



**Changements  
climatiques:  
comprendre  
pour mieux agir!**

## PRODUCTION ET ÉMISSION DU MÉTHANE ET DU GAZ CARBONIQUE PAR LES RUMINANTS

**Yvan Chouinard**, Ph. D., agronome  
Professeur, Université Laval  
yvan.chouinard@san.ulaval.ca

M. Yvan Chouinard est professeur à l'Université Laval. À ce titre, il est responsable d'un programme de recherche portant sur la physiologie et la nutrition des ruminants au Département des sciences animales. Il s'intéresse particulièrement au processus de fermentation ruminale conduisant à la production de méthane et de gaz carbonique.



**Ordre  
des agronomes  
du Québec**

# PRODUCTION ET ÉMISSION DU MÉTHANE ET DU GAZ CARBONIQUE PAR LES RUMINANTS

## INTRODUCTION

---

La production de méthane (CH<sub>4</sub>) et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par les animaux est d'origine digestive. L'émission de CO<sub>2</sub> d'origine digestive s'ajoute à la production de CO<sub>2</sub> d'origine métabolique (respiration de l'animal). La production de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub> d'origine fermentaire est le résultat de la dégradation anaérobie de la biomasse végétale ingérée, et ce, par les microorganismes présents dans le tube digestif. Tous les animaux d'élevage produisent donc du CH<sub>4</sub> et du CO<sub>2</sub>. Cependant, les ruminants (bœuf, mouton, chèvre) excrètent des quantités plus grandes de ces gaz que les monogastriques (porc et volaille). À titre d'exemple, la production de CH<sub>4</sub> par différentes espèces animales est présentée au tableau 1.

Tableau 1 : Estimation de la production annuelle de méthane par différentes espèces animales.

Espèce	Production de méthane (kg/an)
<b>Ruminant</b>	
Vache laitière	90
Bovin en croissance	65
Mouton et chèvre	8
<b>Non ruminant</b>	
Cheval	18
Porc	1
Volaille	< 0,1

Source : Sauvart (1993).

## DIGESTION CHEZ LE RUMINANT

---

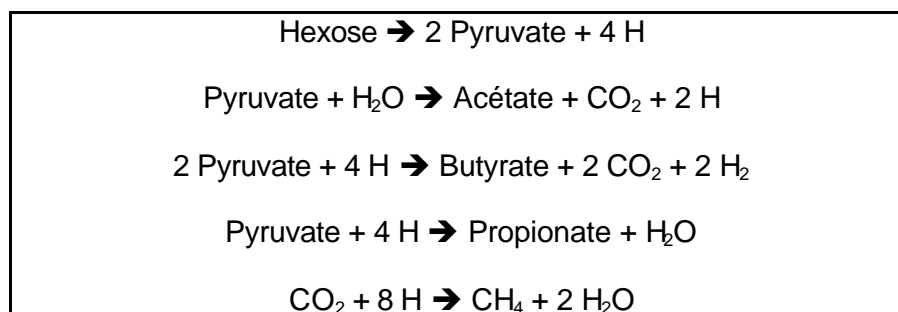
Les aliments du bétail, à l'exception des concentrés protéiques, contiennent environ 70 à 75 % de glucides surtout sous forme d'amidon, de cellulose et d'hémicellulose. Les glucides fournissent donc en moyenne près des trois quarts de l'énergie alimentaire des animaux de ferme. À ce titre, les glucides constituent la base des régimes alimentaires destinés aux animaux domestiques.

Chez les ruminants, la digestion des glucides s'effectue principalement par l'action des microorganismes anaérobiques du rumen. Le rumen contient plus de 60 espèces de bactéries à une concentration totale de  $10^9$ - $10^{10}$  bactéries (microflore) par millilitre. Le fluide ruminal contient beaucoup moins de protozoaires (microfaune), soit environ  $10^6$  protozoaires par millilitre, mais ces derniers étant plus gros que les bactéries, ils composent environ la moitié de la masse des microorganismes du rumen. La digestion des glucides alimentaires s'effectue en deux étapes. Les osides (glucides complexes) sont d'abord dégradés en oses (glucides simples) puis les oses sont utilisés (fermentés) par les microorganismes.

