

# Les variations du bilan carbone des ruminants d'élevage

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

(1) INRA, UMR791 Physiologie de la Nutrition et Alimentation, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05, France

(2) AgroParisTech, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05, France

**RESUME** - La connaissance du bilan carbone (C) des ruminants d'élevage et de ses causes de variations peut être utile aux approches visant à quantifier les flux de C dans les systèmes d'élevage. Pour déterminer des valeurs de ces bilans plusieurs bases de données expérimentales ont été utilisées. La base « Bovidig » de données de digestibilités de bovins a été utilisée pour établir les principaux flux de C au niveau du rumen, organe au rôle essentiel dans la partition globale de C. Au niveau du rumen le flux de C fermenté se répartit entre la biomasse microbienne (25 %), les acides gras volatils-AGV (56 %) et les gaz (19 %) produits. Les principales causes de variation de cette partition sont le profil des AGV et l'efficacité de la croissance microbienne. La base « Rumener » regroupe des résultats de mesures de bilans calorimétriques de ruminants, elle a été interprétée de manière à pouvoir calculer les différents flux de C entrant et sortant. Chez les ruminants en croissance la répartition moyenne du flux de C ingéré entre fécès, CH<sub>4</sub>, urine, CO<sub>2</sub>, et bilan est respectivement de 29, 4, 4,5, 58 et 4,5 %, pour les ruminants laitiers, les valeurs correspondantes sont de 29, 3,5, 3,5, 42 et 3 % auxquels il convient d'ajouter 19 % pour le lait. La proportion de concentré du régime influence les composantes du bilan C des ruminants.

## Variations of carbon balance in farm ruminants

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

(1) INRA, UMR791 Physiologie de la Nutrition et Alimentation, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05, France

**SUMMARY** – The knowledge of carbon (C) balance in farm ruminants and of its causes of variations is of interest for approaches targeted to quantifying the C flows in farming systems. In order to calculate values of this balance several databases have been developed and used. The “Bovidig” database concerning digestion in cattle was used to calculate the various C flows in the rumen, a key organ in determining C partition. In the rumen, the fermented flow of C is partitioned between the microbial mass (25%), the volatile fatty acids-VFA (56%) and the gas (19%). The major causes of variation of this partition are the VFA profile and the microbial growth efficiency. The “Rumener” database pooling results of calorimetric studies in ruminants was used to calculate the various C inflows and outflows. In growing ruminants the mean partition of ingested C between faeces, CH<sub>4</sub>, urine, CO<sub>2</sub> and ultimate C balance are respectively 29; 4; 4.5; 58 and 4.5 %. In lactating ruminants, the corresponding values are 29; 3.5; 3.5; 42 and 3 % with, moreover, 21% in milk. Dietary concentrate influences the components of C balance in ruminants.

## INTRODUCTION

Compte tenu des préoccupations actuelles sur l'environnement climatique et le développement durable, les valeurs du bilan carbone (C) relatif aux animaux d'élevage, aux ruminants en particulier, et leurs variations deviennent des connaissances indispensables dans des approches systémiques environnementales. L'objectif de ce travail est de proposer un ensemble de valeurs moyennes de ces bilans, ainsi que d'évoquer leurs principales causes de variation.

### 1. MATERIEL ET METHODES

Des estimations relativement précises des bilans C peuvent être obtenues à partir des nombreux bilans d'énergie (E) mesurés avec des animaux placés en chambre calorimétrique. En effet, à partir de ces données (flux mesurés d'énergie brute (EB) ingérée, puis excrétés sous formes d'E fécale (EF), de méthane (ECH<sub>4</sub>) et d'urine (EU) ou perdus sous forme d'extra chaleur (EC) ou valorisés dans la production laitière (EL) et bilan énergétique (BE)), il est possible d'avoir des estimations assez précises des partitions des flux de C.

En pratique, 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 CH<sub>4</sub> sont proportionnels aux flux énergétiques correspondant auxquels sont appliqués des coefficients généralement admis par les énergéticiens (Schieman *et al.*, 1971). Des données publiées ont été utilisées pour estimer les flux de

C sous forme de CO<sub>2</sub> à partir de l'extra chaleur (Pedersen *et al.*, 2008). La valeur moyenne, de 111 g C CO<sub>2</sub> rejetés / Mcal d'extra chaleur, a été retenue. Des relations existent également pour interpréter les bilans d'énergie en termes de bilan C. Elles sont légèrement moins précises que les précédentes, compte tenu des variations, généralement non mesurées dans les études, de la composition corporelle. 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 différents autres flux cités ci-dessus.

