	54 vs 56		ns
	Refus vs Fauche	Brebis	48.6 vs 48.3		ns

¹ Dd : *Digitaria decumbens*

² *Dichanthium spp*

³ *Cynodon dactylon*

BILAN ET PERSPECTIVES

Dans les études conduites et présentées ci-dessus, les variations de MODI engendrées pour un même fourrage à différents stades de repousse (40.3 vs 42.1 gMO/kg PV^{0.75}, à 14 et 28 j respectivement, soit +9 %) ou différents niveaux de fertilisation azotée (49 vs 60 gMO/kg PV^{0.75}, à 0 vs 50 UN, soit +22 %), ont été équivalentes ou plus importantes, que celles mesurées entre 2 espèces fourragères différentes (Tableau C9); Pour des brebis consommant *Digitaria* ou *Dichanthium*, les MODI étaient de 21.7 vs 26.7 g/kg PV^{0.75}, soit 23 % de plus avec *Dichanthium.spp* (pour des chèvres, l'écart ne représente que 3%, 21.7 vs 20.9).

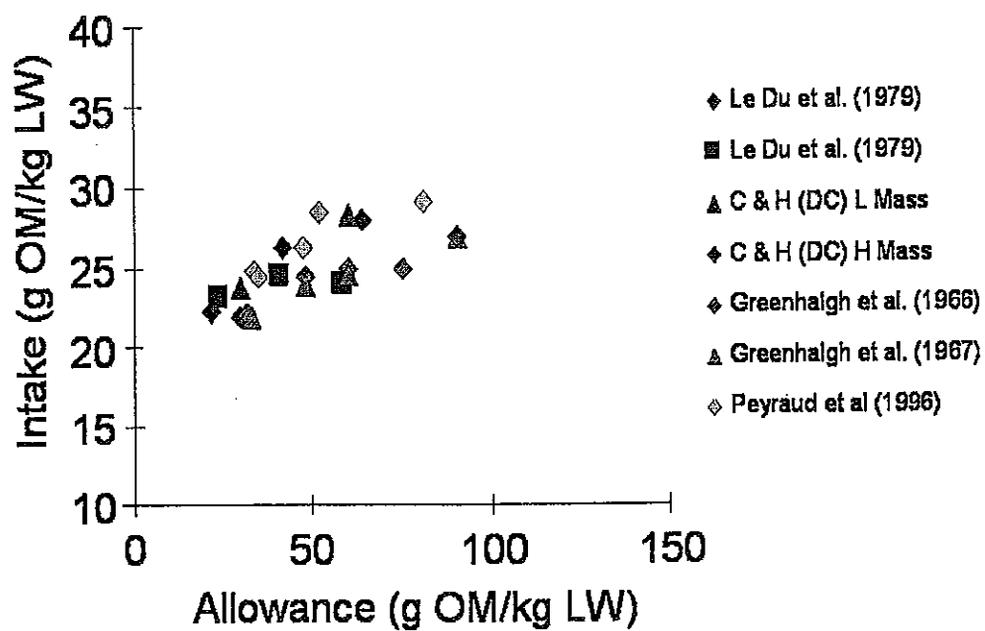
Aussi ces travaux tendent à étayer que l'alimentation à base d'un même fourrage, mais conduits selon diverses modalités, peut contribuer à accroître les quantités ingérées et digérées. Par ailleurs, à même gestion, des espèces locales déjà en place et adaptés au milieu dans lequel elles sont exploitées, peuvent avoir un potentiel équivalent à des espèces sélectionnées et introduites. Aussi, le potentiel alimentaire des fourrages natifs déjà implantés, pour l'alimentation animale au pâturage, gagne à être réévalué.

L'évaluation du potentiel alimentaire des fourrages uniquement basée sur leur composition chimique, ou leur consommation à l'auge, mérite par ailleurs d'être reconsidérée. On observe en effet des divergences dans l'évolution de la digestibilité et de l'ingestion dans certains couverts. Au pâturage, la mesure de l'ingestion et de la digestibilité des fourrages semble donc indispensable et est heureusement de plus en plus envisageable avec les avancées méthodologiques réalisées dans ce domaine (cf Chap B). Cela pourrait aussi contribuer à mieux définir les critères à considérer (autre que la seule digestibilité) dans les programmes de sélection des fourrages à pâturer.

Il faudrait tester d'autres modalités de gestion agronomiques appropriées à la morphologie des C4, aux conditions de leur exploitation, favorisant leur consommation par les ruminants et leur repousse. Des alternatives au classique fertilisation minérale, via l'utilisation de légumineuses arbustives ou à la fertilisation bio-organique via la communauté biotique du sol, pourraient être testées rapidement dans nos prairies pâturées. Le rôle des défécations pourra par ailleurs être mieux étudiés et pris en compte dans les pratiques de fertilisation. Il s'agit de pistes prometteuses pour une alimentation à moindres intrants et respectueuses de l'environnement.

Enfin il faudrait aussi reconsidérer le concept de prairies mono spécifiques pour l'alimentation et mieux tirer partie de la diversité biologique naturelle des prairies spontanées, qui a sans doute un impact très positif sur l'alimentation, et la pérennité de la ressource fourragère sur l'année (avec une prise de relais de certaines espèces par d'autres à des moments critiques du cycle de production). Parallèlement, les données accumulées pourront servir de base à l'analyse des relations entre composition chimique, largement prise en compte pas les zootechniciens, et autres caractéristiques de la plante in situ, morphologiques et anatomiques, qui semblent conditionner la préhensibilité des fourrages, donc leur capacité à être ingéré.

Figure D1 - Ingestion en fonction du fourrage proposé, selon une synthèse bibliographique réalisée par M.Gibb (IGER-North Wyke, UK, 2006)



31B

D-AMELIORER L'ALIMENTATION PAR LA GESTION DES ANIMAUX

CONTEXTE - L'écart qui existe entre les caractéristiques du fourrage proposé et celui consommé, est un indicateur de la marge de manœuvre que l'éleveur a pour améliorer sa production. Cette marge de manœuvre peut être exploitée (afin de réduire l'écart entre fourrage proposé et consommé) en améliorant la qualité du fourrage proposé (**Chap C**), ou on en intervenant sur la conduite des animaux Il faut chercher à réduire cet écart pour valoriser au mieux le fourrage proposé.. Les modalités de conduite des animaux définissent les conditions de mise à disposition du fourrage, à savoir le chargement¹, les quantités proposées, la durée de pâturage... Les modalités de conduite utilisables par l'éleveur sont très variées et de nombreuses études en zones tropicales et au pâturage ont été publiées dans des conditions très contrastées. Ainsi des conduites en rotation ou en continu (Synthèse de Humphreys et al, 1991 ; L't Mannelje et al, 1985) du pâturage alternatif ou mixte (Evans, 1981 ; Jackson et al, 2007), ont beaucoup été testées, généralement sur la base des gains de poids. Moins d'études mesurent l'ingestion et la qualité du régime, en zone tropicale principalement pour des raisons méthodologiques (Burns and Sollenberger, 2002 ; Coleman et Moore, 2003). Quelques études existent cependant, avec des méthodes d'estimation de l'ingestion très variées (Okajima, 1996 ; Ayantude et al, 2001 ; Fushai, 2006 ; Coates & Dixon, 2007). En revanche on trouve de nombreuses études basées sur le comportement alimentaire (Cosgrove, 1997 ; Ungar, 1997), mais celui-ci n'est jamais étudié en parallèle de mesures de l'ingestion.

PRINCIPAUX RESULTATS - Nous avons voulu évaluer l'impact de certaines modalités de conduite, sur l'ingestion et la digestibilité, pour comprendre comment et en quoi, telle ou telle modalité influence les quantités ingérées et digérées (parfois le comportement alimentaire), afin d'être proposant quant à de nouvelles conduites innovantes et appropriées au fourrage pâturé.

Utilisant la pratique à l'attache, avec la possibilité de mesurer par jour et par individu à la fois les caractéristiques du fourrage et l'alimentation (mesure directe de l'excrétion fécale et estimation de la digestibilité, via l'N fécal), nous avons surtout testé des modalités génériques avec des bovins (quantités proposées, durée de pâturage, fractionnement des repas...), possibles avec l'attache (en jouant sur la longueur de chaîne, les heures des déplacements, la fréquence des déplacements...).

QUELLES QUANTITES DE FOURRAGE PROPOSER ?

La quantité de fourrage proposée est d'après de nombreuses études conduites en milieu tropical, l'un des critères le plus important à considérer pour accroître la le gain de poids vif. En zone tempérée il existe une relation curvilinéaire entre le fourrage disponible et les quantités ingérées (Gibb, 2006, synthèse personnelle), avec une ingestion maximum atteinte pour un disponible de plus de 55 kgMO/kg PV/j (Figure D1). En régions tropicales des

¹ Le chargement, déterminé en nombre de têtes ou kg de PV/ha, est destiné à donner une idée de l'allocation de fourrage par tête ou par kg de Poids vif et s'apparente en fait à la notion de quantités proposées. Mais défini par unité de surface, sachant qu'une même surface produit des quantités de MS variables, le chargement ne donne pas une réelle idée de l'allocation de fourrage.

Tableau D1 - Caractéristiques du fourrage proposé, et valeurs d'ingestion et digestibilité, à 3 niveaux de proposé de *Dichanthium spp* (16, 25, 31 kg MS) pour des génisses Créoles au pâturage.

ESSAI 1				s.e.m
Disponible (kg MS/génisse)	16	25	31	1.8
Fraction de feuilles	0.49 ^{ab}	0.51 ^a	0.46 ^b	0.03
Fraction de Tiges	0.27 ^{ab}	0.29 ^a	0.25 ^b	0.02
MAT(g/kg MO)	122 ^a	117 ^{ab}	110 ^b	7.7
NDF (g kg ⁻¹ OM)	805 ^a	813 ^a	806 ^a	8.8
<i>In vitro</i> OM digestibility	0.56 ^a	0.55 ^a	0.56 ^a	0.02
Ingestion (kg MO/jour/animal)	5.3 ^a	5.4 ^a	5.3 ^a	0.3
Digestibilité de la MO	0.74 ^a	0.74 ^a	0.74 ^a	0.01

S.E.M : standard error of mean; Les valeurs d'une même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de P<0.05.

Tableau D2 - Caractéristiques du fourrage proposé, et valeurs d'ingestion et digestibilité, à 3 niveaux de proposé de *Dichanthium spp* (11, 15 et 19 kg MS) pour des génisses Créoles au pâturage.

ESSAI 2				s.e.m
Disponible (kg MS/animal)	11^c	15^b	19^a	1.2
Biomasse (kg MO/ha)	3850 ^a	3825 ^a	3710 ^a	443.2
Fraction de feuilles	0.27 ^a	0.27 ^a	0.29 ^a	0.01
Fraction de tiges	0.43 ^a	0.40 ^a	0.42 ^a	0.02
MAT (g/kg MO)	73 ^a	71 ^a	74 ^a	1.7
NDF (g/kg MO)	768 ^a	777 ^a	765 ^a	6.0
<i>In vitro</i> OM digestibility	0.54 ^a	0.54 ^a	0.55 ^a	0.02
Digestibilité in vivo de la MO	0.67 ^a	0.67 ^a	0.67 ^a	0.01
Ingestion (kg MO/animal)	3.8 ^a	3.8 ^a	3.7 ^a	0.4

S.E.M : standard error of mean; Les valeurs d'une même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de P<0.05.

32B

relations ont été mises en évidence entre la quantité de fourrage proposée et la production de lait et (Stobbs, 1977; Cowan *et al.*, 1977) ou le gain de poids vif (Humphreys, 1990). Selon Adjei *et al* (1980) une augmentation du fourrage proposé de 63 g MS/kg PV, induirait un gain de poids de 600 g/j. Ce niveau optimum de proposé est cohérent avec la valeur reportée par Mott (1984, cité par Redmon *et al.*, 1995), soit 50 g DM kg⁻¹ LW. Nous avons voulu tester l'impact des quantités proposées sur la digestibilité et l'ingestion avec des fourrages tropicaux, lors de 2 essais distincts (Boval *et al.*, 2000).

Lors d'un 1^{er} essai 3 lots de 2 génisses ont été conduites à l'attache sur des prairies naturelles à *Dichanthium spp*, à 3 niveaux de proposé (16, 25 et 31 kg MS/génisse/j). Le fourrage proposé était de très bonne qualité (11,6 % de MAT, 48 % de feuilles), mais l'accroissement du proposé de 16 à 31 kg de MS n'a généré ni gain d'ingestion ou de digestibilité, qui ont été en moyenne de 5.3 kg OM/j et 0.74, quelque soit le niveau proposé (Tableau D1). Les animaux même au faible niveau de proposé, avaient suffisamment de fourrage pour se constituer une ration de choix. Cela montre la difficulté de maîtriser les quantités de fourrage proposées au pâturage.

Au cours d'un 2nd essai, 3 nouveaux lots de génisses ont pâture des surfaces permettant des niveaux de proposé de 11,15 et 19 kg MS/génisse/j. Le fourrage a été de moindre qualité, (7.3 % de MAT, 27 % de feuilles) mais l'augmentation du proposé de 11 à 21 kg MS n'a pas non plus permis d'accroître l'ingestion. Celle-ci était pourtant bien inférieure au 1^{er} essai : en moyenne 3.8 kg MO/j/génisse et 0.67 de digestibilité. C'est la faible qualité du fourrage qui aurait limité l'ingestion dans cet essai, par un encombrement rapide du rumen. La quantité d'indigestible a représenté 34 % de la ration ingérée (24 g OM/kg P^{0.75}) alors que dans le 1^{er} essai elle a représenté 26 % de la ration (avec 26 g OM/kg P^{0.75}, Tableau D2).

Aussi si la quantité de fourrage à proposer est déterminante pour l'alimentation au pâturage, ce n'est pas le seul déterminant et il peut être vain de proposer plus de 3 fois la quantité théorique qui peut être ingérée. Dans le 2nd essai c'est l'encombrement du rumen qui aurait été le 1^{er} facteur limitant (Boval *et al*, 2000, cf Chap.E), lié à la mauvaise qualité du fourrage prélevé et qui n'a pas été compensé par l'augmentation du proposé, contrairement à nos attentes. Indépendamment des quantités proposées, il faudrait en fait arriver à déterminer un « proposé disponible » qui serait prélevé et ingéré au mieux par les animaux. Les travaux que nous conduisons devraient aider à mieux prédire ce proposé disponible.

QUELLE DUREE DE MISE AU PATURAGE ?

Dans certains systèmes d'élevage, la durée de mise au pâturage est réduite à la journée. En particulier dans des systèmes d'élevages caribéens et africains (Ayantude *et al*, 2001 ; Jung *et al*, 2002 ; Boval *et al*, 2001), les animaux pâturent le jour et sont parqués la nuit pour la production de fumier. Aussi nous voulions juger de la réduction des temps de pâturage, en terme d'alimentation pour les ruminants (Boval *et al*, 1996b).

Six génisses ont été conduites à l'attache, sur une surface identique à pâturer en continu pendant 24 h ou pendant 11h (7h à 18h) et donc parqués la nuit. Les animaux restant au pâturage 24h, ont pâture pendant 6h50min contre 5h30min pour les animaux mis au

Tableau D3 - Quantités ingérées, digestibilité de la MO et comportement alimentaire de 6 génisses créoles au pâturage sur une prairie à *Dichantium sp.*, à deux durées de pâturage, 11h et 24 h.

	11h	24h	ETR (23ddl)
Ingéré (kg MO/génisse/jour)	3,7 ^b	4,3 ^a	0,35
Ingéré (gMO/kg P ^{0,75})	80,5 ^b	91,0 ^a	7,30
Digestibilité de la MO	0,72 ^a	0,72 ^a	0,01
UFL ingérées (/jour)	3,2 ^b	3,7 ^a	0,26
(1)Poids vif avant (kg)	162,4 ^a	162,2 ^a	3,45
(2)Poids vif après (kg)	167,2 ^b	170,4 ^a	2,50
Valeurs moyennes de 7h00 à 18h00			
Pâturage (nb obs)	33 ^a	31 ^a	2,5
Rumination (nb obs)	15 ^a	16 ^a	2,1
Fréquences de bouchées (nb/mn)	53,8 ^a	53,7 ^a	2,22
Valeurs moyennes de 18h00 à 7h00			
Pâturage (nb obs)		10	4,5(*)
Rumination (nb obs)		27	1,1(*)
Fréquences de bouchées (nb/mn)		41,8	4,70(*)

ETR : écart-type résiduel de l'analyse de variance

a, b, les valeurs d'une même ligne, suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de P<0,05 ; (1) : poids vif moyen avant les périodes de mesure ; (2) : poids vif moyen après les périodes de mesure

Tableau D4 - Quantités ingérées, digestibilité de la MO et comportement alimentaire de 6 génisses créoles au pâturage sur une prairie à *Dichantium sp.*, quand la surface de pâturage, proposée pendant 11h est fractionnée (SF11) ou non (SE11).

