

Performances de croissance et efficacité alimentaire des bovins au pâturage en conditions tropicales : étude par méta-analyse

M. BOVAL^{1,4}, N. EDOUARD^{2,3}, M. NAVES¹, D. SAUVANT⁴

¹ INRA, UR0143, Unité de Recherches Zootechniques, F-97170 Petit-Bourg, Guadeloupe

² INRA, UMR1348 PEGASE, F-35590 Saint-Gilles, France

³ Agrocampus Ouest, UMR1348 PEGASE, F-35000 Rennes, France

⁴ INRA, AgroParisTech, UMR791 MoSAR, Université Paris-Saclay, F-75005 Paris, France

Courriel : maryline.boval@agroparistech.fr

Les deux tiers des surfaces en prairies se situent en zone tropicale. Leur utilisation constitue une voie à privilégier pour accroître la production animale compte-tenu de la pression pour l'usage des terres et des ressources alimentaires. Quelle est la connaissance apportée par l'analyse de la littérature scientifique rapportant des performances de croissance de bovins pâturant des prairies tropicales¹ ?

Face aux défis à relever pour satisfaire la demande alimentaire mondiale dans un contexte de forte compétition pour l'usage des terres et des ressources, les systèmes de production tropicaux doivent évoluer vers une amélioration des performances des bovins qui sont généralement inférieures à celles obtenues en systèmes intensifs (Godfray *et al* 2010, Pretty *et al* 2010, Reynolds *et al* 2010). Sous les tropiques, la plupart des bovins sont nourris essentiellement au pâturage et font face à des variations de disponibilité en biomasse et de sa valeur alimentaire, selon les saisons et le mode de conduite (Minson 1990).

Pourtant certains travaux en milieux tropicaux ou méditerranéens ont rapporté des performances satisfaisantes des bovins, approchant 1 kg de Gain Moyen Quotidien (GMQ) essentiellement à l'herbe, en dépit d'un apport limité en concentré (Esterhuizen *et al* 2008, Braghieri *et al* 2011). De telles performances sont satisfaisantes, d'autant qu'elles sont obtenues avec un faible coût de production et une faible dépendance vis-à-vis des ressources destinées à l'alimentation humaine (Wilkinson 2011). Avec le contexte agricole qui évolue, les systèmes de production doivent trouver, outre une production zootechnique, un équilibre entre les services agro-écologiques et la mise en valeur de

la biodiversité, tout en limitant au mieux les intrants et la production de gaz à effet de serre. Dans ce contexte, les systèmes prairiaux, de par leur multifonctions, présentent de nombreux atouts (Boval et Dixon 2012, O'Mara 2012). La promotion de modalités de gestion appropriées pour mieux exploiter ces systèmes prairiaux est encore nécessaire.

En dépit d'un large éventail d'études menées dans diverses conditions de pâturage (Kilgour 2012, Mezzalana 2014), il est encore difficile d'évaluer l'impact de différentes modalités de gestion sur l'alimentation au pâturage, et donc de prévoir et d'anticiper les performances de croissance ainsi que les autres réponses associées. Il est bien connu que l'apport de nutriments constitue le déterminant principal du niveau de production d'un animal, en interaction éventuelle avec son état de santé et de bien-être, ses aptitudes de reproduction et ses caractères d'adaptation (Phocas *et al* 2014). De nombreuses données sont disponibles sur les besoins et les réponses aux pratiques alimentaires des ruminants en croissance conduits à l'auge et dans les conditions des pays du sud (Salah *et al* 2014, 2015). Cependant, dans le contexte du pâturage tropical, des connaissances supplémentaires sont nécessaires pour mieux évaluer les performances de croissance possibles à partir des ressources pâturées afin

d'apprécier plus précisément l'efficacité de l'utilisation de ces ressources (par g de gain de croît, par g de MS ingérée) et de promouvoir des stratégies de gestion optimales.

Par la conduite d'une analyse quantitative fine de données de la littérature traitant des prairies tropicales, nous avons compilé les résultats disponibles afin de quantifier les niveaux d'apport nutritionnel et les performances de croissance permises. Cette méta-analyse s'est focalisée sur les études menées essentiellement au pâturage et comportant des mesures de la consommation de fourrages et de leur digestibilité, en considérant diverses races de bovins dans différentes conditions tropicales et avec différentes modalités de gestion, à savoir la biomasse offerte et le chargement ou la quantité de concentrés.

1 / Données collectées et démarche d'analyse

1.1 / Revue de la littérature et construction du jeu de données

Cette méta-analyse a porté sur les bovins élevés au pâturage, à base de graminées en C4, sur tous les continents

¹ Ce texte est une adaptation de l'article publié en langue anglaise dans la revue *Animal* (Boval *et al* 2015).

et dans diverses conditions tropicales situées entre - 37 et + 37° de latitude. La recherche des publications à analyser a été effectuée via diverses bases de données bibliographiques : « *Web of Knowledge* », « *Science Direct* », « *EDP Sciences* » et « *Cambridge Journals* ». Les listes des références de chaque publication repérée ont été également analysées pour identifier de nouvelles publications. Seules les publications contenant des données de croissance, d'ingestion et de digestibilité ont été retenues pour construire la base de données.

Pour chaque publication retenue, un code spécifique a été affecté et les caractéristiques suivantes ont été enregistrées : le site (latitude, longitude), la saison (sèche ou pluvieuse), les caractéristiques de l'animal (race, sexe, âge, poids vif) et les stratégies de gestion (pâturage continu ou en rotation, en parc ou attachés, le chargement ou la quantité d'herbe offerte). Pour les données climatiques, la température annuelle et les précipitations annuelles ont été intégrées quand les données étaient fournies. Sinon, elles ont été extrapolées à partir des données UNFAO (http://www.fao.org/nr/climpag/globgrids/KC_classification_en.asp), selon la classification de Köppen-Geiger (Peel *et al* 2007, Rubel et Kottek 2010). Cette classification a été également utilisée pour spécifier les conditions climatiques de chaque publication : tropicales et humides, sub-tropicales et humides, semi-arides, chaudes ou arides. Les races impliquées dans ces études ont été classées en trois groupes pour faciliter l'analyse, selon la classification établie par Felius *et al* (2011) : races taurines à viande (par exemple Hereford, Short-horn...), zébus (par exemple bovin Créole, Azawak, Bororo), et les races mixtes (principalement des croisements entre zébus et taurines).

Outre le code spécifique à chaque publication, d'autres codages ont été appliqués afin de décrire sans ambiguïté les facteurs de variation testés dans les études, liés principalement aux modalités de gestion. Ce type de codage permet de sélectionner les expériences ayant testé les mêmes facteurs de variation et de séparer les variations intra-expériences des variations inter-expériences, principalement liées aux conditions expérimentales spécifiques des différentes études. Ainsi, nous avons étudié différents facteurs quantitatifs tels que la biomasse d'herbe, le chargement ou la quantité de concentrés apportée à la ration. Nous avons également testé les influences de facteurs qualitatifs, tels que la saison, le mode de pâturage continu ou en rotation, le mode de conduite des animaux en troupeau ou à l'attache.

Pour chaque publication sélectionnée, nous avons retenu les traitements testés pour lesquels il y avait une valeur pour le GMQ, la quantité de MS Ingérée (MSI), la Digestibilité de la MS (DMS) ou la quantité de MS Digestible Ingérée (MSDI). La base de données finale comprend 17 publications ($n_{pub} = 17$), 41 expériences ($n_{exp} = 41$) et 140 traitements testés ($n = 140$), les résultats de

plusieurs expériences pouvant être rapportés dans une seule publication. A chaque ligne de la base de données, à savoir pour chaque traitement de chaque expérience et de chaque publication, tous les codages précédemment décrits ont été appliqués. Le GMQ a été exprimé en g par kg de Poids Vif (PV) pour corriger des différences de PV entre races. Les valeurs de MSDI ont été extraites des

Encadré. L'efficacité alimentaire.

Le concept d'Efficacité Alimentaire (EffA) connaît un regain d'intérêt suite aux analyses de la FAO qui montrent qu'un des leviers majeurs pour assurer la sécurité alimentaire mondiale est d'accroître l'efficacité de la transformation des ressources alimentaires en produits animaux (Makkar et Beever 2013). Les différentes productions animales diffèrent assez largement dans leur aptitude à transformer les ressources alimentaires, cependant l'EffA ne peut pas être le seul critère à considérer. Le coût des ressources alimentaires et leur utilisation concurrente vis-à-vis de l'alimentation humaine, les caractéristiques de composition et de prix des produits animaux sont également à prendre en compte.

L'efficacité alimentaire des animaux peut s'exprimer par l'Indice de Consommation (IC) ou par l'EffA proprement dite. Ces deux critères sont liés. Si on connaît la Production (P) et l'Ingestion (I) on a la relation : $IC = I/P = 1/EffA$.

Il est connu que le niveau de production (P) influence ces critères en raison d'une dilution des besoins d'entretien (maintenance M). En effet, comme on a $I = M + P$ on a $IC = (M+P)/P$. IC suit donc un arc d'hyperbole prenant des valeurs de plus en plus élevées à mesure que P diminue et s'approche de 0. Sur la base de ce principe l'animal moins performant est donc moins bon transformateur. Autour de ces critères de base, différentes variantes existent.

L'indice de consommation

L'IC est en général défini en kg aliment/kg produit, il est principalement appliqué aux productions de porcs et de volailles où il est facile d'utilisation et où P correspond au gain de poids quotidien (GMQ). Cependant des variantes ont par exemple consisté à exprimer l'ingéré en termes d'énergie métabolisable ($IC_{EM} = EMI/GMQ$ en kcal/kg de gain) ou d'énergie nette ($IC_{EN} = ENI/GMQ$). Compte tenu du fait que l'IC varie en fonction de la composition corporelle ou des types de tissus déposés, il arrive par exemple d'exprimer l'IC pour le dépôt de protéines (ex $IC_{EM,PRO} = EMI/PRO$ en kcal/g protéines déposées).

Les critères d'efficacité

Ils sont de plus en plus utilisés en pratique et en recherche. L'efficacité peut être décomposée selon ses deux principales composantes biologiques : l'efficacité digestive et métabolique. Cette décomposition permet d'identifier les leviers qui contrôlent des processus digestifs ou métaboliques. Par exemple, si on a la connaissance de la quantité de Matière Sèche Digestible Ingérée (MSDI) on a :

$$EffA = P/I = (MSDI/I) \times (P/MSDI)$$

Dans ce produit MSDI/I traduit l'Efficacité Digestive (EffD). P/MSDI est la quantité de Produit (P) par unité de MSDI et traduit l'Efficacité Métabolique (EffM). On a donc :

$$EffA = EffD \times EffM$$

Différentes variantes de ce critère sont proposées, par exemple pour l'Efficacité Energétique (EffE) en prenant l'Energie Métabolisable Ingérée (EMI) comme critère intermédiaire, peut s'écrire :

$$EffE = (EMI/EBI) \times (EP/EMI)$$

Dans cette expression EBI est l'Energie Brute Ingérée et EP est l'énergie qu'on retrouve dans le produit noble. Lorsque P diminue, EffA diminue également pour aboutir à $EffA = 0$ si $P = 0$ ($EffA = P/(M+P)$). Lorsque P s'accroît EffA fait de même pour tendre asymptotiquement vers $EffA = 1$. Lorsqu'EffA est décomposée en EffD et EffM, l'influence de P ne s'applique que sur la composante EffM.

publications quand elles étaient disponibles ou ont été calculées en multipliant les valeurs de MSI et DMS mesurées. Dans environ la moitié des publications, l'ingestion et la digestibilité ou les caractéristiques du fourrage étaient exprimées relativement à la Matière Organique (MO). Toutes les données ont été converties en % de la MS, soit grâce à la teneur en MO donnée dans la publication, soit en utilisant une concentration en MO moyenne calculée sur l'ensemble des données mesurées disponibles de la base (soit $90,4 \pm 1,95$ de la MS, $n = 41$). Pour mieux évaluer l'efficacité d'utilisation par les bovins de leur ration au pâturage, l'efficacité alimentaire (EffA), ou de conversion de la MSI, a été calculée en divisant le GMQ par la MSI, et en la décomposant en ses deux composantes, métabolique et digestive (cf. encadré).

