

Modèles D'estimation De L'émission Du Méthane Entérique Des Animaux D'élevage Au Maroc

Laabouri, F.Z.

Guerouali, A.

Alali, A. S.

Maghfoul, M.

Laboratoire de Métabolisme Énergétique, Département des Sciences Biologiques et Pharmaceutiques Vétérinaires, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

Doi: 10.19044/esj.2018.v14n6p102 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n6p102](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n6p102)

Abstract

Enteric CH₄ emissions have been of great scientific interest as they represent a real energy loss for livestock and are also responsible for global warming. The objective of this study is to measure enteric methane emissions in farm animals, and then develop models for estimating quantities emitted based on the amount of dry matter ingested (MSI). Holstein cows (n = 38) received dietary rations of 50% forage and 50% feed concentrate, and a linear regression model was developed to predict CH₄ production per animal (g). CH₄ (animal / day) from the amount of dry matter ingested and the equation obtained was as follows: $Y = 19.05X$. Here, Y is the amount of CH₄ (g CH₄ / cow / day) and X is the amount of ingested dry matter (kg), with $R^2 = 0.91$, $r = 0.97$, and $RMSPE = 5.53\%$. For small ruminants (n = 22), three dietary levels were used and methane production was measured. In addition, the equation obtained was: $Y = 12.21 X$ with $R^2 = 0.81$, $r = 0, 91$ and $RMSPE = 15.80\%$. In camelins (n = 12) and equines (n = 10), only one food level was used and methane measurements did not develop an estimation model. However, mean values of methane production were determined and they corresponded to 11.41 g CH₄ / kg MSI in camels and 2.18 g CH₄ / kg MSI in horses.

Keywords: Methane, Estimation models, ruminants, horse, Chamelles

Résumé

Les émissions de CH₄ entérique ont suscité un grand intérêt scientifique dans la mesure où elles représentent une vraie perte énergétique pour les animaux d'élevage et sont également responsables du réchauffement climatique. L'objectif de cette étude consiste à mesurer les émissions du

méthane entérique chez des animaux d'élevage, à développer ensuite des modèles d'estimation des quantités émises en se basant sur la quantité de matière sèche ingérée (MSI). Des vaches de race Holstein (n=38) ont reçu des rations de plusieurs niveaux alimentaires composées de 50% de fourrage et 50% d'aliment concentré et un modèle de régression linéaire a été développé pour prédire la production de CH₄ par animal (g CH₄ /animal/jour) à partir de la quantité de matière sèche ingérée et l'équation obtenue a été la suivante : $Y=19,05X$ où Y est la quantité de CH₄ (g CH₄/vache/jour) et X est la quantité de matière sèche ingérée (kg), avec $R^2= 0,91$, $r=0,97$ et $RMSPE = 5,53\%$. Pour les petits ruminants (n=22) trois niveaux alimentaires ont été utilisés et la production de méthane a été mesurée et l'équation obtenue a été la suivante : $Y= 12,21 X$ avec $R^2= 0,81$, $r=0,91$ et $RMSPE = 15,80\%$. Chez les camelins (n=12) et les équidés (n=10), un seul niveau alimentaire a été utilisé et les mesures de méthane réalisées n'ont pas permis de développer un modèle d'estimation. Cependant des valeurs moyennes de production de méthane ont été déterminées et correspondaient à 11,41 g CH₄/Kg MSI chez les chamelles et à 2,18 g CH₄/kg MSI chez les chevaux.