	SF11	SE11
Ingéré (kg MO/génisse/jour)	3,6 ^b	3,7 ^b
Ingéré (gMO/kg P ^{0,75})	77,7 ^b	80,5 ^b
Digestibilité de la MO	0,72 ^a	0,72 ^a
(1)Poids vif avant (kg)	162,3 ^a	162,4 ^a
(2)Poids vif après (kg)	167,3 ^b	167,2 ^b
Valeurs moyennes de 7h00 à 18h00		
Pâturage (nb obs)	33 ^a	33 ^a
Rumination (nb obs)	15 ^a	15 ^a
Autres activités (nb obs)	14 ^a	14 ^a
Fréquences de bouchées (nb/mn)	51,8 ^a	53,8 ^a

SF11 : surface fractionnée, disponible en 11 heures ; SE11 : surface entière, disponible ; n 11 heures ;

a, b, les valeurs d'une même ligne, suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de P<0,05 ; (1) : poids vif moyen avant les périodes de mesure ; (2) : poids vif moyen après les périodes de mesure

33B

pâturage 11h. Ces 80 minutes supplémentaires passées à pâturer ont permis un gain d'ingestion de près de 13 % (91 vs 80.5 g MO/kg P^{0.75}, Tableau D3), la digestibilité de la ration étant comparable dans les 2 cas. Les animaux laissés au pâturage en continu sur le nycthémère, pâturent la nuit, mais également dès l'aube, avant le déplacement sur de nouvelles parcelles. Par ailleurs nous avons mesuré une biomasse plus importante sur les parcelles pâturées pendant 24 h, due sans doute à l'excrétion urinaire plus importante.

Il apparaît qu'accroître les temps d'accès au pâturage des animaux permet d'accroître leur ingestion, et donc les performances animales, comme l'a également montré Jung et al, (2002). Mais la conduite doit être fixée en fonction des objectifs de production de l'éleveur. Celui-ci doit alors mettre en balance le gain d'ingestion avec le pâturage en continu, avec le gain de production de fumier, avec le pâturage restreint à la journée.

FAUT-IL FRACTIONNER LA SURFACE A PATURER ?

Le fractionnement de la surface à pâturer est également une des pratiques courantes dans les systèmes de production caribéens. C'est également le cas de nombreux systèmes agro-pastoraux tropicaux, basés sur une intégration plus ou moins forte des activités agricoles et d'élevage (Faye et al, 2001). De même, à l'auge, le fractionnement des repas augmentant l'ingestion (Chenost & Demarquilly, 1982 ; Ikhatua et al, 1987). Nous avons voulu tester l'effet sur l'ingestion au pâturage, du déplacement sur de nouvelles surfaces non piétinées, en cours de journée (Boval et al, 1996b).

Des génisses ont eu à pâturer soit 2 surfaces de 25 m² à pâturer chacune pendant 5h30 ou une même surface de 50 m², à pâturer tout le jour (11h). Les génisses pâturant 2 surfaces ont eu une ingestion quotidienne et une digestibilité, comparables aux valeurs mesurées pour les génisses pâturant une seule grande surface (Tableau D4). La durée de pâturage dans l'heure suivant le déplacement n'a pas varié, signifiant qu'il n'y a même pas eu une stimulation à l'activité de pâturage, après le déplacement en cours de journée. En moyenne, la durée de pâturage, la fréquence et la taille de bouchées ont été comparables dans les 2 cas (Tableau D4).

Le fractionnement des parcelles à pâturer n'a pas permis dans nos conditions de stimuler et d'accroître l'ingestion, contrairement aux études conduites à l'auge, et aux dires des éleveurs enquêtés sur leur pratique en Guadeloupe (cf Chap A).

ET L'ASSOCIATION D'ESPECES ANIMALES ?

Les associations d'ovins et de bovins ont été étudiés depuis longtemps en zones tempérées (Bennett et al., 1970; Brelin, 1979; Connolly, 1974; Connolly and Nolan, 1976; Nolan and Connolly, 1977) comme moyen de mieux valoriser les refus d'animaux à forts besoins alimentaires (jeunes bovins en engraissement, vaches laitières) en les faisant pâturer par des animaux à faibles besoins. Les études réalisées en zone tropicale ont surtout porté sur l'utilisation de parcours et pâturages naturels par des espèces aux choix alimentaires contrastés (Guerin et al., 1991; Nolan et al., 1989). La réduction de l'infestation des petits ruminants par les strongles gastro-intestinaux (SGI) avait été notée dans plusieurs études, sans que ce point ait été particulièrement valorisé (Lambert and Guerin,

Tableau D5 - Données de production de viande, productions fourragères et données parasitaires pour des ovins et des bovins conduits seuls ou en association.

	Ovins seuls	Bovins seuls	Association
Production de viande (kg/ha/an)	1562 ^b	1173 ^c	1596 ^a
GMQ agneaux (70-200j)	115 ^a		99 ^b
GMQ génisses (11-20 mois)		487	535
Biomasse totale (g MS/m ²)	668 ^a	747 ^b	666 ^a
Feuilles (gMS/m ²)	129 ^a	147 ^b	145 ^b
Tiges (gMS/m ²)	294 ^a	322 ^b	294 ^a
Ratio Feuilles/tiges	0.52 ^a	0.41 ^b	0.50 ^a
Parasitisme des ovins (6 ^{ème} semaine)			
OPG (nb/g fèces)	645 ^a		65 ^b
PCV (%)	27.3 ^a		30.8 ^a

Les valeurs suivies de lettres différentes, pur un même facteur de variation, diffèrent significativement (P<0.01).

Tableau D6 - Synthèse des gains des quantités ingérées digestibles mesurées, avec diverses modalités de gestion du fourrage ou des animaux au pâturage, à l'URZ.

Modalités testées		Espèces animales (PV)	MODI (g MO/kg PV ^{0.75})	GMQ 70-200j (g/j)	Gain %
Quantités proposées	16 vs 25 vs 31 kg MS	Génisses	70.9 vs 71.4 vs 70.9		ns
	11 vs 15 vs 19 kg MS	Génisses	49.3 vs 48.2 vs 46.4		ns
Durées de pâturage	11 vs 24 heures	Génisses	57.9 vs 65.5		13 %
Fractionnement du pâturage	2X25m ² vs 50 m ²	Génisses	55.9 vs 57.9		ns
Pâturage mixte	Mono vs Mixte	Agneaux		99 vs 115	16 %

34B

1989; Nolan and Connolly, 1977). Pourtant, et particulièrement en zone tropicale humide, les SGI constituent un frein important à la production au pâturage des petits ruminants (Aumont et al., 1997; Fabiyi, 1987).

Dans une première étude, l'association d'ovins et de bovins a été étudiée avec des ovins et des génisses Brahman en croissance (Mahieu et al, 1997) avec des chargements équivalents pour les différents systèmes (448 à 536 kgPM/ha). Contrairement aux autres modalités de gestion animale testées, l'ingestion n'a pas été mesurée. L'association a permis une croissance accrue des agneaux mâles (+16 %, Tableau D5), ainsi qu'une augmentation de celle des génisses (+10%), même si celle-ci est non significative. La production globale de viande à l'hectare a été accrue de 18 à 25 % par an. La biomasse totale a été comparable sur toutes les parcelles. Mais dans les parcelles où pâturait l'association, les quantités de feuilles ont été plus importantes par rapport aux parcelles où pâturaient seuls les ovins. Ceux-ci ont eu dans l'association un fourrage de meilleure qualité, expliquant probablement les plus fortes croissances mesurées. Par ailleurs l'association a très sensiblement diminué l'intensité du parasitisme interne des ovins par *Haemonchus contortus*, la diminution des OPG² étant très marquée entre le système ovin seul et l'association (Tableau D5).

Ces premiers travaux ont mis en évidence l'intérêt de l'association d'espèces de ruminants pour la production globale. Celle-ci s'expliquant par la diminution du parasitisme et une meilleure alimentation. Mais concernant l'alimentation, les premières conclusions n'étant basées que sur des mesures de biomasse et de composition morphologique, et cet effet doit être clairement mis en évidence. Par ailleurs les effets sur le parasitisme sont encore mal quantifiés, et des effets épidémiologiques ("dilution" de la population de larves infestantes) comme des conséquences d'une meilleure alimentation des animaux associés sur leur niveau de résilience ou de résistance doivent être précisés.

Un travail de thèse a démarré sur ce thème en octobre 2007, avec des caprins associés à des bovins, par S.D'Alexis. Cette thèse a pour objectif d'apprécier l'effet global du pâturage mixte de chevrettes et de génisses, sur les performances des chevrettes, et secondairement des génisses. Ces performances pourront être mises en relation avec l'alimentation (digestibilité, ingestion et composition chimique de l'ingéré et) et le niveau d'infestation parasitaire (OPG, PCV³). Les effets de l'association seront appréciés avec des caprins infestés en association (IA) vs seuls (IS). Mais afin de dissocier l'effet sur l'alimentation de l'effet sur le parasitisme, l'association est testée en parallèle sur des animaux non infestés, en association (NIA) vs seuls (NIS). L'effet spécifique de l'association sur l'alimentation pourra alors être dissocié de l'effet global (comparaison des IA vs IS) et l'impact spécifique sur le parasitisme pourra alors être déduit. Le dispositif mis en place en janvier 2008 comporte les 4 traitements (IA, IS, NIA et NIS), répétés selon des modalités comparables (ration bovins/caprins, charge à l'ha) sur 2 parcelles distinctes, et sera maintenu au moins une année pour tenir compte des effets saison.

², évaluation du niveau d'infestation parasitaire par le nombre d'éléments parasites des fèces (OPG)

³, évaluation du niveau d'infestation parasitaire par l'hématocrite ou "Packed Cell Volume" (PCV), pour les parasites hématophages (*Haemonchus* sp.).

BILAN ET PERSPECTIVES

Nous avons testé quelques modalités de gestion des animaux et nos résultats montrent que celles-ci peuvent influencer l'alimentation, dans certain cas, avec des gains des quantités ingérées digestibles autour de 13-16 % (Tableau D6).

Ces résultats sont à conforter et d'autres modalités de conduite devraient être testées, avec diverses espèces végétales ou animales. Les bovins ont davantage été étudiés et la masse d'informations disponible est nettement plus importante que pour les petits ruminants.

Le choix de l'espèce fourragère produite et les modalités de conduite qui peuvent être définies pour mieux la produire (afin qu'elle soit prélevée et consommée au mieux), peuvent conditionner d'une part le choix de l'espèce de ruminant à mettre au pâturage, et d'autre part les modalités de la conduite des animaux. Aussi les modalités de conduite animale, doivent être recherchées plutôt en amont d'une recherche de la conduite *ad hoc* du fourrage pâturé. Le gain en MOID obtenu par la conduite animale semble plus limité que ceux mesuré en modulant la conduite agronomique de la prairie (Tableau D6).

Néanmoins les données pouvant servir à mieux définir la conduite animale, pour une meilleure compréhension de son impact sur le gain de MOID et les relations Herbe-Animal, pourront être engrangées pour une aide plus efficace à la décision de la conduite animale. Cela est envisageable en collaboration avec les autres programmes développés à l'URZ, dans lesquels des mesures de l'alimentation au pâturage sont en train d'être intégrées. Il s'agit d'une part pour les bovins d'un programme d'adaptation au milieu, où sont comparées des conduites à l'auge et au pâturage, conduit par M.Naves; d'autre part pour les caprins d'un programme de résistance génétique aux strongles gastro-intestinaux, conduit par N.Mandonnet.

E-QUELS SONT LES DETERMINANTS D'UNE BONNE ALIMENTATION AU PATURAGE

Des déterminants de l'alimentation ont été mis en évidence en conditions contrôlées à l'auge, et ces déterminants sont généralement invoqués pour l'alimentation au pâturage. Hormis l'influence de l'espèce animale et des facteurs environnementaux, il s'agit :

- des caractéristiques du fourrage telles que les teneurs en MAT, en particulier celles inférieures au seuil critique de 8 % qui limitent à la fois la digestibilité et l'ingestion (Noller, 1997 ; Moore et al, 1999); les teneurs en NDF (Jung & Allen, 1995 ; Assoumaya et al, 2007) ; les teneurs en nutriments tels que le Phosphore, le Cobalt, le Manganèse ou le Sélénium (Minson & Wilson, 1994); enfin la digestibilité (Ketelaars & Tolkamp, 1992 ; Coleman & Moore, 2003) que l'on peut considérer comme un indicateur de la qualité du fourrage (mesure *in vitro* ou *in sacco* sur le fourrage, en condition standards), ou comme un paramètre plus global de la qualité du régime, tenant compte de la variation liée à l'animal.
- des paramètres liés à l'animal et à sa consommation d'aliments, à savoir des paramètres du comportement alimentaire ou des paramètres ruminiaux comme la cellulolyse dans le rumen ou la réduction physique de taille des particules, qui influencent par ailleurs l'encombrement du fourrage dans le rumen et la capacité d'ingestion de l'animal (Orskov, 1994 ; Bowman et al. 1991 ; Ketelaars et Tolkamp, 1992). Parmi les variables du comportement alimentaire la taille de bouchées et la vitesse d'ingestion ont été beaucoup étudiées en pâturages tempérés (Laca and Ungar, 1992; Cangiano *et al.*, 2002) ou tropicaux (Chacon and Stobbs, 1976; O'Reagain *et al.*, 1996), et connu comme fortement liées à la hauteur du couvert. D'autres paramètres comme le nombre quotidien de mouvements de mâchoire et le temps maximum passé à mastiquer sont aussi des déterminants forts de l'alimentation, en particulier pour des fourrages de faible qualité (Teller, 1993; Laca *et al.*, 1994; Pérez-Barberia and Gordon, 1998). La cellulolyse, responsable de la dégradation chimique du fourrage, peut être limitée par de faibles teneurs en MAT et NDF des fourrages, en particulier avec les fourrages tropicaux (Preston and Leng, 1987 ; Leng, 1990 ; Minson, 1990). La réduction physique de la taille des particules peut être restreinte avec des fourrages nécessitant des temps de mastication mérycique ou ingestive trop importants (McLeod and Minson, 1988). Enfin, l'encombrement du fourrage et la capacité d'ingestion de l'animal, sont des régulateurs majeurs de l'ingestion, le rumen ne pouvant en effet contenir qu'une quantité fixe d'indigestible, atteinte pour des quantités totales ingérées, variables (Jarrige, 1996 ; Baumont et al, 2006).

