

Influences du régime alimentaire sur les composantes du bilan carbone des ruminants d'élevage

SAUVANT D. (1, 2), GIGER-REVERDIN S. (1, 2)

(1) INRA, UMR791 Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, 16 rue Claude Bernard, 75005 Paris, France

(2) AgroParisTech, 16 rue Claude Bernard, 75005 Paris, France

RESUME - L'objectif du présent travail est de dégager, par méta-analyses, les principales lois de réponse du bilan carbone des ruminants aux variations dues au régime alimentaire. Les données de base utilisées concernent des animaux placés en cages calorimétriques. Des régressions intra-expérience présentent les réponses des différentes composantes du bilan C (fèces, urine, CH₄, CO₂ et produit animal et/ou bilan net de C) aux variations de la proportion de concentré, de la teneur en azote du régime et du niveau des apports alimentaires à ration égale. Ces facteurs présentent presque toujours des influences significatives, linéaires ou non, sur les composantes du bilan C. Les flux de C rapportés au poids vif, ou exprimés en % de l'ingéré, montrent le rôle prépondérant du flux fécal dans l'efficacité de l'utilisation de C. D'un point de vue pratique, ces équations peuvent être utiles pour, par exemple, prédire les flux de C au niveau de simulateurs de troupeaux, ou à un niveau d'approche plus global.

Dietary influences on the components of carbon balance in farm ruminants

SAUVANT D. (1, 2), GIGER-REVERDIN S. (1)

(1) INRA, UMR791 Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, 16 rue Claude Bernard, 75005 Paris, France

(2) AgroParisTech, 16 rue Claude Bernard, 75005 Paris, France

SUMMARY – A meta-analysis was conducted to examine the main relationships between dietary factors and the response of ruminants for the C balance. The database consisted of measurements obtained in animals housed in calorimetric crates. Intra-experiment regressions pointed out the responses of the C balance components (faeces, urine, CH₄, CO₂, animal product and/or C net balance) linked to the following dietary variations: concentrate proportion, nitrogen content and intake level for a given potential. These factors almost always exerted significant relationships, either linear or not, on the components of the C balance. C fluxes, expressed on a live-weight basis or in % of C intake, pointed out the dominant role of the C faecal flux for the efficiency in C utilisation. From a practical point of view, these equations could be useful to predict the C fluxes with herd simulators or in a more global approach.

INTRODUCTION

L'intérêt de l'approche multicritères des réponses des animaux d'élevage aux pratiques alimentaires est maintenant bien partagé (Sauvant, 1999). Compte tenu des préoccupations actuelles concernant l'environnement, les composantes du bilan carbone (C) des animaux d'élevage, des ruminants en particulier, et leurs variations en fonction de l'alimentation sont à prendre en compte dans ces approches multicritères. En 2009, une communication avait été présentée sur le bilan carbone des principales espèces de ruminants et l'influence du niveau des performances sur ce bilan (Sauvant, Giger-Reverdin, 2009). L'objectif du présent travail est de compléter le précédent en présentant les lois de réponses des composantes du bilan carbone en fonction des principales variations du régime alimentaire.

1. MATERIEL ET METHODES

Des valeurs relativement précises des bilans C peuvent être obtenues à partir des bilans calorimétriques mesurés avec des animaux. A partir de ces données (flux mesurés d'énergie ingérée, puis excrétés sous formes fécale, de méthane, d'urine ou perdus sous forme d'extra chaleur ou valorisés dans la production laitière et le bilan énergétique), il est possible d'avoir des estimations assez précises des partitions des flux de C. Pour cela, les teneurs en C des rations et du lait sont calculées à partir de leur composition en glucides (45%C), lipides (76%C) et protéines (52%C). Les flux de C perdus par les voies fécales, urinaires et sous forme

de CH₄ sont proportionnels aux flux énergétiques correspondant auxquels sont appliqués des coefficients généralement admis par les nutritionnistes énergéticiens (Schieman et al., 1971). D'autre part, des données publiées ont été utilisées pour estimer les flux de C sous forme de CO₂ à partir de l'extra chaleur (Pedersen et al., 2008). Ainsi, la valeur moyenne, de 111 g C CO₂ rejetés/Mcal d'extra chaleur, a été retenue. Le bilan C a été calculé en faisant la somme algébrique des différents flux de C évoqués ci-dessus. Ce bilan traduit notamment l'accumulation, ou la mobilisation, de la masse corporelle, il résulte aussi en partie des erreurs effectuées dans les estimations des autres flux.