Mots-clés: Méthane, Modèles d'estimation, ruminants, cheval, Chamelles

Liste des Abréviations

MSI: Matière sèche ingérée

R^2 : Coefficient de détermination

r : Coefficient de corrélation

RMSPE: La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne exprimée en %

GES: Gaz à effet de serre

Introduction

Le phénomène de changement climatique est de plus en plus préoccupant à l'échelle nationale et internationale, la libération de gaz à effet de serre (GES) en est la cause principale (IPCC, 2006). A l'échelle mondiale, l'élevage contribue de 9% à 11% des émissions anthropiques totales des GES (Smith et al., 2007; Tubiello et al., 2013). Parmi de nombreux GES, le méthane (CH₄) est le contributeur agricole le plus incriminé, avec son potentiel de réchauffement global de 25 fois celui du dioxyde de carbone (Forster et al., 2007) et de sa courte durée de vie ce gaz est une cible intéressante des stratégies d'atténuation des gaz à effet de serre d'origine agricole. La fermentation entérique est la principale source d'émissions de CH₄ des animaux d'élevage (FAO, 2013). D'après Johnson et Johnson (1995) 2 à 12% de l'énergie contenue dans les aliments ingérés par les ruminants est perdue sous forme de méthane, ce qui représente une perte pour la performance de l'animal. Pour ces différentes raisons, les scientifiques ont commencé à

quantifier les émissions du méthane par les animaux d'élevage, afin d'établir des inventaires des émissions de gaz à effet de serre, d'évaluer les stratégies d'atténuation et d'orienter les fermentations pour une meilleure performance et une moindre pollution. Avec l'incapacité à réaliser des mesures sur chaque animal plusieurs modèles ont été développés pour prédire ou estimer les émissions de méthane entérique. Ces modèles utilisent des données spécifiques à la région ou au pays et peuvent ne pas être en mesure de prédire ou estimer les émissions avec succès dans toutes les régions. La majorité des modèles existants nécessitent l'apport en matière sèche (MSI) d'animaux individuels, ce qui n'est pas mesuré de façon systématique et diffère d'une zone géographique à une autre. Pour cette étude, on a commencé par des mesures de méthane entérique au laboratoire chez différentes espèces d'élevage, une moyenne de production de méthane pour chaque espèce a été ainsi déterminée. Des modèles d'estimation de la production de méthane (g/animal/jour) en fonction de la quantité de matière sèche ingérée par l'animal ont été développés chez les bovins et les petits ruminants. Chez les camélidés et les équidés, les mesures réalisées avec un seul niveau alimentaire n'ont pas permis de développer des modèles d'estimation, mais des valeurs moyennes de la production du méthane entérique chez ces deux espèces ont été déterminées.

Matériels et Méthodes

Animaux et Rations Alimentaires: Dans cette étude, 38 vaches de race Holstein d'âge moyen de 7 ± 3 ans et un poids moyen de 415 ± 62 kg ont reçu des rations alimentaires composées de foin de luzerne, foin d'avoine, paille de blé et d'aliment composé industriel dont la quantité de matière sèche ingérée est de 4,38 kg MSI (n=5), 5,31 kg MSI (n=9), 5,95 kg MSI (n=8), 6,68 kg MSI (n=5), 7,45 kg MSI (n=5), 8,5 kg MSI (n=6). Pour les petits ruminants, des ovins et des caprins (n=22) d'un âge moyen de 24 ± 13 mois et un poids moyen de 38 ± 13 kg ont reçu des rations alimentaires composées de paille de blé et d'orge. Les rations ont été distribuées selon trois niveaux alimentaires 0,5 kg MSI (n=6), 0,75 kg MSI (n=5) et 1 kg MSI (n=11). Pour les camelins, 12 chamelles d'un âge moyen de 12 ± 1 ans et un poids moyen de 415 ± 30 kg ont reçu une ration alimentaire composée de 2 kg de concentré et 3 kg de paille de blé (soit 4,44 kg MS). Pour les équidés, l'étude a porté sur 10 chevaux dont 3 femelles et 7 males, d'un âge moyen de 10 ± 5 ans et un poids moyen de 383 ± 55 kg ont fait l'objet de l'expérimentation. Les chevaux ont reçu une ration alimentaire composée de 4 kg de foin d'avoine, 1,5 kg d'orge et 1,5 kg d'un mélange de plusieurs concentrés (soit 5,54 kg MS).

