



## THESE

Pour l'obtention du grade de  
**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DES ANTILLES ET DE LA GUYANE**

Discipline : Sciences de la Vie  
*Présentée et soutenue publiquement par*

**Aurélie AGASTIN**

le 11 décembre 2013

***Evaluation et comparaison de deux modes de  
production contrastés pratiqués en zone tropicale :  
la conduite à l'auge vs la conduite au pâturage***

**Directeur de thèse :** Maryline Boval

**Co-directeur de thèse :** Thérèse Marianne-Pépin

### **Jury**

|                        |                                        |            |
|------------------------|----------------------------------------|------------|
| Daniel Sauvant         | Professeur, INRA - UMR MoSAR           | Président  |
| Gilles Renand          | Directeur de recherche, INRA - GABI    | Rapporteur |
| Roberto Sainz          | Professeur, UC Davis - Californie      | Rapporteur |
| Jacques Agabriel       | Ingénieur de recherche, INRA - URH     | Examineur  |
| Thérèse Marianne-Pépin | Professeur, UAG - Guadeloupe           | Examineur  |
| Maryline Boval         | Directrice de recherche INRA - URZ     | Examineur  |
| Valérie Angeon         | Maitre de Conférence, UAG - Guadeloupe | Examineur  |
| Michel Naves           | Ingénieur de recherche, INRA - URZ     | Examineur  |

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, c'est avec émotion que je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet.

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice de thèse et directrice de l'URZ, Madame **Maryline Boval**. Merci d'avoir accepté de diriger cette thèse, qui grâce à toi, s'est déroulée dans les meilleures conditions. Maryline, merci pour ton encadrement, ton investissement et ta disponibilité malgré tes activités prenantes. Mille mercis pour tes conseils et tes corrections trop souvent nécessaires. J'espère avoir été digne de ta confiance et que ce travail est finalement à la hauteur de tes espérances. J'ai été très honorée de t'avoir eu comme directrice.

D'autre part, je remercie chaleureusement Monsieur **Michel Naves** qui m'a encadrée durant quatre ans. Merci de m'avoir acceptée en stage de DEA au cours duquel j'ai pris goût à la recherche et merci d'avoir participé à l'émergence de ce sujet de thèse. Merci pour ton soutien, ton encadrement, tes conseils, tes corrections et ta rigueur scientifique. J'ai énormément appris à tes côtés (notamment en statistiques).

Je ne sais comment exprimer ma gratitude à ces deux personnes autrement qu'en leur promettant d'agir comme eux avec des étudiants dans ma situation, si un jour l'occasion m'en est donnée.

Merci à ma co-directrice thèse, Madame **Thérèse Marianne – Pepin**, sans qui je n'aurais pas eu la chance de pouvoir réaliser cette thèse.

J'exprime un grand merci au Professeur **Daniel Sauvart**, de m'avoir initié à l'art de la méta-analyse. La réalisation d'une méta-analyse est, dans notre discipline, une chance inestimable. J'ai énormément appris à votre contact. Merci d'accepter de présider ce jury de thèse.

Je remercie tout particulièrement Mr le Professeur **Roberto Sainz** ainsi que le Dr **Gilles Renand**, qui ont accepté de juger ce travail et d'en être les rapporteurs. Je remercie en particulier Mr Sainz d'avoir fait un si long voyage pour assister à cette soutenance.

Je suis très reconnaissante à Monsieur **Jacques Agabriel** d'avoir accepté de participer à ce jury et pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail. Je remercie également **Valérie Angeon** pour ses précieux conseils et d'avoir accepté de participer à ce jury.

La qualité et la fiabilité des résultats de cette thèse sont avant tout le fruit d'un travail d'équipe. A ce titre, j'ai pleinement profité de la présence, des compétences et de l'efficacité des agents de l'INRA aussi bien par les discussions que j'ai eu la chance d'avoir avec eux, leurs suggestions et leurs contributions. Je pense ici en particulier aux agents de l'URZ, chercheurs, techniciens du laboratoire et agents administratifs, ainsi que l'ensemble des équipes de la Plateforme Tropicale d'Expérimentations sur l'Animal (PTEA).

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à Monsieur Harry Archimède, qui m'a accueilli dans son laboratoire en tant que stagiaire à l'époque où il était directeur de l'unité. Je n'oublie pas qu'il est le premier à avoir émis l'hypothèse d'une thèse et je lui en suis reconnaissante. Nos discussions m'ont énormément appris et stimulée. Merci également pour ta disponibilité, et le partage des connaissances en nutrition animale !

Je remercie également les chercheurs de l'URZ (Audrey, Jean-Luc, David, Nathalie, Jean-Christophe) pour la bonne ambiance de travail et l'esprit de famille qui règne à l'unité. Merci également à Maurice pour le partage des connaissances. J'ai pu travailler dans un cadre particulièrement agréable, grâce à toutes ces personnes. Je remercie tout particulièrement Madame Gisèle Alexandre notre zootechnicienne, pour sa coopération, ses aiguillages et ses corrections.

Je remercie également les membres de la Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal (PTEA) dirigée par Monsieur Jérôme Fleury et Madame Caroline Anaïs qui ont veillé au bon déroulement de mes expérimentations, ainsi qu'à tout son personnel. Je pense

tout d'abord aux deux Fred et à l'équipe des ruminants (Pierre-Justin, Pierre, Angebert, Alain, Remy, Ode, Bruno, Xavier, Loïc, Fabien, Marius.....). Merci à Widdy pour les cages.

Je remercie chaleureusement Monsieur Fernand Labirin pour son investissement personnel tout au long de cette thèse et sa sympathie.

Je remercie également David Beramice, et Mélain Bructer. Ils m'ont naturellement offert leur aide à des moments clés de cette thèse, ce dont je leur suis considérablement reconnaissante. Je pense notamment aux observations du comportement alimentaire des animaux.

Je remercie toute l'équipe du laboratoire de l'URZ (Lucien, Lucina, Yoann, Tatiana, Suzitte) et tout particulièrement Carine Marie-Magdeleine pour ses conseils.

Je tiens aussi à remercier mes stagiaires : Lionel, Sophie et Julie qui ont travaillé sans compter pour la mise en place et le bon déroulement des expérimentations. Je vous dois beaucoup !!

J'ai pu profiter de l'expérience de mes anciens collègues thésards: Claudia, Mélanie, Carole. Je remercie particulièrement Séverine, pour son amitié sa joie de vivre, sa spontanéité et ses conseils.

Merci à Willy et à Jessy, mes co-bureaux. Merci à Murielle. Je vous souhaite bon courage pour la suite. Merci à Lionel pour ses réparations expresses. Merci à tous pour votre bonne humeur, pour toutes ces séances de rires et de sourires, et pour toutes ces discussions autour d'un café (que je ne prenais jamais !).

Dans la vie il y a des gens qui nous touchent plus que d'autres et qui seront toujours là pour nous. Merci Nizar, mon ami, pour toutes nos discussions scientifiques et surtout celles non scientifiques.

Pour leur assistance aussi bien matérielle que morale et pour leur efficacité, je remercie nos gestionnaires et secrétaires, Marie-José et Mélanie. Elles m'ont permis de faire cette thèse dans de bonnes conditions.

Je remercie Elin, notre documentaliste, pour son appui documentaire et bibliographique. Il a su me trouver des articles introuvables.... un vrai magicien !

Lubert !!!! Merci pour nos échanges fructueux, sur tous les sujets.

Mes remerciements vont aussi et surtout à ma famille et mes amis qui, avec cette question récurrente, « quand est-ce que tu la soutiens cette thèse ? », bien qu'angoissante en période fréquente de doutes, m'ont permis de ne jamais dévier de mon objectif final.

Un immense merci à mes parents Christiane et Harry, qui m'ont donné la chance de faire de longues études, pour leur soutien sans limite durant toute ma scolarité et plus particulièrement ces trois dernières années. A ma sœur Frieda, qui a toujours cru en moi, pour son soutien, et ses corrections en anglais. Elle sait à quel point elle est importante pour moi. A mon neveu, Adrien, je compte sur toi pour aller plus loin....

Je tiens également à remercier mes beaux-parents Thérèse et Claude pour leur soutien et pour l'intérêt qu'ils ont toujours porté à ma thèse.

Enfin, je n'aurais jamais assez de mots pour remercier mon tendre et merveilleux époux David, pour son soutien quotidien indéfectible et son enthousiasme contagieux à l'égard de mes travaux. Je n'aurais jamais fait une thèse sans toi à mes côtés. Tu as été mon stagiaire forcé pendant 3 ans. Merci d'avoir supporté mes humeurs dépressives et mes odeurs bovines ! Merci d'exister...

Voilà, c'était long mais il y a eu tellement de personnes qui ont compté et qui m'ont aidée que je leur devais bien ça. Je m'excuse donc par avance pour les noms qui ne sont pas cités.

## LISTE DES PUBLICATIONS

Le travail de thèse s'inscrit dans deux sous projets de recherche de l'unité : adaptation des animaux aux contraintes des systèmes d'élevage tropicaux et l'évaluation multicritère des ressources végétales. Ce travail de thèse s'inscrit pleinement dans ces démarches en étudiant 1) les performances d'engraissement et d'abattage de bovins Créoles élevés en zone tropicale, 2) les différences d'alimentation entre l'auge et le pâturage.

Les différents travaux de recherches menés au cours de cette thèse ont fait l'objet de 4 publications et de diverses communications scientifiques:

### Publications scientifiques intégrées à la thèse

**Agastin A.**, Naves N., Farant A., Godard X., Bocage B., Alexandre G., Boval M. 2013. Effects of feeding system and slaughter age on the growth and carcass characteristics of tropical-breed steers. *Journal of Animal Science*. 91, 3997- 4006.

**Agastin A.**, Sauvant D., Naves M., Boval M. 2014. Influence of trough vs. pasture feeding on average daily gain and carcass characteristics in ruminants: a meta-analysis. *Journal of Animal Science*. 92, 1173-1183.

**Agastin, A.**, Naves M., Silou T., Boval M. 2013. Prediction of diet at pasture (digestibility, intake, and digestible ingested ADG), and consistency with animal performance: a comparison of methods. (en preparation pour *Journal of Agricultural Science*).

**Agastin A.**, Naves M., Fanchone A., Boval M. 2013. Comparison of feeding cattle in stalls or at pasture, when receiving or not concentrate: feeding behavior, intake, digestibility, water consumption and growth. (Soumis à *Journal of Agricultural Science*).

### Communications scientifiques:

**Agastin A.**, Farant A., Bocage B., Godard X., Naves N., 2010. Study of carcass characteristics of Creole cattle steers raised in two contrasted post weaning systems. *Proceeding of the SAPT 2010 conference, Guadeloupe*. *Advances in Animal Biosciences*, 1, 508-509, (poster).  
<http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=7922235>  
[consulté le 27 octobre 2013]

**Agastin A.**, Boval M., Boudon A., Naves M., 2012. Consommation en eau de taurillons élevés à l'auge ou au pâturage en milieu tropical. *19èmes Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, (poster).  
[http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte\\_5\\_alimentation\\_A-Agastin.pdf](http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_5_alimentation_A-Agastin.pdf) [consulté le 27 octobre 2013]

**Agastin A.**, Sauvant D., Naves M., Boval M., 2013. Differences in feeding in stalls or at pasture may be linked to differences in feeding strategies. *Proceedings of the SAPT 2 2013 conference, Nantes, France*. Book of Abstracts of the 64<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Federation of Animal Science. Nantes, France, 64, 158, (*oral presentation*).

## GLOSSAIRE

|                       |                                         |
|-----------------------|-----------------------------------------|
| <b>A</b>              | Auge                                    |
| <b>A+C</b>            | Alimentation à l'auge avec concentré    |
| <b>ADF</b>            | Acid Detergent Fiber                    |
| <b>ADL</b>            | Acid Detergent Lignine                  |
| <b>C</b>              | Concentré                               |
| <b>CH<sub>4</sub></b> | Méthane                                 |
| <b>dMO</b>            | digestibilité de la Matière Organique   |
| <b>dMS</b>            | digestibilité de la Matière Sèche       |
| <b>F</b>              | Fourrage                                |
| <b>F+C</b>            | Fourrage avec concentré                 |
| <b>GES</b>            | Gaz à effet de serre                    |
| <b>GMQ</b>            | Gain Moyen Quotidien                    |
| <b>MODI</b>           | Matière Organique Digestible Ingérée    |
| <b>MAT</b>            | Matières azotées totales                |
| <b>MOI</b>            | Matière Organique Ingérée               |
| <b>MS</b>             | Matière sèche                           |
| <b>MSDI</b>           | Matière sèche digestible ingérée        |
| <b>MSI</b>            | Matière Sèche Ingérée                   |
| <b>MC</b>             | Mode de conduite                        |
| <b>NC</b>             | Sans concentré                          |
| <b>NDF</b>            | Neutral Detergent Fiber                 |
| <b>P</b>              | Pâturage                                |
| <b>PA</b>             | Poids d'abattage                        |
| <b>PCC</b>            | Poids de carcasse chaude                |
| <b>PBVV</b>           | Production brute de viande vive         |
| <b>PCF</b>            | Poids de carcasse froide                |
| <b>PV</b>             | Poids vif                               |
| <b>RCC</b>            | Rendement de carcasse chaude            |
| <b>RCF</b>            | Rendement de carcasse froide            |
| <b>SC</b>             | Stratégie de complémentation            |
| <b>SPIR</b>           | Spectrométrie dans le proche Infrarouge |
| <b>T</b>              | Tonne                                   |

## RESUME

### **Evaluation et comparaison de deux modes de production contrastés pratiqués en zone tropicale : la conduite à l'auge vs la conduite au pâturage**

Le pâturage, principal mode d'alimentation en zone tropicale, est souvent dévalorisé car il est associé à des performances animales jugées insuffisantes, et peut avoir des effets néfastes sur l'environnement. Même si l'alimentation à l'auge permet de meilleures productions, ce mode de conduite présente également des inconvénients, en termes d'investissements, de rentabilité économique, d'impact des rejets sur l'environnement et de qualité des produits. Une intensification de la conduite au pâturage semble donc une voie d'avenir, mais nécessite une meilleure connaissance de ce mode de conduite et de ses conséquences sur l'alimentation et les performances des animaux. Il apparaît également nécessaire de comparer l'élevage au pâturage et à l'auge sur des critères homogènes, en dissociant les composantes de ces modes de conduite.

L'objectif de la thèse est d'évaluer et de comparer la conduite au pâturage et la conduite hors sol, en tenant compte également de la distribution ou non de concentré, sur l'alimentation, la croissance, les caractéristiques d'abattage et la consommation d'eau. Dans un premier temps, nous avons étudié au cours d'une expérimentation, les effets de ces deux modes de conduite sur la croissance, les caractéristiques d'abattage et de carcasse de taurillons Créoles abattus à deux âges (précoce vs tardif). Les taurillons à l'auge avaient une croissance plus rapide, des poids de carcasse plus élevés, ainsi que des carcasses plus grasses. Nous avons observé qu'abattre plus tardivement au pâturage (17 et 21 mois vs 14 et 17 mois à l'auge), permettait d'atteindre des poids finaux similaires à ceux obtenus à l'auge et des carcasses de meilleure qualité, plus riche en muscle. Nous avons expliqué la majorité de nos résultats par les effets combinés des modes de conduite et de l'alimentation et avons voulu étudier leurs effets respectifs. Dans un second temps, l'étude des effets du mode de conduite a été faite dans un premier temps, par le biais d'une méta-analyse. Les performances des animaux à l'auge étaient meilleures qu'au pâturage, mais ces effets dépendaient de la stratégie de complémentation. De cette méta-analyse est également apparu le manque d'études auge vs pâturage sur l'alimentation et à ration égale. Afin d'étudier les effets respectifs du mode de conduite et de la stratégie de complémentation, un dispositif analytique avec des taurillons élevés à l'auge et au pâturage complémentés ou non avec du concentré a été mis en place. Dans un premier temps, une étude méthodologique menée grâce à ce dispositif nous a permis d'identifier que la SPIR permettait la meilleure estimation de la dMO, l'OMI et la MODI au pâturage. Les résultats de l'étude analytique ont montré que les animaux au pâturage utilisaient mieux leur alimentation pour leur croît que ceux à l'auge et la stratégie de complémentation influençait davantage ces variables que le mode de conduite. Avec une stratégie de complémentation appropriée, les animaux au pâturage peuvent atteindre des performances similaires à celles obtenues à l'auge.

**Mots clés :** auge, pâturage, bovin, complémentation, croissance, ingestion, digestibilité, carcasse

## ABSTRACT

### **Evaluation and comparison of two contrasting way of feeding practiced in tropical area: stalls vs. pasture feeding**

Grazing, main way of feeding ruminants in the tropics, is often undervalued because it is associated with animal performance deemed insufficient, and may have adverse effects on the environment. Even if stall feeding allows better production, this way of feeding has drawbacks in terms of investment, profitability, impact of emissions on the environment and product quality. Intensification of grazing seems a way forward, but requires a better understanding of this way of feeding and its impact on feeding and animal performance. It also appears necessary to compare grazing and stalls feeding on homogeneous criteria, separating the components of these modes of management.

The aim of the thesis is to evaluate and compare stalls and pasture feeding environment, taking into account also the distribution or not of concentrate on feeding, growth, slaughter characteristics and water consumption. At first, we studied in an experiment, the effects of these two feeding systems on growth, slaughter and carcass characteristics of Creoles bulls slaughtered at two ages (early vs. late). Bulls fed in trough grew faster, had greater carcass weight and fatter carcasses. We observed that a later slaughter of grazing animals (17 and 21 months vs. 14 and 17 months in stalls), allowed to reach final weights similar to those obtained in stalls and carcasses richer in muscle. We explained most of our results by the combined effects of feeding environment and complementation strategy and wanted to study their effects. In a second step, the study of the effects of feeding environment was made in first instance, through a meta-analysis. Stalls fed animals had greater performances than pasture fed ones, but these effects depended on complementation strategy. This meta-analysis also highlighted the lack of knowledge on intake and digestibility at pasture, which is a limitation on attempts to compare with measurements carried out in trough-fed animals. To investigate the relative effects of feeding environment and complementation strategy, we conceived an analytical trial with Creole bulls reared in stalls and at pasture, supplemented or not with concentrate. First of all, this analytical trial was the support of a methodological study, which identified that the NIRS method allows the best estimate of the OMD, OMI and DOMI at pasture. The analytical trial showed that grazing animals had better feed efficiency feed for their growth than stall fed ones and complementation strategy influenced more these variables than feeding environment. With an appropriate strategy for complementation, grazing animals can achieve similar performance to those obtained at the trough.

**Key words:** stalls, pasture, cattle, complementation, growth, ingestion, digestibility, carcass

## TABLE DES MATIERES

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| REMERCIEMENTS .....                                                                                                                 | 2  |
| LISTE DES PUBLICATIONS.....                                                                                                         | 6  |
| GLOSSAIRE .....                                                                                                                     | 8  |
| RESUME.....                                                                                                                         | 9  |
| ABSTRACT .....                                                                                                                      | 10 |
| TABLE DES MATIERES .....                                                                                                            | 11 |
| LISTE DES TABLEAUX.....                                                                                                             | 14 |
| LISTE DES FIGURES.....                                                                                                              | 14 |
| INTRODUCTION GENERALE.....                                                                                                          | 16 |
| CHAPITRE 1 : CADRE GENERAL DE L’ETUDE.....                                                                                          | 23 |
| I) L’élevage bovin en Guadeloupe.....                                                                                               | 24 |
| 1.1) La production et l’abattage de bovins.....                                                                                     | 24 |
| 1.2) Le bovin Créole .....                                                                                                          | 25 |
| 1.3) Soutiens publics mis en place et organismes professionnels.....                                                                | 26 |
| II) les systèmes au pâturage et à l’auge .....                                                                                      | 28 |
| 2.1) Les systèmes au pâturage.....                                                                                                  | 28 |
| 2.2) Les systèmes à l’auge .....                                                                                                    | 31 |
| CHAPITRE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE .....                                                                                              | 36 |
| Effet du mode de conduite et de l’âge d’abattage sur la croissance et les caractéristiques de carcasses de taurillons Créoles ..... | 37 |
| 2.1. Introduction.....                                                                                                              | 37 |
| 2.2. Matériels et Méthodes.....                                                                                                     | 37 |
| 2.3. Résultats et Conclusions .....                                                                                                 | 39 |
| Publication 1 Effects of feeding system and slaughter age on growth and carcass characteristics of tropical-breed steers .....      | 41 |
| CHAPITRE 3 : META - ANALYSE .....                                                                                                   | 52 |

|                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Etude de l'influence du mode de conduite (Auge vs Pâturage) sur la croissance et les caractéristiques d'abattage et de carcasses de ruminants : Méta - Analyse.....                               | 53  |
| 3.1. Introduction.....                                                                                                                                                                            | 53  |
| 3.2. Matériels et Méthodes.....                                                                                                                                                                   | 53  |
| 3.3. Résultats - Conclusions.....                                                                                                                                                                 | 54  |
| Publication 2 Influence of trough vs. pasture feeding on average daily gain and carcass characteristics in ruminants: a meta-analysis .....                                                       | 56  |
| CHAPITRE 4 : ETUDE METHODOLOGIQUE .....                                                                                                                                                           | 68  |
| Comparaison des méthodes azote fécal et SPIR pour prédire l'alimentation des taurillons au pâturage et cohérence avec les performances animales.....                                              | 69  |
| 4.1. Introduction.....                                                                                                                                                                            | 69  |
| 4.2. Matériels et Méthodes.....                                                                                                                                                                   | 69  |
| 4.3. Résultats - Conclusion .....                                                                                                                                                                 | 73  |
| Publication 3 .....                                                                                                                                                                               | 75  |
| Comparison of methods to assess the diet ingested by grazing cattle (digestibility, intake and digestible intake): consistency with animal performance .....                                      | 75  |
| CHAPITRE 5 : DISPOSITIF ANALYTIQUE .....                                                                                                                                                          | 102 |
| Comparaison des conduites à l'auge et au pâturage avec addition de concentré ou non à la ration : comportement alimentaire, ingestion, digestibilité, consommation d'eau et croissance.....       | 103 |
| 5.1. Introduction.....                                                                                                                                                                            | 103 |
| 5.2. Matériel et méthodes.....                                                                                                                                                                    | 103 |
| 5.3. Résultats – Conclusion.....                                                                                                                                                                  | 105 |
| Publication 4 Comparison of feeding cattle in stalls or at pasture, with and without complementation with concentrate: feeding behavior, intake, digestibility, water consumption and growth..... | 106 |
| DISCUSSION GENERALE .....                                                                                                                                                                         | 129 |
| I. Analyse de la démarche de recherche .....                                                                                                                                                      | 130 |
| II. La comparaison Auge vs pâturage .....                                                                                                                                                         | 132 |
| Différences observées entre l'auge et le pâturage.....                                                                                                                                            | 132 |

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Principaux effets du mode de conduite .....                                     | 134 |
| Apport de connaissances générales .....                                         | 137 |
| III. Implications pratiques.....                                                | 140 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....                                                | 144 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES DANS LA THESE .....                          | 147 |
| ANNEXE 1 .....                                                                  | 159 |
| Annexe 1 : Analyse technico-économique des systèmes de production étudiés ..... | 160 |

## **LISTE DES TABLEAUX**

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 1. Calcul des différentes estimations de la dMO, MOI et MODI à partir de l'azote fécal et de la SPIR .....                                     | 73  |
| Tableau 2. Synthèse des ateliers étudiés lors de l'analyse technico-économique .....                                                                   | 140 |
| Tableau 3. Estimation des émissions de méthane (CH <sub>4</sub> ) de taurillons élevés à l'auge et au pâturage et ayant reçu du concentré ou non ..... | 142 |

## **LISTE DES FIGURES**

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 1. Schéma récapitulatif des étapes et des publications de la thèse .....                                                                                                                | 22  |
| Figure 2. Le pâturage continu et rotationnel .....                                                                                                                                             | 29  |
| Figure 3. Dispositif expérimental .....                                                                                                                                                        | 38  |
| Figure 4. Dispositif analytique .....                                                                                                                                                          | 70  |
| Figure 5. Récapitulatif des mesures du dispositif analytique .....                                                                                                                             | 71  |
| Figure 6. Récapitulatif des données récoltées pour l'étude méthodologique .....                                                                                                                | 72  |
| Figure 7. Répartition dans le temps des différentes mesures du dispositif analytique .....                                                                                                     | 104 |
| Figure 8. Positionnement des relations entre le GMQ et les pourcentages de gras et de muscle obtenus lors de l'essai 1 par rapport à celles issues de la méta-analyse .....                    | 137 |
| Figure 9. Positionnement des relations entre la MSDI et le GMQ obtenues expérimentalement lors de l'essai 2 par rapport à celles issues de la méta-analyse et de Edouard et Boval (2010) ..... | 138 |
| Figure 10. Positionnement des relations entre la MSDI et le GMQ obtenues expérimentalement à l'auge et au pâturage lors de l'essai 2 par rapport à celles issues de la méta-analyse .....      | 139 |
| Figure 11. Contribution des différents postes au coût de production total .....                                                                                                                | 141 |

*A mes parents,*

*A Frieda et Adrien,*

*A David,*

## **INTRODUCTION GENERALE**

**Contexte, problématique, enjeux**

L'élevage doit faire face au défi plus urgent que jamais, de répondre à la demande en produits animaux, et de contribuer à nourrir environ 9 milliards d'habitants d'ici 2050 (ONU, 2008). Les prévisions de la future demande alimentaire varient, mais même les scénarios les plus optimistes postulent une augmentation nécessaire de la production alimentaire d'au moins 50% d'ici 2050 (Gill et al. 2010; Lal 2010). La demande est impulsée par la croissance démographique, mais aussi la croissance économique qui augmente le pouvoir d'achat des consommateurs, en particulier pour les viandes (Horlings and Marsden 2011), sans oublier l'urbanisation croissante qui encourage l'adoption de nouveaux régimes (Pretty et al. 2010).

L'intensification initiée dans les années 60 au début de la première «révolution verte» a permis une croissance impressionnante pour assurer la sécurité alimentaire. Depuis 1961, la consommation alimentaire par habitant a augmenté de 25% en moyenne, avec des fluctuations d'un continent à l'autre (FAO, 2009). Mais les modalités de cette intensification ont provoqué des effets secondaires sérieux sur l'environnement, qui peuvent en retour avoir un effet défavorable sur l'évolution de la production alimentaire dans le futur (Delgado 2003; Fedoroff et al. 2010). Ainsi, cette intensification se traduit par une utilisation intensive d'engrais, de pesticides et d'eau, une augmentation des émissions de nitrates et de pesticides dans l'environnement, l'épuisement des eaux souterraines (Bennett et al. 2005 ; Moss 2008), la dégradation des sols et leur appauvrissement en matière organique, étant alors plus émetteurs en GES (Russelle et al. 2007). Enfin ce modèle d'intensification a également eu de nombreux effets sociaux, de nombreux agriculteurs étant incapables de rivaliser dans cette «course à l'intensification» (Horlings et Marsden, 2011).

L'expansion de l'espace agricole a également permis de faire face à la demande. Ainsi au cours des 50 dernières années, il y a eu une expansion de 9,6% des zones agricoles dans le monde, dont les terres arables, les cultures permanentes et les prairies et pâturages permanents (O'Mara 2012). Cependant depuis 1991, la superficie totale a stagné, avec des variations entre les différents pays. Ainsi, alors que dans les pays développés la superficie des terres agricoles a diminué de plus de 34% entre 1995 et 2007 (y compris les pâturages et les cultures permanentes), les pays en développement ont connu une augmentation de près de 17,1% (Gibbs et al. 2010). Selon la projection FAO, les zones agricoles mondiales sont susceptibles

d'augmenter encore sensiblement, d'environ 280 milliard d'hectares en 2030. Cependant, il y a un consensus face à la nécessité d'augmenter les rendements à partir des terres agricoles existantes, sans expansion significative (Wirsenius et al. 2010).

Il est aujourd'hui essentiel d'intensifier autrement, à partir des surfaces existantes qui concernent une bonne part des zones agricoles et prairies tropicales, ainsi que les forêts intactes défrichées pour le pâturage (Gibbs et al. 2010), pour faire face à la demande en produits agricoles alimentaires, ainsi qu'en carburant.

La maximisation de la consommation d'énergie métabolisable et de nutriments par les animaux d'élevage, a été l'objectif principal des nombreux travaux conduits au cours des décennies (Minson 1990; Poppi 1996; Lemaire et al. 2009). Cependant, ces fonctions sont limitées par l'approvisionnement en ressources, l'état physiologique et les fluctuations saisonnières de la biomasse prairiale. **Les systèmes hors-sol** (étables, cages à digestibilité, parc d'engraissements, etc...) et la complémentation des rations à base de fourrages verts avec des aliments concentrés, ont alors été largement développés pour assurer la demande en produits. **Au pâturage**, les stratégies alors largement étudiées et développées ont concernées l'application d'engrais, la gestion du chargement, ou l'apport de compléments alimentaires (Boval and Dixon 2012). Et jusqu'à récemment, peu d'attention a été accordée aux multiples fonctions des systèmes d'élevage, à savoir, leur durabilité, leur rôle dans la biodiversité ou le cycle des éléments nutritifs des écosystèmes (Ash et al. 2011; Orr and O'Reagain 2011).

Il s'agit ici de montrer qu'il est réellement possible d'intensifier autrement en considérant outre des objectifs de productivité, la rentabilité économique, la protection des ressources naturelles et de l'environnement. Pour cela une meilleure connaissance des 2 systèmes majeurs de production est essentielle.

L'alimentation et la santé animale sont les deux principales composantes d'un système d'élevage. Ces 2 composantes sont modulées par les modes de conduite. L'on distingue communément la **conduite au pâturage** et la **conduite hors pâturage**. Au niveau mondial, la conduite **au pâturage** est la plus représentée. Environ 400 millions de bovins au pâturage sont recensés, pour une production de 14.6 millions de tonnes, soit un rendement de 0.03 millions de tonne par bovin (FAO, 2009). En milieu tropical, les conduites au pâturage sont privilégiées (Steinfeld et al. 2006), mais celles-ci doivent faire face à différents facteurs

limitant, liés aux effets directs ou indirects du climat (température, alimentation, pathologie). Ainsi, les systèmes au pâturage sont généralement associés à de faibles productions impactées par les diverses contraintes (Mahieu et al. 2008; Liu et al. 2012). Au niveau mondial, les conduites **hors pâturage** concernent 29 millions de bovins (représentant seulement 7 % de la population au pâturage) pour une production de 3.9 millions de tonnes et un rendement de 0.13 millions de tonne par bovin, soit plus de 4 fois plus qu'au pâturage (FAO, 2009). En milieu tropical, il est prévu qu'une part accrue de la production animale proviendra vraisemblablement de ces systèmes même s'ils sont coûteux, et moins bien acceptés par les consommateurs, préférant des systèmes plus « naturels » (Gracia 2011).

**Les différences** entre les modes de conduite au pâturage et ceux hors pâturage concernent un certain nombre de paramètres, tels que **les modalités de distribution du fourrage**. Au pâturage, les animaux pâturent un fourrage sur pied, tandis qu'à l'auge, ils consomment un fourrage préalablement fauché, tassé et distribué dans une auge. La forme de présentation du fourrage est un paramètre important, entraînant des différences de préhensibilité. En effet, les animaux au pâturage peuvent sélectionner un fourrage de qualité optimale, tandis que ceux hors pâturage ne disposent que du fourrage distribué. Outre la forme de distribution du fourrage, **les pratiques de complémentation alimentaire** varient d'un mode de conduite à l'autre. Ainsi, au pâturage, la majorité des animaux sont rarement supplémentés, et n'ont en général que le fourrage pâture comme aliment, tandis que hors pâturage, les animaux ont le plus souvent accès à des rations supplémentées, plus énergétiques. **Les dépenses énergétiques** des animaux diffèrent également lorsque l'on considère les conduites au pâturage et hors pâturage. La conduite au pâturage entraînerait une dépense énergétique supplémentaire de 21% comparée à la conduite hors pâturage (Kaufmann et al. 2011). Ces dépenses énergétiques supplémentaires sont principalement liées aux déplacements effectués pendant l'activité de pâturage, ponctués de série de stations de courte durée. **Les conditions ambiantes, avec la présence ou non d'ombre** semblent également caractériser les systèmes au pâturage et hors pâturage. Au pâturage, les animaux sont élevés en plein air et ne bénéficie pas d'ombre, tandis que ceux élevés hors pâturage, sont souvent gardés en bâtiment, à l'ombre.

Au niveau mondial, la majorité des travaux portant sur la comparaison des conduites au pâturage et hors pâturage ont étudié la croissance des animaux, ainsi que les paramètres d'abattage et de carcasses (Alexandre et al. 2009; Blanco et al. 2010; Olmedo et al. 2011; Pordomingo et al. 2012). En revanche, il existe peu de données relatives à l'ingestion et à l'utilisation digestive des aliments. De plus, un faible nombre d'études a étudié les comparaisons pâturage vs hors pâturage dans les mêmes conditions. Au pâturage, les animaux n'ont qu'uniquement le fourrage pâturé comme aliment, tandis que hors pâturage les animaux reçoivent une complémentation (Kerth et al. 2007; Mathis et al. 2008; Keane and Drennan 2009; Menezes et al. 2011). A cela s'ajoute un faible nombre d'études (19 %) menées en zone tropicale (Agastin et al. 2013).

### **Objectifs de la thèse**

L'objectif de la thèse est de mieux quantifier les différences entre les deux principaux modes de production au pâturage vs à l'auge, à divers niveaux (performances, qualité de la carcasse, l'alimentation) et de comprendre les déterminants majeurs de ces différences.

La finalité à terme est de proposer des voies d'amélioration des deux systèmes de production, plus particulièrement au pâturage, afin de mieux valoriser des surfaces encore exploitables, sans expansion de l'espace agricole. Les pâturages représentent en effet 26 % des terres de la planète et près de 80 % sont constitués de prairies naturelles, parce que non arables, trop pentues ou partiellement inondables. Plus ou moins intégrées à des cultures, ces surfaces constituent une alternative majeure pour répondre à la demande urgente en produits animaux (FAO 2012).

Les divers résultats de ce travail s'articulent autour de quatre parties majeures présentées sous forme d'articles scientifiques soit publiés ou acceptés avec révisions mineures, soit soumis ou en cours de relecture.

La première partie présente le cadre général de l'étude, en ce qui concerne le contexte local de la filière bovine, et les systèmes d'élevage au pâturage et à l'auge.

Dans la seconde partie, l'analyse d'un dispositif analytique a permis de quantifier et d'évaluer les effets du mode d'alimentation (auge vs pâturage) et de l'âge d'abattage sur les performances de croissance et les caractéristiques de taurillons Créoles abattus à deux âges

différents (précoce vs tardif) Ce travail a été valorisé par la **publication 1, publiée dans la revue Journal of Animal Science.**

Dans une troisième partie, il s'agissait de faire un état des connaissances sur les effets du mode de conduite sur la croissance, et les caractéristiques d'abattage et de carcasses de bovins, ovins et caprins en zone tropicale et tempérée. Pour ce faire, une méta-analyse a été réalisée à partir de données publiées sur la comparaison de ces deux modes de conduite. Ce travail a été valorisé par la **publication 2, publiée dans la revue Journal of Animal Science.**

Dans une quatrième partie, des investigations méthodologiques ont ensuite été menées afin d'identifier la méthode la plus appropriée pour apprécier l'alimentation (dMO, MOI, MODI) au pâturage, de taurillons Créoles supplémentés ou non. Ce travail a été valorisé par la **publication 3 en cours de relecture avant soumission.**

Dans une cinquième partie, un dispositif analytique a été analysé pour préciser l'impact respectif du mode de conduite et de la stratégie de complémentation sur l'ingestion, et la digestibilité des aliments, la consommation d'eau et le comportement alimentaire des taurillons Créoles. Ce travail a été valorisé par la **publication 4, soumise à la revue Journal of Agricultural Science.**

Enfin, la discussion générale de l'ensemble des résultats présente les principaux apports de cette thèse ainsi que les pistes de réflexion.

Le travail de thèse a donc consisté en une méta-analyse, une étude méthodologique et deux expérimentations majeures (**figure 1**).

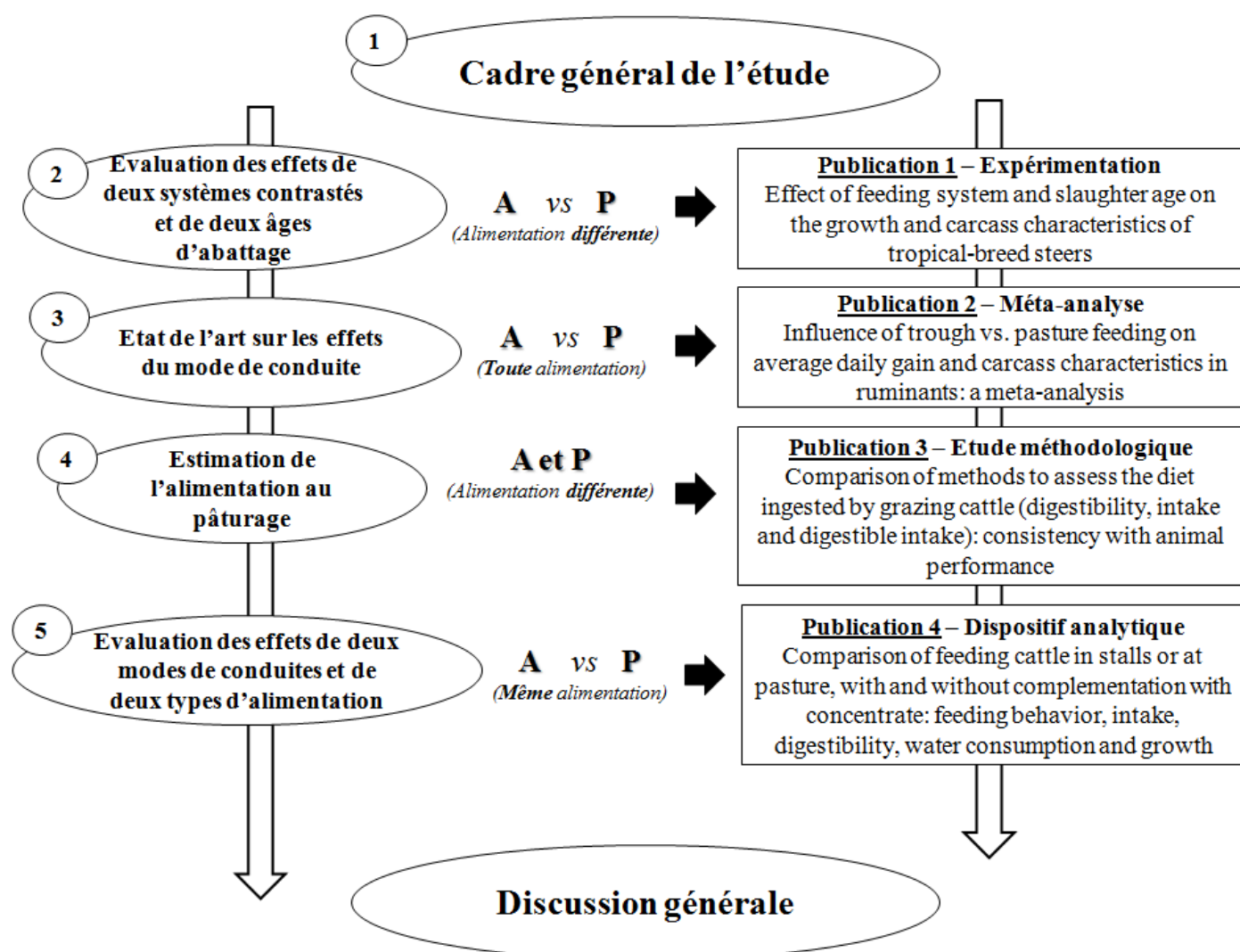


Figure 1. Schéma récapitulatif des étapes et des publications de la thèse

## **CHAPITRE 1 : CADRE GENERAL DE L'ETUDE**

## **CADRE GENERAL DE L'ETUDE**

### **I) L'élevage bovin en Guadeloupe**

#### **1.1) La production et l'abattage de bovins**

L'élevage en Guadeloupe représentait à ses débuts une réserve de viande sur pied pour les premiers colons espagnols, puis une force de travail pour le transport de la canne, les labours et les moulins durant toute la période coloniale, en complément des fonctions de production de viande et de cuir. A l'issue de cette époque coloniale, l'élevage relevait d'un caractère purement social et familial et concernait, il y a encore quelques années, en grande majorité des pluriactifs pour qui il s'agissait de complément d'activité (« épargne sur pied »). L'intérêt économique de cette activité s'est peu à peu révélé (Naves 2003). Le nombre total de tête du cheptel s'élèverait à environ 39000 en 2010 selon un recensement agricole officiel (Agreste 2011) ; mais cette estimation ne tient pas compte des petits élevages non professionnels, et le cheptel identifié représenterait près de 80000 têtes selon l'EDE. Les effectifs moyens des troupeaux bovins montrent une très large prédominance des petits troupeaux, avec en moyenne, 6.5 bovins (Mahieu et al. 2008). Le mode de conduite le plus pratiqué est le pâturage au piquet (FEADER 2005) qui consiste en l'attache des animaux par une chaîne à un point fixe, avec un déplacement quotidien. La pratique de la complémentation est assez peu répandue, et est principalement sous forme d'amarres de canne à sucre pendant la saison sèche, et plus rarement d'aliments concentrés. En saison des pluies, l'élevage bovin doit faire face à des difficultés de pâturage liées au piétinement en lien avec le chargement et aux faibles valeurs alimentaires saisonnières des fourrages. A l'inverse, en période de carême, les éleveurs doivent faire face à des déficits fourragers chroniques assez prononcés.

Le cheptel bovin est presque exclusivement destiné à la production de viande (Galan et al. 2009). Selon les statistiques d'abattages contrôlés de 2008, on estimait la quantité de viande de bovins produite en Guadeloupe à 2 002 tonnes équivalent carcasse (ODEADOM 2010). Cependant, l'on évalue à près de 20% la part de la viande bovine abattue hors des abattoirs agréés (Naves 2003). Depuis la fermeture de l'abattoir de Baillif en 2004, la filière ruminant dispose de deux abattoirs, un au Moule, l'autre à Marie-Galante, pour une capacité totale de 2 500 tonnes/an.

Depuis Juillet 2008, la SICA Cap'viande et la SICA PEBA ont ouvert un atelier de découpe. La première conséquence directe de la mise en service de cet outil est le quasi doublement des volumes de viande traités par cette SICA. Malgré cela, la production locale de viande bovine représente à peine 33% de la consommation totale car chaque année, près de 4000 tonnes de viande sont importées en Guadeloupe (ODEADOM 2009). Le poids des importations de viande généralement congelée en provenance de métropole est prépondérant dans l'organisation de la mise en marché des viandes locales.

En Guadeloupe, les troupeaux bovins sont composés d'animaux de type Créole et de nombreux croisements « tout venant » avec des races importées, principalement la race Limousine. Du fait de ses origines métisses et de son adaptation aux conditions d'élevage en milieu tropical, la race Créole constitue une ressource intéressante pour la production de viande dans le contexte local, et un modèle de choix pour l'étude des performances animales dans cet environnement.

## **1.2) Le bovin Créole**

Le bovin Créole de Guadeloupe tire ses origines des bovins ibériques amenés par les premiers colons espagnols et portugais. Il est aussi le résultat de métissages variés intervenus tout au long de la période de colonisation, et principalement durant le XVIII<sup>e</sup> siècle. Le bovin Créole possède ainsi des caractéristiques intermédiaires entre les races taurines européennes, notamment des races ibériques, et des races bovines africaines, comme le zébu ou le N'Dama d'Afrique de l'Ouest (Gautier and Naves 2011). Depuis près de trente ans, les chercheurs de l'INRA étudient les caractéristiques du bovin Créole, ses performances zootechniques et les possibilités de valoriser ses aptitudes. Ces travaux ont abouti à la reconnaissance officielle de la race bovine Créole en 1995, et à la mise en œuvre d'un programme d'amélioration génétique visant à la sélection des meilleurs reproducteurs de cette race, à son exploitation raisonnée et à sa promotion. La race Créole dispose désormais d'un Organisme de Sélection agréé par le Ministère de l'Agriculture, chargé de la tenue de son livre généalogique, de l'encadrement de la base de sélection et de la promotion de la race. Les animaux reproducteurs sont sélectionnés sur des critères de rusticité, d'adaptation aux conditions du milieu et sur leur potentiel de croissance. Le bovin Créole représente aujourd'hui près de 45 % du cheptel bovin de Guadeloupe soit près de 30000 têtes, dont 15000 vaches environ. Il est

généralement exploité en race pure dans des exploitations de type familial, de petite taille et pratiquant un mode d'élevage peu intensifié. Il est également le support de croisements, en particulier dans des exploitations de polyculture-élevage, ou des élevages spécialisés orientés vers la production de viande bovine. Dans ces conditions, ses qualités de rusticité sont appréciées (Naves et al. 2011).

Malgré des pratiques d'élevage généralement ancrées dans la tradition, les éleveurs cherchent à maximiser la productivité du troupeau allaitant et à optimiser le niveau de croissance des animaux en engraissement, notamment en croisant la race locale avec des races à viande. Pourtant, cette race locale possède des aptitudes remarquables pour l'élevage en zone tropicale :

- une bonne acclimatation aux contraintes thermiques et tolérance de période de sous-alimentation sans diminution des performances
- une résistance exceptionnelle aux tiques et aux maladies qu'elles transmettent (dermatophilose, cowdriose, etc).
- une croissance voisine de celle d'autres races de la région (620 g/j à 840 g/j, selon le système de production utilisé) traduisant un potentiel de croissance important pour une race rustique en milieu tropical
- un rendement carcasse de 58%, voisin de ce que l'on peut observer dans les races à viande
- une bonne fertilité et longévité des vaches avec des taux d'avortement et de mortalité des veaux avant sevrage faibles malgré la conduite en plein air intégral.

### **1.3) Soutiens publics mis en place et organismes professionnels**

#### ***Soutiens publics***

Comparé à la métropole, le développement des filières d'élevage est contraint par un certain nombre de handicaps spécifiques (climat, pathologies particulières, insularité, taille réduite des marchés, etc.), qui ont pour conséquence des coûts de production élevés et un manque de compétitivité vis-à-vis des produits importés. Pour lutter contre ces contraintes, un grand nombre d'actions sont menées par les acteurs nationaux, comme l'Office de Développement de l'Economie Agricole des Départements d'Outre-Mer (ODEADOM), ou l'Union

Européenne à travers des programmes de soutien aux diverses filières agricoles dans le cadre de programmes opérationnels (FEADER, FSE). Ainsi, le Programme d'Options Spécifiques à l'Eloignement et à l'Insularité des Départements français d'Outre-Mer (POSEIDOM) propose un dispositif d'aides financières découlant d'une adaptation de la politique agricole commune de l'Union européenne aux départements d'outre-mer (prime aux petits ruminants, aide au développement et au maintien du cheptel allaitant, prime à l'abattage, structuration de l'élevage).

L'élevage bovin en Guadeloupe, est un élevage omniprésent et en pleine expansion. Localement, il y a des stocks fourragers susceptibles d'être utilisés pour l'alimentation animale, constituant un levier important pour augmenter la production de viande. De plus, dans un contexte général de hausse du prix des ressources et des produits dérivés (transports, machines, etc...), et d'une forte demande en produits locaux, les élevages locaux ont une carte importante à jouer pour accroître leur part de marché et diminuer l'importation. Ceci ne sera toutefois possible sans une optimisation des systèmes d'élevage, c'est-à-dire sans un choix stratégique du mode de conduite et de l'alimentation.

### ***Organismes professionnels***

La filière de production animale se heurte aujourd'hui à la nécessité de se professionnaliser davantage compte tenu du contexte actuel de mondialisation, des échanges commerciaux, et du cadre réglementaire européen de plus en plus strict en matière de garantie sanitaire alimentaire. Désormais, la qualité, la traçabilité, la productivité, le prix, la compétitivité et l'innovation sont les maîtres mots que la profession ne peut ignorer. Si la Guadeloupe a, par le passé souffert d'un manque de structures organisées pour la production et la commercialisation autour de la filière viande, depuis 1999, la profession est en voie de regroupement. La SICA Cap' viande regroupe plus de 1000 éleveurs dont 20% adhèrent au groupement, pour un total de 7000 bovins. Créée en 2000, elle assure la commercialisation, l'appui technique aux éleveurs et la fourniture de matériel d'élevage (clôture, petits équipements, etc.). La SICA PEBA, créée en 2006 à partir du Syndicat des Paysans Eleveurs de la Basse-Terre réalise l'encadrement technique et la commercialisation des animaux d'une

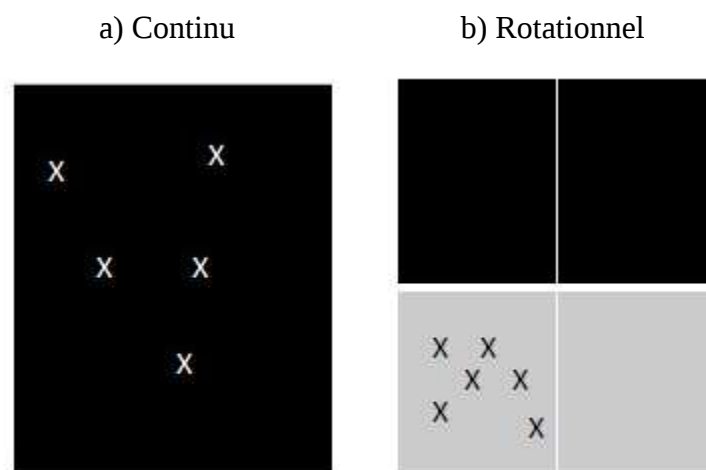
douzaine d'adhérents. Sélection Créole regroupe une soixantaine d'éleveurs adhérents, pour un cheptel mère de près de 1200 vaches, principalement conduites en race pure Créole. Il encadre notamment un noyau d'une dizaine d'éleveurs en contrôles de performances, qui assurent la diffusion de reproducteurs. Sélection Créole est par ailleurs en charge du Service Universel de l'Insémination Artificielle pour le département de la Guadeloupe. Toutes ces structures sont adhérentes à l'Interprofession Guadeloupéenne de la Viande et de L'Elevage (IGUAVIE). L'IGUAVIE a été créée en 2004, par les professionnels guadeloupéens de l'élevage, afin de fédérer, de mieux coordonner et rationaliser les efforts de développement et de conquérir des parts de marché supplémentaires du secteur de l'élevage. Il s'agit d'une structure de concertation qui rassemble principalement les producteurs, les transformateurs et les distributeurs en vue de réglementer et promouvoir leur rapport. Elle regroupe 8 filières de production : bovine, porcine, cunicole, œuf, volaille de chair, caprine-ovine, apicole, aquacole. Ses missions sont de favoriser le développement durable de la production locale de viande et de tout autre produit de l'élevage, d'assurer un approvisionnement régulier du marché intérieur en quantité, régularité et qualité et de participer à toute action concourant à la promotion de ce secteur.

## **II) les systèmes au pâturage et à l'auge**

Le pâturage a longtemps constitué la source principale d'alimentation des ruminants. De nos jours, les superficies consacrées aux pâturages et aux prairies diminuent constamment et l'on assiste au développement accru d'élevages industriels, hors sol. Cette situation est attribuable principalement à l'augmentation de la taille des troupeaux, à la mécanisation et à de nouveaux modes d'alimentation.

### **2.1) Les systèmes au pâturage**

L'on parle de systèmes au pâturage lorsque les animaux sont élevés sur des terres agricoles appelées pâture. La pâture est un terrain couvert d'herbe, réservé à l'alimentation du bétail sur place de manière saisonnière ou permanente. Contrairement aux systèmes à l'auge, les animaux au pâturage broutent directement et librement. Au niveau mondial, Il existe deux grands types de pâturage : le pâturage continu et le pâturage rotationnel.



**Figure 2.** Le pâturage continu et rotationnel

En pâturage continu (ou libre), les animaux consomment sans contrainte l'herbe disponible en permanence, dans des parcs de surface variable. C'est un système simple à mettre en œuvre et à gérer, avec un investissement minime, et un besoin nul de déplacer les animaux. Lorsque le fourrage est suffisamment disponible, le pâturage continu se traduit par une bonne performance des animaux.

En pâturage rotationnel, plus d'une zone de pâturage est utilisée et les animaux sont déplacés vers différentes zones de pâturage. Les pâturages profitent alors de périodes de repos ce qui permet aux plantes de repousser. Ces périodes de repos permettent également de diminuer l'infestation des pâturages par les larves de parasites internes (Barger et al. 1994; Walkden-Brown et al. 2013). Le pâturage rotationnel améliore généralement le rendement en fourrages ainsi que sa qualité (Paine et al. 1999; Oates et al. 2011). Cependant, les frais de clôture sont plus élevés que le pâturage continu et il est nécessaire de déplacer les animaux régulièrement, vers un nouvel espace à pâturer. Par ailleurs, la valeur nutritive des fourrages diminue avec l'âge des repousses, et il est nécessaire de trouver un optimum pour l'exploitation des parcelles.