Ces calculs ont été appliqués à la base de données « RUMENER » de l'UMR PNA, elle rassemble les résultats de plus de 1000 mesures de bilans effectués en chambres calorimétriques de groupes d'animaux, extraits de 148 publications correspondant à des contextes alimentaires et physiologiques divers. Elle 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).

En amont de ce travail, pour préciser les bilans carbone de l'écosystème ruminal, des méta-analyses ont été conduites sur la base « BOVIDIG » de l'UMR PNA. Au préalable les flux mesurés de matière organique (MO) ingérée, digérée, fermentescible (MOF), les flux de microbes ont été exprimés en flux de C. Pour les productions des AGV, la méthode de prédiction proposée par Nozière *et al.*

(2008) a été appliquée aux % molaires combinés avec la quantité de MOF. La production des gaz (CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>) a été prédite à partir des productions des AGV.

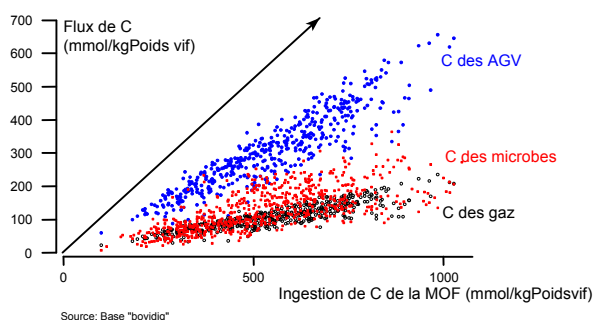
## 2. RESULTATS

### 2.1. LES PARTITIONS DIGESTIVES DU CARBONE INGERE

Les partitions digestives de C présentent de l'intérêt dans la mesure où elles débouchent sur des flux de C ayant des significations très diverses. Ces partitions digestives et ses principaux facteurs de variation sont assez connus grâce aux nombreuses études quantitatives sur la digestion effectuées depuis des années sur les ruminants. La première partition de C concerne l'alternative entre le rejet fécal et la digestion apparente. Les flux de C digérés et rejetés par voie fécale dépendent étroitement des flux de C ingérés, ces différents flux étant exprimés en mmolC / kg poids vif. La principale cause de variation de cette première partition est bien connue puisqu'il s'agit de la digestibilité de la matière organique (dMO) du régime, critère largement étudié.

La seconde partition de C concerne celle de C digéré dans les différents segments du tube digestif. La partition entre le rumen et les intestins varie par exemple sensiblement en fonction de la qualité de l'amidon de la ration, plus précisément de sa vitesse de digestion dans le rumen amidon rapide vs. amidon lent (Offner *et al.*, 2004). Aii il apparaît que le rôle du rumen ne peut pas être ign dans l'étude du bilan carbone des animaux ruminants. effet, cet organe réalise une première partition des flux C qui influence, en partie, les partitions digestives métaboliques ultérieures (exemple de l'amidon ci-dessus. Ensuite, à l'intérieur du rumen, il y a une partition des f de C présentant des conséquences pratiques. Avec 1 ration mixte moyenne, pour 100 g C ingérés, environ 4 quittent le rumen sans être « digérés » dans cet orga mais une partie de ce flux est digérée dans les intestins. carbone qui ne transite pas est fermenté (C de la MOF) se répartit globalement entre la formation de C de la ma microbienne (25 %), des acides gras volatils (56 %) et de gaz (19 %). Ce dernier flux est rejeté sous forme de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub>, estimés en proportions moyennes de 1/3 et 2/3. La figure 1 montre que l'intrant de C détermine largement les valeurs des trois flux considérés, cependant, au-delà des valeurs moyennes indiquées par les grandes tendances, il existe des variations non négligeables de cette partition de C dans le rumen.