Dispositif Expérimental (Figure 1): Pour les vaches et les chamelles, les mesures ont été réalisées à l'aide de masque respiratoire pour des périodes continues de 3 heures avec quatre mesures par jour. Pour l'espèce ovine et

caprine une cage à tête a été utilisée à cette fin. Pour les équidés, avec l'incrimination de la voie rectale pour l'élimination du gaz de méthane (fermentation au niveau du gros intestin), les mesures ont été réalisées par utilisation d'une sonde rectale attachée au système de mesure utilisé dans cette étude. Le système consiste en la mesure de la production de méthane par la calorimétrie indirecte à circuit ouvert. Pour la collecte des gaz, une pompe aspiratrice est adaptée au système ; elle permet la circulation des gaz dans les tuyauteries à un débit ajusté manuellement de 151,5 litres /min pour les bovins et les camelins et 75 litres /min pour les ovins, les caprins et les équidés. Le taux de ventilation étant réglé au moyen d'une vanne. Les gaz aspirés passent d'abord à travers une enceinte de stockage. Une deuxième pompe, branchée au système, prélève des échantillons d'air expiré, qui après une déshumidification, sont renvoyés à l'analyseur de méthane qui est préalablement calibré. Le système comprend aussi un thermocouple permettant la mesure de la température humide et sèche des gaz collectés et un manomètre à eau permettant de mesurer la pression des gaz circulant à l'intérieur du système. Le calibrage du système consiste d'abord en l'injection de l'azote dans l'analyseur de méthane, ce qui permet, l'évacuation des molécules de méthane de la cellule d'analyse ; ensuite l'injection des gaz contenant le méthane à une concentration connue (200 ppm). Avant chaque mesure du méthane, le système est calibré par les deux gaz de calibration. Durant l'opération de mesure de méthane, l'animal sujet de la mesure est accompagné d'un autre animal afin d'éviter son stress. Chez les équidés la mesure du méthane a été basée sur l'utilisation d'une sonde (menée d'un ballonnet qui se gonfle et se dégonfle) introduite à l'intérieur de l'ampoule rectale et branchée au système de mesure d'une part, et à un tuyau libre d'autre part. Ce tuyau permet l'aspiration de l'air ambiant qui véhicule le CH₄ entérique afin d'éviter un prolapsus rectal. La sonde est maintenue à l'intérieur du rectum par le gonflement du ballonnet. Les mesures ont été étalées sur la journée avec des retraits de la sonde de temps à autre pour permettre à l'animal de se reposer et déféquer.

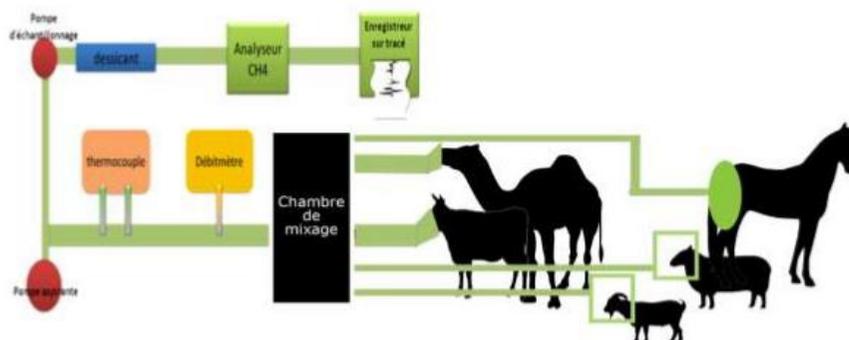


Figure 1. Dispositif expérimental de mesure de méthane

Les modèles de prédiction des quantités de méthane émises en fonction de la matière sèche ingérée ont été développés dans cette étude à partir des droites de régression obtenus en utilisant le logiciel Microsoft office Excel.