En Guadeloupe, une autre forme de pâturage domine : le pâturage au piquet. L'animal au piquet est attaché par une chaîne ou un fil à un point fixe. Il n'a donc accès qu'à la partie de parcelle délimitée par la circonférence de ce cercle. Il est déplacé quotidiennement sur un nouvel emplacement pour profiter d'un nouveau fourrage. Ce système de pâturage permet de bien gérer l'herbe ainsi que les ressources disponibles, notamment les ressources exigües et

précaires. La contrainte en main d'œuvre est cependant réelle et peu devenir rédhibitoire pour des grands effectifs. Localement, le pâturage au piquet n'est remplacé par le pâturage libre que dans le cas des troupeaux plus importants (Mahieu et al. 2011).

La conduite au pâturage présente de nombreux atouts car elle offre aux animaux une source alimentaire économique et d'excellente qualité. En effet, elle est considérée comme plus rentable en raison de faibles coûts de production et nécessite moins de main d'œuvre (Barros et al. 2009). De même, la conduite au pâturage permet de maintenir et d'améliorer l'hétérogénéité structurelle du gazon, et donc la diversité botanique et faunistique, par la défoliation sélective due aux choix alimentaires (Boval and Dixon 2012). Elle contribuerait également à la séquestration du carbone et à la réduction des gaz à effet de serre (O'Mara 2012), dans le cadre d'une bonne gestion qui favorise le développement racinaire des plantes. Les animaux au pâturage peuvent produire de la viande avec des caractéristiques nutritionnelles spécifiques (Steen et al. 2003). La viande d'animaux élevés au pâturage a une composition en acides gras plus souhaitable en ce qui concerne ses effets sur la santé humaine (Alfaia et al. 2009). En effet, cette viande possède d'avantage d'acides gras *n*-3, que celle issue de bovins nourris à l'auge, avec complémentation (Nuernberg et al. 2005).

La conduite au pâturage peut également présenter certaines contraintes. Elle nécessite des terres et est souvent associée à une faible productivité du bétail par hectare. En zone tropicale humide, la principale contrainte de la conduite au pâturage est le parasitisme des petits ruminants (Aumont et al. 1997). Ces systèmes entraînent une exposition accrue des petits ruminants à des strongles gastro-intestinaux, entraînant à terme des baisses de production (Mahieu et al. 2009).

Au pâturage, les fourrages sont la base de l'alimentation des ruminants (World Resources Institute 2005). Les fourrages tropicaux ont des teneurs en NDF plus élevées (+16 % en moyenne) et des teneurs en MAT plus faibles (- 8 % en moyenne) que les fourrages tempérés (Archimede et al. 2009). En région tropicale, les ressources fourragères sont très variables de part les variations de température, de précipitation et du taux d'humidité (Roberge and Toutain 1999). Ceci est particulièrement vrai en Guadeloupe, car les reliefs retrouvés en Basse-Terre accrochent une bonne partie des nuages tropicaux (précipitations comprises entre 2 et 4 m d'eau par an) tandis que l'île de la Grande-Terre, plus plane, est une région relativement peu arrosée (précipitations annuelles n'excédant pas 1.5 m). L'on distingue également deux saisons :

la saison sèche, aussi appelée carême, de décembre à mai et la saison des pluies, ou hivernage, de juin à novembre (Météo France). Le contexte pluviométrique propre à chaque île ainsi que les saisons ont des conséquences sur la quantité et la qualité de fourrage produit, et donc sur les performances animales.

Les spécificités des fourrages tropicaux, peu digestibles et pauvres en azote, ne permettent pas des gains de poids comparables à ceux obtenus avec des fourrages tempérés. Bien souvent, l'alimentation est l'un des principaux facteurs limitant la production des animaux d'élevage en zone tropicale.

La pratique de la complémentation est rarement utilisée dans les systèmes de pâturage, à la différence des systèmes à l'auge. Pourtant, les différentes ressources utilisées comme complément en alimentation à l'auge (aliment concentré, co-produits de cultures et ressources non conventionnelles) pourraient également être valorisées au pâturage.

A l'URZ, Les travaux conduits au pâturage ont contribué à déterminer l'impact de la conduite du pâturage sur l'alimentation, à apprécier l'impact de la structure prairiale sur le comportement, la digestibilité et l'ingestion (Boval et al. 2007) et à mettre au point des méthodes (index fécaux, spectroscopie dans le proche infrarouge) de mesure de la digestibilité et de l'ingestion au pâturage, pour des bovins (Boval et al. 1996; Boval et al. 2004) et des petits ruminants (Fanchone et al. 2009).

## **2.2) Les systèmes à l'auge**

Les systèmes d'alimentation à l'auge sont définis comme étant des systèmes où le fourrage (qui peut être du fourrage cultivé ou des résidus de culture) sont coupés, portés et déposés dans une auge, aux animaux. Différents modes d'élevage consistant à garder les animaux d'élevage en intérieur ont été développés, afin de répondre au mieux-être des éleveurs et du bétail principalement dans les régions tempérées ou froides. Le plus souvent, les systèmes à l'auge sont utilisés en phase de finition ou d'engraissement, avant abattage (Aurousseau et al. 2007; Honeyman et al. 2010). Les animaux nourris à l'auge peuvent être nourris avec une grande variété de rations. En général, ces rations sont constituées de fourrages de bonne qualité avec une forte complémentation en aliments concentré (Loerch 1990). Ce système se

trouve principalement dans les zones rurales très peuplées ayant un fort potentiel agricole (les zones de culture irriguées, les plaines ou zones montagneuses, les alentours des grands domaines et les zones péri-urbaines). Parmi les systèmes d'élevage « hors sol » utilisant l'alimentation à l'auge, l'on distingue : la stabulation et les parcs d'engraissement.

Le bétail en stabulation est maintenu saisonnièrement ou en permanence dans un espace restreint et clos couvert ou non. La méthode d'élevage en stabulation à l'air libre reprend les caractéristiques de la stabulation libre avec stalles ou sans. Il en existe deux méthodes principales : la stabulation entravée, et la stabulation libre. En stabulation entravée, les animaux, principalement les vaches, sont confinés sur des emplacements définis, appelés stalles. Ils ont généralement la liberté de se lever et de se coucher mais ne peuvent se déplacer. Ce système permet le nettoyage, la traite et l'alimentation manuelle ou automatisée. En stabulation libre, les animaux ont libre accès à leur stalle mais n'en demeurent pas moins confinés à l'intérieur d'un parc.

Les parcs d'engraissement (ou « *feedlot* ») permettent à partir d'espaces réduits, une forte production de viande, via un rendement très élevé. Ces parcs sont généralement retrouvés en Amérique du nord (Texas, Kansas, Oklahoma) et dans les grands pays exportateurs de viande (Afrique du Sud, Argentine, Australie, Brésil). Dans ce système, les rations sont surtout distribuées de façon mécanique. Les animaux sont ainsi engraisés durant 2 à 6 mois, en fonction du potentiel de croissance de l'animal et de la demande du marché. Les bovins sont gardés en groupe, qui peuvent aller jusqu'à près de 400 têtes. Les parcs sont nettoyés deux fois par an et le fumier, qui s'accumule en grandes quantités dans le parc, est épandu sur les terres voisines.

Pour pallier à ce problème, en Amérique du nord, la plupart des parcs d'engraissement utilise des ionophores (Duffield and Bagg 2000). Les ionophores affectent la population microbienne dans le rumen, et permettent une réduction de la formation de déchets, une meilleure efficacité des bactéries bénéfiques, et la formation d'acides organiques plus bénéfiques (Tedeschi et al. 2003).

La conduite à l'auge présente certains atouts. Le plus grand avantage est qu'elle est le moyen le plus rapide d'élever un grand nombre de bovins pour la production de viande. Le potentiel de ce système à produire davantage de produits animaux pour le marché réside avant tout dans l'augmentation du nombre d'exploitations rattachées à ce système intensif utilisant de la main d'œuvre. De plus, les animaux sont ainsi logés, il devient plus facile pour les éleveurs de les

surveiller, les traire, et les manipuler. Enfin, la contribution éventuelle du piétinement des animaux à la dégradation du sol est différente et pourrait être moins importante que dans certains autres systèmes.

Parallèlement, de nombreuses contraintes sont à considérer. Une telle intensité de la production soulève des préoccupations environnementales. Ces conduites peuvent polluer les eaux souterraines (Maule and Fonstad 2000) ainsi que l'air ambiant (Sweeten et al. 1988). A fort chargement, des odeurs d'ammoniac émanant des fèces, de l'urine et des aliments, peuvent être un problème (Smith and Watts 1994). En parc d'engraissement, à faible chargement, de la poussière est formée dans l'air environnant, entraînant des détresses respiratoires (Snowder et al. 2006). Cette conduite demande beaucoup de main d'œuvre (fauche et distribution du fourrage, entretien des bâtiments, nettoyage des stalles, etc...). La finition en parc est moins profitable lorsque le prix des céréales augmente (ou autres aliments de haute qualité). Dans ces systèmes la question du bien être animal se pose. Le fourrage distribué est plus rapidement mangé qu'au pâturage. Ceci, couplé au chargement élevé encourage des comportements nuisibles (chevauchement, etc...). Un autre problème de bien-être animal est le développement de boue, avec une accumulation sur le pelage, ce qui peut potentiellement transmettre des maladies (Smith et al. 2001). Outre l'éthique et les préoccupations environnementales, les parcs d'engraissement ont fait l'objet de critiques pour des raisons de santé humaine. Les tissus d'engraissement des bovins élevés dans ces conditions, contiennent beaucoup plus de gras saturés que celui du bétail nourri avec de l'herbe exclusivement (Alfaia et al. 2009). En raison du maïs en grains et de l'alimentation du bétail, l'engraissement de la viande bovine dans ce type d'élevage peut, après de longues périodes, réduire les acides gras sains.

A l'auge, les animaux reçoivent le plus souvent une complémentation et donc une ration alimentaire à forte densité énergétique. Le premier rôle de la complémentation est de fournir les nutriments nécessaires à la production. Il s'agit aussi bien de macro-nutriments que de nutriments spécifiques tels que les acides aminés, les acides gras, les enzymes, les vitamines et les minéraux. En systèmes intensifs, le niveau de complémentation est souvent élevé (de 30 à 70%). En systèmes de production de plus faible intensité, la complémentation est utilisée soit pour pallier un manque d'approvisionnement en fourrage, soit pour rectifier les déficiences nutritionnelles du fourrage disponible ou encore pour répondre aux besoins nutritionnels particulièrement élevés de certaines catégories d'animaux (allaitement, traite,

etc...). En zone tropicale, la complémentation est assez répandue, durant les périodes de sécheresse propices à une pénurie de fourrage. Il existe différentes sources de complémentation, mais à l'auge, les aliments concentrés industriels sont privilégiés. Les aliments concentrés industriels sont des aliments riches en nutriments, et généralement à faible teneur en cellulose brute, et fabriqués à la ferme ou achetés à des coopératives ou des organismes privés. Les différentes catégories d'aliments concentrés industriels sont : les graines de céréales (maïs, orge), les graines protéagineuses et oléagineuses (pois, soja) les sous-produits industriels (farine de gluten, tourteau de soja) et les granulés de végétaux ou d'aliments pré-dosés et amalgamés. L'usage d'aliments concentrés pour animaux dans les pays en développement a plus que doublé entre 1980 et 2005 (FAO 2009). L'exploitation des ressources non conventionnelles comme complément est une alternative intéressante car les aliments concentrés industriels sont souvent plus coûteux. En Guadeloupe, les travaux menés sur l'utilisation de ressources non conventionnelles ont principalement été menés sur la canne à sucre et ses coproduits (Gomez-Vazquez A. et al. 2003; Lima et al. 2009) ainsi que sur la banane (Ibrahim et al. 2000; Archimede et al. 2012)

La canne à sucre (*Saccharum officinarum*) représente une ressource particulièrement intéressante en régions tropicales et subtropicales, car 1) elle est une plante adaptée aux environnements tropicaux et subtropicaux, 2) elle est moins sensible que les autres cultures aux sols peu fertiles, aux insectes et aux maladies, 3) elle a une productivité élevée, 4) elle a la capacité unique de maintenir une qualité constante en tant que culture sur pied dans le champ. Les produits de la canne sont globalement pauvres en matière azotée, minéraux et vitamines (Archimede and Garcia 2008). Il faut donc les associer à des aliments permettant de compenser ces déficits (tourteau de soja, pois, feuillages riches en protéines, etc...). Les ruminants sont capables de valoriser la canne entière broyée, les amarres, la paille de canne et la bagasse (Archimede and Garcia 2008). D'après de nombreuses études, cette utilisation de la canne à sucre permettrait d'augmenter les performances animales (Lima et al. 2009).

Tout comme la canne à sucre, la banane est une ressource alimentaire très intéressante pour l'alimentation animale. Plusieurs parties du bananier peuvent être consommés par les ruminants : le fruit (verts ou murs, entiers ou fractionnés, et frais ou ensilés), les feuilles et les troncs. La valeur énergétique de la banane fraîche est 5 fois plus faible que celle du maïs (principal ingrédient des aliments concentrés industriels), du fait de sa teneur élevée en eau (Archimede and Renaudeau 2013). De plus, tout comme la canne à sucre, la banane est pauvre en azote (Archimede and Renaudeau 2013). Les ruminants disposant de bananes à

volonté, préfèrent la banane au fourrage. La banane ne peut être distribuée seule, car elle est considérée comme un concentré. La banane peut remplacer la totalité des céréales sans pénaliser les performances animales (Ibrahim et al. 2000).

A l'URZ, les travaux réalisés à l'auge ont permis de déterminer la valeur nutritive d'une grande variété d'espèces fourragères tropicales et de co-produits de la zone caraïbe et de la Réunion. Ils ont également permis de comprendre la dynamique digestive de fourrages en C4 consommés verts, de mesurer le rôle de l'activité cellulolytique du rumen (Eugène et al. 2004) et d'évaluer l'impact de la réduction de taille des particules sur l'ingestion et la digestion des fourrages verts, de tester des stratégies de valorisation de la biomasse fibreuse (défaunation, complémentation) et d'estimer les émissions de méthane d'ovins. Des essais ont également été réalisés pour la comparaison des modes de conduite en engraissement.

## CHAPITRE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE

## **Effet du mode de conduite et de l'âge d'abattage sur la croissance et les caractéristiques de carcasses de taurillons Créoles**

### **2.1. Introduction**

Les principaux facteurs déterminant la croissance et les caractéristiques d'abattage sont liés au mode de conduite. La conduite au pâturage est la plus répandue en région tropicale, mais est généralement associé à de faibles performances animales, principalement du fait de la faible valeur nutritive du fourrage. Plusieurs stratégies peuvent être mises en œuvre pour améliorer ces performances, comme une meilleure gestion de la pâture, l'utilisation d'aliments complémentaires (aliment concentré ; ressources alimentaires non conventionnelles) en supplément de l'herbe, ou encore le recours à des systèmes d'élevage hors pâturage.

Cependant, en région tropicale, il existe peu d'études comparant les effets des systèmes au pâturage et à l'auge sur la croissance et les caractéristiques de carcasse de bovins de race locale.

L'âge d'abattage influe également sur ces paramètres. Cet âge varie souvent en fonction de la croissance permise par le mode de conduite, et aussi du stade commercial auquel on désire amener l'animal. En Guadeloupe, les jeunes bovins sont généralement abattus à un âge voisin de 18 à 24 mois, et le poids moyen des carcasses avoisine les 200 kg.

Le but de cette étude est de quantifier et d'évaluer les effets du mode d'alimentation (auge vs pâturage) et de l'âge d'abattage sur les performances de croissance et les caractéristiques de taurillons Créoles, afin d'évaluer les possibilités d'améliorer ces performances dans les systèmes de production.

### **2.2. Matériels et Méthodes**

#### ***Dispositif expérimental***

De 1997 à 2009, 309 taurillons Créoles ont été élevés dans deux systèmes contrastés (l'auge vs pâturage) et abattus à deux âges différents (précoce : 14.5 et 17.6 mois vs tardif : 17.1 et 21.2 mois, respectivement dans les deux modes de conduite).

A l'auge (n = 177), les taurillons étaient maintenus en permanence en stabulation dans des loges collectives et nourris 2 fois par jour avec du fourrage vert fauché (*Digitaria decumbens*, principalement) de 50 jours d'âge de repousse en moyenne. Les animaux à l'auge avaient libre accès à des granulés de concentré à base de maïs, délivrés par un dispositif d'alimentation automatique. La complémentation en concentré était à hauteur de 60 % de leur ingestion volontaire estimée (57 g de concentré par kg de poids métabolique). Au pâturage (n = 132), les taurillons étaient maintenus en permanence sur des parcelles de *Digitaria decumbens* irriguées. Le pâturage était exploité en rotation, avec un âge de repousse de 30 jours environ, avec un chargement de 1.30 t.ha<sup>-1</sup>. Aucune complémentation alimentaire n'a été donnée à ces taurillons (Figure 3).

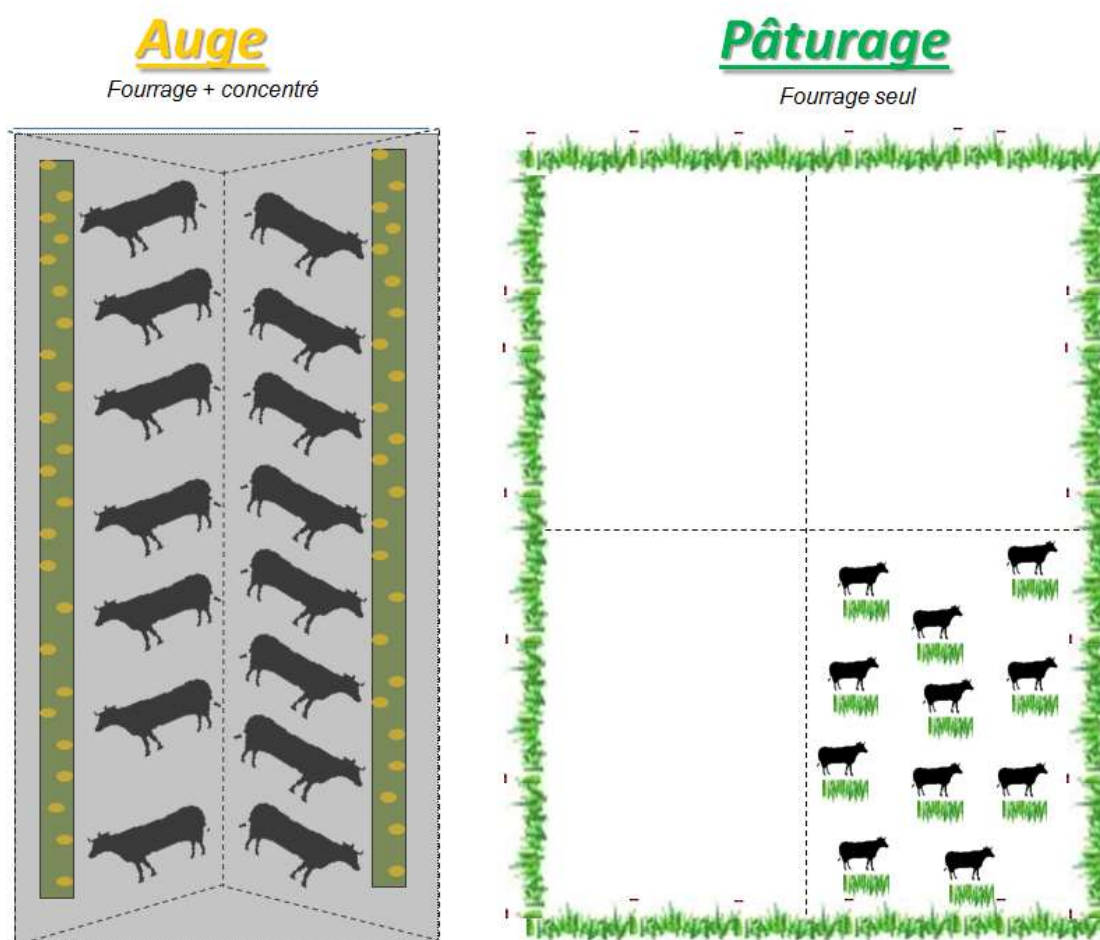


Figure 3. Dispositif expérimental

#### *Abattage et mesures sur carcasses*

Les taurillons à l'auge ont été abattus à 14.5 mois (abattage précoce) et 17.1 mois (abattage tardif), tandis que ceux au pâturage ont été abattus à 17.6 mois (abattage précoce) et 21.2 mois (abattage tardif), soit 3 à 4 mois plus tard, afin d'amener les taurillons à un poids vif équivalent, compte tenu des différences de croissance entre les deux systèmes.

Le poids d'abattage (PA) a été enregistré juste avant l'abattage. Le poids de carcasse chaude (PCC), a été enregistré et le rendement de carcasse chaude (RCC) calculé de la manière suivante :  $(PCC / PA) \times 100$ . Les différentes parties du tube digestif (tube digestif plein et vide, estomac et intestins) ont été pesées individuellement. Les gras de cœur, rognons, de mésentère, et de péritoine ont également été retirés et pesés individuellement. Après 24 heures de réfrigération le poids de carcasse froide (PCF) a été enregistré et le rendement de carcasse froide (RCF) a été calculé de la manière suivante :  $(PCF / PA) \times 100$ . Des mensurations morphologiques ont été prises sur les carcasses (longueur de carcasse, profondeur de poitrine externe, épaisseur de faux-filet et épaisseur de cuisse). Les pans avant et arrière des carcasses ont été pesés individuellement. Les compositions tissulaires des carcasses ont été estimées à partir des mensurations de carcasse et de la composition des 6<sup>ème</sup> et 11<sup>ème</sup> côtes.

### 2.3. Résultats et Conclusions

Les taurillons élevés à l'auge ont globalement montré de meilleures performances (GMQ, PPC, RCC, PCF, RCF) que ceux au pâturage. De plus, les carcasses des animaux à l'auge étaient plus grasses que celles des animaux au pâturage ( $164$  vs  $145 \pm 4.5$  g.kg<sup>-1</sup>,  $P = 0.001$ ). Les taurillons abattus tardivement avaient de plus faibles GMQ, mais de meilleurs rendements carcasses que ceux abattus précocement, indépendamment du mode de conduite. L'interaction du mode de conduite et de l'âge d'abattage a eu un effet sur la composition tissulaire des carcasses, qui est un paramètre clé pour la production de viande. En effet, la part de muscle était plus importante chez les taurillons abattus tardivement, et ce plus particulièrement au pâturage.

Les résultats ont montré que le mode de conduite et l'âge d'abattage étaient deux facteurs majeurs qui affectaient indépendamment la croissance et les caractéristiques des carcasses des bovins et qui influençaient conjointement les dépôts tissulaires. Cette expérimentation nous a permis de montrer qu'abattre tardivement les animaux au pâturage (environ 3 à 4 mois plus tard) permettait non seulement d'atteindre des poids comparables à ceux de l'auge, mais aussi

permettait l'obtention de carcasses riches en muscle et donc plus adaptées à la demande des consommateurs.

Toutefois, dans ce dispositif, les effets du mode de conduite et de l'alimentation étaient combinés. Les taurillons à l'auge recevaient une complémentation, tandis que ceux au pâturage n'en recevaient pas. Des études complémentaires doivent être menées en évitant cette confusion, afin d'identifier les effets spécifiques du mode de conduite d'une part et de l'alimentation d'autre part sur la croissance et les caractéristiques d'abattage et de carcasses.

# **JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**

*The Premier Journal and Leading Source of New Knowledge and Perspective in Animal Science*

## **Effects of feeding system and slaughter age on the growth and carcass characteristics of tropical-breed steers**

A. Agastin, M. Naves, A. Farant, X. Godard, B. Bocage, G. Alexandre and M. Boval

*J ANIM SCI* 2013, 91:3997-4006.

doi: 10.2527/jas.2012-5999 originally published online June 4, 2013

The online version of this article, along with updated information and services, is located on the World Wide Web at:

<http://www.journalofanimalscience.org/content/91/8/3997>



**American Society of Animal Science**

[www.asas.org](http://www.asas.org)

## Effects of feeding system and slaughter age on the growth and carcass characteristics of tropical-breed steers<sup>1</sup>

A. Agastin,\* M. Naves,\*<sup>2</sup> A. Farant,† X. Godard,† B. Bocage,† G. Alexandre,\* and M. Boval\*

\*INRA, UR143, Unité de Recherches Zootechniques, Domaine Duclos, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, French West Indies; and †INRA, UE1294, PTEA Domaine Expérimental de Gardel, Centre INRA-Antilles-Guyane, 97160 Le Moule, Guadeloupe, French West Indies

**ABSTRACT:** This study aimed to compare the growth performances and carcass characteristics of tropical-breed steers reared in 2 contrasted feeding systems (indoor vs. pasture) and slaughtered at different ages (early vs. late). A total of 309 Creole steers (growing at an initial BW of  $173 \pm 3$  kg and an initial age of  $252 \pm 4$  d) were used over a continuous 12-yr study. Indoor steers were housed in a cattle shed, fed fresh-cut grass plus concentrate, and slaughtered at  $14.5$  or  $17.1 \pm 0.1$  mo of age. Pasture steers were pasture grazed without supplemental feed, and slaughtered at  $17.6$  and  $21.2 \pm 0.1$  mo of age. Indoor-fed steers had a greater ADG ( $786$  vs.  $517 \pm 29$  g·d<sup>-1</sup>;  $P < 0.0001$ ) and more carcass fat ( $164$  vs.  $145 \pm 4.5$  g·kg<sup>-1</sup>;  $P = 0.001$ ) than pasture-fed steers. Late-slaughtered steers had decreased ADG ( $630$  vs.  $673 \pm 27$  g·d<sup>-1</sup>;  $P = 0.001$ ) but greater dressing percentages (hot dressing percentage =  $55.7$  vs.  $54.7 \pm 0.34\%$ ; chilled dressing percentage =  $54.5$  vs.  $53.4 \pm 0.34\%$ ;  $P < 0.0001$ ) than early-slaughtered steers.

The interaction between feeding system and slaughter age was significant for carcass tissue composition. Whole-carcass muscle content was greater in late-slaughtered steers than early-slaughtered steers, especially in pasture-fed steers ( $720$  vs.  $698 \pm 6.0$  g·kg<sup>-1</sup>;  $P < 0.0001$ ), but less so in indoor-fed steers ( $707$  vs.  $700 \pm 5.9$  g·kg<sup>-1</sup>;  $P = 0.046$ ). Furthermore, increasing slaughter age had no effect on carcass fat in indoor-fed steers ( $162$  vs.  $166 \pm 4.8$  g·kg<sup>-1</sup>;  $P = 0.342$ ), but decreased carcass fat in pasture-fed steers ( $150$  vs.  $140 \pm 5.0$  g·kg<sup>-1</sup>;  $P = 0.014$ ). The results showed that slaughter age and feeding system are 2 major factors that independently affect most of the growth and carcass traits of tropical-breed steers but jointly influence tissue deposition. Our study found that in tropical-breed steers that are grazing, late slaughtering grazing steers increased carcass muscle content without extra fat, thus yielding a carcass quality better suited to consumer choices.

**Key words:** average daily gain, carcass traits, cattle, indoor, pasture, slaughter age

© 2013 American Society of Animal Science. All rights reserved.

J. Anim. Sci. 2013.91:3997–4006  
doi:10.2527/jas2012-5999

### INTRODUCTION

Grazing is the main mode of feeding ruminants in the tropics (Steinfeld et al., 2006). Nevertheless, grazing systems are generally associated with low performances, particularly in the tropics, due to the relatively poor nutritive value of available forage. In

these regions, further strategies may improve efficiency of grazing systems. First, a suitable pasture system management strategy can improve the exploitation of offered biomass and increase feed intake at pasture (Boval and Dixon, 2012). Second, supplementing grazed forages with nutritious feed-like concentrate (Sales et al., 2011) or abundantly available local feeds (Archimede et al., 2010) may enhance DM and nutrient intakes and thereby improve performances at pasture. However, systems off-pasture with supplemental feeds have developed in these regions.

Feeding system is a major criterion in beef production and induces specific effects on growth and carcass characteristics on cattle (Esterhuizen et al., 2008;

<sup>1</sup>We gratefully acknowledge the financial support awarded by the Guadeloupe Region and EU Social Funds for the grant given to Aurélie Agastin and the support on experiments given under the *Agroecotrop* program.

<sup>2</sup>Corresponding author: michel.naves@antilles.inra.fr

Received October 17, 2012.

Accepted May 1, 2013.

Menezes et al., 2010). Furthermore, previous studies have also reported that many important beef characteristics, including growth and meat quality and palatability, are influenced by slaughter age (Maltin et al., 1998; Kwon et al., 2009).

To our knowledge, there is a lack of studies comparing the effects of the 2 common feeding systems in tropical environments on growth and carcass characteristics of tropical-breed cattle reared in a tropical climate, which addresses a large portion of global beef production.

Therefore, this study was designed to quantify and assess growth performances and carcass characteristics in steers from a tropical beef breed reared in 2 contrasted feeding systems (housed indoors or grazed at pasture) and slaughtered at 2 ages. We tested the hypothesis that pasture-fed cattle could achieve similar final carcass weight but with leaner meat than indoor-fed cattle simply by modifying slaughter age.

## MATERIALS AND METHODS

This experiment was conducted between 1998 and 2009 at the French National Agronomic Research Institute (INRA) experimental animal husbandry station in Gardel, Guadeloupe (16°16' N, longitude 61°30' W), in the French West Indies. Animal care and management was performed in compliance with the Certificate of Authorization to Experiment on Live Animals issued by the French Ministry of Agriculture, Fisheries and Foodstuffs.

### Experimental Design

Over a 12-yr period, the experiment used a total of 309 purebred Creole steers raised with the mothers on pasture until weaning at age 7 mo. After a postweaning transition period of about 40 d, the steers ( $252 \pm 4$  d old, at an average BW of  $173 \pm 3$  kg) were grown in 2 feeding systems: housed in a cattle shed or grazed at pasture. Each year, 1 group of steers was kept indoors and fed fresh-cut grass and concentrate whereas the other group was left outdoors to graze pasture without supplementation. Within each feeding system, the animals were slaughtered either early or late. For indoor-fed steers ( $n = 177$ ), early and late slaughter occurred at  $14.5 \pm 0.1$  mo ( $n = 98$ ) and  $17.1 \pm 0.1$  mo ( $n = 79$ ), respectively, whereas for pasture-grazed steers ( $n = 132$ ), early and late slaughter occurred at  $17.6 \pm 0.1$  mo ( $n = 65$ ) and  $21.2 \pm 0.1$  mo ( $n = 67$ ), respectively. These ages were chosen to reproduce the commercial BW usually observed in the beef sector in Guadeloupe.

**Table 1.** Chemical composition of Pangola grass (*Digitaria decumbens*) based on data reported by Archimede et al. (2000) and concentrate used

| Chemical composition <sup>1</sup> ,<br>g/kg DM | Pangola grass |        | Concentrate |
|------------------------------------------------|---------------|--------|-------------|
|                                                | Pasture       | Indoor |             |
| OM                                             | 887           | 879    | 915         |
| CP                                             | 79            | 57     | 379         |
| NDF                                            | 777           | 790    | 185         |
| ADF                                            | 429           | 441    | 112         |
| Acid detergent lignin                          | 74            | 78     | 34.9        |

<sup>1</sup>Mineral and vitamin composition of the concentrate used: Ca (0.53%), Na (0.04%), P (0.42%), Mn (51.12 mg/kg), Zn (183.4 mg/kg), Fe (59.99 mg/kg), I (0.50 mg/kg), Se (0.15 mg/kg), Co (0.25 mg/kg), Cu (9.79 mg/kg), vitamin A (11 International Unit/kg), vitamin D3 (2.20 International Unit/kg).

### Animal Feeding and Management

An average of 15 steers each year were assigned to the indoor treatment (IND) where they were penned together and fed twice a day, at 0800 h and 1500 h, with fresh-cut grass (mostly *Digitaria decumbens*) aged at about 50 d of regrowth (Table 1). The steers had free access to a pelleted commercial concentrate delivered by an automatic feeder and received concentrate up to 60% of the estimated daily voluntary intake (57 g of concentrate on a DM basis per kilogram metabolic BW). Pellet composition was 68% maize, 22% wheat middling, 8% soya meal, and 2% vitamins and minerals (Table 1).

Steers assigned to the pasture treatment (PAST) were rotationally grazed on irrigated pastures (predominantly *Digitaria decumbens*) at 30-d intervals. Each year, an average of 11 steers was assigned to the pasture treatment where they were rotationally grazed on 3.05 ha of irrigated pasture at a stocking rate of  $1.30 \text{ t ha}^{-1}$ . No supplementary feed was offered and steers were kept at pasture throughout the day. The pastures were fertilized at a rate of 50 nitrogen unit/ha, using a 27-9-18 N-P-K fertilizer.

All animals had ad libitum access to fresh water and mineral-vitamin supplement. Steers were weighed on a full BW basis, first at the beginning of the experimental period and then at 14-d intervals and again just before slaughter. Overall ADG was calculated as the difference between initial and final BW.

For IND steers, early slaughter (EARLY) and late slaughter (LATE) occurred at  $14.5 \pm 0.1$  mo and  $17.1 \pm 0.1$  mo, respectively, whereas for PAST steers, EARLY and LATE slaughter occurred at  $17.6 \pm 0.1$  mo and  $21.2 \pm 0.1$  mo, respectively.

### Slaughter and Carcass Measurements

The day before slaughter, steers were transported to the experimental slaughterhouse and fasted overnight.

On the day of slaughter, steers were weighed alive just before being slaughtered by captive bolt stunning and exsanguination. Carcass dressing followed a standardized protocol without electrical stimulation as recommended by the French Ministry of Agriculture. Hot carcass weight was recorded, and hot dressing percentage (HDP) was defined as  $(\text{HCW}/\text{slaughter BW}) \times 100$ . The entire digestive tract was removed and weighed (total and empty digestive tract, stomach, and intestines separate). Internal fat (heart, kidneys, ruffle, and peritoneal fats) was also removed and weighed. The carcasses were then split longitudinally into 2 sides, with the tail attached on the left side of the carcass. Both the left and right sides of the carcasses were weighed. The carcasses were chilled and stored at 4°C in a cooler for 24 h until further measures.

At 24 h postmortem, the carcasses were taken out of the cooler, chilled carcass weight (CCW) was recorded, and chilled dressing percentage (CDP) was defined as the ratio of CCW to slaughter BW ( $\times 100$ ). Morphological measures were taken as described in Boer et al. (1974) on both the left and right sides of the carcass, and the 2 measures were averaged. Carcass length and external depth of chest were determined with a tape measure. Measures of sirloin thickness and thigh thickness were made with a sharpened metal rule. The left side of the carcasses was divided into fore- and hindquarters by cutting between the fifth and sixth ribs, with the plate attached to the forequarters (cut passing across the ribs at right angles to the first at a point slightly below the centre of the rib cage). Quarters were weighted separately.

The hindquarters were ribbed between the sixth and the 11th ribs, and the sixth and 11th thoracic rib joints were collected, weighed, and dissected into muscle, fat, and bone tissues. Whole-carcass composition was assessed from carcass measurements and rib composition using the procedure described by Robelin and Geay (1975) and then adapted to local Creole cattle in previous experiments (M. Naves, unpublished data).

### Statistical Analyses

Statistics were computed using the MIXED procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC). The model included the main effects of feeding system (FS), slaughter age class (SA), year of birth (YB), and sire (SR), applying this equation:

$$y_{ijklm} = \mu + \text{FS}_i + \text{SA}_j + (\text{FS}_i \times \text{SA}_j) + \text{SR}_k \\ + \text{YB}_l + (\text{FS}_i \times \text{YB}_l) + \alpha \times \text{ILW} + e_{ijklm}$$

in which  $y_{ijklm}$  = the observed values for the  $m$ th steer in feeding system  $\text{FS}_i$ , at slaughter age  $\text{SA}_j$ , born from sire  $\text{SR}_k$ , and included in repetition  $\text{YB}_l$ ,  $\mu$  = mean value

common to all observations,  $\text{FS}_i$  = fixed effect of feeding system (2 levels: indoor fed vs. pasture fed),  $\text{SA}_j$  = fixed effect of slaughter age class (2 levels: early vs. late),  $\text{FS}_i \times \text{SA}_j$  = interaction between feeding system  $\text{FS}_i$  and slaughter age  $\text{SA}_j$ ,  $\text{SR}_k$  = random effect of sire (26 sires),  $\text{YB}_l$  = random effect of year of birth (12 yr),  $\text{FS}_i \times \text{YB}_l$  = random effect of the interaction between feeding system  $\text{FS}_i$   $\times$  year of birth  $\text{YB}_l$ , ILW = initial BW, as a general covariate, and  $e_{ijklm}$  = the error term.

According to this split-plot design, the effect of FS was tested as a "block" factor over year of birth considered as experimental unit whereas the other effects were tested over a general residual using the animal as experimental unit. Other interactions were tested in previous runs but discarded in the final model as not significant ( $P > 0.05$ ). Results are given as least square means  $\pm$  SEM and level of significance set at  $P < 0.05$ .

## RESULTS

### Growth Performance and Slaughter Characteristics

The mean growth curves of IND and PAST steers were linear ( $y = 21.44x + 174.88$  and  $y = 15.80x + 163.35$ ,  $P < 0.001$ , for IND and PAST steers, respectively) over the course of the experiment (Fig. 1). An average BW of 350 kg was reached after about 8 mo indoor and 11.5 mo at pasture. Growth under the indoor treatment was relatively uniform whatever the year of birth whereas growth under the pasture treatment was more heterogeneous, with 4 yr that differed greatly from the overall growth curve.

We found no interactions between feeding system and slaughter age on these variables (Table 2). Feeding system affected overall ADG ( $P < 0.0001$ ): indoor steers gained an average  $268 \pm 29.7 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$  more BW than PAST steers. Feeding system had no effect on final BW ( $P = 0.385$ ), slaughter BW ( $P = 0.397$ ), or HCW ( $P = 0.106$ ).

Slaughter age also affected overall ADG ( $P = 0.001$ ), final BW, and slaughter BW and HCW ( $P < 0.0001$ ). Late-slaughtered steers had a reduced ADG than EARLY-slaughtered steers ( $P = 0.001$ ), and despite starting with a lower initial BW ( $P < 0.0001$ ), they showed heavier final BW ( $P < 0.0001$ ), slaughter BW ( $P < 0.0001$ ), and HCW ( $P < 0.0001$ ).

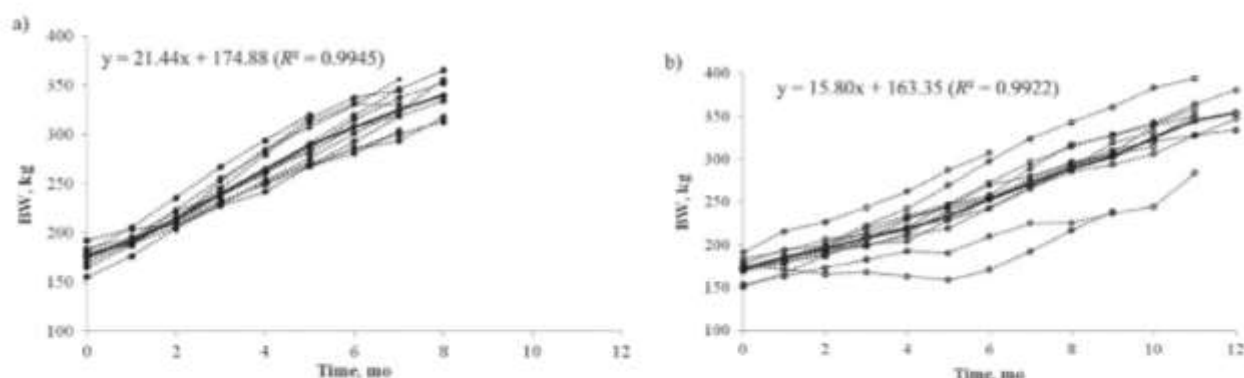
Sire effect only affected final BW ( $P = 0.039$ ) and ADG ( $P = 0.035$ ) whereas year of birth had no effect on these variables. The interaction between year of birth and feeding system affected all the variables studied ( $P < 0.03$ ).

### Carcass Characteristics

Feeding system affected all carcass characteristics except CCW ( $P = 0.094$ ) and the estimated muscle percentage of the entire carcass ( $P = 0.253$ ; see Table 3).

4000

Agastin et al.



**Figure 1.** Plot of the mean growth curves (BW, kg) over time (month) of Creole steers raised indoors (a) or at pasture (b). Each dotted curve represents a contemporary group of steers, and the bold curve represents the overall growth curve in each treatment.

Indoor steer carcasses showed greater HDP ( $P = 0.0002$ ), CDP ( $P = 0.0002$ ), and fat deposition than PAST steer carcasses and less bone and less muscle in both sixth and 11th ribs than PAST steer carcasses.

Slaughter age affected HDP, CDP, CCW and total carcass muscle ( $P < 0.0001$ ) and affected bone percentage in the sixth rib ( $P = 0.002$ ) and in the whole carcass ( $P < 0.0001$ ). Late-slaughtered steers showed greater HDP, CDP, CCW, and muscle percentage of the entire carcass compared with EARLY steers ( $P < 0.0001$ ). However, bone deposits were lighter in LATE steer carcasses ( $P < 0.0001$ ).

The interaction between feeding system and slaughter age affected fat ( $P = 0.004$ ) and bone ( $P = 0.002$ ) proportions of the 11th rib of the carcasses, muscle ( $P = 0.007$ ), and fat ( $P = 0.011$ ) proportions of the entire carcass as well as internal fat ( $P = 0.001$ ). Steers raised on pasture, whether slaughtered EARLY or LATE, had less fat deposits ( $P = 0.004$ ) in the 11th rib and in the whole carcass ( $P = 0.011$ ) and less internal fat ( $P = 0.001$ ) than IND steers (Fig. 2a, 2c, and 2e). Within the pasture-fed treatment, LATE-slaughtered steers (**PAST-LATE**) had less carcass fat content ( $P = 0.011$ ) than

EARLY-slaughtered steers (**PAST-EARLY**). Within the indoor-fed treatment, EARLY-slaughtered steers (**IND-EARLY**) had less fat deposits in the 11th rib ( $P = 0.004$ ) and less internal fat ( $P = 0.001$ ) than LATE-slaughtered steers (**IND-LATE**). Indoor steers late slaughtered had less bone deposits in the 11th rib ( $P = 0.002$ ) than all other steers, which did not show between-treatment differences (Fig. 2b). Muscle content of the whole carcass was equivalent in IND-EARLY and IND-PAST steers but was greater for LATE steers, especially PAST-LATE steers (Fig. 2d).

There was a sire effect on dressing percentages ( $P = 0.022$ ) and muscle ( $P = 0.018$ ) and fat ( $P = 0.036$ ) percentages of the carcass. Year of birth affected muscle percentage of the entire carcass ( $P = 0.072$ ). The interaction between year of birth and feeding system affected CCW ( $P = 0.018$ ), CDP ( $P = 0.043$ ), fat percentage of the sixth ( $P = 0.042$ ) and 11th ribs ( $P = 0.048$ ), and bone percentage of the entire carcass ( $P = 0.018$ ).

**Table 2.** Effects of feeding system (FS) and slaughter age (SA) on Creole steer growth and slaughter characteristics

| Item                   | Feeding system <sup>1</sup> |      |     | Slaughter age <sup>2</sup> |      |     | P-value |         |         |                 |                 |         |                  |
|------------------------|-----------------------------|------|-----|----------------------------|------|-----|---------|---------|---------|-----------------|-----------------|---------|------------------|
|                        | IND                         | PAST | SEM | EARLY                      | LATE | SEM | FS      | SA      | FS × SA | SR <sup>3</sup> | YB <sup>4</sup> | YB × FS | ILW <sup>5</sup> |
| Initial BW, kg         | 174                         | 172  | 3.0 | 182                        | 165  | 3.1 | 0.594   | <0.0001 | 0.445   | 0.059           | 0.189           | —       | —                |
| Initial age, d         | 249                         | 256  | 4.1 | 250                        | 254  | 3.5 | 0.138   | 0.071   | 0.344   | 0.087           | 0.176           | 0.028   | —                |
| Final BW, kg           | 349                         | 341  | 7.7 | 324                        | 365  | 6.4 | 0.385   | <0.0001 | 0.881   | 0.039           | 0.221           | 0.020   | <0.0001          |
| ADG, g·d <sup>-1</sup> | 786                         | 517  | 29  | 673                        | 630  | 27  | <0.0001 | 0.001   | 0.233   | 0.035           | 0.061           | 0.028   | 0.620            |
| Slaughter BW, kg       | 324                         | 316  | 7.0 | 301                        | 339  | 5.6 | 0.397   | <0.0001 | 0.768   | 0.055           | 0.355           | 0.019   | <0.0001          |
| HCW, kg                | 183                         | 172  | 4.9 | 165                        | 189  | 4.0 | 0.106   | <0.0001 | 0.845   | 0.066           | 0.265           | 0.018   | <0.0001          |

<sup>1</sup>IND = indoor fed; PAST = pasture grazing.

<sup>2</sup>EARLY = early slaughter; LATE = late slaughter.

<sup>3</sup>SR = sire.

<sup>4</sup>YB = year of birth.

<sup>5</sup>ILW = initial live weight.

**Table 3.** Effects of feeding system (FS) and slaughter age (SA) on Creole steer carcass characteristics

| Item                                                       | Feeding system <sup>1</sup> |      |      | Slaughter age <sup>2</sup> |      |      | P-value |         |         |                 |                 |         |                  |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|------|----------------------------|------|------|---------|---------|---------|-----------------|-----------------|---------|------------------|
|                                                            | IND                         | PAST | SEM  | EARLY                      | LATE | SEM  | FS      | SA      | FS × SA | SR <sup>3</sup> | YB <sup>4</sup> | YB × FS | ILW <sup>5</sup> |
| HDP, <sup>6</sup> %                                        | 56.2                        | 54.2 | 0.37 | 54.7                       | 55.7 | 0.34 | 0.0002  | <0.0001 | 0.822   | 0.022           | 0.107           | 0.052   | 0.002            |
| CCW, <sup>7</sup> kg                                       | 179                         | 168  | 4.8  | 161                        | 185  | 3.9  | 0.094   | <0.0001 | 0.749   | 0.063           | 0.270           | 0.018   | <0.0001          |
| CDP, <sup>8</sup> %                                        | 55.0                        | 52.9 | 0.38 | 53.4                       | 54.5 | 0.34 | 0.0002  | <0.0001 | 0.923   | 0.022           | 0.136           | 0.043   | 0.001            |
| Sixth rib composition, g·kg <sup>-1</sup> of the sixth rib |                             |      |      |                            |      |      |         |         |         |                 |                 |         |                  |
| Muscle                                                     | 698                         | 723  | 5.5  | 709                        | 713  | 4.9  | 0.002   | 0.389   | 0.355   | 0.025           | 0.369           | 0.083   | 0.473            |
| Fat                                                        | 145                         | 107  | 5.6  | 123                        | 129  | 4.7  | 0.0003  | 0.089   | 0.155   | 0.059           | 0.427           | 0.042   | 0.341            |
| Bone                                                       | 157                         | 169  | 4.6  | 168                        | 158  | 4.1  | 0.040   | 0.002   | 0.646   | 0.138           | 0.171           | 0.066   | 0.989            |
| 11th rib composition, g·kg <sup>-1</sup> of the 11th rib   |                             |      |      |                            |      |      |         |         |         |                 |                 |         |                  |
| Muscle                                                     | 636                         | 683  | 8.9  | 657                        | 661  | 8.4  | 0.0001  | 0.486   | 0.529   | 0.022           | 0.072           | 0.087   | 0.672            |
| Fat                                                        | 185                         | 127  | 8.0  | 154                        | 158  | 7.1  | <0.0001 | 0.411   | 0.004   | 0.032           | 0.195           | 0.048   | 0.870            |
| Bone                                                       | 178                         | 190  | 4.3  | 187                        | 181  | 4.3  | 0.006   | 0.086   | 0.002   | 0.432           | 0.035           | —       | 0.680            |
| Estimated carcass composition, g·kg <sup>-1</sup> of CCW   |                             |      |      |                            |      |      |         |         |         |                 |                 |         |                  |
| Muscle                                                     | 704                         | 709  | 5.6  | 699                        | 714  | 5.3  | 0.253   | <0.0001 | 0.007   | 0.018           | 0.049           | 0.058   | <0.0001          |
| Fat                                                        | 164                         | 145  | 4.5  | 156                        | 153  | 4.3  | 0.001   | 0.227   | 0.011   | 0.036           | 0.077           | 0.084   | 0.016            |
| Bone                                                       | 132                         | 146  | 3.0  | 144                        | 133  | 2.4  | 0.006   | <0.0001 | 0.582   | 0.183           | 0.310           | 0.018   | <0.0001          |
| Internal fat <sup>9</sup>                                  | 33.1                        | 23.6 | 1.4  | 28.2                       | 28.5 | 1.3  | <0.0001 | 0.704   | 0.001   | 0.059           | 0.058           | 0.100   | 0.496            |

<sup>1</sup>IND = indoor fed; PAST = pasture grazing.<sup>2</sup>EARLY = early slaughter; LATE = late slaughter.<sup>3</sup>SR = sire.<sup>4</sup>YB = year of birth.<sup>5</sup>ILW = initial live weight.<sup>6</sup>HDP = hot dressing percentage.<sup>7</sup>CCW = chilled carcass weight.<sup>8</sup>CDP = chilled dressing percentage.<sup>9</sup>Internal fat relative to HCW.

### Carcass Measurements, Conformation, and Noncarcass Components

The interaction between feeding system and slaughter age affected digestive tract traits. Digestive tract content was heavier for LATE steers, particularly PAST-LATE steers ( $37.6$  vs.  $32.0 \pm 1.28$  kg;  $P = 0.033$ ). Relative to slaughter BW, LATE slaughter decreased intestine weight, especially in PAST-LATE carcasses ( $24.7$  vs.  $28.4 \pm 0.68$  g·kg<sup>-1</sup>;  $P = 0.046$ ; Fig. 2f). Carcass measurements are presented in linear units as well as relative to BW, as they reflect developmental and conformational changes.

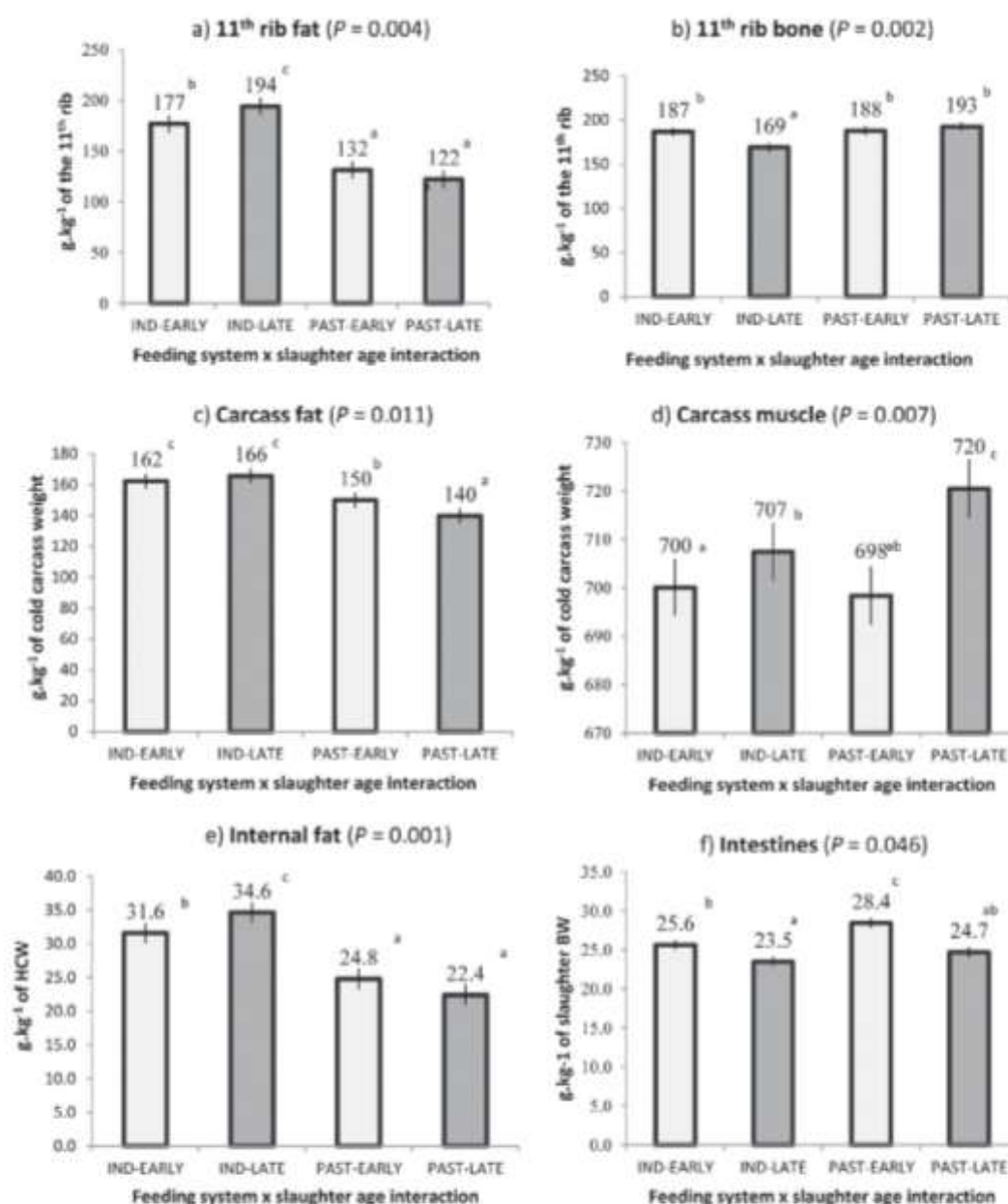
Feeding system affected all carcass measurements ( $P < 0.001$ ) except carcass length ( $P = 0.390$ ), thigh thickness ( $P = 0.060$ ), and external depth of chest ( $P = 0.771$ ; Table 4). In millimeters, PAST steers had thicker sirloin than IND steers ( $P = 0.0003$ ). Relative to CCW, all measurements except thigh thickness were less in IND steers than PAST steers.