Par ailleurs, les fourrages ont été décrits par leur espèce, la hauteur, la biomasse, ainsi que par les teneurs en parois végétales (NDF) et en Matières Azotées Totales (MAT), lorsqu'elles étaient disponibles dans les publications. Les apports en MS de compléments énergétiques ont également été inclus dans la base de données quand il y avait lieu, ainsi que les quantités de MS de fourrage offertes. Nous avons également codé les méthodes de mesure de la digestibilité (*in vitro* sur des échantillons d'extrusés de fistules œsophagiennes ou à partir d'analyse d'indicateurs fécaux) et de l'ingestion (basées sur les marqueurs, la collecte totale de matières fécales ou autres méthodes). La hauteur, quand elle a été précisée dans les publications, a été le plus souvent mesurée avec un herbomètre à plateau.

1.2 / Démarche d'analyse des données collectées

Les statistiques descriptives ont été calculées pour chaque variable (moyenne, écart type, amplitude de variation) présente dans les publications sélectionnées (tableau 1). Le méta-dispositif ainsi constitué avec l'ensemble des données collectées, n'a pas permis d'étudier les interactions entre certains facteurs importants, comme les races et les zones climatiques. L'hétérogénéité des données et le méta-dispositif non orthogonal nous ont conduit à appliquer une démarche de méta-analyse telle qu'elle a été décrite par Sauviant *et al* (2008). Ainsi nous avons privilégié l'étude des relations entre variables prises deux à deux, ou liées par des opérations simples. Par exemple, les données disponibles de

Tableau 1. Statistiques descriptives des différentes données extraites des publications analysées ⁽¹⁾.

	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
Climat					
Température annuelle (°C)	137	21,6	0,4	14,5	31,7
Précipitation annuelle (mm)	137	1145	71	400	3283
Animaux					
Age moyen (mois)	70	14,8	0,7	10,0	36,0
Poids vif initial (PV, kg)	121	255,4	6,3	151,0	555,0
Poids vif moyen (PV, kg)	140	668	288	370	1200
Gain Moyen Quotidien (g/j)	137	581	32	- 500	1210
Gain Moyen Quotidien (g/kg PV/j)	121	2,4	0,2	- 1,7	6,6
Modalités de gestion					
Biomasse (t MS/ha)	69	3,0	0,2	0,4	6,2
Chargement (t PV/ha)	74	1,2	0,7	0,02	2,3
Chargement (t PV/t MS/ha)	36	1,3	1,4	0,2	5,7
Quantités d'Herbe disponibles (kg MS/j)	36	1,9	1,6	0,2	5,3
Hauteur de couvert (cm)	32	10,0	1,5	2,0	32,0
Stade de repousse (j)	13	22	1	14	28
Caractéristiques du fourrage					
MS (%)	28	34,6	0,9	25,5	40,5
MO (% de la MS)	41	90,4	0,3	86,5	93,2
Digestibilité (% de la MS)	54	54,7	0,6	43,5	63,0
MAT (% de la MS)	78	12,3	0,6	4,4	20,0
NDF (% de la MS)	46	67,5	2,0	43,7	81,5
Caractéristiques de la ration					
Digestibilité (% de la MS)	137	59,5	0,6	43,4	75,3
MAT (% de la MS)	88	12,8	0,3	5,0	20,8
NDF (% de la MS)	11	65,6	2,4	54,6	74,9
Ingestion					
Ingestion totale (g MS/kg PV/j)	91	26,0	0,7	10,0	44,0
Ingestion d'herbe (g MS/kg PV/j)	91	19,6	1,1	2,0	42,0
Ingestion de légumineuses (g MS/kg PV/j)	42	10,8	0,8	2,0	22,0
Ingestion de concentrés ⁽²⁾ (g MS/kg PV/j)	31	4,2	0,6	0,0	11,0
MS Digestible Ingérée (g MS/kg PV/j)	91	16,1	0,5	3,2	27,5

⁽¹⁾ Chacon *et al* (1978), Romero et Siebert (1980), Boval *et al* (1996), Petty *et al* (1998), Ramos *et al* (1998), Cabrera *et al* (2000), Sprinkle *et al* (2000), Ackerman *et al* (2001), Ayantunde *et al* (2001), Aranda *et al* (2001), Boval *et al* (2002), Bodine et Purvis (2003), Gomez-Vazquez *et al* (2003), Ayantunde *et al* (2008), Alonso *et al* (2008), Dixon et Coates (2008), Pereira *et al* (2009); ⁽²⁾ Que pour les articles offrant des régimes avec concentrés, avec ou sans régime contrôle.

GMQ ont été associées à des données de MSI et MSDI. Ceci a permis de mieux apprécier et de hiérarchiser un certain nombre de relations essentielles telles que celles entre les apports de nutriments (dont la MSDI est le meilleur indicateur) et le niveau de croissance. Afin d'améliorer la précision sur les effets des facteurs, nous avons utilisé différents sous-ensembles de données comportant soit *i*) des valeurs de GMQ et MSDI, *ii*) des informations sur les apports de concentrés, *iii*) des données de biomasse disponible, *iv*) des valeurs de GMQ et de chargement calculées à l'hectare.

Conformément aux recommandations de Sauvant *et al* (2008), les relations entre la variable dépendante (GMQ g/kg PV) et les variables explicatives (X_j) ont été étudiées par l'analyse de la variance-covariance en utilisant la procédure GLM (Minitab 16), de manière à séparer au mieux les variations globales, inter et intra-expériences. Dans ces traitements, l'effet expérimental a été traité comme un effet fixe, cet effet ne présentant pas une distribution selon une loi de Gauss, mais également en raison du nombre limité d'études, et de la spécificité des conditions expérimentales pour chaque étude. Dans certains cas, des facteurs fixes pouvant expliquer des variations entre expériences ont été pris en compte selon un modèle hiérarchique au sein du code « publication » (d'Alexis *et al* 2013). Le modèle statistique général retenu a été :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{1j}X_j + \beta_{2j}X_j^2 + e_{ijk},$$

où μ est la constante représentant l'intersection lorsque $X = 0$, α_i est l'effet fixe lié à l'expérience, β_{1j} et β_{2j} sont les termes linéaires et quadratiques (quand ils sont significatifs) pour la covariable X_j . Le terme e_{ijk} est le terme d'erreur aléatoire du modèle. Les interactions entre les α_i et X_j sont testées le cas échéant. Les R^2 et R^2 spécifique sont précisés pour chaque modèle. Le R^2 spécifique permet de s'affranchir de la variance expliquée par l'effet expérience, c'est le rapport de la somme des carrés des écarts liés à la variable explicative, divisée par la même somme, et additionnée de la somme des carrés des écarts de l'erreur (Dagnelie 1981). La qualité de chaque relation a été évaluée en étudiant la normalité des résidus du modèle. Les valeurs aberrantes ont été identifiées sur la base des résidus normalisés (< 3 ou > 3) et retirées des analyses (Sauvant *et al* 2008).

Une première étape de l'analyse de la base de données a porté sur l'influence des contextes des études et des stratégies de gestion (les variations de la biomasse, du chargement et des quantités d'herbe disponibles ou de la hauteur et des stades de repousse, tableau 1). Comme le calcul

de réponses en intra-expérience nécessite un minimum de variation pour chaque variable explicative au sein de chaque expérience (Sauvant *et al* 2008), seules les études rapportant plusieurs valeurs de GMQ ont été prises en compte. Si plusieurs valeurs de GMQ ont été rapportées à un niveau particulier de X_j (soit un chargement ou un niveau de quantité d'herbe offerte), une valeur moyenne de GMQ a été rapportée. Une deuxième étape de l'analyse a porté sur l'ensemble des données disponibles, pour décrire la relation intra-expérience entre GMQ et MSDI (en g MS/kg PV/j).

2 / Performances des différents types de bovins en fonction des zones climatiques et des saisons

Les données recueillies indiquent que le GMQ est très variable en conditions de pâturage et peut atteindre dans certains cas près de 3,36 g/kgPV/j (tableau 2), confirmant ainsi des valeurs déjà publiées (Esterhuizen *et al* 2008, Braghieri *et al* 2011). Les GMQ les plus bas ont été rapportés en climat chaud aride avec des zébus (0,55 g/kg PV/j, soit 132 g/j), et sont issus de deux publications. Les performances les plus élevées ont été mesurées en climat semi-aride avec des animaux de types mixtes (3,36 g/kg PV/j, soit 735 g/j). Peu d'informations ont pu être exploitées dans les diverses publications pour expliquer ces différences entre zones climatiques et types génétiques. Quoiqu'il en soit, ces différences de performances ont été mineures comparées à la variabilité inter-publication, illustrant le fort impact du contexte, propre à chaque expérimentation sur le niveau de croissance.

Par ailleurs la saison est apparue comme un facteur déterminant majeur influençant les performances dans un contexte local. Ainsi, lorsque l'on considère uniquement les études qui ont évalué l'effet des saisons, le GMQ a été accru en saison des pluies de 1,09 g/kg PV/j ($n = 86$,

$n_{exp} = 11$, ETR = 1,09, $R^2 = 0,71$, $R^2_{spec} = 0,19$, $P < 0,001$). Toutefois, l'étude de la variation résiduelle résultant de cette analyse a montré qu'une publication révélait un effet de la saison sur le GMQ en opposition avec les autres études (Petty *et al* 1998). En excluant les deux traitements atypiques de cette publication, un effet saisonnier encore plus important a été mis en évidence, soit 1,38 g/kg de PV/j en plus au cours de la saison des pluies par rapport à la saison sèche ($n = 84$, $n_{exp} = 10$, ETR = 1,07, $R^2 = 0,75$, $R^2_{spec} = 0,28$, $P = 0,0001$). Ainsi considérant des animaux d'un PV moyen de 500 kg le gain en saison des pluies serait de 1,09 ou 1,38, selon l'une ou l'autre relation que nous mettons en évidence, représentant un gain de + 9 à + 38%, en comparaison de la saison sèche. Cette augmentation peut s'expliquer par la plus forte disponibilité en biomasse, et sa meilleure qualité, pendant la saison des pluies par rapport à la saison sèche.

3 / Effet des modalités de gestion sur la croissance des bovins

L'influence de diverses modalités de gestion du pâturage peut être appréhendée par individu ou, ou bien par hectare, pour donner plus de sens à la performance permise par le système de production, incluant les animaux et les parcelles. En considérant les expériences où à la fois le GMQ individuel et à l'hectare ont été renseignés, la relation intra-expérience entre ces deux expressions du GMQ, n'est pas linéaire (figure 1). Cette relation positive suggère qu'on se place à des niveaux de chargement élevés par rapport au potentiel de production de la parcelle considérée et qu'il ne suffit pas de considérer le GMQ individuel et le nombre d'animaux pour extrapoler le GMQ à l'hectare.