**Figure 1:** Partition du carbone dans le rumen des bovins



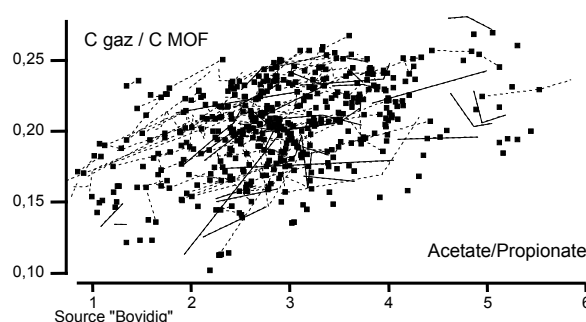
Une partie de ces variations est explicable. Ainsi, les régimes très digestibles, riches en aliments concentrés et ingérés en grande quantité induisent des fermentations ruminales, qualifiées d'anormales, caractérisées par un état d'acidose et un rapport acétate / propionate faible dans le rumen. Dans cette situation, considérée comme défavorable du point de vue du risque et des orientations fermentaires, il apparaît que la perte de C en gaz est réduite par rapport au flux de C de la MOF, ce qui économise autant de C pour élaborer des AGV ou de la biomasse microbienne (figure 2). Dans cette figure 2 les essais portant sur l'influence de l'apport de concentré sont reliés en traits continus. Le codage des expériences montre que la relation intra expérience entre ces deux variables est étroite et curvilinéaire :

$$C_g/C_{mof} = 0,117 + 0,036 A/P - 0,0033 A/P^2$$

(n = 454, n<sub>exp</sub> = 119, R<sup>2</sup> = 0,94, ETR = 0,008)

L'efficacité de la croissance microbienne est un autre facteur de variation important de la partition de C dans le rumen, il explique la majeure partie de l'effet expérience de la figure 2.

**Figure 2:** influence du rapport acetate/propionate dans le rumen sur la proportion de C de la MOF perdue en C de gaz



### 2.2. LES PARTITIONS GLOBALES DU CARBONE INGERE

Les résultats des calculs effectués sur les bilans d'énergie ont été interprétés en termes de C de manière à calculer les bilans C moyens et leurs amplitudes de variation. Dans un premier temps, ces valeurs sont comparées entre les espèces.

Le tableau 1 présente les valeurs moyennes du bilan C entre les quatre types d'animaux considérés. Afin de permettre de mieux caractériser ces types, les niveaux moyens de matière sèche (MSI %PV) et de poids vif (kg) ont été indiqués. Bien entendu, si on se rapporte aux données brutes, des différences importantes s'observent en fonction du poids vif et du niveau d'exportation laitière de C. Pour s'affranchir des différences de gabarit, les données du bilan ont aussi été rapportées au poids vif (tableau 1). Les vaches et les chèvres se distinguent significativement des bovins et ovins en croissance par des valeurs plus élevées de l'ensemble des flux de carbone, mis à part le bilan.

**Tableau 1** : valeurs moyennes du bilan carbone rapportées au poids vif (gC/kgPV)

Caractères	Bovins lait	Bovin viande	Ovin viande	Caprins lait
Nombre de lots	254	323	340	71
MSI (%PV)	2,53±0,67	1,45±0,47	1,59±0,75	2,99±1,03
Poids kg	534±86	373±112	63,6±30,3	39,7±12,0
C ingéré	11,17±3,06	6,23±2,07	7,04±3,27	12,36±3,86
C fécal	3,24±1,10	1,82±0,81	2,17±1,43	3,56±1,40
C CH <sub>4</sub>	0,37±0,10	0,25±0,08	0,25±0,11	0,43±0,14
C CO <sub>2</sub>	4,65±0,89	3,43±0,83	3,73±1,11	5,48±1,35
C urine	0,41±0,16	0,26±0,12	0,30±0,14	0,44±0,20
C lait	2,00±1,38	0	0	1,09±1,43
Bilan C	0,29±0,70	0,45±0,70	0,49±1,00	1,24±1,16

Etant donné que les relations entre C ingéré et les flux de rejets sont relativement précises, les flux et bilan ont été également rapportés en % de l'ingéré. Le tableau 2 en présente les résultats. Il apparaît que les flux de pertes les plus élevées correspondent aux rejets par l'expiration, puis par voie fécale. Il y a peu de différences entre les rejets fécaux des différents types animaux. Par contre, les vaches et les chèvres laitières rejettent significativement moins de C (%C ingéré) sous forme de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> et d'urine. Les différences de résultats entre les rejets fécaux et les trois autres proviennent en partie au moins des interactions

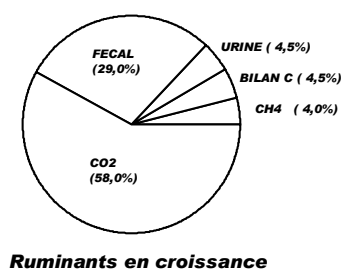
digestives liées aux niveaux d'ingestions plus élevés (tableau 1). Dans le cas des vaches laitières, les valeurs et partitions des flux sont globalement comparables à celles présentées par Faverdin *et al.* (2007).