D'autres déterminants plus spécifiques de l'alimentation au pâturage ont été rapportés dans la bibliographie :

- liés au fourrage, comme la teneur en MS des fourrages (Minson & Wilson, 1994), la biomasse présente, ou la quantité proposée (Combellas et Hodgson, 1979 ; Ernst et al, 1980), l'hétérogénéité et la structure du couvert (Stobbs, 1973, 1975 ; Laca et al, 1992 ; Prache & Peyraud, 1997).
- liés au comportement alimentaire au pâturage, en extérieur, aux temps de déplacement et de sélection du fourrage du ruminant (Hodgson, 1982 ; Arnold, 1981) qui serait selon Moore (1994) un déterminant plus fort de l'ingestion que des contrôles

Figure E1 - Quantités ingérées (g/kg P0.75) à différents âges repousse, en fonction de la teneur en MAT du fourrage proposé

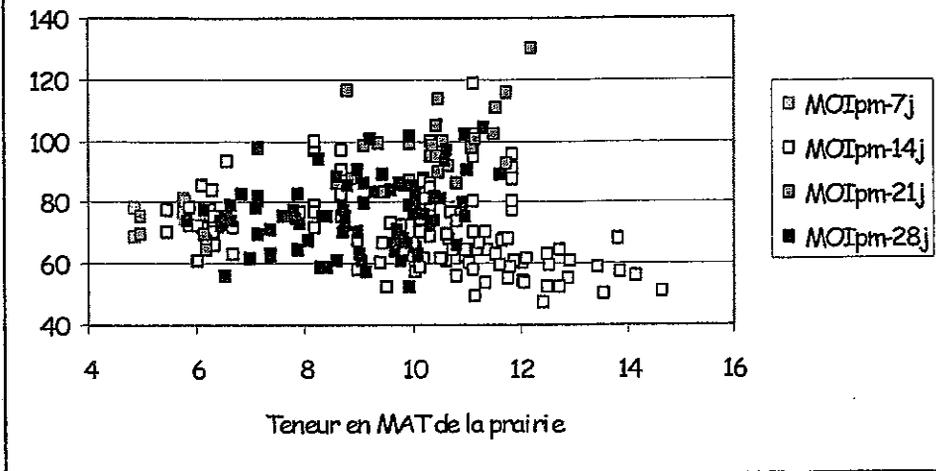


Figure E2 - Evolution de la matière organique ingérée (MOI) et digestible (MODI) en fonction de la teneur en MAT du fourrage proposé, à plus de 3 semaines de repousse

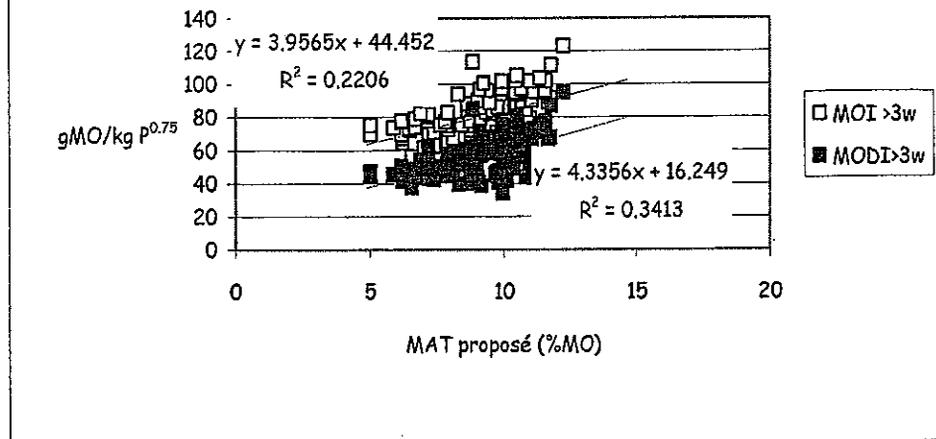
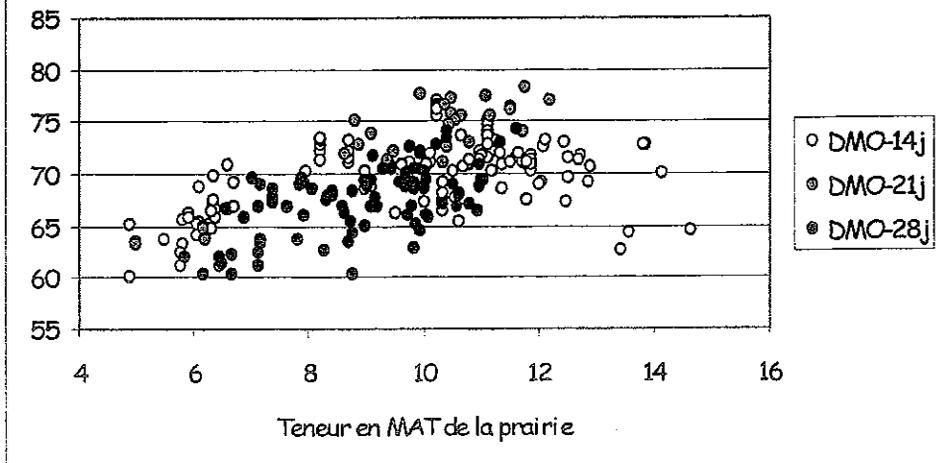


Figure E3 - Evolution de la digestibilité du fourrage pâturé (DMO), à différents âges repousse, en fonction de la teneur en MAT de la prairie



37B

physiques ou métaboliques. Enfin, les différences dento-labiales peuvent expliquer les différences de sélection du fourrage prélevé au pâturage, (Corbett et Frer, 1995).

Cependant il y a souvent confusion dans la bibliographie entre facteurs déterminant l'ingestion et ceux déterminant la digestibilité, tant ces 2 critères sont souvent liés à l'âge. Hors au pâturage nos essais tendent à montrer que les facteurs déterminant l'ingestion ou la digestibilité, ne sont pas forcément les mêmes (cf Chap.C).

PRINCIPAUX RESULTATS - Nous avons abordé l'étude des déterminants l'alimentation de bovins au pâturage, dans un 1^{er} temps, en analysant l'ensemble des données collectées, non plus sous l'angle de l'effet de telle ou telle modalité de gestion du fourrage ou de l'animal, sur l'alimentation, mais en étudiant directement l'évolution de l'ingestion et la digestibilité, en fonction des variations des caractéristiques du couvert, des caractéristiques animales, en particulier le comportement alimentaire, mesurés dans les divers essais réalisés. Nous avons en fait rassemblé l'ensemble des données de tous les essais conduits avec des bovins dans une même base (n=250) ; et nous avons analysé les relations entre les variables alimentaires, celles fourragères, et comportementales, en tâchant d'identifier les variables déterminantes à une bonne alimentation.

C'est en effet la compréhension des mécanismes impliqués à l'interface entre le fourrage et l'animal qui pâture, qui doit aider à proposer des modalités de gestion adéquates, pour optimiser ces relations Fourrage-Animal, et par conséquent l'alimentation au pâturage.

ANALYSE DES FACTEURS LIES AU FOURRAGE, DETERMINANT L'ALIMENTATION AU PATURAGE

LA TENEUR EN MAT DU PROPOSE

Sur l'ensemble des données de la base, la teneur en MAT du fourrage n'a pas eu d'effet significatif sur l'ingestion et la MOID, (Figures E1). Cependant si on considère uniquement les fourrages de plus de 21 jours de repousse (n=122), les effets de la MAT sur l'ingestion ($R^2=0.22$) et la MOID ($R^2=0.34$) deviennent significatifs (Figure E2). En revanche pour les fourrages de 14 semaines de repousse (n=130), l'ingestion et la MOID restent limitées même avec des teneurs en MAT élevées allant même jusqu'à 14%. D'autres paramètres sont alors facteurs limitants de l'ingestion.

C'est surtout la DMO qui est influencée par la teneur en MAT du couvert (Figure E3) et quelque soit l'âge de repousse. Par ailleurs le seuil critique de la MAT de 8%, ne semble pas être un facteur limitant dans nos données. Avec des teneurs en MAT inférieures à 6 %, nous avons en effet mesuré des DMO de 0.64 en moyenne, avec des MOI de 75 g/kg P^{0.75} en moyenne. Quand on réalise une estimation de la teneur en MAT de l'ingéré (à partir de la MAT des fèces et d'une digestibilité moyenne de la MAT de 0.44 à 28 jours, Archimède et al, 2000), elle est en effet toujours supérieure à 7 %. En fait l'animal au pâturage se constitue une ration plus riche en MAT que celle de la prairie, et c'est une composante importante à prendre en compte pour évaluer le potentiel nutritif du fourrage pâturé.

Disposant de calibrations SPIR récentes pour la prédiction de la composition chimique du fourrage ingéré, pour bovins (Boval et al, 2004) et ovins (Fanchone et al, 2007), les estimations de la composition chimique de l'ingéré seront désormais réalisées, afin de vérifier cette hypothèse.

Figure E4 - Evolution de la matière organique ingérée digesteible (MODI) et de la digestibilité de la MO (DMO), en fonction des teneurs en NDF du fourrage proposé au pâturage

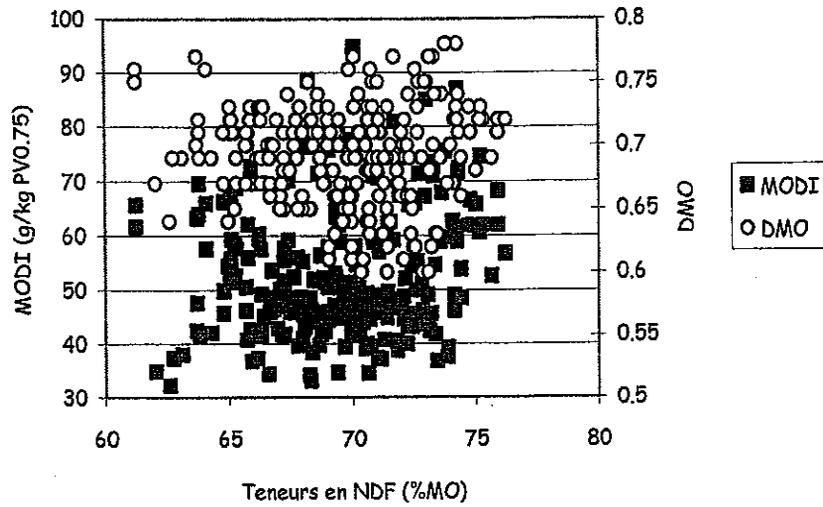


Figure E5 - Evolution de l'ingestion (MOIpm, g/kg P0.75) en fonction de la teneur en MS du fourrage proposé

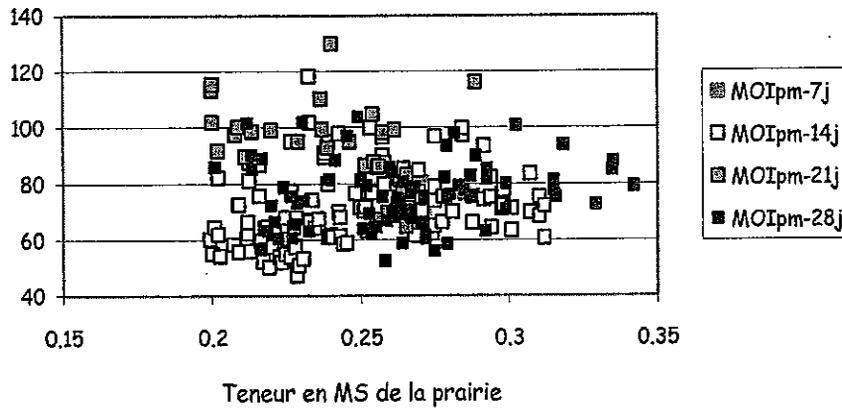
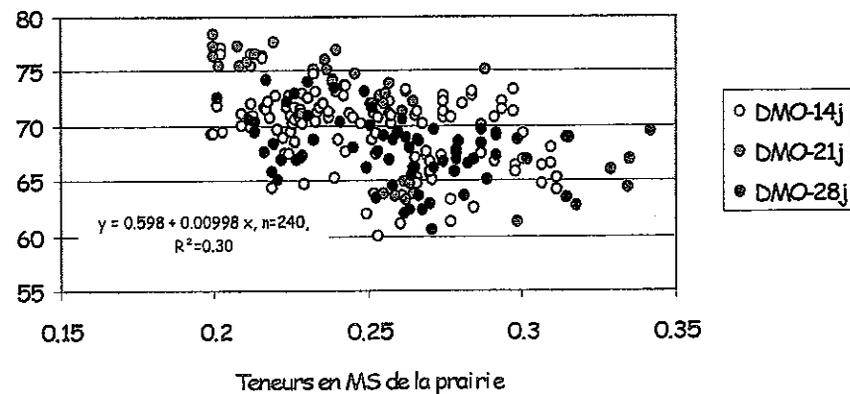


Figure E6 - Evolution de la digestibilité (DMO) du fourrage pâturé, en fonction de la teneur en MS de la prairie



38B

LA TENEUR EN NDF

Dans nos conditions au pâturage, la teneur en NDF du proposé n'a aucun effet ni sur l'ingestion, la digestibilité ou la MOID (Figure E4), quand on considère l'ensemble de la base ou les données mesurées aux différents âges repousse. Cela diffère des relations mises en évidence dans la bibliographie, excepté par Rohweder et al (1978) qui a également trouvé une faible corrélation entre l'ingestion et la teneur en NDF pour des fourrages subtropicaux.

Cela tient vraisemblablement à la mesure de la teneur en NDF du proposé, non adaptées aux conditions de pâturage. La teneur en NDF est en effet mesurée pour la plante entière, sans que soient estimée les teneurs par strate ou type d'organe (parce que trop laborieux) alors qu'elles varient, de même que leur digestibilité (Archimède et al, 1999). Or les animaux pâturent de haut en bas, en consommant des strates ou des organes particuliers, avec en sus une évolution au cours de la période de pâturage. Aussi de par leur comportement sélectif, la teneur en NDF du fourrage consommé au pâturage, est certainement très éloignée de celle du fourrage proposé.

LA TENEUR EN MS

Il a été montré à l'URZ que le fourrage distribué frais (à 18.7 % de MS) à l'âge était mieux consommé et digéré que du fourrage sec (à 73.6 % de MS, Archimède et al, 1999).

Au pâturage dans les différents essais réalisés, la teneur en MS, qui a varié dans nos essais de 17 à 48 %, n'a pas eu d'effet significatif sur l'ingestion, même quand on analyse l'effet de la MS par âge repousse (Figure E5). La gamme de variation de la MS dans notre base est sans doute trop limitée, mais représente une gamme tangible en pâturages tropical.

Sur la digestibilité, l'impact de la MS du fourrage au pâturage est plus net, en particulier à 21 jours de repousse où on observe une baisse de la digestibilité quand la teneur en MS augmente (Figure E6). Il a en effet été montré qu'avec du fourrage frais, l'efficacité de la synthèse protéique par les microbes est plus grande, qu'avec un fourrage sec (Archimède et al, 1999).

LA DIGESTIBILITE DU REGIME

La digestibilité sur l'ensemble de nos données, est peu corrélée à l'ingestion (Figure E7, $MOI=1193.70-3371.21X + 2528 X^2$, $R^2=0.22$, $n=240$). Cela est également vrai intra-essai (Boval et al, 2002, 2007b, cf Chap.C).

A même DMO, la variabilité des MOI est grande. Et avec des DMO relativement faibles de 0.60, des MOI de près de 75 g/kg $P^{0.75}$ ont été mesurées (Figure E7) dans certains essais (effet de la fertilisation cf Chap.C).

