

**Catégories animales**

Tous les herbivores

Impacts

GES

Réduction des émissions de méthane entérique

Objectif et principe

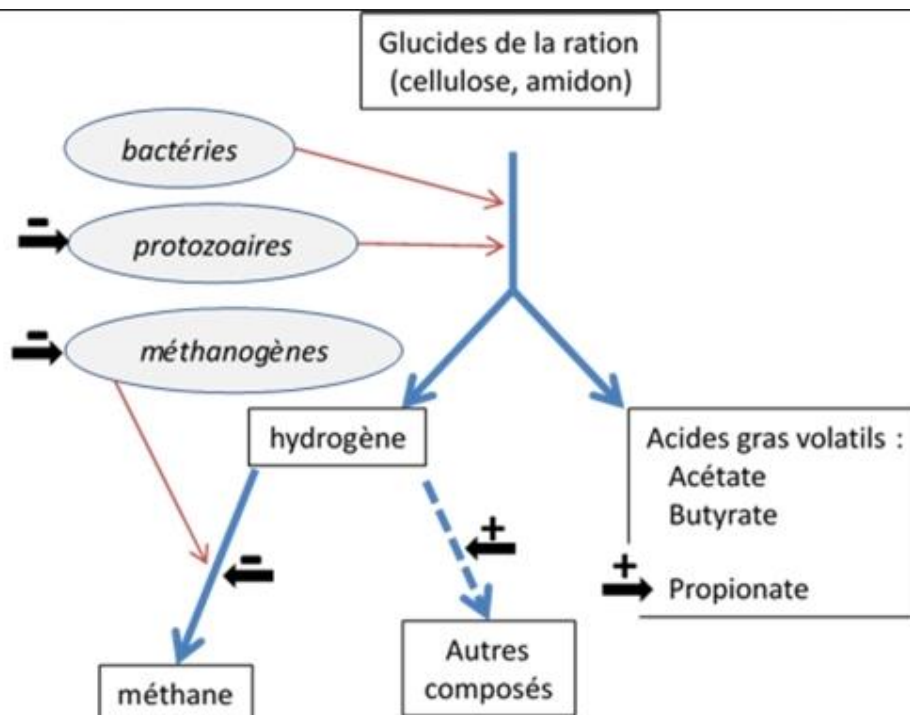
Réduire les émissions de gaz à effet de serre et en particulier de méthane produit par l'activité entérique des animaux.

La production de méthane entérique est une voie métabolique naturelle et essentielle au bon fonctionnement des fermentations microbiennes du rumen. Cependant, elle constitue une perte d'énergie pour l'animal et contribue de façon significative aux émissions de gaz à effet de serre des élevages. La recherche d'une moindre émission par unité de produit animal doit prendre en compte les performances et la santé de l'animal, et la qualité des productions. Par ailleurs, il faut resituer les émissions de méthane entérique par rapport aux autres gaz à effet de serre (GES) produits et autres enjeux environnementaux que ce soit à l'échelle du troupeau, à l'échelle de l'exploitation, et prendre en compte la place de l'élevage dans la valorisation de l'espace.

Mise en place

Les processus à l'origine de la production de méthane

La production de méthane est un phénomène naturel issu de la digestion des aliments. Afin d'identifier les pistes d'actions pour le réduire, il est important de bien comprendre son processus d'émission, la figure 1 présente les grands principes de formation du méthane. Le méthane entérique est essentiellement produit dans le rumen des ruminants, par la fermentation microbienne. Les composés celluloseux et l'amidon des aliments sont dégradés en acides gras volatils (acétate, propionate, butyrate) par les enzymes des bactéries, protozoaires et champignons du rumen. Cette dégradation s'accompagne d'une production nette d'hydrogène. Cet hydrogène est ensuite converti en méthane par les enzymes d'une autre catégorie de microorganismes. La plus grosse partie du méthane produit dans le gros intestin est absorbé. Le méthane excédentaire est majoritairement éructé. Une faible partie est évacuée dans les flatulences.



La flèche tiretée indique une voie normalement très minoritaire.

Les flèches fines rouges indiquent l'action de chaque catégorie de micro-organismes.

Les grosses flèches noires avec les signes + ou - indiquent les modes d'action envisagés pour réduire la production de méthane.