Résultats

Chez les vaches les émissions quotidiennes de CH₄ ont été mesurées en fonction de la quantité de matière sèche ingérée (MSI) et les résultats ont montré une corrélation positive entre les deux paramètres dont l'équation est la suivante (Figure 2) : $Y=19,05 X$ avec $R^2= 0,91$, $r= 0,97$ et $RMSPE= 5,53\%$.

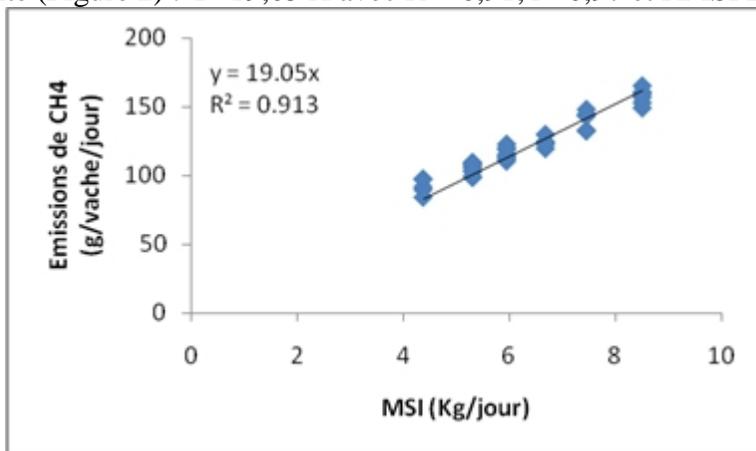


Figure 2. Emissions de CH₄ (g/vache/jour) en fonction de la matière sèche ingérée. (n= 38, R² = 0,91, r=0,97 et le RMSPE =5,53%)

Chez les petits ruminants également les émissions quotidiennes de CH₄ ont été mesurées en fonction de la quantité de matière sèche ingérée et les résultats ont montré une corrélation positive entre les deux paramètres dont l'équation est la suivante (Figure 3) : $Y=12,21 X$ avec $R^2= 0,80$, $r=0,91$ et $RMSPE=15,80\%$.

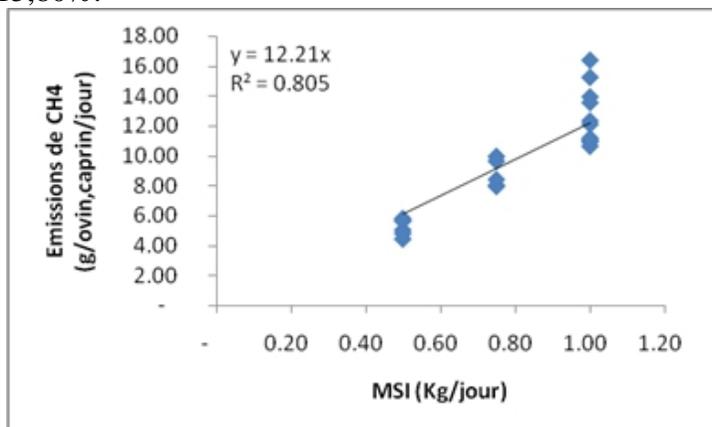


Figure 3. Emissions de CH₄ (g/petit ruminant/jour) en fonction de la matière sèche ingérée (n=22, R² = 0,80, r=0,91 et RMSPE =15,80%)

Le coefficient de détermination (R^2) détermine à quel point l'équation de régression est adaptée pour décrire la distribution des points. Le coefficient de corrélation (r) a été utilisé pour tester l'association entre l'apport de matière sèche et les émissions quotidiennes de CH_4 . La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSPE), exprimée en pourcentage des émissions moyennes de CH_4 , donne une indication de l'erreur de prédiction globale. Les droites de régression et les paramètres numériques calculés (R^2 , r , RMSPE) dans cette étude montrent l'existence d'une corrélation linéaire significative entre l'apport en matière sèche ingérée et la production du méthane entérique chez les ruminants.