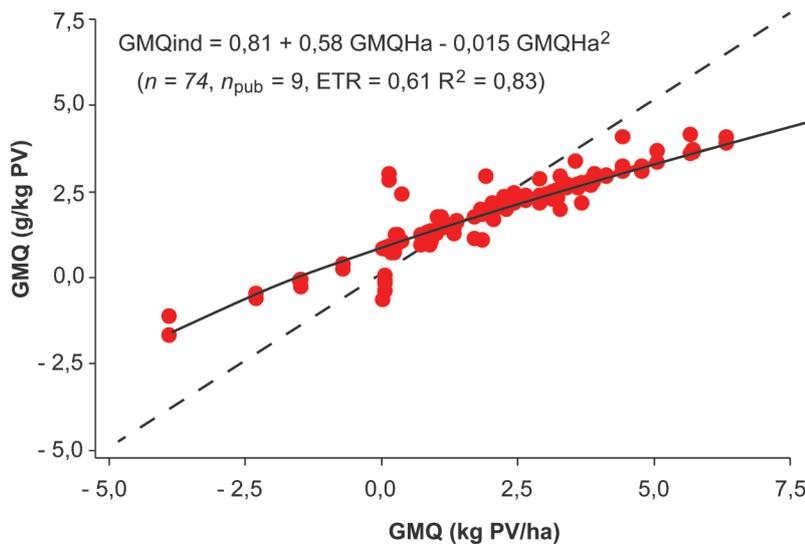
Afin de préciser les composantes de cette relation, nous avons analysé sépa-

Tableau 2. Valeurs de gain moyen quotidien (GMQ g/kg PV/j) pour différents types de bovins.

Zones climatiques	Type de Bovins		
	Viande	Mixtes	Zébu
Semi-Aride	1,36 ± 1,38 ($n_{pub} = 1$, $n = 30$)	3,36 ± 1,60 ($n_{pub} = 2$, $n = 41$)	
Subtropicale	-	3,19 ± 1,84 ($n_{pub} = 2$, $n = 14$)	-
Tropicale humide	-	2,73 ± 1,39 ($n_{pub} = 6$, $n = 36$)	1,33 ± 0,69 ($n_{pub} = 3$, $n = 9$)
Arides	-	-	0,55 ± 1,28 ($n_{pub} = 2$, $n = 10$)

Race à viande : Hereford ; Race mixte : Zébu-Bos Taurus ;
Race de zébus : Créole, Azawak, Bororo.

Figure 1. Relation entre le GMQ individuel (g/kg PV/j) et le GMQ à l'hectare (kg PV/ha/j) calculée en intra-expérience.



rément ces deux modes d'expression du GMQ, quand les données le permettaient. Les modalités étudiées dans l'ensemble des publications analysées ont été successivement la variation de la biomasse offerte, le chargement et l'apport de concentré. Nous avons également pu disposer de quelques données sur l'intégration de légumineuses et la conduite du pâturage en rotation ou en

continu, mais ces données ont été insuffisantes pour mettre en évidence des effets significatifs.

3.1 / Effet des variations de la biomasse sur le GMQ

Intra-expérience, le GMQ individuel est influencé par la biomasse disponible

(t de MS/ha), tel que le montre l'équation 1 (tableau 3) établie à partir de 9 expériences et 69 traitements.

La valeur élevée de l'ETR de cette équation indique qu'elle est peu précise, malgré son calcul en intra-publication, du fait de GMQ très variables à même biomasse. Pour préciser la relation entre GMQ et biomasse, nous avons considéré les données de Chacon *et al* (1978) qui représentent près de 50% des données disponibles ($n=36$). Au sein de cette publication, nous avons pu identifier deux groupes significativement différents selon leur GMQ moyen. Un premier groupe avec des animaux à fort GMQ (GMQHaut, 2,09 g/kg PV/jour \pm 1,09), et un second groupe avec un GMQ près de 4 fois plus faible (GMQBas, 0,46 g/kg PV/j \pm 1,06). Le GMQ de ces deux groupes sont positivement influencés par la biomasse disponible, mais avec des pentes différentes (figure 2). Alors que les animaux à GMQHaut ont eu une croissance d'environ 0,16 g/kg de PV/t de MS supplémentaire et par ha (équation 1a), les animaux à GMQBas ont été plus sensibles à l'évolution de la biomasse, avec un gain de 0,56 g/kg de PV, par t de MS supplémentaire et par ha (équation 1b, tableau 3). Ces deux relations sont nettement plus précises que la relation

Tableau 3. Equations de prédiction du Gain Moyen Quotidien (GMQ) à partir de divers paramètres, tels que le chargement (t PV/ha ou t PV/t MS/ha), la biomasse (t de MS/ha), la hauteur de l'herbe (cm) ou la quantité d'herbe offerte (kg MS/kg PV/j).

Equations		n	n _{exp}	ETR	R ²	R ² spec
1	GMQ (g/kg PV) = 1,34 + 0,22 Biomasse (t MS/ha)	69	9	1,04	0,63	0,26
1a	GMQHaut (g/kg PV) = 1,75 + 0,16 Biomasse (t MS/ha)	18	6	0,47	0,86	0,51
1b	GMQBas (g/kg PV) = - 1,15 + 0,56 Biomasse (t MS/ha)	18	6	0,46	0,87	0,85
1c	GMQHautHa (kg PV/ha) = 4,078 - 0,210 x Biomasse (t MS/ha)	18	6	1,40	0,70	0,83
1d	GMQBasHa (kg PV/ha) = - 2,340 + 0,906 x Biomasse (t MS/ha)	18	6	1,05	0,76	0,73
2a	Biomasse (g/kg PV/ha) = 0,368 + 0,215 Hauteur (cm)	32	11	0,67	0,90	0,88
2b	Biomasse (t MS/ha) = 7,82 - 3,21 Chargement (t PV/ha)	36	12	0,84	0,82	0,75
3a	GMQ (g/kg PV) = 3,45 - 1,19 Chargement (t PV/ha)	50	16	0,57	0,88	0,67
3b	GMQ (g/kg PV) = 3,05 - 0,87 Chargement (t PV/ha)	40	16	0,42	0,92	0,68
3c	GMQha (kg PV/ha) = 0,69 + 1,14 Chargement (t PV/ha)	39	16	0,59	0,91	0,56
3d	GMQHaut (g/kg PV) = 2,39 - 0,18 Chargement (t PV/t MS/ha)	18	6	0,46	0,86	0,68
3e	GMQBas (g/kg PV) = 1,29 - 0,86 Chargement (t PV/t MS/ha)	18	6	0,65	0,74	0,74
3f	GMQBasHa (kg PV/ha) = 1,73 - 1,53 Chargement (t PV/t MS/ha)	18	6	1,08	0,75	0,73
3g	GMQ (g/kg PV) = 2,48 log ₁₀ (0,67 + Disponible (kg MS/kg PV))	23	17	0,47	0,96	0,76
4a	GMQ (g/kg PV) = 2,10 + 0,11 Concentré Ingéré (g MS/kg PV)	28	7	0,52	0,92	0,52
4b	GMQ (kg PV/ha) = 2,37 + 0,056 Concentré Ingéré (g MS/kg PV)	16	4	0,44	0,95	0,40
4c	MSI (g/kg PV) = 27,7 + 0,13 Concentré Ingéré (g MS/kg PV)	28	7	1,52	0,91	0,33
4d	DMS (%) = 57,7 + 1,58 Concentré Ingéré (g MS/kg PV)	28	7	2,85	0,92	0,82
4e	MSDI (g/kg PV) = 15,8 + 0,47 Concentré Ingéré (g MS/kg PV)	28	7	1,52	0,80	0,24
4f	Fourrage Ingéré (g MS/kg PV) = 24,8 - 0,76 Concentré Ingéré (g MS/kg PV)	28	7	0,84	0,90	0,84
5a	MSDI (g/kg PV) = - 0,63 + 0,64 MSI (g /kg PV)	94		1,26	0,97	0,96
5b	MSDI (g/kg PV) = 0,47 + 0,27 DMS (%)	94		2,27	0,89	0,65
6	GMQ (g/kg PV) = -1,63 + 0,42 MSDI - 0,0084 (MSDI) ²	90	30	0,58	0,93	
7	EMI (kcal/kg PV ^{0,75}) = 180 + 5,44 GMQ (g/kg PV ^{0,75})	29		61,3	0,25	

MSI = MS Ingérée ; DMS = Digestibilité de la MS ; MSDI = MS Digestible Ingérée ; EMI = Energie Métabolisable Ingérée.

précédente calculée sur l'ensemble des données. La différence de pente entre ces deux relations montre aussi qu'il y a une interaction entre le niveau de biomasse et le niveau moyen de GMQ.

À l'hectare, le GMQ a été calculé pour les deux groupes identifiés dans la publication de Chacon *et al* (1978). Le gain pour le premier groupe à GMQHaut n'a quasiment pas évolué pour chaque tonne supplémentaire de MS par ha (équation 1c, tableau 3), alors que pour le second groupe, à GMQBas, une augmentation de 0,91 kg PV/ha a été calculée (équation 1d, tableau 3). Le GMQBasHa augmente plus rapidement avec la biomasse (+ 0,91 kg PV/ha/j, équation 1d) que le GMQBas individuel (+ 0,560 g/kg PV/j qui équivaut à un croît de 0,67 kg PV/ha/j pour des PV moyens de 668 kg et un chargement de 0,7 t PV/ha). D'où l'importance de bien appréhender les effets au niveau global à l'hectare, et pas seulement au niveau individuel, pour évaluer une efficacité globale au niveau du système de production.

Cependant, quel que soit le mode d'expression du GMQ, par individu ou à l'hectare, la différence d'effet de la biomasse sur les GMQHaut et GMQBas demeure. Chacon *et al* (1978) ont en effet observé que pour des biomasses équivalentes (en été et en automne) les animaux n'étaient pas capables de satisfaire leurs besoins de la même façon. En effet, de fortes variations de la distribution spatiale de biomasses équivalentes en MS, générées avec l'alternance des saisons et durant trois années consécutives, avaient alors fortement influencé la croissance des animaux. En fait, sur certains couverts, les animaux à GMQBas ont effectué de trop petites bouchées et ont eu besoin alors de pâturer plus longtemps pour compenser (Chacon *et al* 1978). Par conséquent, la variation de la masse de l'herbe pour ces animaux à GMQBas a eu plus d'effet sur l'évolution de leur croissance que pour les animaux à GMQHaut.

Ces résultats illustrent le fait que, outre la quantité présente par hectare, la distribution spatiale et la préhensibilité de la biomasse, voire d'autres caractéristiques physiques ou chimiques, peuvent en modifier l'effet sur le GMQ. Ces caractéristiques ne sont cependant pas aisées à évaluer. Ainsi la hauteur est souvent utilisée comme un indicateur de la quantité de biomasse ; à partir des 32 données disponibles pour lesquelles la hauteur de l'herbe était mesurée, nous avons ainsi pu établir l'équation 2a (tableau 3).

Les variations de la biomasse totale et de la hauteur peuvent être induites en jouant sur la fertilisation ou le stade de repousse. Mais pour toutes les expériences recensées, les biomasses ont été mesurées

Figure 2. Relation entre le GMQ (g/kg PV) et la biomasse disponible (t de MS/ha) pour des animaux à GMQ Haut ou Bas (GMQHaut moyen de 2,09 g/kg PV/j ; GMQBas moyen de 0,46 g/kg PV/j).