In absolute weight or relative to CCW, feeding system had no effect on fore- and hindquarters ( $P > 0.05$ ). Indoor steers showed better carcass ( $P = 0.026$ ) and leg ( $P = 0.001$ ) compactness indexes. Feeding system affected all digestive tract measures ( $P < 0.0001$ ). Indoor

steers had lighter digestive tract contents than PAST steers in absolute weight and related to slaughter BW.

Slaughter age affected all the linear carcass measurements ( $P < 0.0001$ ). Increasing slaughter age increased all carcass measurements except external depth of chest, but when expressed as a function of CCW, EARLY steers yielded greater carcass measurements than LATE steers. Late-slaughtered steers had heavier fore- and hindquarters than EARLY steers but lighter hindquarters than EARLY steers when expressed as percentage of CCW ( $P < 0.0001$ ). Late-slaughtered steers had greater carcass and leg compactness indexes than EARLY-slaughtered steers ( $P < 0.0001$ ). Increasing slaughter age led to a heavier weight of digestive tract organs but to a lower weight of digestive tract organs when expressed relative to slaughter BW ( $P < 0.0001$ ).

The sire factor mostly affected carcass measurements when expressed in absolute values, carcass conformation relative to CCW, and weight of digestive tract traits. Year of birth affected weight of empty digestive tract ( $P = 0.048$ ) and intestines ( $P = 0.026$ ) and empty digestive tract ( $P = 0.042$ ) and stomach ( $P = 0.031$ ) when expressed relative to slaughter BW. The interaction between year of birth and feeding system affected all the variables tested except sirloin thickness ( $P = 0.187$ ) and



**Figure 2.** Effects of the interaction between feeding system (IND: indoor fed; PAST: pasture grazing) and slaughter age (EARLY: early slaughtered; LATE: late slaughtered) on (a) 11th rib fat, (b) 11th rib bone, in grams per kilogram of the 11th rib, (c) carcass fat, (d) carcass muscle in grams per kilogram of cold carcass weight, (e) internal fat in grams per kilogram of HCW, and (f) intestines in grams per kilogram of slaughter BW. Means with different superscripts are significantly different,  $P < 0.05$ .

empty digestive tract weight ( $P = 0.058$ ) and intestines and stomach weight relative to slaughter BW ( $P > 0.05$ ).

## DISCUSSION

Feeding system and slaughter age are 2 important factors that appear independent for their effects on growth and carcass characteristics in tropical beef production systems. Indeed, although the interaction between feeding system and slaughter age was nonsignificant for most

of the parameters measured, it did affect carcass tissue composition, which is a key criterion for beef production due to its effects on meat quality. Considering this major criterion, it emerges from our results that it is more efficient to use an early slaughter age for stall-fed cattle, particularly if they receive added concentrate, but not for pasture-fed steers. Our experimental design enabled a comparison of the carcass characteristics for steers fed exclusively on pasture and slaughtered at either 17 or 21 mo, which is seldom the case in other studies where feed-

**Table 4.** Effects of feeding system (FS) and slaughter age (SA) on Creole steer carcass conformation and digestive tract traits

| Item                                                          | FS <sup>1</sup> |       |       | SA <sup>2</sup> |       |       | P-value |         |         |                 |                 |         |                  |
|---------------------------------------------------------------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|---------|---------|---------|-----------------|-----------------|---------|------------------|
|                                                               | IND             | PAST  | SEM   | EARLY           | LATE  | SEM   | FS      | SA      | FS × SA | SR <sup>3</sup> | YB <sup>4</sup> | YB × FS | ILW <sup>5</sup> |
| <b>Carcass measurements</b>                                   |                 |       |       |                 |       |       |         |         |         |                 |                 |         |                  |
| Carcass length, cm                                            | 116.5           | 117.3 | 0.93  | 115.3           | 118.5 | 0.84  | 0.390   | <0.0001 | 0.896   | 0.137           | 0.079           | 0.033   | <0.0001          |
| Thigh thickness, cm                                           | 21.0            | 20.3  | 0.30  | 20.1            | 21.2  | 0.26  | 0.060   | <0.0001 | 0.288   | 0.036           | 0.139           | 0.026   | <0.0001          |
| External depth of chest, cm                                   | 64.3            | 64.1  | 0.68  | 62.9            | 25.5  | 0.61  | 0.771   | <0.0001 | 0.877   | 0.047           | 0.121           | 0.038   | <0.0001          |
| Sirloin thickness, mm                                         | 74.4            | 76.1  | 0.31  | 74.5            | 76.1  | 0.29  | 0.0003  | <0.0001 | 0.828   | 0.006           | 0.297           | 0.187   | <0.0001          |
| <b>Carcass measurements, kg<sup>-1</sup> CCW<sup>6</sup></b>  |                 |       |       |                 |       |       |         |         |         |                 |                 |         |                  |
| Carcass length                                                | 0.65            | 0.70  | 0.015 | 0.70            | 0.63  | 0.012 | 0.022   | <0.0001 | 0.934   | 0.149           | 0.239           | 0.020   | <0.0001          |
| Thigh thickness                                               | 0.119           | 0.123 | 0.002 | 0.126           | 0.116 | 0.002 | 0.111   | <0.0001 | 0.261   | 0.220           | 0.167           | 0.030   | <0.0001          |
| External depth of chest                                       | 0.36            | 0.39  | 0.011 | 0.40            | 0.36  | 0.010 | 0.033   | <0.0001 | 0.910   | 0.012           | 0.075           | 0.020   | <0.0001          |
| Sirloin thickness                                             | 0.42            | 0.46  | 0.011 | 0.47            | 0.42  | 0.010 | 0.017   | <0.0001 | 0.927   | 0.230           | 0.246           | 0.018   | <0.0001          |
| <b>Carcass conformation, kg</b>                               |                 |       |       |                 |       |       |         |         |         |                 |                 |         |                  |
| Forequarters                                                  | 44.8            | 41.2  | 1.67  | 39.5            | 46.5  | 1.41  | 0.088   | <0.0001 | 0.558   | 0.107           | 0.145           | 0.016   | <0.0001          |
| Hindquarters                                                  | 39.3            | 37.1  | 1.00  | 36.0            | 40.4  | 0.82  | 0.110   | <0.0001 | 0.900   | 0.017           | 0.298           | 0.018   | <0.0001          |
| <b>Carcass conformation, % of CCW</b>                         |                 |       |       |                 |       |       |         |         |         |                 |                 |         |                  |
| Hindquarters                                                  | 46.8            | 47.6  | 0.39  | 47.9            | 46.6  | 0.35  | 0.057   | <0.0001 | 0.091   | 0.019           | 0.076           | 0.035   | 0.0001           |
| Leg compactness index <sup>7</sup>                            | 0.282           | 0.266 | 0.003 | 0.270           | 0.278 | 0.003 | 0.001   | <0.0001 | 0.347   | 0.029           | 0.115           | 0.042   | 0.0004           |
| Carcass compactness index <sup>8</sup>                        | 1.53            | 1.42  | 0.032 | 1.40            | 1.56  | 0.026 | 0.026   | <0.0001 | 0.628   | 0.081           | 0.297           | 0.019   | <0.0001          |
| <b>Digestive tract traits, kg</b>                             |                 |       |       |                 |       |       |         |         |         |                 |                 |         |                  |
| Empty digestive tract                                         | 16.6            | 17.9  | 0.41  | 16.8            | 17.6  | 0.38  | 0.004   | 0.0002  | 0.573   | 0.049           | 0.048           | 0.058   | <0.0001          |
| Digestive tract content                                       | 27.4            | 34.8  | 1.12  | 29.1            | 33.1  | 0.95  | 0.0004  | <0.0001 | 0.033   | 0.021           | —               | 0.015   | 0.001            |
| Intestines                                                    | 7.91            | 8.31  | 0.19  | 8.14            | 8.09  | 0.19  | 0.015   | 0.748   | 0.019   | 0.191           | 0.026           | 0.318   | <0.0001          |
| Stomach                                                       | 8.67            | 9.55  | 0.25  | 8.70            | 9.52  | 0.23  | 0.004   | <0.0001 | 0.198   | 0.027           | 0.079           | 0.039   | <0.0001          |
| <b>Digestive tract traits, g·kg<sup>-1</sup> slaughter BW</b> |                 |       |       |                 |       |       |         |         |         |                 |                 |         |                  |
| Empty digestive tract                                         | 51.3            | 56.9  | 1.11  | 55.92           | 52.28 | 1.03  | 0.0001  | <0.0001 | 0.510   | —               | 0.042           | 0.047   | <0.0001          |
| Digestive tract content                                       | 84.7            | 110.7 | 3.56  | 96.7            | 98.8  | 2.88  | 0.0002  | 0.378   | 0.045   | 0.053           | —               | 0.007   | 0.359            |
| Intestines                                                    | 24.5            | 26.5  | 0.60  | 27.0            | 24.0  | 0.56  | 0.008   | <0.0001 | 0.046   | 0.359           | 0.074           | 0.081   | 0.0004           |
| Stomach                                                       | 26.7            | 30.3  | 0.65  | 28.9            | 28.2  | 0.62  | <0.0001 | 0.030   | 0.148   | 0.238           | 0.031           | 0.060   | 0.0003           |

<sup>1</sup>IND = Indoor fed; PAST = pasture grazed.<sup>2</sup>EARLY = early slaughter; LATE = late slaughter.<sup>3</sup>SR = sire.<sup>4</sup>YB = year of birth.<sup>5</sup>ILW = initial live weight.<sup>6</sup>CCW, chilled carcass weight.<sup>7</sup>Thigh thickness/hock-to-symphysis distance.<sup>8</sup>Chilled carcass weight/carcass length

ing systems and slaughter ages are confounded and where the authors generally practice early slaughter for housed animals fed a mixed diet and late slaughter for grazing animals to compensate for their decreased ADG (Brown et al., 2005). Here, we highlighted that it is advantageous to keep pasture-fed cattle alive for a longer time to get a carcass that is not only heavier but also leaner and more muscled and thus of greater quality, because this type of carcass is better suited to current consumer requirements, as reported by Grunert (1997).

### Interaction between Feeding System and Slaughter Age Effects

There was generally no interaction between feeding system and slaughter age for most of the variables measured except for fat and bone percentages of the 11th rib and for entire carcass composition. Late slaughtering decreased carcass fat in pasture-fed steers but not indoor-fed steers. Humada et al. (2012), in a similarly structured study on Tudaanca bulls reared indoors and fed concentrates for ad libitum intake or reared in semi-extensive conditions at pasture with concentrates and then slaughtered at 12 and 14 mo, found different interaction between feeding system and slaughter age on carcass

fatness. In their conditions, younger semi-intensively farmed steers had lower carcass fatness than steers in the other treatments, which showed no between-group differences. Our different finding may be explained by the fact that Humada et al. (2012) used concentrate for both indoor-fed and pasture-fed steers.

### Feeding System Effects

As expected, indoor-fed steers showed a greater ADG than pasture-fed counterparts. For indoor-fed Creole steers, we found greater ADG values than Itavo et al. (2007) had reported for Beefalo-Nellore steers slaughtered at 9 mo in tropical areas of Brazil after receiving roughage and concentrate for ad libitum intake. For pasture-fed Creole steers, our ADG values are greater than the 270 g·d<sup>-1</sup> reported by Asizua et al. (2009) for Ankole purebred bulls or crossbred with Boran or Friesian and the 390 and 371 g·d<sup>-1</sup> reported for zebu cattle at pasture by Mekasha et al. (2011) and Sales et al. (2011), respectively. Compared with these results from the literature, the ADG measured indoors or at pasture in our study appear relatively good for local breeds reared in tropical conditions.

There are very few studies comparing ADG between steers reared in indoor vs. pasture systems in tropical areas. Nevertheless, the ADG differential between the 2 feeding systems, which was approximately 268 g·d<sup>-1</sup> in favor of indoor-fed steers, is consistent with Naves (2003) who found 787 and 420 g·d<sup>-1</sup> for penned (forage plus supplement) and grazed Creole steers, respectively, from 9 to 14 mo of age. The differences in ADG between these feeding systems could be related to the use of feed supplement (Moore et al., 1999) and to different energy expenditures due to the greater exercise levels (Kaufmann et al., 2011) of grazing steers that increased energy requirements. Indeed, direct climatic effects may interfere directly on grazing steer performances. Under tropical conditions, seasonal variation has a marked influence on both the quantity and quality of forage mass available and thus on animal performances. This factor is even more critical when no supplementation is offered, as was the case in the current study. However, the growth curves in our study showed minimal seasonal fluctuations, as the pasture land used was irrigated and fertilized. The growth curve was more heterogeneous for pasture-fed steers than indoor-fed steers, with 4 yr that differed greatly from the mean, probably due to environmental conditions, but it remained linear across growth periods.

Indoor-fed steers had greater HDP and CDP than pasture-fed steers (+3.7 and +3.9%, respectively). For housed steers, HDP was greater than the 52% reported for grain-fed cattle by Maggioni et al. (2010) in young pen-reared bulls fed forage and concentrate and by Montero-Lagunes et al. (2011) in crossbred Zebu steers finished

in feedlot conditions and fed forage and concentrate. For pasture-fed steers, HDP was similar to values reported by Rodas-González et al. (2006) and Montero-Lagunes et al. (2011) in almost identical conditions. Comparing indoor vs. pasture systems, the 3.7% difference found here was considerably less than the 11% reported by Montero-Lagunes et al. (2011) for European and zebu cattle fed a concentrate-rich supplementation. These differences in dressing percentage may also be linked to differences in empty digestive tract and digestive content mass, which were greater in pasture-fed steers than indoor-fed steers and were partly offset by the reduced internal fat content in grazing steers.

According to our set of fatness indicators, indoor-fed steers were "fatter" than pasture-fed steers. Carcass fat of indoor-fed steers reached 164 g·kg<sup>-1</sup>, which is lower than the 215 g·kg<sup>-1</sup> reported in Brazil by Maggioni et al. (2010) for feedlot-finished Nellore cattle and crossed bulls. Carcass fat of pasture-fed steers was 145 g·kg<sup>-1</sup>, which is within the range of 80 g·kg<sup>-1</sup> reported by Rodas-González et al. (2006) in Criollo-Limonero steers and 245 g·kg<sup>-1</sup> reported by Ribeiro et al. (2008) in zebu cattle grazing without supplementation in tropical areas.

The roughly 13% difference in fat content between the 2 feeding systems contrasts with Menezes et al. (2010) who did not find any difference between fat percentages in grazing steers and confined steers, probably because their experiment lasted only 3 mo. It is well known that the amount of carcass fat is positively correlated with energy intake, as was the case for housed steers fed a mixed diet (Danner et al., 1980). Bines and Hart (1982) showed that concentrates tend to contain more starch, which induces greater levels of ruminal propionate, leading to an increase in fat synthesis. In a study on lambs, Priolo et al. (2002) suggested that animals raised on forage-based diets have a more developed digestive tract due to a greater forage DMI intake and therefore a greater rumination activity compared with grain-fed animals. The greater fatness in indoor-fed steer carcasses could also be linked to their reduced physical activity compared with outdoor rearing, as physical activity increases the mobilization of body lipid reserves to form muscle. Furthermore, as we observed here in indoor-fed animals, fatness values increased with increasing slaughter BW (Steen and Kilpatrick, 1995; Bruns et al., 2004). Moreover, shade may also enhance carcass fatness, as Mitlöhner et al. (2001) reported more fat for shaded heifers than unshaded heifers.

In summary, indoor feeding induced greater ADG, greater dressing percentages, and more carcass fat than outdoor grazing. These results are mainly explained by the greater energy intake, lower physical activity, and greater shade for housed cattle.

### Slaughter Age Effects

Comparison of the 2 slaughter ages showed that late-slaughtered steers had 6.7% less ADG than early-slaughtered steers, whatever the feeding system. This observation is consistent with other findings (Kirkland et al., 2007), and the decreased ADG for late-slaughtered steers may be linked to a deterioration of feed conversion ratio as slaughter age and BW increase (Jurie et al., 2005). However, this difference in ADG at the 2 slaughter ages is not reflected in slaughter BW or carcass weight and is offset by the duration of the growth period.

The relatively greater HDP for late-slaughtered steers recorded in this study (+ 1.8%) is less than the 2.9% differential reported by Kirkland et al. (2007) for Holstein-Friesian steers fed in pens with silage and concentrate and slaughtered at 16 vs. 26 mo. The greater HDP found here for late-slaughtered steers could be due to their relatively lighter digestive tract and visceral mass.

Late slaughtering induced a reduced bone percentage, whatever the feeding system. Comparing carcass bone proportions of early vs. late-slaughtered steers, early-slaughtered steers had 8.2% more bone than late-slaughtered steers, which is a better figure than the average difference in bone mass (5.3%) described by Jurie et al. (2005) for French-breed bulls reared in stalls, fed with silage, hay, and concentrate, and slaughtered at 15 vs. 19 mo. Late-slaughtered steers showed reduced bone development, as evidenced by a decreased bone percentage and a reduced carcass length:carcass weight ratio. Bone growth is considered more a function of age than nutrition, as bone is an early-developing tissue (Field et al., 1990; Shahin and Berg, 1985). Moreover, carcass maturity increased with increasing slaughter age (Field et al., 1990).

Overall, late slaughtering resulted in reduced ADG, reduced bone percentage, and lighter carcasses relative to HCW. This trend may be linked to a deterioration of feed conversion ratio and bone percentage as slaughter age increases. Furthermore, slaughter age and slaughter BW are often confounded, as slaughter age is frequently dependent on the targeted slaughter BW.

### Conclusion

Our results showed that feeding system and especially slaughter age are 2 major factors that appear independent in terms of assessing growth and carcass characteristics. However, as housing system and feeding strategy were confounded in this study, further research is needed to partition the specific individual effects of these 2 major factors on cattle performances.

The interaction between feeding system and slaughter age was nonsignificant for most of the variables measured except for carcass tissue composition, which is a key criterion for beef production. Bearing in mind this

major criterion, it seems more advantageous to slaughter grazing cattle at a later age to get carcasses that are not only heavier but also leaner and more muscled and thus better suited to current consumer requirements. These findings will be of interest to beef producers in the tropics where grazing is the main mode of feeding ruminants.

Slaughtering late (21 mo) at pasture should be more profitable than indoor rearing with concentrates, especially as overall performances at pasture can be improved with appropriate pasture management and supplemental feeds. Further research is needed to compare the economic results and ecological impacts of these 2 production systems.

### LITERATURE CITED

- Archimede, H., M. Boval, G. Alexandre, A. Xande, G. Aumont, and C. Poncet. 2000. Effect of regrowth age on intake and digestion of *Digitaria decumbens* consumed by Black-belly sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 87:153–162.
- Archimede, H., E. Gonzalez-Garcia, P. Despois, T. Etienne, and G. Alexandre. 2010. Substitution of corn and soybean with green banana fruits and *Gliricidia sepium* forage in sheep fed hay-based diets: Effects on intake, digestion and growth. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 94:118–128.
- Asizua, D., D. Mpairwe, F. Kabi, D. Mutetikka, and J. Madsen. 2009. Growth and slaughter characteristics of Ankole cattle and its Boran and Friesian crossbreds. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 39:81–85.
- Bines, J. A., and I. C. Hart. 1982. Metabolic limits to milk production, especially roles of growth hormone insulin. *J. Dairy Sci.* 65:1375–1389.
- Boer, H. D., B. L. Dumont, R. W. Pomeroy, and J. H. Weniger. 1974. Manual on E.A.A.P. reference methods for the assessment of carcass characteristics in cattle. *Livest. Prod. Sci.* 1:151–164.
- Boval, M., and R. M. Dixon. 2012. The importance of grasslands for animal production and other functions: A review on management and methodological progress in the tropics. *Animal* 6:748–762.
- Brown, A. H., P. K. Camfield, Z. B. Johnson, L. Y. Rakes, F. W. Pohlman, C. J. Brown, B. A. Sandelin, and R. T. Baublits. 2005. Interaction of beef growth type × production system for carcass traits of steers. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 18:259–266.
- Bruns, K. W., R. H. Pritchard, and D. L. Boggs. 2004. The relationships among body weight, body composition, and intramuscular fat content in steers. *J. Anim. Sci.* 82:1315–1322.
- Danner, M. L., D. G. Fox, and J. R. Black. 1980. Effect of feeding system on performance and carcass characteristics of yearling steers, steer calves and heifer calves. *J. Anim. Sci.* 50:394–404.
- Esterhuizen, J., I. B. Groenewald, P. E. Strydom, and A. Hugo. 2008. The performance and meat quality of Bonsmara steers raised in a feedlot, on conventional pastures or on organic pastures. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 38:303–314.
- Field, R. A., G. Maiorano, R. J. McCormick, M. L. Riley, W. C. Russell, F. L. Williams, and J. D. Crouse. 1990. Effect of plane of nutrition and age on carcass maturity of sheep. *J. Anim. Sci.* 68:1616–1623.
- Grunert, K. G. 1997. What's in a steak? A cross-cultural study on the quality perception of beef. *Food Qual. Prefer.* 8:157–174.

- Humada, M. J., E. Serrano, C. Sañudo, D. C. Rolland, and M. E. R. Dugan. 2012. Production system and slaughter age effects on intramuscular fatty acids from young Tudanca bulls. *Meat Sci.* 90:678–685.
- Itavo, L. C. V., C. C. B. F. Itavo, S. R. M. B. O. Souza, A. M. Dias, E. M. Coehlo, M. G. Morais, and F. F. Silva. 2007. Evaluation of production of calves in feed lot or in creep feeding systems. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 59:948–954.
- Jurie, C., J.-F. Martin, A. Listrat, R. Jailler, J. Culioli, and B. Picard. 2005. Effects of age and breed of beef bulls on growth parameters, carcass and muscle characteristics. *Anim. Sci.* 80:257–263.
- Kaufmann, L. D., A. Mülner, M. Rérat, P. Junghans, S. Görs, C. C. Metges, and F. Dohme-Meier. 2011. Energy expenditure of grazing cows and cows fed grass indoors as determined by the  $^{13}\text{C}$  bicarbonate dilution technique using an automatic blood sampling system. *J. Dairy Sci.* 94:1989–2000.
- Kirkland, R. M., D. C. Patterson, T. W. J. Keady, B. W. Moss, and R. W. J. Steen. 2007. Beef production potential of Norwegian Red and Holstein-Friesian bulls slaughtered at two ages. *Animal* 1:1506–1514.
- Kwon, E.-G., B.-K. Park, H.-C. Kim, Y.-M. Cho, T.-I. Kim, S.-S. Chang, Y.-K. Oh, N.-K. Kim, J.-H. Kim, Y.-J. Kim, E.-J. Kim, S.-K. Im, and N.-J. Choi. 2009. Effects of fattening period on growth performance, carcass characteristics and lipogenic gene expression in Hanwoo steers. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 22:1654–1660.
- Maggioni, D., J. A. Marques, P. P. Rotta, D. Perotto, T. Ducatti, J. V. Visentainer, and I. Nunes do Prado. 2010. Animal performance and meat quality of crossbred young bulls. *Livest. Sci.* 127:176–182.
- Maltin, C. A., K. D. Sinclair, P. D. Warriss, C. M. Grant, A. D. Porter, M. I. Delday, and C. C. Warkup. 1998. The effects of age at slaughter, genotype and finishing system on the biochemical properties, muscle fibre type characteristics and eating quality of bull beef from suckled calves. *Anim. Sci.* 66:341–348.
- Mekasha, Y., M. Urge, M. Y. Kurta, and M. Bayissa. 2011. Effect of strategic supplementation with different proportion of agro-industrial by-products and grass hay on body weight change and carcass characteristics of tropical Ogaden bulls (*Bos indicus*) grazing native pasture. *African J. Agric. Res.* 64:825–833.
- Menezes, L. F. G. d., J. Restle, I. L. Brondani, M. F. d. Silveira, L. d. Silva Freitas, and L. A. D. Pizzuti. 2010. Carcass and meat characteristics from young Devon steers finished in different feeding systems. *R. Bras. Zootec.* 39:667–676.
- Mitlöchner, F. M., J. L. Morrow, J. W. Dailey, S. C. Wilson, M. L. Galyean, M. F. Miller, and J. J. McGlone. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 79:2327–2335.
- Montero-Lagunes, M., F. Indalecio Juárez-Lagunes, and H. Sergio García-Galindo. 2011. Fatty acids profile in meat from European × Zebu steers finished on grazing and feedlot conditions. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 2:137–149.
- Moore, J. E., M. H. Brant, W. E. Kunkle, and D. I. Hopkins. 1999. Effects of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, and animal performance. *J. Anim. Sci.* 77:122–135.
- Naves, M. 2003. Caracterisation et gestion d'une population bovine locale de la zone tropicale: Le bovin Creole de Guadeloupe. (In French.) PhD thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon, France.
- Priolo, A., D. Micol, J. Agabriel, S. Prache, and E. Dransfield. 2002. Effect of grass or concentrate feeding systems on lamb carcass and meat quality. *Meat Sci.* 62:179–185.
- Ribeiro, E. L. d. A., J. A. Hernandez, E. L. Zanella, I. Y. Mizubuti, L. d. D. F. da Silva, and J. J. Reeves. 2008. Performance and carcass characteristics of different genetic groups of steers. Desempenho e características de carcaça de bovinos de diferentes grupos genéticos. (In Portuguese.) *R. Bras. Zootec.* 37:1669–1673.
- Robelin, J., and Y. Geay. 1975. Estimation of the carcass composition of young cattle from the composition of the 11th rib cut. 1. Anatomical composition of the carcass. *Ann. Zootech.* 24:391–402.
- Rodas-González, A., J. Vergara-López, L. Arenas de Moreno, N. Huerta-Leidenz, and M. F. Pirela. 2006. Slaughter characteristics, carcass traits and cutability of Criollo Limonero steers fattened on pasture with supplementation regimes. *Rev. Cient. (Maracaibo)* 16:364–370.
- Sales, M. F. L., M. F. Paulino, S. C. D. Filho, D. M. d. Figueiredo, M. O. Porto, and E. Detmann. 2011. Supplementation levels for growing beef cattle grazing in the dry-rainy transition season. *R. Bras. Zootec.* 40:904–911.
- Shahin, K. A., and R. T. Berg. 1985. Growth patterns of muscle, fat and bone, and carcass composition of double muscled and normal cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 65:279–294.
- Steen, R. W. J., and D. J. Kilpatrick. 1995. Effects of plane of nutrition and slaughter weight on the carcass composition of serially slaughtered bulls, steers and heifers of three breed crosses. *Livest. Prod. Sci.* 43:205–213.
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, and C. D. Haan. 2006. Livestock's long shadow: Environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

## **CHAPITRE 3 : META - ANALYSE**

## **Etude de l'influence du mode de conduite (Auge vs Pâturage) sur la croissance et les caractéristiques d'abattage et de carcasses de ruminants : Méta - Analyse**

### **3.1. Introduction**

Les résultats de la première étude expérimentale ont montré l'importance du mode de conduite sur le développement de l'animal, les caractéristiques de sa carcasse, ainsi que la production de viande. Cette étude a également montré la nécessité de préciser les effets du mode de conduite (auge vs pâturage) sur l'ensemble de ces paramètres.

Nous avons donc mené une revue quantitative des études déjà publiées ayant testé l'influence du mode de conduite (auge vs pâturage) sur les performances animales. Les comparaisons auge vs pâturage ne sont habituellement pas faites avec une même alimentation. En effet, les animaux élevés à l'auge reçoivent le plus souvent une complémentation énergétique à base de concentré, tandis que ceux élevés au pâturage ne la reçoivent pas.

Les objectifs de cette méta-analyse étaient donc de quantifier les effets du mode de conduite sur la croissance, la digestibilité et les caractéristiques des carcasses de ruminants et de mieux comprendre les différences généralement reportées entre la conduite à l'auge et au pâturage. De plus, compte tenu du possible effet de l'alimentation sur ces paramètres, nous avons testé l'effet de plusieurs modalités de complémentation sur l'effet du mode de conduite.

### **3.2. Matériels et Méthodes**

La base de données a été réalisée à partir d'articles comparant les systèmes à l'auge et au pâturage et incluant des informations sur la croissance, l'ingestion, la digestibilité, les caractéristiques d'abattage et de carcasse de ruminants. Dans notre base de données, la conduite à l'auge regroupait les systèmes à l'étable, en parc, en feedlot, tandis que la conduite au pâturage regroupait tous les systèmes dans lesquels les animaux étaient laissés sur la pâture. La méta-analyse a été réalisée à partir d'une base de données comptant 399 traitements obtenus à partir de 116 expériences publiées dans 108 articles. Ces articles ont été sélectionnés parmi 1304 références recensées dans le domaine. Seuls les articles comparant les modes de conduites de manière simultanée ont été inclus dans la base de données.

Nous avons retenu comme variables le GMQ, la dMO, le RCC et les pourcentages de gras, d'os et de muscles des carcasses, car elles étaient les mieux renseignées.

Les différentes variables retenues ont été analysées selon un modèle hiérarchique incluant les principaux facteurs de variation testés dans les publications sélectionnées : l'espèce animale (bovins vs petits ruminants), le stade physiologique (non sevrés vs engraissement vs finition vs gestation), le sexe (male vs male + femelle vs femelle), l'expérimentation et le mode de conduite (auge vs pâturage). La complémentation pouvant *a priori* modifier l'effet de la conduite, nous avons également considérés dans les analyses plusieurs modalités de complémentation : l'addition de concentré ou non dans la ration, la nature du concentré, le pourcentage de concentré de la ration, la quantité de concentré de la ration. Enfin, certaines relations entre variables ont été testées, à savoir l'effet du GMQ sur le RCC et l'effet du GMQ sur la proportion de muscle et de gras de la carcasse.

### 3.3. Résultats - Conclusions

L'analyse des différentes études publiées a mis en évidence la difficulté à comparer de manière stricte ces deux modes de conduite en raison de l'hétérogénéité des données disponibles, de la répartition déséquilibrée des facteurs de variation, des méthodologies d'estimation de la composition tissulaire des carcasses différentes d'un article à l'autre et de la complémentation quasi systématique à l'auge.

Tout comme notre étude expérimentale précédente, nous avons observé que les systèmes à l'auge permettaient non seulement de meilleurs GMQ, poids de carcasses, et rendements carcasses, mais également l'obtention de carcasses plus grasses.

Lorsque la présence ou non de concentré dans la ration était prise en compte, l'effet de la conduite a persisté sur le GMQ, et le pourcentage de gras de la carcasse, mais cet effet a disparu sur le RCC ainsi que sur les pourcentages de muscles et d'os.

En revanche, lorsque la nature du concentré était considérée, l'effet du mode de conduite a également persisté sur le GMQ et le RCC. Lorsque le pourcentage de concentré dans la ration était considéré, le mode de conduite n'a plus eu d'effet sur le GMQ mais a influencé le RCC et sur les pourcentages de gras et de muscles.

L'étude des relations entre variables a montré que l'augmentation du GMQ était positivement corrélée au RCC et au pourcentage de gras de la carcasse, mais négativement corrélée au pourcentage de muscle de la carcasse.

Cette méta-analyse met en évidence l'importance de prendre en compte la stratégie de complémentation pour réaliser la comparaison des performances entre les modes de conduite à l'auge et au pâturage. En effet, les différences généralement rapportées entre la conduite à l'auge et au pâturage apparaissent principalement liées à l'apport d'une complémentation.

Cette revue quantitative révèle que les ruminants au pâturage peuvent atteindre les mêmes performances que ceux à l'auge, s'ils reçoivent la même ration. Enfin, à travers cette étude, le manque de données sur les paramètres d'alimentation (d'ingestion et digestibilité) a été établi et a montré l'intérêt d'étudier ces paramètres sur les bovins au travers du dispositif expérimental mis en place par la suite (Publications 3 et 4).

# **JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**

*The Premier Journal and Leading Source of New Knowledge and Perspective in Animal Science*

## **Influence of trough versus pasture feeding on average daily gain and carcass characteristics in ruminants: A meta-analysis**

A. Agastin, D. Sauvant, M. Naves and M. Boval

*J ANIM SCI* 2014, 92:1173-1183.

doi: 10.2527/jas.2013-7102 originally published online February 3, 2014

The online version of this article, along with updated information and services, is located on the World Wide Web at:

<http://www.journalofanimalscience.org/content/92/3/1173>



**American Society of Animal Science**

[www.asas.org](http://www.asas.org)

## Influence of trough versus pasture feeding on average daily gain and carcass characteristics in ruminants: A meta-analysis

A. Agastin,\* D. Sauvant,† M. Naves,\* and M. Boval\*<sup>1</sup>

\*INRA, UR143, Unité de Recherches Zootechniques, Domaine Duclos, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, French West Indies; and

†UMR Physiologie de la Nutrition et Alimentation, INRA-AgroParisTech, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05, France

**ABSTRACT:** Quantitative meta-analysis was run on 108 publications featuring 116 experiments and 399 treatments dealing with the effect of trough or pasture feeding environment (FE) on ruminant performances. The objective was to compare the effect of trough or pasture FE on ADG, diet OM digestibility (OMD), various carcass characteristics, and the interaction between FE and complementation modalities. Live weight was adjusted to compare results between species. Results showed that trough-fed animals had higher ADG (+17.89%;  $P < 0.001$ ), hot carcass yield (HYield; +2.47%;  $P < 0.001$ ) and carcass fat content (+24.87%;  $P < 0.001$ ) than pasture-fed animals but lower carcass muscle and bone percentages (-1.60% [ $P = 0.010$ ] and -7.63% [ $P = 0.003$ ], respectively). Feeding environment had no effect on diet OMD ( $P = 0.818$ ), but the number of observations was low. After considering the addition or not of concentrate in the diet (addiCO), FE effect persisted on ADG ( $P = 0.024$ ) and carcass fat content ( $P = 0.027$ ) but not on HYield ( $P = 0.078$ ) or muscle and bone percentages ( $P = 0.119$  and  $P = 0.581$ , respectively). After considering the nature of the concentrate (natCO), FE effect persisted on ADG ( $P < 0.001$ ) and

HYield ( $P = 0.004$ ). Considering the percentage of concentrate in the diet (PCO) erased FE effect on ADG ( $P = 0.891$ ) and HYield ( $P = 0.128$ ). In contrast, considering the quantity of concentrate (QCO) erased FE effect on ADG ( $P = 0.084$ ) but not on HYield ( $P = 0.006$ ) or on carcass fat and muscle contents ( $P = 0.040$  and  $P = 0.040$ , respectively) although the FE effect on carcass bone content persisted ( $P = 0.550$ ). Animal species and physiological stage had no effect on any of the variables studied ( $P > 0.05$ ) but experiment did ( $P \leq 0.001$ ). The increase in ADG was positively correlated to HYield in cattle ( $P = 0.002$ ) and small ruminants ( $P = 0.003$ ) and positively linked to carcass fat content ( $P = 0.007$ ) but not carcass muscle content, which actually decreased ( $P = 0.001$ ). Overall, this meta-analysis confirmed previous reports of FE effects and revealed how the differences generally reported result from a confounding effect of FE and nature of the diet. Indeed, in most of the studies used, trough-fed animals were supplemented with concentrate whereas pasture-fed animals were not. This research also highlighted the fact that pasture-fed animals have the potential to achieve the same performances as trough-fed animals when fed a similar diet.

**Key words:** carcasses, grazing, live weight gain, review, ruminants, stalls

© 2014 American Society of Animal Science. All rights reserved.

J. Anim. Sci. 2014.92:1173–1183

doi:10.2527/jas2013-7102

### INTRODUCTION

Based on the literature grazing systems are outperformed by conventional trough-feeding systems (Engle and Spears, 2004; Esterhuizen et al., 2008; Zervas and Tsiplakou, 2011), but most trough-fed animals studied receive a nutritionally dense energy and protein-supplemented diet whereas grazing animals

are only provided grass and no supplements (Aurousseau et al., 2007; Zervas et al., 1999; Zervas and Tsiplakou, 2011). Consequently, many studies are not running strict comparisons.

Researchers tend to ignore production-related parameters such as economics, despite the substantial investment differential on feed and construction costs between grazing systems and trough-feeding systems. A study comparing economic returns of lamb or beef production systems on pasture vs. feedlots found that grazing systems had less costs and better profitability (Barros et al., 2009). Livestock grazing is also more socially acceptable

<sup>1</sup>Corresponding author: maryline.boval@antilles.inra.fr

Received September 2, 2013.

Accepted December 26, 2013.

than intensive grain-feed systems (Gliessman, 2009), and consumer preference is for the leaner meat produced on pasture, which they consider greater quality (Gracia and Zeballos, 2011; Napolitano et al., 2007). Therefore, there is a need to better understand the factors driving the widely reported differences between trough and pasture feeding to focus on ways to feed animals more sustainably, especially in the tropics. Meta-analysis is a method that combines and contrasts results from previous studies to find complex and general patterns (Sauvant et al., 2008). The objective for running this meta-analysis was to review the mean effects of feeding environment (FE) in troughs or on pasture on ADG and OM digestibility (OMD) of the diet and major carcass characteristics of cattle, sheep, and goat. Due to the possible confounding effect of supplemental feed on these parameters, our analysis also integrated the influence of various complementation modalities.

## MATERIALS AND METHODS

### *Selection of Publications, Data Collection, and Description of the Database*

A literature search was conducted for articles comparing in-trough vs. at-pasture FE effects on growth performance, diet characteristics, and slaughter and carcass characteristics of cattle, sheep, and goats. The articles were identified from Web of Science (WOS; [www.webofknowledge.com](http://www.webofknowledge.com)) and CABI ([www.cabi.org/](http://www.cabi.org/)) databases with the following keywords more or less combined: penned, feedlot, trough, indoor, stall, stabulation, pasture, grazing, ranching, feeding system, feeding strategy, cattle, sheep, and goat. The articles were also obtained from literature cited in previously identified publications. The CABI and WOS databases identified 885 and 419 results, respectively. The publications were selected as soon as trough and pasture FE were compared, whatever the source language. Studies were excluded if 1) the complete article was not available, 2) trough and pasture FE were not studied concomitantly and on the same type of animals, or 3) dissimilar data was given for each FE.

Each paper was individually encoded. In the selected publication, FE named barn, pen, drylot, feedlot, metabolic cage, sheepfold, or stable were pooled under the generic term of "trough" treatment. Papers presenting more than 1 experiment were separated into experiments that were individually encoded as such. Each treatment was the average for a group of animals of a given species and at a given physiological stage with a given gender and for a given FE (trough vs. pasture). Animal species, physiological stage, gender, and FE used were encoded and initial, final, and/or mean live weight (LW) were recorded so as to account for their specific individual effects. Various diet characteristics such as roughage source, ad libitum

or rationed, added legumes, added concentrate, and concentrate type (corn, barley, or other) were also encoded. The animal production traits considered were ADG and slaughter traits. To allow comparison between species, all weight traits were adjusted relative to the mean LW during the experiment and expressed in grams per kilogram LW. Slaughter characteristics included slaughter live weight (SLW; g/kg LW), HCW (HCW; g/kg LW), cold carcass weight (CCW; g/kg LW), hot carcass yield (HYield; g/kg SLW) calculated as  $\text{HYield} = (\text{HCW}/\text{SLW}) \times 1,000$ , and cold carcass yield (CYield; g/kg SLW) calculated as  $\text{CYield} = (\text{CCW}/\text{SLW}) \times 1,000$ . Carcass characteristics indicators were fat, muscle, and bone percentages. When indicated, SLW and HCW were recorded (number of treatments [ntreat] = 41, 83, and 140, respectively), in some cases calculated from initial weight, period duration, and ADG (ntreat = 157, 220, and 155, respectively).

Diet characteristics concerned chemical composition of the feed, DMI (g/kg LW), dry matter digestibility (%), organic matter intake (OMI; g/kg LW), OMD (%), and digestible OMI (DOMI; g/kg LW).

The database ultimately compiled included 108 publications reporting 116 experiments and 399 treatments. In most of the papers, the same trough treatment was compared to 1 or several pasture treatments, which explains the different number of data for trough (ntreat = 175) and pasture treatments (ntreat = 224). Most of the trials focused on cattle (ntreat = 215), with 158 treatments on sheep and 26 on goat. The indicated physiological stages used were distributed as follows: growing (ntreat = 188), finishing (ntreat = 154), unweaned (ntreat = 44), and gestation or lactation (ntreat = 13). A majority of studies used males only (ntreat = 311), ahead of female (ntreat = 41) or male and female combined (ntreat = 47). Most of the trials were conducted in temperate areas (ntreat = 216) or in subtropical or tropical regions (ntreat = 180). In the database, roughage source was recorded as green, not green, or other in 343 treatments and forage or forage plus legumes in 381 treatments. The diets studied were diversified, and roughage source was distributed as green forage (ntreat = 217) or other source (ntreat = 126), that is, hay, straw, or silage. The majority of the roughage used was grass (ntreat = 351) or grass plus legume (ntreat = 30).

As concentrate supply is a priori an important interfering factor, it was given special focus. Various encoding modalities were considered, starting with qualitative modalities such as the principle of whether concentrate was added in the diet (addiCO; coded as 0 = unsupplemented,  $n = 157$ , or 1 = supplemented, ntreat = 233) and the type of concentrate (natCO; ntreat = 153), that is, either barley (ntreat = 76), corn (ntreat = 65), or other (ntreat = 12). Then, wherever possible, we also considered quantitative modalities of complementation, that is, the percentage of concentrate in total diet offered (PCO, which averaged  $52.89 \pm 29.53\%$ ;

**Table 1.** Statistical description of the variables studied in a meta-analysis to determine influence of trough vs. pasture feeding of ruminants

| Variable <sup>1</sup> | n <sub>pub</sub> <sup>2</sup> | n <sub>exp</sub> <sup>3</sup> | n <sub>treat</sub> <sup>4</sup> | Mean   | Moda value | Minimum | Maximum | RSD <sup>5</sup> |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------|------------|---------|---------|------------------|
| ADG, g/kg LW          | 77                            | 83                            | 295                             | 4.68   | 2.66       | -3.27   | 23.73   | 4.40             |
| Diet OMD, %           | 8                             | 11                            | 28                              | 74.35  | 69.9       | 59.5    | 85.30   | 8.11             |
| HYield, g/kg SLW      | 62                            | 67                            | 217                             | 509.38 | 488        | 340.00  | 619.00  | 59.41            |
| Fat, %                | 21                            | 22                            | 66                              | 13.93  | 22.2       | 2.59    | 36.08   | 8.01             |
| Muscle, %             | 21                            | 22                            | 66                              | 64.11  | 63.07      | 43.42   | 72.20   | 5.64             |
| Bone, %               | 21                            | 22                            | 66                              | 20.63  | 20         | 12.9    | 37.50   | 4.26             |

<sup>1</sup>LW = live weight; OMD = organic matter digestibility; HYield = hot carcass yield: (HCW/SLW) × 1,000; SLW = slaughter live weight.

<sup>2</sup>n<sub>pub</sub> = number of publications.

<sup>3</sup>n<sub>exp</sub> = number of experiments.

<sup>4</sup>n<sub>treat</sub> = number of treatments.

<sup>5</sup>RSD = residual SD.

n<sub>treat</sub> = 104) and quantity of concentrate in the diet offered (QCO =  $9.07 \pm 5.51$  g DM/kg LW; n<sub>treat</sub> = 75). Note that 21 of these treatments (8 publications) reported both PCO and QCO values. Some diet characteristics such as OMI (n<sub>treat</sub> = 4) and DOMI (n<sub>treat</sub> = 4) were reported in too few publications to be statistically analyzed. For animal production, analyses focused primarily on ADG (n<sub>treat</sub> = 295), HYield (n<sub>treat</sub> = 217), and carcass composition (n<sub>treat</sub> = 66). Other variables were considered, that is, SLW (n<sub>treat</sub> = 287), HCW (n<sub>treat</sub> = 199), CCW (n<sub>treat</sub> = 60), CYield (n<sub>treat</sub> = 68), but they provided largely redundant information compared to the other slaughter characteristics and so the results are not presented here. Working from the database described above, a subdatabase was constructed with 10 publications reporting studies that had compared the 2 FE with the same diet (number of experiments [n<sub>exp</sub>] = 11 and n<sub>treat</sub> = 29).

### Meta-Design and Statistical Analysis

Data analysis was performed on Minitab 16 software (Minitab 16.1.0; Minitab Inc., State College, PA). Descriptive statistics for each variable analyzed in this dataset are reported in Table 1. The very different number of treatments per variable is a strong limitation to a global statistical analysis. The different variables described above were analyzed according to the meta-design, which consists in a hierarchical organization of the major factors of variation tested in the publications (Fig. 1), and successively nested as such: 1) animal species (cattle vs. small ruminant), 2) physiological stage (unweaned, growing, gestation-lactation, or finishing), 3) gender (0 = male, 0.5 = male + female, and 1 = female), considered as a covariate, which was not kept in the model because it had no effect on any of the variables studied, 4) experiments within each physiological stage and species, and 5) FE (trough vs. pasture), considered as a Boolean covariate (0–1). To meet our objectives, each variable was first tested individually with the hierarchical model of the meta-design. Relationships between

the explained and explanatory variables were studied using the General Linear Model procedure to split the variations across and intra-experiments. In a second step, we focused on a number of potential confounding situations between factors, such as the relationship between FE and various complementation modalities. We thus tested the effect of each potential confounding factor (addiCO, natCO, PCO, and QCO) interfering with FE effect on the various variables whenever the data was available. Experiment, species, physiological stage, gender, and the qualitative diet characteristics were introduced into these models as fixed effects, and FE was used as a covariate.

An ANOVA was used to test the effect of the qualitative complementation modalities such as addiCO and natCO. The qualitative factors were tested as fixed effects since the goal was also to mutually rank them. A linear covariable was used for quantitative modalities such as PCO and QCO. Finally, in a third step, relationships between the variables were studied using the hierarchical model. An effect was considered significant at  $P < 0.05$ .

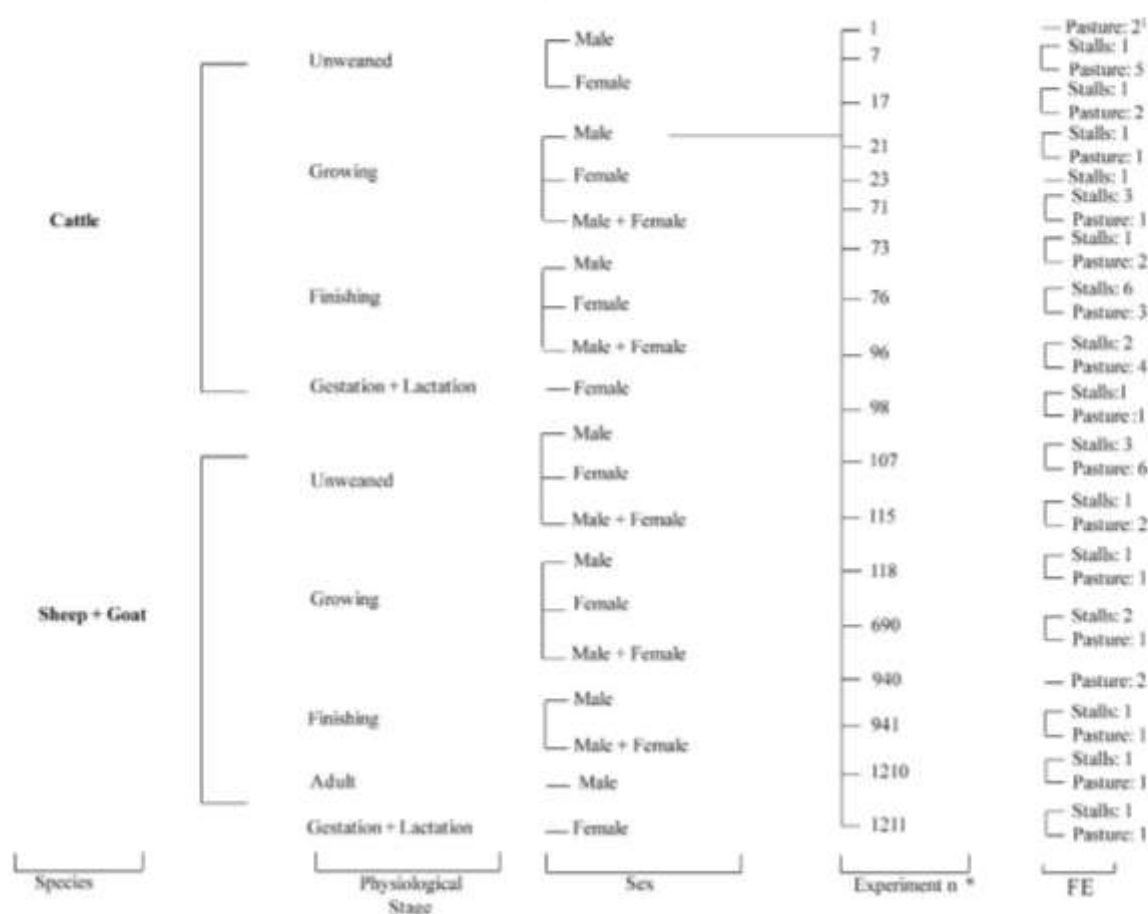
## RESULTS

Effects of animal species, physiological stage, experiments, and FE are reported for all the measured variables, that is, ADG, OMD, and slaughter characteristics (HYield, % fat, muscle, and bone). Other dietary characteristics (roughage source, ad libitum or rationed, or added legumes) that did not modulate the effect of FE on any of the variables studied were not presented.

Data on initial and final LW by species, physiological stage, and gender are reported in Table 2.

### Live Weight Gain

Average daily gain (g/kg LW) was not influenced by animal species ( $P > 0.005$ ; Table 3) but was altered by physiological stage ( $P < 0.05$ ) and within experiments ( $P < 0.001$ ; Table 3). Our analysis revealed an effect of



**Figure 1.** Hierarchical model of variation factors in the meta-design to determine influence of trough vs. pasture feeding of ruminants. FE = feeding environment. <sup>1</sup>number of treatments; \* all experiments not shown, just 1 option was detailed here (cattle/growing/male).

FE on ADG, which was faster for trough-fed than pasture-grazed animals (5.80 vs. 4.92; residual SD [RSD] = 1.3 g/kg LW,  $P < 0.001$ ; Table 4). The effect of FE on ADG persisted after integrating addiCO (5.92 vs. 5.15; RSD = 1.25 g/kg LW,  $P = 0.024$ ; Table 4) and natCO (5.88 vs. 5.26; RSD = 0.52 g/kg LW,  $P < 0.001$ ; Table 4). After integrating QCO and PCO, the FE effect was no longer significant ( $P = 0.084$  and  $P = 0.891$ , respectively; Fig. 2 and 3). Feeding environment had no effect on ADG when the subdatabase was analyzed ( $P = 0.318$ ).

#### Diet Organic Matter Digestibility

There were far fewer treatments with diet OMD than the other variables (Table 1). Diet OMD did not vary with animal species or physiological stage ( $P > 0.05$ ; Table 3), but there was an experiment effect ( $P = 0.001$ ; Table 3). Diet OMD was not influenced by FE ( $P = 0.818$ ; Table 4), even after integrating addiCO ( $P = 0.798$ ). The limited data on diet OMD made it impossible to determine FE effect in the subdatabase.

#### Carcass Characteristics

As for ADG and diet OMD, HYield was not influenced by animal species or physiological stage ( $P < 0.05$ ), but it was influenced by experiment ( $P < 0.001$ ; Table 3). There was an FE effect on HYield, which was greater for trough-fed than pasture-grazed animals (518.4 vs. 505.9; RSD = 19.56 g/kg SLW,  $P < 0.001$ ; Table 5). The FE effect disappeared when addiCO was integrated ( $P = 0.078$ ; Table 5). The FE effect persisted after integrating natCO, with a greater HYield for trough-fed animals than pasture-grazed animals (538.1 vs. 526.5; RSD = 12.89 g/kg SLW,  $P = 0.004$ ; Table 5), and also after integrating QCO ( $P = 0.006$ ; Fig. 4) but was erased after integrating PCO ( $P = 0.128$ ; Table 5; Fig. 5). Only 7 experiments had tested intra-paper the effect of various PCO on HYield, and only 1 had tested this effect both in-trough and at-pasture. In contrast, after integrating the 11 experiments reporting an effect of QCO on HYield intra-paper, 4 had tested this effect among the 2 FE. Feeding environment had no effect on HYield when the subdatabase was analyzed ( $P = 0.824$ ).