Ces calculs ont été appliqués à la base de données « RUMENER » de l'UMR MoSAR qui rassemble les résultats de plus de 1000 bilans énergétiques mesurés en chambres calorimétriques sur des groupes d'animaux. Ces données sont extraites de 148 publications correspondant à des contextes alimentaires et physiologiques très divers. Cette base regroupe des résultats obtenus sur vaches laitières (n=268), bovins en croissance ou à l'engraissement (n=346), ovins en croissance ou à l'engraissement (n=358), ovins ou chèvres en lactation (n=73). Les expériences extraites de RUMENER pour conduire la présente étude ont concerné des expérimentations focalisées sur les effets du niveau d'alimentation, de la proportion de concentré et de la teneur en protéines brutes.

Le traitement statistique a été conduit par méta-analyse (Sauvant et al., 2008) pour étudier les effets intra-régimes. Pour la présentation des résultats, deux modes d'expression ont été retenus : les flux de carbone rapportés au poids vif (gC/kgPV) ou à l'ingéré (% Cing). Ce dernier mode permet d'apprécier la partition du carbone en fonction de l'alimentation.

2. RESULTATS

2.1. INFLUENCES DU NIVEAU D'ALIMENTATION

Une sous-base rassemblant 100 expériences (exp), et 286 traitements (Tr), dont l'objet était l'étude des effets du niveau d'alimentation (NA en MSI % PV = $1,57 \pm 0,65$, min = 0,41, max = 4,0), à ration égale, a été considérée dans cette partie, il n'y a pas eu d'expérience de ce type avec des femelles laitières. Les résultats des régressions intra-expériences sont regroupés dans les tableaux 1 et 2. L'accroissement du NA accroît directement le flux de C ingéré, la pente étant de 4,38

gCing/PV par %MSI/PV. Cet effet se répercute par des accroissements systématiques, souvent curvilinéaires, des flux de rejets ainsi que du bilan de C (Tableau 1 et Figure 1). La concavité de la curvilinéarité est dans le sens positif pour le flux fécal et négatif pour les autres flux. Le Tableau 2 montre que l'accroissement du du niveau d'alimentation modifie sensiblement la partition du carbone ingéré. En effet, la proportion de C perdue par voie fécale augmente linéairement avec le NA. Le %C du bilan C, augmente aussi mais de façon curvilinéaire très marquée pour les régimes peu ingérés (déstockage de C avec le bilan énergétique négatif). En contrepartie, les proportions de C rejetées sous forme de CH₄, CO₂ et urinaire, diminuent de façon curvilinéaire montrant ainsi des effets plus marqués du NA pour les faibles niveaux d'ingestion. Ces réponses de la partition de C confirment les tendances générales observées graphiquement dans l'étude précédente sur l'ensemble des données disponibles, donc tous régimes mélangés (Sauvant, Giger-Reverdin, 2009).