Les bactéries du rumen sont classifiées parfois selon le type de substrat qu'elles hydrolysent. On peut parler de bactéries cellulolytiques, amylolytiques, dextrinolytiques et saccharolytiques. L'hydrolyse des osides produit principalement du glucose, du fructose, du xylose et des acides uroniques (provenant des pectines et des hémicelluloses) qui sont convertis en xylose. Durant l'hydrolyse extracellulaire, les microbes s'attachent au matériel végétal et sécrètent des enzymes qui attaquent les fragments, libérant ainsi des unités de glucides simples.

Les oses libérés sont rapidement absorbés par les bactéries, de sorte qu'ils sont rarement détectés dans le rumen. Les oses sont métabolisés par les bactéries afin de produire de l'ATP nécessaire à leur métabolisme (entretien, croissance et division). Le métabolisme des microorganismes étant anaérobie, le pyruvate ne peut pas emprunter le cycle de Krebs et les produits terminaux de la digestion sont principalement les acides gras volatils (l'acétate, le propionate et le butyrate), les gaz (le  $\text{CO}_2$ , l'hydrogène, et le  $\text{CH}_4$ ) et l'eau (Figure 1). Le pyruvate est un intermédiaire important, mais n'est généralement pas retrouvé en concentration importante dans le fluide ruminal. L'acétate constitue en moyenne 65 % des acides gras volatils produits, le propionate près de 20 % et le butyrate environ 10 %. Avec un régime riche en concentrés, la proportion d'acétate diminue tandis que la proportion de propionate augmente.

**Figure 1: Produits terminaux de digestion microbienne des glucides chez le ruminant.**



Le taux de fermentation des glucides d'origine végétale est variable, étant donné leur grande diversité de sucres simples et des liaisons chimiques. Les liaisons glycosidiques de type  $\beta$  (ex. : cellulose) sont plus stables que celles de type  $\alpha$  (ex. : amidon). Donc, l'hydrolyse enzymatique d'une liaison de type  $\beta$  représente un coût énergétique plus élevé que celle de type  $\alpha$ . L'amidon serait donc plus facilement fermentescible que la cellulose. Les glucides solubles peuvent être fermentés en quelques minutes tandis que les glucides de structure sont dégradés à un taux qui varie selon la source et la pureté du substrat. En ordre décroissant de vitesse de fermentation, les glucides peuvent être classés de la façon suivante:

Sucres solubles > Fructosanes > Amidon > Pectines > Hémicelluloses > Cellulose

L'ensemble des réactions présentées à la figure 1 montre que la production d'acétate est reliée à la production de  $\text{CH}_4$ , alors que celle du propionate est reliée à la production de  $\text{CO}_2$ . Il existerait également une relation inverse entre la production de propionate et celle de  $\text{CH}_4$ . Finalement, d'autres travaux ont montré que les concentrations de  $\text{CH}_4$  et de  $\text{CO}_2$  évoluaient en sens inverse au cours de la journée; les concentrations de l'un étant maximales dans le contenu ruminal au moment où les concentrations de l'autre sont minimales (Vermorel, 1995).

## **RELATION STœCHIO MÉTRIQUE**

---

Vermorel (1995) a présenté un exemple de relation stœchiométrique (se rapportant aux proportions de combinaison des éléments) correspondant à la fermentation dans le réticulo-rumen d'une ration de 20 kg de matière sèche, soit environ 18 kg de matière organique, ingérée par une vache de 600 kg en lactation. De cette ration, 8,1 kg de matière organique seront dégradés dans le complexe réticulo-rumen, ce qui correspond à environ 50 moles d'équivalent anhydro-glucose (CHO). Le bilan de cette dégradation est le suivant :

$50 \text{ CHO} \rightarrow 59 \text{ acétate} + 23 \text{ propionate} + 9 \text{ butyrate} + 53 \text{ CO}_2 + 24 \text{ CH}_4 + 230 \text{ ATP} + \text{chaleur}$

Cette relation peut aussi être exprimée en terme d'énergie :

$34,02 \text{ Mcal} \rightarrow 12,33 \text{ Mcal} + 8,44 \text{ Mcal} + 4,72 \text{ Mcal} + 0 \text{ Mcal} + 5,08 \text{ Mcal} + 1,68 \text{ Mcal} + 1,77 \text{ Mcal}$

La production de CO<sub>2</sub> ne représente donc pas une perte d'énergie pour l'animal. Par contre, les pertes sous forme de CH<sub>4</sub> représentent environ 15 % de l'énergie des équivalents anhydro-glucose fermentés, soit 10,5 % de l'énergie digestible ou 6,7 % de l'énergie brute de la ration ingérée. D'un point de vue productivité, une réduction de l'émission de CH<sub>4</sub> pourrait représenter un gain d'efficacité alimentaire, à condition toutefois que l'énergie ainsi épargnée soit rendue disponible à l'animal.