La digestibilité *in vitro* de Tilley and Terry (1963, DIV) est également peu corrélée à l'ingestion ($r=0.32$, $P<0.0015$, $n=96$), mais on pouvait s'y attendre, la DIV mesurée sur le fourrage proposé, n'étant pas représentative du fourrage consommé par l'animal. D'ailleurs la prédiction de la DMO à partir de la DIV n'est pas très satisfaisante (Figure E8)

Figure E7 - Evolution de l'ingestion (MOI) en fonction de la digestibilité (DDMO) du fourrage consommé au pâturage

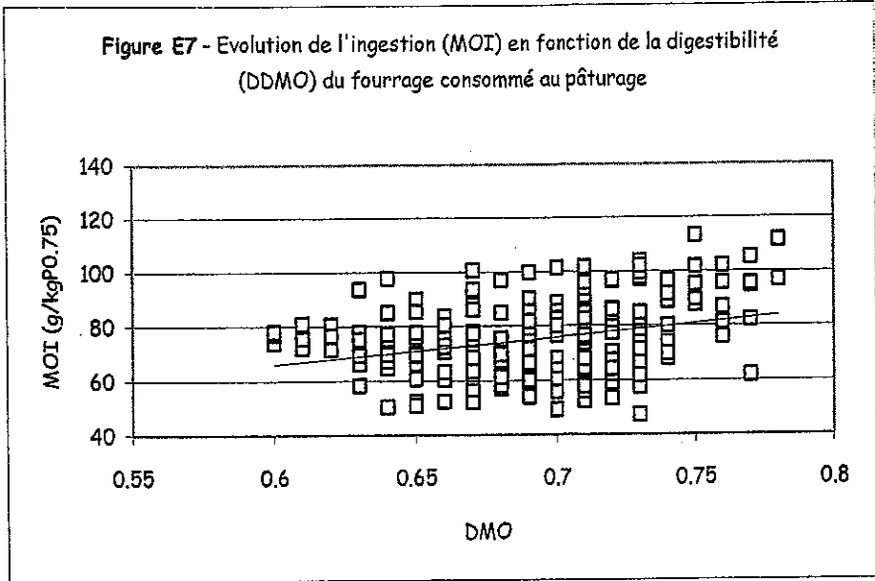


Figure E8 - Evolution de la digestibilité invivo (dMO), en fonction de la digestibilité in vitro (DIV)

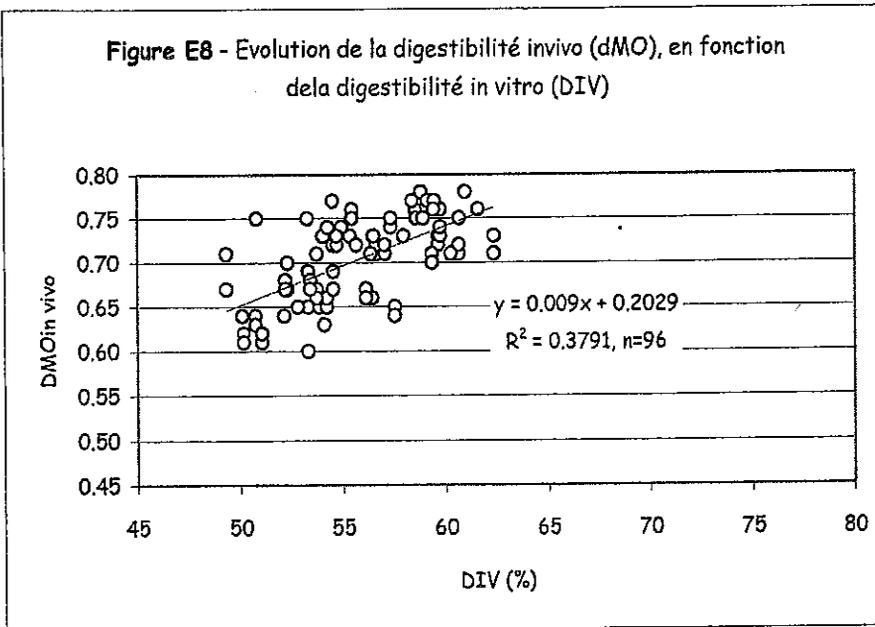
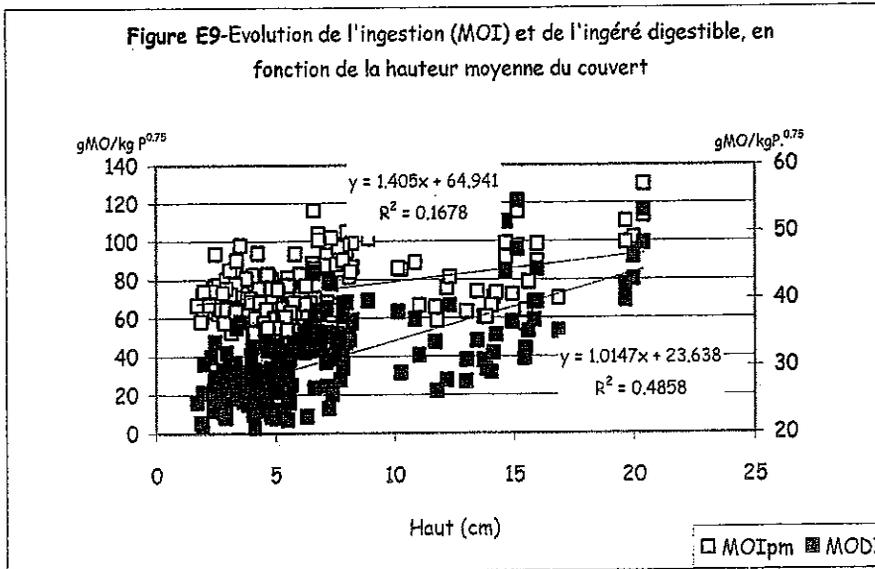


Figure E9 - Evolution de l'ingestion (MOI) et de l'ingéré digestible, en fonction de la hauteur moyenne du couvert



38B

LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU COUVERT

Si on analyse l'effet sur l'ingestion des caractéristiques essentiellement physiques du couvert, les corrélations sont globalement faibles, comme déjà vu sur un plus petit set de données (Boval et 2007a) et au mieux c'est la hauteur moyenne du couvert qui explique le plus de variation de MOID ($R^2=0.48$, $n=200$, Figure E9) et dans une moindre mesure celle de MOI ($R^2=0.16$).

Concernant la digestibilité la fraction de débris est le critère qui considéré seul, explique le plus de variabilité ($y = -19.544x + 74.272$, $R^2 = 0.40$, $n=155$, Figure E10). La Sinon la DMO est liée dans une moindre mesure à la hauteur du couvert ($y=65.95 + 0.42 * \text{Hauteur}$, $R^2=0.21$, $n=200$) ou à des paramètres liés aux feuilles, tels que le ratio feuilles/débris et la biomasse de feuilles ($R^2=0.28$).

Mais l'analyse de l'effet des caractéristiques physiques prises une à une, nous est très vite apparue limitée, tant les caractéristiques sont nombreuses (de 10 à 14 critères mesurés ou calculés) et très corrélées entre elles. Nous avons préféré une approche par type de couvert et en tenant compte des caractéristiques chimiques, elles aussi très corrélées avec celles physiques (Tableau E1). Nous avons alors réalisé une typologie de l'ensemble des caractères descriptifs de la prairie dont nous disposions, afin de les synthétiser et comprendre plus simplement, quel type de couvert détermine quelle alimentation.

INFLUENCE DE QUATRE TYPES DE COUVERTS PRAIRIAUX SUR L'ALIMENTATION

Une ACP réalisé sur 154 données individuelles, suivie d'une typologie a été réalisée avec comme variables explicatives, les caractéristiques du couvert, physiques ou chimiques. La distribution des variables alimentaires (digestibilité, ingestion et ingéré digestible) dans les différents couverts a ensuite été analysée.

Les variables explicatives les plus déterminantes sur les principaux axes (Figure E11) ont été sur l'axe 1 (40.1% de l'inertie totale) des critères essentiellement physiques, liés aux biomasses de tiges, la hauteur et la longueur des tiges, la biomasse de débris et de feuilles ; sur l'axe 2, (20.5 % d'inertie totale), des critères physiques et la MAT ; sur l'axe 3, des critères à la fois physiques et chimiques, à savoir les teneurs en ADF et NDF.

Quatre types de couvert ont été identifiés (Figure E12 et E13), dont le couvert de type 2, assez bas et peu dense (4 cm et 4 kg MS/m³, Figure 13a) à faibles biomasses (1.4t MS/ha, Figure 13b), généré par des âges repoussé de 17j en moyenne et 1.17 UN/j ; ou le couvert de type 4, plus haut (10cm, Figure 13a), à forte biomasse (6t MS/ha, Figure 13b) notamment en tiges (généré à 28 j de repousse, peu fertilisé, 0.41 UN/j de repousse). Parmi ces types de couverts, ceux favorables à la digestibilité du fourrage consommé, n'ont pas toujours été les plus propices à l'ingestion (Figure E14). Ainsi la DMO a été la plus élevée dans les couverts 2 et 4 (69.79 et 69.38) alors que l'ingestion a été maximale dans les couverts 3 et 4 (avec 78.46 et 74.24 g/kg P^{0.75}) ainsi que les MOID (51.09 et 51.64 g/kg P^{0.75}). Les MOID les plus faibles ont été mesurées dans le couvert 2, avec 12 % de moins que le couvert de type 1.

Ces résultats montrent l'importance des caractéristiques physiques du couvert sur la MOID ; ainsi dans le couvert 3, à faible teneur en MAT mais on a mesuré des MOID importantes, équivalentes à celles du couvert 4 avec une teneur en MAT de 10.23. Par

Figure E10 - Evolution de la digestibilité (DMO) avec la fraction de débris dans la prairie

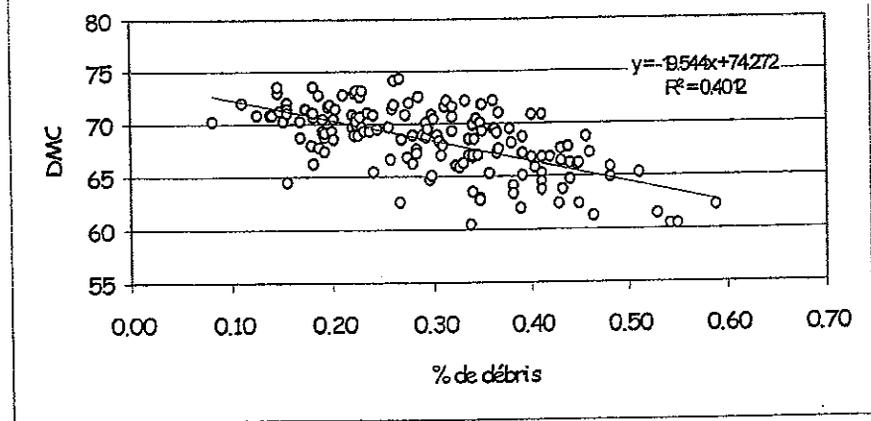


Tableau E1 - Matrice de corrélations entre les caractéristiques chimiques et physiques du couvert prairial

	MAToff	NDFoff	ADFOff	ADLOff	MSOFF	hautav	Igtotoff	feu	biomfeu	nbfeu	Igfeuff	tig	biomtig	Igtigoff	deb	biomdeb
MAToff	1.000	-0.053	0.169	-0.157	-0.559	0.283	0.148	0.181	0.119	0.207	-0.033	-0.193	0.036	0.235	-0.564	-0.17
NDFoff	0.498	1	0.776	0.374	0.001	0.5	0.228	-0.37	0.454	-0.087	0.383	-0.051	0.481	0.305	0.114	0.565
ADFOff	0.4079	0.0001	1	0.665	0.062	0.464	0.271	-0.6	0.324	-0.151	0.321	-0.126	0.475	0.286	0.272	0.666
ADLOff	0.0604	<0.0001	0.776	1	0.139	0.182	0.047	-0.549	0.009	-0.493	0.071	0.037	0.203	0.009	0.62	0.497
MSOFF	0.443	0.967	0.3313	0.665	1	-0.356	-0.3	-0.169	-0.302	-0.245	-0.046	-0.065	-0.272	-0.399	0.545	0.036
hautav	0.283	0.5	0.464	0.182	-0.356	1	0.69	-0.496	0.69	0.113	0.64	0.221	0.903	0.866	-0.086	0.795
Igtotoff	0.148	0.228	0.271	0.047	-0.3	0.69	1	-0.428	0.601	0.357	0.698	0.423	0.864	0.917	-0.108	0.649
feu	0.181	-0.37	-0.6	-0.549	-0.169	-0.496	-0.428	1	-0.064	0.434	-0.389	-0.451	-0.587	-0.369	-0.657	-0.722
biomfeu	0.119	0.454	0.324	0.009	-0.302	0.69	0.601	-0.064	1	0.102	0.741	-0.064	0.679	0.537	-0.309	0.558
nbfeu	0.207	-0.087	-0.151	-0.493	-0.245	0.113	0.357	0.434	0.102	1	-0.013	-0.06	0.004	0.385	-0.59	-0.28
Igfeuff	-0.033	0.383	0.321	0.071	-0.046	0.64	0.698	-0.389	0.741	-0.013	1	0.273	0.728	0.627	0.049	0.676
tig	-0.193	-0.051	-0.126	0.037	-0.065	0.221	0.423	-0.451	-0.064	-0.06	0.273	1	0.482	0.393	0.144	0.135
biomtig	0.036	0.481	0.475	0.203	-0.272	0.903	0.864	-0.587	0.679	0.004	0.728	0.482	1	0.82	0.005	0.791
Igtigoff	0.235	0.305	0.286	0.009	-0.399	0.866	0.917	-0.369	0.537	0.385	0.627	0.393	0.82	1	-0.175	0.578
deb	-0.564	0.114	0.272	0.62	0.545	-0.086	-0.108	-0.657	-0.309	-0.59	0.049	0.144	0.005	-0.175	1	0.444
biomdeb	-0.17	0.565	0.666	0.497	0.036	0.795	0.649	-0.722	0.558	-0.28	0.676	0.135	0.791	0.578	0.444	1

MAToff : teneur en MAT du couvert (% MS) ; NDFoff : teneur en NDF du couvert (% MS) ; ADFOff : teneur en ADF du couvert (% MS) ; ADLOff : teneur en lignine (% MS) ; MSOFF : teneur en MS du couvert ; Hautav : hauteur moyenne du couvert avant pâturage ; Igtotoff : longueur moyenne des tiges étirées du couvert ; Feu : fraction de feuilles dans le couvert (%) ; Biomfeu : biomasse de feuilles (gMS/m²) ; Nbfeu : nombre moyen de feuilles par tige ; Igfeuff : longueur moyenne des feuilles par tige ; Tig : fraction de tiges dans le couvert (%) ; Biomtig : biomasse de tiges (gMS/m²) ; Igtigoff : longueur moyenne des tiges du couvert ; Deb : fraction de débris dans le couvert (%) ; Biomdeb : biomasse de débris (gMS/m²).

408

Figure E11 - Contribution des variables descriptives du couvert prairial, sur les 3 principaux axes de l'Analyse en Composantes Principales

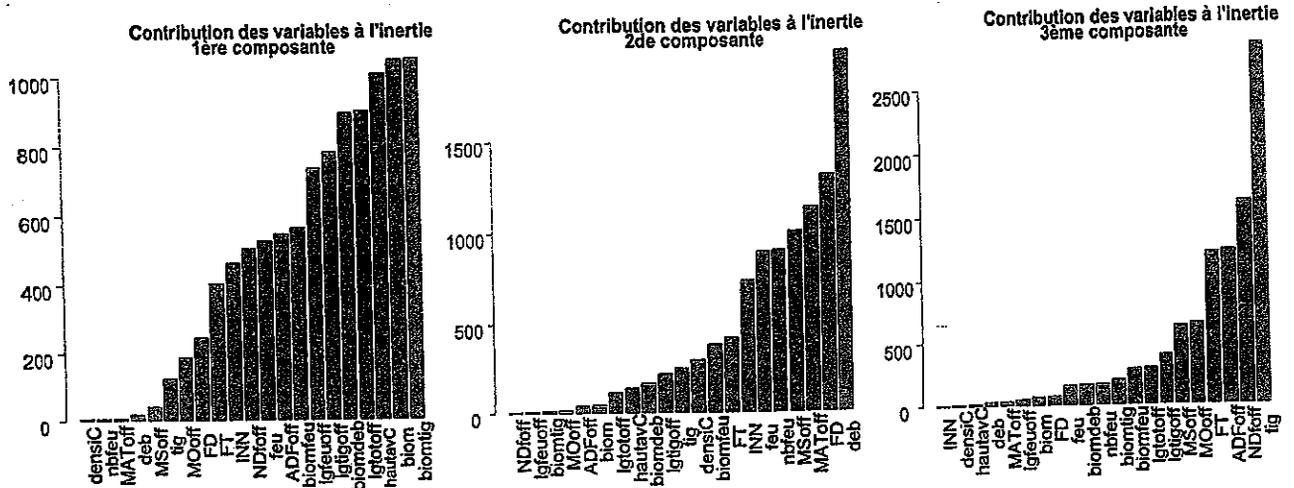


Figure E12 - Projection des données individuelles sur les deux principaux axes de l'Analyse en Composantes Principales, et représentation des 4 classes issues de la classification hiérarchique ascendantes.

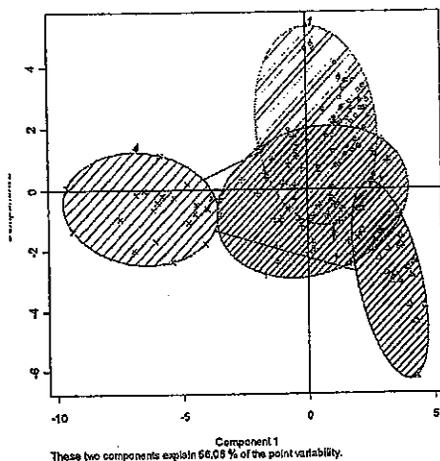


Figure E13a - Caractéristiques physiques du fourrage dans 4 types de couverts prairiaux : longueur moyenne des tiges du couvert (lgtoff, cm tige/talle), longueur cumulée moyennes des feuilles par talle (sumfeu, cm feuille/talle), hauteur moyenne du couvert avant pâturage (hautav) et densité de MS (kg MS/m³)

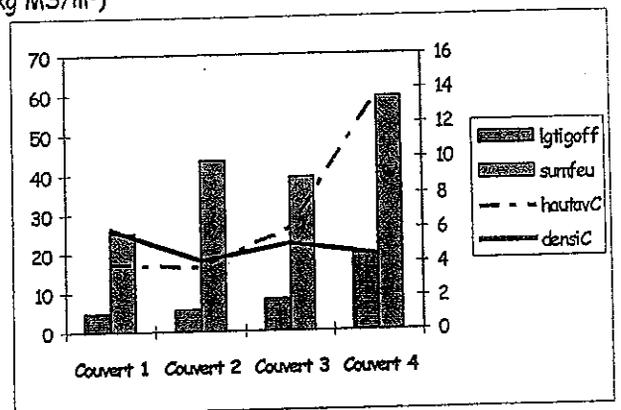


Figure E13b - Biomasses de feuilles (biomfeu, gMS/m²), de tiges (biomtig, gMS/m²) et dé débris (biomdeb, gMS/m²) dans 4 types de couverts prairiaux.