**Table 2.** Statistical description of initial and final BW data by animal species, physiological stage, and gender of the ruminants used in this meta-analysis to determine influence of trough vs. pasture feeding of ruminants

| Main variation factors     | Initial BW |         |         |                  | Final BW |         |         |        |
|----------------------------|------------|---------|---------|------------------|----------|---------|---------|--------|
|                            | Mean       | Minimum | Maximum | RSD <sup>1</sup> | Mean     | Minimum | Maximum | RSD    |
| <b>Animal species</b>      |            |         |         |                  |          |         |         |        |
| Cattle                     | 368.76     | 116.15  | 658.00  | 139.04           | 475.30   | 162.50  | 761.00  | 123.09 |
| Sheep                      | 19.74      | 3.70    | 52.40   | 11.61            | 33.02    | 10.76   | 65.10   | 12.65  |
| Goat                       | 10.25      | 3.32    | 25.50   | 5.53             | 18.33    | 6.48    | 36.60   | 9.64   |
| <b>Physiological stage</b> |            |         |         |                  |          |         |         |        |
| Unweaned                   | 16.62      | 3.32    | 121.4   | 25.34            | 36.78    | 6.48    | 210.30  | 40.58  |
| Growing                    | 128.10     | 3.80    | 567.00  | 151.8            | 184.60   | 6.70    | 662.80  | 197.2  |
| Finishing                  | 389.50     | 16.30   | 588.00  | 151.50           | 471.6    | 23.30   | 761.00  | 172.60 |
| Gestation or lactation     | 169.80     | 41.20   | 658.00  | 257.30           | 50.55    | 49.50   | 51.60   | 1.48   |
| <b>Gender</b>              |            |         |         |                  |          |         |         |        |
| Males                      | 249.6      | 3.7     | 588.00  | 203.3            | 338.10   | 13.80   | 761.00  | 234.80 |
| Females                    | 139.90     | 4.00    | 658.00  | 180.60           | 150.1    | 9.00    | 561.00  | 171.30 |

<sup>1</sup>RSD = residual SD.

There was no effect of animal species or physiological stage on carcass fat content ( $P > 0.05$ ; Table 3), but there was an experiment effect ( $P < 0.001$ ; Table 3). There was an FE effect on carcass fat content, which was greater in trough-fed than pasture-grazed animals (16.67 vs. 13.35; RSD = 2.38%,  $P < 0.001$ ; Table 5), and this FE effect persisted after integrating addiCO (15.65 vs. 13.69; RSD = 2.26%,  $P = 0.027$ ; Table 5) and QCO (17.69 vs. 13.30; RSD = 0.91%,  $P = 0.040$ ).

Carcass muscle content did not vary according to animal species or physiological stage ( $P > 0.05$ ; Table 3), but there was an experiment effect ( $P = 0.001$ ; Table 3). There was an FE effect on carcass muscle content, which was less in trough-fed animals than pasture-grazed animals (64.29 vs. 65.89; RSD = 2.19%,  $P = 0.010$ ; Table 5). This FE effect was erased after addiCO was integrated ( $P = 0.119$ ; Table 5) but persisted after QCO was integrated ( $P = 0.040$ ; Table 5).

Carcass bone content did not vary according to animal species or physiological stage ( $P > 0.05$ ; Table 3)

but there was an experiment effect ( $P < 0.001$ ; Table 3). There was an FE effect on carcass bone content, which was less for trough-fed than pasture-grazed animals (18.41 vs. 19.93; RSD = 1.76%,  $P = 0.003$ ; Table 5), but the effect was erased after integrating addiCO ( $P = 0.581$ ) and QCO ( $P = 0.550$ ; Table 5).

#### *Relationships between Performances and Carcass Characteristics, Considered Intra-paper*

The relationship between ADG and HYield was species dependent. Cattle showed an ADG of under 5 g/kg LW, associated with increased HYield (in the range 500 to 600 g/kg SLW), whereas small ruminants (sheep and goat) showed an ADG ranging from 0 to 21.5 g/kg LW, associated with a wide HYield range (400–562 g/kg SLW). For cattle, increasing ADG increased HYield (HYield = 525.02 + 9.03 ADG; ntreat = 109, nexp = 32  $r^2 = 83.12$ , RSD = 15.47; Fig. 6). For small ruminants, like for cattle, ADG and HYield were positively

**Table 3.** Main factors of variation in ADG and carcass characteristics to determine influence of trough vs. pasture feeding of ruminants

| Variable <sup>1</sup>           | Species         |                           | Physiological stage <sup>2</sup> |              | Experiment <sup>3</sup> |
|---------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------------|--------------|-------------------------|
|                                 | P-value         | F (dfA; dfB) <sup>4</sup> | P-value                          | F (dfA; dfB) | P-value                 |
| ADG, g/kg LW (ntreat = 295)     | NS <sup>5</sup> | 1.12 (1; 5)               | <0.05                            | 5.45 (5; 86) | <0.001                  |
| HYield, g/kg SLW (ntreat = 217) | NS              | 19.91 (1; 4)              | NS                               | 1.05 (4; 68) | <0.001                  |
| Fat, % (ntreat = 66)            | NS              | 0.02 (1; 4)               | NS                               | 3.23 (4; 20) | <0.001                  |
| Muscle, % (ntreat = 66)         | NS              | 0.32 (1; 4)               | NS                               | 1.65 (4; 20) | <0.001                  |
| Bone, % (ntreat = 66)           | NS              | 0.26 (1; 4)               | NS                               | 3.49 (4; 20) | <0.001                  |
| Diet OMD, % (ntreat = 28)       | NS              | 4.26 (1; 2)               | NS                               | 0.92 (2; 7)  | 0.001                   |

<sup>1</sup>LW = live weight; ntreat = number of treatments; HYield = hot carcass yield: (HCW/SLW) × 1,000; SLW = slaughter live weight; OMD = organic matter digestibility.<sup>2</sup>Physiological stage: [PhySt(Spc)].<sup>3</sup>Experiments: [Exp(Spc PhySt)].<sup>4</sup>dfA = degree of freedom A; dfB = degree of freedom B.<sup>5</sup>NS = non significant.

**Table 4.** Effect of feeding environment (FE; trough or pasture) with and without potential confounding factors on live weight (LW) gain and diet OM digestibility (OMD)

| Item <sup>1</sup> | nexp <sup>2</sup> | ntreat <sup>3</sup> | Feeding environment |                      | FE <i>P</i> -value | Confounding factors<br><i>P</i> -value | RSD <sup>5</sup> |
|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------------|------------------|
|                   |                   |                     | Trough <sup>4</sup> | Pasture <sup>4</sup> |                    |                                        |                  |
| ADG, g/kg LW      | 87                | 295                 | 5.80                | 4.92                 | <0.001             |                                        | 1.30             |
| addiCO            | 101               | 194                 | 5.92                | 5.15                 | 0.024              | 0.870                                  | 1.25             |
| natCO             | 43                | 112                 | 5.88                | 5.26                 | <0.001             | 0.004                                  | 0.52             |
| PCO               | 10                | 25                  | 4.20                | 4.28                 | 0.891              | 0.001                                  | 0.48             |
| QCO               | 11                | 27                  | 3.42                | 4.00                 | 0.084              | <0.001                                 | 0.29             |
| Diet OMD, %       | 8                 | 28                  | 73.70               | 73.18                | 0.818              | <0.001                                 | 3.96             |
| addiCO            | 8                 | 28                  | 73.87               | 74.26                | 0.798              | <0.001                                 | 2.69             |

<sup>1</sup>LW = live weight; addiCO = considering the addition of concentrate tested in some publications; natCO = considering the nature of concentrate tested in some publications; PCO = considering the percentage of concentrate tested in some publications (%); QCO = considering the quantity of concentrate tested in some publications (g DM/kg LW).

<sup>2</sup>nexp = number of experiments.

<sup>3</sup>ntreat = number of treatments.

<sup>4</sup>Adjusted values for species, physiological stages, experiments, and FE.

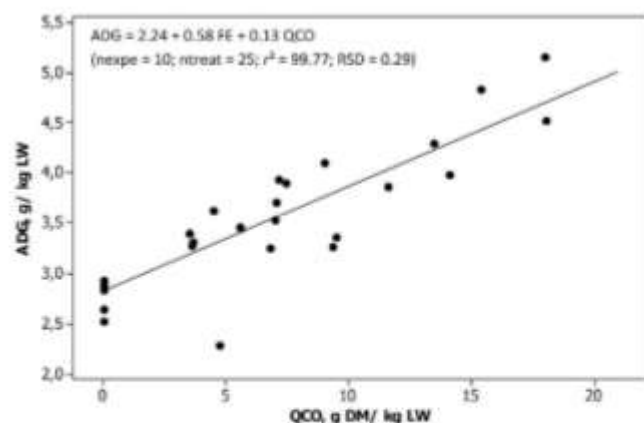
<sup>5</sup>RSD = residual SD.

correlated, but the regression was different ( $\text{HYield} = 442.41 + 5.13 \text{ ADG}$ ;  $\text{ntreat} = 81$ ,  $\text{nexp} = 25$ ,  $r^2 = 87.72$ ,  $\text{RSD} = 22.98$ ; Fig. 6).

There was a negative regression between ADG and carcass muscle content ( $\text{muscle} = 72.17 - 1.13 \text{ ADG}$ ;  $P = 0.001$ ; Fig. 7). With lower ADG levels, carcass muscle content increased but decreased with faster ADG. There was a relationship between ADG and carcass fat content ( $P = 0.007$ ; Fig. 7), where ruminants with high ADG levels showed fatter carcasses. These relationships were independent of species and physiological stage.

## DISCUSSION

To the best of our knowledge, this work represents the first attempt to quantitatively review trough-fed vs. pasture-fed production comparisons via a retrospective me-

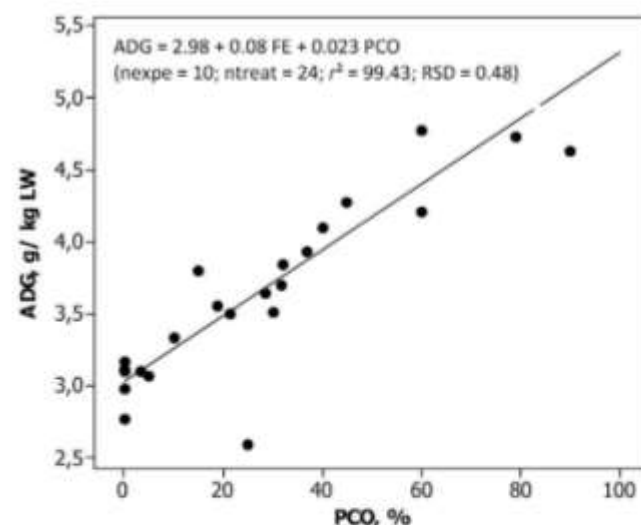


**Figure 2.** Intra-experiment effects of concentrate offered (QCO; g DM/kg live weight [LW]) and feeding environment (FE) on ADG (g/kg LW) used in a meta-analysis to determine influence of trough vs. pasture feeding of ruminants. nexp = number of experiments; ntreat = number of treatments; RSD = residual SD.

ta-analysis approach. This meta-analysis confirmed some of the reported differences between trough- and pasture-feeding systems and highlighted certain drivers of these differences. This work further underlines the pivotal role of diet supplementation as an explanatory factor for many of the differences between the 2 FE. It also highlights the limitations in available published studies, that is, a lack of studies on meat goats and on ingestion and digestibility measurements during grazing conditions.

## Features of the Database

The database compiled included a huge amount of information, at close to 400 treatments from 108 pub-



**Figure 3.** Intra-experiment effects of percentage of concentrate (PCO; %) and feeding environment (FE) on ADG (g/kg live weight [LW]) used in a meta-analysis to determine influence of trough vs. pasture feeding of ruminants. nexp = number of experiments; ntreat = number of treatments; RSD = residual SD.

**Table 5.** Effect of feeding environment (FE; trough or pasture) with and without potential confounding factors on slaughter and carcass characteristics

| Item <sup>1</sup> | nexp <sup>2</sup> | ntreat <sup>3</sup> | Feeding environment |                      | FE <i>P</i> -value | Confounding factors<br><i>P</i> -value | RSD <sup>5</sup> |
|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------------|------------------|
|                   |                   |                     | Trough <sup>4</sup> | Pasture <sup>4</sup> |                    |                                        |                  |
| HYield, g/kg SLW  | 69                | 217                 | 518.42              | 505.95               | <0.001             |                                        | 19.56            |
| addiCO            | 68                | 215                 | 513.49              | 506.96               | 0.078              | 0.007                                  | 19.18            |
| natCO             | 37                | 88                  | 538.19              | 526.50               | 0.004              | 0.106                                  | 12.89            |
| PCO               | 7                 | 18                  | 562.75              | 534.01               | 0.128              | 0.002                                  | 10.12            |
| QCO               | 11                | 27                  | 547.72              | 527.15               | 0.006              | <0.001                                 | 8.38             |
| Fat, %            | 21                | 66                  | 16.67               | 13.35                | <0.001             |                                        | 2.38             |
| addiCO            | 21                | 66                  | 15.65               | 13.69                | 0.027              | 0.026                                  | 2.26             |
| QCO               | 3                 | 11                  | 17.69               | 13.30                | 0.040              | 0.333                                  | 0.91             |
| Muscle, %         | 21                | 66                  | 64.29               | 65.89                | 0.010              |                                        | 2.19             |
| addiCO            | 21                | 66                  | 64.49               | 65.82                | 0.119              | 0.638                                  | 2.21             |
| QCO               | 3                 | 11                  | 63.56               | 67.88                | 0.040              | 0.040                                  | 0.89             |
| Bone, %           | 21                | 66                  | 18.41               | 19.93                | 0.003              |                                        | 1.76             |
| addiCO            | 21                | 66                  | 19.29               | 19.63                | 0.581              | 0.009                                  | 1.63             |
| QCO               | 3                 | 11                  | 18.95               | 18.43                | 0.550              | 0.106                                  | 0.55             |

<sup>1</sup>HYield = hot carcass yield: (HCW/SLW) × 1,000; SLW = slaughter live weight; addiCO = considering the addition of concentrate tested in some publications; natCO = considering the nature of concentrate tested in some publications; PCO = considering the percentage of concentrate tested in some publications (%); QCO = considering the quantity of concentrate tested in some publications (g DM/kg live weight).

<sup>2</sup>nexp = number of experiments.

<sup>3</sup>ntreat = number of treatments.

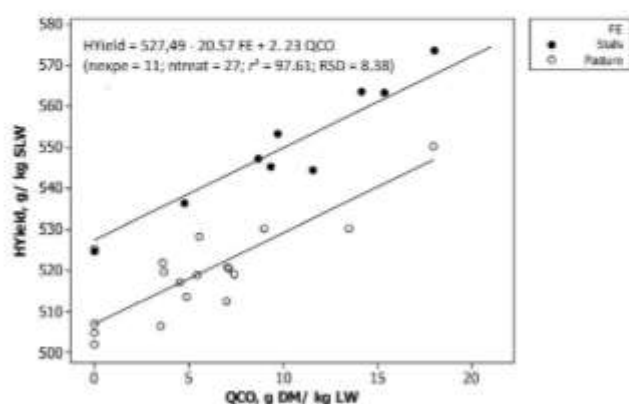
<sup>4</sup>Adjusted values for species, physiological stages, experiments, and FE.

<sup>5</sup>RSD = residual SD.

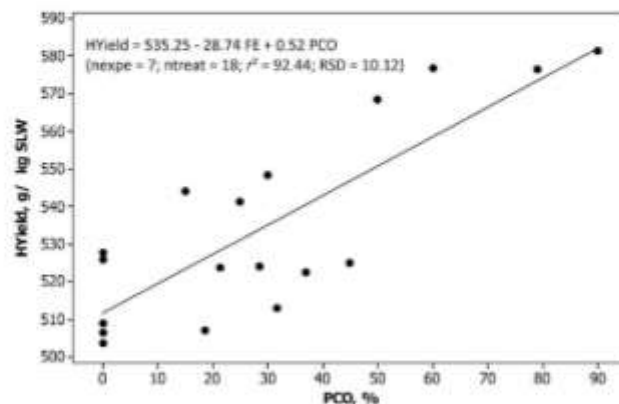
lications. However, the meta-design was fairly unbalanced, due to broad variability in the available data across the factors studied (species, physiological stages, gender, etc.) and, more crucially, in the feeding modalities and complementation strategies tested.

We first had to deal with the various factors or variation, as 54% of the shortlisted studies had been performed on cattle relative to small ruminants, and the distribution of the different physiological stages and gender varied greatly among species. Most of the unweaned animals studied were small ruminants, primarily sheep, and the distribution

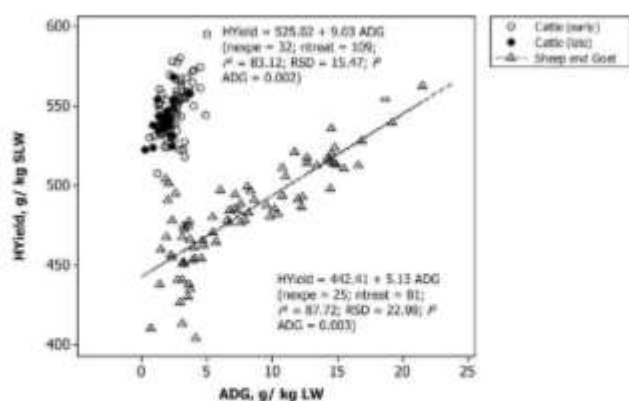
of their physiological stages was quite unbalanced between unweaned, growing, and finishing animals (ntreat = 42, 113, and 18, respectively). In contrast, cattle were mostly reared as growing or finishing animals, with very few studied at weaning (ntreat = 75, 136, and 2, respectively). Most of the studies were performed on males, with just 10.3% on females and 11.7% on male-plus-female animals. Furthermore, the methodology used to evaluate carcass tissue composition also varied among species: in cattle, it is usually estimated from carcass or rib dissection while for small ruminants, it is estimated from leg or tail sections.



**Figure 4.** Intra-experiment effects of the quantity of concentrate offered (QCO; g DM/kg live weight [LW]) and feeding environment (FE) on hot carcass yield (HYield; g/kg slaughter live weight [SLW]) used in a meta-analysis to determine influence of trough vs. pasture feeding of ruminants. nexp = number of experiments; ntreat = number of treatments; RSD = residual SD.



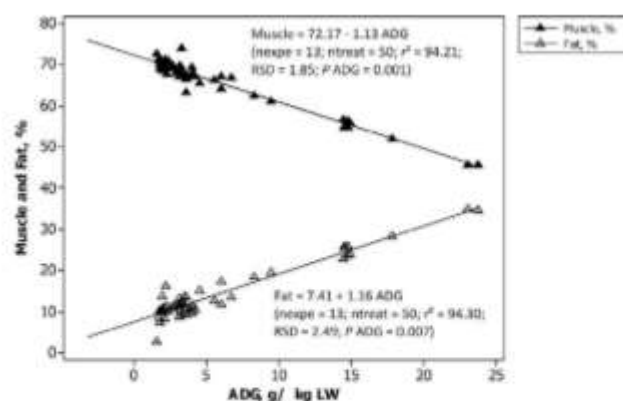
**Figure 5.** Intra-experiment effects of the percentage of concentrate (PCO; %) and feeding environment (FE) on hot carcass yield (HYield; g/kg slaughter live weight [SLW]) used in a meta-analysis to determine influence of trough vs. pasture feeding of ruminants. nexp = number of experiments; ntreat = number of treatments; RSD = residual SD.



**Figure 6.** Intra-experiment relationships between ADG (g/kg live weight [LW]) and hot carcass yield (HYield; g/kg slaughter live weight [SLW]) in ruminants used in a meta-analysis to determine influence of trough vs. pasture feeding of ruminants. nexp = number of experiments; ntreat = number of treatments; RSD = residual SD.

According to FE analyzed, over and above the various trough feeding conditions recorded (feedlot, sheepfold, or metabolic cages), the number of data varied greatly, with less data collected in troughs (ntreat = 175) than at pasture (ntreat = 224). In many studies (60%), the same trough-feeding treatment was compared against several pasture-feeding treatments, which in turn involved different types of pasture or hay among studies, which may have influenced rate of gain, diet OMD, and slaughter and carcass characteristics. The number of measurements available per parameter also varied strongly and there was unfortunately little data on diet characteristics (i.e., OMD, OMI, or DOMI), which are nevertheless crucial parameters for explaining the results obtained. Complementation strategies varied widely between different FE, and furthermore, a majority of trough-fed animals were supplemented with concentrates (supplemented, ntreat = 127, vs. unsupplemented, ntreat = 30) whereas a majority of pasture-fed animals were not supplemented with concentrates (supplemented, ntreat = 92, vs. unsupplemented, ntreat = 141). At the same time, we had to deal with imbalance in terms of measured variables describing the complementation strategies—there were scarce few papers that tested the effects of both percentage and amount of concentrate while other papers either reported raw quantities of concentrate without giving the information needed to calculate percentages or vice versa. This led to biases, such as in the analysis of the effect of FE on HYield when the percentage and/or quantity of concentrate in the diet was integrated, especially as the analysis of the data had clearly revealed the important weight of concentrate, which emerged as a dominant factor compared to FE.

A fine-grained encoding effort allowed for factoring distortion of the meta-design by taking into account at the best of all the limits, calculating missing information whenever possible, and factoring in certain intra-paper effects.



**Figure 7.** Intra-experiment relationships between ADG (g/kg live weight [LW]) and carcass muscle and fat content (Muscle and Fat, %) in ruminants used in a meta-analysis to determine influence of trough vs. pasture feeding of ruminants. nexp = number of experiments; ntreat = number of treatments; RSD = residual SD.

The size of the global dataset made it possible to analyze the effects of some factors within homogeneous subsets of data. For complementation strategies, in particular, it was possible to first examine the effect of amount and percentage of concentrate based on a set of publications that had factored in both these parameters and then subsequently factor in other publications that had measured only parameter or the other. However, it was difficult to separate FE effects independently from complementation effects. For the different experimental methods used, including measurements on the carcass, it was possible to manage potential bias by working on publications that had used the same methods in FE to balance the analysis.

### *Effect of Feeding Environment on Growth Performances and Carcass Characteristics*

Feeding environment affected ADG, which was greater for trough-fed than pasture-fed animals. However, the differences in ADG between FE may stem from the nature of the diet and the feeding conditions. Indeed, after integrating diet type, trough-fed animals more often received a more nutritionally dense diet including a greater proportion of energy or protein supplements. Trough-fed and pasture-fed animals have different energy requirements due to their different physical energy expenditures (foraging uses energy), as described in Kaufmann et al. (2011; data were included in the database). Indeed, grazing animals have 20 to 30% higher energy requirements than trough-fed animals (M. Boval, unpublished data; not included in the database).

The FE effect on ADG persisted after integrating concentrate added in the diet, which did not include the quantitative dimension of complementation, underlining that beyond the addition of concentrate, differences in energy expenditure could be decisive. In contrast, inte-

grating either percentage or quantity of concentrate in the diet erased the effect of FE (trough or pasture feeding) on ADG, which increased by 0.11 g/kg LW per g of concentrates added of concentrates. In these situations, the amount of concentrate added could offset the difference in energy expenditures between FE. Finally, considering the subdatabase of the 10 publications where the same feed was offered in strictly the same amounts in FE, no effect of FE was found for ADG. This suggests that grazing animals can achieve the same ADG as trough-fed animals when the complementation procedures are similar enough.

Diet OMD was not different between FE, even when considering added concentrate. The small dataset on diet OMD means this result needs to be assessed, but based on all the published data considered ( $n_{\text{treat}} = 28$ ), the animals digested feed in the same way in both systems even when different diets were offered. However, this general trend may vary in some studies. Published studies for sheep (Fanchone et al., 2010, 2012; data included) and cattle (Rustas et al., 2010; data not included) have confirmed a better digestibility of grazed herbage than the same herbage cut and distributed in troughs, which is explained by a greater selectivity of the herbage grazed.

Similar to ADG, FE also affected HYield, which was greater for trough-fed than pasture-fed animals. However, unlike for ADG, integrating added dietary concentrate, regardless of amount, erased the FE effect, which illustrates that energy density is a major factor in determining HYield. But, like for ADG, the FE effect was lost after integrating percentage of concentrate in the diet but remained significant after integrating quantity of concentrate in the diet, where HYield was greater for trough- than pasture-fed animals. This variable impact of supplementation on HYield, depends on whether the addition of concentrate is considered in terms of QCO. This may stem from the fact that the publications contained few HYield measurements and did not describe enough their different complementation strategies. However, after analyzing the subdatabase of studies that used the same amount of the same type of concentrate, FE had no effect on HYield, with was the same pattern as for ADG.

Similar with ADG, FE affected carcass fat, muscle, and bone contents. Trough-fed animals were fatter and had less muscle and bone than pasture-fed animals in proportion, in line with Agastin et al. (2013; data not included). These differences in carcass tissue composition between FE have already been reported (Carrasco et al., 2009; Fernandes et al., 2010; data included) and, like for ADG and HYield, were likely the outcome of the combined effects of the diet type and feeding conditions. In trough-fed animals, which are usually diet supplemented, the greater amount of energy intake induced a linear response with more fat accretion whereas in pasture-fed animals, daily energy intake may provide enough energy

to cover potential requirements, as previously suggested (Carrasco et al., 2009; data included). Furthermore, the decreased physical activity of indoor-reared animals coupled with the extra shade they get could also have increased their body fat content, as suggested by Mitlöchner et al. (2001; data not included). This finding is also consistent with decreased fat deposition and increased muscle percentages observed in grazing animals (Carrasco et al., 2009; Blanco et al., 2010; Agastin et al., 2013). Moreover, there was a negative correlation between bone and fat tissues, as classically observed by Díaz et al. (2002; data included) and Carrasco et al. (2009; data included). When added concentrate in the diet was factored in, the FE effect on carcass fat content persisted but the FE effect on muscle and bone content was no longer significant. This suggests that FE could specifically affect carcass fat content, whatever the nature of the diet, rather than muscle and bone percentages. When quantity of concentrate was factored in, there was an effect of FE on carcass fat and muscle contents due to the amount of energy supplied, which did not affect bone content.

#### *Relationships between ADG and the Carcass Characteristics*

Average daily gain was positively correlated with HYield, whether for cattle ( $r^2 = 83$ ) or small ruminants ( $r^2 = 87$ ), as previously reported (Keane and Moloney, 2010; data not included). Both parameters are largely dependent on nutritional status, and a positive effect of a rise in energy intake logically increased both ADG and HYield. The relationship among ADG and HYield varies depending on species. First, the HYield and ADG ranges differed strongly between species. On the other hand, the increase of HYield with increasing ADG was 1.8 times greater for cattle than for small ruminants, possibly due to the distribution of different physiological stages per species. Indeed, growing or finishing animals usually have a slower ADG while unweaned animals have a faster ADG, in an inverse relationship between age and maturity (Sawyer et al., 2004; London et al., 2012; data not included). Furthermore, most of the unweaned small ruminants were fed with concentrate while also suckling, which consequently induced greater ADG. However, other factors may be involved, such as mature body size, nutrition, hormones, environment, breed type, and parasitic disease, as reviewed by Owens et al. (1993; data not included), but these factors have not been sufficiently outlined in the publications studied.

Moreover, fast-ADG ruminants showed fatter carcasses ( $r^2 = 94$ ) and less muscle content ( $r^2 = 94$ ), suggesting an effect of greater energy balance values, as reported in other papers (Carrasco et al., 2009; Murphy et al., 1994; data included). This illustrates that increasing ADG when

cattle have reached 65% of their mature weight increases fat deposition faster than protein deposition.

**Effects of Animal Species, Gender, and Physiological Stage on ADG, Diet Organic Matter Digestibility, and the Carcass Characteristics**

This study did not find a species effect, as all the variables studied were reported by LW or SLW. With respect to gender, there was no difference in growth, diet OMD, or carcass and slaughter characteristics. Similarly to these results, Lage et al. (2012; data not included) reported in crossbred Zebu cattle that gender had no effect ( $P > 0.05$ ) on performance, intake, digestibility of DM and all nutrients evaluated, feed efficiency, or carcass characteristics. However, research papers usually recognize a difference in performance and carcass characteristics due to gender (Whipple et al., 1990; McIntyre et al., 2009; data not included).

Furthermore, Costa et al. (2010; data included) studied the Blanca Serrana Andaluza goat breed and did not find any influence of gender on animal performances and carcass characteristics. However, Italian male Merinizzata lambs showed better performances and better carcass quality compared to females (Scerra et al., 2001; data included).

Physiological stage had no effect on any of the variables studied except ADG. This may be due to the large number of papers studying postweaning phases and growing and finishing animals, which may be fairly similar. Most of the literature on the effect of physiological stage has compared lactating vs. nonlactating ruminants (Gibb et al., 1999; Penning et al., 1995; data not included). Caneque et al. (2001; data not included) looked at weaning status and noted that lambs that stayed with their dams displayed better growth rates than weaned lambs due to the longer period of milk consumption.

**Conclusion**

Results showed that trough-fed animals had higher ADG (+17.89%,  $P < 0.001$ ), hot carcass yield (HYield, +2.47%,  $P < 0.001$ ) and carcass fat content (+24.87%,  $P < 0.001$ ) than pasture-fed animals but lower carcass muscle and bone percentages (-1.60%,  $P = 0.010$  and -7.63%,  $P = 0.003$ , respectively). The fact that trough-fed animals in most of the studies in the database also received diet supplements is a major bias in efforts to compare FE. This quantitative review highlights that if ruminants are fed the same diet and given the same supplementation strategy, grazing animals can potentially achieve the same performances as trough-fed counterparts and may even achieve greater muscle percentage. These results are essential points to factor when considering the economic cost of livestock feeding and consumer preferences. This meta-analysis also high-

lights a knowledge gap for meat goats and measurements of intake and digestibility on pasture, which is a limitation on attempts to compare with measurements performed in trough-fed animals.

**LITERATURE CITED**

- Agastin, A., M. Naves, A. Farant, X. Godard, B. Bocage, G. Alexandre, and M. Boval. 2013. Effects of feeding system and slaughter age on the growth and carcass characteristics of tropical-breed steers. *J. Anim. Sci.* 91:3997–4006.
- Aurousseau, B., D. Bauchart, X. Faure, A. L. Galot, S. Prache, D. Micol, and A. Priolo. 2007. Indoor fattening of lambs raised on pasture. Part 1: Influence of stall finishing duration on lipid classes and fatty acids in the longissimus thoracis muscle. *Meat Sci.* 76:241–252.
- de Barros, C. S., A. L. G. Monteiro, C. H. E. C. Poli, J. R. Dittich, J. R. F. Canziani, and M. A. M. Fernandes. 2009. Rentabilidade da produção de ovinos de corte em pastagem e em confinamento. (Economic return of sheep production on pasture and in feedlot.) (In Portuguese.) *Rev. Bras. Zootec.* 38:2270–2279.
- Blanco, M., I. Casasis, G. Ripoll, B. Panea, P. Alberti, and M. Joy. 2010. Lucerne grazing compared with concentrate-feeding slightly modifies carcass and meat quality of young bulls. *Meat Sci.* 84:545–552.
- Caneque, V., S. Velasco, M. Diaz, C. Perez, F. Huidobro, S. Lauzurica, C. Manzanares, and J. Gonzalez. 2001. Effect of weaning age and slaughter weight on carcass and meat quality of Talavera breed lambs raised at pasture. *Anim. Sci.* 73:85–95.
- Carnasco, S., G. Ripoll, B. Panea, J. Álvarez-Rodríguez, and M. Joy. 2009. Carcass tissue composition in light lambs: Influence of feeding system and prediction equations. *Livest. Sci.* 126:112–121.
- Costa, R. G., M. E. C. Vallejo, J. V. D. Bermejo, A. A. Henriquez, A. Vallecillo, and N. M. dos Santos. 2010. Influencia do sexo do animal e do sistema de produção nas características de carcaca de caprinos da raça Blanca Serrana Andaluza. (Influence of animal gender and production system on the carcass characteristics of goats of the Blanca Serrana Andaluza breed.) (In Portuguese.) *Rev. Bras. Zootec.* 39:382–386.
- Diaz, M. T., S. Velasco, V. Cañeque, S. Lauzurica, F. R. de Huidobro, C. Pérez, J. González, and C. Manzanares. 2002. Use of concentrate or pasture for fattening lambs and its effect on carcass and meat quality. *Small Rumin. Res.* 43:257–268.
- Engle, T. E., and J. W. Spears. 2004. Effect of finishing system (feedlot or pasture), high-oil maize, and copper on conjugated linoleic acid and other fatty acids in muscle of finishing steers. *Anim. Sci.* 78:261–269.
- Esterhuizen, J., I. B. Groenewald, P. E. Strydom, and A. A. Hugo. 2008. The performance and meat quality of Bonsmara steers raised in a feedlot, on conventional pastures or on organic pastures. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 38:303–314.
- Fanchone, A., H. Archimede, R. Baumont, and M. Boval. 2010. Intake and digestibility of fresh grass fed to sheep indoors or at pasture at two herbage allowances. *Anim. Feed Sci. Technol.* 157:151–158.
- Fanchone, A., H. Archimede, R. Delagarde, and M. Boval. 2012. Comparison of intake and digestibility of fresh *Digitaria decumbens* grass fed to sheep indoors or at pasture at two different stages of regrowth. *Animal* 6:1108–1114.
- Fernandes, M. A. M., A. L. G. Monteiro, C. H. E. C. Poli, C. S. de Barros, R. de Almeida, and T. M. D. Ribeiro. 2010. Composição tecidual da carcaça e perfil de ácidos graxos da carne de cordeiros terminados a pasto ou em confinamento. (Tissue composition of carcass and meat fatty acids profile of lambs finished on pasture and feedlot systems.) (In Portuguese.) *Rev. Bras. Zootec.* 39:1600–1609.

- Gibb, M. J., C. A. Huckle, R. Nuthall, and A. J. Rook. 1999. The effect of physiological state (lactating or dry) and sward surface height on grazing behaviour and intake by dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 63:269–287.
- Gliessman, S. R. 2009. Animals in agroecosystems. In: *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*. 2nd ed. Taylor and Francis, New York, NY, p. 384.
- Gracia, A., and G. Zeballos. 2011. Preocupación por el bienestar animal y actitudes hacia los productos ganaderos más respetuosos con el bienestar animal: Caracterización y segmentación. (Animal welfare concern and attitudes towards more animal welfare friendly meat products: Characterization and segmentation.) ITEA 107:33–47.
- Kaufmann, L. D., A. Mürger, M. Rérat, P. Junghans, S. Görs, C. C. Metges, and F. Dohme-Meier. 2011. Energy expenditure of grazing cows and cows fed grass indoors as determined by the  $^{13}\text{C}$  bicarbonate dilution technique using an automatic blood sampling system. *J. Dairy Sci.* 94:1989–2000.
- Keane, M. G., and A. P. Moloney. 2010. Comparison of pasture and concentrate finishing of Holstein Friesian, Aberdeen Angus  $\times$  Holstein Friesian and Belgian Blue  $\times$  Holstein Friesian steers. *Ir. J. Agric. Food Res.* 49:11–26.
- Lage, I. N. K., P. V. R. Paulino, C. V. Pires, S. D. J. Villela, M. D. Duarte, S. D. Valadares, M. F. Paulino, B. A. Maia, L. H. P. Silva, and C. R. V. Teixeira. 2012. Intake, digestibility, performance, and carcass traits of beef cattle of different gender. *Trop. Anim. Health Prod.* 44:361–367.
- London, M. L., J. K. Bernard, M. A. Froetschel, J. K. Bertrand, and W. M. Graves. 2012. The relationship between weight, age, and average daily gain to show performance of Georgia 4-H and Future Farmers of America (FFA) commercial dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 95:986–996.
- McIntyre, B. L., G. D. Tudor, D. Read, W. Smart, T. J. Della Bosca, E. J. Speijers, and B. Orchard. 2009. Effects of growth path, sire type, calving time and sex on growth and carcass characteristics of beef cattle in the agricultural area of Western Australia. *Anim. Prod. Sci.* 49:504–514.
- Midlöhner, F. M., J. L. Morrow, J. W. Dailey, S. C. Wilson, M. L. Galyean, M. F. Miller, and J. J. McGlone. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 79:2327–2335.
- Murphy, T. A., S. C. Loerch, K. E. McClure, and M. B. Solomon. 1994. Effects of grain or pasture finishing systems on carcass composition and tissue accretion rates of lambs. *J. Anim. Sci.* 72:3138–3144.
- Napolitano, F., G. Caporale, A. Carlucci, and E. Monteleone. 2007. Effect of information about animal welfare and product nutritional properties on acceptability of meat from Podolian cattle. *Food Qual. Prefer.* 18:305–312.
- Owens, F. N., P. Dubeski, and C. F. Hanson. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *J. Anim. Sci.* 71:3138–3150.
- Penning, P. D., A. J. Parsons, R. J. Orr, A. Harvey, and R. A. Champion. 1995. Intake and behaviour responses by sheep, in different physiological states, when grazing monocultures of grass or white clover. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 45:63–78.
- Rustas, B.-O., P. Nørgaard, A. R. Jalali, and E. Nadeau. 2010. Effects of physical form and stage of maturity at harvest of whole-crop barley silage on intake, chewing activity, diet selection and faecal particle size of dairy steers. *Animal* 4:67–75.
- Sauvant, D., P. Schmidely, J. J. Daudin, and N. R. St-Pierre. 2008. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. *Animal* 2:1203–1214.
- Sawyer, J. E., C. P. Mathis, and B. Davis. 2004. Effects of feeding strategy and age on live animal performance, carcass characteristics, and economics of short-term feeding programs for culled beef cows. *J. Anim. Sci.* 82:3646–3653.
- Scerra, V., P. Caparra, F. Foti, M. Lanza, and A. Priolo. 2001. Citrus pulp and wheat straw silage as an ingredient in lamb diets: Effects on growth and carcass and meat quality. *Small Rumin. Res.* 40:51–56.
- Whipple, G., M. Koohmaraie, M. E. Dikeman, J. D. Crouse, M. C. Hunt, and R. D. Klemm. 1990. Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *J. Anim. Sci.* 68:2716–2728.
- Zervas, G., I. Hadjigeorgiou, G. Zabeli, K. Koutsotolis, and C. Tziola. 1999. Comparison of a grazing- with an indoor-system of lamb fattening in Greece. *Livest. Prod. Sci.* 61:245–251.
- Zervas, G., and E. Tsiplakou. 2011. The effect of feeding systems on the characteristics of products from small ruminants. *Small Rumin. Res.* 101:140–149.

## **CHAPITRE 4 : ETUDE METHODOLOGIQUE**

## **Comparaison des méthodes azote fécal et SPIR pour prédire l'alimentation des taurillons au pâturage et cohérence avec les performances animales**

### **4.1. Introduction**

La mesure de l'ingestion et de la digestibilité au pâturage pose des difficultés méthodologiques, car si à l'auge il est facile de déterminer la digestibilité grâce à l'ingestion et l'excrétion, au pâturage, il est laborieux d'utiliser la méthode de référence compte tenu des difficultés à quantifier les flux proposés et refusé. Cette contrainte méthodologique explique en grande partie le peu d'études sur la comparaison entre l'alimentation à l'auge et au pâturage.

Différentes méthodes ont été proposées pour étudier l'ingestion et la digestibilité. Parmi ces méthodes, l'on retrouve celles basées sur l'excrétion fécale, telles que la spectroscopie dans le proche infra rouge (SPIR) et l'azote fécal.

Les études méthodologiques précédentes ont validé leur méthode d'estimation uniquement en cage métabolique et chez des animaux recevant la même ration. Peu d'études ont abordé la validation de ces méthodes au pâturage, alors qu'il existe des différences d'alimentation entre l'auge et le pâturage.

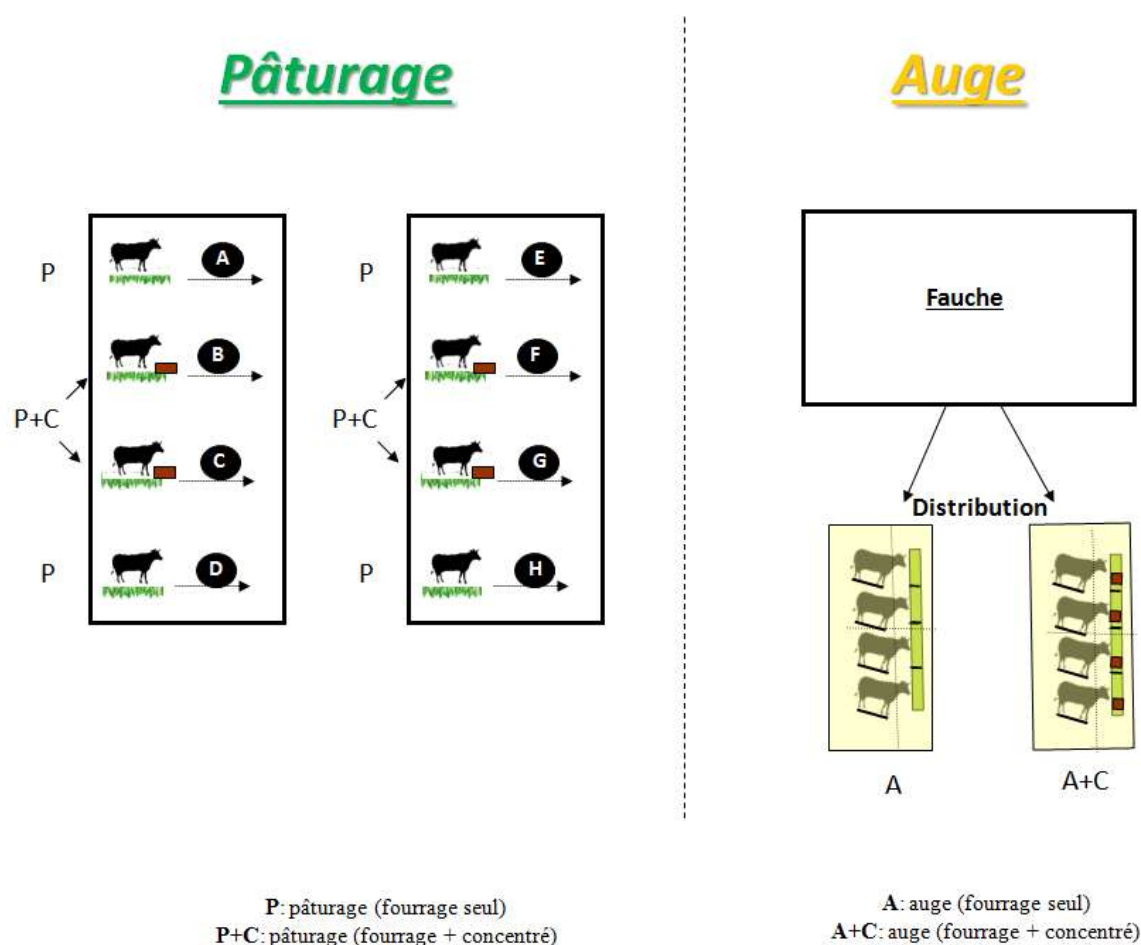
L'objectif de cette étude méthodologique est donc de comparer les méthodes SPIR et azote fécal pour l'estimation de la matière organique ingérée (MOI), la digestibilité de la matière organique (dMO) et la matière organique digestible ingérée (MODI) à partir d'un dispositif analytique mené simultanément à l'auge et au pâturage avec des animaux complémentés ou non. La validation de la méthode choisie se fera par comparaison des estimations avec les données mesurées *in vivo* à l'auge, mais également au pâturage grâce à la relation entre la MODI et le GMQ.

### **4.2. Matériels et Méthodes**

#### ***Dispositif analytique***

Un carré latin 4x4 a été mis en place afin d'évaluer les effets du mode de conduite (auge vs pâturage) et de la stratégie de complémentation (fourrage seul vs fourrage avec concentré). Ce dispositif a été répété sur deux séries d'animaux indépendants. Lors de chaque essai, seize

taurillons Créoles ont été répartis en 4 groupes, et ont été suivis lors de 4 périodes expérimentales au cours desquelles ils ont reçu les traitements expérimentaux suivants (Figure 4). Chaque groupe consistait en 4 taurillons nourris avec le même fourrage. Durant chaque période d'expérimentation, lorsque 2 groupes étaient maintenus à l'auge, les 2 autres groupes étaient au pâturage. A l'auge, un groupe ne recevait que du fourrage, tandis que l'autre groupe recevait du concentré en plus du fourrage. Cette stratégie de complémentation était également appliquée au pâturage. A l'issue de chaque période, les animaux ont été réalloués individuellement à un nouveau traitement.



**Figure 4.** Dispositif analytique

**A l'auge (n = 8)**, les animaux étaient répartis en deux groupes de quatre cages individuelles et recevaient le même fourrage vert fauché, du Pangola (*Digitaria decumbens*) de 35 jours d'âge de repousse. Tandis qu'un groupe ne recevait que ce fourrage comme aliment, l'autre groupe était supplémenté avec du concentré (40% de leur ingestion volontaire estimée). **Au pâturage**

( $n = 8$ ), les taurillons pâturaient deux parcelles distinctes de Pangola (*Digitaria decumbens*). Chaque parcelle était divisée en quatre sous parcelles, pâturées par quatre taurillons au piquet. Sur chaque parcelle, deux taurillons n'étaient nourris qu'avec l'herbe pâturée, tandis que les deux autres recevaient du concentré en plus de l'herbe pâturée (40% de leur ingestion volontaire estimée). Chaque taurillon disposait chaque jour d'une surface prédéfinie à pâturer, déterminée par la longueur de chaîne du piquet.

### Mesures réalisées

Chaque période expérimentale a duré trois semaines, incluant deux semaines d'adaptation au mode de conduite et au régime, et une semaine de mesures. Au cours de chaque période, différentes mesures ont été réalisées simultanément à l'auge et au pâturage (Figure 5): les caractéristiques des aliments, le comportement alimentaire, l'ingestion et de la digestion, la consommation d'eau, et la croissance.

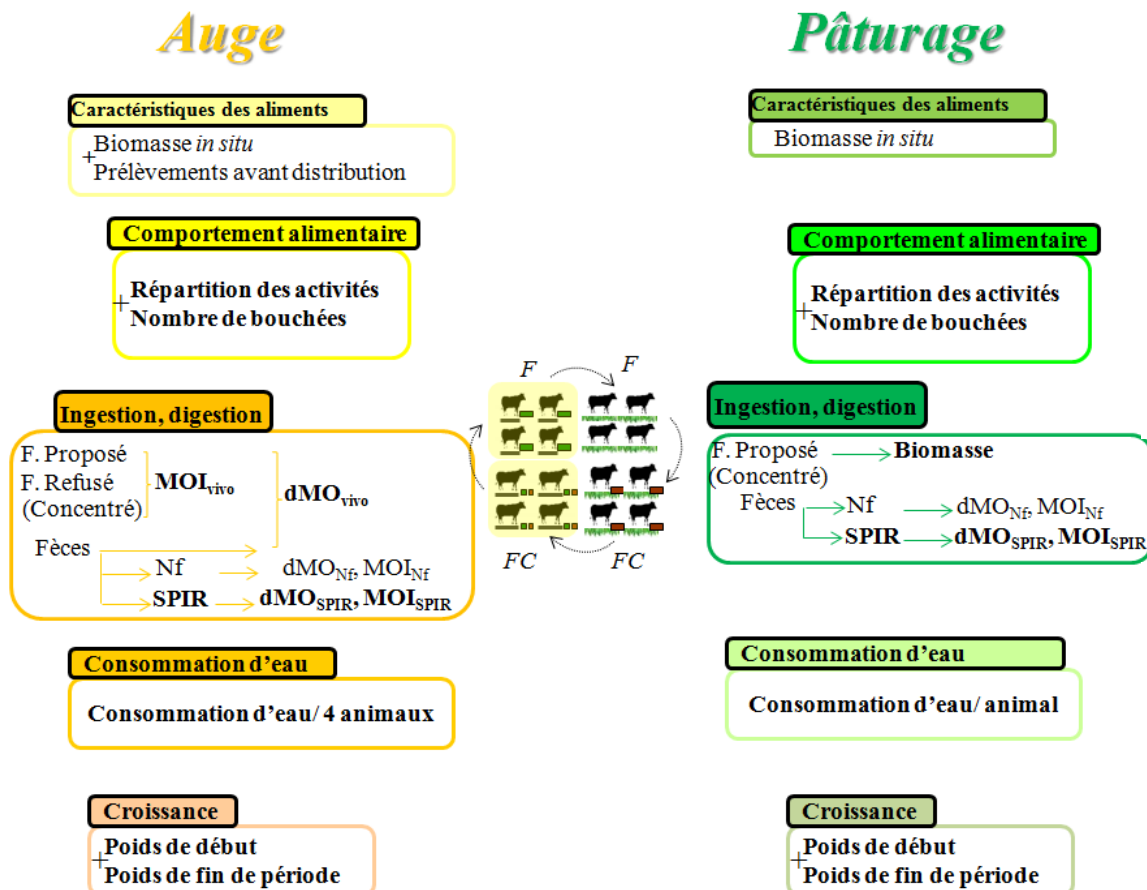
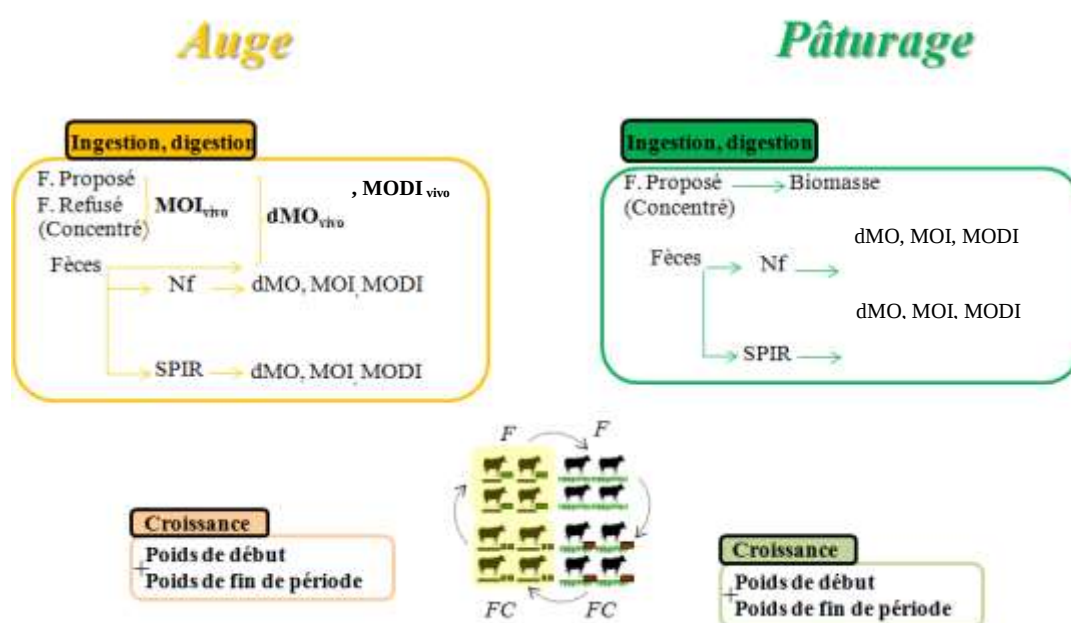


Figure 5. Récapitulatif des mesures du dispositif analytique

Pour l'étude de l'ingestion et de la digestion, des données spécifiques ont été récoltées durant les périodes de mesure (Figure 6).

A l'auge, les quantités et les matières sèches du fourrage offert et refusé étaient soigneusement enregistrées. A l'issue de chaque semaine de mesure, un échantillon représentatif des fèces excrétées par chaque animal était obtenu en poolant 5% des fèces excrétées chaque jour. Au pâturage, l'excrétion fécale était mesurée par la récolte manuelle des fèces de chaque animal, trois fois par jour. Les taurillons ont été pesés au début de chaque essai, puis à la fin de chaque période expérimentale. La croissance individuelle lors de chaque période expérimentale a ainsi pu être calculée. L'ensemble des échantillons récoltés (fourrage offert et refusé, fèces), ont été analysés de façon similaire à l'auge et au pâturage : par des analyses de composition chimique classiques et par la méthode de spectroscopie dans le proche infra rouge (SPIR).



**Figure 6.** Récapitulatif des données récoltées pour l'étude méthodologique

### ***Différentes estimations de la dMO, MOI et MODI à partir de l'azote fécal et de la SPIR***

Au total, deux estimations de la dMO, trois estimations de la MOI et trois estimations de la MODI ont été obtenues (**Tableau 1**).