Au plan nutritionnel, la relation peut s'inscrire ainsi :

50 CHO → 3,54 kg acétate + 1,70 kg propionate + 0,79 kg butyrate + 1187 litres CO<sub>2</sub>  
+ 538 litres CH<sub>4</sub> + 2,5 kg de biomasse microbienne + chaleur

Il existe plusieurs façons de mesurer les quantités de CH<sub>4</sub> produit par le bétail. Une de ces méthodes consiste à placer l'animal dans un espace clos (chambre respiratoire) et à mesurer la quantité de CH<sub>4</sub> qui s'accumule dans cet espace. Il est aussi possible de quantifier les émissions de CH<sub>4</sub> produit par des bovins qui se trouvent dans une étable en mesurant la concentration de CH<sub>4</sub> dans l'air qui s'échappe par les conduits d'aération (Kinsman et autres, 1995). Cette méthode évalue simultanément les quantités de CH<sub>4</sub> produit par tous les animaux, y compris par leurs déjections.

Il est plus difficile de déterminer la quantité de CO<sub>2</sub> produit par la fermentation ruminale. En effet, les chambres respiratoires qui sont utilisées pour mesurer la production de gaz par les animaux ne permettent pas de séparer la production de CO<sub>2</sub> qui origine de la fermentation de celle qui origine du métabolisme de l'animal. Il est cependant possible d'estimer la production de CO<sub>2</sub> à l'aide de fermenteurs artificiels (méthode *in vitro*). Cette technique permet de comparer des aliments entre eux, mais les résultats obtenus ne peuvent pas être extrapolés quantitativement à l'animal vivant en raison de la dilution importante du substrat en condition *in vitro* comparativement aux conditions *in vivo*. De plus, des quantités importantes de bicarbonate sont utilisées en conditions *in vitro* dans le but de tamponner le milieu d'incubation, ce qui conduit à une surestimation de la production de CO<sub>2</sub>.

La méthode la plus accessible pour estimer la production de CO<sub>2</sub> qui origine de la fermentation consiste à analyser la composition des gaz du rumen afin d'établir le rapport CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> puis à mesurer, à l'aide d'une chambre respiratoire, la production de CH<sub>4</sub>. Cette méthodologie a été

utilisée chez le mouton et a montré que le CO<sub>2</sub> d'origine fermentaire représente de 7 à 20 % de la production totale de CO<sub>2</sub> dans différentes conditions d'alimentation (Bouvier, 1977, cité par Vermorel, 1995). L'évaluation de la production de CO<sub>2</sub> d'origine fermentaire ou métabolique est toutefois compliquée par le fait que ces deux sources ne sont pas isolées l'une de l'autre. En effet, près des trois quarts du CO<sub>2</sub> d'origine fermentaire diffusent dans la circulation sanguine de l'animal et seraient éliminés par les poumons en même temps que le CO<sub>2</sub> d'origine métabolique. De plus, du bicarbonate vient s'ajouter au contenu ruminal via la production de salive au cours de l'ingestion et de la rumination des aliments. Ce bicarbonate est éventuellement dégradé, tamponnant ainsi le rumen et libérant du CO<sub>2</sub> d'origine métabolique qui s'ajoute au CO<sub>2</sub> d'origine fermentaire (Vermorel, 1995).

### **INFLUENCE DU RÉGIME ALIMENTAIRE SUR LA PRODUCTION DE CH<sub>4</sub>**

À partir des résultats de plusieurs études menées chez le bovin et le mouton, Blaxter et Clapperton (1965) ont montré que les pertes d'énergie sous forme de CH<sub>4</sub> augmentaient avec la digestibilité du régime. Cet accroissement dépend toutefois des caractéristiques des ingrédients du régime. Par exemple, le broyage des fourrages diminue leur temps de séjour dans le rumen, ce qui réduit la digestibilité des parois végétales et la production de CH<sub>4</sub>. Blaxter et Clapperton (1965) ont également montré que la proportion de l'énergie brute perdue sous forme de CH<sub>4</sub> était réduite avec l'augmentation de la prise alimentaire, c'est-à-dire du niveau de production et de la vitesse de passage des particules dans les compartiments du système digestif.