Dans cette étude la moyenne de production de méthane mesurée chez les vaches ($n=38$) est de 19,17 g CH_4 /kg MSI alors que le modèle de prédiction développé a proposé la valeur de 19,05 g CH_4 /kg MSI chez cette espèce. Chez les petits ruminants (ovin, caprin, $n=22$) la moyenne mesurée est de 11,98 g CH_4 /kg MSI alors qu'elle est de 12,21/kg MSI pour le modèle développé. Chez l'espèce cameline ($n=12$) et équine ($n=10$) les mesures réalisées n'ont pas permis le développement d'un modèle d'estimation de production de méthane entérique puisque les animaux ont reçu un seul niveau d'alimentation qui est de 4,44 kg MSI pour les chamelles et 5,54 kg MSI pour les chevaux. Néanmoins, Les moyennes de production de méthane entérique ont été déterminées avec 11,29 g CH_4 /kg MSI chez les chamelles et 2,18 g CH_4 /kg MSI chez les chevaux.

Discussion

Matt et al. (2016) ont développé un modèle de prédiction pour les bovins de boucherie, les vaches laitières et les ovins afin de quantifier l'effet du régime alimentaire sur la production du méthane entérique (g/kg MS). Les émissions quotidiennes de CH_4 ont été positivement corrélées avec la prise alimentaire en matière sèche ingérée chez les trois catégories d'animaux. L'équation obtenue dans l'étude a été la suivante : $Y=22,2 X$ où $r = 0,975$, RMSPE 14% et l'erreur standard de l'équation a été de 0,13. De Haas et al. (2011) ont montré que l'ingestion de matière sèche pourrait être utilisée comme paramètre de prédiction des émissions de CH_4 , puisqu'elle explique une grande partie de la variation des émissions. Selon Appuhamy, et al. (2016), les émissions entériques de CH_4 des vaches laitières peuvent être prédites avec succès lorsque le RMSPE <15%. Les émissions moyennes de CH_4 mesurées chez les bovins avec des méthodes en chambre ou SF6 ont été respectivement de 22,8 g/kg de MSI et de 21,0 g/kg de MSI (Appuhamy, et al., 2016). Moate et al. (2014) ont rapporté que les vaches australiennes produisaient en moyenne 21,4 g CH_4 par kg de matière sèche ingérée en tenant compte des régimes alimentaires utilisés dans les fermes laitières australiennes au cours des 40 dernières années. La Nouvelle-Zélande utilise un coefficient