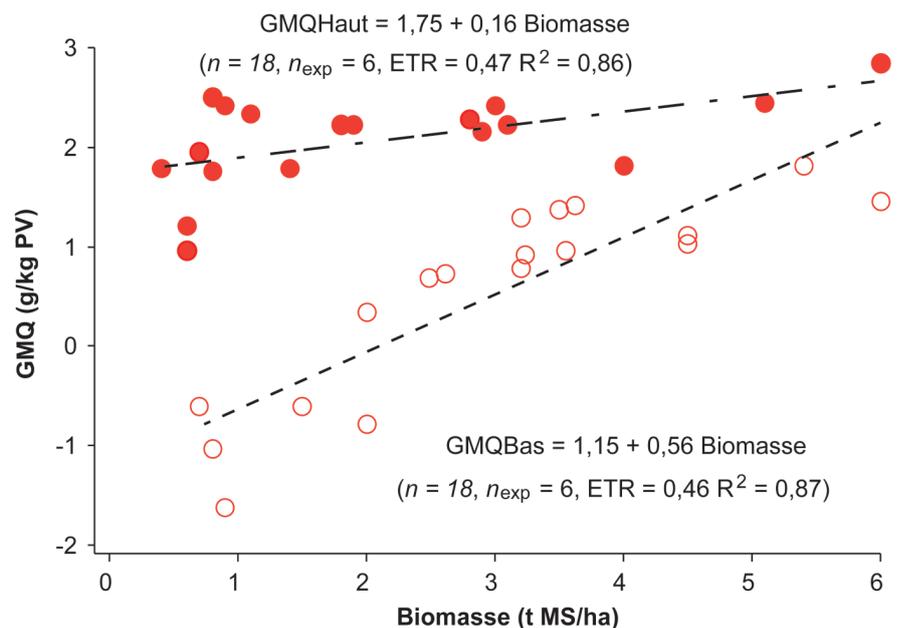
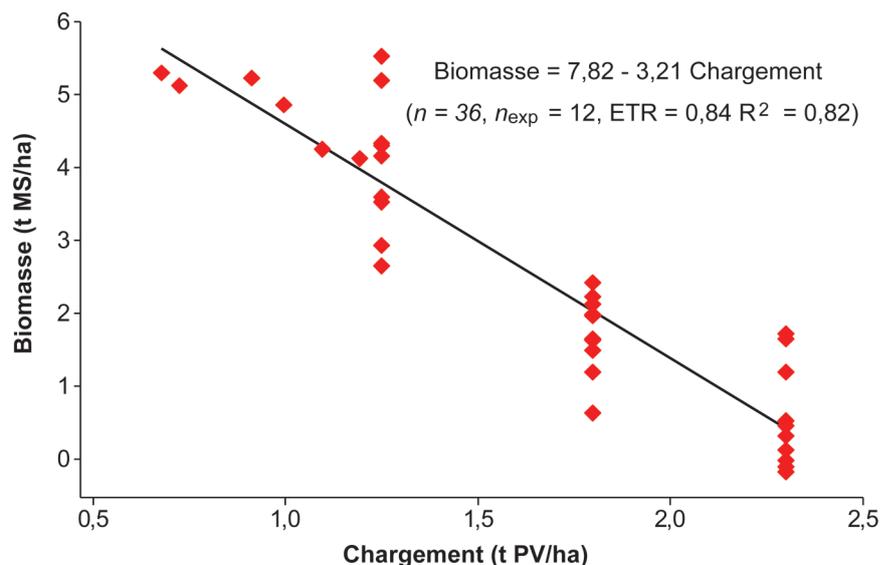


Figure 3. Relation entre la biomasse disponible (t MS/ha) et le chargement moyen (t PV/ha) selon les données renseignées dans les publications analysées.



en cours d'étude et résultent surtout de la conduite globale des pâturages. Les biomasses évoluent ainsi inversement avec le chargement (équation 2b, tableau 3 et figure 3), illustrant la réponse du couvert à des chargements de plus en plus importants. Un chargement accru réduit donc plus fortement la biomasse disponible à un moment donné, et une t de PV animal supplémentaire par ha réduit en moyenne de 3,21 t de MS/ha la biomasse disponible.

3.2 / Effet d'une variation du chargement sur le GMQ

Le chargement constitue un paramètre clé qui permet de gérer les relations entre

les animaux et la superficie totale du système de pâturage. Il a souvent été exprimé en nombre d'animaux présents par hectare (Allen *et al* 2011). Cependant cette expression du chargement est très globale et limite les possibilités de comparaisons entre études. En effet, le nombre d'animaux n'informe pas sur la masse animale pâturant par ha, d'où l'intérêt de l'expression en tonnes de PV/ha qui est un critère plus pertinent (Sollenberger *et al* 2005, Allen *et al* 2011), tel que développé ci-dessous. Un second mode d'expression encore plus précis, consiste à rapporter la masse animale à la biomasse végétale, en effet on dispose alors d'un ratio direct entre deux biomasses, animale et végétale.

a) Le chargement exprimé en tonnes de poids vif par hectare

Dans la base de données, le chargement exprimé en tonne de PV/ha, a eu un effet négatif et linéaire sur le GMQ individuel. En considérant les 9 publications pour lesquelles le chargement était le facteur testé, intra-expérience le GMQ a ainsi diminué de 1,19 g/kg PV par tonne supplémentaire de PV/ha (équation 3a, tableau 3). Dans un second temps nous avons retiré les 10 points correspondant à un chargement supérieur à 2 tonnes de PV/ha, car très dispersés sur la variable expliquée (GMQ de - 0,34 à 3,45 g/kg PV), en outre ils ne proviennent que d'une seule référence. Dans ce cas la baisse du GMQ a été moindre, de 0,87 g/kg PV et l'équation prédictive a été un peu plus précise que précédemment (équation 3b, tableau 3 et figure 4).

Avec ces mêmes traitements et en considérant le GMQ calculé par ha pâturé (GMQha en kg/ha/j), on obtient contrairement au GMQ individuel un accroissement linéaire du GMQha de 1,14 kg PV/ha/j, par tonne supplémentaire de PV/ha (équation 3c, tableau 3 et figure 4).

Cet effet positif du chargement sur la performance animale à l'hectare avait déjà été rapporté par Coleman et Forbes (1998) jusqu'à 3 animaux par ha et un poids vif moyen de 668 kg (cf. tableau 1). Néanmoins, des données supplémentaires seraient nécessaires pour évaluer plus précisément l'influence du chargement au-delà de 2 tonnes de PV/ha afin d'obtenir une relation plus générique. En effet plus de 20% des pâturages tropicaux seraient dégradés suite à des chargements trop élevés, conduisant entre autres, à des pertes importantes de carbone (Garnett 2009). Dans la base de données les traitements avec des chargements de plus de 2 tonnes de PV/ha sont très dispersés, même si leur retrait n'influence pas la régression. Il serait nécessaire d'une part, de connaître les durées des périodes de pâturage pour ces chargements élevés qui sont malheureusement mal renseignées dans les études et, d'autre part, d'identifier et de quantifier des indicateurs de surpâturage, de durabilité et autres indicateurs liés à l'impact écologique (Vetter 2005).

b) Le chargement exprimé en tonnes de poids vif rapportées à la biomasse par hectare

En tenant compte de la biomasse par hectare, nous avons pu considérer l'effet négatif du chargement sur le GMQ individuel. Celui-ci a ainsi diminué pour tous les animaux que nous avons pu considérer. La diminution a été de 0,18 g/kg PV pour les animaux du groupe GMQHaut

(équation 3d, tableau 3) et a été plus importante pour les animaux du groupe GMQbas (avec 0,86 g/kg PV, équation 3e, tableau 3 et figure 5). Pour le GMQHaut (pour les animaux ayant un GMQ moyen de $2,09 \pm 1,09$ g/kg PV), la baisse (- 0,18, équation 3d) est plus faible avec le chargement en tPV/tMS/ha qui tient compte de la biomasse, qu'avec l'expression en t PV/ha, (- 0,87, figure 4, équation 3b). Pour le GMQbas (les animaux à GMQ moyen de $0,46 \pm 1,06$ g/kgPV/j), la baisse est équivalente quel que soit le mode d'expression du chargement.

En considérant le GMQ calculé par ha pâturé, on obtient une relation non significative pour les GMQHaut, et une baisse de - 1,53 t PV/ha/j pour les GMQbas, par

tonne supplémentaire de PV/ha (équation 3f, tableau 3). Quand on considère ce mode d'expression du chargement, tenant compte de la biomasse, la baisse du GMQha est ici la plus forte, comparée aux pentes des relations précédentes (- 0,87 et - 0,86 respectivement, en considérant le GMQ individuel ou le chargement en t PV/ha).

Ainsi l'usage de la notion de chargement appelle à bien appréhender son mode d'expression, qui est déterminant pour la mise en œuvre des stratégies à adopter. Mise à part la considération de l'impact du chargement sur la performance individuelle ou à l'hectare, il faut alors prendre en compte, au-delà du nombre d'animaux, la surface et la biomasse pré-

Figure 4. Relation entre le GMQ individuel (rond noir, g/kgPV/j) et le GMQ par ha (rond rouge, kg PV/ha) et le chargement (t PV/ha).

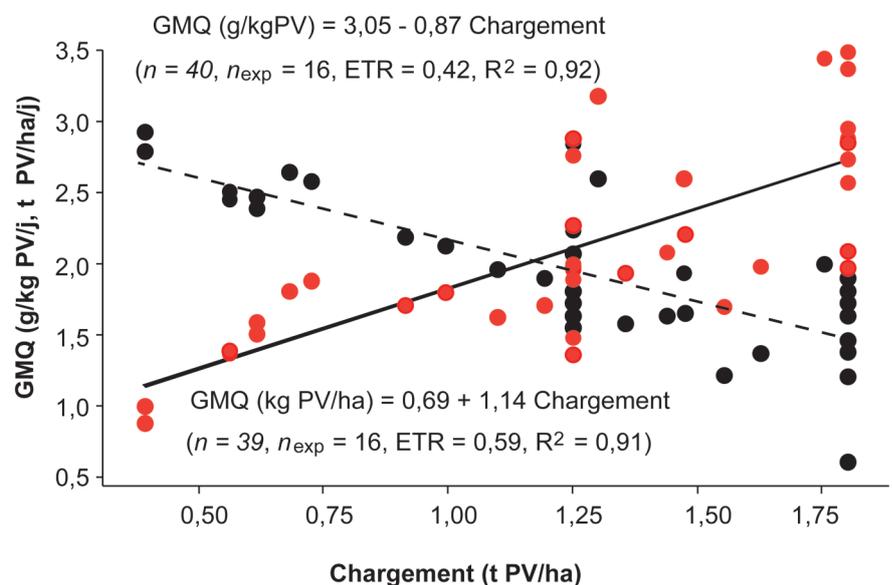
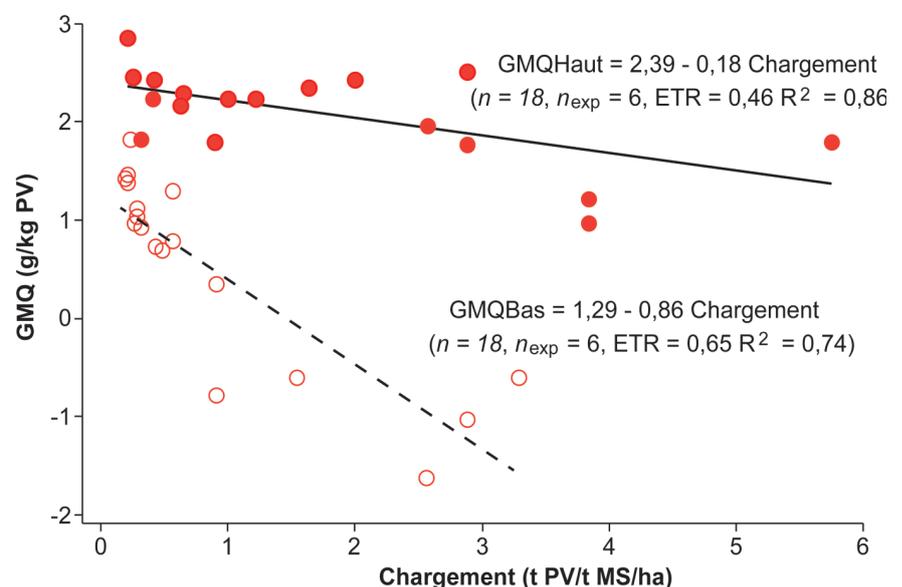


Figure 5. Relation entre le GMQ (g/kg PV/j) et le chargement exprimé en tonne PV/t de MS/ha, calculé pour deux GMQ moyens, (GMQHaut de $2,09 \pm 1,09$ g/kg PV/j et GMQbas de $0,46 \pm 1,06$ g/kg PV/j).



sente sur la surface en question. Cette expression du chargement rend possible la prise en compte de la pression réelle de pâturage dans un contexte donné, d'autant que la biomasse varie dans le temps, avec la saison et la conduite d'élevage (Allen *et al* 2011). En effet l'inverse de cette expression du chargement (t de PV/t de MS/ha), est en fait égal à la quantité d'herbe disponible en kg de MS/kg de PV.