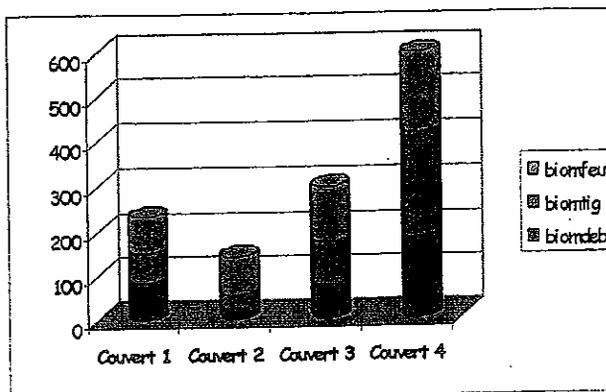


Figure E13c - Composition chimique du fourrage dans 4 types de couverts prairiaux : teneurs en fibres (NDfoff et ADFoff) et teneur en MAT (MAToff).

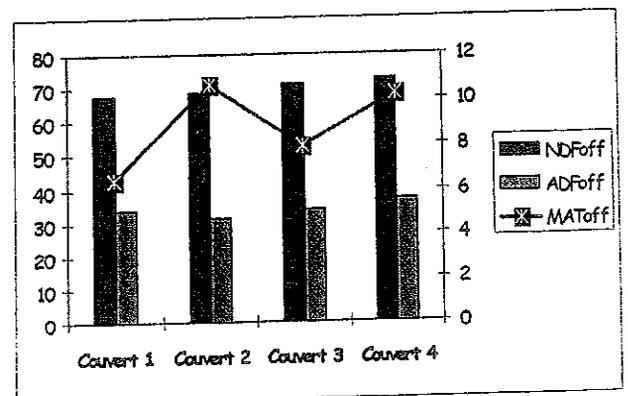
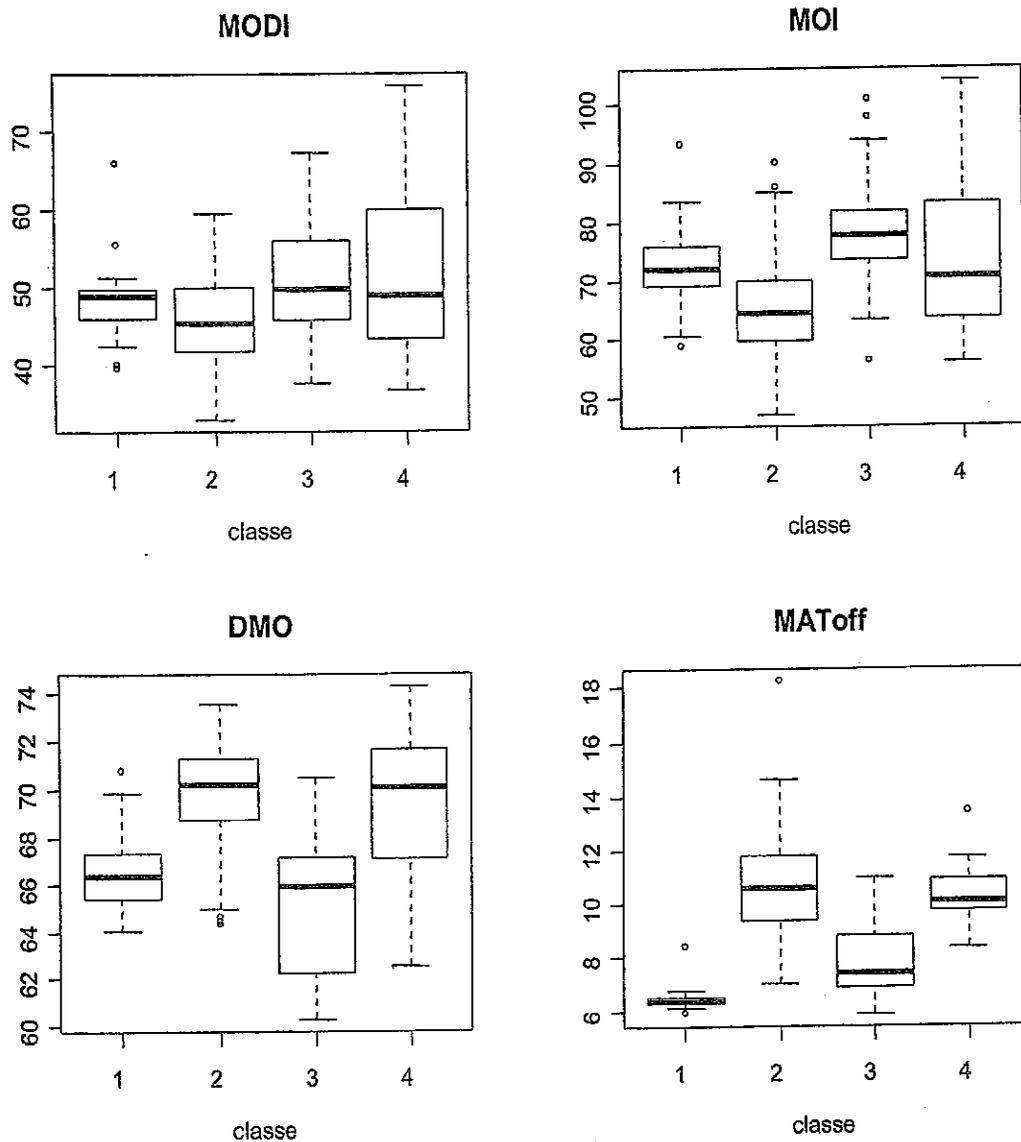


Figure E14 - Valeurs moyennes et écart-type de digestibilité (DMO, %), quantités ingérées (MOI, g MO/kg P0.75) et quantités ingérées digestibles (MOID, g MO/kg P0.75) dans 4 types de couverts



(400)

ailleurs si les couverts très feuillus avec de nombreuses feuilles favorisent la digestibilité, ce n'est pas dans ce type de couvert que l'ingestion est maximisée.

L'approche par type de couvert, au sein desquels interagissent diverses caractéristiques chimiques et morphologiques, permet de mieux identifier des groupes de caractéristiques favorisant la digestibilité (fraction et nombre importants de feuilles, teneur élevée en MAT) et les quantités ingérées (biomasse importante de tiges, talles très étirés, forte teneur en NDF). Cette approche, présente par ailleurs l'avantage d'être plus tangible avec la réalité du pâturage. Nous ne pourrions sans doute pas reproduire exactement les types de couvert générés, mais nous aurons des pistes pour mieux choisir la gestion agronomique à mettre en œuvre pour obtenir tel ou tel couvert fourrager. Reste à trouver des innovations pour générer autrement (à moindres intrants) des couverts prairiaux propices à une quantité ingérée digestible satisfaisante.

FACTEURS ANIMAUX DETERMINANT L'ALIMENTATION AU PATURAGE

LE COMPORTEMENT ALIMENTAIRE

L'analyse sur un nombre plus restreint de données que pour les autres critères (n=45) montre que la vitesse d'ingestion moyenne (g ingéré/min de pâturage), calculée sur la journée, est fortement liée à l'ingestion (Figure E15a). La durée unitaire d'ingestion (min/g ingéré), indicateur comportemental du même type que la vitesse d'ingestion est également bien corrélée à l'ingestion (Figure E15b). En revanche, la durée de pâturage est peu corrélée à l'ingestion ($r=y=109.33 - 0.058 * \text{durée de pâturage}$, $R^2=0.10$, $P<0.03$, $n=45$). Ce serait donc bien le temps passé à se constituer une bouchée qui semble facteur limitant. Dans certains cas, la durée de pâturage peut cependant devenir facteur limitant quand les périodes de pâturage sont trop restreintes (cf D-2). Ca a été le cas quand des génisses mises au pâturage que le jour (11h), ont eu une durée de pâturage et une ingestion réduite de 13% par rapport aux génisses mises au pâturage en continu (Tableau D3, Boval et al, 1996). Quand on exclue du set de données la vitesse d'ingestion et la DUI, c'est la taille de bouchée qui devient facteur limitant de l'ingestion ($y = 0.1403x + 55.691$, $R^2 = 0.34$).

Concernant la digestibilité, c'est également la taille de bouchées qui est la mieux corrélée (Figure E16, Boval et al, 2007), vient ensuite la profondeur de bouchée ($Y=0.633 + 0.008*X$, $R^2=0.43$). En revanche la DUI n'est pas corrélée à la DMO ($r=-0.29$, $P=0.052$).

Si on analyse les relations entre les paramètres du comportement alimentaire qui influencent le plus l'ingestion et la digestibilité (à savoir, la vitesse d'ingestion ou la durée unitaire d'ingestion, la taille ou la profondeur de bouchée) et les caractéristiques fourragères, on retrouve : la fraction de tiges dans le couvert, la longueur des talles ou des tiges. On retrouve aussi la longueur des feuilles qui contrairement au nombre de feuilles, accroît la DUI. Ce serait une caractéristique du fourrage qui favorise vraisemblablement la prise significative et rapide de fourrage. Ces relations sont cohérentes avec l'analyse des types de couvert, où le couvert de type 3, avec des feuilles et des tiges longues, favorise en effet la MOID, même si la DMO est plus faible que dans les autres couverts.

Figure E15a - Evolution de l'ingestion avec la vitesse d'ingestion

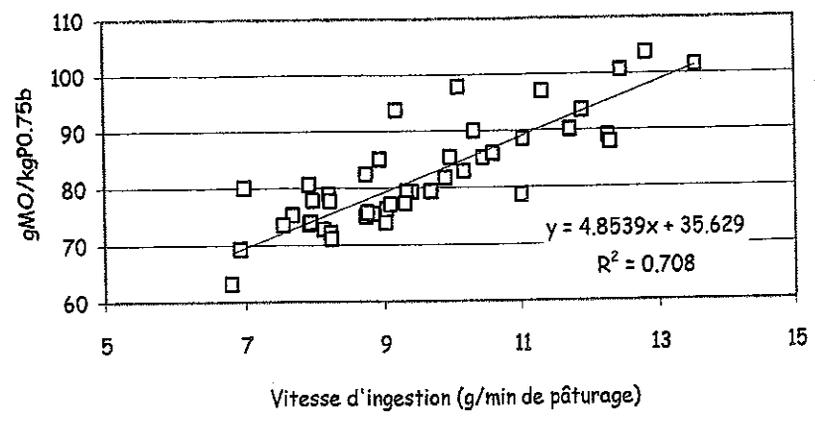


Figure E15b - Evolution de l'ingestion avec les durées unitaires de mastication (DUI)

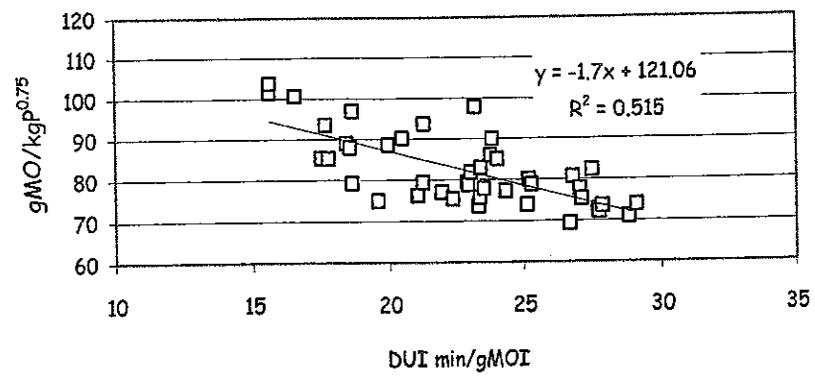
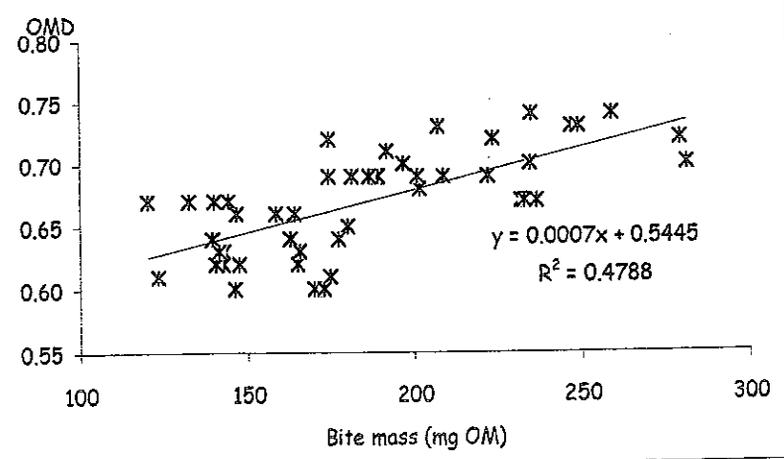


Figure E16 - Evolution de la DMO avec la taille de bouchée



LA CAPACITE CELLULOLYTIQUE DU RUMEN

Le rôle de ce paramètre a surtout été étudié à l'auge, avec des moutons (Archimède et al, 1999, 2000), mais des données ont été obtenues en conditions de pâturage avec des moutons également, dans le cadre de la thèse d'A.Fanchone vont permettre de corroborer les conclusions issues des essais à l'auge, et sont en cours d'analyse.

En nourrissant mieux les microbes, avec du sucre et de l'urée (Archimède, 1999) ou avec des feuilles d'arbres de *Glyricidia sepium* afin de limiter les interactions digestives négatives (Archimède et al, 2001), il n'y a pas eu d'effet sur la digestibilité dans le rumen. L'apport de nutriments aux microbes du rumen a pu provoquer une augmentation de l'activité cellulolytique du rumen (estimée par la dégradabilité *in sacco*) mais sans qu'il y ait eu de répercussions sur l'ingestion et la digestibilité du fourrage.

Par ailleurs, en absence de toute supplémentation, l'efficacité des synthèses microbiennes, (indicateur de l'équilibre énergie - azote de la matière organique dégradée), n'a pas évolué avec l'âge du fourrage (Archimède et al, 2000). Les quantités de bactéries cellulolytiques présentes dans le rumen sont importantes avec des fourrages jeunes (<28 j de repousse). Mais quand le fourrage vieillit, les quantités de bactéries et leur répartition par espèce demeure relativement stable (Eugène et al, 1999) et l'activité cellulolytique du rumen et la dégradabilité *in sacco* de fourrages témoins ne diminuent pas de façon significative

L'ensemble des résultats indique que le potentiel cellulolytique du rumen ne serait pas le premier facteur limitant de la digestion des fourrages tropicaux. Ce potentiel déjà élevé pour des graminées plus jeunes que les fourrages de référence habituellement étudiés, demeure à niveau élevé avec des fourrages plus âgés.

LA VITESSE DE REDUCTION DE TAILLE DES PARTICULES

Comme pour la capacité cellulolytique, les données présentées sont issues d'essais à l'auge, mais des données collectées au pâturage, permettront de compléter la connaissance du rôle de ce paramètre sur l'alimentation au pâturage.

La cinétique de digestion de *Digitaria decumbens* a été étudiée à 4 âges de repousse, 14, 28, 42 et 56 jours (Assoumaya et al, 2007a). La quantité de NDF dans le rumen 12h après le repas, a été plus importante pour les repousses à 42 et 56 jours (662 et 742 g), par rapport aux repousses plus jeunes à 14 et 28 jours (492 et 528g). Cela s'est traduit aux stades plus matures par un accroissement de la quantité de NDF par unité de NDF ingéré (367 et 459 g LP-NDF/kg NDF¹ à 42 et 56 jours), relativement aux stades précoces (184 et 256 g, à 14 et 28 jours) et donc par une accumulation du NDF dans le rumen. La vitesse de passage du NDF, lié au taux de réduction des grosses particules de NDF, a vraiment été le principal déterminant de l'ingestion de MS ($r^2=0.66$).