Beever (1993), quant à lui, a comparé le bilan de fermentation d'une ration riche en fourrages à celui d'une ration riche en aliments concentrés. Les relations stœchiométriques pour ces deux régimes s'établissaient comme suit :

- > Fourrages : 1 mole CHO = 1,34 acétate + 0,45 propionate + 0,11 butyrate + 0,61 CH<sub>4</sub> + 4,62 ATP (énergie)
- > Concentrés : 1 mole CHO = 0,90 acétate + 0,70 propionate + 0,20 butyrate + 0,38 CH<sub>4</sub> + 4,38 ATP (énergie)

Ces équations montrent que l'addition d'aliments concentrés dans la ration oriente les conditions ruminales vers une fermentation amylolytique au détriment de la fermentation

cellulolytique. Ce phénomène entraîne une diminution de la digestibilité des parois ainsi que des pertes d'énergie sous forme de CH<sub>4</sub>.

## **MOYENS DISPONIBLES POUR RÉDUIRE LA PRODUCTION DE CH<sub>4</sub>**

---

### **Augmentation de la productivité animale**

Différentes méthodes sont envisageables pour réduire la production de CH<sub>4</sub> par les ruminants domestiques. Selon Sauvart (1993), la stratégie la plus efficace semble être l'augmentation de la productivité animale qui permet, à production égale, de réduire le cheptel ou la durée des périodes d'élevage. À ce sujet, il cite l'exemple théorique d'une ferme laitière avec une production visée de 2 400 hectolitres (hl) de lait par an. Cet objectif peut être atteint avec un troupeau de 60 vaches produisant 4 000 kg de lait par an. Dans ces conditions, chaque vache libère annuellement 109 kg de CH<sub>4</sub>, ce qui représente 6 570 kg ou 9 200 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> pour l'ensemble du troupeau. Le même objectif de production peut également être atteint avec un troupeau de 24 vaches produisant 10 000 kg de lait par an. Dans ce cas, chaque vache libère 146 kg de CH<sub>4</sub>, mais au total, l'ensemble du troupeau produirait seulement 3 504 kg ou 4 900 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> pour une année complète.

Comme il a été mentionné, l'augmentation du niveau de prise alimentaire et de la quantité d'aliments concentrés ajoutée à la ration chez les animaux plus productifs a pour effet de réduire la proportion de l'énergie perdue sous forme de CH<sub>4</sub>. Cependant, l'augmentation de la quantité d'aliments consommés entraîne nécessairement une élévation de l'émission totale de CH<sub>4</sub> par l'animal. Cet exemple fait donc ressortir l'importance, d'un point de vue environnemental, de calculer la quantité de CH<sub>4</sub> émise par unité de produit et non par animal ou par unité de fourrage ou d'énergie ingérée.

### **Antibiotiques ionophores**

Les antibiotiques ionophores font partie des nombreux additifs alimentaires utilisés en production bovine. Le Monensin est l'un des ionophores les plus utilisés. Des études ont montré que ce dernier inhibe significativement la production de CH<sub>4</sub> dans le rumen (Sauer et autres, 1998). Cette inhibition est le résultat indirect d'une diminution de la production d'ions

hydrogène. Cependant, une certaine adaptation des microorganismes méthanogènes aux ionophores a déjà été rapportée dans la littérature. En effet, une reprise totale de la production de CH<sub>4</sub> a été observée après deux semaines de traitement aux ionophores chez des bovins recevant une ration riche en concentrés (Rumpler et autres, 1986).

### **Acides gras à longue chaîne**

Des matières grasses peuvent être ajoutées à la ration des ruminants dans le but d'augmenter l'apport en énergie. Dans le rumen, ces matières grasses réduisent la digestibilité des autres constituants de la ration, en particulier les glucides structuraux. Plus spécifiquement, les acides gras alimentaires empêchent l'attachement des bactéries cellulolytiques sur les particules d'aliment, ce qui réduit leur efficacité. Les acides gras polyinsaturés pourraient également exercer un effet toxique directement sur les populations bactériennes. Ces inhibitions s'accompagnent ainsi d'un accroissement du pourcentage d'acide propionique dans le contenu ruminal et d'une réduction des émissions de CH<sub>4</sub> (Bauchart, 1981). À titre d'exemple, une étude réalisée chez le mouton a montré qu'une augmentation d'un point du pourcentage de matières grasses ajoutées aux rations s'accompagnait d'une diminution de 2,6 % de la production de CH<sub>4</sub> (Giger-Riverdin et autres, 1992). Il faut toutefois veiller à ce que l'effet inhibiteur sur la digestibilité de la ration n'affecte pas de façon trop importante l'efficacité alimentaire des animaux.