Nous avons ainsi développé une relation entre le GMQ et la quantité d'herbe offerte sur les données disponibles en pâturage continu (Chacon *et al* 1978) qui permettent de considérer diverses expressions du chargement (équation 3g, tableau 3 et figure 6).

L'expression du chargement qui tient compte de la biomasse présente (t de PV/t de MS/ha), apparaît ainsi mieux adaptée que les autres modes d'expression du chargement pour anticiper la relation instantanée de l'animal face au fourrage. Cependant d'autres caractéristiques de la biomasse (distribution, préhensibilité...) peuvent également influencer la performance, comme le précisent Chacon *et al* (1978) dans leur étude. Néanmoins ces dimensions qualitatives sont plus difficiles à appréhender, même si des critères comme la hauteur peuvent y contribuer (cf. équation 2a). Aussi, l'expression du chargement qui intègre la biomasse présente peut déjà être considérée comme une avancée par rapport à l'expression classique en nombre d'animaux par ha lorsque l'estimation des quantités de biomasse proposées au pâturage par animal comme indiquée à la figure 6 n'est pas possible.

3.3 / L'effet du concentré

En général les expériences de complémentation au pâturage ont surtout été menées avec des concentrés tels que du maïs, du soja et de l'urée. L'apport de concentré a un effet positif aussi bien sur le GMQ par animal que celui exprimé par ha. A partir du sous-ensemble d'expériences qui ont testé l'apport de concentrés, le GMQ a été accru de + 0,11 g/kg PV (équation 4a, tableau 3 et figure 7) et celui par ha, de + 0,056 g/kgPV/ha (équation 4b, tableau 3).

Selon ces données, le GMQ en kg PV/ha peut dépasser 3,5 g/kg PV, ce qui est cohérent avec d'autres valeurs publiées pour des contextes tropicaux (Leng 1990, Poppi et McLennan 1995, Dixon et Egan 2000). Plus récemment, une méta-analyse d'études conduites en zones tempérées ou tropicales, comparant l'alimentation en bâtiment et au pâturage (Agastin *et al* 2014) a aussi montré que la consommation de concentrés est positivement liée au GMQ, avec une

Figure 6. Relation entre la quantité de fourrage disponible (kg MS/kg PV) et le GMQ (g/kg PV) calculée en intra-expérience.

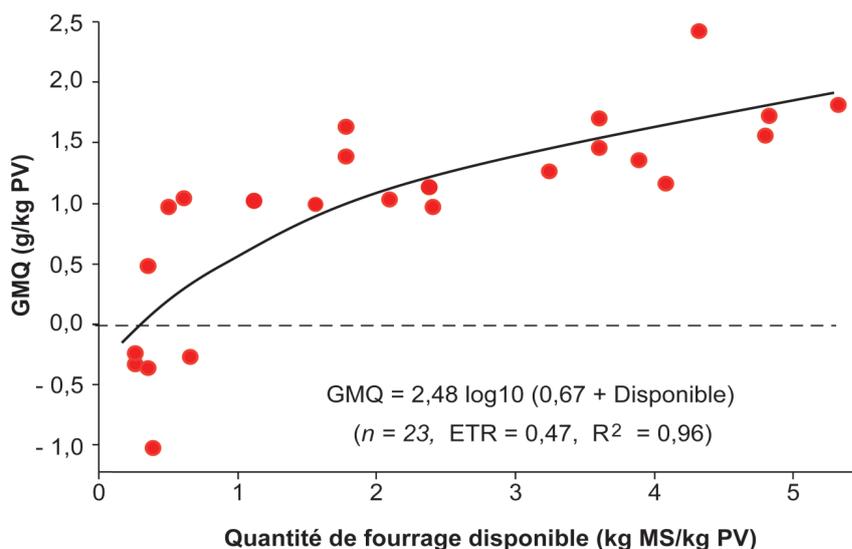


Figure 7. Relation entre le GMQ individuel (g/kg PV/j) et la quantité de concentré ingérée (g MS/kg PV/j) calculée en intra-expérience.

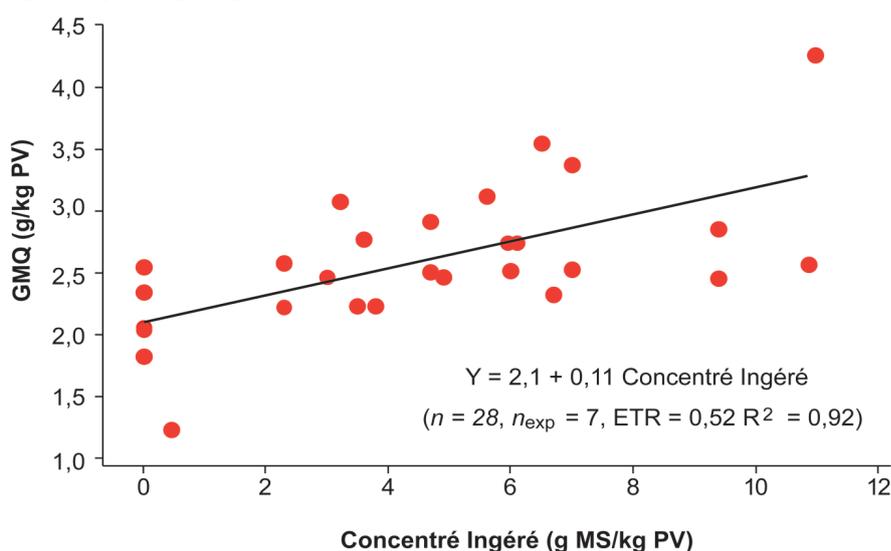
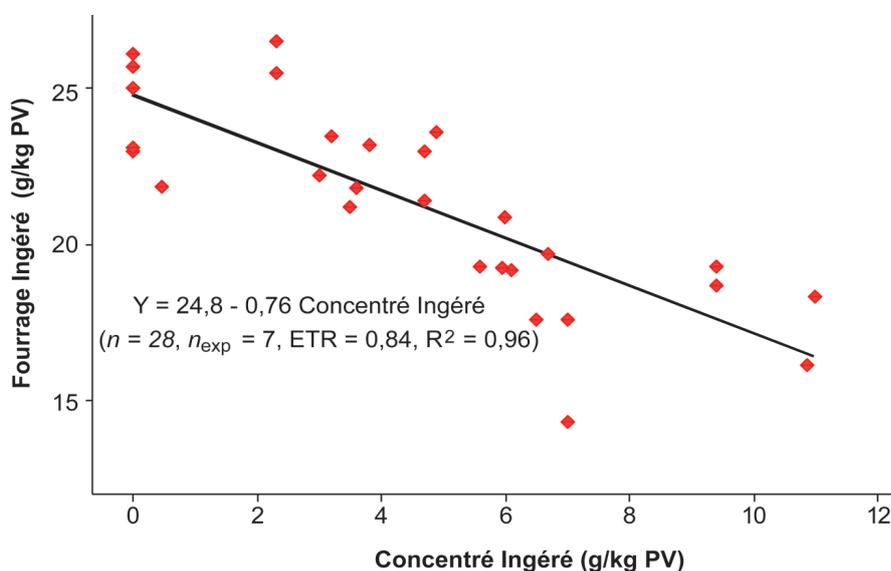


Figure 8. Relation entre la quantité de fourrage ingérée (g MS/kg PV/j) et la quantité de concentré ingérée (g MS/kg PV/j) calculée en intra-expérience.



pente très proche de celle calculée ici (0,13 g/kg PV), alors qu'aucune étude n'a été commune avec la présente base de données. Cette méta-analyse n'a en effet considéré que les publications ayant comparé en intra-expérience l'alimentation en bâtiment et au pâturage. Par ailleurs l'apport de concentré a induit une augmentation de MSI de 0,13 g/kg PV par g de concentré ingéré (équation 4c, tableau 3). La DMS a également été significativement améliorée par le Concentré Ingéré (CI) (équation 4d, tableau 3), et la MS Digestible Ingérée (MSDI) a par conséquent également été augmentée (équation 4e, tableau 3).

Ces résultats sont liés en partie à la diminution significative de la consommation de fourrage par rapport à celle de concentrés avec, pour les données considérées, un taux de substitution moyen de $0,76 \pm 0,14$ (équation 4f, tableau 3 et figure 8). Ce taux de substitution est comparable à d'autres valeurs publiées, y compris en conditions tempérées (Agabriel 2007). Nos données permettent aussi d'évaluer la réponse de la consommation de fourrage par ha. Celle-ci a été significativement diminuée par l'apport de concentré, de $0,67 \pm 0,28$ kg/ha et par g de CI/kg PV.

Ces résultats indiquent que la complémentation en concentrés en conditions de pâturage constitue une stratégie intéressante pour améliorer les performances et, par exemple, pour atténuer l'effet des variations saisonnières de la disponibilité en aliments.

4 / Prévoir la performance animale à partir des apports nutritionnels

4.1 / Estimation des apports nutritionnels en fonction de l'ingestion et de la digestibilité

Les modalités de gestion mises en œuvre au pâturage visent à accroître l'apport de nutriments disponibles pour les animaux. Cependant cet apport est difficile à apprécier en conditions de pâturage. L'indicateur le plus fiable de cet apport de nutriments est le produit des quantités ingérées et de leur digestibilité (Lippke 2002, Coleman 2006) (figure 9). Dans notre base de données les valeurs de MSDI varient ainsi de 3,2 à 39,2 g/kg PV/j. La MSDI résulte du produit de la MSI et de la DMS, ces deux variables n'étant pas corrélées entre elles dans notre base de données ($n = 91$, $r = 0,068$, $P = 0,56$). Par ailleurs la MSDI mesurée est nettement mieux liée à la MSI qu'à la DMS (équations 5a, 5b, tableau 3 et figure 9.)

Ainsi la quantité de MS ingérée apparaît dans cette méta-analyse comme le déterminant majeur de l'apport nutritionnel, comme cela a déjà été rapporté par d'autres auteurs (Coleman et Moore, 2003). De même, selon Milford et Minson (1965), Lippke (1980) et Boval *et al* (2007), l'apport nutritionnel et le GMQ permis par des graminées tropicales pâturées sont davantage corrélés à l'ingestion de MS qu'à la digestibilité. Plus récemment et considérant une large gamme de biomasse, la quantité de fourrage consommée a expliqué une forte proportion du GMQ (60-90%), tandis que la valeur nutritive, évaluée par différents paramètres n'a pas eu d'effet marquant (Garay *et al* 2004, Sollenberger et Vanzant 2011).