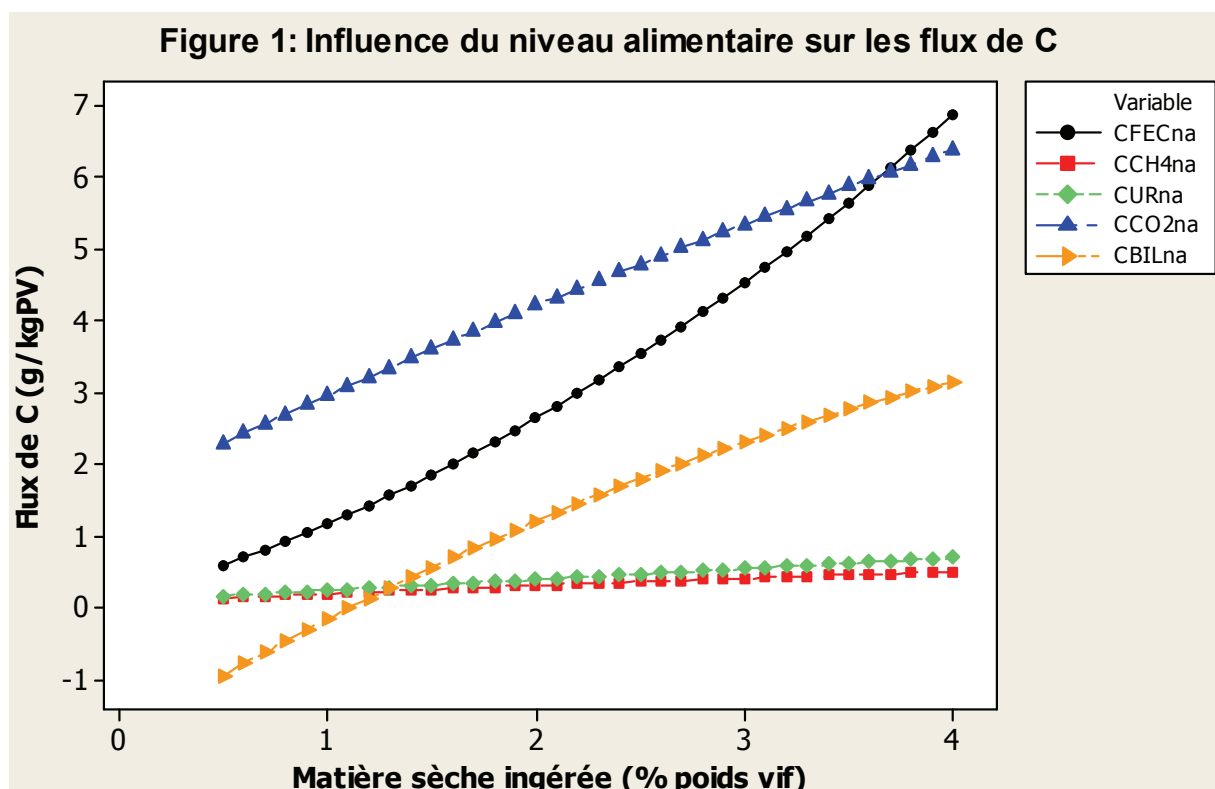
Tableau 1 : réponses des flux de C (en g/kg PV) aux variations du niveau alimentaire

Flux C	Nb exp	Nb tr	Constante	Coef NA	Coef NA ²	ETR (1)
Fécal	100	286	0,13	0,82	0,216	0,20
CH ₄	100	286	0,06	0,14	-0,008	0,03
Urine	100	286	0,09	0,15	ns	0,04
CO ₂	75	226	1,59	1,42	-0,056	0,17
Bilan	75	226	-1,81	1,78	-0,135	0,19

(1) ETR=écart type résiduel

Tableau 2 : Réponses de la partition des flux de C aux variations du niveau alimentaire (Ingéré=100%)

Flux C %	Nb exp	Nb tr	Constante	Coef NA	Coef NA ²	ETR
%Fécal	100	286	24,7	2,48	ns	1,62
%CH ₄	100	286	6,23	-1,97	0,315	0,43
%Urine	100	286	6,78	-1,57	0,209	0,39
%CO ₂	75	226	106,4	-45,79	7,72	3,94
%Bilan	75	226	-43,77	46,06	-7,95	4,45



2.2. INFLUENCES DE LA PROPORTION DE CONCENTRE

Une sous-base rassemblant 87 exp (256 tr), dont l'objet était l'étude des effets de la proportion d'aliments concentrés dans la MSI ($0 < \text{PCO} < 1$, $= 0,39 \pm 0,25$, $\text{min} = 0,0$, $\text{max} = 0,87$), a été considérée dans cette partie. Dans ces expériences, l'accroissement de PCO a été associé à une baisse de l'ingestion de C, faible mais significative ($-1,76 \text{ gCing/1unité de PCO}$). Le tableau 3 montre que l'accroissement de la proportion de concentré augmente le bilan carbone, ainsi que le flux de carbone excrété dans le lait chez les animaux en lactation jusqu'aux alentours de $\text{PCO}=0,5$, l'effet étant curvilinéaire avec des rendements marginaux décroissants. Par contre, les pertes de C par les voies fécales urinaires et gazeuses (CH_4 et CO_2) diminuent. Il convient cependant de

noter que, pour CH_4 , l'influence est très faible pour les bas niveaux d'apport de concentré. Avec ce mode d'expression, l'accroissement de la proportion de concentré améliore donc globalement l'efficacité de l'utilisation du carbone par réduction des pertes, en particulier au niveau fécal. Les réponses au concentré sont moins précises que celles au niveau d'alimentation. Le tableau 4 et la Figure 2 présentent la partition des pertes de C en fonction de l'ingéré sous l'influence de la proportion de concentré. On retrouve l'impact positif de l'accroissement de cette dernière sur la partition de C ingéré en faveur du bilan C ou du C produit dans le lait. On retrouve également le fait qu'il y a moins de C perdu sous forme fécale et urinaire. Pour CH_4 il y a un maximum observé pour $\text{PCO} = 0,375$. D'autre part, il y a un accroissement curvilinéaire positif de la proportion de C perdu sous forme de CO_2 .