Mais dans cette étude, la réduction de taille des particules liée à la rumination ou à la cellulolyse, ont été très corrélées. Aussi l'étude n'a pas permis de mettre en évidence clairement le rôle déterminant de la réduction physique de la taille des particules par la mastication. Des études complémentaires avec des fourrages de qualité comparable mais avec des granulométries variables sont nécessaires.

¹ g LP-NDF/kg NDF : g de larges particules dans le NDF, par kg de NDF ingéré

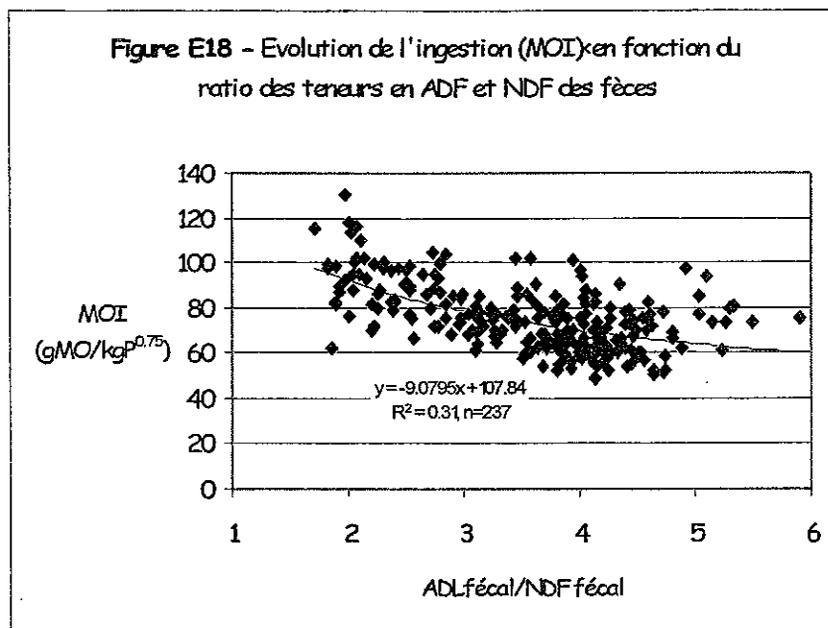
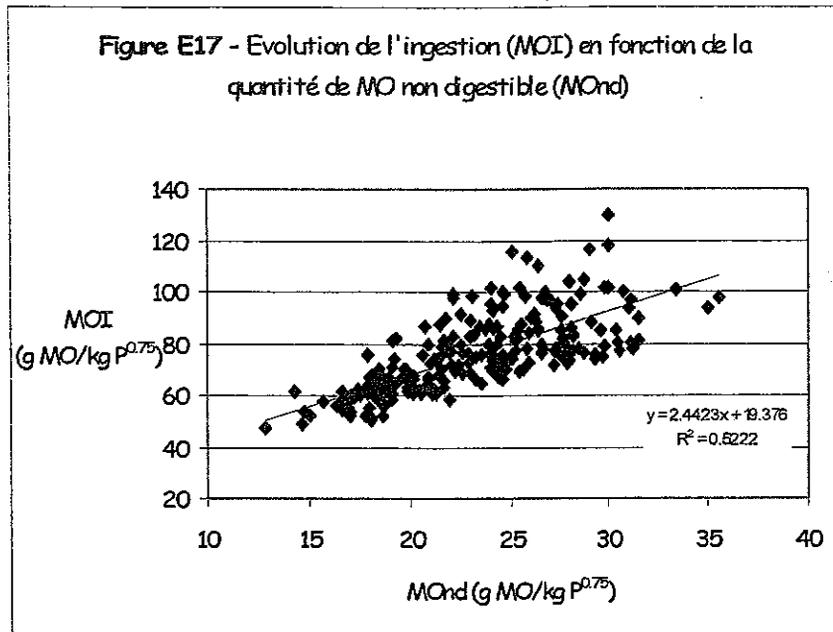


Tableau E2 : In vivo organic matter digestibility (OMD) measured in stall and estimated for stall-fed or grazing animals by fecal crude protein (CPF), near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) or in sacco degradability measured after 48 h rumen incubation (Deg 48-h)

Item	21		35		SEM	Statistical analysis ^a
	Stall	Grazing	Stall	Grazing		
Fecal output, g OM / kg LW ^{0.75}	26.15	23.05	24.69	20.16	2.82	S*, W**
OMD _{CPF} , %	69.9	71.2	68.0	69.9	1.00	S**, W**
OMI _{CPF} g/kg LW ^{0.75}	78.41 ^w	71.66 ^w	69.24 ^{wx}	58.78 ^x	9.97	S**, W*
DOMI _{CPF} g/kg LW ^{0.75}	54.88 ^w	51.09 ^w	47.18 ^x	41.05 ^x	7.27	S**, W*

^a From an analysis of variance with a general linear model including the effects of regrowth stage (S), way of feeding (W) and interaction. Statistical significance: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, NS = Non significant.

^{w,xy} In a row, for each main effect, means without a common superscript letter differ ($P < 0.05$).

42B

Lors de 2 de nos différents essais, testant des niveaux de fertilisation (cf C-3-1, Boval et al, 2002) et de disponible fourrager (cf Chap D, Boval et al, 2000), l'encombrement du rumen était apparu le facteur déterminant le plus probable de l'alimentation. Dans un autre essai, où nous avons testé les stades de repousse (cf Chap C, Boval et al, 2007b) l'encombrement n'a pas été le 1^{er} facteur limitant l'ingestion, la MOND était de 17.8 g donc relativement faible et donc n'a pas pu limiter l'ingestion.

Sur l'ensemble des données de la base, nous retrouvons une forte corrélation entre l'ingestion et la quantité de MO non digestible (MOND ou MO fécale, Figure E17), mais l'ingestion augmente avec la MOND, ce qui semble indiquer que ce critère n'est pas bien représentatif de l'indigestible. Quand on considère le ratio des teneurs en ADL et en NDF fécal ($qADLfec/qNDFfec$) comme indicateur de l'encombrement, il y a une baisse significative de l'ingestion avec ce paramètre (Figure E18) laissant préjuger que l'encombrement est réellement un facteur déterminant au pâturage.

D'après les travaux conduits à l'auge ce serait davantage la réduction physique de la taille des particules (par la mastication mérycique et ingestive) qui serait le premier facteur déterminant l'encombrement du fourrage et la capacité d'ingestion des animaux. D'autres indicateurs de l'encombrement du rumen, lié aux quantités de NDF mesurés dans le rumen, sont à rechercher dans des bases de données constituées à l'auge, afin de mieux analyser le rôle de ce paramètre sur l'alimentation au pâturage.

L'analyse préliminaire de ces facteurs « animaux » doit se poursuivre au pâturage, en particulier le comportement alimentaire qui doit différer des mécanismes connus à l'auge, en particulier ceux influençant la préhension (du fait de la disposition sur pied du fourrage). Ce comportement détermine les temps de préhension et de mastication, influençant eux-mêmes la réduction de tailles des particules et l'encombrement du fourrage. Par ailleurs le comportement alimentaire répond bien aux caractéristiques du fourrage qui influencent la qualité de ce qui est prélevé et consommé, agissant de fait sur la cellulolyse. Par ailleurs l'ingestion semble davantage influencée par le comportement alimentaire que par les caractéristiques fourragères (la MAT, la MS et la fraction de débris, davantage liés à la digestibilité, qu'à l'ingestion, avec des $R^2 > 0.40$). Mais cela doit être vérifié avec des mesures du comportement indépendantes de l'ingestion.

Pour mieux situer le déterminisme de l'alimentation au pâturage par rapport à celui à l'auge, où les mécanismes sont bien mieux connus, une thèse a démarré en 2006 sur la comparaison de l'alimentation à l'auge et au pâturage, d'un même fourrage conduits selon des modalités identiques.

DETERMINISME SPECIFIQUE DE L'ALIMENTATION AU PATURAGE PAR RAPPORT A L'AUGE ?

Dans le cadre de la thèse d'A.Fanchone, une même parcelle de Pangola a été pour moitié fauché et distribué à 10 béliers à l'auge, et pour moitié directement pâturé sur pied par 10 autres béliers, conduits à l'attache. Par ailleurs afin de tester les différences entre ces 2 modes d'alimentation dans diverses situations, les béliers ont consommé à l'auge comme au pâturage, soit du fourrage à 21 jours de repousse ou à 35 jours de repousse (5 béliers/milieu d'alimentation et par âge repousse, Fanchone et al, 2008).

Des différences de digestibilité et d'ingestion existent entre l'alimentation à l'auge et au pâturage. La digestibilité au pâturage est globalement légèrement plus élevée, étant 1.02 celle de l'auge (Tableau E2), alors que l'ingestion et la MOID y sont significativement plus faibles, représentant 0.9 celle de l'auge (Tableau E2). Les différences entre l'auge et le pâturage sont plus grandes avec le fourrage à 35 jours, qu'avec celui à 21 jours.

Les différences de digestibilité s'expliquent par la qualité de ce qui est prélevé au pâturage, par rapport à l'auge, cohérent avec la capacité de sélection du fourrage au pâturage. Les différences d'ingestion s'expliqueraient par la préhensibilité plus faible du fourrage au pâturage. Le fourrage proposé à l'auge est en effet plus de 3 fois plus dense (9.6 vs 2.6 kg MS/m³) et ce critère est corrélée positivement à l'ingestion ($r=0.76$, $P<0.001$).

L'analyse des facteurs explicatifs des différences observées liées au comportement alimentaire et aux dynamiques digestives, avec des animaux canulés du rumen est en cours et devrait contribuer à mieux comprendre le déterminisme des différences d'alimentation entre l'auge et le pâturage.

BILAN & PERSPECTIVES

Au stade actuel de l'analyse, l'effet des déterminants de l'alimentation, d'ordre fourragers pris un à un ou considérées globalement au sein des différents types de couvert, laisse à penser que les caractéristiques physiques sont aussi importantes que celles chimiques et que celles favorables à la digestibilité ne favorisent pas forcément l'ingestion. Cela signifie qu'il faille trouver un compromis entre les caractéristiques qui influencent l'ingestion et la digestibilité. En effet le fourrage favorable à la digestibilité est plutôt feuillu, riche en MAT, hors ce type de fourrage ne correspond pas forcément à une quantité de MS ingérée importante ; la masse linéique (gMS/cm) d'une feuille est en effet plus réduite que celle d'une tige et donc la contribution à la quantité de MS globale ingérée ne peut avoir le même poids. Il faudrait pouvoir comparer l'alimentation de fourrages contrastés sur la base des biomasses (de tiges) riches en fibres, mais ayant des teneurs variables en MAT. De tels fourrages faciliteraient sans doute la prise importante de MS. Plus que raisonner fraction de feuilles et tiges, il faudrait sans doute mieux raisonner différents types de feuilles ou de tiges, qui soient plus ou moins préhensibles et de plus ou moins bonne valeur nutritive.

Enfin il apparaît que dans la gamme des caractéristiques fourragères que nous avons étudié, la digestibilité est plus sensible aux caractéristiques fourragères que ne l'est l'ingestion. Celle-ci semble davantage influencé par le comportement alimentaire, qui lui-même est liée aux caractéristiques du couvert. Cela est dû au fait que la qualité du régime sélectionné par les animaux au pâturage est déterminée par le choix du fourrage disponible et la sélection exercée par l'animal. Ainsi, tandis que les caractéristiques du couvert déterminent des caractéristiques de bouchée ceci ne signifie pas que ces caractéristiques de couvert influenceront au même degré l'ingestion et les MOID. Les animaux régulent en effet leurs quantités ingérées tout au long de la journée par une élasticité des divers paramètres du comportement alimentaire. Entre la bouchée individuelle et la prise quotidienne, il y a beaucoup de paramètres intermédiaires qui expliquent pourquoi, si la hauteur est un paramètre important pour la bouchée, il n'en va pas de même pour OMI et

MOID. Il faudrait pouvoir analyser dans le temps l'évolution au cours de la journée, de la quantité et de la qualité des bouchées, dont résulte l'ingestion quotidienne et la digestibilité moyenne de la ration. Mais cela demande un dispositif lourd à mettre en place.

Parmi les facteurs animaux, la cellulolyse et la dégradation physique des particules influencent lors des études à l'auge, à la fois la digestibilité et l'ingestion, les 2 paramètres étant liés et conditionnent la vitesse de vidange du rumen qui est le moteur. Dans le cadre des essais au pâturage (les travaux d'A.Fanchone avec des animaux canulés) il conviendra d'établir les relations entre cellulolyse et dégradation physique d'une part, avec les caractéristiques du couvert et le comportement alimentaire d'autre part.

Des analyses complémentaires sont encore nécessaires et devraient permettre de mieux distinguer les déterminants de la préhensibilité par unité de temps, spécifiques du pâturage, (fortement liées à la structure du couvert) et les déterminants de la ration consommée qui modifie le fonctionnement du rumen (critères davantage chimiques, déterminant la cellulolyse, mais également physique, déterminant la réduction physique dans le rumen). Il faudrait par ailleurs arriver à clairement identifier la part de la contribution de la digestibilité et de l'ingestion, aux quantités ingérées digérées, dans diverses situations. Il faut en effet affiner la mise en évidence des déterminants majeurs, qu'ils soient isolés ou fortement liés à d'autres déterminants mineurs. Il surtout à hiérarchiser ces déterminants, identifier la gamme de situation pour lesquelles ils sont efficaces, et les seuils au-delà desquels d'autres déterminants prennent le relais.

L'importance des caractéristiques du couvert sur l'alimentation, autres que la seule composition chimique souligne l'importance de la marge de progrès à réaliser pour améliorer l'alimentation, par une meilleure gestion du fourrage.

F-EN CONCLUSION, COMMENT MIEUX ALIMENTER AU PATURAGE LES RUMINANTS EN ZONE TROPICALE ?

L'amélioration de l'alimentation des ruminants des zones tropicales, à base de fourrages pâturés est possible et il existe réellement une marge de manœuvre que l'on peut exploiter, par le choix des espèces à faire pâturer, et par le choix approprié de leur gestion, enfin par la conduite animale, afin de proposer un fourrage qui soit consommé au mieux.

Nous mesurons en effet des gains de matières organiques ingérées et digérées (MOID) de 13 à 21 % dans les divers essais réalisés et sur l'ensemble de la base de données que nous avons constitué, nous mesurons des variations de MOID de 27 à 56 g MO/kg P^{0.75}, soit du simple au double.

Nous avons montré que les fourrages tropicaux indigènes peuvent constituer de très bons aliments pour le bétail, avec des digestibilités pouvant atteindre 0.76 (cf chap.C). Les fourrages tropicaux ont la réputation d'être de faible valeur nutritive, mais ils sont généralement évalués dans des conditions différentes de celles où ils sont le plus souvent exploités.

Avec des modalités de gestion adaptées, il est possible d'améliorer la valorisation des fourrages tropicaux indigènes pour l'alimentation animale. Dans les années 60-80, c'est davantage le choix et la sélection d'espèces fourragères qui a prévalu, sur des critères agronomiques et de valeur alimentaire évaluée à l'auge. Mais nos données montrent qu'il peut y avoir autant de variabilité de la quantité ingérée et digérée entre conduites différentes d'une même espèce fourragère, qu'entre espèces fourragères. Par exemple, faire pâturer le fourrage à un stade plus précoce que ceux classiquement adoptés (plus de 35 j), permet d'atteindre un bon compromis entre biomasse produite et qualité du fourrage, optimisant les quantités ingérées et digérées par l'animal.

La conduite appropriée des animaux peut également contribuer à accroître l'alimentation au pâturage. Le choix des périodes de pâturage, des surfaces à faire pâturer et donc de quantités proposées non limitatives ; enfin, l'association de ruminants ayant des stratégies alimentaires différentes, peuvent constituer des moyens simples et efficaces pour améliorer l'exploitation du fourrage par les animaux.