**Tableau 1.** Calcul des différentes estimations de la dMO, MOI et MODI à partir de l'azote fécal et de la SPIR

| Méthodes                                                     |                                                    |                                            |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Azote fécal                                                  | SPIR                                               |                                            |
|                                                              | Est. indirecte                                     | Est. directe                               |
| $dMO_{Nf} = 0.983 - 4.002 / Nf$<br><i>Boval et al., 1996</i> | -                                                  | $dMO_{SPIR}$<br><i>Boval et al., 2004</i>  |
| $MOI_{Nf} = (qMO_{fèces}) / (1 - dMO_{Nf})$                  | $MOI_{dMOSPIR} = (qMO_{fèces}) / (1 - dMO_{SPIR})$ | $MOI_{SPIR}$<br><i>Boval et al., 2004</i>  |
| $MODI_{Nf} = dMO_{Nf} * MOI_{Nf}$                            | $MODI_{dMOSPIR} = dMO_{SPIR} * MOI_{dMOSPIR}$      | $MODI_{SPIR}$<br><i>Boval et al., 2004</i> |

La première méthode employée est basée sur la teneur en azote des fèces (Nf), à partir de laquelle a été calculée la digestibilité de la MO ( $dMO_{Nf}$ ) suivant une formule établie par Boval et al. (1996). Cette digestibilité a été utilisée, avec la quantité totale de fèces excrétée ( $qMO_{fèces}$ ), afin de calculer la quantité totale de MO ingérée ( $MOI_{Nf}$ ) et de MO digestible ingérée ( $MODI_{Nf}$ ). Les autres méthodes sont basées sur l'utilisation du SPIR. Dans un premier temps, la digestibilité de la MO a été prédite par le SPIR ( $dMO_{SPIR}$ ). Comme pour la première méthode, cette digestibilité a été utilisée pour calculer la quantité totale de MO ingérée ( $MOI_{dMOSPIR}$ ) et de MO digestible ingérée ( $MODI_{dMOSPIR}$ ). Une troisième estimation de ces quantités a été obtenue directement à partir de la SPIR (quantité totale  $MOI_{SPIR}$  et  $MODI_{SPIR}$ ).

#### ***Validation des méthodes à l'auge et au pâturage***

Les MOI, dMO et MODI mesurées *in vivo* ont été déterminées par pesée des quantités ingérées, refusées et excrétées. Pour la validation à l'auge, toutes les estimations obtenues ont été comparées aux valeurs mesurées *in vivo*. Pour la validation au pâturage, nous avons évalué les relations entre les MODI estimées et le GMQ mesuré.

### **4.3. Résultats - Conclusion**

La meilleure estimation de la dMO a été obtenue à partir de la SPIR, avec considération de la présence ou non de concentré dans la ration ( $RSD = 0.030$ ,  $R^2 = 0.61$ ). Les meilleures prédictions de MOI et de MODI étaient celles estimées à partir de la dMO prédite directement

par la SPIR. La présence ou non de concentré n'a influencé aucun paramètre des différentes équations testées.

Après comparaison des différentes estimations de MODI avec les GMQ mesurés *in vivo* à l'auge (GMQ<sub>auge</sub>) et au pâturage (GMQ<sub>pâturage</sub>), la MODI estimée à partir de l'azote fécal a permis une évaluation précise du GMQ<sub>auge</sub> (RSD = 0.739,  $R^2 = 0.68$ ), tandis que la MODI estimée à partir de la dMO directement prédite par la SPIR a permis une évaluation précise du GMQ<sub>pâturage</sub> (RSD=0.900,  $R^2=0.53$ ). L'estimation la plus fiable de dMO a été donnée par la SPIR et les meilleures estimations de MOI et MODI ont été obtenues à partir de cette dMO.

**Comparison of methods to assess the diet ingested by grazing cattle (digestibility, intake and digestible intake): consistency with animal performance**

A. Agastin\*, M. Naves\*, T. Silou\*, M. Boval\*

\*INRA, UR143, Unité de Recherches Zootechniques, Domaine Duclos, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, French West Indies

**ABSTRACT**

Accurate methods of determining organic matter digestibility (OMD) and intake (OMI) are essential for evaluating nutrition of grazing livestock. Therefore, the objective of this study was to compare two methods of prediction of the OMD, OMI and DOMI (fecal CP content [fCP] and near infrared spectroscopy [NIRS]) for steers fed with or without supplementation with concentrate. Firstly, the estimates were validated in stalls, by comparing the estimated parameters to the *in vivo* measures and secondly, at pasture, by considering the relationship between average daily gains (ADG) and the various estimates of DOMI. The best prediction of OMD was obtained from the NIRS method with the consideration of the concentrate (RSD = 0.030,  $R^2 = 0.61$ ). The best predictions of OMI and DOMI were obtained from the OMD directly predicted by the NIRS method. The consideration of the concentrate had no significant effect on any of the parameters of the regressions. When comparing the various estimated values of DOMI to the *in vivo* ADG measured in stalls and at pasture, the fCP method has been the most accurate method to assess the  $ADG_{\text{stalls}}$  (RSD = 0.739,  $R^2 = 0.68$ ), whereas the DOMI estimated from the OMD directly predicted from the NIRS method was more accurate to predict  $ADG_{\text{pasture}}$  (RSD=0.900,  $R^2=0.53$ ). Fecal NIRS provided the most reliable estimates of

OMD, and by using the biological relationship between OMD and fecal output, provided the best prediction of OMI and DOMI. However, for practical aspects, due to the difficulty to recover the feces at pasture, direct predictions from NIRS give good estimates of these three parameters. Moreover, direct estimation of DOMI from NIRS appears more accurate to predict the ADG achieve both in pasture and in stalls.

**Key words:** ingestion, digestibility, concentrate, NIRS, fecal crude protein

## **INTRODUCTION**

Digestibility and intake of organic matter (OM) and thus digestible OM intake (OMD, OMI and DOMI, respectively) are the main factors that influence animal performance. They should be carefully measured to improve animal production in different contexts and especially in tropical countries, where the requirements of the animals and the inputs of energy and nitrogen they can obtain from various tropical nutritive resources are not well known.

In metabolism cages, these parameters are easily determined thanks to feasible measurements of ingestion and excretion. Starting from a grazed area, it is laborious to quantify the proposed herbage flow and refused (Coleman 2006). This constraint in measuring these parameters at pasture, contributes to explain the lack of feeding studies really carried out in grazing environments. Two main methods of indirect prediction are based on fecal profiling and especially based on fecal crude protein content (fCP) or Near Infra Red Spectroscopy (NIRS) of feces samples. Both methods gave consistent estimates of digestibility, and less satisfying or steady results for ingestion (Decruyenaere et al. 2009; Dixon & Coates 2010; Boval & Dixon 2012).

The different methods have been more often evaluated in metabolism cages, and little validation was proposed at pasture, while it is essential, since differences exist between these two feeding environments (Fanchone et al. 2010; Fanchone et al. 2012; Agastin et al. 2013). It is also necessary to evaluate the potential of these methods of estimation with diets differing in the complementation strategy, which is a major way to increase performance in all feeding environments.

The objective of this study was to compare methods of prediction of the OMD, OMI and DOMI, starting from an experimental data set constituted simultaneously in stalls and at pasture, with or without supplementation of a concentrate.

The methods used were based on fecal indices, being either the fecal CP content, or fecal NIRS predictions. The estimates were firstly validated in stalls, by comparing the estimated parameters to the *in vivo* measures, and secondly at pasture, by considering the relationship between average daily gains (ADG) and the various estimates of DOMI.

## MATERIAL AND METHODS

Care and use of animals were performed according to the Certificate of Authorization to Experiment on Living Animals issued by the French Ministry of Agriculture, Fishing and feeding.

### ***Data set used to evaluate the prediction***

Two experimental data sets were constituted from two independent trials both performed simultaneously in stalls (**DSS**) and at pasture (**DSP**). They were carried out at the animal experimental station of the National Institute of Agronomic Research (INRA) in Guadeloupe (French West Indies) (16°16'N, 61°30'W). These trials were designed to evaluate the effects of

two different feeding systems (stalls and pasture) and two feeding strategies (grass only and grass with concentrate) on feeding behavior, feed utilization, and growth performances. In each trial, sixteen Creole steers were randomly allocated into four groups, and followed during 4 experimental periods, according to a 4 x 4 Latin Square design. Each group consisted of four steers fed with a 35-day regrowth grass, either in stalls or at pasture, with or without concentrate. At the end of each experimental period, the steers were separately re-allocated to a new group. Each experimental period lasted 21 days and consisted of 14 days of adaptation to the feeding environment and to the diet and 7 days of measurements. Two supplemental experimental periods were performed at pasture, with 8 steers each, in order to complement the data in this feeding environment. The animals were weighted at the beginning of each trial, and at the end of each experimental period, and average daily gain (ADG) calculated for each animal and period.

In stalls (DSS), eight steers were housed in two groups of 4 individual metabolism cages. One group was only fed with a 35-d regrowth fresh cut grass (predominantly Pangola, *Digitaria decumbens*), whereas the second one was fed with the same grass and supplemented with a commercial concentrate. Metabolic cages were designed with shelter, in order to protect animals and feed from rain. An individual feeding trough was situated on the front side of each pen. A tub fixed under each cage allowed feces total collection. The concrete area below the cages and the bedded lying areas were cleaned every day. The animals were fed twice a day, at 08:00 a.m. and 1:00 p.m. The quantity of grass supplied was adjusted each day to allow 20 % of refusal. The concentrate parts of the diets were gradually increased over a 14-day adaptation period in order to provide a grass/concentrate ratio of 60/40 (DM basis). The pelleted concentrate used in this study included maize (46%), soybean meal (26%), wheat middling

(26%) and premix additives (2%). The animals were fed with the concentrate, before the grass was offered.

The fresh weight of forage offered and refusal were measured daily and subsamples of approximately 300 g fresh weight were collected; intake was calculated by difference. A unique sample of forage offered for all steers and individual refusal samples were kept daily, before further processing and analysis. The total fecal output (FO) was collected each day at 07.30 h, weighed, and a representative sample was obtained by pooling 5% of the daily amount of feces excreted per animal and per week. This representative sample was homogenised and a subsample of 300g per steer were taken, for DM content measurement, chemical composition analysis and NIRS analysis.

At pasture (DSP), height steers were allowed to graze on two different plots. Each plot was divided in four subplots, grazed by four steers, which were tethered by a neck chain. In each plot, two animals were only fed with grazed forage, while the other two steers were supplemented with concentrate. Within subplot, each steer had a defined circular area of pasture to graze each day, determined by the length of the tether chain. The lengths of the chain were adjusted in order to assign a surface of 52.8 m<sup>2</sup> and 38.5 m<sup>2</sup>, for non supplemented and supplemented steers respectively. Animals were moved to a fresh grazing area after sunrise each day. Concentrate was distributed in an individual trough twice a day, at the same hour than in the stalls treatment (at 08:00 a.m. and 1:00 p.m.). Fecal output (FO) was measured by manually collecting feces of each steer on the individual circular area, three times a day (08:00; 12:00 and 16:00), from day 15 to day 19 of each period. For each steer at pasture, the entire amount of feces collected daily was weighted and homogenised, and a representative sample was obtained by pooling 5% of the daily amount of feces excreted per animal and per week, and processed as described previously for feces samples collected in stalls.

### ***Samples analysis***

The DM content was determined by drying 72 hours in a forced ventilation chamber at 60°C. The subsamples were ground in order to be analyzed using standard chemical composition laboratory procedures. OM was determined by ashing at 550°C for 8h and nitrogen (N) was determined by Kjeldahl technique. Fecal CP content (fCP) was calculated by multiplying the N concentration by 6.25.

Considering the NIRS method, approximately 2.5 g of each ground fecal sample was packed in a ring-cup sample cell with a near-infrared-transparent quartz cover glass (Foss, 2000). Cells were scanned using a scanning reflectance monochromator (NIRSystem 6500 Inc., Silver Springs, MD). The data were collected as  $\log (1/R)$ , where R is reflectance, and it was determined from 400 to 2.500 nm at 2-nm intervals. Mathematical treatment of the spectral data was performed using ISI-Software (Intrasoft International). Initial calibration equation was chosen on the basis of a small standard error of calibration (SEC) and standard error of cross-validation (SECV), a large coefficient of multiple determinations ( $R^2$ ) and  $R^2$  of cross-validation. The NIRS method estimated the OMD, OMI and DOMI of the diet, using a calibration developed from the spectra of Creole cattle, fed alternatively with *Digitaria decumbens* and *Dichanthium* spp. (n= 84) as described by Boval et al. (2004). The CP content, the OMD and OMI of the calibration dataset varied respectively from 7.7 to 14 % OM, 0.57 to 0.70 and 16.6 to 29.4 g OM /kg LW. These estimates were performed similarly in stalls and at pasture, on individual fecal samples collected in both feeding environment.

### ***Estimates of OMD, OMI and DOMI, based on the fecal CP content or fecal NIRS***

Two estimates of OMD were obtained. The first one ( $OMD_{fCP}$ ) was achieved by using the equation of Boval et al (Boval et al. 1996), based on the fecal CP content of samples of cattle fed with *Dichanthium* spp.

$$\text{OMD}_{\text{fCP}} = 0.983 - 4.002/\text{CPf} \text{ (RSD=2.30, } R^2=0.84, n=38,$$

with fCP varying from 9.05 to 14.14% OM and OMD varying from 0.53 to 0.74. A second estimate ( $\text{OMD}_{\text{NIRS}}$ ) was obtained from NIRS calibration published by Boval et al ((Boval et al. 2004), table 1).

Three estimates of OMI were done. The first one ( $\text{OMI}_{\text{OMDfCP}}$ ) has been done starting from the biological relationship:  $\text{FO} / (1 - \text{OMD})$ , FO being measured in stalls and OMD being  $\text{OMD}_{\text{fCP}}$ . The second estimates ( $\text{OMI}_{\text{OMDNIRS}}$ ), was calculated also from FO measured in stalls and  $\text{OMD}_{\text{NIRS}}$ . The third estimate ( $\text{OMI}_{\text{NIRS}}$ ) was calculated directly from fecal NIRS calibration (as  $\text{OMD}_{\text{NIRS}}$ ), by using the calibration published by Boval et al (2004, table 1).

Three estimates of DOMI were also achieved. The first estimate ( $\text{DOMI}_{\text{fCP}}$ ) was the product of  $\text{OMD}_{\text{fCP}}$  and  $\text{OMI}_{\text{OMDfCP}}$ . The second estimate ( $\text{DOMI}_{\text{OMDNIRS}}$ ) was similarly the product of  $\text{OMD}_{\text{NIRS}}$  and  $\text{OMI}_{\text{OMDNIRS}}$ . The third estimate ( $\text{DOMI}_{\text{NIRS}}$ ) was derived directly from a calibration based on the spectra data set, reported by Boval et al (2004, table 1).

### ***Validation in stalls and at pasture***

Predictive regressions of *in vivo* OMD, OMI and DOMI measured in stalls ( $\text{OMD}_{\text{stalls}}$ ,  $\text{OMI}_{\text{stalls}}$ ,  $\text{DOMI}_{\text{stalls}}$ ) were calculated from the different estimates of OMD, OMI and DOMI, by using the regression procedure of MINITAB 16 software (Minitab® 16.1.0, 2013). The addition of concentrate or not (Con) were also considered for its influence on the slope and the intercept in the prediction of  $\text{OMD}_{\text{stalls}}$ ,  $\text{OMI}_{\text{stalls}}$  and  $\text{DOMI}_{\text{stalls}}$

To evaluate the consistency with ADG, predictive regressions of ADG measured in stalls ( $\text{ADG}_{\text{stalls}}$ ), and at pasture ( $\text{ADG}_{\text{pasture}}$ ), were calculated starting from the three estimates of DOMI. The ADG estimated by these various equations and the measured ADG were also compared.

## RESULTS

### *Average values measured in DSstalls and DSpasture*

OMD<sub>stalls</sub> has varied over 20 points of digestibility and this range is quite close to those of Boval et al (1996) and larger than those of Boval et al (2004).

OMI<sub>stalls</sub> has also varied in a large range, particularly with lower values than the minimum values reported both by Boval et al (1996) and Boval et al (2004).

The DOMI<sub>stalls</sub> values measured were well linked to ADG<sub>stalls</sub>. When considering individual values, the slope is of 0.315 with a RSD of 0.912 :

$$\text{ADG}_{\text{stalls}} = -3.157 + 0.315 \text{ DOMI}_{\text{stalls}}, \text{ RSD}=0.912, \text{ R}^2=0.513.$$

The CP content of feces varied in similar ranges in stalls and at pasture (CP<sub>stalls</sub> and CP<sub>pasture</sub>, Table 2). This CP content was higher than the range of variation of Boval et al (1996, 2004). The fecal output was greater in stalls, by 6.6 g OM/kg LW/d, compared to 4.8 g OM/kg LW. In return, the ADG was on average higher at pasture than in stalls, with a similar variability in both conditions (**Table 2, Figure 1**).

### *Estimates of OMD, OMI and DOMI, based on fecal CP or fecal NIRS and comparison with the measurements in stalls*

The two predictions of OMD were close to OMD<sub>stalls</sub> measured, with a residual standard deviation about 3 points of digestibility. The concentrate addition affected neither the slope nor the intercept of the regression. Overall, the NIRS method with the consideration of the concentrate addition gave the more accurate estimation of OMD (RSD=0.030, R<sup>2</sup>=0.61, **Table 3, Figure 2**).

The prediction of OMI by using  $OMD_{NIRS}$  ( $OMI_{OMDNIRS}$ ) has been more accurate considering the RSD by 2.436, compared to 2.860 obtained from  $OMI_{fCP}$  and to 2.695 from  $OMI_{NIRS}$  (**Table 3, Figure 3**). The consideration of the concentrate had no significant effect on the parameters of the regression on either equation. (**Table 3**).

As for OMI, prediction of DOMI by using  $OMD_{NIRS}$  ( $DOMI_{OMDNIRS}$ ) was the most accurate with a RSD of 1.742 compared to values by 2.215 and 1.957 obtained by using " $DOMI_{fCP}$ " or " $DOMI_{NIRS}$ " obtained directly from NIRS calibration. As for OMI also, the consideration of the concentrate had no significant effect on the parameters of the regression on either equation. (**Table 3, Figure 4**).

#### ***Relationships between "DOMI" estimates and the ADG measured, in stalls and at pasture***

Contrary to previous estimates of OMI and DOMI by the three various ways, the prediction starting from CP content of the feces samples has been the most accurate method to assess the  $ADG_{stalls}$ , with a RSD of 0.739 and a  $R^2$  of 0.68. (**Table 4, Figure 5**). However, at pasture the prediction of  $ADG_{pasture}$  by  $DOMI_{OMDNIRS}$  appears more accurate, with RSD of 1.059 and a  $R^2$  of 0.33, closeto the prediction of  $ADG_{stalls}$  (RSD=0.900,  $R^2$ =0.53). At pasture, the RSD has also represented a larger share of the average ADG (1.53 g / kg body weight), about 70 %, compared to the stall, where the RSD represented approximately 82 % of the average (1.09 g / kg LW). Moreover, the different relations studied revealed no significant effect of the addition of concentrate on the regression parameters.

## DISCUSSION

Methods to measure the diet *in situ* conditions are essential to find appropriate solutions to better manage various resources, particularly natural areas to be grazed, in order to find alternative solutions to improve animal feeding and growing performances, in various ways.

While essential, it is still not obvious to measure the diet of animals outside, and despite of some progress since the last decade (Boval & Dixon 2012; Decruyenaere et al. 2012), progress is still necessary to ascertain how it is possible to measure effectively feeding of grazing animals.

This paper intends to illustrate that estimates of the diet characteristics using fecal indices, (nitrogen content or NIR spectra) may be consistent with growing performances measured outside. Nutrient inputs are indeed the main determinant of growing performances, which are the main possible direct measurement outside and whatever the context. But the "ADG" do not really inform on the average diet consumed. Although it is possible to extrapolate, in rather homogeneous situations for example, the information is available after too much time to allow the farmer to adjust the diet given, if it was necessary. In return the possible evaluation of the diet, may allow anticipating the growing performance and can be regarded as a way to help short-term management of pasture, more efficient, being more compatible with the regrowth time of forage (Boval and Dixon, 2012). However, the constituents of the real diet ingested by the animal at pasture are difficult to assess precisely, due to the variability of the forage stand and the pasture composition, and of the behavior of the animals regards to this composition, and needs indirect evaluation methods.

### ***Fecal nitrogen and fecal excretion to assess the diet of ruminants***

The estimate of OMD in stalls based on fecal CP presents a RSD about 3 which is close to other published estimates in temperate or tropical conditions (Fanchone et al, 2009; Decruyeneare et al, 2012) and lower than the RSD obtained from forages (ranging from 2.4-5, (Gosselink et al. 2004)). This method is well known indeed to predict OMD, with good accuracy, assuming to describe the biological relationships between OMD and fCP. However, we observed an underestimation for values of digestibility below 0.65, and an overestimation above 0.70 (**Figure 2**). Overestimation by using fCP has been already reported in other studies, particularly with linear models of prediction (Fanchone et al, 2009). It is less the case with hyperbolic models, as we used (Boval et al, 1996), as this kind of model contributes to better explain the biological relationship, and to limit the overestimation observed for high values of fCP (Wehausen 1995); Lukas et al, 2005; (DAVID et al. 2013). But as reported by Lukas et al (2005), models based on fecal nitrogen may be very specific and related to one type of pasture. The equation of Boval et al (1996) was indeed established with *Dichanthium spp*, while data from the DSS and DSP come from measurements made with *Digitaria decumbens*. This difference of grass may explain the variation of estimates by using fCP which could be managed by adding fNDF or fADF in the equation (Lukas et al, 2005; David et al, 2013).

Estimates of the OMI and DOMI combining OMDfCP with FO, allows for an estimate with an accuracy which is 14 and 16 % respectively, compared to average values. This is quite satisfactory given the high variability of consumption among individuals, as reported by Andueza et al (2007) with a CV of about 10%, below which it is difficult to do better. The main problem is to estimate accurately FO at pasture (White et al. 2010; Decruyenaere et al. 2012). Many assays have been done to use fecal bags, but comfort problems and friction may occur,

particularly in cattle, and limit the accuracy of fecal output estimates. Otherwise many indirect methods have been tested, among them the most famous is based on the use of  $\text{CR}_2\text{O}_3$  (Macon et al. 2003). Like in the current study for grazing cattle tethered at pasture, Boval et al (Boval et al. 2002; Boval et al. 2007) has been able to measure daily amounts of feces excreted on individual grazing areas, by manually collecting the feces on the ground. The high DM content, up to 18% and the small amount of feces lost, unrecoverable on the ground (<2% of DM, Boval et al, 1996b) contributed to reliable measurements, requiring an average of 15 min / day / animal. For sheep and goats grazing, fecal bags were glued directly, allowing satisfactory estimates of fecal excretion over several days (d'Alexis et al. 2010; Fanchone et al. 2010).

The estimates of ADG, provided by fecal CP combined with FO, are quite well linked to ADG measured in stalls (Figure 5). But it's not at all the case at pasture. This is surely due to the differences in the range of variation of FO at pasture, not well considered in the relationship between DOMI and ADG, established in stalls.

### ***Fecal NIRS to assess the diet of ruminants***

Estimates of OMD by using fecal NIRS are quite close to *in vivo* values, even better than from fecal CP since we observe less of under, or overestimations (figure 2b) and the RSD is a bit lower. That has been shown already by Fanchone et al. (2009) and Decruyenaere et al. (2012) comparing both methods.

The prediction of OMI and DOMI by combining  $\text{OMD}_{\text{NIRS}}$  and FO always provided lower RSD than the method based on fCP and FO, and even the best accuracy of the three predictions tested, about 12 % of the average *in vivo* measures in stalls. In fact, the spectra of feces provides the information concerning fecal nitrogen, while integrating in addition further information, via the 700 absorbances of light, in wavelengths ranging between 1000 and 2500

nm (Fanchone et al, 2009). All these absorbances represent each one a potential indicator of diet characteristics allowing a better accuracy. The prediction of OMI and DOMI, in that way, requires therefore the same steps than previously discussed above, for  $OMD_{fCP}$ , particularly the measurement of FO. However the plus, compared to the use of fecal CP, is the time gained to avoid laboratory analyses. Prediction via the fecal nitrogen by the Dumas method requires the same time as the implementation of NIRS prediction (2-3 minutes/fecal sample). But through the processing of a single sample with NIR spectrophotometer, in addition to the fecal CP content, other fiber contents are obtained, (i.e., NDF, ADF, ADL) which requires more than a week determination in the laboratory. Now concerning the cost, that of a conventional nitrogen analysis via the method of Dumas, is 5 times higher than that of a NIRS determination (about 5 € vs. 1 € / sample). And if we consider that with one NIRS determination, it's possible to obtain, in addition to nitrogen, also the fiber contents (5 € / sample for each, being NDF, ADF and ADL), the financial gain of the NIRS determination is very clear, as well as the advantage of this method.

The direct prediction of OMI and DOMI by NIRS, allows an intermediate accuracy between the other two ways established on the calculation based on OMD and fecal output. But considering that the NIRS method does not precisely require fecal output determination, it may be quite profitable, and easy to handle. The accuracy with this direct prediction represents about 14 % of the *in vivo* measured values in stalls, compared to accuracy between 12 % and 16 % by using a prediction based respectively on  $OMD_{NIRS}$  or  $OMD_{fCP}$  (both combined with FO). Thus, this method appears still acceptable when considering the low investment in time and in financial cost, as developed above. In addition, there is a real gain for failing to measure FO grazing, especially for individual measurements per animal, which also require the identification of feces per animal.

Especially, if we look at the link between ADG and DOMI predicted directly by NIRS, then this method provides the more accurate estimates at pasture, closer to the accuracy of the estimates obtained in stalls. In fact, the direct prediction by NIRS, may consider in a better way the range of fecal output at pasture, as it is really different and wider than the range measured in stalls. The other ways of prediction do not consider as well in fact, this wide fecal output range (Figure 5 or 5bis).

### ***Considerations for the measurement of the diet and performances in grazing contexts***

Considering our approach, by testing different ways to assess the diet, including the digestibility, intake, the resulting nutrient input (DOMI) and until the approach of growing performance, we may conclude that direct prediction by the NIRS methodology from feces samples seems to offer the best compromise. This follows from the fact that this method allows the more accurate prediction of ADG at pasture and other consideration such as the least investment in time, in material and finance.

The combination of studies both in stalls and pasture are of fundamental interest for methodological advances, in addition to their major role in understanding the mechanisms of feeding in various contexts (Fanchone, 2010, 2012; Agastin et al, 2013). The trials run in parallel in trough and pastures, have allowed to test in stalls relations between measured and predicted values for a large number of easily measurable parameters in this feeding environment. Besides, measurement at pasture has made possible the validation in real situations where the equation will actually be used. Moreover, we tested the prediction method both with and without complementation in both environments, which has never been done

previously. In our study, the use of a complementation did not influence the prediction of the different parameters, thus allowing a wider range of application of the method.

The fact that fecal NIRS is the most appropriate to assess both the diet characteristics from OMD to DOMI, and in consistence with ADG, is particularly of great interest, since fecal spectra may inform also about other parameters in outside contexts; this concerns the nitrogen of the consumed herbage, the morphological composition of the diet and of the pasture (Coates and Dixon, 2010) for the biodiversity control. But also starting from the knowledge of DOMI, it's possible to assess the CH<sub>4</sub> emission (Archimède et al. 2011), or the water consumption (Khelil-Arfa et al. 2012), and the health status of animals via their appetite, in studies implying animal health (d'Alexis et al. 2012). Potential use of the method may also be the evaluation of the individual variability of ingestion and feeding efficiency of the animals, in pasture conditions. But the accuracies of the estimates still need to be improved, in order to obtain more precise individual predictors. Moreover, studies are needed to validate this method within this specific context and purpose.

Various potential ways for improvement exist, which suggests that we can further improve the predictions and in contexts increasingly diverse. Among these means, it is again necessary to test the representativeness of the fecal samples collected directly in paddocks, as realised by White et al (2010). It is also necessary to assess sample rectal collection, especially when it is possible to benefit of a park of containment, and therefore to compare to total collection, as we have done over 4 days.

Also another way is to increase the dataset used for calibration (Fanchone et al, 2009). Calibration form LDS increased indeed the precision of the models. It is also possible to use about local calibrations, by selecting the most appropriate samples in a large data sets, having nearest characteristics of fecal spectra's, that those of the contexts studied, in order to make a

specific calibration. This way needs nevertheless large data sets and collaboration between different teams working on fecal NIRS.

Another way of improvement is to use a non-linear model, particularly for ingestion determination, as reported by Decruyenaere et al (2012). Indeed by using the modified partial least squares (MPLS) procedure, a linear model, good estimates of OMD are generally obtained, but this model is less efficient for intake, probably because of a slightly non-linearity (Decruyenaere, et al. 2013). Thus the support vector machines (SVM) technique, a non-linear model, developed by these authors may improve the precision of OMD and DM voluntary intake.

At last the addition of others parameters to combine with fecal spectras, to better consider specificities of the grazing, and more generally the feeding context and animal individuality may help to increase the accuracy of predictions, beyond the live weight. Thus, parameters as the thoracic perimeters (Silva et al. 2013) or the incisive arcade, or grass characteristics, via forage spectra's, may be useful parameters to combine with fecal spectra's, to better approach the variability of the diet and of growing performances.

## **CONCLUSION**

There is a real potential for assessing feeding grazing animals, digestibility, nutrient inputs to the real, which makes it possible to anticipate growth performance, individually and by taking into account seasonal variations. In addition, there are many ways to test again to improve the assessment of nutrition in pasture conditions. This is of major importance in the current context in order to better ensure the demand for animal products from grazing and other natural land without further expansion of agricultural areas.

## REFERENCES

- Andueza, D., Picard, F., Pecatte, J.R., Gallard, Y., Hassoun, Ph., Viudes, G., Egal, D., Pradel, Ph., Trocquier, O., Thomas, D., Delaby, L., Agabriel, J., Baumont, R. (2007). Variability within and among laboratories of in vivo digestibility and voluntary intake of two hays evaluated in sheep. *Rencontre Recherche Ruminant* 14, 247. (in French).
- Agastin, A. Naves, M. Farant, A. Godard, X. Bocage, B. Alexandre, G. & Boval, M. (2013). Effects of feeding system and slaughter age on the growth and carcass characteristics of tropical-breed steers. *Journal of Animal Science* 91(8), 3997-4006.
- Archimède, H. Eugène, M. Marie Magdeleine, C. Boval, M. Martin, C. Morgavi, D. P. Lecomte, P. & Doreau, M. (2011). Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology* 166–167(0), 59-64.
- Boval, M. Peyraud, J. L. Xande, A. Aumont, G. Coppry, O. & Saminadin, G. (1996). Evaluation of faecal indicators to predict digestibility and voluntary intake of *Dichanthium* sp by cattle. *Annales de Zootechnie* 45(2), 121-134.
- Boval, M. Cruz, P. Ledet, J. E. Coppry, O. & Archimede, H. (2002). Effect of nitrogen on intake and digestibility of a tropical grass grazed by Creole heifers. *Journal of Agricultural Science* 138, 73-84.
- 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*. pp. 453-456. Merida Mexico.
- Boval, M., D. B. Coates, P. Lecomte, V. Decruyenaere and H. Archimede (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), 19-29.

Boval, M. Archimede, H. Cruz, P. & Duru, M. (2007). Intake and digestibility in heifers grazing a *Dichanthium* spp. dominated pasture, at 14 and 28 days of regrowth. *Animal Feed Science and Technology* 134(1/2), 18-31.

Boval, M. & Dixon, R. M. (2012). The importance of grasslands for animal production and other functions: a review on management and methodological progress in the tropics. *Animal* 6(5), 748-762.

Coleman, S. W. (2006). Challenges to assessing forage intake by grazing ruminants. In *Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, 13-18 August, 2006* pp. 14-06.

d'Alexis, S. Mahieu, M. Jackson, F. & Boval, M. (2010). Effects of mixed grazing on nutrition and growth of grazing goats infected by gastrointestinal nematodes. In *ICG, 2010* p. submitted.

d'Alexis, S. Alexandre, G. Mahieu, M. Jackson, F. & Boval, M. (2012). Mixed grazing system with cattle to increase goat nutrition and performance at pasture In *Proc XI International Conference on Goats*. pp. N-64, 24. Gran Canaria, Spain, 23-27 September 2012, .

David, D. Poli, B. Savian, C. H. E. C. Amaral Azedo, J. V. Carvalho, G. A., E. B., P. C. F. & Mcmanus, C. M. (2013). Faecal index to estimate intake and digestibility in grazing sheep. *The Journal of Agricultural Science FirstView*, 1-8.

Decruyenaere, V. Lecomte, P. Demarquilly, C. Auffere, J. Dardenne, P. Stilmant, D. & Buldgen, A. (2009). Evaluation of green forage intake and digestibility in ruminants using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): Developing a global calibration. *Animal Feed Science and Technology* 148(2-4), 138-156.

Decruyenaere, V. Froidmont, E. Bartiaux-Thill, N. Buldgen, A. & Stilmant, D. (2012). Faecal near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) compared with other techniques for estimating

- the in vivo digestibility and dry matter intake of lactating grazing dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 173(3-4), 220-234.
- Dixon, R. M. & Coates, D. B. (2010). Diet quality estimated with faecal near infrared reflectance spectroscopy and responses to N supplementation by cattle grazing buffel grass pastures. *Animal Feed Science and Technology* 158(3-4), 115-125.
- Fanchone, A. Archimede, H. Baumont, R. & Boval, M. (2010). Intake and digestibility of fresh grass fed to sheep indoors or at pasture, at two herbage allowances. *Animal Feed Science and Technology* 157(3/4), 151-158.
- Fanchone, A. Archimede, H. Delagarde, R. & Boval, M. (2012). Comparison of intake and digestibility of fresh *Digitaria decumbens* grass fed to sheep, indoors or at pasture, at two different stages of regrowth. *Animal* 6(7), 1108-1114.
- Gosselink, J. M. J. Dulphy, J. P. Poncet, C. Jailler, M. Tamminga, S. & Cone, J. W. (2004). Prediction of forage digestibility in ruminants using in situ and in vitro techniques. *Animal Feed Science and Technology* 115(3-4), 227-246.
- Khelil-Arfa, H. Boudon, A. Maxin, G. & Faverdin, P. (2012). Prediction of water intake and excretion flows in Holstein dairy cows under thermoneutral conditions. *Animal* 6(10), 1662-1676.
- Macon, B. Sollenberger, L. E. Moore, J. E. Staples, C. R. Fike, J. H. & Portier, K. M. (2003). Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *Journal of Animal Science* 81(9), 2357-2366.
- Silva, M. C. Lopes, F. B. Vaz, C. M. S. Paulini, F. Montesinos, I. S. Fioravanti, M. C. S. McManus, C. & Sereno, J. R. B. (2013). Morphometric traits in Crioula Lanada ewes in Southern Brazil. *Small Ruminant Research* 110(1), 15-19.
- Wehausen, J. D. (1995). Fecal measures of diet quality in wild and domestic ruminants. *Journal of Wildlife Management* 59(4), 816-823.

White, I. A. Hunt, L. P. Poppi, D. P. & Petty, S. R. (2010). Sampling requirements for predicting cattle diet quality using faecal near-infrared reflectance spectroscopy (F.NIRS) in heterogeneous tropical rangeland pastures. *Rangeland Journal* 32(4), 435-441.

**Table 1.** Descriptive statistics of the fecal near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) equations to predict OM digestibility (OMD, %) and intake (OMI, g.kg LW<sup>0.75</sup>)

| Item                | n  | Mean | SD   | SEC  | R <sup>2</sup> | SEC-V | R <sup>2</sup> CV |
|---------------------|----|------|------|------|----------------|-------|-------------------|
| OMD <sub>NIRS</sub> | 87 | 0.64 | 0.04 | 0.02 | 0.72           | 0.02  | 0.69              |
| OMI <sub>NIRS</sub> | 87 | 76.2 | 6.40 | 4.62 | 0.61           | 5.29  | 0.52              |

**SD:** standard deviation; **SEC:** standard error of calibration; **R<sup>2</sup>:** coefficient of determination; **SEC-V:** standard error of cross validation; **R<sup>2</sup>CV:** coefficient of determination of cross validation

**Table 2.** Average values of OM digestibility (OMD, %), intake (OMI, g.kg LW<sup>-1</sup>), digestible OM intake (DOMI, g.kg LW<sup>-1</sup>), fecal crude protein (CP) content (fCP), fecal output and average daily gain (ADG) measured in stalls and at pasture

|                                                  | Mean  | SD    | Min-Max        |
|--------------------------------------------------|-------|-------|----------------|
| In stalls (n=62)                                 |       |       |                |
| OMD <sub>stalls</sub> (%)                        | 66.57 | 4.77  | 52.61 – 75.31  |
| OMI <sub>stalls</sub> (g.kg LW <sup>-1</sup> )   | 20.12 | 3.62  | 11.76 – 27.03  |
| DOMI <sub>stalls</sub> (g.kg LW <sup>-1</sup> )  | 13.50 | 2.95  | 7.07 – 19.40   |
| fecal CP <sub>stalls</sub> (%)                   | 14.93 | 2.04  | 11.57 – 18.19  |
| Fecal output (g OM.kg LW <sup>-1</sup> )         | 6.59  | 0.55  | 5.56 – 7.48    |
| ADG <sub>stalls</sub> (g. kg LW <sup>-1</sup> )  | 1.09  | 1.30  | -1.56 – 3.78   |
| ADG <sub>stalls</sub> (g.d <sup>-1</sup> )       | 230.9 | 277.2 | -385.5 – 744.3 |
| At pasture (n=80)                                |       |       |                |
| fecal CP <sub>pasture</sub> (%)                  | 14.57 | 2.02  | 11.37 – 18.00  |
| Fecal output (g OM.kg LW <sup>-1</sup> )         | 4.75  | 0.66  | 3.16 – 6.37    |
| ADG <sub>pasture</sub> (g. kg LW <sup>-1</sup> ) | 1.53  | 1.29  | -1.38 – 4.27   |
| ADG <sub>pasture</sub> (g.d <sup>-1</sup> )      | 351.0 | 289.8 | -331.0 – 862.5 |

**SD:** standard deviation; **OM:** organic matter; **LW:** live weight

**Table 3.** Predictive regression of OM digestibility (OMD, %), OM Intake (OMI g/kg LW) and Digestible OMI (DOMI, g/kg LW) measured in stalls, starting from fecal crude protein (CP) content (fCP) and near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) methods, for steers fed with concentrate (Con) or not.

| Equation                                                                           | RSD   | r <sup>2</sup> | <i>P value of</i><br>Concentrate effect |        |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------|-----------------------------------------|--------|
|                                                                                    |       |                | Intercept                               | slope  |
| <i>OMD</i>                                                                         |       |                |                                         |        |
| OMD <sub>Stalls</sub> = 0.004 <sub>NS</sub> + 0.938 OMD <sub>fCP</sub> ***         | 0.031 | 0.59           | 0.4192                                  | 0.5169 |
| OMD <sub>Stalls</sub> = - 0.132 <sub>NS</sub> + 1.20 OMD <sub>NIRS</sub> ***       | 0.030 | 0.61           | 0.7893                                  | 0.9223 |
| <i>OMI (g/kg PV)</i>                                                               |       |                |                                         |        |
| OMI <sub>Stalls</sub> = 0.663 <sub>NS</sub> + 0.848 OMI <sub>OMDfCP</sub> ***      | 2.860 | 0.39           | 0.2302                                  | 0.4232 |
| OMI <sub>Stalls</sub> = - 5.159 <sub>NS</sub> + 1.264 OMI <sub>OMDNIRS</sub> ***   | 2.436 | 0.56           | 0.1346                                  | 0.3755 |
| OMI <sub>Stalls</sub> = 0.560 <sub>NS</sub> + 0.957 OMI <sub>NIRS</sub> ***        | 2.695 | 0.46           | 0.1002                                  | 0.3014 |
| <i>DOMI (g/kg PV)</i>                                                              |       |                |                                         |        |
| DOMI <sub>Stalls</sub> = 0.462 <sub>NS</sub> + 0.798 DOMI <sub>fCP</sub> ***       | 2.215 | 0.45           | 0.1859                                  | 0.4368 |
| DOMI <sub>Stalls</sub> = - 4.575 <sub>**</sub> + 1.348 DOMI <sub>OMDNIRS</sub> *** | 1.742 | 0.66           | 0.0500                                  | 0.2073 |
| DOMI <sub>Stalls</sub> = - 1.051 <sub>NS</sub> + 1.071 DOMI <sub>NIRS</sub> ***    | 1.957 | 0.57           | 0.0873                                  | 0.2596 |

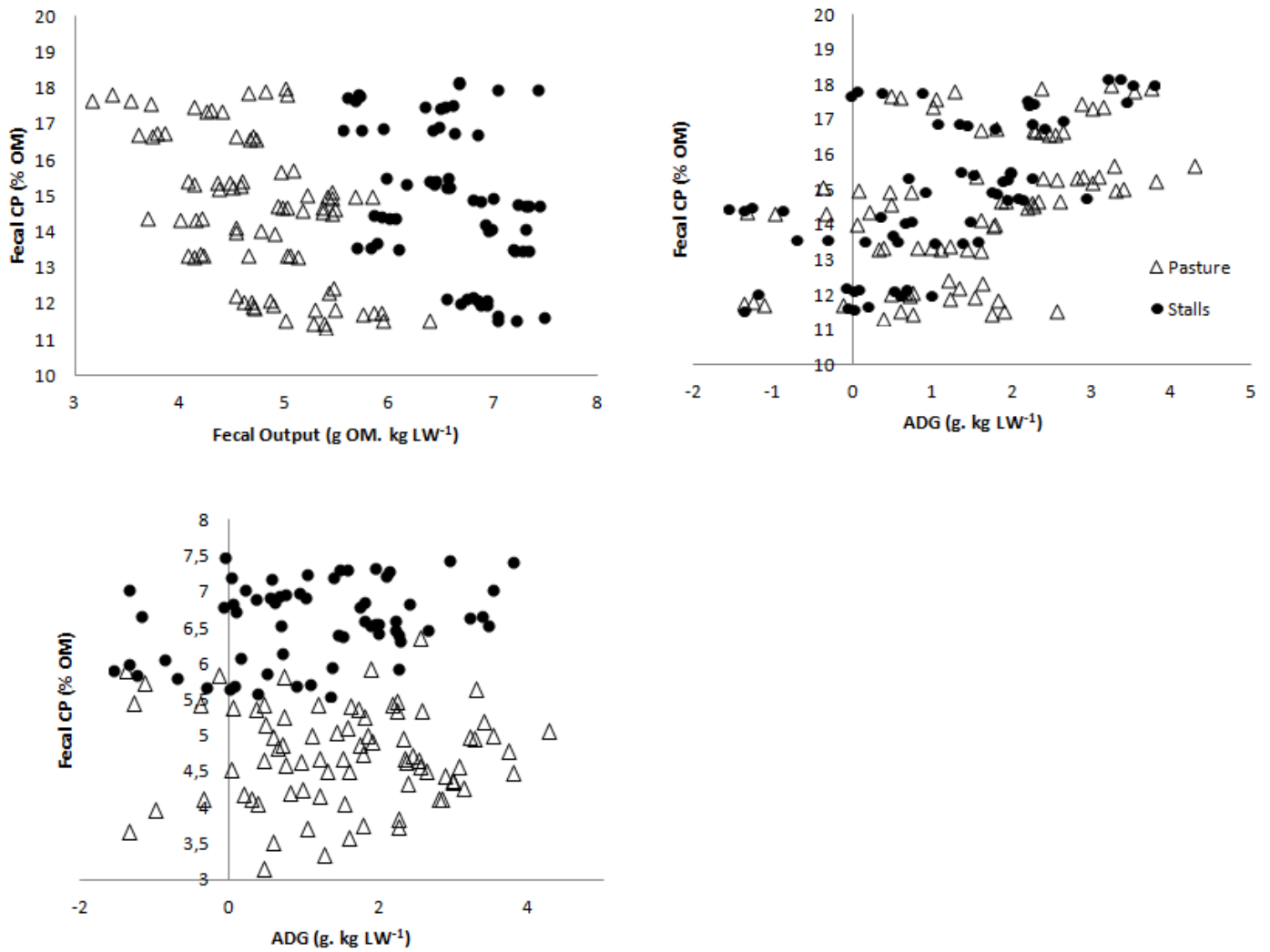
**RSD:** residual standard deviation; **r<sup>2</sup>:** coefficient of determination

**Table 4.** Predictive regression of average daily gain (ADG) measured in stalls and at pasture starting from Digestible OMI (DOMI, g/kg LW) predicted from fecal crude protein (CP) content (fCP), fecal output and near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) calibration, for steers fed with concentrate (Con) or not.

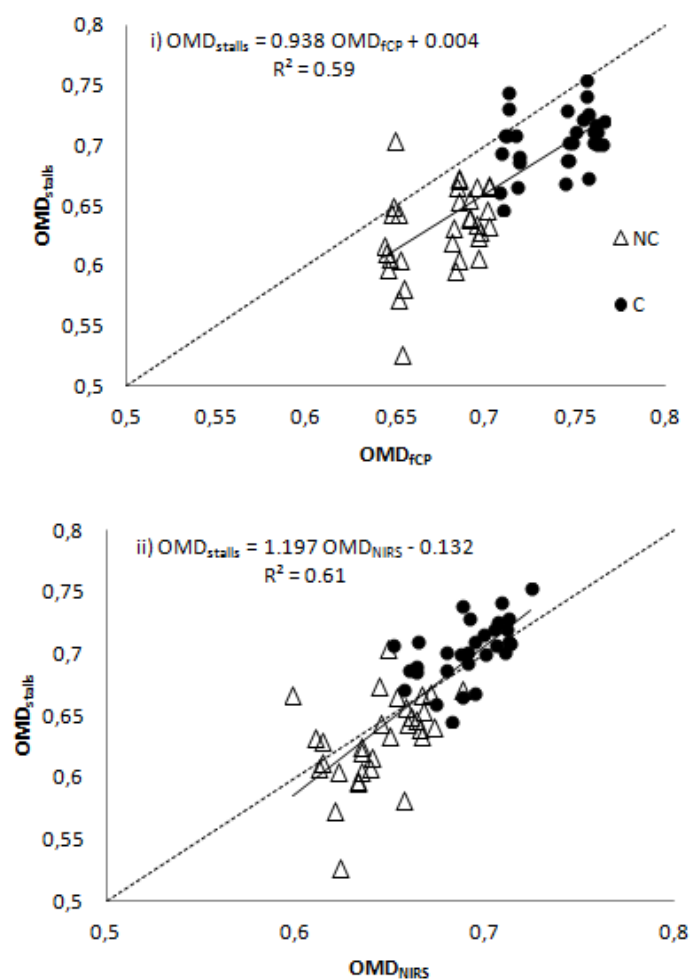
| Equations                                                                          | RSD   | R <sup>2</sup> | p of Concentrate effect |        |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------|-------------------------|--------|
|                                                                                    |       |                | Intercept               | slope  |
| ADG <sub>stalls</sub> = - 5.992 <sub>***</sub> + 0.433 DOMI <sub>fCP</sub> ***     | 0.739 | 0.68           | 0.4450                  | 0.5302 |
| ADG <sub>stalls</sub> = - 6.891 <sub>***</sub> + 0.595 DOMI <sub>OMDNIRS</sub> *** | 0.758 | 0.66           | 0.5149                  | 0.8253 |
| ADG <sub>stalls</sub> = - 5.065 <sub>***</sub> + 0.453 DOMI <sub>NIRS</sub> ***    | 0.900 | 0.53           | 0.4485                  | 0.6879 |
| ADG <sub>pasture</sub> = -1.836 <sub>**</sub> + 0.301 DOMI <sub>fCP</sub> ***      | 1.103 | 0.27           | 0.4356                  | 0.8294 |
| ADG <sub>pasture</sub> = - 2.718 <sub>**</sub> + 0.392 DOMI <sub>OMDNIRS</sub> *** | 1.102 | 0.28           | 0.4291                  | 0.8648 |
| ADG <sub>pasture</sub> = - 3.939 <sub>***</sub> + 0.378 DOMI <sub>NIRS</sub> ***   | 1.059 | 0.33           | 0.9873                  | 0.6901 |

**RSD:** residual standard deviation; **r<sup>2</sup>:** coefficient of determination

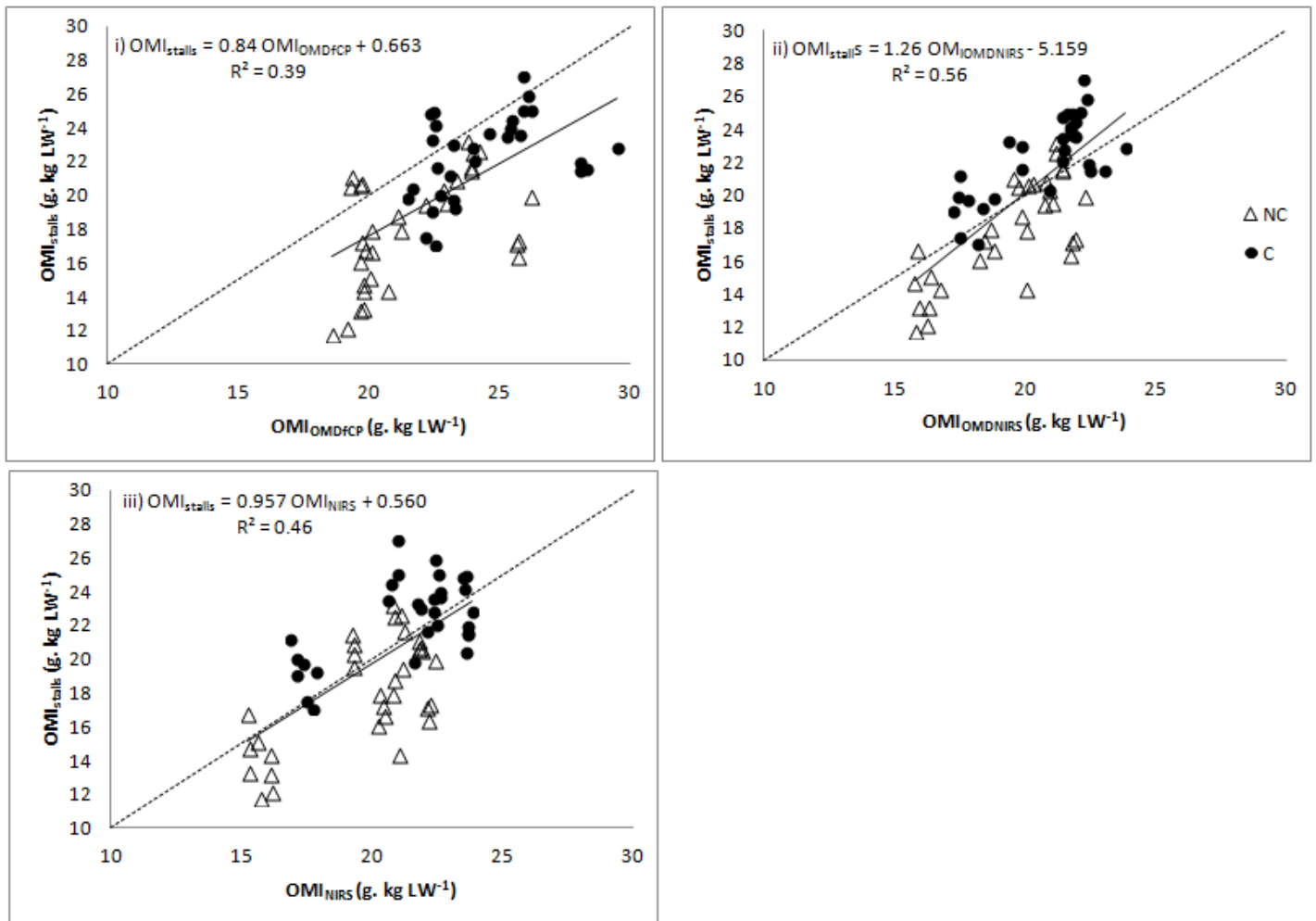
**Figure 1.** Relationships between fecal crude protein (fCP) content, fecal output and average daily gain (ADG) in stalls and at pasture



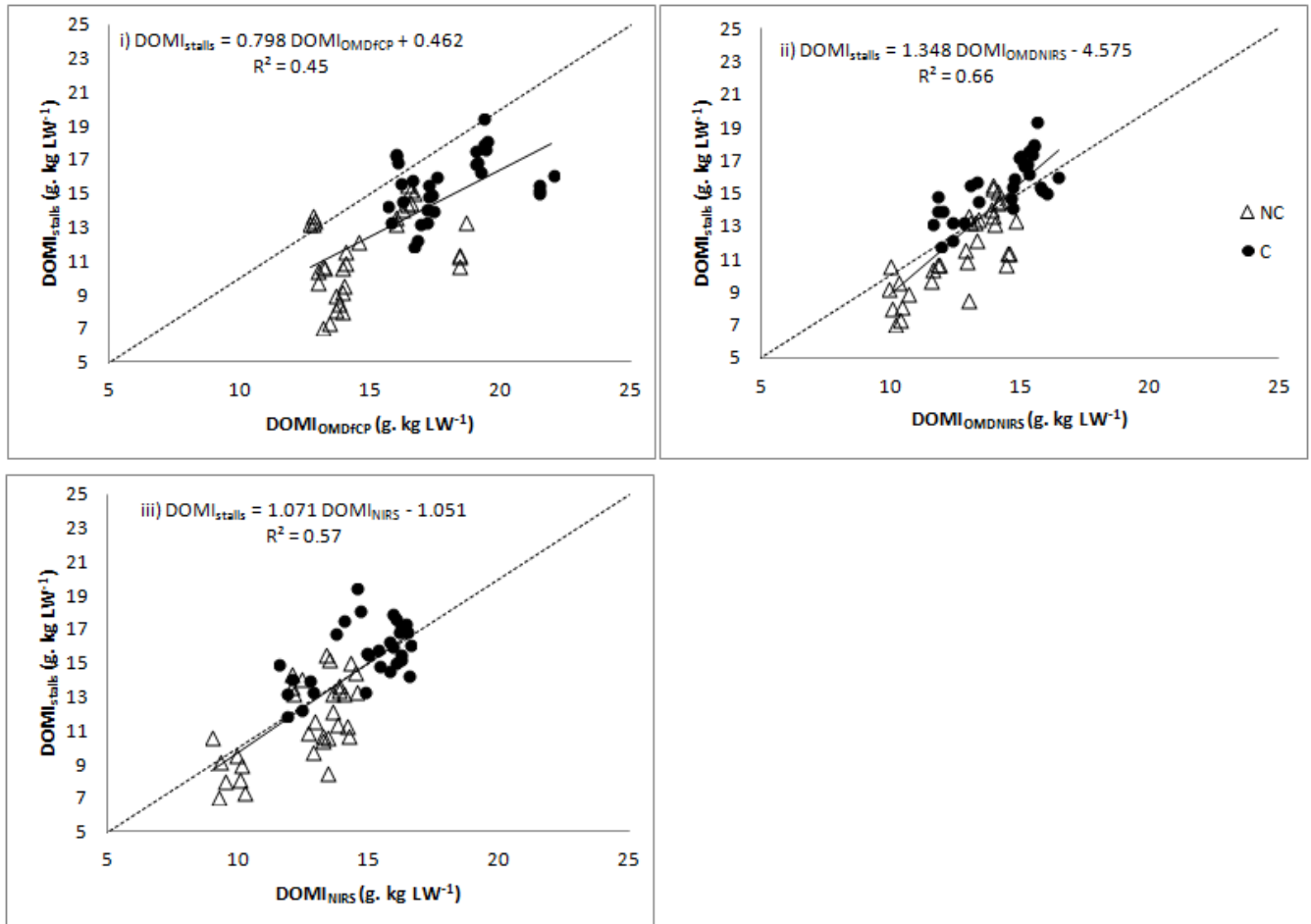
**Figure 2.** Relationships between OM digestibility (OMD) measured in vivo in stalls and OMD predicted from i) fecal crude protein (fCP) content and ii) near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) methods for steers fed with concentrate (C) or not (NC).