de 21,6 g/kg de matière sèche dans les inventaires de GES pour les vaches laitières (Moate et al., 2014). Le modèle de Charmley et al. (2016) basé uniquement sur la matière sèche ingérée a été classé troisième parmi les 10 premiers modèles classés pour les systèmes de production européens. Nielsen et al. (2013) utilisant une relation linéaire entre la production de CH₄ et la MSI (22,6 g de CH₄ par kg de MSI) a été classé en tête des autres modèles basés sur la MSI pour les systèmes de production australiens et néo-zélandais (Appuhamy, et al., 2016). Dans le présent travail la moyenne de production de méthane mesurée chez les vaches a été de 19,17 g CH₄/kg MSI, et la valeur prédite par le modèle développé a été de 19,05 g CH₄/kg MSI, ces valeurs de mesures ou de prédiction sont comparables et proches des valeurs rapportées par la plupart des modèles d'estimation de la production de méthane à partir de la matière sèche ingérée. Chez les petits ruminants, l'étude menée par Pinares-Patiño et al. (2013) a montré que la production moyenne de CH₄ a été estimée à 15,7 g CH₄/kg MSI, alors qu'elle a été en moyenne de 20,3 g/kg MSI dans une autre étude rapportée par Patra (2014). Dans notre étude chez les petits ruminants, la moyenne de production du méthane entérique a été estimée à 11,98 g CH₄/kg MSI pour les mesures réalisées et à 12,21 g CH₄/kg MSI par le modèle développé. Les valeurs obtenues sont en général inférieures aux valeurs de prédiction rapportées dans la littérature. Ces différences peuvent être expliquées par la différence dans la taille et le développement du tube digestif des races des petits ruminants utilisées dans les divers essais expérimentaux. La moyenne de production du CH₄ mesurée chez les camélidés, selon notre étude, a été en moyenne de 18,29 kg/tête/an, alors que le GIEC a attribué une valeur de 46 kg CH₄/tête/an pour les dromadaires proche des valeurs attribuées aux vaches laitières en Afrique et Moyen-Orient (GIEC, 2006; FAO, 2015). Nous pensons que les experts du GIEC n'ont pas pu trouver des valeurs de mesure du facteur d'émission chez les dromadaires dans la littérature et ont opté pour une extrapolation à partir des données chez les bovins alors qu'il existe beaucoup de différences sur le plan anatomique, physiologique et comportement alimentaire entre les deux espèces. Chez les Camélidés, l'anatomie des réservoirs gastriques diffère de ceux des autres ruminants par l'absence du 3^{ème} compartiment (feuillet), plus ou moins confondu avec le 4^{ème} compartiment (la caillette) (Açoine, 1985). La pression exercée à l'intérieur des pré-estomacs de camélidés à la suite des différentes contractions est particulièrement forte. Elle conduit à des brassages et des vitesses de transit des digesta qui dépassent en puissance ceux observés chez les ruminants (Jouany, 2000). Le transit des digesta dans les réservoirs gastriques du dromadaire est aussi favorisé par la présence d'un orifice, entre le 2^{ème} et le 3^{ème} compartiment, de diamètre large dont le rôle de sélection vis à vis de la taille des particules alimentaires est très limité alors que les bovins possèdent un orifice de diamètre faible qui freine le transit dans les réservoirs

gastriques. Par conséquent, chez les ruminants la quasi-totalité de la ration alimentaire est fermentée dans les réservoirs gastriques alors que chez les camélidés une grande partie de la ration alimentaire échappe à la fermentation et elle est digérée dans l'intestin grêle.

Selon Hoppe et al. (1975), le dromadaire secrète des quantités plus importantes de salive que les bovins et les ovins. Les observations faites par Jouany et Kayouli (1988) indiquent que les concentrations de protozoaires sont plus faibles chez les dromadaires et les lamas que chez les ruminants. Ceci peut expliquer la moindre production de dihydrogène et de méthane chez ces espèces. Tous ces facteurs convergent vers une production plus faible des quantités de méthane chez les dromadaires par rapport aux vaches. Lors de nos mesures chez les bovins, la moyenne de la production de méthane obtenue pour toutes les catégories de bovin a été de 44,01 kg/vache/an, ce qui comparable à celle proposée par le GIEC pour les pays d'Afrique et du Moyen-Orient.

Chez les équidés, le méthane est en général éliminé par flatulence puisque la fermentation est localisée dans sa grande partie au niveau du gros intestin (Frappe, 2010). Chez les chevaux, La valeur moyenne de la production du méthane entérique par flatulence obtenue dans le présent travail a été de 4,41 kg CH₄/tête/an. Ces valeurs sont largement inférieures aux valeurs données par le GIEC (18 kg CH₄/tête/an) pour la même espèce animale (GIEC, 2006; FAO, 2015). Cependant, nos mesures ont été réalisées sur des chevaux de traction, de différentes races et dont le poids vif moyen ne dépasse pas les 350 kg.

Le présent travail a permis le développement de modèles d'estimation de l'émission du méthane entérique en fonction de la matière sèche ingérée et d'estimer des facteurs d'émission pour les différentes espèces d'élevage émettrices de méthane dans notre pays.