Le choix des modalités de gestion agronomique ou de gestion des animaux doit s'appuyer autant que possible sur les critères déterminant l'alimentation au pâturage, que nous avons commencé à identifier (cf chap E). Ainsi rechercher l'optimisation de la digestibilité n'est pas forcément la meilleure voie pour une meilleure alimentation. Les couverts très digestibles ne sont pas inévitablement ceux permettant les plus fortes ingestions et quantités de MOID, qui traduisent mieux l'apport en nutriments. Il semble que pour accroître les MOID, il faille davantage produire des fourrages facilitant la prise rapide et importante de MS (davantage déterminés par des critères physiques) dans des temps unitaires limités. Accroître les MOID, c'est aussi davantage chercher à accroître l'ingestion plutôt que la digestibilité de la ration prélevée.

Mieux gérer les fourrages pour qu'ils soient consommés au mieux au pâturage, c'est pouvoir disposer d'outils de mesure pour mieux évaluer le potentiel réel de certains

couverts, qui sur la seule base de la composition chimique, auraient été jugés de faible valeur nutritive. Les méthodes de mesure testées et les équations mises au point au cours de ces travaux, aussi bien pour des bovins que pour des petits ruminants, ont réellement permis de mesurer l'alimentation, par individu et en vraie situation de pâturage. Ces méthodes sont encore perfectibles, et les progrès attendus, vont permettre d'amplifier encore les études analytiques des relations Herbe-Animal, voire fournir des éléments pour la sélection de fourrages et d'animaux adaptés au pâturage.

G-PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Ainsi une accumulation significative des connaissances existe à l'URZ pour améliorer la production animale en zone tropicale, tant pour la compréhension des mécanismes, la proposition d'alternatives efficaces, que sur l'acquisition de méthodes. Ces avancées ont été possibles grâce à un cadre très favorable et pluridisciplinaire, où les avancées de chaque groupe de recherche, contribuent à élargir le champ de compréhension de tous les autres.

D'autres études conduites à l'URZ fournissent d'autres pistes pour améliorer l'alimentation en zone tropicale. Des stratégies de valorisation de la biomasse fibreuse ont ainsi été développées à l'URZ, à savoir la défaunation du rumen, la complémentation, la supplémentation à base de résidus de culture, et des projets sont en cours sur la microbiologie et les biotechnologies du rumen (A. Archimède). L'étude de systèmes de pâturage novateurs est en cours, dans les espaces agro-forestiers, le pâturage en avant, des systèmes de production polyculture-élevage (G. Alexandre, E. Gonzales, M. Mahieu).

Pour l'alimentation au pâturage, des perspectives de recherches existent pour chacune des orientations prises au cours des travaux déjà réalisés. Elles sont présentées dans les différents chapitres, B, C, D, et constituent des prolongements au travail déjà réalisé, nécessaires pour conforter les premiers résultats pour d'autres systèmes de conduite, d'autres espèces fourragères ou animales.

Il s'agit, outre les investigations méthodologiques à poursuivre, de tester d'autres modalités de **gestion agronomiques** (Chap B), avec d'autres modèles fourragers ou types de prairies, adaptées aux graminées en C4. Concernant la **conduite animale** (Chap C), elle doit d'abord être raisonnée en fonction de l'espèce fourragère pâturée et de l'espèce animale qui pâture. L'évaluation d'autres conduites animales est envisageable au sein de programmes développées à l'URZ (par G. Alexandre, N. Mandonnet, M. Naves et M. Mahieu) ayant des objectifs de recherche pour la qualité des produits, la génétique ou le parasitisme, et où la mesure de l'alimentation au pâturage est progressivement intégrée, constituant un plus dans ces programmes (consommation résiduelle et sélection, interaction résistance génétique et alimentation).

L'analyse de l'ensemble des données, initiée pour une meilleure compréhension du **déterminisme de l'alimentation** (Chap E), doit orienter le choix des travaux à poursuivre. La compréhension des facteurs déterminants la préhensibilité ou la digestibilité de la ration, permettront en effet de mieux cibler les conduites à tester, ou les modèles fourragers à étudier, favorisant les quantités ingérées et digérées. Une approche modélisatrice a été initiée à partir de données à l'auge (par A. Archimède), et une telle approche, adaptée au pâturage, aidera à dégager un schéma de compréhension global des facteurs limitant l'alimentation animale. Par ailleurs les bases de données déjà disponibles pourront être incrémentées avec les autres expérimentations conduites au pâturage à l'URZ, dans le cadre de programmes de recherche en parasitologie ou génétique.

Tout en complétant les recherches sur l'alimentation, je souhaite progressivement m'attacher à l'étude de la durabilité des systèmes pâturés et à leur multifonctionnalité. Ces systèmes ont selon mon analyse, un rôle non négligeable à jouer dans l'agriculture de demain :

rôle social (1 milliard de paysans vivent de l'élevage au pâturage dans le monde), frein à la perte de biodiversité (si le surpâturage dégrade, l'absence de pâturage réduit la biodiversité, favorisant les espèces invasives incontrôlables).

La prairie a d'une part une fonction alimentaire qui peut être intensifiée raisonnablement, par des choix de conduite adaptés à la ressource. Cela passe par la maîtrise et donc l'évaluation de l'impact du pâturage et de la consommation des animaux, sur la reconstitution de la biomasse qui sera ultérieurement pâturée.

La prairie a d'autre part un rôle environnemental à jouer, ne serait-ce que par l'entretien de surfaces inexploitable pour d'autres productions. La prairie contribue à la séquestration du carbone et constitue un puit non négligeable dans le cadre de systèmes de production plus efficaces et moins polluants (Soussana et al, 2007 ; Soussana et Lusher, 2007). Ainsi il convient d'évaluer divers systèmes d'alimentation au pâturage pour évaluer de façon plus globale que d'un strict point de vue alimentaire, leur efficacité globale. Dans ce cadre là, la disponibilité d'outils de mesure de l'alimentation, utilisables au pâturage, lève un frein important à l'évaluation de systèmes de pâturages divers (Shepperd et al, 2007).

L'étude de la prairie pour ces deux fonctions, va impliquer de mesurer d'une part l'impact du pâturage sur la repousse du fourrage et la reconstitution de celle-ci, pour un usage alimentaire ; et d'autre part l'évolution de la composition botanique, la compaction du sol, les émissions de gaz à effet de serre, et leur séquestration. Une telle approche va impliquer la prise en compte de variables agronomiques complémentaires, de nouveaux indicateurs des diverses sources d'azote, des émissions et de stockage de carbone, à combiner avec les mesures que l'on maîtrise déjà quant à l'alimentation au pâturage.

Ainsi je souhaite impulser une nouvelle dynamique sur une approche multifonction de la prairie pâturée au sein de l'URZ, tout en prolongeant certains travaux sur l'alimentation au pâturage. Il faut d'une part s'appuyer sur la mutualisation des dispositifs telle qu'elle existe déjà à l'URZ et intensifier l'encadrement de nouveaux thésards. Dans le même temps nos collaborations se renforcent avec les autres unités du CRAG, notamment l'APC (2 projets de recherche ont été soumis à nos départements respectifs) et d'autres collaborations sont envisagées au sein du département « Ecologie des forêts, prairies et milieux aquatiques ». Par ailleurs nos collaborations extérieures se mettent en place (Belgique, Italie, Australie, Ecosse...) et nous avons initié diverses actions pour la soumission de projets de financements européens, sur le Centre et avec la Daresse.

Références citées dans le texte

- Adjei, M.B., Misley, P., Ward, C.Y., 1980, Response of tropical grasses to stocking rate *Agronomy Journal* 72, 863-868.
- Aldden, W.G., Whittaker, A.M.C., 1970, The determinants of herbage intake by grazing sheep: the interrelationships of factors influencing herbage intake and availability. *Australian Journal of Agricultural Research* 21, 755-766.
- Alexandre, G., Aumont, G., Mainaud, J.C., Fleury, J., Naves, M., 1999, Productive performances of Guadeloupean Creole goats during the suckling period. *Small Ruminant Research* 34, 155-160.
- Alexandre, G., Aumont, G., Mandonnet, N., Fleury, J. 1997. Creole goat performances and main constraints in Guadeloupe. In "XV Reunion ALPA", Arch. Latinoanim. Prod. Anim." (Maracaibo (Venezuela)), pp. 527-529.
- Archimede, H., Pellonde, P., Despois, P., Etienne, T., Alexandre, G., 2008, Growth performances and carcass traits of Ovin Martinik lambs fed various ratios of tropical forage to concentrate under intensive conditions. *Small Ruminant Research* 75, 162-170.
- Arnold, G.W., 1981, Grazing behaviour, In: Morley, F.H.W. (Ed.) *World Animal Science*, B1. I. Grazing animals
- Assoumaya, C., Sauvart, D., Archimede, H., 2007, Comparative study of intake and digestion of tropical and temperate forages. *INRA Productions Animales* 20, 383-392.
- Aumont, G., Caudron, I., Saminadin, G., Xande, A., 1995, Sources of variation in nutritive values of tropical forages from the Caribbean. *Animal Feed Science and Technology* 51, 1-13.
- Aumont, G., Pouillot, R., Simon, R., Hostache, G., Varo, H., Barre, N., 1997, Digestive parasitism of small ruminants in the French West Indies. *Productions Animales* 10, 79-89.
- Ayantunde, A.A., Fernandez-Rivera, S., Hiernaux, P.H.Y., Keulen, H.v., Udo, H.M.J., Chanono, M., 2001, Effect of timing and duration of grazing of growing cattle in the West African Sahel on diet selection, faecal output, eating time, forage intake and live-weight changes. *Animal Science* 72, 117-128.
- Baumont, R., Cohen-Salmon, D., Prache, S., Sauvart, D., 2004, A mechanistic model of intake and grazing behaviour in sheep integrating sward architecture and animal decisions. *Animal Feed Science and Technology* 112, 5-28.
- Bechet, G., 1978, Recording feeding activity and rumination in grazing sheep. *Annales de Zootechnie* 27, 107-113.
- Bennett, D., Morley, F.H.W., Clark, K.W., Dudzinski, M.L., 1970, The effect of grazing cattle and sheep together. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 10, 694-709.
- Bouwman, A.F., van der Hoek, K.W., Eickhout, B., Soenario, I., 2005, Exploring changes in world ruminant production systems. *Agricultural Systems* 84, 121-153.
- Bowman, J.G., Hunt, C.W., Kerley, M.S., Paterson, J.A. 1991. Effects of grass maturity and legume substitution on large particle size reduction and small particle flow from the rumen of cattle, pp. 369-378.
- Bray, R.A., Hutton, E.M., 1976, Plant breeding and genetics, In: *Tropical Pasture Research. Principle and Methods. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops*, pp. 338-353.
- Brelin, B., 1979, Mixed grazing with sheep and cattle compared with single grazing. *Swedish Journal of Agricultural Research* 9, 113-120.
- Brisson, N., 2004, Special issue: Crop model STICS (simulateur multIdisciplinaire pour les cultures standard). *Agronomie* 24, 293-293.
- Burns, J.C., Sollenberger, L.E. 2002. *Grazing Behavior of Ruminants and Daily Performance from Warm-Season Grasses*, pp. 873-881.

- Cangiano, C.A., Galli, J.R., Pece, M.A., Dichio, L., Rozsypalek, S.H., 2002, Effect of liveweight and pasture height on cattle bite dimensions during progressive defoliation. *Australian Journal of Agricultural Research* 53, 541-549.
- Chacon, E., Stobbs, T.H., 1976, Influence of Progressive Defoliation of a Grass Sward on Eating Behavior of Cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* 27, 709-727.
- Chenost, M., 1971. Pangola grass and intensive animal production in a tropical humid climate. [French]. In: Conference on the intensive management of forage production in the humid tropics and its utilization by ruminants (24-29 May 1971), pp. 52-59.
- Chilibroste, P., Gibb, M., Tamminga, S., 2005, Pasture characteristics and animal performance, In: Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. pp. 681-706.
- CIAT, 1985. Evaluación de pasturas con animales. In: Memorias de una reunión de trabajo, Cali, Colombia.
- Coates, D.B., Dixon, R.M., 2007, Faecal near infrared reflectance spectroscopy (FNIRS) measurements of non-grass proportions in the diet of cattle grazing tropical rangelands. *Rangeland Journal* 29, 51-63.
- Coleman, S.W., 2005. Predicting forage intake by grazing ruminants. In: 16th Ruminant Nutrition Symposium, Gainesville, Florida, 1-2 February, 2005, pp. 72-89. <Go to ISI>://CABI:20023139753
- Coleman, S.W., Moore, J.E., 2003, Feed quality and animal performance. *Field Crops Research* 84, 17-29.
- Combellas, J., Hodgson, J., 1979, Herbage Intake and Milk-Production by Grazing Dairy-Cows .1. Effects of Variation in Herbage Mass and Daily Herbage Allowance in a Short-Term Trial. *Grass and Forage Science* 34, 209-214.
- Connolly, J., 1974, Linear programming and the optimum carrying capacity of range under common use. *Journal of Agricultural Science* 83, 259-265.
- Connolly, J., Nolan, T., 1976, Design and analysis of mixed grazing experiments. *Animal Production* 23, 63-71.
- Corbett, J.L., 2001, The challenging demand for increases in meat and milk production: Enhancing the contributions of grazing livestock. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 14, 1-12.
- Corbett, J.L., Freer, M., 1995, Ingestion et digestion chez les ruminants au pâturage, In: Jarrige, R., Ruckebusch, Y., Demarquilly, C., Farce, M.H., Journet, M. (Eds.) *Nutrition des ruminants domestiques*. INRA, Paris, pp. 871-900.
- Cosgrove, G.P., 1997. Grazing behaviour and forage intake. In: International symposium on animal production under grazing, Viçosa, Brasil, 4-6 November 1996, pp. 59-80.
- Degras, L., 1968, Introduction et étude de variétés de *Digitaria* aux Antilles. *Annales Amélior. Plantes* 18, 159-196.
- Delgado, C.L., Rosegrant, M.W., Meijer, S., 2001, Livestock to 2020: the revolution continues, In: International Trade in Livestock Products: Proceedings of a Symposium of the International Agricultural Trade Research Consortium, Auckland, New Zealand, 18-19 January, 2001. pp. 1-39.
- Ernst, P., Du, Y.L.P.L., Carlier, L., 1980, Animal and sward production under rotational and continuous grazing management- a critical appraisal, In: The role of nitrogen in intensive grassland production., pp. 119-126.
- Eugene, M., Milhet, L., Archimede, H., Fonty, G. 1999. Variations of cellulolytic bacterial population, microbial efficiency and ruminal digestion, according to *Digitaria decumbens* grass maturity. In IX International Symposium on ruminant physiology. *S Afr J Anim Sci*, Special Symposium Issue (Pretoria, South Africa), pp. 94-95.