Selon la revue de Bruinenberg (2002), la digestibilité apparaît comme le premier facteur déterminant l'apport nutritionnel, avant l'ingestion, pour une majorité d'études publiées. Ainsi la digestibilité qui intervient dans le calcul de la valeur nutritive, est liée aux caractéristiques des fourrages et à leur maturité, et est considérée comme un bon indicateur général de l'ingestion volontaire (Armstrong *et al* 1986, Bruinenberg 2002, Owens *et al* 2010). Mais la majorité des études publiées sont conduites en stabulation, où la digestibilité et l'ingestion sont en effet généralement positivement corrélées. Le fourrage tassé dans les auges ne nécessite alors pas d'effort important de préhensibilité. Au pâturage il n'en est pas de même car le fourrage est dressé et plus épars, affectant alors la quantité et la qualité de la MS prélevée par bouchée (Prache et Peyraud 1997, Agastin *et al* 2014). Et dans ces conditions l'ingestion n'est pas forcément liée à la digestibilité. Les difficultés liées à la mesure de l'ingestion au pâturage, illustrent pourquoi la digestibilité est davantage étudiée, et de ce fait, souvent avancée comme paramètre déterminant majeur de la performance

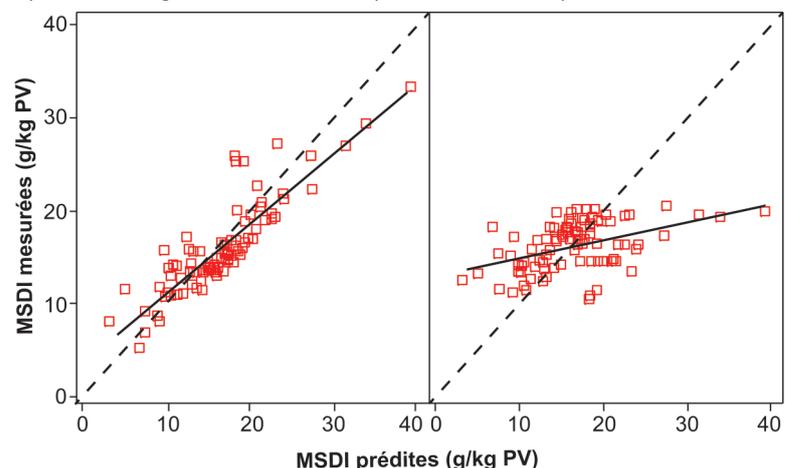
animale, comme récemment analysé par Cottle (2013). En témoigne dans notre base de données constituée uniquement d'études menées au pâturage, le nombre de valeurs de DMS recensées, étant 1,5 fois plus important que les valeurs de MSI ($n = 137$ vs $n = 91$, tableau 1). En effet, compte tenu des difficultés méthodologiques, très peu d'études conduites au pâturage mesurent l'ingestion, et évaluent surtout le comportement alimentaire, généralement sur des intervalles de temps courts, à divers moments de la journée. Ces dernières mesures sont alors rarement combinées à d'autres paramètres plus intégrateurs à l'échelle de la journée, et ne permettent pas d'estimer l'ingestion et l'apport nutritionnel quotidiens (Gregorini *et al* 2008, Kondo 2011).

4.2 / Relation entre le GMQ et les apports nutritionnels

A partir de 90 traitements, la relation calculée en intra-expérience entre le GMQ et la MSDI est curvilinéaire. La MSDI constitue en effet à elle seule un bon prédicteur du GMQ avec un ETR de 0,58 g/kg PV, soit un coefficient de variation résiduel d'environ 24% (pour un GMQ moyen de 2,4 g/kg PV/j (équation 6, tableau 3 et figure 10).

La forme curvilinéaire de la relation s'explique par la composition du croît des animaux plus âgés. En effet, les animaux les plus lourds et qui ingèrent en moyenne plus de MSI dans nos données, donc de MSDI, présentent une composition corporelle et un gain de poids plus riche en lipides. Ces animaux plus lourds ont aussi un GMQ plus coûteux en énergie que les animaux jeunes. Ainsi, pour une valeur faible de MSDI, de 10 g/kg PV par exemple, la réponse marginale d'augmentation du GMQ est d'environ 0,25 g/kg de PV par g supplémentaire de MSDI ; en revanche l'augmentation n'est que de 0,08 g/kg de PV pour 20 g/kg PV de MSDI ; cette valeur évolue jusqu'à 0

Figure 9. Relations calculées en intra-expérience entre la MS Digestible Ingérée (MSDI, g/kg PV) mesurée et celle prédite à partir de la MS ingérée (MSI, g/kg PV, à gauche) ou de la digestibilité de la MS (DMS, %, à droite).



au-delà de 25 g/kgPV de MSDI (figure 10). La mise en évidence de cette relation souligne l'importance de quantifier à la fois l'ingestion et la digestibilité dans des conditions *in situ*, comme au pâturage, afin de prévoir et d'expliquer précisément les performances des animaux.

Pour établir cette relation, nous n'avons pas considéré dans l'analyse quatre valeurs de MSDI qui étaient significativement plus élevées et provenaient d'un seul article (Gomez-Vazquez *et al* 2003). Par ailleurs cette relation générale n'a été significativement affectée ni par la saison ni par le chargement.

Si l'on considère les diverses études conduites en milieu tropical ou même en milieu tempéré, cette réponse curvilinéaire du GMQ individuel à l'ingestion de MS digestible, n'a jamais été rapportée auparavant en conditions de pâturage. Cette relation est néanmoins compatible avec la relation publiée pour des études en stabulation (Holmes *et al* 1966, Coleman et Moore 2003).

4.3 / Estimation des besoins en énergie au pâturage

Pour tester la cohérence des relations entre apports nutritionnels et performances, nous avons évalué les apports en énergie permis par les valeurs de MSDI, pour 30 traitements renseignés dans la base de données. Nous nous sommes référés à une régression reliant la MSDI à l'apport en énergie métabolisable mesurée (EMI), issue d'un ensemble d'expériences calorimétriques avec différents types de ruminants (Sauvant *et al* non publié) :

$$\text{EMI (kcal/kg PV}^{0.75}) = 6,86 + 4,02 \text{ MSDI (g/kg PV}^{0.75})$$

($n = 974$, $\text{ETR} = 10,8$, $\text{R}^2 = 0,99$).

Pour estimer les besoins en énergie des bovins en croissance nous avons calculé la régression en inter-expériences qui relie l'EMI (calculée selon l'équation ci-dessus) au GMQ pour ces mêmes traitements (équation 7, tableau 3). Ainsi, l'estimation des besoins d'entretien de bovins au pâturage équivaut au point d'intersection pour un GMQ nul, soit 180 ± 23 kcal/kg $\text{PV}^{0.75}$. L'estimation des besoins pour la croissance est la pente de cette équation, soit $5,44 \pm 1,8$ g/kg $\text{PV}^{0.75}$ de GMQ réalisé.

La valeur du besoin d'entretien que nous estimons dans cette méta-analyse, est plus élevée que les valeurs rapportées dans deux études sur les bovins tropicaux en bâtiments, respectivement 150 et 141 kcal/kg $\text{PV}^{0.75}$ (Calegare *et al* 2007, Salah *et al* 2014). Cette valeur plus élevée est vraisemblablement due aux conditions de pâturage et aux déplace-

Figure 10. Relation entre le GMQ (g/kg PV/j) et la quantité de MS Digestible Ingérée (MSDI, g/kg PV), indicateur de l'apport en nutriments à l'animal, calculée en intra-expérience.

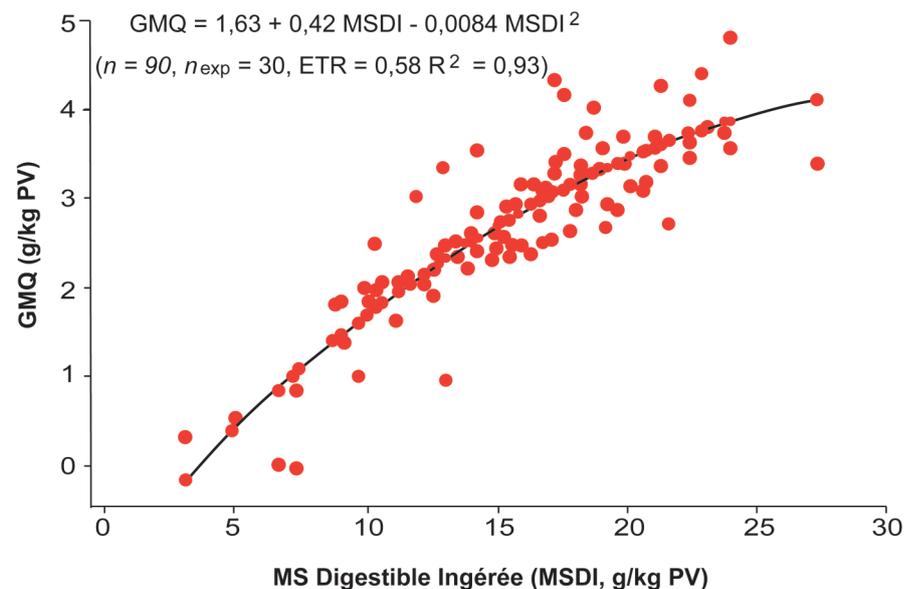
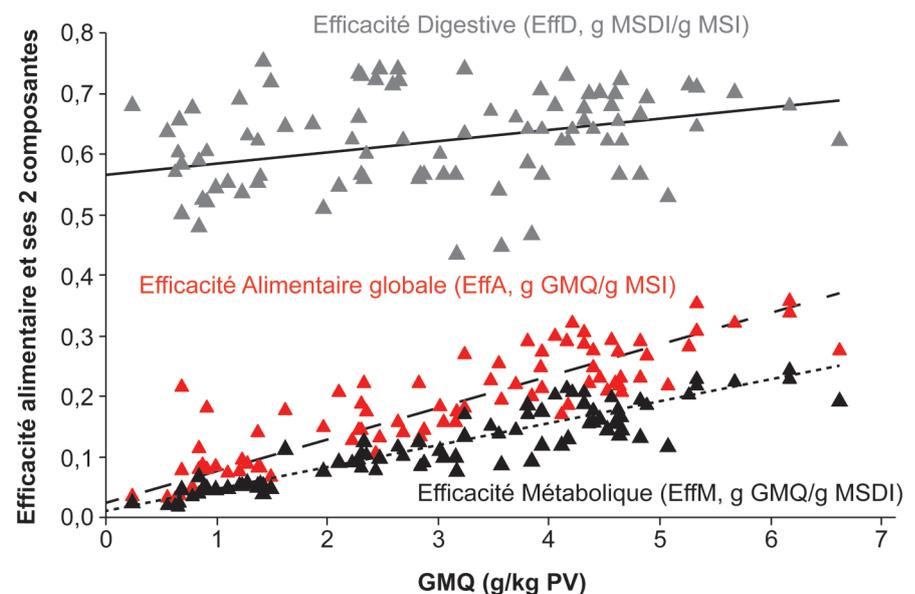


Figure 11. Relation entre le GMQ (g/kg PV/j) et l'efficacité alimentaire globale (EffA = GMQ/MSI) ainsi que ses deux composantes, l'efficacité digestive (EffD = MSI/MSI) et l'efficacité métabolique (EffM = GMQ/MSDI).



ments, qui induisent des besoins énergétiques supplémentaires par rapport à des conditions contrôlées. Ces besoins supplémentaires seraient donc de + 20 à 28% par jour, par rapport à des conditions contrôlées, et sont tout à fait cohérentes avec les estimations des besoins énergétiques au pâturage faites par Aharoni *et al* (2009) et Kaufmann *et al* (2011). Les besoins en énergie que nous estimons pour la croissance, à savoir $5,44 \pm 1,8$ kcal/g de GMQ, sont comparables aux valeurs rapportées par Calegare *et al* (2007) et Salah *et al* (2014), respectivement 5,74 et 5,78 kcal/kg de GMQ.