Tableau 3 : Réponses des flux de C (en g/kg PV) aux variations de la proportion de concentré

Flux C	Nb expe	Nb tr	Constante	Coef PCO	Coef PCO^2	ETR
Fécal	87	256	3,31	-2,07	ns	0,43
CH_4	86	252	0,32	0,21	-0,386	0,04
Urine	84	240	0,41	-0,18	ns	0,05
CO_2	65	191	4,23	-0,70	0,70	0,30
Lait	19	51	2,04	1,64	-2,06	0,28
Bilan	65	191	0,22	0,64	ns	0,31

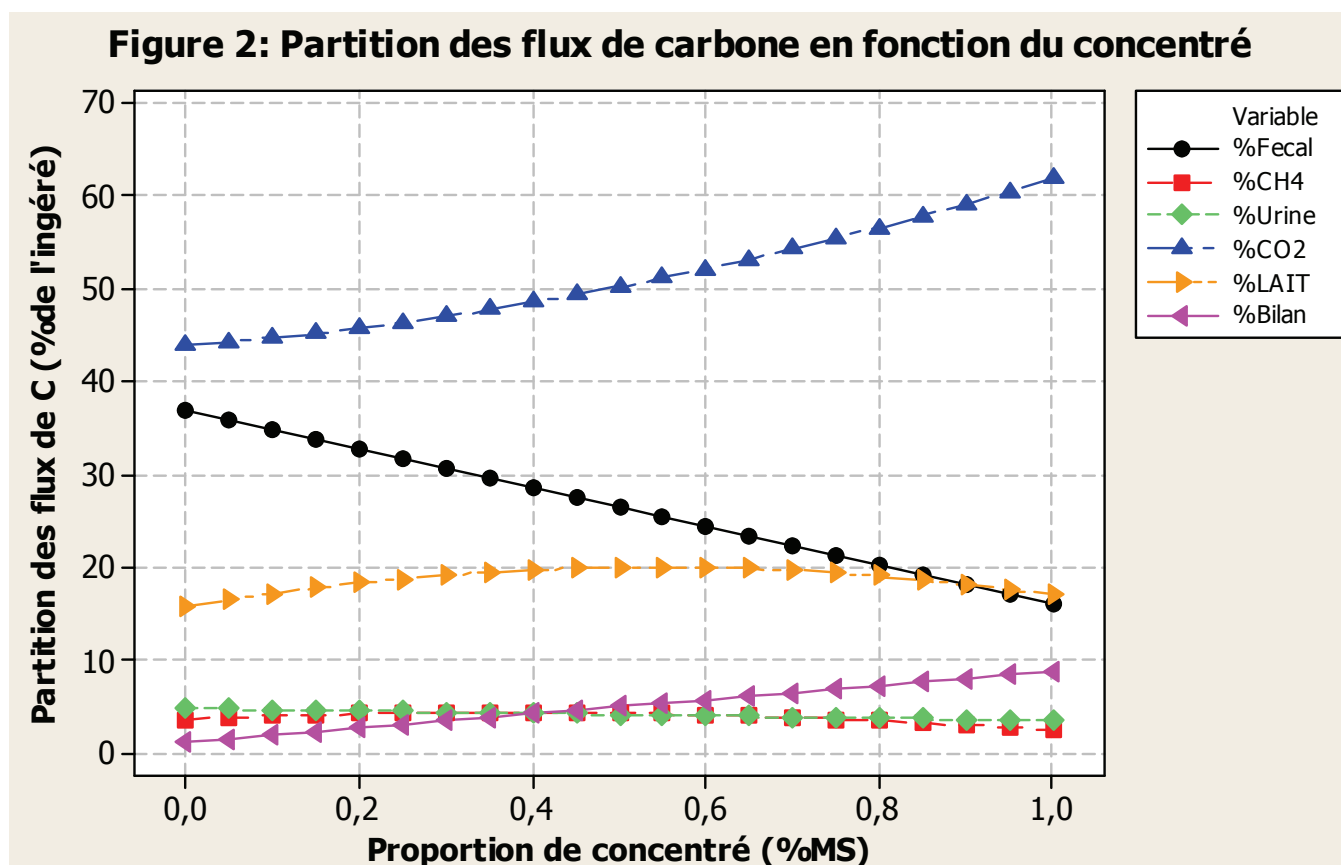


Tableau 4 : Réponses de la partition des flux de C aux variations de la proportion de concentré (C Ingéré=100%)