References:

1. Açoine, A. (1985). Le dromadaire au Maroc. Thèse de Doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort ; n° 21 : 122 p.
2. Appuhamy, J.A.D.R.N., France, J., & Kebreab, E. (2016). Models for predicting enteric methane emissions from dairy cows in North America, Europe, and Australia and New Zealand. *Glob. Chang. Biol.* 22, 3039–3056.
3. Charmley, E., Williams, SRO., & Moate PJ et al. (2016). A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. *Animal Production Science*, 56, 169–180.
4. De Haas, Y., Windig, J.J., Calus, M.P.L., Dijkstra, J., de Haan, M., Bannink, A., & Veerkamp, R.F. (2011). Genetic parameters for

- predicted methane production and the potential for reducing enteric emissions through genomic selection. *J. DairySci.*, 94, 6122–6134.
5. FAO (2013). Tackling climate change through livestock. 2013.
 6. FAO (2015). Estimations des émissions de gaz à effet de serre en agriculture. Un manuel pour répondre aux exigences de données des pays en développement. Rome :s.n., 2015.
 7. Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, DW., Haywood, J., Lean, J., Lowe, DC., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., & Van Dorland, R. (2007). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In *Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (ed. S Solomon, D Qin, M Manning, Z Chen, M Marquis, KB Averyt, M Tignor and HL Miller), pp. 129–234. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
 8. Frappe, D. (2010). *Equine Nutrition and Feeding*. 4ème édition. Oxford : Wiley-Blackwell. : s.n., 2010.
 9. GIEC (2006). Emissions imputables au bétail et à la gestion du fumier. Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. 2006, Vol. 4.
 10. Hoppe, P., Kay, R.N.B., & Maloiy, G.M.O. (1975). Salivary secretion in the camel. *Journal of Physiology*. 244: 32-33.
 11. IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, IGES, Kanagawa, Japan.
 12. Johnson, KA. & Johnson, DE. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*. 1995, 73, pp. 24832492.
 13. Jouany, JP. (2000). La digestion chez les Camélidés, comparaison avec les ruminants. *Prod. ani*.13: 165-76.
 14. Jouany, J. P. & Kayouli, C. (1988). La digestion microbienne chez les camélidés. *Opt. Médit. Série Séminaires*. 2 : 89-96.
 15. Matt, B., Richard Eckard, Peter, J., Moate and Tianhai Yan (2016). Modelling the Effect of Diet Composition on Enteric Methane Emissions across Sheep, Beef Cattle and Dairy Cows. *Animals* 6, 54; doi:10.3390/ani6090054.
 16. Moate, PJ., Richards, S., & Williams, O et al. (2014). Mitigation of enteric methane emissions from the Australian dairy industry. *Proceedings of the 5th Australian Dairy Science Symposium*, pp. 121–140.
 17. Nielsen NI, Volden H, Akerlind M, Brask M, Hellwing ALF, Storlein T, Bertilsson J (2013). A prediction equation for enteric methane

- emission from dairy cows for use in NorFor. *Acta Agriculturae Scand Section A*, 63, 126–130.
18. Patra, A. K. (2014). A meta-analysis of the effect of dietary fat on enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in sheep, and a comparison of these responses between cattle and sheep. *Livestock Science*, vol. 162, 2014, p. 97–103.
 19. Pinares-Patino, Hickey, Young, Dodds, MacLean, Molano, Sandoval, Kjestrup, Harland, Hunt, Pickering, & McEwan (2013). Heritability estimates of methane emissions from sheep. *Animal* (2013), 7:s2, pp 316–321.
 20. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., & Sirotenko, O. (2007). Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (ed. B Metz, OR Davidson, PR Bosch, R Dave and LA Meyer), pp. 497–540. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
 21. Tubiello, FN., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N. & Smith, P. (2013). The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters* 8, 10pp.