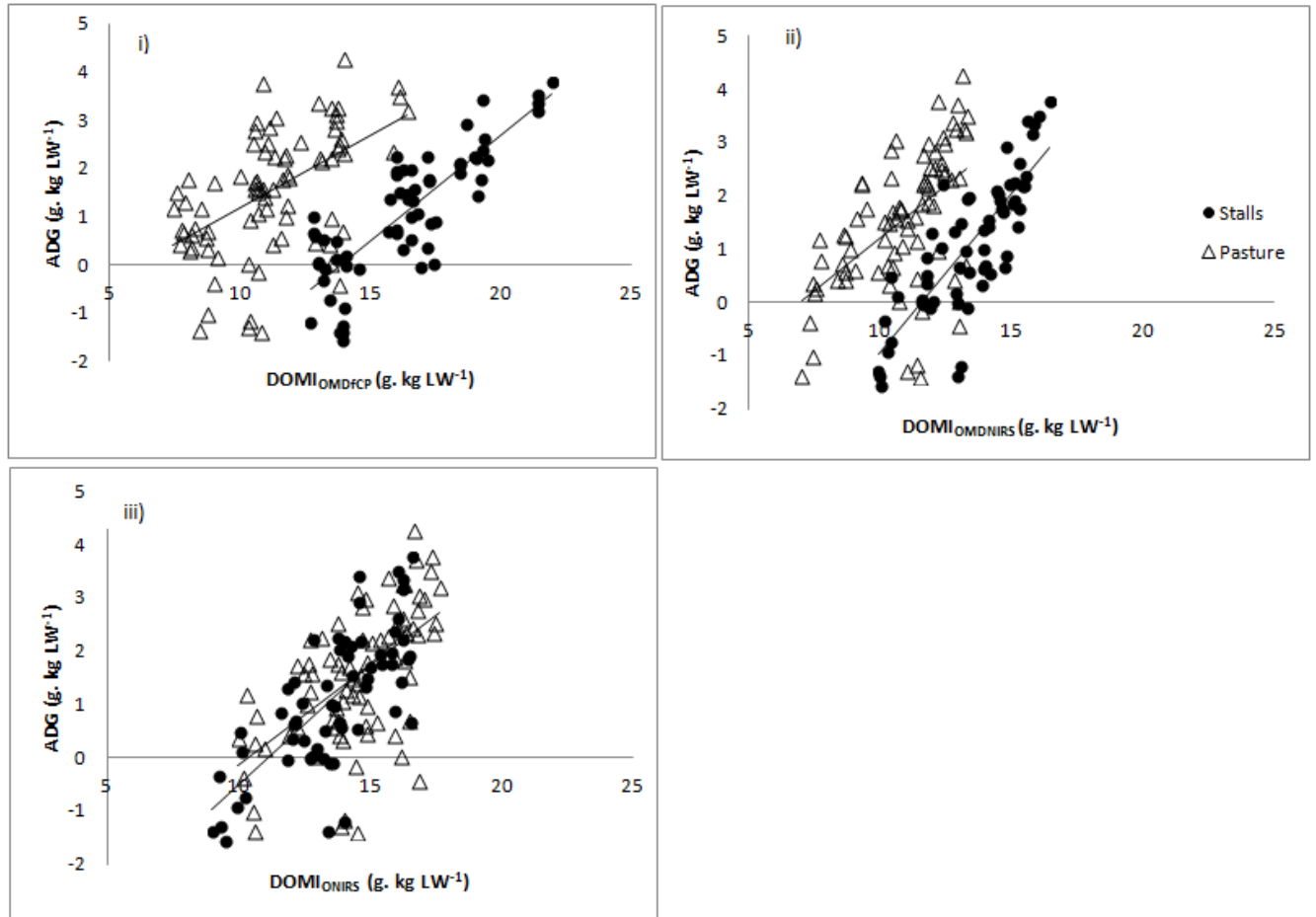
**Figure 3.** Relationships between organic matter intake (OMI) measured in vivo in stalls and OMI<sub>stalls</sub> predicted from i) the fecal output (FO) and organic matter digestibility (OMD) obtained from fecal crude protein (fCP) content, ii) FO and OMD estimated by the near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) method and iii) directly from the NIRS spectra for steers fed with concentrate (C) or not (NC).



**Figure 4.** Relationships between digestible organic matter intake (DOMI, g/kg LW/j) measured in vivo in stalls and DOMI predicted i) from fecal crude protein (fCP) content, ii) from organic matter digestibility (OMD) predicted from the near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) method and iii) directly from the NIRS method for steers fed with concentrate (C) or not (NC).



**Figure 5.** Relationships between average daily gain (ADG) measured *in vivo* in stalls and at pasture and digestible organic matter intake (DOMI) predicted *i*) from fecal crude protein (fCP) content, *ii*) from organic matter digestibility (OMD) predicted by the near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) method and *iii*) directly from the NIRS method



## CHAPITRE 5 : DISPOSITIF ANALYTIQUE

## **Comparaison des conduites à l'auge et au pâturage avec addition de concentré ou non à la ration : comportement alimentaire, ingestion, digestibilité, consommation d'eau et croissance**

### **5.1. Introduction**

L'analyse de la bibliographie à travers la méta-analyse, a permis de quantifier et de mieux comprendre l'effet du mode de conduite sur la croissance et les caractéristiques de carcasses des bovins, ovins et caprins. Elle a révélé entre autres, que les meilleures performances observées chez les animaux élevés à l'auge, étaient dues à la stratégie de complémentation et qu'il existait peu d'études de l'effet du mode de conduite sur l'ingestion et la digestibilité. En effet, la majorité des comparaisons entre les conduites à l'auge et au pâturage n'ont pas été réalisées dans les mêmes conditions.

Les résultats de l'étude méthodologique ont montré que la SPIR donnait une prédiction fiable de la dMO, de la MOI et de la MODI au pâturage. Grâce à cette méthode, nous avons donc pu étudier les effets respectifs du mode de conduite et de l'alimentation sur les caractéristiques fourragères, le comportement alimentaire, la consommation d'eau et la croissance.

### **5.2. Matériel et méthodes**

#### ***Dispositif analytique***

Le dispositif analytique utilisé est le même que celui décrit dans le chapitre précédent pour l'étude de l'ingestion et la digestibilité, à savoir un carré latin 4x4 pour évaluer les effets du mode de conduite (auge vs pâturage) et de la stratégie de complémentation (fourrage seul vs fourrage avec concentré).

#### ***Mesures réalisées***

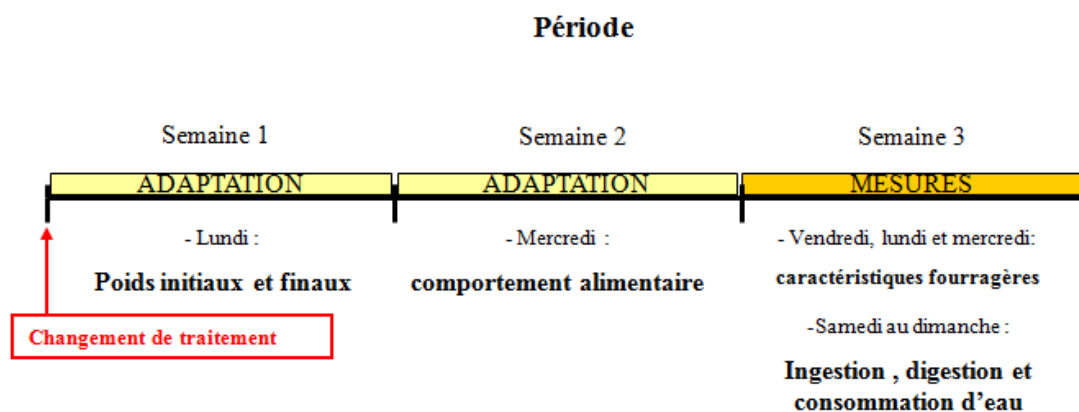
Les mesures des **caractéristiques fourragères** étaient réalisées : 1) *in situ* (mesures de biomasse) où les mesures étaient réalisées directement sur chaque parcelle pâturée et sur la parcelle fauchée pour les animaux à l'auge, 2) sur du fourrage fauché avant distribution du fourrage à l'auge.

L'étude du **comportement alimentaire** se faisait sur vingt quatre heures durant la première expérimentation, et sur quatorze heures (entre 7 heures et 20 heures) durant la deuxième expérimentation. Cette étude a consisté en l'observation du temps imparti pour l'ingestion (fourrage et concentré), la consommation d'eau, la rumination, le repos debout et le repos couché.

Les mesures de **consommation d'eau** ont été réalisées de deux manières différentes à l'auge et au pâturage. A l'auge, chaque animal disposait d'un abreuvoir individuel. Les quatre abreuvoirs de chaque module étaient reliés à un compteur commun. Des relevés de compteurs réalisés chaque jour nous permettaient de déterminer avec précision les quantités d'eau bue. Au pâturage, chaque animal disposait d'un bac rempli quotidiennement d'eau fraîche. La quantité d'eau bue était alors déterminée par différence entre la mesure d'eau distribuée et celle laissée par l'animal. Deux bacs témoins placés à l'entrée de chaque parcelle pâturée nous permettaient de tenir compte de l'évaporation et de la pluviométrie.

La **croissance** a été déterminée par la mesure des poids initiaux et finaux de chaque animal à chaque début de période.

Toutes ces mesures ont été réalisées simultanément à l'auge et au pâturage et se répartissaient de la manière suivante au cours d'une période :



**Figure 7.** Répartition dans le temps des différentes mesures du dispositif analytique

### 5.3. Résultats – Conclusion

L'étude des effets du mode de conduite a montré qu'à l'auge, les animaux avaient une meilleure MOI ( $19.82$  vs  $17.79 \pm 0.40$  g/kg PV,  $P = 0.0011$ ) ainsi qu'une meilleure MODI ( $13.23$  vs  $12.34 \pm 0.29$  g/kg PV,  $P = 0.0422$ ). Les animaux à l'auge ont également consommé plus d'eau ( $8.56$  vs  $5.59 \pm 0.25$  l/j,  $P < 0.0001$ ) et ont passé plus de temps couché que les animaux au pâturage ( $399.9$  vs  $340.7 \pm 16.5$  min,  $P = 0.0408$ ). Les animaux au pâturage avaient un meilleur GMQ ( $1.55$  vs  $1.04$  g/kg PV/j  $\pm 0.11$ ,  $P = 0.0416$ ) que les animaux à l'auge. Ces résultats s'expliquent principalement par une meilleure efficacité alimentaire ( $0.085$  vs  $0.065 \pm 0.004$  g GMQ/g OMI totale,  $P = 0.0392$ ) et des conditions environnementales plus difficiles à l'auge.

L'étude des effets de la stratégie de complémentation a révélé qu'ajouter du concentré à la ration améliorait globalement l'ensemble des paramètres étudiés, tels que l'efficacité alimentaire ( $0.098$  vs  $0.051 \pm 0.004$  g GMQ/g OMI totale,  $P < 0.0001$ ) et donc le GMQ ( $2.03$  vs  $0.57 \pm 0.11$  g/kg PV/j,  $P < 0.0001$ ).

L'interaction entre le mode de conduite et la stratégie de complémentation n'a pas eu d'effets sur les variables étudiées.

Nous avons observé une relation positive entre l'apport de nutriments, caractérisé par la MODI, et le GMQ. Cette relation est très similaire à l'auge ( $\text{GMQ} = 0.4498 \text{ MODI} - 5.004$ ,  $r^2 = 0.5959$ ) et au pâturage ( $\text{GMQ} = 0.4309 \text{ MODI} - 4.5804$ ,  $r^2 = 0.4027$ ). L'apport de concentré dans la ration améliore la MODI et donc le GMQ.

Selon les résultats de ce dispositif analytique, la stratégie de complémentation aurait plus d'effet sur les variables étudiées que le mode de conduite. Il confirme de manière expérimentale, que les différences de performances rapportées entre l'auge et le pâturage sont majoritairement dues aux effets confondus du mode de conduite et de la stratégie de complémentation.

Page 1 of 25

Journal of Agricultural Science

- 1 Short title: environment and complementation effects for cattle
- 2 **Comparison of feeding cattle in stalls or at pasture, with and without complementation with**
- 3 **concentrate: feeding behaviour, intake, digestibility, water consumption, and growth.**
- 4

For Review Only

## SUMMARY

The effects of two feeding environments (FE, stalls vs pasture) and two complementation strategies (CS, grass vs grass + concentrate) on feeding behaviour, organic matter intake (OMI), organic matter digestibility (OMD), water consumption, and average daily gain (ADG) were studied. Two independent trials were conducted with 16 Creole cattle in each, randomly assigned into four groups according to a 4 x 4 Latin Square design. During experimental periods, while two groups were fed in stalls (S), the other two groups were fed at pasture (P). Within each feeding environment (S and P), one group was only fed with freshly cut grass (NC), whereas the second one was supplemented with a commercial concentrate (C). Diet OMD was estimated in stalls and pasture using the near infrared spectroscopy (NIRS) method (OMD<sub>NIRS</sub>). Grazing animals spent 28% more time eating grass, had greater feed efficiency ( $0.085$  vs  $0.065 \pm 0.004$  g ADG/g diet OMI<sup>-1</sup>,  $P = 0.0392$ ), diet OMD ( $68.98$  vs  $66.27 \pm 0.24$  %,  $P < 0.0001$ ), and ADG ( $1.55$  vs  $1.04 \pm 0.11$  g/kg Live Weight (LW)<sup>-1</sup>,  $P = 0.0416$ ), compared with those fed in stalls. In turn, the animals fed in stalls spent more time in idle lying ( $399.9$  vs  $340.7 \pm 16.5$  min,  $P = 0.0408$ ), had greater diet OMI ( $19.82$  vs  $17.79 \pm 0.40$  g/kg LW<sup>-1</sup>,  $P = 0.0011$ ) and digestible organic matter intake (DOMI,  $14.25$  vs  $13.56 \pm 0.21$  g/kg LW<sup>-1</sup>,  $P = 0.0494$ ), and consumed more water ( $8.56$  vs  $5.59 \pm 0.25$  liter.day<sup>-1</sup>,  $P < 0.0001$ ). Adding concentrate in the diet increased almost all the parameters studied, i.e., feed efficiency ( $0.098$  vs  $0.051 \pm 0.004$  g ADG/g diet OMI<sup>-1</sup>,  $P < 0.0001$ ) and ADG ( $2.03$  vs  $0.57 \pm 0.11$  g/kg LW<sup>-1</sup>,  $P < 0.0001$ ). No effect of the interaction between FE and CS was observed on any of the variables studied, nor between the stage of growth and FE or CS. There was a positive relationship between DOMI and ADG; increased DOMI was associated with increased ADG in stalls ( $ADG = 0.4498 \text{ DOMI} - 5.004$ ,  $r^2 = 0.5959$ ), and at pasture ( $ADG = 0.4309 \text{ DOMI} - 4.5804$ ,  $r^2 = 0.4027$ ). Similarly, complementation with concentrate appeared to have improved the level of DOMI and, therefore, comparable ADG was achieved in S and P steers. This study highlights the fact that CS has a greater effect on cattle performance than FE and thus suggests that the commonly reported differences between stalls and pasture FE are mainly due to CS. This study also highlights the difficulties in conducting a fair comparison between feeding in stalls or at pasture (grass chemical composition, thermal conditions, methodology).

**Keywords:** stall, pasture, concentrate, cattle, animal performances

## INTRODUCTION

There are numerous ways of feeding ruminants, which can be categorized into two main feeding environments (FE): (i) in confinement (stalls, barn, feedlot, etc), where the animals receive the mown forage available *ad libitum* in a trough, with generally a diet of high nutrient density due to the addition of concentrates; and (ii) at pasture, where the animals must take the forage *in situ*, and are seldom supplemented with concentrate. FE is the major criterion in beef production, having a direct impact on cattle performance (Menezes et al. 2010), economic efficiency (Barros *et al.* 2009), and product quality (Priolo *et al.* 2001; Steen *et al.* 2003).

Indeed, it is classically admitted that feeding in stalls leads to better animal performance (Kerth et al. 2007; Mathis et al. 2008; Keane and Moloney 2009; Montero-Lagunes et al. 2011) than feeding at pasture. In stalls, animals are housed and it becomes easier for farmers to handle feeding, and to prevent the degradation of paddocks due to trampling. Meanwhile, various other constraints have to be considered, such as environmental concerns and waste management, labour time (Rudstrom *et al.* 2005), and animal welfare in too small cages (Legrand *et al.* 2009). At pasture, lower performance than in stalls is generally obtained, especially in the tropics, due to the relatively poor nutritive value of available forages (Naves 2003). However, this FE is largely used in the tropics, as it allows animal production at lower costs, helps maintain biodiversity and landscapes (Boval and Dixon 2012), and contributes to carbon sequestration (Powers et al. 2011). In addition, pasture-fed animals can produce more desirable meat in terms of human health (Webb and O'Neill 2008) and are more acceptable for a new generation of consumers who favour ethics and animal welfare.

A quantitative review (Agastin et al. 2013) dealing with the comparison of the effects of trough or pasture FE on ruminant performance revealed that the differences usually reported were the result of a confounding effect of FE and complementation strategy (CS). Importantly, this study also highlighted a lack of knowledge on measures of intake and digestibility at pasture, which are laborious in that environment, but which would help us understand how to achieve better performance at pasture.

Indeed, the comparison between feeding in stalls and at pasture is rarely performed in similar conditions, with the same CS, and on the various parameters influencing beef production in the tropics. Therefore, we performed this study in order to fill this gap and to determine the specific effects of FE and CS on feeding

behaviour, intake, digestibility, water consumption, and growth of cattle reared in a tropical climate, which constitutes a large part of global beef production.

## MATERIALS AND METHODS

### *Experimental design*

Two independent trials were conducted at the experimental station of the National Agronomic Research Institute (INRA) in the French West Indies, Guadeloupe (16°16'N, 61°30'W), to compare feeding behaviour, feed utilization, water consumption, and growth performance of growing steers in different FE and with different CS. During the first trial, from October 2010 to January 2011, 16 Creole steers aged 15.3 ± 0.5 months and weighing 240 ± 31 kg were used. The other trial, from March to August 2011, involved 16 other Creole steers aged 10.3 ± 0.7 months and weighing 186 ± 23 kg. In each trial, the same two FE (in stalls and at pasture) and two CS (grass only vs grass + concentrate) were tested, with 16 Creole steers randomly allocated into four groups according to a 4 x 4 Latin Square design. Each group consisted of four steers fed with 35-day regrowth grass. During each experimental period, while two groups were fed in stalls (S), the other two groups were fed at pasture (P). Within each FE (S or P), one group was only fed with freshly cut grass (NC), whereas the second one was supplemented with a commercial concentrate (C). Each experimental period lasted 21 days and consisted of 14 days of adaptation to the feeding system and to the diet, followed by 7 days of measurements. All the measurements were carried out simultaneously on the 16 steers. At the end of each experimental period, the steers were separately re-allocated to a new group. Two supplemental experimental periods were performed at pasture, with 8 steers each, in order to complement the data in this FE. Throughout the two trials, care and use of the animals were carried out according to the Certificate of Authorization to Experiment on Living Animals issued by the French Ministry of Agriculture, Fishing and Feeding.

### *Pasture and forage management*

Three plots (P1, P2, and P3) that were 0.3 km apart and measuring 12 700, 7300, and 7000 m<sup>2</sup>, respectively, were used in this study. These plots consisted of a sward dominated by *Digitaria decumbens* grass. P1 was used for providing mown grass to the steers in stalls, while P2 and P3 were grazed 24 hours/day, by the steers at pasture. For the stalls system, P1 was divided into 35 subplots of 360 m<sup>2</sup> each to be cut daily, in order to provide each day grass of 35 days of regrowth. Simultaneously, for the grazing system, P2 and P3 were each divided into four subplots to be grazed by four tethered steers: two steers supplemented with concentrate, and two steers without supplementation with concentrate. Each of the four subplots of P2 and P3 was divided into 36 circular areas. In order to obtain grass of 35 days of regrowth and prepare the pasture, these areas were first mown, one area daily per individual subplot, before the steers were introduced. Then, the tethered steers grazed individually and changed daily in order to follow the same stage of regrowth. All the plots were managed the same way in both trials. Mineral N fertilizer was applied on each subplot after mowing or grazing (1 kg.ha<sup>-1</sup>.day<sup>-1</sup> of regrowth).

100

#### 101 *Animal management and diet*

All the animals were adapted to tethering and to the concentrate 1 month before the beginning of the trial. The steers were separated into four treatments, according to the different feeding systems and diets tested. The animals were weighed at the beginning of the study and every 21 days thereafter, when they had a change of treatment, without previous fasting. They were treated against worms at the beginning of the trial, and against ticks by spraying, at each weighing. Two steers were removed from the study because of accident or illness.

108

#### 109 *In stalls*

In each period, height steers were housed in two groups of four individual metabolism cages, according to their diet. Metabolic cages were designed as an open-stall system with shelter, in order to protect the animals and feed from rain and sun. Cages were raised 0.45 m above ground and were 2.15 m long, 0.96 m wide, and 1.2 m high. The space allowance was 2.5 m<sup>3</sup> per steer. An individual feeding trough was situated on the front side of each pen. A rack fixed under each cage allowed collection of total faeces and urine separation. The concrete area below the cages and the bedded lying areas were cleaned every day. In one group of

115

cages, the four animals were only fed freshly cut grass, without concentrate, while in the other group, steers were fed with the same grass supplemented with concentrate. The animals were fed twice a day, at 08.00 h and 13.00 h. The quantity of roughage supplied was adjusted each day to allow 20% of food refusals, and the food refusals were collected the following morning. The concentrate part of the diets was gradually increased over the 14-day adaptation period in order to provide a roughage:concentrate ratio of 60:40 (on a dry matter [DM] basis). The pelleted concentrate used in this study included maize (46%), soybean meal (26%), wheat middlings (26%), and premix additives (2%). The animals were fed the concentrate before the grass was offered. Each steer had access to an individual automatic waterer located on the side of the pen.

#### *At pasture*

Height steers were allowed to graze on P2 and P3 plots. Each plot was divided in four subplots, grazed by four steers, which were tethered by a neck chain. In each plot, two animals were only fed with grazed forage (NC), while the other two steers were supplemented with concentrate (C). Within subplot, each steer had a defined circular area of pasture to graze each day, determined by the length of the tether chain. The lengths of the chain were adjusted in order to assign a surface of 52.8 and 38.5 m<sup>2</sup> for NC and C steers, respectively. Animals were moved to a fresh grazing area after sunrise each day. Concentrate was distributed in an individual trough twice a day, at the same hour as in the stalls (at 08.00 h and 13.00 h). Each steer had access to an individual water trough, supplied with fresh water every morning, placed in their circular grazing area. Each trough measured 0.41 m in height and 0.58 m in diameter, and had a maximum capacity of 75 l of water. Regularly during the experiment, all troughs were checked for leaks and cleaned.

#### *Feeding behaviour*

On day 10 of each period, feeding behaviour of all steers was observed simultaneously. Observations started at 07.00 h and were made at a reasonable distance in front of the cages (in stalls) and in the fields (at pasture). Many efforts were made not to disturb the steers in any way. At night, the steers were observed with the help of a flashlight. In stalls and at pasture, observations of each animal were made every 5 min; ingestion (grass and concentrate), rumination, idle standing or lying, and water uptake time were recorded.

The 'eating' of grass and concentrate was defined as the harvesting of forage and intake of concentrate, respectively. During ingestion periods, the biting rate was estimated by counting the number of bites during a 1-min period. The bite size (g organic matter [OM].bite<sup>-1</sup>) was then calculated as the ratio of the amount of diet organic matter intake (OMI) minus the concentrate distributed, to the total number of bites estimated per day. 'Drinking' was defined as the consumption of water. 'Ruminating' was defined as masticating without taking additional forage into the mouth, also distinguishable by the difference in jaw movement compared with mastication during grazing. 'Idle standing' was defined as periods of no grazing or ruminating, with no jaw movement or any other apparent activity, a posture in which an animal was upright with all four feet stationary on the ground, while 'idle lying' had the same definition as idle standing but when the animal's flank was in contact with the ground. The total time spent in a given behaviour was calculated based on the assumption that the animal observed in a particular behaviour pattern remained in that pattern until the next observation.

During the first trial, these observations were performed for 24 h, in order to monitor the behaviour during a day-time cycle. After a first analysis, it was observed that 90% of the feeding time took place between 07.00 h and 20.00 h; therefore, during the second trial, observations of feeding behaviour were limited to this period.

#### ***Water consumption***

From days 13 to 19 of each period, water consumption of all the steers was determined. In stalls, the water consumption of each group (NC and C groups) of four steers was determined by using a water meter, which was shared by the group. The water meters were read each morning at 08.00 h. Water consumption of the steers was obtained by calculating the difference between the total water metered of the day and total water metered of the day before. No adjustments were made for evaporative losses or rain, since the individual stalls and waterers were sheltered.

At pasture, water intake was determined by measuring and recording the level of water of each trough on measurement days, with a steel graduated rule. As for stalls animals, water consumption of the steers was obtained by calculating the difference between the total water left in the trough of the day and the total water

170 given, measured the day before. Two control troughs were placed in P2 and P3 plots, in order to measure  
171 evaporative losses or rain.

172

### 173 *Biomass characterization*

174 Forage biomass for all the plots used in this experiment was determined on days 13, 15, and 17 of each  
175 period, on the mown surface and at pasture. For the stalls treatment, the sward height and herbage mass were  
176 measured at five sites in the plot, before the mowing of the plot that day. Similarly, at pasture, the sward  
177 height and herbage mass offered were measured within each of the circular areas intended to be grazed by  
178 each steer, at five sites per circular area. Sward height was measured with a rising-plate meter (Michell  
179 1982). Herbage mass was estimated at the same sites, by cutting the herbage under the plate over an area of  
180  $0.09 \text{ m}^2$  with hand-held electric clippers at ground level. The total herbage bulk density before mowing or  
181 grazing was calculated by dividing the total herbage mass per surface unit ( $\text{kg DM.m}^{-2}$ ) or by the mean  
182 height of the grass (expressed in m). The daily allowance per animal was calculated by dividing the herbage  
183 mass by the mean surface allocated to each steer. Each sample was weighed fresh, and after pre-drying in a  
184 forced ventilation chamber at  $60^\circ\text{C}$  for 72 hours, the samples were weighed and then pooled by the day of  
185 measurement (for the stalls treatment) or by the day and subplot (for the pasture treatment). A sub-sample of  
186 200 g of each forage sample was ground to a 0.75mm particle size in a grinder and kept for further  
187 laboratory analyses.

188

### 189 *Estimation of intake and digestibility*

#### 190 *In stalls*

191 In each experimental period, daily measurements were performed from days 13 to 17 for of the forage  
192 offered and the concentrate consumed, from days 14 to 18 for the refused forage, and from days 15 to 19 for  
193 the faeces excreted. For feed characterization, five samples (300 g each) of fresh forage were collected just  
194 before feeding. Five samples (300 g each) of concentrate were also taken on day 16 of each experimental  
195 period. In addition, two samples of refused herbage (200 g each) were collected daily per steer. Each sample  
196 was weighed fresh and dry, after 72 hours in a forced ventilation chamber at  $60^\circ\text{C}$ , in order to determine  
197 their DM content. The total amount of faeces excreted was collected daily per steer. A representative

sub-sample of faeces was obtained by pooling 5% of the daily amount of faeces excreted per steer. Two sub-samples of 300 g per steer were taken to determine the DM content. The DM content of the faecal sub-samples was determined in similar conditions as described previously. All the samples were ground to a 0.75 mm particle size in a grinder, and conserved in order to be further analysed at the laboratory. The *in vivo* OMI per day ( $OMI_{vivo}$ ) was calculated for each period, as the difference between the amount of forage proposed and refused. The *in vivo* organic matter digestibility ( $OMD_{vivo}$ ) was calculated from the  $OMI_{vivo}$  and the total amount of faeces excreted. *In vivo* digestible organic matter intake ( $DOMI_{vivo}$ ) was calculated from  $OMD_{vivo}$  and  $OMI_{vivo}$ .

#### *At pasture*

The intake was indirectly determined from total faecal output and digestibility. As for steers in stalls, the total amount of faeces excreted was collected daily per steer. A representative sub-sample of faeces was obtained by pooling 5% of the daily amount of faeces excreted per steer. Two sub-samples of 300 g per steer were taken to determine the DM content and ground as described previously for faeces samples collected in stalls, before their chemical composition analysis. The OMD ( $OMD_{NIRS}$ ) was estimated using the near infrared spectroscopy (NIRS) method, as it has been shown in a previous methodological study (Agastin et al. 2013) to give the best prediction of OMD. The OMI at pasture ( $OMI_{NIRS}$  diet) was estimated from the  $OMD_{NIRS}$  and the total amount of OM excreted in the faeces. The DOMI at pasture ( $DOMI_{NIRS}$ ) was estimated from  $OMD_{NIRS}$  and  $OMI_{NIRS}$  diet.

#### *Feed and faecal sampling and analysis*

Chemical characterization was carried out for all samples of forage offered, refusals, concentrates, and faeces collected in feedlots or at pasture. DM, N, and ash contents were analysed by AOAC methods (AOAC 1990). The OM was determined by ashing at 550°C for 8 h and nitrogen (N) was determined by the Dumas method. Crude Protein (CP) content was calculated by multiplying the N concentration by 6.25. The neutral, acid detergent fibre, and acid detergent lignin (NDF, ADF, and ADL, respectively) contents were determined by the procedure of (Van Soest et al. 1991). The same samples were used for NDF, ADF, and ADL determination, and all included residual ash.

226

227 *Statistical analysis*

228 All variables were averaged to generate period means for each steer, in each FE and CS treatment, within  
 229 each trial, for statistical analysis. A total of 142 observations (62 in stalls, 80 at pasture) were used in the  
 230 analysis. The period-averaged data were analysed as a generalized 4 x 4 Latin Square using the MIXED  
 231 procedure of SAS (Statistical Analysis System version 9.3 for Windows, SAS Institute Inc., 2011). The  
 232 model included the fixed effect of trial, period nested within trial, FE, CS, and FE x CS, with the repeated  
 233 subject being the animal nested within the experiment, and using the compound symmetry method to model  
 234 the covariance structure. Data related to forage characterization and feeding behaviour were also analysed  
 235 according to the same model. No interaction was found between FE and CS for any of the variables tested ( $P$   
 236  $> 0.05$ ), so it was finally removed from the analysis, and only the main effects were estimated. No  
 237 interaction between the growing stage of the steers, represented by the trial, and either of the treatment (FE  
 238 or CS) were observed, so the results were considered as representative for the whole growing period. Results  
 239 are given as least square means  $\pm$  standard deviation of the mean (SEM) and the level of significance was set  
 240 at  $P < 0.05$ .

241

242

**RESULTS**

243

244 *Allowance and herbage characteristics*

245 The CP and lignin contents of the biomass available were similar in both FE, whereas the NDF ( $P < 0.0001$ )  
 246 and, to a lesser extent, the ADF ( $P = 0.0011$ ) contents were greater for stalls animals compared with grazing  
 247 ones (**Table 1**). As a consequence, the OM content of the grass offered in stalls or at pasture was very  
 248 similar ( $P = 0.7059$ ). The physical characteristics of the paddocks used for feeding in stalls or at pasture  
 249 were also quite comparable, with only a small difference in sward height ( $P = 0.0186$ ) and bulk density ( $P$   
 250  $= 0.0100$ ). The forage characteristics were also very similar between CS treatments. The only difference  
 251 concerned the herbage allowance ( $P = 0.0002$ ), which was higher for NC animals (15.48 kg  
 252 DM.animal<sup>-1</sup>.day<sup>-1</sup>) than C ones (12.49 kg OM.animal<sup>-1</sup>.day<sup>-1</sup>).

253

254 **Feeding behaviour**

255 The time spent eating grass was 28.34% higher for P animals compared with S ones ( $P = 0.0004$ , **Table 2**)  
 256 and 19.17% greater for NC animals compared with C ones ( $P = 0.0063$ ). The time spent eating concentrate  
 257 was greater for P steers than for S ones ( $6.46$  vs  $4.05 \pm 0.34$  min, respectively,  $P = 0.0038$ ). In turn, the time  
 258 spent eating did not vary between the FE ( $P = 0.1251$ ), whereas drinking time was lower for NC animals  
 259 compared with C animals ( $4.06$  vs  $9.14 \pm 0.94$  min, respectively,  $P = 0.0040$ ). The time spent ruminating did  
 260 not vary between the FE ( $P = 0.0972$ ), nor between the CS ( $P = 0.0643$ ).  
 261 The time spent standing was not different between the FE or the CS treatments ( $P = 0.8746$  and  $P = 0.1824$ ,  
 262 respectively). The idle lying time was longer for S animals than for P animals ( $399.9$  vs  $340.7 \pm 16.5$  min,  
 263 respectively,  $P = 0.0408$ ), but did not vary between the CS ( $P = 0.0917$ ). The number of bites was almost  
 264 eight times lower for S animals compared with P ones ( $28.41$  vs  $3.75 \pm 0.38$  nb.min<sup>-1</sup>, respectively,  $P <$   
 265  $0.0001$ ), whereas it did not vary between the CS ( $P = 0.0776$ ). Therefore, the bite size differed between the  
 266 FE ( $3.44$  [S] vs  $0.33$  [P]  $\pm 0.07$  g OM.bite<sup>-1</sup>, respectively,  $P < 0.0001$ ).

269 **Estimates of OMI, OMD, DOMI, and water intake**

270 In stalls, the *in vivo* OMI of the overall diet and the OMD were  $20.10$  g.kg LW<sup>-1</sup> and  $66.27\%$ , respectively,  
 271 and the *in vivo* DOMI was estimated at  $13.23$  g.kg LW<sup>-1</sup> (**Table 3**). In stalls, *in vivo* OMI, OMD, and DOMI  
 272 were lower ( $12.51$ ,  $6.44$ , and  $18.08$  %, respectively) for NC animals compared with C ones ( $P < 0.0001$ ). In  
 273 stalls, there was no difference between the two estimates of the OMI and OMD, either *in vivo* or using faecal  
 274 NIRS. The correlation between OMI<sub>vivo</sub> and OMI<sub>NIRS</sub>, OMD<sub>vivo</sub> and OMD<sub>NIRS</sub>, and DOMI<sub>vivo</sub> and  
 275 DOMI<sub>NIRS</sub> were respectively  $0.9038$ ,  $0.7915$ , and  $0.9279$ .  
 276 When comparing the two FE, the OMI<sub>NIRS</sub> was greater for the S animals compared to P ones ( $19.82$  vs  
 277  $17.79 \pm 0.40$  g.kg LW<sup>-1</sup>,  $P = 0.0011$ ). In contrast, the DOMI<sub>NIRS</sub> was lower for S animals ( $13.56$  vs  $14.25 \pm$   
 278  $0.21$  g.kg LW<sup>-1</sup>,  $P = 0.0494$ ) than for P ones, as well as the OMD<sub>NIRS</sub> ( $66.27$  vs  $68.98 \pm 0.24$  %,  $P < 0.0001$ ).  
 279 The OMI<sub>NIRS</sub>, OMD<sub>NIRS</sub>, and DOMI<sub>NIRS</sub> of the overall diet were lower ( $12.51$ ,  $6.44$ , and  $15.04$  %, respectively)  
 280 for NC animals compared with their counterparts ( $P < 0.0001$ ). The quantity of concentrate

offered in each FE was similar ( $P = 0.9813$ ), whereas the percentage of concentrate in the diet was lower for S animals than for P ones ( $16.53$  vs  $26.49 \pm 0.89$  %, respectively,  $P < 0.0001$ ).

#### *ADG, feed conversion efficiency, and relationship between DOMI and ADG*

The ADG was lower for S animals compared with those reared at pasture ( $1.04$  vs  $1.55 \pm 0.11$  g.kg LW<sup>-1</sup>, respectively,  $P = 0.0416$ ). The ADG of NC animals was lower than that of C ones ( $0.57$  vs  $2.03 \pm 0.11$  g.kg LW<sup>-1</sup>, respectively,  $P < 0.0001$ ). The feed conversion efficiency (FCE) was lower for the S animals compared with the P ones ( $0.065$  vs.  $0.085 \pm 0.004$  g ADG/g diet OMI<sub>ENIRS</sub>, respectively,  $P = 0.0392$ ) and also for the NC animals compared with C animals ( $0.051$  vs  $0.098 \pm 0.004$  g ADG/g diet OMI<sub>ENIRS</sub>, respectively,  $P < 0.0001$ ).

There was a positive relationship between DOMI and ADG (**Figure 1**); increased DOMI was associated with increased ADG. The relationship was very similar in both FE: in stalls,  $ADG = 0.4498 \text{ DOMI} - 5.004$  ( $r^2 = 0.5959$ ); and at pasture,  $ADG = 0.4309 \text{ DOMI} - 4.5804$  ( $r^2 = 0.4027$ ). However, the amount of DOMI for maintenance (when  $ADG = 0$ ) was higher in stalls ( $11.19$  g DOMI.kg LW<sup>-1</sup>) than in pasture ( $10.7$  g DOMI.kg LW<sup>-1</sup>), so a greater amount of DOMI was needed to achieve a similar ADG in S steers compared with P steers. Complementation with concentrate appeared to have improved the level of DOMI and, therefore, a similar ADG increase was observed in S and P steers.

## DISCUSSION

One of the main objectives of this study was to perform in similar conditions a comparison between two main feeding environments for ruminants, i.e., in trough with mown grass, compared with feeding with grass directly grazed *in situ*. A previous meta-analysis showed indeed that the differences between feeding in trough or at pasture generally reported in the literature were mainly due to different strategies of complementation, with the addition of concentrates in the troughs, whereas analyses were rarely performed for grazing (Agastin et al. 2013). In addition, the grass distributed in troughs or available at pasture may vary in some comparative studies. In this study, we have taken care to provide similar grasses in the two FE. Indeed, most of the chemical composition and sward characteristics were equal in both FE (**Table 1**), in particular the CP content, known to be one of the main determinants of digestibility. However, the NDF and

ADF fibre contents, as well as the sward height, were slightly greater for the grass provided to be distributed in stalls, compared with the values measured at pasture. This illustrates the difficulty of implementing such a comparison in the same absolute conditions and explains the lack of such studies in the literature, since we had to use different plots to feed simultaneously throughout the experiment both steers in stalls and pasture. Another major difficulty is due to the fact that the methods used to measure similar parameters in both FE are so different. To overcome this difficulty, we used a methodology based on faecal NIRS (Boval *et al.* 2004; Fanchone *et al.* 2009), for which we verified in stalls, where both methods were feasible, if the NIRS estimates were consistent with the *in vivo* measurement. Thus, by comparing the two FE in almost comparable conditions, with grass and concentrates with similar characteristics, there was no interaction between the effects of FE and CS. This absence of interaction confirms that the addition of concentrate to grazing animals can increase performance in the same way as addition of concentrate in the trough regardless of the FE, as has already been pointed out in a previous quantitative meta analysis (Agastin *et al.* 2013).

### Effect of FE

Therefore, considering the effect of FE, independently of the effect of CS, we measured in fact a higher ADG at pasture than in stalls. This result seems to contrast with those already published (Fiems *et al.* 2002; Keane and Moloney 2009; Olmedo *et al.* 2011), since the amount of DOMI<sub>NIRS</sub>, the more appropriate indicator of nutrient input, was very slightly different between the two FE. This greater ADG measured at pasture may be explained by a higher FCE compared with in stalls, probably due to the higher maintenance needs observed in these experiments for the stalls steers compared with the grazing ones. Indeed, the amount of ADG per supplemental DOMI, as measured by the linear coefficient of the regression, seems to be very similar in both FE, and even better in stalls than at pasture. At the same time, we observed a higher water consumption of the stalls animals than the grazing ones, which reveals that the ambient conditions were more beneficial at pasture than in stalls. Indeed, we observed during the behaviour observations a higher temperature in stalls than at pasture (about 3 to 5°C at noon).

At pasture, the steers spent indeed 28% more time grazing compared with the steers in stalls, as it is known that grazing ruminants spend long periods of time on grazing and walking, with series of short stations, in

order to ingest adequate feed to meet their nutrient needs (Gordon and Illius 1992). Thus, they often take each bite with small quantities of herbage, in an attempt to select an appropriate diet, with high leaf content. The higher digestibility has not been linked to higher 'OMI' but has been linked to higher 'DOMI', in contrast to the frequently quoted relationship between OMD and OMI (Poppi 1996). This result has already been quoted for sheep (Boval *et al.* 2010) and goats (d'Alexis *et al.* 2013), in studies where intake and digestibility were concretely measured, and not only estimated. In fact, the more digestible herbage, i.e., leafy, for instance, is not the one that allows a greater amount of matter per bite, being linked to the prehensibility of the grass *in situ*, specific to the pasture context. At pasture, a 'DOMI' slightly greater than in the stalls was measured was linked to a greater ADG than in the stalls, in fact due to a higher FCE (Table 3).

In stalls, the higher nutrient input was used for fat deposit, as has been classically shown in other studies (Field *et al.* 1990; Chestnutt 1994). The limited area available in stalls in fact induces a longer time spent idle lying (Mogensen *et al.* 1997; Boe *et al.* 2006). At the same time, energy expenditure may have been increased in stalls, due to the higher temperature, by 3°C, compared with at pasture, combined with a greater consumption of water, almost 3 l.day<sup>-1</sup> more was measured, than at pasture. Each degree Celsius of increase in ambient temperature indeed causes an additional demand of 0.5 l of drinking water (Meyer *et al.* 2006). The water consumption may have also been increased due to greater DM intake in the stalls. Therefore, the heat stress may have had an important effect on the performance of the stall-fed animals (Silanikove 2000) that we did not plan initially in our study.

### ***Complementation strategy effects***

Considering the effect of CS, the results observed in this study are in accordance with what is classically reported. Indeed, adding concentrate in the diet induced a greater ADG with both FE, in stalls and at pasture. This higher performance is related to the additional source of energy provided by the concentrate. In this experiment, in the stalls, the addition of concentrate in the diet induced lower grass consumption, by 15.85%, as shown in previous studies (Sanson *et al.* 1990; Moore *et al.* 1999). However, the total consumption, considering the grass and concentrate, increased, as already demonstrated when the proportion of concentrate in the diet increased (Tayler and Wilkinson 1972). The total digestibility of the diet also

increased. Therefore, by a combined effect, the DOMI was greater for the supplemented steers compared with non-supplemented steers, as already shown elsewhere (Caton and Dhuyvetter 1997). At the same time, due to the lower fibre content of the overall diet, the supplemented steers increased the time spent drinking and their water consumption, due to the greater DM content of the overall diet (Meyer et al. 2006).

## CONCLUSION

Our results confirm that FE and CS are two important factors for assessing feeding behaviour, intake, digestibility, water consumption, and growth. Based on the results, grazing FE induced greater ADG than feeding in stalls. However, as higher temperature was measured in stalls, the energy expenditure of these animals may have been increased. Overall, adding concentrate in the diet improved almost all the parameters studied, the same way in both environments, as the interaction between FE and CS was non-significant for all the parameters measured.

This study highlights the fact that CS has greater effects on cattle performance than FE. This experimental observation confirms the fact that the commonly reported differences between stalls and pasture are mainly due to the confounding effect of CS with FE. This suggests that grazing animals and those fed in stalls can achieve the same performance, if they are fed with the same CS. This study also highlights the difficulties in conducting a fair comparison between feeding in stalls or at pasture (grass chemical composition, thermal conditions, methodology). Special care is needed to better compare feeding in stalls and at pasture, in the same conditions. However, in this study we succeeded in comparing the treatments applied and isolation of the effects of CS and FE on the main characteristics involved in the development of growing steers in tropical conditions.

## REFERENCES

Agastin, A., M. Naves, T. Silou and M. Boval (2013). Prediction of diet at pasture (digestibility, intake, and digestible ingested ADG), and consistency with animal performance: a comparison of methods. *Journal of Agricultural Science* (submitted).

- 392 Agastin, A., D. Sauvant, M. Naves and M. Boval (2013). Influence of trough vs. pasture feeding on average  
393 daily gain and carcass characteristics in ruminants: a meta-analysis. *Journal of Animal Science* (In revision).
- 394 AOAC, Ed. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA.
- 395 Barros, C. S. d., A. L. G. Monteiro, C. H. E. C. Poli, J. R. Dittrich, J. R. F. Canziani and M. A. M. Fernandes  
396 (2009). Rentabilidade da produção de ovinos de corte em pastagem e em confinamento. *Revista Brasileira*  
397 *de Zootecnia* 38: 2270-2279.
- 398 Boe, K. E., S. Berg and I. L. Andersen (2006). Resting behaviour and displacements in ewes—effects of  
399 reduced lying space and pen shape. *Applied Animal Behaviour Science* 98(3–4): 249-259.
- 400 Boval, M., D. B. Coates, P. Lecomte, V. Decruyenaere and H. Archimede (2004). Faecal near infrared  
401 reflectance spectroscopy (NIRS) to assess chemical composition, in vivo digestibility and intake of tropical  
402 grass by Creole cattle. *Animal Feed Science and Technology* 114(1/4): 19-29.
- 403 Boval, M. and R. M. Dixon (2012). The importance of grasslands for animal production and other functions:  
404 a review on management and methodological progress in the tropics. *animal* 6(5): 748-762.
- 405 Boval, M., E. Ortega-Jimenez, A. Fanchone and G. Alexandre (2010). Diet attributes of lactating ewes at  
406 pasture using faecal NIRS and relationship to pasture characteristics and milk production. *The Journal of*  
407 *Agricultural Science* 148(04): 477-485.
- 408 Caton, J. S. and D. V. Dhuyvetter (1997). Influence of energy supplementation on grazing ruminants:  
409 requirements and responses. *Journal of Animal Science* 75(2): 533-542.
- 410 Chestnutt, D. M. B. (1994). Effect of lamb growth rate and growth pattern on carcass fat levels. *Animal*  
411 *Science* 58(01): 77-85.
- 412 d'Alexis, S., F. Periacarpin, F. Jackson and M. Boval (2013). Mixed grazing systems of goats with cattle:  
413 An alternative to improve animal production at pasture. *Animal*: in revision.
- 414 Fanchone, A., H. Archimède and M. Boval (2009). Comparison of fecal crude protein and fecal  
415 near-infrared reflectance spectroscopy to predict digestibility of fresh grass consumed by sheep. *Journal of*  
416 *Animal Science* 87(1): 236-243.
- 417 Field, R. A., G. Maiorano, R. J. McCormick, M. L. Riley, W. C. Russell, F. L. Williams, Jr. and J. D.  
418 Crouse (1990). Effect of plane of nutrition and age on carcass maturity of sheep. *Journal of Animal Science*  
419 68(6): 1616-1623.

- 420 Fiems, L. O., S. De Campeneere, J. L. De Boever and J. M. Vanacker (2002). Performance of  
421 double-muscled bulls affected by grazing or restricted indoor feed intake during the growing period  
422 followed by finishing up to two different slaughter weights. *Livestock Production Science* 77(1): 35-43.
- 423 Gordon, I. J. and A. W. Illius (1992). Foraging strategy: from monoculture to mosaic. In *Progress in sheep*  
424 *and goat research* (ed. AW Speedy), CAB International, Wallingford, UK.: 153-170.
- 425 Keane, M. G. and A. R. Moloney (2009). A comparison of finishing systems and duration for spring-born  
426 Aberdeen Angus x Holstein-Friesian and Belgian Blue x Holstein-Friesian steers. *Livestock Science*  
427 124(1-3): 223-232.
- 428 Kerth, C. R., K. W. Braden, R. Cox, L. K. Kerth and D. L. Rankins Jr (2007). Carcass, sensory, fat color,  
429 and consumer acceptance characteristics of Angus-cross steers finished on ryegrass (*Lolium multiflorum*)  
430 forage or on a high-concentrate diet. *Meat Science* 75(2): 324-331.
- 431 Legrand, A. L., M. A. G. von Keyserlingk and D. M. Weary (2009). Preference and usage of pasture versus  
432 free-stall housing by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 92(8): 3651-3658.
- 433 Mathis, C. P., S. H. Cox, C. A. Loest, M. K. Petersen, R. L. Endecott, A. M. Encinias and J. C. Wenzel  
434 (2008). Comparison of low-input pasture to high-input drylot backgrounding on performance and  
435 profitability of beef calves through harvest. *Professional Animal Scientist* 24(2): 169-174.
- 436 Menezes, L. F. G. d., J. Restle, I. L. Brondani, M. F. da Silveira, L. D. Freitas and L. A. D. Pizzuti (2010).  
437 Carcass and meat characteristics from young Devon steers finished in different feeding systems. *Revista*  
438 *Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science* 39(3): 667-676.
- 439 Meyer, U., W. Stahl and G. Flachowsky (2006). Investigations on the water intake of growing bulls.  
440 *Livestock Science* 103(1-2): 186-191.
- 441 Michell, P. (1982). Value of a rising-plate meter for estimating herbage mass of grazed perennial  
442 ryegrass-white clover swards. *Grass Forage Science* 37: 81-87.
- 443 Mogensen, L., C. C. Krohn, J. T. Sorensen, J. Hindhede and L. H. Nielsen (1997). Association between  
444 resting behaviour and live weight gain in dairy heifers housed in pens with different space allowance and  
445 floor type. *Applied Animal Behaviour Science* 55(1): 11-19.

- 446 Montero-Lagunes, M., F. Indalecio Juarez-Lagunes and H. Sergio Garcia-Galindo (2011). Fatty acids profile  
447 in meat from European x Zebu steers finished on grazing and feedlot conditions. *Revista Mexicana De*  
448 *Ciencias Pecuarias* 2(2): 137-149.
- 449 Moore, J. E., M. H. Brant, W. E. Kunkle and D. I. Hopkins (1999). Effects of Supplementation on Voluntary  
450 Forage Intake, Diet Digestibility, and Animal Performance. *Journal of Animal Science* 77: 122-135.
- 451 Naves, M. (2003). Caracterisation et gestion d'une population bovine locale de la zone tropicale: le bovin  
452 Creole de Guadeloupe. Institut National Agronomique Paris-Grignon. Thèse de Doctorat Sciences  
453 Animales: 283.
- 454 Olmedo, D. O., J. O. J. Barcellos, L. C. Canellas, M. M. S. Velho, P. Paniagua, I. Horita and J. U. Tarouco  
455 (2011). Performance and carcass characteristics of steers finished in rotational grassing or feedlot. *Arquivo*  
456 *Brasileiro De Medicina Veterinaria E Zootecnia* 63(2): 348-355.
- 457 Poppi, D. P. (1996). Predictions of food intake in ruminants from analyses of food composition. *Australian*  
458 *Journal of Agricultural Research* 47: 489-504.
- 459 Powers, J. S., M. D. Corre, T. E. Twine and E. Veldkamp (2011). Geographic bias of field observations of  
460 soil carbon stocks with tropical land-use changes precludes spatial extrapolation. *Proceedings of the*  
461 *National Academy of Sciences of the United States of America* 108:6318-6322.
- 462 Priolo, A., D. Micol and J. Agabriel (2001). Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and  
463 flavour. A review. *Animal Research* 50(3): 185-200.
- 464 Rudstrom, M., H. Chester-Jones, Pas, R. Imdieke, D. Johnson, M. Reese and A. Singh (2005). Comparison  
465 of economic and animal performance of dairy heifers in feedlot and pasture-based systems. *The Professional*  
466 *Animal Scientist* 21: 38-44.
- 467 Sanson, D. W., D. C. Clanton and I. G. Rush (1990). Intake and digestion of low-quality meadow hay by  
468 steers and performance of cows on native range when fed protein supplements containing various levels of  
469 corn. *Journal of Animal Science* 68(3): 595-603.
- 470 Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants.  
471 *Livestock Production Science* 67: 1-18.