- Evans, T.R., 1981, Overcoming nutritional limitations through pasture management, In: Hacker, J.B. (Ed.) *Nutritional Limits to Animal Production from Pastures*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, pp. 343-361.
- Fabiyi, J.P., 1987, Production losses and control of helminths in ruminants of tropical regions. *International Journal for Parasitology* 17, 435-442.
- Fahey, G.C., Hussein, H.S., 1999, Forty years of forage quality research: Accomplishments and impact from an animal nutrition perspective. *Crop Science* 39, 4-12.
- Faye, B., Alary, V., 2001, Stakes of animal production in Southern countries. *Productions Animales* 14, 3-13.
- Fushai, F.M., 2006, Estimates of intake and digestibility using n-alkanes in yearling Holstein-Friesian and Hereford heifers grazing on kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pasture. *Animal Feed Science and Technology* 128, 331-336.
- Gauthier, D., Aumont, G., Barré, N., Berbigier, P., Camus, E., Lafortune, E., Popescu, P., Rulquin, H., Xandé, A., Thimonier, J., 1984, Le bovin créole en Guadeloupe : Caractéristiques et performances zootechniques. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux* 37, 212-224.
- Gordon, F.J., Porter, M.G., Mayne, C.S., Unsworth, E.F., Kilpatrick, D.J., 1995, Effect of forage digestibility and type of concentrate on nutrient utilization by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Research* 62, 15-27.
- Guerin, H., Friot, D., Mbaye, N., Richard, D., 1991, Feeding of domestic ruminants on natural Sahelian and Sahelian-Sudanian pastures. Methodological study in the Ferlo region of Senegal, In: *Etudes et Synthèses de l'IEMVT*. p. 115 pp.
- Haggar, R.J., Ahmed, M.B., 1970, Seasonal production of *Andropogon gayanus*. 2. Seasonal changes in digestibility and feed intake. *Journal of Agricultural Science* 75 369-373.
- Henley, S.R., Smith, D.G., Raats, J.G., 2001, Evaluation of 3 techniques for determining diet composition. *Journal of Range Management* 54, 582-588.
- Hodgson, J., 1982, Influence of sward characteristics on diet selection and herbage intake by the grazing animal. *Nutritional limits to animal production from pastures*, 153-166.
- Humphreys, L.R., 1991, *Tropical pasture utilisation*. Cambridge University Press, 205 p.
- Ikhatua, U.J., Ehoche, O.W., Umoh, J.E., 1987, The Influence of Feeding Frequency on Feed-Intake, Nutrient Utilization and Nitrogen-Metabolism in Growing Zebu Cattle. *Journal of Agricultural Science* 108, 639-642.
- Jackson, F., Miller, J., 2006, Alternative approaches to control--Quo vadit? *Veterinary Parasitology* 139, 371-384.
- Jarrige, R., Demarquilly, C., Dulphy, J.P., Hoden, A., Robelin, J., Beranger, C., Geay, Y., Journet, M., Malterre, C., Micol, D., Petit, M., 1986, The INRA "fill unit" system for predicting the voluntary intake of forage-based diets in ruminants: a review. *Journal of Animal Science* 63, 1737-1758.
- Jones, R.J., Lascano, C.E., 1992, Oesophageal fistulated cattle can give unreliable estimates of the proportion of legume in the diets of resident animals grazing tropical pastures. *Grass and Forage Science* 47, 128-132.
- Jung, H.G., Allen, M.S., 1995, Characteristics of Plant-Cell Walls Affecting Intake and Digestibility of Forages by Ruminants. *Journal of Animal Science* 73, 2774-2790.
- Jung, J., Yngvesson, J., Jensen, P., 2002, Effects of reduced time on pasture caused by prolonged walking on behaviour and production of Mpwapwa Zebu cattle. *Grass and Forage Science* 57, 105-112.
- Ketelaars, J., Tolcamp, B.J., 1992, Toward a New Theory of Feed-Intake Regulation in Ruminants .1. Causes of Differences in Voluntary Feed-Intake - Critique of Current Views. *Livestock Production Science* 30, 269-296.

- Kochapakdee, S., Pralomkarn, W., Saithanoo, S., Lawpetchara, A., Norton, B.W., 1994, Grazing management studies with Thai goats II Reproductive performances of different genotypes of does grazing improved pasture with or without concentrate supplementation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 7, 563-570.
- Krawielitzki, K., Sandek, A., Kowalczyk, J., Kreienbring, F., Zebrowska, T., Skiba, B., Voigt, J., Gabel, M., Hagemeister, H., 1999, Nitrogen secretion and absorption in different segments of the digestive tract estimated by digesta exchange between N-15-labelled and unlabelled sheep. *Journal of Animal and Feed Sciences* 8, 129-143.
- Laca, E.A., Ungar, E.D., Demment, M.W., 1994, Mechanisms of Handling Time and Intake Rate of a Large Mammalian Grazer. *Applied Animal Behaviour Science* 39, 3-19.
- Laca, E.A., Ungar, E.D., Seligman, N., Demment, M.W., 1992a, Effects of Sward Height and Bulk-Density on Bite Dimensions of Cattle Grazing Homogeneous Swards. *Grass and Forage Science* 47, 91-102.
- Laca, E.A., Ungar, E.D., Seligman, N.G., Ramey, M.R., Demment, M.W., 1992b, An Integrated Methodology for Studying Short-Term Grazing Behavior of Cattle. *Grass and Forage Science* 47, 81-90.
- Lambert, M.G., Guerin, H., 1989. Competitive and complementary effects with different species of herbivore in their utilization of pastures. In: *Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Nice, France, 4-11 October 1989*, p. 1789.
- Landau, S., Glasser, T., Dvash, L., 2006, Monitoring nutrition in small ruminants with the aid of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) technology: a review. *Small Ruminant Research* 61, 1-11.
- Langlands, J.P., 1987, Assessing the nutrient status of herbivores, In: Ternouth, J.H., Hacker, J.B. (Eds.) *Nutrition of Herbivores*. Academic Press, Sidney, Australia, pp. 363-390.
- Leng, R.A., 1990, Factors Affecting the Utilization of Poor-Quality Forages by Ruminants Particularly under Tropical Conditions. *Nutrition Research Reviews* 3, 277-303.
- Lippke, H., 1980, Forage Characteristics Related to Intake, Digestibility and Gain by Ruminants. *Journal of Animal Science* 50, 952-961.
- Lowe, K.F., Bowdler, T.M., Casey, N.D., Lowe, S.A., White, J.A., Pepper, P.M., 2007, Evaluating temperate species for the subtropics. 1. Annual ryegrasses. *Tropical Grasslands* 41, 9-25.
- Lukas, M., Sudekum, K.H., Rave, G., Friedel, K., Susenbeth, A., 2005, Relationship between fecal crude protein concentration and diet organic matter digestibility in cattle. *Journal of Animal Science* 83, 1332-1344.
- Mannetje, L.T., Jones, R.J., Jones, R.M., 1985, Pasture evaluation by grazing experiments, In: Shaw, N.H., Bryan, W.W. (Eds.) *Tropical pasture research. Principles and methods*. Commonwealth Agricultural Bureaux pp. 194-234.
- McLeod, M.N., Minson, D.J. 1988. Large Particle Breakdown by Cattle Eating Ryegrass and Alfalfa, pp. 992-999.
- Meijs, J.A.C., 1981, Herbage intake by grazing dairy cows, In: *Agricultural Research Reports*. p. 264pp.
- Milford, R., Minson, D.J., 1965. Intake of tropical pasture species. In: *9th International Grassland Congress*, pp. 815-822.
- Minson, D.J., 1990, *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press, Inc, San Diego, California.
- Moore, J.E., 1994, Forage quality indices: development and application, In: Fahey, J., Moser, L.E., Mertens, D.R., Collins, M. (Eds.) *Forage quality, evaluation, and utilization*. Agronomics Crop Science and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 967-998.
- Moore, J.E., Brant, M.H., Kunkle, W.E., Hopkins, D.I., 1999, Effects of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, and animal performance. *Journal of Animal Science* 77, 122-135.

- Mould, F.L., 2003, Predicting feed quality - chemical analysis and in vitro evaluation. *Field Crops Research* 84, 31-44.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1980, Total nitrogen analysis of soil and plant tissues. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 63, 770-778.
- Nolan, T., Connolly, J., 1977, Mixed stocking by sheep and steers - a review. *Herbage Abstracts* 47, 367-374.
- Nolan, T., Connolly, J., Guillon, L.M., Sall, C., Dieye, K., Guerin, H., 1989. Mixed animal species grazing under temperate and semi-arid conditions. In: *Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Nice, France, 4-11 October 1989*, p. 1102.
- Oreagain, P.J., Owen-Smith, R.N., 1996, Effect of species composition and sward structure on dietary quality in cattle and sheep grazing South African sourveld. *Journal of Agricultural Science* 127, 261-270.
- Orskov, E.R., 1994, Recent advances in understanding of microbial transformation in ruminants. *Livestock Production Science* 39, 53-60.
- Osuji, P.O., 1987. Intensive feeding systems for goats in Latin America and the Caribbean. In: *IVth International Conference on Goats, Brasilia, Brasil, 8-13/03/87*, pp. 1077-1107.
- Perez-Barberia, F.J., Gordon, I.J., 1998, Factors affecting food comminution during chewing in ruminants: a review. *Biological Journal of the Linnean Society* 63, 233-256.
- Pflimlin, A., 2008. L'ombre de l'élevage sur la planète : Analyse du rapport FAO « Livestock's Long Shadow » et perspectives européennes. In: *13ème Carrefour des Productions animales - L'élevage des ruminants en question : vérités et contre-vérités, GEMBLOUX, BELGIQUE, 23 janvier 2008*. <http://www.cra.wallonie.be/pubtech/cpa2008/pdf/cpa2008-pflimlin.pdf>
- Prache, S., Peyraud, J.L., 1997, Sward prehensibility in cattle and sheep. *Productions Animales* 10, 377-390.
- Preston, T.R., Leng, R.A., 1986, Matching livestock production systems to available resources. *ILCA, Addis Ababa*, 331 p.
- Redmon, L.A., McCollum, F.T., III, Horn, G.W., Cravey, M.D., Gunter, S.A., Beck, P.A., Mieres, J.M., San Julian, R., 1995, Forage intake by beef steers grazing winter wheat with varied herbage allowances. *Journal of Range Management* 48, 198-201.
- Reid, R.L., 1994, Milestones in Forage Research (1969-1994), In: Fahey, J., Moser, L.E., Mertens, D.R., Collins, M. (Eds.) *Forage quality, evaluation, and utilization*. Agronomics Crop Science and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Rohweder, D.A., Barnes, R.F., Jorgensen, N., 1978, Proposed Hay Grading Standards Based on Laboratory Analyses for Evaluating Quality. *Journal of Animal Science* 47, 747-759.
- Rook, A.J., Tallwin, J.R.B., 2003, Grazing and pasture management for biodiversity benefit. *Animal Research* 52, 181-189.
- Rutter, S.M., 2000, Graze: A program to analyze recordings of the jaw movements of ruminants. *Behavior Research Methods Instruments & Computers* 32, 86-92.
- Salas, M., 1989. Systèmes d'élevage bovin allaitant en Guadeloupe. Diagnostic et voies de développement. Université Paris XII, Paris, France.
- Salas, M., Aumont, G., Biessy, G., Magnie, E., 1992, Effect of variety, stage of maturity and nitrate fertilization on nutritive values of sugar canes. *Animal Feed Science and Technology* 39, 265-277.
- Salas, M., Planchenault, D., Roy, F., 1988, Study of traditional cattle farming in Guadeloupe, French West Indies. Survey results. [French]. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux* 41, 197-207.
- Salette, J.E., 1970, Les cultures fourragères tropicales et leurs possibilités d'intensification. *Fourrages* 43, 91-107.

- Schlecht, E., Susenbeth, A., 2006, Estimating the digestibility of Sahelian roughages from faecal crude protein concentration of cattle and small ruminants. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 90, 369-379.
- Sere, C., Steinfeld, H., Groenewold, J., 1996, World livestock production systems: current status, issues and trends, In: *FAO Animal Production and Health Paper*. p. v + 84 pp.
- Shepherd, K.D., Walsh, M.G., 2007, Infrared spectroscopy - enabling an evidence-based diagnostic surveillance approach to agricultural and environmental management in developing countries. *Journal of near Infrared Spectroscopy* 15, 1-19.
- Soussana, J.F., Allard, V., Pilegaard, K., Ambus, P., Amman, C., Campbell, C., Ceschia, E., Clifton-Brown, J., Czobel, S., Domingues, R., Flechard, C., Fuhrer, J., Hensen, A., Horvath, L., Jones, M., Kasper, G., Martin, C., Nagy, Z., Neftel, A., Raschi, A., Baronti, S., Rees, R.M., Skiba, U., Stefani, P., Manca, G., Sutton, M., 2007, Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 121, 121-134.
- Soussana, J.F., Luscher, A., 2007, Temperate grasslands and global atmospheric change: a review. *Grass and Forage Science* 62, 127-134.
- Sthele, H., 1951, les pâtures naturelles et les cultures fourragères dans l'archipel Caraïbe. *Annales de l'Amélioration des Plantes* 4, 548-558.
- Stobbs, T.H., 1973a, Effect of Plant Structure on Intake of Tropical Pastures .1. Variation in Bite Size of Grazing Cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* 24, 809-819.
- Stobbs, T.H., 1973b, Effect of Plant Structure on Intake of Tropical Pastures .2. Differences in Sward Structure, Nutritive-Value, and Bite Size of Animals Grazing *Setaria-Anceps* and *Chloris-Gayana* at Various Stages of Growth. *Australian Journal of Agricultural Research* 24, 821-829.
- Stobbs, T.H., 1977, Short-Term Effects of Herbage Allowance on Milk-Production, Milk-Composition and Grazing Time of Cows Grazing Nitrogen-Fertilized Tropical Grass Pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 17, 892-898.
- Streeter, C.L., 1969, A review of techniques used to estimate the in vivo digestibility of grazed forage. *Journal of Animal Science* 29, 757-768.
- Taylor, N.L. 2008. A Century of Clover Breeding Developments in the United States, pp. 1-13.
- Teller, E., Vanbelle, M., Kamatali, P., 1993, Chewing Behavior and Voluntary Grass-Silage Intake by Cattle. *Livestock Production Science* 33, 215-227.
- Tilley, J.M.A., Terry, R.A., 1963, A two stage technique for in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society* 18, 104-111.
- Ungar, E.D., 1997, Ingestive behaviour, In: Hodgson, J., Illius, A.W. (Eds.) *The ecology and management of grazing systems*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 185-218.
- Van Soest, P.J., 1963, Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 2. A rapid method for the determination of fibre and lignin. *J Assoc Off Agric Chem* 46, 829-835.
- Van Soest, P.J., 1996, Allometry and Ecology of Feeding Behavior and Digestive Capacity in Herbivores: A Review. *Zoo Biology* 15, 455 - 479.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991, Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74, 3583-3597.
- Williams, R.J., Burt, R.L., Strickland, R.W., 1985, Plant introduction, In: Shaw, N.H., Bryan, W.W. (Eds.) *Tropical pasture research. Principles and methods*. Commonwealth Agricultural Bureaux pp. 77-100.
- Wilson, J.R., 1994, Cell-Wall Characteristics in Relation to Forage Digestion by Ruminants. *Journal of Agricultural Science* 122, 173-182.
- Xandé, A., 1985. La productivité des pâturages : problèmes posés et intérêt de quelques techniques pour améliorer la productivité dans le cadre des petites exploitations. In:

Colloque sur les systèmes de production agricole caribéen et alternative de
developpement. UAG-DAC
Martinique F.W.I, 9-11 mai 1985, pp. 369-387.

1. **Boval M**, Peyraud J.L, Xande A, Aumont G, Copry O, Saminadin G (1996). Evaluation d'indicateurs fécaux pour prédire la digestibilité et les quantités ingérées de *Dichanthium* sp. par des bovins Créoles. *Annales de Zootechnie* 45, 121-134.
2. **Boval M**, Cruz P, Peyraud J.L, Penning P (2000) Herbage allowance effect on intake of Creole heifers tethered at pasture. *Grass and Forage Science*, 55, 201-208.
3. Cruz P & **Boval M** (2000) Effect of nitrogen on some morphogenetical traits of temperate and tropical perennial forage grasses. In: *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. (Eds Lemaire G., Hodgson J., de Moraes A., C. Nabinger and P.C. de F. Carvalho (eds). CAB International, Cambridge, UK, pp. 151-167.
4. **Boval M**, Cruz P, Ledet J.E, Copry O, Borel H, And Archimède H (2002). Effect of nitrogen fertiliser on characteristics of a natural tropical sward and on intake and in vivo digestibility of the herbage consumed by Creole heifers. *Journal of Agricultural Science*, 138, 73-84
5. **Boval M.**, Archimède H, Xande A (2003). The ability of faecal nitrogen to predict digestibility for goats and sheep fed with tropical herbage. *Journal of Agricultural Science*, 140, 1-8.
6. **Boval M.**, Coates D.B., Lecomte P., Decruyenaere V., Archimède H. (2004). Faecal Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) to assess chemical composition, in vivo digestibility and intake of tropical grass by Creole cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 114, 1-4, pp 19-29.
7. **Boval M**, Archimède H, Cruz P., Duru, M (2007) Intake and digestibility measured for heifers grazing tropical native grass, at two stages of maturation (14 vs 28 days), *Animal Feed Science and Technology*, 134, 18-31.
8. **Boval M.**, Fanchone A., Archimède, H. and Gibb M.J (2007) Effect of structure of a tropical pasture on ingestive behaviour, digestibility of diet and daily intake by grazing cattle, *Grass and Forage Science*, 62, 44-54.
9. Fanchone A., **Boval M.**, Lecomte Ph., Archimède H. (2007) Faecal NIRS to assess intake, in vivo digestibility and chemical composition of the herbage ingested by sheep, *Journal of NIRS*, 15, 107-113.
10. Fanchone A. Archimède H., **Boval M.** (2008) Comparison of methods to predict digestibility of fresh grass consumed by sheep, based on faecal crude protein or faecal near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Animal Science* (accepté, en révision).