Les figures 3 et 4 présentent les graphiques des partitions (%) des pertes moyennes de C par les principaux groupes de ruminants en croissance et lactation. Outre le lait, les différences sont significatives avec de plus faibles % de rejets de C pour les animaux laitiers au niveau des excréments urinaires et sous forme de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub>

**Tableau 2** : valeurs moyennes du bilan carbone rapportées à l'ingéré (% de C ingéré)

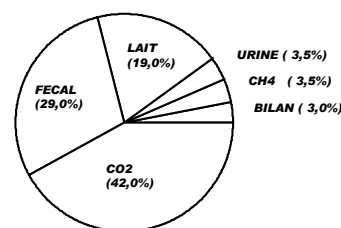
Caractères	Bovins lait	Bovin viande	Ovin viande	Caprins lait
C ingéré	100	100	100	100
C fécal	29,4±5,7	28,8±7,8	29,5±9,4	28,5±6,0
C CH <sub>4</sub>	3,5±0,9	4,2±0,9	3,9±1,2	3,5±0,6
C CO <sub>2</sub>	42,2±7,6	58,0±12,5	60,7±14,9	46,8±9,2
C urine	3,9±1,4	4,3±1,3	4,6±1,5	3,6±1,2
C lait	20,9±6,3	0	0	16,1±5,0
Bilan C	2,6±6,6	4,3±12,3	2,9±13,8	9,4±9,9

Figure 3: partition % des pertes moyennes de C



**Ruminants en croissance**

Figure 4: partition % des pertes moyennes de C



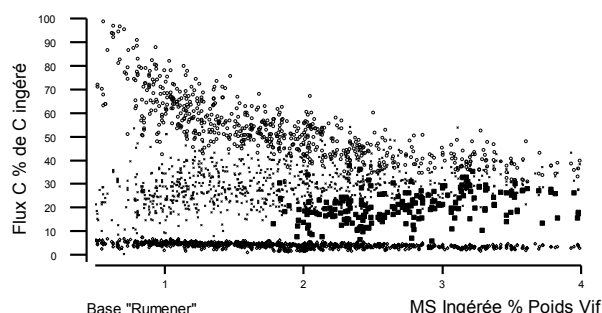
**Ruminants en lactation**

### 2.3. LES CAUSES DE VARIATION DE LA PARTITION ET DU BILAN CARBONE

Le flux de perte de CO<sub>2</sub>, lié au déroulement du métabolisme de base, ne s'annule pas lorsque les animaux sont à l'entretien, voire sont en dessous de l'entretien. De ce fait, il existe une relation inverse entre le % C CO<sub>2</sub> et le niveau de C ingéré, qui est directement proportionnel au niveau de MS ingérée/poids vif. La figure 5 traduit cette relation pour CO<sub>2</sub> pour l'ensemble des lots étudiés en prenant MSI % PV en variable explicative. Il est clair que pour des niveaux de MSI % PV < 1, qui correspond à des animaux en situation de bilan énergétique négatif, le % C CO<sub>2</sub> (o) devient très élevée et peut même excéder 100 % de l'ingéré en cas de jeune. Cette relation explique pourquoi le % de perte de C CO<sub>2</sub> est plus faible pour les

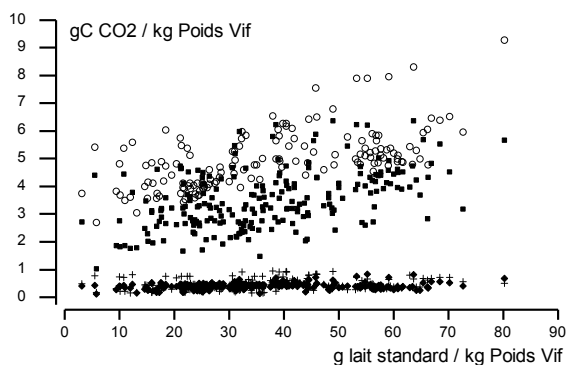
femelles laitières (tableau 2). La figure 5 présente également les partitions relatives des flux de C entre C fécal (x), C CH<sub>4</sub> (◇) et C lait (■).