- 472 Steen, R. W. J., N. P. Lavery, D. J. Kilpatrick and M. G. Porter (2003). Effects of pasture and  
473 high concentrate diets on the performance of beef cattle, carcass composition at equal growth rates, and the  
474 fatty acid composition of beef. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, Taylor & Francis, 46: 69-81.
- 475 Tayler, J. C. and J. M. Wilkinson (1972). The influence of level of concentrate feeding on the voluntary  
476 intake of grass and on live-weight gain by cattle. *Animal Science* 14(01): 85-96.
- 477 Van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis (1991). Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber,  
478 and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- 479 Webb, E. C. and H. A. O'Neill (2008). The animal fat paradox and meat quality. *Meat Science* 80(1): 28-36.

480

481

482

483

**Table 1.** Chemical composition of forage and concentrate offered to animal indoors or at pasture, and sward characteristics

| Item                                                       | FE     |         |       | CS    |      | P-value |        | Concentrate |
|------------------------------------------------------------|--------|---------|-------|-------|------|---------|--------|-------------|
|                                                            | Stalls | Pasture | NC    | C     | SEM  | FE      | CS     |             |
| DM (%)                                                     | 20.05  | 22.18   | 21.51 | 20.72 | 0.19 | <0.0001 | 0.0809 | 44.51       |
| OM (% DM)                                                  | 90.70  | 90.66   | 90.74 | 90.62 | 0.05 | 0.7059  | 0.1580 | 93.38       |
| CP (% DM)                                                  | 11.07  | 10.46   | 10.56 | 10.98 | 0.19 | 0.0518  | 0.1532 | 36.69       |
| NDF (% DM)                                                 | 71.17  | 69.27   | 70.40 | 70.03 | 0.19 | <0.0001 | 0.3259 | 27.54       |
| ADF (% DM)                                                 | 33.28  | 32.00   | 32.73 | 32.54 | 0.15 | 0.0011  | 0.5767 | 8.33        |
| Lignin (% DM)                                              | 5.04   | 5.23    | 5.24  | 5.04  | 0.05 | 0.2389  | 0.1832 | 1.55        |
| Sward height (mm)                                          | 165.9  | 152.0   | 155.0 | 162.9 | 2.39 | 0.0186  | 0.1438 | -           |
| Bulk density (kg DM.m <sup>-3</sup> )                      | 1.79   | 2.65    | 2.08  | 2.36  | 0.13 | 0.0100  | 0.3506 | -           |
| Herbage mass (kg DM.ha <sup>-1</sup> )                     | 3090   | 3068    | 2995  | 3164  | 73.3 | 0.8864  | 0.2546 | -           |
| Allowance (kg DM.animal <sup>-1</sup> .day <sup>-1</sup> ) | 14.03  | 13.94   | 15.48 | 12.49 | 0.34 | 0.9101  | 0.0002 |             |

**DM:** dry matter; **OM:** organic matter; **CP:** crude protein; **NDF:** neutral detergent fibre; **ADF:** acid detergent fibre; **FE:** feeding environment; **CS:** complementation strategy; **NC:** zero concentrate; **C:** concentrate

**Table 2.** Animal feeding behaviour

| Item                                 | FE     |         |       | CS    |      | P-value |         |
|--------------------------------------|--------|---------|-------|-------|------|---------|---------|
|                                      | Stalls | Pasture | NC    | C     | SEM  | FE      | CS      |
| Eating (min)                         |        |         |       |       |      |         |         |
| Grass                                | 291.8  | 374.5   | 362.3 | 304.0 | 6.70 | 0.0004  | 0.0063  |
| Concentrate                          | 4.05   | 6.46    | 0     | 10.51 | 0.34 | 0.0038  | <0.0001 |
| Drinking (min)                       | 5.39   | 7.81    | 4.06  | 9.14  | 0.94 | 0.1251  | 0.0040  |
| Ruminating (min)                     | 409.7  | 375.3   | 411.9 | 373.1 | 10.0 | 0.0972  | 0.0643  |
| Idle standing (min)                  | 331.1  | 335.2   | 315.3 | 351.1 | 19.8 | 0.8746  | 0.1824  |
| Idle lying (min)                     | 399.9  | 340.7   | 346.5 | 394.1 | 16.5 | 0.0408  | 0.0917  |
| Eating (07.00 h – 20.00 h)           | 300.9  | 343.4   | 350.9 | 293.3 | 5.07 | 0.0006  | <0.0001 |
| Bites (nb.min <sup>-1</sup> )        | 3.75   | 28.61   | 16.75 | 15.61 | 0.38 | <0.0001 | 0.0776  |
| Bite size (g OM.bite <sup>-1</sup> ) | 3.44   | 0.33    | 1.89  | 1.89  | 0.07 | <0.0001 | 0.9834  |

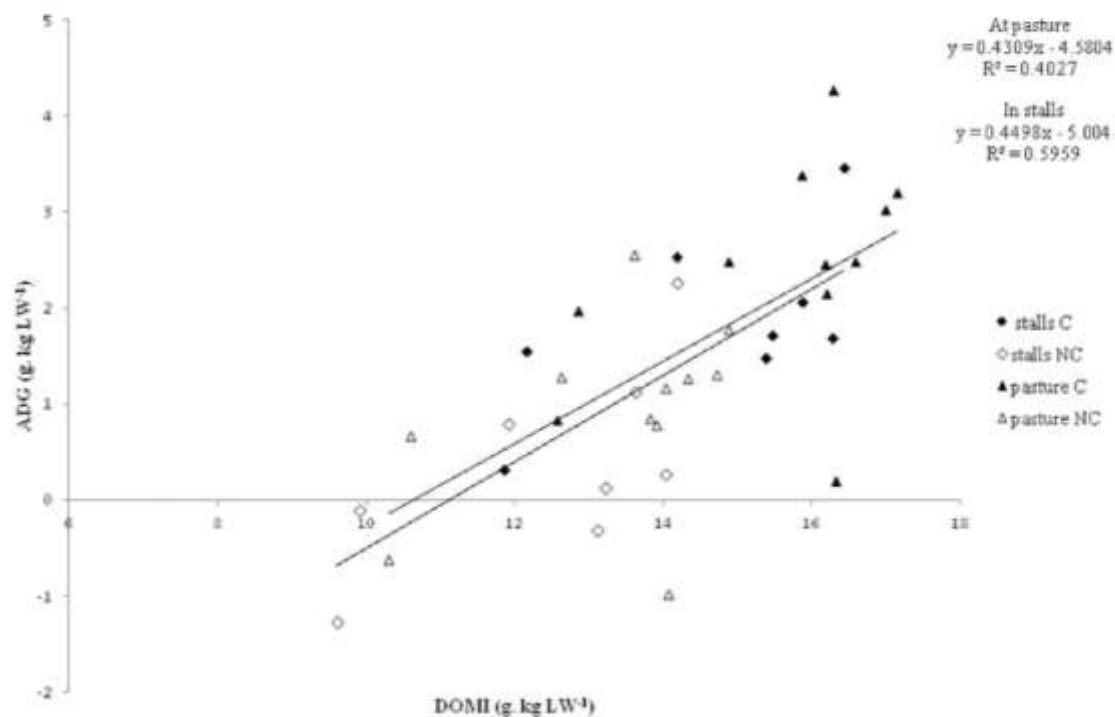
FE: feeding environment; CS: complementation strategy; NC: zero concentrate; C: concentrate; SEM: Standard error of mean

**Table 3.** Growth, organic matter intake, organic matter digestibility, and digestible organic matter intake measured in stalls (*in vivo*) and estimated for stalls and pasture animals by the near infrared spectroscopy (NIRS) method

| Item                                                         | FE     |         | CS    |       | P-value |                 |
|--------------------------------------------------------------|--------|---------|-------|-------|---------|-----------------|
|                                                              | Stalls | Pasture | NC    | C     | SEM     | FE CS           |
| OMI <sub>zero</sub> Grass (g.kg LW <sup>-1</sup> )           | 16.55  | -       | 17.98 | 15.13 | 0.36    | - <0.0001       |
| OMI <sub>zero</sub> diet (g.kg LW <sup>-1</sup> )            | 20.10  | -       | 17.98 | 22.23 | 0.39    | - <0.0001       |
| OMI <sub>NIRS</sub> diet (g.kg LW <sup>-1</sup> )            | 19.82  | 17.79   | 17.55 | 20.06 | 0.40    | 0.0011 <0.0001  |
| OMD <sub>zero</sub> (%)                                      | 66.61  | -       | 63.05 | 70.17 | 0.34    | - <0.0001       |
| OMD <sub>NIRS</sub>                                          | 66.27  | 68.98   | 65.37 | 69.87 | 0.24    | <0.0001 <0.0001 |
| Concentrate (g.kg LW <sup>-1</sup> )                         | 3.68   | 3.68    | 0     | 7.31  | 0.08    | 0.9813 <0.0001  |
| Concentrate in the diet (%)                                  | 16.53  | 26.49   | 0     | 43.47 | 0.89    | <0.0001 <0.0001 |
| DOMI <sub>zero</sub> (g.kg LW <sup>-1</sup> )                | 13.49  | -       | 11.56 | 15.42 | 0.26    | - <0.0001       |
| DOMI <sub>NIRS</sub> (g.kg LW <sup>-1</sup> )                | 13.56  | 14.25   | 12.71 | 15.03 | 0.21    | 0.0494 <0.0001  |
| Water intake (l.day <sup>-1</sup> )                          | 8.56   | 5.59    | 5.18  | 8.97  | 0.25    | <0.0001 <0.0001 |
| ADG (g.kg LW <sup>-1</sup> )                                 | 1.04   | 1.55    | 0.57  | 2.03  | 0.11    | 0.0416 <0.0001  |
| Feed efficiency (g ADG.g OMI <sub>NIRS</sub> <sup>-1</sup> ) | 0.065  | 0.085   | 0.051 | 0.098 | 0.004   | 0.0392 <0.0001  |

**OMI**: organic matter intake; **OMD**: organic matter digestibility; **DOMI**: digestible organic matter intake; **ADG**: average daily gain; **SEM**: Standard error of mean; **FE**: feeding environment; **CS**: complementation strategy; **NC**: zero concentrate; **C**: concentrate; **LW**: live weight

**Figure 1.** Relationship between DOMI and ADG ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ LW}$ ), according to feeding environments (in stalls, at pasture) and complementation strategies (C: with concentrate; NC: without concentrate)



## **DISCUSSION GENERALE**

Ce travail de thèse avait pour objectif de comparer deux modes de production contrastés: la conduite au pâturage et la conduite hors pâturage avec une alimentation à l'auge à base de fourrages verts, plus ou moins complémentés. La discussion qui suit reprend les principaux acquis de cette thèse, **en analysant la démarche**, en étudiant les **différences** entre l'auge et le pâturage que nous avons quantifiées et analysées, et en proposant des **implications pratiques**.

## **I. Analyse de la démarche de recherche**

**Les principaux apports** de cette thèse montrent qu'il existe bien des différences de performances liées au mode de conduite, mais que cet effet est surtout lié à la stratégie de complémentation mise en œuvre.

Les résultats du premier essai (Publication 1) ont permis de **caractériser la croissance, les caractéristiques d'abattage et de carcasse** de taurillons Créoles élevés à l'auge (avec apport de concentré) vs. au pâturage (sans apport de concentré) et abattus à deux âges différents (précoces vs. tardifs). Ces résultats ont permis de révéler qu'abattre plus tardivement les animaux au pâturage permettait non seulement d'atteindre des poids comparables à ceux de l'auge, mais aussi permettait l'obtention de carcasses plus riches en muscle et donc plus adaptées à la demande des consommateurs. L'étude de la bibliographie (Publication 2), au travers d'une méta-analyse, nous a aidé à **comprendre les différences généralement rapportées** entre les systèmes à l'auge et au pâturage dans toutes les études comparatives de ces deux milieux déjà publiées, et a mis en évidence l'importance de la stratégie de complémentation sur ces différences. Un deuxième essai (Publication 4) a été mise en place afin de **mieux comprendre** les différences de performances observées et à **vérifier nos hypothèses les expliquant**, en prenant soin d'harmoniser les conditions d'alimentation à l'auge et au pâturage (même fourrage, même niveau de complémentation). A travers ce dispositif, nous avons en effet confirmé les effets du mode de conduite (auge vs. pâturage) et vérifié le rôle de la stratégie de complémentation, quel que soit le milieu sur la croissance, l'ingestion, la digestibilité, la consommation d'eau et le comportement alimentaire de taurillons Créoles.

Ces essais ont été réalisés après des investigations méthodologiques préalables (Publication 3) qui nous ont permis de valider l'utilisation de la méthode d'analyse par SPIR pour estimer au l'ingestion et la digestibilité des aliments pâturage.

**Les principales contraintes** du travail réalisé ont été liées à la nécessité de travailler de façon simultanée et cohérente dans les deux milieux d'alimentation. Ainsi, la programmation des mesures et observations aux mêmes heures à l'auge et au pâturage a requis d'avantage de main d'œuvre que pour des protocoles classiques. De plus, Il a aussi fallu adapter les méthodes au contexte propre à chaque mode de conduite, afin d'obtenir des paramètres comparables dans les deux systèmes (par ex. consommation d'eau ; prélèvements de fèces ; observation de comportement).

Entre les 2 essais, les conduites « auge » et « pâturage » ont été menées de manière différente. Au pâturage, lors de l'essai 1, les taurillons étaient en **pâturage en rotation**, tandis qu'il s'agissait du **pâturage au piquet** lors de l'essai 2. Dans l'essai 1, le choix d'un pâturage en rotation se justifiait, car l'objectif était de comparer les effets de systèmes de productions contrastées sur les performances de croissance et d'abattages de taurillons Créoles, et nous n'avions pas besoin de réaliser des mesures individuelles d'alimentation. Dans l'essai 2, nous avons fait le choix du pâturage au piquet, car cette conduite nous permettait d'avoir des mesures individuelles (Boval et al. 2003; Boval et al. 2012), plutôt que des mesures moyennes à l'échelle d'un troupeau, et facilitait la contention des animaux pour les prélèvements d'échantillons propres à chaque animal (caractérisation du fourrage offert, collecte de fèces). Cette conduite est par ailleurs en parfaite adéquation avec les pratiques d'élevage locales. Comme pour le pâturage, à l'auge, le choix **d'un bâtiment d'élevage** lors du 1<sup>er</sup> essai et de **cages individuelles** dans la seconde a été fait en fonction des mesures à réaliser respectivement. Lors de l'essai 1, les mesures individuelles ont été des pesées périodiques, toutes les deux semaines, dans une bascule mécanique, et des mesures individuelles en fin d'engraissement : mensurations en vif réalisées en cage de contention, et mesures sur les carcasses à l'abattoir. Lors de l'essai 2, les cages individuelles avec des auges, se sont révélées indispensable à la réalisation en continu sur plusieurs jours des mesures individuelles des quantités ingérées (par différence des quantités proposées et refusées), et de l'excrétion fécale. Au cours de l'essai 2, nous avons eu du mal à maîtriser l'ensemble des conditions expérimentales et notamment **l'ambiance du bâtiment**. Ainsi, aux heures les plus chaudes de la journée, la température à l'auge était supérieure de 3 à 5° C à celle du pâturage. Ces différences de température entre les deux milieux ont été constatées en fin d'expérimentation et non pu être contrôlées pendant les périodes de mesures. Toujours est il qu'ils ont probablement impacté les résultats observés à savoir un moins bon GMQ et une plus grande consommation

d'eau pour les animaux à l'auge. De plus, nous n'avons pas pu mesurer les dépenses énergétiques des animaux dans les deux conduites et il serait intéressant par la suite de les quantifier.

## **II. La comparaison Auge vs pâturage**

Au cours de ce travail de thèse, nous avons pu mettre en évidence un certain nombre d'effets du mode de conduite sur les performances animales, aussi bien à travers la méta-analyse, qu'à travers les deux essais réalisés.

### **Différences observées entre l'auge et le pâturage**

Les comparaisons entre les conduites à l'auge et au pâturage à ration égale sont rares dans la bibliographie. A notre connaissance, seules dix études ont comparé les deux conduites avec la même alimentation, tous ruminants confondus (Handayani and Gatenby 1988; Moniruzzaman et al. 2002; Alexandre et al. 2009; Carrasco et al. 2009; Carrasco et al. 2009; Marino et al. 2009; Fanchone et al. 2010; Jacques et al. 2011; Kaufmann et al. 2011; Fanchone et al. 2012). Dans ces travaux publiés, les performances de croissance sont classiquement plus importantes à l'auge, comparativement au pâturage.

La comparaison entre les deux modes de conduite sont généralement menées dans des conditions très contrastées, avec une distribution d'une complémentation à l'auge et une alimentation uniquement assurée par les fourrages verts au pâturage. En cohérence avec ces travaux, nous avons mesuré une meilleure croissance pour les animaux à l'auge en comparaison avec les animaux au pâturage lors de l'essai 1 (3.00 vs 2.01 g/ kg PV/jour). En revanche, les comparaisons entre les conduites à l'auge et au pâturage à ration égale sont rares. Les comparaisons à ration égale, telles qu'elles ont été réalisées dans la méta-analyse et l'essai 2), n'ont pas montré les mêmes résultats. En effet, pour la méta-analyse des études ayant fait une comparaison stricte des deux modes de conduite, il n'y avait plus de différence entre les deux GMQ. Par ailleurs dans l'essai 2, un moindre GMQ était obtenue chez les animaux à l'auge, comparativement au pâturage (1.04 vs. 1.55 g/ kg PV/jour), contrairement à ce qui est classiquement publié, du fait probablement des conditions d'ambiance climatique des animaux a l'auge dans cet essai.

Les effets du mode de conduite sur les **caractéristiques d'abattage et de carcasses** dépendent également, comme pour le GMQ, des conditions d'alimentation dans les deux milieux étudiées. Lors de l'essai 1, l'étude des deux milieux révèle que les animaux à l'auge recevant une complémentation, avaient des RCC et RCF plus élevés (56.2 vs 54.2 % et 55.0 vs 52.9 %, respectivement), et avaient des carcasses plus grasses (164 vs 145 g/ kg de PCF) qu'au pâturage. Toutefois, plutôt que de comparer des modes de conduite, nous avons surtout comparé des systèmes d'alimentation, puisqu'au pâturage les animaux ne recevaient pas de complémentation.

Nous avons pu mettre en évidence lors de la méta-analyse, que les effets du mode de conduite sur ces variables variaient en fonction de la stratégie de complémentation. Ainsi, lorsque l'on considérait la présence ou non de concentré, le mode de conduite n'avait plus d'effet sur le RCC, ni sur les pourcentages de muscles et d'os. D'autre part, lorsque l'on considérait le pourcentage de concentré, le mode de conduite n'avait plus d'effets sur le GMQ et le RCC. Enfin, lorsque l'on considérait la quantité de concentré dans la ration l'effet du mode de conduite sur le GMQ et la part de tissu musculaire était modifié.

Les différences entre la conduite à l'auge et au pâturage se sont également observées au niveau de **l'efficacité alimentaire**. Lors de l'essai 2, nous avons observé une moins bonne efficacité alimentaire à l'auge, qu'au pâturage (0.065 vs 0.085 g GMQ/ g MOI), responsable en partie du plus faible GMQ observé pour ces animaux (1.55 vs 1.04 g/ kg PV, essai 2). Le mode de conduite a également impacté la **consommation d'eau** des animaux. Dans l'essai 2, les animaux à l'auge ont consommé davantage d'eau que ceux au pâturage (8.56 vs 5.59 l/ jour). Ces différences s'expliquent probablement par l'influence de la température ambiante plus élevée dans l'essai 2 pour les animaux à l'auge, qui a pu entraîner des besoins d'entretien supérieurs pour assurer la thermorégulation des animaux à l'auge par rapport à ceux au pâturage.

Lors de l'essai 2, nous n'avons pas identifié d'effet de **l'interaction** (mode de conduite x stratégie de complémentation) sur les variables étudiées, mais nous avons remarqué que la stratégie de complémentation influençait davantage les variables étudiées que le mode de conduite.

### **Principaux effets du mode de conduite**

Au cours des deux essais et de la méta-analyse, nous avons donc identifié plusieurs effets du mode de conduite, notamment au niveau du GMQ, des caractéristiques d'abattage et de carcasses, de l'alimentation et de la consommation d'eau. Nous avons expliqué ces différences principalement par 4 facteurs, qui caractérisent bien les deux modes de conduite : les modalités d'allocation et la présentation du fourrage, la stratégie de complémentation, les dépenses énergétiques et les conditions environnementales.

L'alimentation à l'auge et au pâturage divergent principalement par les modalités d'allocation et **la présentation du fourrage**. A l'auge, le fourrage est préalablement fauché et tassé dans une auge, avant d'être distribué, tandis qu'au pâturage, il est directement pâture sur pied, par l'animal. Ainsi, pour un même fourrage distribué à l'auge vs directement pâture, les comportements et les modalités de sélection et de préhension du même fourrage sont très variables.

Ainsi, au pâturage, les animaux ont davantage la possibilité de sélectionner un fourrage de meilleure qualité, permettant de couvrir au mieux leurs besoins. Le fourrage prélevé présente alors une meilleure digestibilité, comme nous l'avons mesuré dans l'essai 2, étant supérieure au pâturage de 4 % environ, à celle de l'auge. Des travaux comparatifs antérieurs avec des ovins (Fanchone et al. 2010; Rustas et al. 2010; Fanchone et al. 2012) avaient également montré que le fourrage pâture avait une meilleure digestibilité que le même fourrage fauché et distribué dans une auge, du fait d'une meilleure sélection de l'herbe ingérée au pâturage.

Les modalités d'allocation du fourrage influencent également la préhensibilité. Selon (Fanchone et al. 2010), le fourrage fauché et distribué tassé dans l'auge, serait plus facilement préhensible et donc ingéré, que celui pâture sur pied. Au pâturage, l'ingestion serait pénalisée par le temps passé à trier, impliquant de ce fait de petites bouchées, plus fréquentes (Oshita et al. 2008). Nous avons en effet observé au cours de l'essai 2, un nombre de bouchées par minute supérieur au pâturage (28.61 vs 3.75 nb/min) et une taille de bouchées par conséquent plus faible (0.33 vs 3.44 g MO/ bouchée), comparativement à l'auge. Cependant, il faut noter que les bouchée « pâturage » sont bien différentes des bouchées « auge » et que l'estimation de ces dernières est par conséquent biaisée. Au pâturage en effet une bouchée résulte de l'arrachage du fourrage, en une ou plusieurs fois avant mastication ingestive et déglutition ; le bruit d'arrachage aidant d'ailleurs au comptage des bouchées. En revanche à l'auge, une bouchée

résulte de la prise directe de fourrage et il est difficile de distinguer de façon unitaire chaque prise, la tête de l'animal enfouie dans son auge. Quoiqu'il en soit, la plus petite taille de bouchées des animaux au pâturage peut résulter en de petites particules dans le rumen avec un taux de passage plus élevé (Oshita et al. 2008), et contribuant à une meilleure digestibilité de la ration, et parfois un temps de rumination plus faible.

Ce phénomène de compromis entre qualité du fourrage et niveau d'ingestion, déjà rapporté dans d'autres travaux (Delagarde and O'Donovan 2005; Boval et al. 2007; Boval et al. 2010), a également été mis en évidence au cours de ce travail de thèse. Ainsi dans l'essai 2, le fourrage prélevé au pâturage a été plus digestible (68.98 vs 66.27, essai2), mais moins bien ingéré qu'à l'auge (17.79 vs 19.82). Au pâturage, il convient d'améliorer surtout la préhensibilité du fourrage (Boval and Dixon 2012)

Différentes **stratégies de complémentation** ont été mise en œuvre à l'auge et au pâturage. Les effets de ces différences de stratégie de complémentation ont pu être observés lors des essais 1 et 2 et de la méta-analyse.

En effet, avec des conditions d'alimentation différentes dans les 2 milieux (lors de l'essai 1), les animaux à l'auge avaient une ration de densité énergétique supérieure due à la présence de concentré. Ainsi, comparé aux animaux élevés exclusivement au pâturage, cet apport énergétique supplémentaire a favorisé une croissance supérieure (meilleur GMQ), de meilleurs rendements de carcasse et une plus grande part de tissu adipeux sur la carcasse (Danner et al. 1980; Bines and Hart 1982). La comparaison des modes de conduite à l'auge et au pâturage, telle qu'elle a été menée dans l'essai 1, a globalement confirmé d'autres résultats obtenus dans la bibliographie (Naves 2003; Bruns et al. 2004; Montero-Lagunes et al. 2011) ; les conditions expérimentales de cet essai sont en effet en adéquation avec la stratégie de complémentation fréquemment appliquée à l'auge, avec de forts pourcentages d'aliments concentrés, comparé à un pâturage souvent extensif sans complémentation. Ainsi, les différences habituellement mises en évidence dans la majorité des études (croissance, engraissement, etc...) sont davantage liées à la densité nutritionnelle de la ration qu'aux conditions d'élevage à l'auge et au pâturage.

L'importance de la stratégie de complémentation sur les effets du mode de conduite, a été révélée au cours de la méta-analyse. Elle nous a permis de constater que les stratégies de complémentation variaient d'un mode de conduite à l'autre et que la majorité des études sur les conduites auge vs pâturage comparaient surtout des « systèmes d'alimentation ». Nous avons mis en évidence que les principales différences rapportées résultaient des effets combinées du

mode de conduite et de la stratégie de complémentation, notamment en fonction de la présence ou non de concentré, du pourcentage de concentré et de la quantité de concentré. Au cours de l'essai 2, nous avons étudié les effets de l'apport de concentré. Nous avons observé que globalement, l'addition de concentré améliorait l'ensemble des performances animales, à savoir, le GMQ, l'ingestion, la digestibilité, la MODI, l'efficacité alimentaire et la consommation d'eau. Les effets de la complémentation ont fait l'objet d'un certain nombre d'études ayant montré des résultats similaires (Tayler and Wilkinson 1972; Caton and Dhuyvetter 1997; Moore et al. 1999; Meyer et al. 2006). Il serait intéressant par la suite de spécifier les effets respectifs du mode de conduite et de la stratégie de complémentation, sur les caractéristiques d'abattage et de carcasse, ce qui n'a pu être abordé dans notre étude.

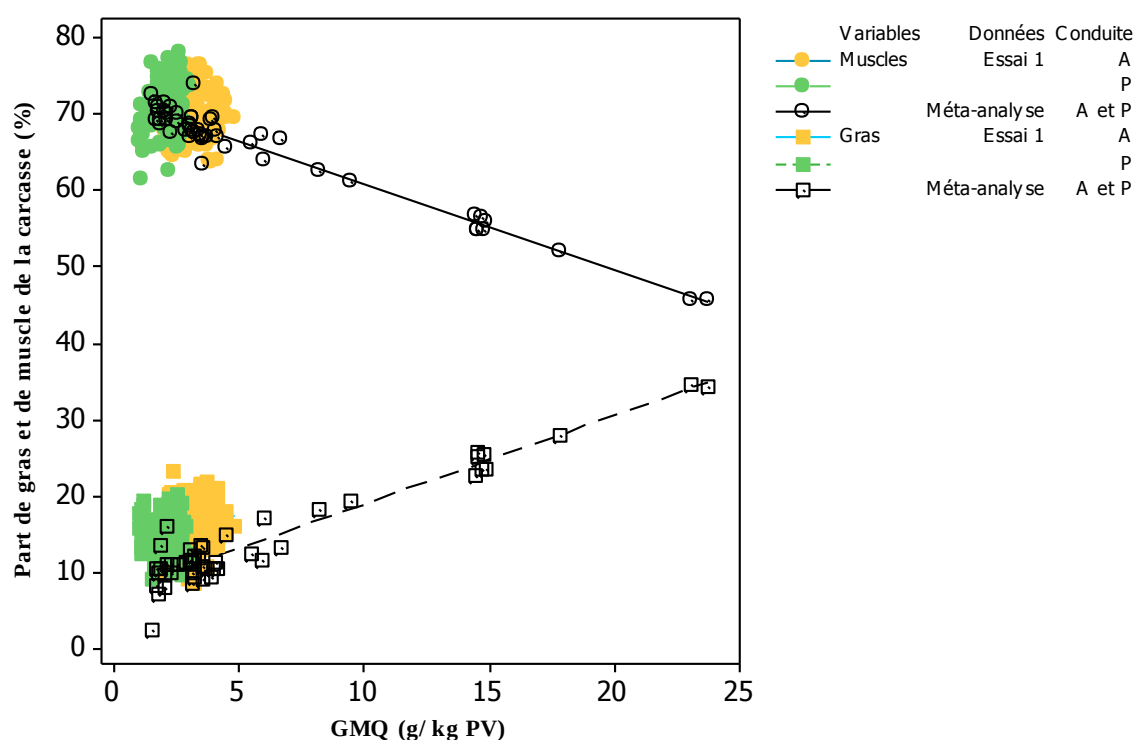
Nous avons également expliqué les différences entre les conduites à l'auge et au pâturage par les **dépenses énergétiques**, en lien avec le niveau d'activité physique. Du fait de leurs activités d'affouragement les animaux au pâturage ont des dépenses énergétiques supérieures à celles des animaux à l'auge. Les activités d'affouragement ainsi que la marche entraîneraient plus de dépenses énergétiques que la rumination, le repos debout ou couché (Susenbeth et al. 1998; Aharoni et al. 2009). Lors de l'essai 2, nous avons observé que les animaux à l'auge passaient davantage de temps, en repos couché que les animaux au pâturage (400 vs 341 min/ jour), conformément aux résultats de Legrand et al. (2009). Les animaux au pâturage, quant à eux, passaient davantage de temps à ingérer du fourrage et éventuellement du concentré (environ 381 vs 296min / jour). Cette répartition journalière des activités à l'auge et au pâturage a donc entraîné des dépenses énergétiques supérieures au pâturage. Selon Kaufmann et al. (2011), les animaux au pâturage auraient une dépense énergétique supérieure de 20% à celle des animaux à l'auge. Le niveau d'activité physique plus faible à l'auge a entraîné dans l'essai 1, des dépôts de tissu adipeux supérieurs, à ceux du pâturage (164 vs. 145 g /kg PCF). Cependant dans l'essai 2, il semble que les conditions thermiques aient été en revanche défavorables pour les animaux à l'auge.

Les conditions environnementales varient également très fortement suivant le mode de conduite, au pâturage et à l'auge, et peuvent influencer les performances. Le plus souvent, les animaux à l'auge sont en bâtiment, à l'exception des conduites en parcs d'engraissement, où là, les animaux sont maintenus en plein air. Au pâturage, les animaux sont maintenus en plein air et sont donc soumis aux effets directs du climat. Les effets de la chaleur sur les performances animales ont fait l'objet de revues bibliographiques (Morrison 1983; Hahn 1995), qui ont

montré que les baisses de performances surviennent généralement lorsque la température ambiante dépasse 25 °C. Nous avons réalisé nos deux essais sur des taurillons de race Créole, acclimatés aux contraintes thermiques locales (Naves 2003). Lors de l'essai 1, nous n'avons pas relevé les températures ambiantes, mais les animaux étaient maintenus dans un bâtiment entièrement ouvert et ventilé. Par ailleurs, l'ombrage dont ont bénéficié les animaux à l'auge, lors de l'essai 1, a entraîné des dépôts de tissus adipeux plus importants (Mitlöhner et al. 2001). Ainsi pour une bonne efficacité de l'affouragement à l'auge, l'ambiance du bâtiment (ventilation, température), outre la qualité de l'alimentation, est importante à considérer, particulièrement en climat tropical.

### Apport de connaissances générales

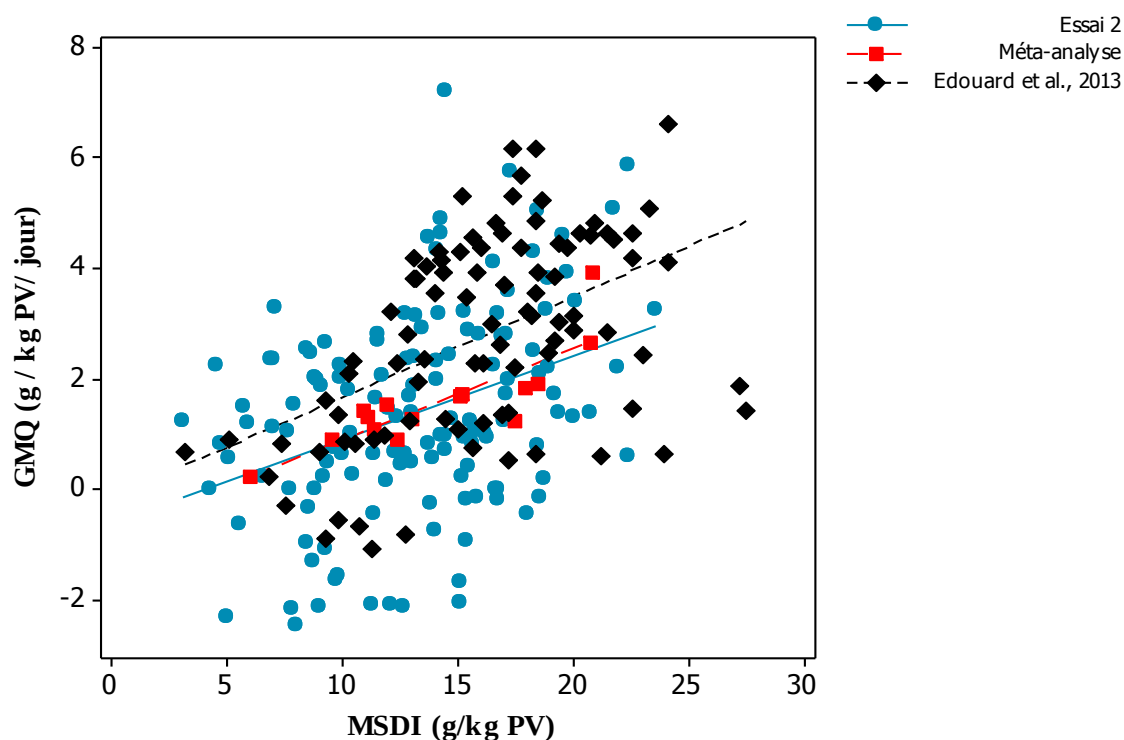
Les relations obtenues entre le GMQ et les pourcentages de gras et de muscle de la carcasse lors de l'essai 1, s'intègrent bien dans le nuage de points de la méta-analyse pour les bovins (Figure 8). En effet, la gamme de GMQ obtenue expérimentalement s'inscrit dans celle initialement observée dans la méta-analyse (entre 0 et 5 g / kg PV/ jour). Lorsque l'on tient compte de mode de conduite, nous observons bien le prolongement des nuages du pâturage à l'auge, aussi bien pour le pourcentage de gras que de muscle dans la carcasse.



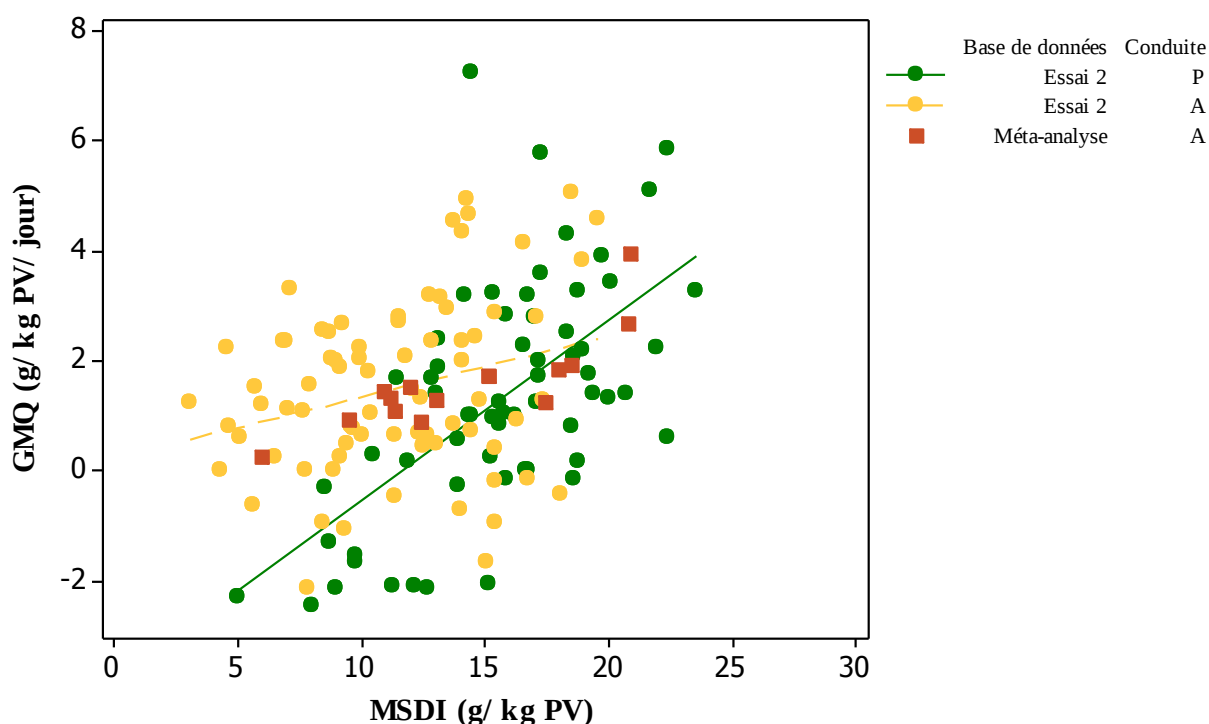
**Figure 8.** Positionnement des relations entre le GMQ et les pourcentages de gras et de muscle obtenus lors de l'essai 1 par rapport à celles issues de la méta-analyse

Les relations entre MSDI et GMQ acquises expérimentalement (essai 2) et issues de la méta-analyse, s'intègrent relativement bien dans le nuage de point des données de Edouard and Boval (2010) (Figure 9).

La comparaison des relations entre l'auge et le pâturage complète également la connaissance acquise dans la littérature sur les comparaisons auge vs pâturage (Figure 10).



**Figure 9.** Positionnement des relations entre la MSDI et le GMQ obtenues expérimentalement lors de l'essai 2 par rapport à celles issues de la méta-analyse et de Edouard et Boval (2010)



**Figure 10.** Positionnement des relations entre la MSDI et le GMQ obtenues expérimentalement à l'auge et au pâturage lors de l'essai 2 par rapport à celles issues de la méta-analyse

Nos résultats expérimentaux sont donc tout à fait cohérents avec les résultats cités dans la littérature, et constituent un apport original dans des domaines jusque là peu étudiés. En effet, ce travail de thèse apporte des connaissances supplémentaires i) sur le pâturage, ii) en terme de lien entre le pâturage et l'auge qui est considéré comme la conduite de référence, iii) en données individuelles, iv) sur une large gamme de variables (ressources alimentaires, ingestion, digestion, GMQ, caractéristiques d'abattage et de carcasses).

De plus, cette cohérence entre les données de cette thèse et celles de la bibliographie laisse penser que les mécanismes et relations identifiés peuvent être extrapolés à d'autres situations. En effet, le site de notre étude positionné en zone tropicale humide de type Aw, selon la classification de Koppen (Peel et al. 2007), peut être représentatif de d'autres sites de même type, tels que l'Indonésie, l'Inde, le Brésil, le Mexique, le Niger, l'Australie, la Caraïbe, le Kenya et parfois même la Colombie.

### III. Implications pratiques

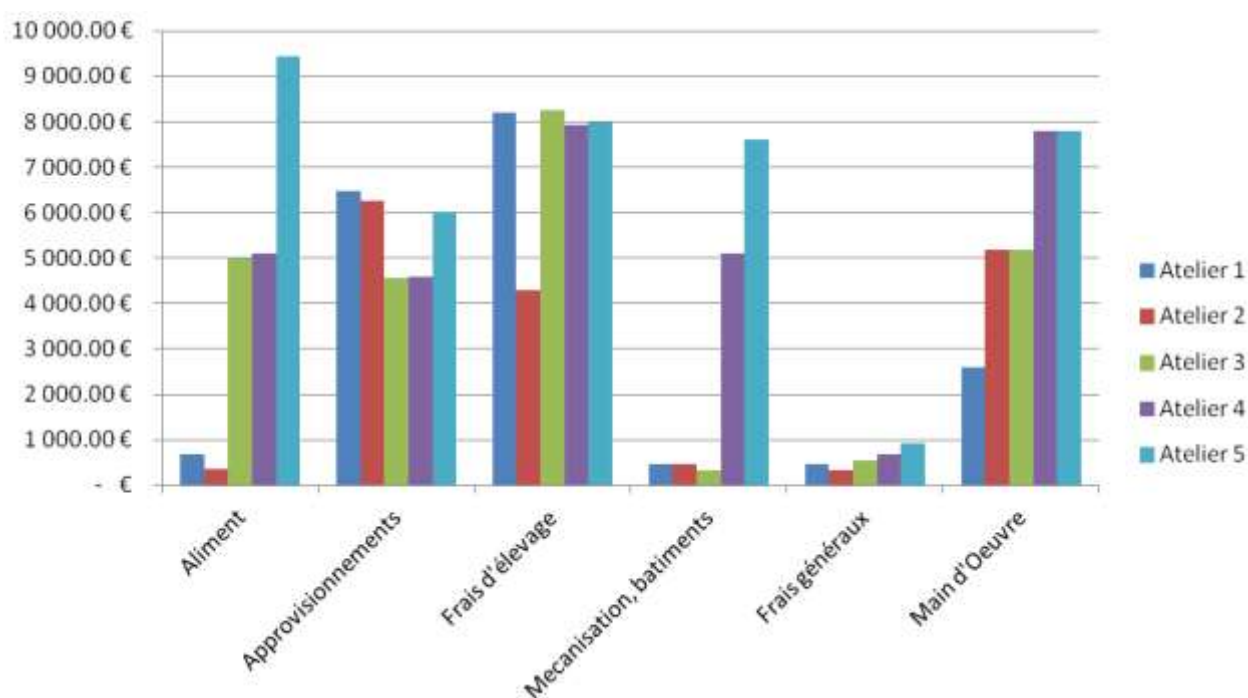
Les enjeux actuels pour les systèmes d'élevage sont d'arriver à concilier l'efficacité de la production avec les contraintes économiques et la préservation de l'environnement. Ainsi, afin de mener une comparaison exhaustive des conduites à l'auge et au pâturage, nous avons voulu prolonger cette comparaison par une analyse technico-économique et une estimation des émissions de méthane (CH<sub>4</sub>). Dans cette partie de la discussion, nous avons également voulu aborder les implications que nos résultats pourraient avoir pour les éleveurs et les professionnels de l'élevage.

**L'analyse technico-économique**, a été réalisée sur cinq ateliers d'élevage simulés (Annexe 1) menés dans des conditions similaires à celle que nous avons étudiées expérimentalement (Tableau 2).

**Tableau 2.** Synthèse des ateliers étudiés lors de l'analyse technico-économique

|                                        | <b>Atelier 1</b>        | <b>Atelier 2</b>      | <b>Atelier 3</b>                  | <b>Atelier 4</b>                  | <b>Atelier 5</b>                  |
|----------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Essai                                  | Essai 1                 | Essai 2               | Essai 2                           | Essai 2                           | Essai 1                           |
| Conduite                               | Pâturage<br>en rotation | Pâturage<br>au piquet | Pâturage au<br>piquet             | Auge                              | Auge                              |
| Alimentation                           | Fourrage                | Fourrage              | Fourrage +<br>40% de<br>concentré | Fourrage +<br>32% de<br>concentré | Fourrage +<br>60% de<br>concentré |
| Charges annuelles<br>totales (hors MO) | 16335                   | 11684                 | 18666                             | 23431                             | 31984                             |
| Main d'œuvre                           | 2595                    | 5190                  | 5190                              | 7786                              | 7786                              |
| Charges (hors MO) /<br>100 kg PBVV     | 319                     | 235                   | 382                               | 453                               | 611                               |
| Main d'œuvre<br>/ 100 kg PBVV          | 51                      | 104                   | 106                               | 150                               | 149                               |
| Produits annuels                       | 16626                   | 8148                  | 16084                             | 17254                             | 23968                             |
| Produit / 100 kg<br>PBVV               | 325                     | 328                   | 329                               | 333                               | 332                               |

Nous avons montré que le mode de conduite influençait les performances économiques des ateliers. Ainsi, les conduites au pâturage (avec et sans complémentation) permettaient moins de charges que les conduites à l'auge avec concentré, malgré des produits (vente d'animaux et de carcasses) plus faibles (Figure 11). Nous avons expliqué ces résultats par des coûts de production supérieurs d'environ 70.7 % en moyenne à l'auge par rapport aux conduites au pâturage ; le coût de la main d'œuvre étant le plus gros poste de dépenses à l'auge, supérieur d'environ 80% en moyenne pour les ateliers à l'auge. Le mode de conduite a également influencé la répartition des différents coûts de production intra atelier. En effet, au pâturage les principaux postes de dépense étaient les approvisionnements liés aux surfaces et les frais d'élevage, tandis qu'à l'auge, la répartition des coûts de production était relativement homogène.



**Figure 11.** Contribution des différents postes au coût de production total

Ces résultats technico-économiques sont cependant à considérer avec précaution, car les estimations des divers coûts et produits ont été réalisées à l'échelle de l'exploitation du Domaine de Gardel. Il serait intéressant de réaliser une étude économique plus précise, dans le cadre d'ateliers de production suivis en situation réelles, afin de confirmer ou d'infirmer nos résultats.

Pour apprécier l'impact environnemental des différents modes de conduite. Nous avons estimé les **émissions de CH<sub>4</sub>** à partir des paramètres d'alimentation mesurés lors de l'essai 2. Pour cela, nous avons utilisé une équation développée par Archimède et al. (2011), à partir de la MOI et de la dMO et de la teneur en NDF du fourrage (NDFf).

L'équation utilisée était la suivante :

$$\text{CH}_4 \text{ L/kg OMI} = 0.9 + 39.8 \times \text{dMO} + 18.9 \times \text{NDFf} - 0.2 \times \text{OMI} / \text{PV}^{0.9}$$

**Tableau 3.** Estimation des émissions de méthane (CH<sub>4</sub>) de taurillons élevés à l'auge et au pâturage et ayant reçu du concentré ou non

| Paramètres                    | Moyenne | Ecart-type | Variation     | A + C | A NC  | P + C | P NC  |
|-------------------------------|---------|------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
| (n)                           | 103     | -          | -             | 23    | 19    | 29    | 32    |
| dMO SPIR                      | 68,46   | 3,73       | 58.39 - 76.04 | 69,29 | 64,61 | 71,47 | 67,43 |
| NDF ration                    | 62,30   | 10,27      | 33.56 - 75.57 | 56,77 | 71,28 | 53,28 | 69,12 |
| MOI (g/kg PV <sup>0.9</sup> ) | 33,99   | 6,75       | 15.83 - 47.07 | 39,13 | 34,65 | 34,07 | 29,84 |
| CH <sub>4</sub> (l/kg/MOI)    | 33,13   | 2,19       | 28.08 - 39.05 | 31,38 | 33,16 | 32,6  | 34,83 |
| CH <sub>4</sub> (l/kg/animal) | 149,6   | 31,1       | 76.9 - 236.2  | 164,3 | 149,9 | 147,7 | 140,5 |
| GMQ (g/ jour)                 | 437,8   | 272,5      | 35.7 - 1142.9 | 563,3 | 263,1 | 571,7 | 330,1 |
| CH <sub>4</sub> (l/kg GMQ)    | 583,7   | 615,3      | 147.7 - 4224  | 395,1 | 1061  | 378,2 | 621,9 |

Selon nos estimations, les émissions de CH<sub>4</sub> en l/kg/animal, seraient plus élevées à l'auge qu'au pâturage (Tableau 3), et les animaux supplémentés émettraient moins de CH<sub>4</sub> que ceux non supplémentés. Lorsque les estimations sont considérées en l/kg de GMQ, les animaux au pâturage émettraient moins de CH<sub>4</sub> par kg de croît. L'apport de concentré permet de diminuer très nettement ces émissions.

Selon nos estimations, la conduite au pâturage avec complémentation émettrait le moins de CH<sub>4</sub>.

Les comparaisons strictes auge vs pâturage sont rares, et n'ont pas permis de conclure sur un réel effet du mode de conduite. De plus, les comparaisons d'émission de CH<sub>4</sub> entre l'auge et le pâturage, n'ont pas toujours été faites dans des conditions similaires, avec notamment d'importantes différences au niveau de l'alimentation. Selon une étude de Harper et al. (1999), les bovins au pâturage émettraient davantage de CH<sub>4</sub> que ceux à l'auge. Cependant cette comparaison a été faite avec des rations alimentaires très différentes: à l'auge les animaux recevaient une ration hautement digestible, riche en concentré, tandis qu'au pâturage, ils ne recevaient que du fourrage. Ces résultats sont donc principalement dus aux rations alimentaires

apportées, conformément aux observations de Sauvant and Giger-Reverdin (2009). Nos estimations sont cohérentes avec ces résultats, dans la mesure où nous observons aussi des émissions plus élevées au pâturage sans complémentation qu'à l'auge avec complémentation. Elles sont également cohérentes avec les résultats de Archimède et al. (2011), mesurés dans des conditions environnementales similaires.

Toutefois, ces estimations sont empreintes de beaucoup d'incertitudes. Nous ne savons pas si l'équation initialement appliquée pour une ration à base de fourrage seul, est également valable avec une ration à base de fourrage et de concentré. De plus, les plages de variations des paramètres utilisés dans l'équation sont très importantes et cela influe sur la plage de variation des résultats. Enfin, nous n'avons pas réellement mesuré les émissions des animaux. Il serait intéressant par la suite de réaliser de réelles mesures pour à la fois vérifier la validité de l'équation, préciser l'incidence des différents paramètres et évaluer les émissions réelles. Cette problématique est d'autant plus importante en région tropicale, car une étude récente a montré que les ruminants alimentés avec des fourrages tropicaux produiraient plus de  $\text{CH}_4$  que ceux nourris avec des fourrages tempérés (Kurihara et al. 1999; Eugene et al. 2010).

Ce travail de thèse a permis de caractériser et de mieux comprendre les performances et les caractéristiques de carcasses de taurillons Créoles élevés à l'auge et au pâturage. Il apporte des éléments de référence pour les **professionnels locaux**, dans des conditions expérimentales représentatives des conditions d'élevage locales (animaux de race Créole ; ressources fourragères locales ; pratiques d'élevage, comme la conduite au piquet). Les principaux résultats de thèse peuvent servir de support aux éleveurs, qui désirent constituer un cahier des charges pour la certification de leurs produits. Cette démarche, permettrait entre autres, de davantage valoriser la viande bovine locale.

Le pâturage au piquet est le mode d'élevage bovin le plus pratiqué en Guadeloupe. L'usage de cette pratique est ancestrale et a été maintenu au fil des ans car elle présente de nombreux avantages. Nous avons démontré que cette pratique présente de réels intérêts, tant du point de vue productif, qu'économique ou environnemental. En effet, nous avons obtenus de bonnes croissances, grâce à une alimentation de qualité permise par le pâturage et grâce à une complémentation. Cette conduite permettrait également des charges moindres ainsi qu'un plus faible impact environnemental. Par ailleurs il a été démontré qu'à stratégie de complémentation égale, des jeunes bovins élevés au pâturage pouvaient atteindre des performances similaires (méta-analyse) ou supérieures (essai 2) à celles obtenues à l'auge. »

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Lors de cette thèse, nous avons successivement mis en œuvre différentes approches afin d'évaluer l'impact de différents modes de production sur les performances animales en production de viande bovine, à travers (1) une comparaison de systèmes de production contrastés, (2) une analyse de la littérature dans le cadre d'une méta analyse, (3) la mise au point d'une méthodologie applicable au pâturage afin de préciser les effets de l'alimentation, en comparaison avec une conduite à l'auge, et (4) l'analyse des effets respectifs de ces deux modes de conduite et de l'apport d'une complémentation.

Ainsi, les résultats que nous avons obtenus dans l'ensemble de ce travail montrent que le mode de conduite (auge vs pâturage) et l'âge d'abattage entraînent des différences d'alimentation, de croissance et de caractéristiques de carcasses et d'abattage. Cependant les résultats de la méta analyse ont montré que les différences habituellement rapportées entre l'auge et le pâturage dans la bibliographie dépendent en grande partie de la combinaison des effets du mode de conduite et de la stratégie de complémentation (présence et type de concentré et niveau de complémentation). La stratégie de complémentation a ainsi des effets plus importants que le mode de conduite sur les différents paramètres étudiés dans notre deuxième essai.