Ainsi ces comparaisons avec d'autres travaux de la littérature indiquent que

les estimations faites à partir de notre méta-analyse sont très comparables avec les dernières recommandations pour l'alimentation des ruminants dans des conditions tropicales, tout en soulignant un apport d'énergie supplémentaire de 20 à 28% nécessaire en conditions spécifiques de pâturage.

4.4 / Efficacité alimentaire, composantes digestive et métabolique

L'EffA moyenne calculée pour 90 traitements bien renseignés en contexte pâturé, a été de $0,11 \pm 0,07$ g GMQ/g MSI (figure 11). Cette valeur moyenne représente un indice de consommation de 9 kg de MS par kg de GMQ, soit un

besoin alimentaire de l'ordre de 18 kg de MS par kg de carcasse et de 27 kg de MS par kg de viande, en considérant un rendement de carcasse de 50% et un rendement en viande de 66% à partir de la carcasse (Wheeler *et al* 2005). Ces valeurs sont assez proches de celles rapportées par Wilkinson (2011), pour des bovins en contexte pâturé également, à savoir 27,5 kg d'aliments par kg de viande recevant du foin ou de l'ensilage, ainsi que 8% de concentrés dans la ration totale. En revanche la valeur d'EffA issue de cette méta-analyse est trois fois plus faible que celles rapportées dans la revue de Godfray *et al* (2010) dans le cas de production intensive à base de céréales (indice de consommation de 8 kg de MS/kg de viande de bœuf). Ainsi si en contexte de pâturage les valeurs d'EffA sont bien plus faibles, cela est à mettre en balance avec l'usage de ces fourrages pâturés généralement destinés qu'à l'alimentation animale et à moindre coût, et sans concurrence avec d'autres activités humaines (Garnett 2009, Boval et Dixon 2012). Les prairies ont alors un rôle majeur à jouer pour améliorer l'efficacité des systèmes de production animale, quand on considère l'usage des terres, et la nécessité d'accroître les rendements de production à partir des terres agricoles existantes sans nouvelle expansion (Wirsenius *et al* 2010). Si on considère en effet l'efficacité qui intègre la dépendance vis-à-vis des ressources destinées à l'alimentation humaine (Wilkinson 2011), les systèmes de production en prairies peuvent être considérés comme plus efficaces. Des taux de conversion de l'énergie seraient en effet accrus de 0 et 80% respectivement dans le cas de ces systèmes à base de fourrage pâturé et de céréales, selon

certaines estimations (CAST 1999, Garnett 2009, Wilkinson 2011).

Compte tenu des mesures effectuées, il a par ailleurs été possible de scinder cette efficacité alimentaire en ses 2 composantes (cf. encadré), à savoir l'efficacité digestive (EffD = MSDI/MSI = $0,62 \pm 0,08$ g MSDI/g MSI) et l'efficacité métabolique (EffM = GMQ/MSDI = $0,17 \pm 0,11$ g GMQ/g MSDI).

L'EffD moyenne présente une valeur plus élevée que l'EffM mais présente une pente plus faible en fonction du GMQ (figure 11). Elle est par ailleurs assez peu liée à l'EffA globale, en intra ou en inter-expériences ($r = 0,55$ et $r = 0,48$). L'EffM varie plus en fonction du GMQ, et est logiquement nulle pour l'animal à l'entretien (figure 11). L'EffM est également étroitement corrélée à l'EffA globale ($r = 0,96$ et $r = 0,99$), en lien avec le phénomène de dilution des besoins d'entretien lorsque la performance est améliorée. Il apparaît donc que l'EffA globale dépend plus des variations de l'EffM que de l'EffD. Ainsi pour augmenter l'efficacité d'utilisation des prairies, il y aurait davantage de marge de progrès en améliorant les quantités de fourrage ingérées que la digestibilité du fourrage ingéré. Ces résultats sont d'importance et permettent de mieux envisager quelles modalités de gestion mettre en place pour améliorer l'apport de nutriments au pâturage et accroître les performances animales.

Conclusions

Cette méta-analyse d'un ensemble de 17 publications, 41 expériences et 140

traitements permet d'améliorer la connaissance sur quelques paramètres importants qui affectent l'utilisation et les performances de bovins en croissance pâturant des prairies tropicales. Ainsi, cette analyse :

i) fournit des valeurs repères des performances de bovins au pâturage et fait état du bilan des connaissances acquises *via* la littérature, essentiel pour identifier de futures pistes d'expérimentation ;

ii) permet de proposer des lois générales utiles à l'application de certains leviers de gestion tels que le chargement, la complémentation, afin de mieux en tenir compte dans la mise en œuvre de ces modalités ;

iii) met en évidence les déterminants majeurs de l'apport nutritionnel et les composantes de l'efficacité alimentaire, digestive et métabolique, et permet ainsi d'établir une relation générale entre les apports nutritionnels et la performance qui en résulte.

Certaines relations constituent une bonne base pour développer un travail de modélisation, qui permettra de tester leur cohérence et proposer des stratégies de gestion pertinentes pour accroître l'efficacité alimentaire au pâturage en conditions tropicales. Ces résultats offrent des perspectives prometteuses pour l'amélioration rationnelle de l'alimentation du bétail et de leurs performances en prairies tropicales naturelles.

Références

- Ackerman C.J., Purvis H.T., Horn G.W., Paisley S.I., Reuter R.R. and Bodine T.N., 2001. Performance of light vs heavy steers grazing Plains Old World bluestem at three stocking rates. *J. Anim. Sci.*, 79, 493-499.
- Agabriel J., 2007. Alimentation des ruminants. Dossier, INRA Prod. Anim., 20, 107-108.
- Agastin A., Sauvart D., Naves M., Boval M., 2014. Influence of trough versus pasture feeding on average daily gain and carcass characteristics in ruminants: A meta-analysis. *J. Anim. Sci.*, 92, 1173-1183.
- Aharoni Y., Henkin Z., Ezra A., Dolev A., Shabtay A., Orlov A., Yehuda Y., Brosh A., 2009. Grazing behavior and energy costs of activity: A comparison between two types of cattle. *J. Anim. Sci.*, 87, 2719-2731.
- Allen V.G., Batello C., Berretta E.J., Hodgson J., Kothmann M., Li X., McIvor J., Milne J., Morris C., Peeters A., Sanderson M., 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass Forage Sci.*, 66, 2-28.
- Alonso L., Maquivar M., Galina C.S., Mendoza G.D., Guzmán A., Estrada S., Villareal M., Molina R., 2008. Effect of ruminally protected Methionine on the productive and reproductive performance of grazing Bos indicus heifers raised in the humid tropics of Costa Rica. *Trop. Anim. Health Prod.*, 40, 667-672.
- Aranda E., Mendoza G.D., Garcia-Bojalil C., Castrejon F., 2001. Growth of heifers grazing stargrass complemented with sugar cane, urea and a protein supplement. *Livest. Prod. Sci.*, 71, 201-206.
- Armstrong R.H., Common T.G., Smith H.K., 1986. The voluntary intake and in vivo digestibility of herbage harvested from indigenous hill plant-communities. *Grass Forage Sci.*, 41, 53-60.
- Ayantunde A.A., Fernandez-Rivera S., Hiernaux P.H.Y., Keulen H., Udo H.M.J., Chanono M., 2001. Effect of timing and duration of grazing of growing cattle in the West African Sahel on diet selection, faecal output, eating time, forage intake and live-weight changes. *Anim. Sci.*, 72, 117-128.
- Ayantunde A.A., Fernández-Rivera S., Hiernaux P.H., Tabo R., 2008. Implications of restricted access to grazing by cattle in wet season in the Sahel. *J. Arid Environ.*, 72, 523-533.
- Bodine T.N., Purvis H.T., 2003. Effects of supplemental energy and/or degradable intake protein on performance, grazing behavior, intake, digestibility, and fecal and blood indices by beef steers grazed on dormant native tallgrass prairie. *J. Anim. Sci.*, 81, 304-317.
- 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, 748-762.
- Boval M., Peyraud J.L., Xande A., 1996. Effect of nocturnal enclosing and splitting offered area on herbage intake of tethered creole heifers. *Animal*, 45, 219-231.