### **Autres méthodes**

D'autres méthodes ont été ou sont présentement à l'étude dans le but de réduire la méthanogénèse dans le rumen. Ces technologies impliquent l'utilisation d'analogues halogénés du CH<sub>4</sub> ainsi que des interventions biotechnologiques comme la défaunation du rumen ou l'implantation de bactéries capables de réaliser activement l'acétogénèse réductrice aux dépens de la méthanogénèse. Ces technologies engendrent toutefois des effets secondaires indésirables tels une réduction de la dégradabilité de la fibre, une adaptation des microorganismes et la possibilité d'accumulation de résidus dans la viande, le lait ou l'environnement (Demeyer et Fievez, 2000).



## CONCLUSION

---

Les tentatives pour réduire la production de CH<sub>4</sub> par les ruminants en utilisant des inhibiteurs de la méthanogénèse comme les acides gras à chaîne longue, les analogues halogénés du CH<sub>4</sub>, les antibiotiques et les interventions biotechnologiques comme la défaunation du rumen ou l'acétogénèse réductrice ont donné des résultats intéressants à l'échelle expérimentale. Mais, une série d'effets secondaires et d'interactions ont été observés, ce qui fait qu'aucune méthode ne semble applicable en pratique pour le moment. Il est également important d'évaluer la portée des diminutions obtenues. Le CH<sub>4</sub> contribue à environ 16 % de l'effet de serre (Demeyer et Fievez, 2000) et les ruminants produisent environ 15 % de ce gaz à l'échelle de la biosphère (Sauvant, 1993). Leur contribution à l'effet de serre est donc au total d'environ 2,5 %. En diminuant de 20 % la production de CH<sub>4</sub> par les ruminants d'élevage, il serait possible d'obtenir une réduction de l'effet de serre de l'ordre de 0,50 %. Cette baisse représenterait un défi de taille sur le plan nutritionnel puisqu'il faudrait obtenir une réponse satisfaisante chez tous les animaux, peu importe la race, l'alimentation, l'environnement, le stade de croissance, etc. Cette baisse impliquerait également que les technologies développées soient adoptées par tous les éleveurs avec comme motivation principale une réduction de la pollution d'origine agricole.

## RÉFÉRENCES

---

- BAUCHART, D. 1981. *Digestion comparée des lipides chez les ruminants et les monogastriques*. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA. 46 : 45-55.
- BEEVER, D.E. 1993. *Rumen function : Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. Forbes, J.M. et France, J. (eds). CAB Int., Univ. Press, Cambridge, UK. 187-215.
- BLAXTER, K.L. et J.L. CLAPPERTON. 1965. *Prediction of the amount of methane produced by ruminants*. Br. J. Nutr. 19 : 511-522.
- DEMEYER, D. et V. FIEVEZ, 2000. *Ruminants et environnement: la méthanogénèse*. Ann. Zootech. 49 : 95-112.
- GIGER-RIVERDIN, S., M. VERMOREL et D. SAUVANT. 1992. *Facteurs de variation de la production de méthane au cours de la digestion des aliments composés chez les ruminants*. Ann. Zootech. 41 : 37-38.
- KINSMAN, R. et autres. 1995 *Methane and carbon dioxide emissions from dairy cows in full lactation monitored over a six-month period*. J. Dairy Sci. 78 : 2760-2766.

RUMPLER, W.V., D.E. JOHNSON et D.B. BATES. 1986. *The effect of high dietary cation concentration on methanogenesis by steers fed diets with and without ionophores*. J. Anim. Sci. 62 : 1737-1741.

SAUER, F.D. et autres. 1998. *Methane output and lactation response in Holstein cattle with Monensin or unsaturated fat added to the diet*. J. Anim. Sci., 76 : 906–914.

SAUVANT, D. 1993. *La production de méthane dans la biosphère: le rôle des animaux d'élevage*. Courrier de la Cellule Environnement, INRA. 18 : 67-70.

VERMOREL, M. 1995. *Productions gazeuses et thermiques résultant des fermentations digestives*. In *Nutrition des ruminants domestiques: ingestion et digestion*. Jarrige, R., Ruckebusch, Y., Demarquilly, C., Farce, M.H. et Journet, M. (eds). INRA, Paris, France. 649-670.