Nos résultats ont montré que les **animaux au pâturage pouvaient atteindre des performances identiques à celles obtenues à l'auge**. Cependant, ces résultats n'ont pas pu être vérifiés expérimentalement, car la température ambiante plus élevée à l'auge a constitué un réel biais pour la comparaison stricte des conduites auge et pâturage. En effet, elle a en partie entraîné de plus faibles GMQ, malgré une meilleure MODI, ainsi qu'une consommation accrue d'eau. Des études en conditions contrôlées permettraient non seulement de maîtriser l'ensemble des paramètres expérimentaux (conditions thermiques, qualité du fourrage etc...) mais également de fournir une vraie comparaison entre ces deux modes de conduite.

Nous avons également montré qu'en fonction de l'âge d'abattage, **la conduite au pâturage permettait l'obtention d'une viande plus riche en muscles**. Au cours de la première expérimentation, le mode de conduite et l'alimentation étaient confondus. Nous n'avions pas pu alors spécifier les impacts respectifs de ces deux paramètres. Les résultats de la méta-analyse ont alors montré que l'alimentation et plus spécifiquement l'apport ou non de concentré, influençait la part de tissu musculaire de la carcasse. La méta-analyse a également montré que

la composition tissulaire dépendait essentiellement du niveau de croissance. Celle-ci est fortement influencée par l'alimentation et plus spécifiquement l'apport ou non de concentré. Toutefois, nous n'avons pas abordé dans notre étude analytique les effets respectifs du mode de conduite et de la complémentation sur les caractéristiques de carcasse. Il serait donc intéressant d'étudier des effets spécifiques du mode de conduite et de la stratégie de complémentation sur la composition tissulaire de la carcasse.

Nous avons également montré à l'issue de la méta-analyse que peu d'études ont porté sur la comparaison entre l'auge et le pâturage en ce qui concerne les facteurs alimentaires, probablement du fait des difficultés d'estimation de l'alimentation au pâturage. Nous avons pu montrer au cours d'une étude méthodologique, que la SPIR permettait une estimation précise et robuste de la dMO, de la MOI et de la MODI au pâturage pour des animaux complémentés ou non. Cette méthode a été validée à l'auge et au pâturage. Cependant, afin d'accroître la robustesse des équations de prédiction, les bases de données SPIR doivent être incrémentées. Il faudrait également améliorer les méthodes statistiques de prédiction des paramètres à partir des analyses de spectres IR.

Par ailleurs, les simulations effectuées à partir de nos résultats expérimentaux suggèrent que la conduite au pâturage serait économiquement plus viable, et que l'apport de concentré au pâturage permettrait de réduire considérablement les émissions de CH<sub>4</sub> par kg de viande produite, et constitue ainsi une bonne alternative à un engraissement intensif à l'auge. Cependant des travaux complémentaires sont nécessaires pour préciser l'efficacité économique et l'impact environnemental de ces deux modes de conduite, car nos hypothèses sont basées sur des estimations, et ne prennent pas en compte l'intégrabilité des éléments requis pour une comparaison fine.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES**  
**DANS LA THESE**

- Agastin, A., D. Sauvant, M. Naves and M. Boval (2013). Influence of trough vs. pasture feeding on average daily gain and carcass characteristics in ruminants: a meta-analysis. *Journal of Animal Science* (In revision).
- Agreste (2011) Guadeloupe : Premières tendances du recensement agricole 2010 - septembre 2011 Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt DOI: [http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf\\_D97111A02.pdf](http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_D97111A02.pdf).
- Aharoni, Y., Z. Henkin, A. Ezra, A. Dolev, A. Shabtay, A. Orlov, Y. Yehuda and A. Brosh (2009). Grazing behavior and energy costs of activity: A comparison between two types of cattle. *Journal of Animal Science* 87(8): 2719-2731.
- Alexandre, G., L. Limea, A. Fanchonne, O. Coppry, N. Mandonnet and M. Boval (2009). Effect of Forage Feeding on Goat Meat Production: Carcass Characteristics and Composition of Creole Kids Reared Either at Pasture or Indoors in the Humid Tropics. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 22(8): 1140-1150.
- Alfaia, C. P. M., S. P. Alves, S. I. V. Martins, A. S. H. Costa, C. M. G. A. Fontes, J. P. C. Lemos, R. J. B. Bessa and J. A. M. Prates (2009). Effect of the feeding system on intramuscular fatty acids and conjugated linoleic acid isomers of beef cattle, with emphasis on their nutritional value and discriminatory ability. *Food Chemistry* 114(3): 939-946.
- Archimède, H., M. Eugène, C. Marie Magdeleine, M. Boval, C. Martin, D. P. Morgavi, P. Lecomte and M. Doreau (2011). Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 59-64.
- Archimède, H. and G. Garcia (2008). Guide d'utilisation de la canne à sucre et de ses coproduits en alimentation animale. A l'usage des producteurs agricoles et techniciens. INRA: 79.
- Archimède, H., J. L. Gourdine, A. Fanchone, R. Tournebize, M. Bassien-Capsa and E. Gonzalez-Garcia (2012). Integrating banana and ruminant production in the French West Indies. *Tropical Animal Health and Production* 44(6): 1289-1296.
- Archimède, H. and D. Renaudeau (2013). Le bananier et ses coproduits en alimentation animale: 46.
- Archimède, H., D. Sauvant, C. Assoumaya, A. Fanchone and M. Boval (2009). Fourrages tropicaux: valeur alimentaire comparée aux fourrages tempérés et évaluation au pâturage. *Rencontres Recherches Ruminants*. Paris, France. 16ème journée rencontre 3R.

- Ash, A. J., J. P. Corfield, J. G. McIvor and T. S. Ksiksi (2011). Grazing Management in Tropical Savannas: Utilization and Rest Strategies to Manipulate Rangeland Condition. *Rangeland Ecology & Management* 64(3): 223-239.
- Aumont, G., R. Pouillot, R. Simon, G. Hostache, N. Barré and H. Varo (1997). Parasitisme digestif des petits ruminants dans les Antilles françaises. *INRA Productions Animales* 10: 79-90.
- Aurousseau, B., D. Bauchart, A. L. Galot, S. Prache, D. Micol and A. Priolo (2007). Indoor fattening of lambs raised on pasture: 2. Influence of stall finishing duration on triglyceride and phospholipid fatty acids in the longissimus thoracis muscle. *Meat Science* 76(3): 417-427.
- Barger, I. A., K. Siale, D. J. D. Banks and L. F. Le Jambre (1994). Rotational grazing for control of gastrointestinal nematodes of goats in a wet tropical environment. *Veterinary Parasitology* 53(1-2): 109-116.
- Barros, C. S. d., A. L. G. Monteiro, C. H. E. C. Poli, J. R. Dittrich, J. R. F. Canziani and M. A. M. Fernandes (2009). Rentabilidade da produção de ovinos de corte em pastagem e em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38: 2270-2279.
- Bennett, E. M., G. D. Peterson and E. A. Levitt (2005). Looking to the future of ecosystem services. *Ecosystems* 8(2): 125-132.
- Bines, J. A. and I. C. Hart (1982). Metabolic limits to milk production, especially roles of growth-hormone and insulin. *Journal of Dairy Science* 65(8): 1375-1389.
- Blanco, M., I. Casasús, G. Ripoll, B. Panea, P. Albertí and M. Joy (2010). Lucerne grazing compared with concentrate-feeding slightly modifies carcass and meat quality of young bulls. *Meat Science* 84(3): 545-552.
- Boval, M., H. Archimede, J. Fleury and A. Xande (2003). The ability of faecal nitrogen to predict digestibility for goats and sheep fed with tropical herbage. *Journal of Agricultural Science* 140(4): 443-450.
- Boval, M., D. B. Coates, P. Lecomte, V. Decruyenaere and H. Archimede (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): 19-29.
- Boval, M., O. Coppry, M. Naves and G. Alexandre (2012). Traditional breeding, source and support for agro-ecological innovation: the practice of tethering in the Caribbean

- L'élevage traditionnel, une source et un support pour l'innovation agro-écologique: la pratique du piquet aux Antilles. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*(62): 87-97.
- Boval, M. and R. M. Dixon (2012). The importance of grasslands for animal production and other functions: a review on management and methodological progress in the tropics. *Animal* 6(5): 748-762.
- Boval, M., A. Fanchone, H. Archimède and M. J. Gibb (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(1): 44-54.
- Boval, M., E. Ortega-Jimenez, A. Fanchone and G. Alexandre (2010). Diet attributes of lactating ewes at pasture using faecal NIRS and relationship to pasture characteristics and milk production. *Journal of Agricultural Science* 148(4): 477-485.
- Bruns, K. W., R. H. Pritchard and D. L. Boggs (2004). The relationships among body weight, body composition, and intramuscular fat content in steers. *Journal of Animal Science* 82(5): 1315-1322.
- Carrasco, S., G. Ripoll, B. Panea, J. Álvarez-Rodríguez and M. Joy (2009). Carcass tissue composition in light lambs: Influence of feeding system and prediction equations. *Livestock Science* 126(1-3): 112-121.
- Carrasco, S., G. Ripoll, A. Sanz, J. Álvarez-Rodríguez, B. Panea, R. Revilla and M. Joy (2009). Effect of feeding system on growth and carcass characteristics of Churra Tensina light lambs. *Livestock Science* 121(1): 56-63.
- Caton, J. S. and D. V. Dhuyvetter (1997). Influence of energy supplementation on grazing ruminants: requirements and responses. *Journal of Animal Science* 75(2): 533-542.
- Danner, M. L., D. G. Fox and J. R. Black (1980). Effect of feeding system on performance and carcass characteristics of yearling steers, steer calves and heifer calves *Journal of Animal Science* 50: 394-404.
- Delagarde, R. and M. O'Donovan (2005). Les modèles de prévision de l'ingestion journalière d'herbe et de la production laitière des vaches au pâturage. *Productions animales* 18(4): 241-253.
- Delgado, C. L. (2003). Rising consumption of meat and milk in developing countries has created a new food revolution. *Journal of Nutrition* 133(11): 3907S-3910S.
- Duffield, T. F. and R. N. Bagg (2000). Use of ionophores in lactating dairy cattle: a review. *The Canadian veterinary journal. La revue veterinaire canadienne* 41(5): 388-394.

- Edouard, N. and M. Boval (2010). Review and meta-analysis of the determinants of ruminant production in the tropics. *Advances in Animal Biosciences* 1(02): 466-467.
- Eugene, M., H. Archimede, M. Boval, C. Marie Magdeleine, C. Martin, D. Morgavi, P. Lecomte and M. Doreau (2010). Production de méthane par des ruminants nourris uniquement avec des fourrages tempérés ou tropicaux. 17<sup>ème</sup> Rencontre Recherche Ruminant, Paris, France.
- Eugène, M., H. Archimède, B. Michalet-Doreau and G. Fonty (2004). Effects of defaunation on microbial activities in the rumen of rams consuming a mixed diet (fresh *Digitaria decumbens* grass and concentrate). *Animal Research* 53(3): 187-200.
- Fanchone, A., H. Archimede, R. Baumont and M. Boval (2010). Intake and digestibility of fresh grass fed to sheep indoors or at pasture, at two herbage allowances. *Animal Feed Science and Technology* 157(3): 151-158.
- Fanchone, A., H. Archimede, R. Baumont and M. Boval (2010). Intake and digestibility of fresh grass fed to sheep indoors or at pasture, at two herbage allowances. *Animal Feed Science and Technology* 157(3/4): 151-158.
- Fanchone, A., H. Archimède and M. Boval (2009). Comparison of fecal crude protein and fecal near-infrared reflectance spectroscopy to predict digestibility of fresh grass consumed by sheep. *Journal of Animal Science* 87(1): 236-243.
- Fanchone, A., H. Archimede, R. Delagarde and M. Boval (2012). Comparison of intake and digestibility of fresh *Digitaria decumbens* grass fed to sheep, indoors or at pasture, at two different stages of regrowth. *Animal* 6(7): 1108-1114.
- FAO (2009). La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture: 186.
- FAO (2012). Developing a Global Agenda of Action for Sustainable Livestock Sector Development, 2nd Multi-Stakeholder Platform meeting. State of Food and Agriculture: 18 pp.
- FEADER (2005). Programme de développement rural. Guadeloupe 2007 - 2013. , Ministère de l'agriculture: 349 pp.
- Galan, F., J. L. Reuillon, O. Letellier, S. Bleubar and F. Marie (2009). Caractérisation des systèmes d'élevage bovin des départements d'outre-mer (DOM). Premiers résultats issus des réseaux de références. Rencontres Recherches Ruminants. Paris, France. 16<sup>ème</sup> journée rencontre 3R.
- Gautier, M. and M. Naves (2011). Footprints of selection in the ancestral admixture of a New World Creole cattle breed. *Molecular Ecology* 20: 3128-3143.

- Gibbs, H. K., A. S. Ruesch, F. Achard, M. K. Clayton, P. Holmgren, N. Ramankutty and J. A. Foley (2010). Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107(38): 16732-16737.
- Gill, M., P. Smith and J. M. Wilkinson (2010). Mitigating climate change: the role of domestic livestock. *Animal* 4(3): 323-333.
- Gomez-Vazquez A., Perez J., Mendoza G.D., Aranda E. and H. A. (2003). Fibrolytic exogenous enzymes improve performance in steers fed sugar cane and stargrass. *Livestock Production Science* 82: 6.
- Gracia, A., and G. Zeballos (2011). Animal welfare concern and attitudes towards more animal welfare friendly meat products: characterization and segmentation. *Itea* 107: 33-47.
- Hahn, G. L. (1995). Environmental influences on feed intake and performance of feedlot cattle. In: *Intake by Feedlot Cattle*. Agricultural Experiment Station, Oklahoma State University, Stillwater: pp 207-224.
- Handayani, S. W. and R. M. Gatenby (1988). Effects of management system, legume feeding and anthelmintic treatment on the performance of lambs in North Sumatra. *Tropical Animal Health and Production* 20(2): 122-128.
- Harper, L. A., O. T. Denmead, J. R. Freney and F. M. Byers (1999). Direct measurements of methane emissions from grazing and feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 77(6): 1392-1401.
- Honeyman, M. S., W. D. Busby, S. M. Lonergan, A. K. Johnson, D. L. Maxwell, J. D. Harmon and S. C. Shouse (2010). Performance and carcass characteristics of finishing beef cattle managed in a bedded hoop-barn system. *Journal of Animal Science* 88(8): 5.
- Horlings, L. G. and T. K. Marsden (2011). Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could 'feed the world'. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 21(2): 441-452.
- Ibrahim, M. A., F. Holmann, M. Hernández and A. Camero (2000). Contribution of Erythrina protein banks and rejected bananas for improving cattle production in the humid tropics. *Agroforestry Systems* 49(3): 245-254.
- Jacques, J., R. Berthiaume and D. Cinq-Mars (2011). Growth performance and carcass characteristics of Dorset lambs fed different concentrates: Forage ratios or fresh grass. *Small Ruminant Research* 95(2-3): 113-119.

- Kaufmann, L. D., A. Mürger, M. Rérat, P. Junghans, S. Görs, C. C. Metges and F. Dohme-Meier (2011). Energy expenditure of grazing cows and cows fed grass indoors as determined by the  $^{13}\text{C}$  bicarbonate dilution technique using an automatic blood sampling system. *Journal of dairy science* 94(4): 1989-2000.
- Keane, M. G. and M. J. Drennan (2009). Effects of supplementary concentrate level in winter, and subsequent finishing on pasture or indoors, on performance and carcass traits of Holstein-Friesian, Aberdeen Angus  $\times$  Holstein-Friesian and Belgian Blue  $\times$  Holstein-Friesian steers. *Livestock Science* 121(2-3): 250-258.
- Kerth, C. R., K. W. Braden, R. Cox, L. K. Kerth and D. L. Rankins Jr (2007). Carcass, sensory, fat color, and consumer acceptance characteristics of Angus-cross steers finished on ryegrass (*Lolium multiflorum*) forage or on a high-concentrate diet. *Meat Science* 75(2): 324-331.
- Kurihara, M., T. Magner, R. A. Hunter and G. J. McCrabb (1999). Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition* 81: 227-234.
- Lal, R. (2010). Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *BioScience* 60(9): 708-721.
- Legrand, A., M. Von Keyserlingk and D. Weary (2009). Preference and usage of pasture versus free-stall housing by lactating dairy cattle. *Journal of dairy science* 92(8): 3651-3658.
- Lemaire, G., S. C. Da Silva, M. Agnusdei, M. Wade and J. Hodgson (2009). Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. *Grass and Forage Science* 64(4): 341-353.
- Lima, F. G., C. d. S. Ribeiro, D. d. F. Andrade, V. Y. Guimarães, G. L. Costa, M. L. Rezende, P. C. F. Assunção, J. N. d. M. Neiva and M. C. S. Fioravanti (2009). Desempenho de bovinos alimentados com feno de *Brachiaria brizantha* ou cana-de-açúcar. Performance of cattle fed *Brachiaria brizantha* hay or sugar cane. *Ciência Animal Brasileira* 10(Supplement 1): 314-318.
- Liu, H. W., Y. Cao and D. W. Zhou (2012). Effects of shade on welfare and meat quality of grazing sheep under high ambient temperature. *Journal of Animal Science* 90(13): 4764-4770.
- Loerch, S. C. (1990). Effects of feeding growing cattle high-concentrate diets at a restricted intake on feedlot performance. *Journal of Animal Science* 68(10): 3086-3095.

- Mahieu, M., H. Archimède, J. Fleury, N. Mandonnet and G. Alexandre (2008). Intensive grazing system for small ruminants in the Tropics: The French West Indies experience and perspectives. *Small Ruminant Research* 77(2–3): 195-207.
- Mahieu, M., R. Arquet, O. Coppry, G. Alexandre, A. Fanchone, M. Naves, M. Boval, N. Mandonnet, J. Fleury and H. Archimède (2011). Des techniques intégrées pour un élevage de ruminants productif et durable. *Innovations Agronomiques. Martinique*. 11: 89-103.
- Mahieu, M., R. Arquet, J. Fleury, O. Coppry, C. Marie-Magdeleine, M. Boval, H. Archimède, G. Alexandre, J.-C. Bambou and N. Mandonnet (2009). Contrôle intégré du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants au pâturage en zone tropicale humide. 16ème Rencontre Recherche Ruminant, Paris, France.
- Marino, R., A. Braghieri, M. Albenzio, M. Caroprese, A. Girolami, A. Santillo and A. Sevi (2009). Effect of rearing system and of dietary protein level on leptin, growth, and carcass composition in young Podolian bulls. *Journal of Animal Science* 87(10): 3097-3104.
- Mathis, C. P., S. H. Cox, C. A. Loest, M. K. Petersen, R. L. Endecott, A. M. Encinias and J. C. Wenzel (2008). Comparison of low-input pasture to high-input drylot backgrounding on performance and profitability of beef calves through harvest. *Professional Animal Scientist* 24(2): 169-174.
- Maule, C. P. and T. A. Fonstad (2000). Impacts of cattle penning on groundwater quality beneath feedlots. *Canadian Agricultural Engineering* 42(2): 87-93.
- Menezes, L. F. G., I. L. Brondani, J. Restle, D. C. Alves Filho, A. M. Callegaro and M. Weise (2011). Characteristics of non-integrant components of carcass of Devon young steers, finished in different feeding systems
- Características dos componentes não integrantes da carcaça de novilhos superjovens da raça Devon, terminados em diferentes sistemas de alimentação. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 63(2): 372-381.
- Meyer, U., W. Stahl and G. Flachowsky (2006). Investigations on the water intake of growing bulls. *Livestock Science* 103(1-2): 186-191.
- Minson, D. J. (1990). *Forage in Ruminant Nutrition*, Academic Press, Inc San Diego, California.

- Mitlöhner, F., J. Morrow, J. Dailey, S. Wilson, M. Galyean, M. Miller and J. McGlone (2001). Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 79(9): 2327-2335.
- Moniruzzaman, M., M. A. Hashem, S. Akhter and M. M. Hossain (2002). Effect of different feeding systems on carcass and non-carcass parameters of Black Bengal goat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 15(1): 61-65.
- Montero-Lagunes, M., F. Indalecio Juarez-Lagunes and H. Sergio Garcia-Galindo (2011). Fatty acids profile in meat from European x Zebu steers finished on grazing and feedlot conditions. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* 2(2): 137-149.
- Moore, J. E., M. H. Brant, W. E. Kunkle and D. I. Hopkins (1999). Effects of Supplementation on Voluntary Forage Intake, Diet Digestibility, and Animal Performance. *Journal of Animal Science* 77: 122-135.
- Morrison, S. (1983). Ruminant heat stress: effect on production and means of alleviation. *Journal of Animal Science* 57(6): 1594.
- Moss, B. (2008). The Water Framework Directive: Total environment or political compromise? *Science of the Total Environment* 400(1-3): 32-41.
- Naves, M. (2003). Caractérisation et gestion d'une population bovine locale de la zone tropicale: le bovin Creole de Guadeloupe, Institut National Agronomique Paris-Grignon. Thèse de Doctorat Sciences Animales: 283.
- Naves, M., G. Alexandre, M. Mahieu, J. L. Gourdine and N. Mandonnet (2011). Les races animales locales : bases du développement innovant et durable de l'élevage aux Antilles. *Innovations Agronomiques* 16: 193-205.
- Nuernberg, K., D. Dannenberger, G. Nuernberg, K. Ender, J. Voigt, N. D. Scollan, J. D. Wood, G. R. Nute and R. I. Richardson (2005). Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds. *Livestock Production Science* 94: 137-147.
- O'Mara, F. P. (2012). The role of grasslands in food security and climate change. *Annals of Botany* 110(6): 1263-1270.
- Oates, L. G., D. J. Undersander, C. Gratton, M. M. Bell and R. D. Jackson (2011). Management-Intensive Rotational Grazing Enhances Forage Production and Quality of Subhumid Cool-Season Pastures. *Crop Science* 51(2): 892-901.
- OCDE/FAO (2013). Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2013-2022. Résumé. p19.

- ODEADOM. (2009). Filière diversification animale. [www.odeadom.fr/.../plaquette-productions-animales-bat-06\\_02\\_09](http://www.odeadom.fr/.../plaquette-productions-animales-bat-06_02_09) (1).pdf.
- ODEADOM. (2010). Filières ruminants. [http://test.odeadom.fr/?page\\_id=36](http://test.odeadom.fr/?page_id=36).
- Olmedo, D. O., J. O. J. Barcellos, L. C. Canellas, M. M. S. Velho, P. Paniagua, I. Horita and J. U. Tarouco (2011). Performance and carcass characteristics of steers finished in rotational grassing or feedlot. *Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinaria E Zootecnia* 63(2): 348-355.
- Orr, D. M. and P. J. O'Reagain (2011). Managing for rainfall variability: impacts of grazing strategies on perennial grass dynamics in a dry tropical savanna. *Rangeland Journal* 33(2): 209-220.
- Oshita, T., K. Sudo, K. Nonaka, S. Kume and K. Ochiai (2008). The effect of feed regimen on chewing time, digesta passage rate and particle size distribution in Holstein non-lactating cows fed pasture ad libitum. *Livestock Science* 113(2-3): 243-250.
- Paine, L. K., D. Undersander and M. D. Casler (1999). Pasture growth, production, and quality under rotational and continuous grazing management. *Journal of Production Agriculture* 12(4): 569-577.
- Poppi, D. P. (1996). Predictions of food intake in ruminants from analyses of food composition. *Australian Journal of Agricultural Research* 47(4): 489-504.
- Pordomingo, A. J., G. Grigioni, F. Carduza and G. Volpi Lagreca (2012). Effect of feeding treatment during the backgrounding phase of beef production from pasture on: I. Animal performance, carcass and meat quality. *Meat Science* 90(4): 939-946.
- Pretty, J., W. J. Sutherland, J. Ashby, J. Auburn, D. Baulcombe, M. Bell, J. Bentley, S. Bickersteth, K. Brown, J. Burke, H. Campbell, K. Chen, E. Crowley, I. Crute, D. Dobbelaere, G. Edwards-Jones, F. Funes-Monzote, H. C. J. Godfray, M. Griffon, P. Gypmantisiri, L. Haddad, S. Halavatau, H. Herren, M. Holderness, A. M. Izac, M. Jones, P. Koohafkan, R. Lal, T. Lang, J. McNeely, A. Mueller, N. Nisbett, A. Noble, P. Pingali, Y. Pinto, R. Rabbinge, N. H. Ravindranath, A. Rola, N. Roling, C. Sage, W. Settle, J. M. Sha, S. M. Luo, T. Simons, P. Smith, K. Strzepeck, H. Swaine, E. Terry, T. P. Tomich, C. Toulmin, E. Trigo, S. Twomlow, J. K. Vis, J. Wilson and S. Pilgrim (2010). The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability* 8(4): 219-236.
- Roberge, G. and B. Toutain (1999). Cultures fourragères tropicales.

- Russelle, M. P., M. H. Entz and A. J. Franzluebbbers (2007). Reconsidering integrated crop-livestock systems in north America. *Agronomy Journal* 99(2): 325-334.
- Rustas, B.-O., P. Nørgaard, A. R. Jalali and E. Nadeau (2010). Effects of physical form and stage of maturity at harvest of whole-crop barley silage on intake, chewing activity, diet selection and faecal particle size of dairy steers. *animal* 4(01): 67-75.
- Sauvant, D. and S. Giger-Reverdin (2009). Modélisation des interactions digestives et de la production de méthane. *INRA Productions Animales* 22: 375-384.
- Smith, D., M. Blackford, S. Younts, R. Moxley, J. Gray, L. Hungerford, T. Milton and T. Klopfenstein (2001). Ecological relationships between the prevalence of cattle shedding *Escherichia coli* O157: H7 and characteristics of the cattle or conditions of the feedlot pen. *Journal of Food Protection®* 64(12): 1899-1903.
- Smith, R. J. and P. J. Watts (1994). Determination of Odour Emission Rates from Cattle Feedlots: Part 1, A Review. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57(3): 145-155.
- Snowder, G. D., L. D. Van Vleck, L. V. Cundiff and G. L. Bennett (2006). Bovine respiratory disease in feedlot cattle: Environmental, genetic, and economic factors. *Journal of Animal Science* 84(8): 1999-2008.
- Steen, R. W. J., N. P. Lavery, D. J. Kilpatrick and M. G. Porter (2003). Effects of pasture and high • concentrate diets on the performance of beef cattle, carcass composition at equal growth rates, and the fatty acid composition of beef. *New Zealand Journal of Agricultural Research, Taylor & Francis*. 46: 69-81.
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales and C. d. Haan (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*.
- Susenbeth, A., R. Mayer, B. Koehler and O. Neumann (1998). Energy requirement for eating in cattle. *Journal of Animal Science* 76(10): 2701-2705.
- Sweeten, J. M., C. B. Parnell, R. Etheredge and D. Osborne (1988). Dust emissions in cattle feedlots. *Vet Clin N Am: Food Anim Prac* 4(3): 557-578.
- Tayler, J. C. and J. M. Wilkinson (1972). The influence of level of concentrate feeding on the voluntary intake of grass and on live-weight gain by cattle. *Animal Science* 14(01): 85-96.
- Tedeschi, L. O., D. G. Fox and T. P. Tylutki (2003). Potential Environmental Benefits of Ionophores in Ruminant Diets Mention of trade names, proprietary products, or specific equipment does not constitute a guarantee or warranty of the product by the authors and

- does not imply its approval to the exclusion of other products that also may be suitable. J. Environ. Qual. 32(5): 1591-1602.
- Walkden-Brown, S. W., A. F. Colvin, E. Hall, M. R. Knox, D. F. Mackay and J. M. Scott (2013). Grazing systems and worm control in sheep: a long-term case study involving three management systems with analysis of factors influencing faecal worm egg count. Animal Production Science 53(7-8): 765-779.
- Wirsenius, S., C. Azar and G. Berndes (2010). How much land is needed for global food production under scenarios of dietary changes and livestock productivity increases in 2030? Agricultural Systems 103(9): 621-638.
- World-Resources-Institute (2005) Earth trends, Agriculture & food. [http://earthtrends.wri.org/pdf\\_library/data\\_tables/agr1\\_2005.pdf](http://earthtrends.wri.org/pdf_library/data_tables/agr1_2005.pdf).

## **ANNEXE 1**

## **Annexe 1 : Analyse technico-économique des systèmes de production étudiés**

Les considérations économiques sont au cœur des enjeux actuels de l'élevage (James 2006), et dans un contexte de marché incertain (cours des matières premières, crise économique), les élevages de viande bovine ont vu leurs charges s'accroître significativement (prix des matières premières, énergie, etc...), au point de perdre une part importante de leur efficacité économique. A notre connaissance, les études sur la comparaison économique des conduites à l'auge et au pâturage sont rares. Peu d'études ont été trouvées sur le sujet chez les bovins, et généralement n'ont pas réalisé de comparaison stricte entre l'auge et le pâturage (Andersen et al. 2005 ; Rudstrom et al., 2005). Les seules comparaisons strictes des deux modes de conduite ont été réalisées chez les ovins (Porwal et al., 2006 ; Barros et al., 2009).

Les expérimentations que nous avons réalisées durant la thèse nous ont permis d'obtenir des paramètres techniques concernant la production de viande bovine dans différents systèmes de production, différenciés par le mode de conduite et la complémentation. Nous avons voulu prolonger cette comparaison par une analyse technico-économique, basée sur la simulation du fonctionnement d'ateliers d'élevage menés dans des conditions similaires à celles que nous avons étudiées expérimentalement. Le but de cette étude était donc de faire une estimation des coûts de production, des produits obtenus et des résultats économiques globaux des différents systèmes de production étudiés dans cette thèse.

Cette analyse technico économique s'est appuyée sur les résultats obtenus lors des expérimentations, qui nous ont servi de référentiel technique, et sur des observations économiques issues de la comptabilité analytique réalisée au Domaine de Gardel, ainsi que sur les prix constatés localement. Pour mener à bien cette analyse technico économique, nous avons choisi une approche comptable du fonctionnement des ateliers, inspirée de la méthode nationale de calcul des coûts de production en élevage de ruminants, élaborée par l'Institut de l'Elevage (Réseaux d'Elevage, 2010 ; Reuillon et al., 2012 ; Sarzeaud et al., 2011). Cette méthode a été mise au point pour uniformiser le calcul du coût de production des ateliers herbivores (lait et viande) ainsi que le vocabulaire attaché aux différents indicateurs qui en découlent. Elle permet une réelle approche comptable des charges de l'atelier, grâce au calcul

consécutif des coûts de production (charges courantes, amortissement, charges supplétives, etc.), des produits de l'atelier et du résultat.

Les caractéristiques des ateliers de production sur lesquels on porté les simulations sont décrits dans le Tableau 1. Leurs paramètres sont issus des modes de conduites pratiqués dans les deux essais analysés dans les publications 1 et 4.

**Tableau 1.** Caractéristique des ateliers simulés à partir des expérimentations de la thèse

|                               | <b>Atelier 1</b> | <b>Atelier 2</b> | <b>Atelier 3</b>               | <b>Atelier 4</b>               | <b>Atelier 5</b>               |
|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Référentiel technique         | Publi. 1         | Publi. 4         | Publi. 4                       | Publi. 4                       | Publi. 1                       |
| Conduite                      | Pâturage         | Pâturage         | Pâturage                       | Auge                           | Auge                           |
| Alimentation                  | Fourrage         | Fourrage         | Fourrage + 40%<br>de concentré | Fourrage + 32%<br>de concentré | Fourrage + 60%<br>de concentré |
| Effectif (tête)               | 15               | 15               | 15                             | 15                             | 15                             |
| Surface (ha)                  | 2.96             | 2.85             | 2.08                           | 2.10                           | 3.02                           |
| Chargement (tête/ha)          | 5.07             | 5.26             | 7.21                           | 7.14                           | 4.97                           |
| Chargement (kg/ha)            | 1300             | 1328             | 1799                           | 1850                           | 1162                           |
| Age début (mois)              | 8.4              | 8.3              | 8.3                            | 8.3                            | 8.2                            |
| Poids début (kg)              | 172              | 173              | 173                            | 173                            | 174                            |
| Poids fin (kg)                | 341              | 332              | 326                            | 345                            | 349                            |
| GMQ (g/j)                     | 517              | 230              | 470                            | 475                            | 786                            |
| PCC (kg)                      | 172              | 167              | 164                            | 181                            | 183                            |
| Durée (mois) <sup>1</sup>     | 12               | 24               | 12                             | 12                             | 9                              |
| Temps de travail (heure/jour) | 0.5              | 1.0              | 1.0                            | 1.5                            | 1.5                            |
| PBVV (kg/an)                  | 5115             | 2488             | 4886                           | 5175                           | 7210                           |
| UMO /an                       | 0.1              | 0.2              | 0.2                            | 0.3                            | 0.3                            |

1. incluant une période de transition de 40 j.

Les ateliers 1 et 2 correspondent aux conduites au pâturage seul, sans complémentation. L'atelier 1 a permis d'obtenir une croissance plus élevée, probablement du fait de meilleurs fourrages disponibles. Une différence importante réside ainsi dans la durée nécessaire pour arriver à un même poids vif, qui est doublée dans l'atelier 2 par rapport à l'atelier 1. L'atelier 3 correspond à une conduite au pâturage avec complémentation. Les deux ateliers 2 et 3

correspondent a des conduites au piquet, alors que l'atelier 1 était un atelier en pâturage libre. Les deux derniers ateliers 4 et 5 correspondent a des systèmes de production à l'auge, mais avec des niveaux de complémentation différents. Cette différence de niveau de complémentation ainsi que probablement la qualité du fourrage expliquent les différences de croissance observées dans ces deux systèmes.

Pour l'approche comptable des couts de production, six grands postes techniques ont été considérés :

- 1) Achat d'aliments
- 2) Approvisionnements liés aux surfaces cultivées
- 3) Frais d'élevage
- 4) Amortissement et entretien des équipements et bâtiments
- 5) Frais généraux
- 6) Coût du travail

Les coûts unitaires des éléments de chacun de ces postes pris en compte pour l'estimation des coûts de production sont détaillés dans le Tableau 2.

**Tableau 2.** Coûts unitaires des éléments de chacun des postes considérés pour l'estimation des coûts de production

| Postes de dépenses                                      | Source <sup>1</sup>                           | Prix unitaire         |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|
| 1. Achat des aliments concentré                         | Prix 2013 : 11.13 € le sac de 25 kg           | 0.45 €/kg             |
| Droits et cotisations eau potable                       | Prix 2013                                     | 11 €/trimestre        |
| Consommation d'eau potable                              | Prix 2013                                     | 1.40 €/m <sup>3</sup> |
| 2. Achat d'engrais et amendements                       | Prix 2013 : 1193.14 € / T                     | 1.19 €/kg             |
| Coûts d'entretien des surfaces fourragères              | Comptabilité analytique Gardel                | 29.59 €/ha            |
| Droits et cotisations pour l'irrigation                 | Comptabilité analytique Gardel                | 120.20 €/ha           |
| Consommation d'eau d'irrigation                         | Comptabilité analytique Gardel                | 273.68 €/ha           |
| 3. Frais vétérinaires (détiquage)                       | Prix 2013 : 70.00 € / litre                   | 21 €/tête             |
| Valeur initiale des animaux                             | Prix 2013 : 3.06 €/kg vif                     | 526.32 €/tête         |
| 4. Matériel de fumure                                   | Comptabilité analytique Gardel                | 64.72 €/ha            |
| Matériel d'irrigation                                   | Comptabilité analytique Gardel                | 94.68 €/ha            |
| Matériel de fauche                                      | Comptabilité analytique Gardel                | 1799.28 €/ha          |
| Entretien des bâtiments                                 | 10 % amortissement annuel                     | 90 €/an               |
| Amortissement des bâtiments<br>(systèmes hors pâturage) | Investissement de 18 K€<br>amortis sur 20 ans | 900 €/an              |
| 5. Frais généraux                                       | 3 % du cout de production (hors MO)           |                       |
| 6. Rémunération du personnel                            | SMIC horaire 01/01/2013                       | 9.43 €/heure          |
| Charges de sécurité sociale et de prévention            | 20.95% de la rémunération du personnel        |                       |
| Autres charges sociales                                 | 29.85% de la rémunération du personnel        |                       |

<sup>1</sup> Prix moyen à l'échelle de la Guadeloupe

L'estimation du produit des différents ateliers a été calculée à partir des prix pratiqués sur le Domaine de Gardel :

- Prix de vente des animaux sur pied : 3.06 €/kg vif,
- Prix de vente en carcasse : 4.70 €/kg de carcasse (prix moyen constaté en 2012).

Ces paramètres économiques ont permis de réaliser une estimation des coûts de production des différents ateliers, et la comparaison des coûts des différents postes entre les ateliers (Tableau 3) ainsi que les produits des différents ateliers (Tableau 4).

Les coûts du poste « **achat d'aliments** » étaient principalement liés à l'achat de concentré et donc à la stratégie de complémentation. Pour les ateliers 1 et 2 (pâturage exclusif) un apport de complémentation a été réalisé uniquement pendant la phase de transition post sevrage et ce poste représente seulement 693 € et 357 € (environ 3 % du cout de production total). Pour les ateliers utilisant une complémentation de manière continue durant toute la période d'élevage, ce poste varie de 4980 € pour l'atelier 3 (pâturage avec 32 % de concentré) à 9450 € pour l'atelier 5 (auge avec 60% de concentré), soit de 22 à 30 % du cout de production total.

Le **coût des approvisionnements liés aux surfaces fourragères** varie relativement peu suivant les systèmes de 4555 € à 6485 €, en fonction de la surface utilisée pour l'entretien des animaux et le chargement réalisé, aussi bien au pâturage qu'à l'auge. Ils ont été plus élevés pour les ateliers 1 et 2 (de 40 et 53 % du cout de production total) qui sont des systèmes de pâturage sans complémentation, et donc où l'essentiel de l'alimentation repose sur le fourrage produit par les prairies. Ils sont également élevés pour l'atelier 5 (engraissement intensif a l'auge), où la croissance obtenue permet une durée d'entretien des animaux plus courte, et donc d'élever plus d'animaux sur une période annuelle. Ainsi, ces deux postes, qui correspondent à des dépenses d'alimentation du troupeau (achat d'aliment et entretien des surfaces fourragères) représentent à tous les deux près de 50 % du cout total de production.

**Les frais d'élevage** représentent une part importante des couts de production, environ 8000 € par an pour la plupart des ateliers (1, 3, 4, 5). Pour l'atelier 2, du fait de la croissance plus faible observée, la durée d'engraissement plus longue (2 ans) permet de répartir ces frais d'élevage sur la durée. Ils s'expliquent principalement par le cout de l'achat initial des animaux au début de phase d'élevage, et de manière plus faible par les frais vétérinaires occasionnés par le détiquage des animaux au pâturage.

Les **frais de mécanisation et de bâtiments** sont particulièrement élevés pour les conduites à l'auge (de 5100 à 7600 €, soit 22 et 24 % du cout de production total des ateliers 4 et 5), alors qu'ils représentent moins de 500 € pour les modes de conduite au pâturage. Cette différence s'explique par l'utilisation de matériel agricole pour les différents travaux (fumure, irrigation, fauche et distribution), qui entraînent un net surcout pour les animaux élevés hors pâturage.

Globalement, les coûts **liés au travail** sont plus élevés à l'auge (ateliers 4 et 5), du fait des travaux agricoles à réaliser, et dans une moindre mesure dans les systèmes où les animaux étaient maintenus au piquet (atelier 2 et 3). Cette différence du coût de travail entre l'auge et le pâturage s'explique par la main d'œuvre nécessaire pour les différentes opérations. Au pâturage, de la main d'œuvre était nécessaire pour abreuver (ateliers 1, 2, 3) ou préparer et distribuer le concentré aux animaux (atelier 3), ou alors pour les déplacer (ateliers 2 et 3). A l'auge, la main d'œuvre était nécessaire pour faucher et distribuer le fourrage, distribuer le concentré et nettoyer les bâtiments.

Selon nos estimations, le coût de production total annuel varie hors main d'œuvre de 11684 € pour l'atelier 2 à 31984 € pour l'atelier 5, et de 16875 € à 39770 € en incluant la main d'œuvre. Ces variations de coût de production sont en relation avec le niveau de performances obtenues et la durée de la phase d'élevage. Pour l'atelier 2, les coûts annuels se cumulent sur 2 ans, du fait de la croissance plus faible qui oblige à rallonger la durée d'engraissement. Pour l'atelier 5, les meilleures croissances permettent de renouveler plus rapidement les animaux, avec une nouvelle série d'engraissement tous les 8 mois. Les autres systèmes ont des coûts de production intermédiaires, de 16335 € (hors MO) ou 18930 € (MO incluse) pour l'atelier 1 (pâturage seul, mais avec de bonnes croissances) à 23430 € (hors MO) ou 31216 € (MO incluse) pour l'atelier 4. Ramenés à la production permise par le système, ces coûts de production varient de 235 à 611 € (hors MO), ou de 339 à 760 € (MO incluse) pour 100 kg de production de viande vive. Les systèmes à l'auge entraînent les coûts de production les plus élevés.

La répartition des coûts de production intra atelier varie suivant le mode de conduite (Figure 1). Pour les ateliers 1 et 2, correspondant à des conduites au pâturage seulement, les approvisionnements liés aux surfaces et les frais d'élevage sont les deux principaux postes de dépenses. Pour l'atelier 3, l'apport de concentré impacte fortement les coûts de production, tout en permettant de diminuer les coûts d'approvisionnement liés aux surfaces fourragères. Enfin, en bâtiment (ateliers 4 et 5), la répartition des coûts est relativement homogène, chacun des postes principaux expliquant entre 19 et 34 % des coûts de production total.

Les produits des ateliers sont relativement homogènes pour les ateliers 1, 3 et 4, autour de 15500 € en vente en vif ou 16600 € pour une vente en carcasse. L'atelier 2, dont la durée d'engraissement est doublée par rapport aux autres ateliers, donne un résultat de moitié par

rapport aux autres systèmes. A contrario, l'atelier 5, montre le revenu le plus élevé, autour de 23000 €. Ceci s'explique principalement par une meilleure croissance, permettant une productivité annuelle plus élevée.

Cependant, comparé aux coûts de production, seul l'atelier 1 permet d'équilibrer les dépenses par les produits. Les autres ateliers présentent des coûts de production supérieurs aux produits, et ce d'autant plus que les coûts sont élevés, en liaison avec la complémentation ou la conduite à l'auge. La conduite d'un atelier d'engraissement semble donc très dépendante des moyens de production disponibles pour les éleveurs. Les coûts de production qui ont été estimés ici peuvent être sûrement réduits, par exemple en réduisant le coût de l'achat d'animaux (par exemple dans des systèmes mixtes naisseurs-engraisseurs) ou par une meilleure gestion des pâturages (de manière à améliorer la qualité des fourrages).

La méthode de l'Institut de l'Élevage nous a permis de réaliser une première estimation des résultats des différents ateliers étudiés. Dans l'ensemble, les ateliers au pâturage (ateliers 1, 2 et 3) ont montré un meilleur résultat que ceux à l'auge (ateliers 4 et 5), malgré des produits (vente d'animaux et de carcasses) plus faibles. Cette étude a également mis en évidence, la part importante de la main d'œuvre dans l'estimation du coût de production, et l'influence du mode de conduite sur la répartition des coûts de production. L'analyse menée constitue un réel apport pour la profession, car elle a été contextualisée en étant réalisée sur des pratiques d'élevage en adéquation avec les pratiques locales.

Ces résultats sont cependant à considérer avec précaution, car nous nous sommes basés sur des estimations réalisées dans le cadre de la comptabilité analytique réalisée globalement à l'échelle de l'exploitation du Domaine de Gardel. Il serait intéressant de réaliser une étude économique plus précise, dans le cadre d'ateliers de production suivis en situation réelles, afin de confirmer ou d'infirmer nos résultats.

**Tableau 3.** Estimation du coût de production des différents ateliers étudiés (en euros par an)

| Poste de dépenses                                 | Détail du poste                           | Atelier 1      | Atelier 2      | Atelier 3      | Atelier 4      | Atelier 5      |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Achats d'aliments                                 | Achats de concentré et minéraux           | 534.24         | 267.12         | 4874.94        | 4874.94        | 9221.00        |
|                                                   | Eau potable (droits et consommation)      | 158.98         | 89.99          | 105.32         | 227.95         | 229.41         |
|                                                   | <i>TOTAL</i>                              | <i>693.22</i>  | <i>357.11</i>  | <i>4980.26</i> | <i>5102.90</i> | <i>9450.41</i> |
| Approvisionnements liés<br>aux surfaces cultivées | Achat d'engrais et amendements            | 5231.46        | 5039.82        | 3674.87        | 3711.99        | 5509.54        |
|                                                   | Coût d'entretien des surfaces fourragères | 87.57          | 84.36          | 61.51          | 62.13          | 99.86          |
|                                                   | Irrigation (droits et consommation)       | 1165.74        | 1123.03        | 818.88         | 827.15         | 1329.35        |
|                                                   | <i>TOTAL</i>                              | <i>6484.76</i> | <i>6247.22</i> | <i>4555.26</i> | <i>4601.27</i> | <i>6015.07</i> |
| Frais d'élevage                                   | Frais vétérinaires                        | 315.00         | 315.00         | 315.00         | -              | -              |
|                                                   | Achat des animaux                         | 7894.80        | 3970.35        | 7940.70        | 7940.70        | 7986.60        |
|                                                   | <i>TOTAL</i>                              | <i>8209.80</i> | <i>4285.35</i> | <i>8255.70</i> | <i>7940.70</i> | <i>7986.60</i> |
| Mécanisation<br>et bâtiment                       | Matériel de fumure                        | 191.55         | 184.54         | 134.56         | 135.92         | 218.44         |
|                                                   | Matériel d'irrigation                     | 280.21         | 269.95         | 196.84         | 198.83         | 319.54         |
|                                                   | Matériel de fauche                        |                |                |                | 3778.48        | 6072.56        |
|                                                   | Bâtiment                                  |                |                |                | 990            | 990            |
|                                                   | <i>TOTAL</i>                              | <i>471.77</i>  | <i>454.49</i>  | <i>331.40</i>  | <i>5103.23</i> | <i>7600.54</i> |
| Frais généraux                                    | Frais généraux (3 %)                      | 475.79         | 340.32         | 543.68         | 682.44         | 931.58         |

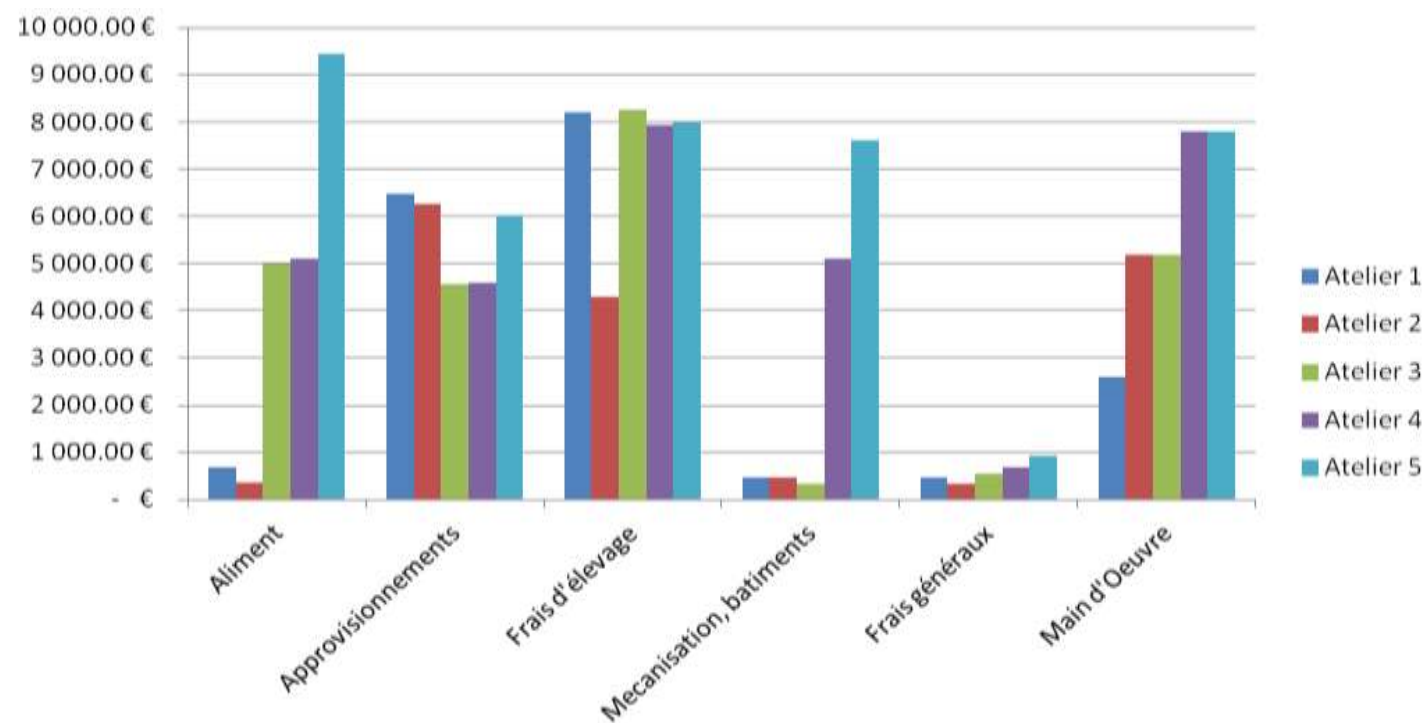
|                                |                           |                 |                 |                 |                 |                 |
|--------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Travail                        | Rémunération du personnel | 1720.98         | 3441.95         | 3441.95         | 5162.93         | 5162.93         |
|                                | Charges sociales          | 874.26          | 1748.51         | 1748.51         | 2622.77         | 2622.77         |
|                                | <i>TOTAL</i>              | <i>2595.23</i>  | <i>5190.46</i>  | <i>5190.46</i>  | <i>7785.69</i>  | <i>7785.69</i>  |
| <b>TOTAL hors main d'œuvre</b> | Par an                    | <b>16335.33</b> | <b>11684.49</b> | <b>18666.30</b> | <b>23430.54</b> | <b>31984.20</b> |
|                                | Pour 100 kg PBVV          | <b>319.36</b>   | <b>234.84</b>   | <b>382.02</b>   | <b>452.76</b>   | <b>610.97</b>   |
| <b>TOTAL</b>                   | Par an                    | <b>18930.56</b> | <b>16874.95</b> | <b>23856.76</b> | <b>31216.24</b> | <b>39769.89</b> |
|                                | Pour 100 kg PBVV          | <b>370.10</b>   | <b>339.16</b>   | <b>488.24</b>   | <b>603.20</b>   | <b>759.69</b>   |

**PBVV** : production brute de viande vive.

**Tableau 4.** Estimation du produit des différents ateliers étudiés (en euros)

| <b>Produit total</b>             | <b>Détail du poste</b> | <b>Atelier 1</b> | <b>Atelier 2</b> | <b>Atelier 3</b> | <b>Atelier 4</b> | <b>Atelier 5</b> |
|----------------------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Vente d'animaux sur pied         | Par an                 | 15651.90         | 7612.52          | 14951.93         | 16835.50         | 22064.04         |
| Vente de carcasses (PAB incluse) | Par an                 | 16626.00         | 8147.65          | 16083.71         | 17253.63         | 23968.10         |
|                                  | Pour 100 kg PBVV       | 325.04           | 327.51           | 329.16           | 333.40           | 332.41           |

**Figure 1.** Contribution des différents postes au coût de production total



## Références

- Anderson, R. V., R. J. Rasby, T. J. Klopfenstein and R. T. Clark (2005). An evaluation of production and economic efficiency of two beef systems from calving to slaughter. *Journal of Animal Science* 83(3): 694-704.
- Barros, C. S. d., A. L. G. Monteiro, C. H. E. C. Poli, J. R. Dittrich, J. R. F. Canziani and M. A. M. Fernandes (2009). Rentabilidade da produção de ovinos de corte em pastagem e em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38: 2270-2279.
- James, H. (2006). Sustainable agriculture and free market economics: finding common ground in Adam Smith. *Agriculture and human values* 23: 427-438.
- Porwal, K., S. A. Karim, S. L. Sisodia and V. K. Singh (2006). Relative economics of lamb rearing for mutton production under extensive, semi-intensive and intensive system of feeding management. *Indian Journal of Small Ruminants* 12(1): 67-73.
- Réseaux d'Élevage, 2010. Calculer le coût de production en élevage bovins viande – Méthode nationale développée par l'Institut de l'Élevage dans le cadre du dispositif Réseaux d'Élevage. Ed. Institut de l'Élevage, réf. 001050033.
- Reuillon J.L., Fagon J., Charroin T., Laurent M., 2012. Coût de production en élevage bovin lait. Manuel de référence de la méthode proposée par l'Institut de l'Élevage. Ed. Institut de l'Élevage, CR 001250028. 44 pp.
- Rudstrom, M., H. Chester-Jones, Pas, R. Imdieke, D. Johnson, M. Reese and A. Singh (2005). Comparison of economic and animal performance of dairy heifers in feedlot and pasture-based systems. *The Professional Animal Scientist* 21: 38-44.
- Sarzeaud P., Belveze J., Echevarria L., Kentzel M., Sanne E., Membres des réseaux d'élevage, 2011. Le cout de production, un indicateur de la rentabilité des ateliers en production de viande bovine. 18° Renc. Recherches Ruminants, Paris, décembre 2011, 309-312.