Flux C %	Nb expe	Nb tr	Constante	Coef PCO	Coef PCO^2	ETR
%Fécal	87	256	36,98	-20,89	ns	2,59
% CH_4	86	251	3,60	3,65	-4,866	0,51
%Urine	84	243	4,73	-1,31	ns	0,62
% CO_2	65	191	43,95	7,31	10,78	4,16
%Lait	19	51	15,74	15,80	-14,588	1,67
%Bilan	65	191	1,12	7,61	ns	4,17

2.3. INFLUENCES DU TAUX AZOTE DE LA RATION

Une sous-base rassemblant 42 exp (139 Tr) dont l'objet était l'étude du taux azoté du régime (MAT en % de MSI = $14,6 \pm 5,7$, min = 2,0, max = 28,0) a été considérée dans cette partie. L'accroissement des MAT accroît faiblement, mais significativement l'ingestion de C ($+0,03\text{gC}/\%\text{MAT}$). Le tableau 5 montre que l'influence la plus marquée concerne les rejets de C par le lait, avec peu de données cependant, et par la voie urinaire. Il s'agit là de la conséquence de l'excès d'azote alimentaire sur les rejets azotés urinaires qui

sont principalement constitués d'urée, molécules contenant les éléments N et C. Le flux de CCO_2 s'accroît de façon curvilinéaire, globalement à l'inverse du flux de C fécal. Ce dernier traduit peut être l'influence défavorable des faibles taux azotés sur la digestibilité des régimes. Les autres flux de C (CH_4 et bilan C) ne sont pas influencés par le taux azoté. Le tableau 6 confirme l'effet négatif prépondérant des teneurs croissantes en MAT sur le %C fécal. Il confirme l'influence positive des MAT sur le % de C produit par le lait et rejeté par la voie urinaire.

Tableau 5 : Réponses des flux de C (en g/kg PV) aux variations de la teneur en MAT du régime

Flux C	Nb exp	Nb tr	Constante	Coef MAT	Coef MAT ²	ETR
Fécal	42	139	3,25	-0,15	0,004	0,42
Urine	40	135	0,11	0,015	ns	0,04
CO ₂	24	93	3,64	ns	0,002	0,21
Lait	4	10	0,42	0,10	ns	0,20

Tableau 6 : Réponses de la partition des flux de C aux variations de teneur en MAT du régime (Ingéré=100%)

Flux C %	Nb exp	Nb tr	Constante	Coef MAT	Coef MAT ²	ETR
%Fécal	42	139	45,73	-1,56	0,033	5,35
%Urine	40	135	1,44	0,24	ns	0,56
%Lait	4	10	7,35	0,76	ns	2,00
%Bilan	23	87	-3,71	0,38	ns	6,40

CONCLUSION

Cette étude a permis de montrer que les composantes du bilan carbone des ruminants d'élevage pouvaient être influencées par des facteurs alimentaires, selon des modalités différentes en fonction des facteurs pris en compte. Les résultats montrent le rôle prépondérant du flux de C fécal, donc de la digestibilité du régime, dans l'efficacité de l'utilisation de C. Les différentes équations proposées peuvent être appliquées pour calculer des flux et bilans carbone probables des ruminants en fonction des caractéristiques des rations au sein de simulateurs de troupeaux.

Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Joergensen, H., Chwalibog, A., Haeussermann, A., Heetkamp, M. J. W., Aarnink, A. J. A., 2008. Agric. Eng. int. 10, 1-19.
Sauvant, D., 1999. Renc. Rech. Ruminants. 6. 11-17.
Sauvant, D., Giger-Reverdin, S., 2009. Renc. Rech. Ruminants. 16. 229-232.
Sauvant, D., Schmidely, P., Daudin, J. J., St-Pierre, N. R., 2008. Animal 2, 1203-1214.
Schiemann, R., Nehring, K., Hoffmann, L., Jentsch, W., Chudy, A., 1971. Energetische Futterbewertung und Energienormen. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, Allemagne. 345 pp.