Figure 5: Relation entre le niveau d'ingestion de MS et la partition des flux de C excrétés



Comme cela apparaissait déjà dans les tableaux 2 et 3, le niveau de performance laitière est une cause de variation du bilan carbone, car ce sont les animaux fort producteurs qui rejettent à proportion le moins de C. En flux absolus, par g lait à 40g de TB / kg PV produit en plus, les rejets de C (mg C / kg PV) sont respectivement de 32,3, 1,7, 36,0, 2,5 pour les flux de C fécal (○), de CH<sub>4</sub> (▲), de CO<sub>2</sub> (■) et urinaire (+) respectivement (figure 6).

Figure 6: Influence du niveau de production laitière sur les flux de C excrétés



Les composantes du bilan C sont aussi modifiées par le régime alimentaire. Ainsi, lorsque seules les 86 expériences (260 traitements) portant sur l'influence de la proportion de concentré sont considérées, il apparaît, indépendamment du type d'animal, qu'une augmentation de 10 % de la teneur en concentré réduit linéairement le pourcentage de C ingéré retrouvé sous formes de C fécal (-2,0 %) et de C urinaire (-0,1 %), par contre, il accroît le flux de C CO<sub>2</sub> (+1,4 %), de C lait (+0,5 %) et du bilan C (+0,8 %). Le flux de C CH<sub>4</sub> répond de façon curvilinéaire avec un maximum pour 36 % de concentré. Au-delà de ce seuil, un apport accru de concentré réduit les rejets de C CH<sub>4</sub> par rapport à l'ingéré. En deçà, une réduction de l'apport de concentré réduit aussi la production de C CH<sub>4</sub>. Une réponse curvilinéaire de la production de CH<sub>4</sub> au concentré a déjà été rapportée (Sauvant et Giger-Reverdin, 2007). Il apparaît donc que les variations de la proportion de concentré dans le régime modifient significativement la partition du carbone au sein de l'organisme.

Enfin, compte tenu du fait que le CH<sub>4</sub> possède un pouvoir « effet de serre » environ 25 fois supérieur au CO<sub>2</sub>, la production de carbone sous forme de gaz, exprimée en équivalent CO<sub>2</sub>, dépend, en moyenne, plus des variations de production de CH<sub>4</sub> qui est de l'ordre de dix à douze fois inférieure à celle du CO<sub>2</sub>.

## CONCLUSIONS

La démarche appliquée présente l'intérêt d'une cohérence globale. Elle fournit aux utilisateurs un ensemble de valeurs de référence utilisables dans les quantifications de flux d'éléments effectuées dans le cadre des approches environnementales. Les pertes de C les plus importantes correspondent aux rejets par la voie fécale et à l'expiration de CO<sub>2</sub>. Les animaux en lactation rejettent, à proportion, moins de carbone inutile que les autres, ce phénomène est d'autant plus marqué que le niveau de performance est élevé. Des facteurs alimentaires présentent également une influence comme cela a été observé pour le niveau d'apport de concentré qui réduit les pertes digestives de C.

Faverdin, P., Maxin, G., Chardon, X., Brunshwig, P., Vermorel, M., 2007, Compte rendu des journées 3R, p66

Nozière, P., Glasser, F., Sauvant, D., 2008, Compte rendu des journées 3R, p 284

Offner, A., Sauvant, D., 2004. *Anim. Feed Sci. Technol.* 111, 41-56.

Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Joergensen, H., Chwalibog, A., Haussermann, A., Heetkamp, M.J.W., Aarnink, A.J.A., 2008. *Agric. Eng. int.* 10, 1-19.

Schieman, R., Nehring, K., Hoffman, L., Jentsch, W., Chudy, A., 1971, *Energetische Futterbeurteilung und Energienormen*, 345p.

Sauvant, D., Giger-Reverdin, S., 2007. In ORTIGUES-MARTY, I. (Editor). *International Symposium on energy and protein metabolism and nutrition*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Pays-Bas. EAAP Publication n°127, 561-563.