- Boval M., Cruz P., Ledet J.E., Coppry O., Borel H., Archimède H., 2002. Effect of nitrogen on intake and digestibility of a tropical grass grazed by Creole heifers. *J. Agric. Sci.*, 138, 73-84.
- Boval M., Fanchone A., Archimède H., Gibb M.J., 2007. Effect of structure of a tropical pasture on ingestive behaviour, digestibility of diet and daily intake by grazing cattle. *Grass Forage Sci.*, 62, 44-54.
- Boval M., Edouard N., Sauvant D., 2015. A meta-analysis of nutrient intake, feed efficiency and performance in cattle grazing on tropical grasslands. *Animal*, doi:10.1017/S1751731114003279 (in press).
- Braghieri A., Pacelli C., De Rosa G., Girolami A., De Palo P., Napolitano F., 2011. Podolian beef production on pasture and in confinement. *Animal*, 5, 927-937.
- Bruinenberg M.H., Valk H., Korevaar H., Struik P.C., 2002. Factors affecting digestibility of temperate forages from seminatural grasslands: a review. *Grass Forage Sci.*, 57, 292-301.
- Cabrera E.J.I., Mendoza M.G.D., Aranda I.E., Garcia-Bojalil C., Barcena G.R., Ramos J.J.A., 2000. *Saccharomyces cerevisiae* and nitrogenous supplementation in growing steers grazing tropical pastures. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 83, 49-55.
- Calegare L., Alencar M.M., Packer I.U., Lanna D.P.D., 2007. Energy requirements and cow/calf efficiency of Nelore and Continental and British Bos taurus x Nelore crosses. *J. Anim. Sci.*, 85, 2413-2422.
- CAST, Council for Agricultural Science and Technology, 1999. Animal agriculture and global food supply. Task Force Report no. 135, July 1999. CAST, Ames, IA, USA.
- Chacon E.A., Stobbs T.H., Dale M.B., 1978. Influence of Sward Characteristics on Grazing Behavior and Growth of Hereford Steers Grazing Tropical Grass Pastures. *Austral. J. Agric. Research*, 29, 89-102.
- Coleman S.W., 2006. Challenges to assessing forage intake by grazing ruminants. In: Proc. 8th World Congr. Gen. Appl. Livest. Prod., Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, 14-06. <http://www.cabi.org/cabdirect/FullTextPDF/2006/20063169861.pdf>
- Coleman S.W., Forbes T.D.A., 1998. Herbage characteristics and performance of steers grazing old world bluestem. *J. Range Manag.*, 51, 399-407.
- Coleman S.W., Moore J.E., 2003. Feed quality and animal performance. *Field Crop. Res.*, 84, 17-29.
- Cottle D.J., 2013. The trials and tribulations of estimating the pasture intake of grazing animals. *Anim. Prod. Sci.*, 53, 1209-1220.
- d'Alexis S., Sauvant D., Boval M., 2013. Mixed grazing systems of sheep and cattle to improve live weight gain: a quantitative review. *J. Agric. Sci.*, 152, 655-666.
- Dixon R.M., Coates D.B., 2008. Diet quality and liveweight gain of steers grazing Leucaena-grass pasture estimated with faecal near infrared reflectance spectroscopy (F. NIRS). *Asian Austral. J. Anim.*, 48, 835-842.
- Dixon R.M., Egan A.R., 2000. Response of lambs fed low quality roughage to supplements based on urea, cereal grain, or protein meals. *Asian Austral. J. Anim.*, 51, 811-821.
- Esterhuizen J., Groenewald I.B., Strydom P.E., Hugo A., 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.
- Felius M., Koolmees P.A., Theunissen B., European Cattle Genetic Diversity Consortium and Lenstra J.A., 2011. On the breeds of Cattle: Historic and current classifications. *Diversity* 3, 660-692.
- Garay A.H., Sollenberger L.E., McDonald D.C., Rueggsegger G.J., Kalmbacher R.S., Mislevy P., 2004. Nitrogen fertilization and stocking rate affect stargrass pasture and cattle performance. *Crop Sci.*, 44, 1348-1354.
- Garnett T., 2009. Livestock-related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers. *Environ. Sci. Policy*, 12, 491-503.
- Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C., 2010. Food security: The challenge of feeding 9 Billion People. *Science*, 327, 812-818.
- Gomez-Vazquez A., Perez J., Mendoza G.D., Aranda E., Hernandez A., 2003. Fibrolytic exogenous enzymes improve performance in steers fed sugar cane and stargrass. *Livest. Prod. Sci.*, 82, 249-254.
- Gregorini P., Gunter S.A., Beck P.A., 2008. Matching plant and animal processes to alter nutrient supply in strip-grazed cattle: Timing of herbage and fasting allocation. *J. Anim. Sci.*, 86, 1006-1020.
- Holmes J.H.G., Franklin M.C., Lambourne L.J., 1966. The effects of season, supplementation and pelleting on intake and utilization of some sub-tropical pastures. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 6, 354-363.
- Kaufmann L.D., Munger A., Rerat M., Junghans P., Gors S., Metges C.C., Dohme-Meier F., 2011. Energy expenditure of grazing cows and cows fed grass indoors as determined by the C-13 bicarbonate dilution technique using an automatic blood sampling system. *J. Dairy Sci.*, 94, 1989-2000.
- Kilgour, R. J., 2012. In pursuit of «normal»: A review of the behaviour of cattle at pasture. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 138, 1-11.
- Kondo S., 2011. Recent progress in the study of behavior and management in grazing cattle. *Anim. Sci. J.*, 82, 26-35.
- Leng R.A., 1990. Factors affecting the utilization of 'poor-quality' forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutr. Res. Rev.*, 3, 277-303.
- Lippke H. 1980. Forage characteristics related to intake, digestibility and gain by ruminants. *J. Anim. Sci.*, 50, 952-961.
- Lippke H. 2002. Estimation of forage intake by ruminants on pasture. *Crop Sci.*, 42, 869-872.
- Makkar H.P.S., Beever D., 2013. Optimization of feed use efficiency in ruminant production systems. *Proc. FAO Symp., Bangkok, Thailand. FAO Anim. Prod. Health Proc.*, 16p.
- Mezzalana J.C., Carvalho P.C.D., Fonseca L., Bremm C., Cangiano C., Gonda H.L., Laca E.A., 2014. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 153, 1-9.
- Milford R., Minson D.J., 1965. The relation between the crude protein content and the digestible crude protein content of tropical pasture plants. *J. British Grass. Soc.*, 20, 177-179.
- Minson D.J., 1990. Forage in Ruminant Nutrition. San Diego: Academic Press, San Diego, California.
- O'Mara F.P., 2012. The role of grasslands in food security and climate change. *Ann. Bot.*, 110, 1263-1270.
- Owens F.N., Sapienza D.A., Hassen A.T., 2010. Effect of nutrient composition of feeds on digestibility of organic matter by cattle: A review. *J. Anim. Sci.*, 88, E151-E169.
- Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633-1644.
- Pereira J.M., Tarre R.M., Macedo R., de Paula Rezende C., Alves B.J.R., Urquiaga S., Boddey R.M., 2009. Productivity of *Brachiaria humidicola* pastures in the Atlantic forest region of Brazil as affected by stocking rate and the presence of a forage legume. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 83, 179-196.
- Petty S.R., Poppi D.P., Triglon T., 1998. Effect of maize supplement, seasonal temperature and humidity on the liveweight gain of steers grazing irrigated *Leucaena leucocephala* / *Digitariaeriantha* pastures in north-west Australia. *J. Agr. Sci.*, 130, 95-105.
- Phocas F., Bobe J., Bodin L., Charley B., Dourmad J.Y., Friggens N.C., Hocquette J.F., Le Bail P.Y., Le Bihan-Duval E., Mormède P., Quéré P., Schelcher F., 2014. Des animaux plus robustes : un enjeu majeur pour le développement durable des productions animales nécessitant l'essor du phénotypage fin et à haut débit. In : Phénotypage des animaux d'élevage. Phocas F. (Ed) Dossier, INRA Prod. Anim., 27, 181-194
- Poppi D.P., McLennan S.R., 1995. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *J. Anim. Sci.*, 73, 278-290.
- Prache S., Peyraud J.L., 1997. Préhensibilité de l'herbe pâturée chez les bovins et les ovins. *INRA Prod. Anim.*, 10, 377-390.
- Pretty J., Sutherland W.J., Ashby J., Auburn J., Baulcombe D., Bell M., Bentley J., Bickersteth S., Brown K., Burke J., Campbell H., Chen K., Crowley E., Crute I., Dobbelaere D., Edwards-Jones G., Funes-Monzote F., Godfray H.C.J., Griffon M., Gypmantisiri P., Haddad L., Halavatau S., Herren H., Holdernexp M., Izac A.M., Jones M., Koohafkan P., Lal R., Lang T., McNeely J., Mueller A., Nisbett N., Noble A., Pingali P., Pinto Y., Rabbinge R., Ravindranath N.H., Rola A., Roling N., Sage C., Settle W., Sha J.M., Luo S.M., Simons T., Smith P., Strzepeck K., Swaine H., Terry E., Tomich T.P., Toulmin C., Trigo E., Twomlow S., Vis J.K., Wilson J., Pilgrim S., 2010. The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. *Int. J. Agr. Sustain.*, 8, 219-236.
- Ramos J.A., Mendoza G.D., Aranda E., Garcia-Bojalil C., Barcena R., Alanis J., 1998.

- Escape protein supplementation of growing steers grazing stargrass. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 70, 249-256.
- Reynolds C., Crompton L., Mills J., 2010. Livestock and climate change impacts in the developing world. *Outlook Agr.*, 39, 245-248.
- Romero A., Siebert B.D., 1980. Seasonal-variations of nitrogen and digestible energy-intake of cattle on tropical pasture. *Austral. J. Agric. Res.*, 31, 393-400.
- Rubel F., Kottek M., 2010. Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Koppen-Geiger climate classification. *Meteorol Z.*, 19, 135-141.
- Salah N., Sauvant D., Archimède H., 2014. Nutritional requirements of sheep, goats and cattle in warm climates. A meta-analysis. *Animal*, 8, 1439-1447.
- Salah N., Sauvant D., Archimède H., 2015. Response of growing ruminants to diet in warm climates: a meta-analysis. *Animal*, 9, 822-830.
- Sauvant D., Nozières P., 2013. La quantification des principaux phénomènes digestifs chez les ruminants : les relations utilisées pour rénover les systèmes d'unités d'alimentation énergétique et protéique, *INRA Prod. Anim.*, 26, 327-346.
- Sauvant D., Schmidely P., Daudin J.J., St-Pierre N.R., 2008. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. *Animal*, 2, 1203-1214.
- Sollenberger L.E., Moore J.E., Allen V.G., Pedreira C.G.S., 2005. Reporting forage allowance in grazing experiments. *Crop Sci.*, 45, 896-900.
- Sollenberger L.E., Vanzant E.S., 2011. Interrelationships among Forage Nutritive Value and Quantity and Individual Animal Performance. *Crop Sci.*, 51, 420-432.
- Sprinkle J.E., Holloway J.W., Warrington B.G., Ellis W.C., Stuth J.W., Forbes T.D.A., Greene L.W., 2000. Digesta kinetics, energy intake, grazing behavior, and body temperature of grazing beef cattle differing in adaptation to heat. *J. Anim. Sci.*, 78, 1608-1624.
- Vetter S., 2005. Rangelands at equilibrium and non-equilibrium: recent developments in the debate. *J. Arid Environ.*, 62, 321-341.
- Wheeler T.L., Cundiff L.V., Shackelford S.D., Koohmaraie M., 2005. Characterization of biological types of cattle (Cycle VII): Carcass, yield, and longissimus palatability traits. *J. Anim. Sci.*, 83, 196-207.
- Wilkinson J.M., 2011. Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal*, 5, 1014-1022.
- Wirsenius S., Azar C., Berndes G., 2010. How much land is needed for global food production under scenarios of dietary changes and livestock productivity increases in 2030? *Agr. Syst.*, 103, 621-638.

Résumé

Les pâturages représentent la principale voie écologiquement satisfaisante pour accroître la production bovine, notamment en zones tropicales. Afin d'évaluer le potentiel des pâturages tropicaux, une méta-analyse des données publiées comportant des estimations fiables du gain de poids vif, des quantités ingérées et de la digestibilité a été réalisée. Le chargement animal constitue un levier majeur de gestion, son accroissement réduisant le gain de poids vif individuel, mais l'augmentant lorsqu'il est exprimé par hectare. Les essais portant sur l'apport de concentré révèlent un effet positif sur le gain de poids vif avec un taux de substitution moyen de 0,76 avec l'ingestion de fourrage. Au pâturage, la matière sèche ingérée digestible est le premier facteur déterminant le gain de poids vif, selon une relation positive curvilinéaire, qui dépend davantage de la matière sèche ingérée que de sa digestibilité. L'ingestion d'énergie métabolisable et les besoins d'entretien ont été estimés respectivement à 5,44 kcal par g de gain de poids vif et à 180 kcal par kg de poids métabolique. Les variations de l'efficacité alimentaire et de ses composantes, l'efficacité digestive et métabolique ont également pu être calculées. Il apparaît que l'efficacité digestive est plus élevée que l'efficacité métabolique, et que l'efficacité alimentaire est davantage liée à l'efficacité métabolique, ces deux dernières étant positivement et fortement très corrélées au gain de poids vif. Les équations établies par cette méta-analyse pourront servir à la construction et l'évaluation d'un modèle mécaniste de l'ingestion et de la croissance de bovins au pâturage en zone tropicale.

Abstract

Feed efficiency and performance of cattle grazing tropical grasslands: a meta-analysis

Pastures are the main environmentally satisfactory way to increase beef production, especially in tropical areas. To assess the potential of tropical pastures, a meta-analysis of published data with reliable estimates of body weight gain, feed intake and digestibility was performed. In intra-experiment analysis, the available biomass per hectare is positively related to the sward height and to live weight gain. The stocking rate is a major management leverage, which decreases individual live weight gain, but increases it when expressed per hectare. The trials of concentrate intake reveal a positive effect on body weight gain with an average substitution rate of 0.76 with feed intake. Thus at pasture, digestible dry matter intake is the primary factor determining the live weight gain, according to a positive curvilinear relationship, and depends more on the dry matter intake than on its digestibility. Metabolizable energy intake and maintenance requirements were estimated at 5.44 kcal per kg of live weight gain and 180 kcal per kg metabolic weight. Changes in feed efficiency and its components, the digestive and metabolic efficiency have also been calculated. It appears that digestive efficiency is higher than metabolic efficiency, and feed efficiency is more related to metabolic efficiency, the latter two being very positively correlated to body weight gain. The equations established by this meta-analysis could be used for the future construction and evaluation of a mechanistic model of intake and growth of cattle in tropical pastures.

BOVAL M., EDOUARD N., NAVES M., D. SAUVANT., 2015. Performances de croissance et efficacité alimentaire des bovins au pâturage en conditions tropicales : étude par méta-analyse. *INRA Prod. Anim.*, 28, 315-328.