Figure 1 : Voies biochimiques impliquées dans la formation du méthane dans le rumen (source Doreau et al., 2017))

Les voies de réductions du méthane

Pour réduire les émissions de méthane entérique, il y a deux voies : (i) réduire la production d'hydrogène dans le rumen sans diminuer la production d'acides gras volatils (ce qui compromettrait les performances de l'animal), ou utiliser l'hydrogène autrement que pour former du méthane (Figure 1). Pour la première voie, il y a deux pistes : augmenter la part du propionate dans les acides gras volatils car le propionate utilise l'hydrogène, ce qui compense en partie la forte production d'hydrogène par l'acétate et le butyrate ; (ii) réduire la population de protozoaires, car ce sont de forts producteurs d'hydrogène (Guyader et al., 2014). Des actions sur l'alimentation, spécifiées dans la suite du texte, sont possibles pour atteindre cet objectif. Pour la deuxième voie, il y a également deux pistes. La première est de réduire la méthanogenèse, soit en inhibant le développement de la population de bactéries méthanogènes, soit en bloquant une étape de la voie biochimique aboutissant à la formation de méthane. La seconde est de dévier l'utilisation de l'hydrogène vers d'autres voies biochimiques : acétogenèse, réduction de nitrates, de sulfates ou d'acides organiques.

On recense actuellement 4 types de solutions pour diminuer le méthane :

- Via des systèmes plus optimisés : en améliorant la reproduction et la santé des troupeaux par exemple ;
- Via la sélection génétique qui aurait des aptitudes naturelles à émettre moins de méthane que certains de leurs congénères ;
- Via l'optimisation de l'alimentation
- Via les biotechnologies ;

Les deux premières catégories de solutions visent à diminuer les émissions de méthane par kg de produits sortant de l'exploitation alors que les deux dernières permettent une diminution via la quantité de matière sèche ingérée.

La voie génétique

Limiter les rejets de méthane par la voie génétique peut s'opérer sous différentes formes :

- la productivité à l'animal, en effet, plus l'animal produit plus la part du besoin d'entretien est faible (Vermorel, 1995), il y a un effet de dilution par la production.



- Avec des animaux plus efficaces : certains animaux sont génétiquement plus efficaces dans l'ingestion et la digestibilité que leur congénères, ils disposent de ce qu'on appelle une meilleure efficacité globale. Ces animaux qui mangent moins pour un niveau de production identique disposent d'une faible ingestion résiduelle. Par voie de conséquence ils produisent autant mais en émettant moins de méthane.

-

Les biotechnologies

L'utilisation de biotechnologies est une réponse innovante au problème des émissions chez le ruminant. Doreau et al., (2017) a recensé quatre grands apports illustrés dans la bibliographie :

- La vaccination
- Les anticorps
- Les bactéries acétogènes
- Les levures et bactéries propioniques

Le

Tableau 1 ci-dessous résume les modalités d'actions des différentes pratiques et leur état d'avancement et/ou efficacité.

Tableau 1 : Biotechnologies pour limiter les émissions de méthane entérique des ruminants

Type de biotechnologies	Principe d'action	Efficacité
Vaccination contre les méthanogènes	limiter la production des méthanogènes	Proposé en 2004 --> Jamais de résultats concrétisés in vivo (Wright et al., 2004)
Anticorps anti-méthanogènes	limiter la production de méthanogènes	Effet transitoire in vitro --> pas efficace in vivo (Cook et al., 2008)
Bactéries acétogènes	Utilisation de l'hydrogène	Seulement test in vitro / pas d'efficacité in vivo en ruminants (Morgavi et al., 2010)
Levures et/ou bactéries propioniques	Modification du profil bactérien du rumen	Quelques essais in vivo --> Efficacité faible / controversée / absence de répétabilité (Doreau et Jouany, 1998 / McGinn et al., 2004)

La réalité est assez décevante et manque d'efficacité, du moins au stade actuel des recherches. Les tests de ces méthodes nécessitent des recherches longues et complexes pour s'assurer des effets positifs sans pour autant avoir des effets croisés négatifs..

L'alimentation

- **Nature des fourrages et proportion de concentrés**
 - o **Les fourrages les plus digestibles** émettent plus par kg de matière sèche ingérée que les fourrages les moins digestibles, mais ils fournissent également plus de nutriments énergétiques (acides gras volatils). Indépendamment de leur teneur en glucides et de leur digestibilité, certains fourrages pourraient contribuer à réduire la production de méthane. Des travaux étrangers évoquent souvent la luzerne mais des études récentes suggèrent que ce n'est pas le cas. Ainsi la luzerne déshydratée en remplacement du tourteau de soja ne réduit pas la production de méthane (Doreau et al., 2014a). Il a été récemment montré que le trèfle blanc et le trèfle violet ne contribuent pas à réduire les émissions de méthane (Martin et al., 2016a). En revanche, les plantes riches en tanins réduisent le méthane, par l'intermédiaire d'une action toxique sur les méthanogènes. Une partie de leur effet négatif sur le méthane lorsqu'ils sont substitués à d'autres fourrages est liée à une diminution de leur digestibilité, et donc de l'ensemble des fermentations des glucides. Cette action a été montrée avec des





fourrages tropicaux riches en tanins (Rira et al., 2015), mais aussi avec des plantes comme le sainfoin (Aufrère et al., 2012).

- **L'augmentation du pourcentage de concentré** dans la ration entraîne une diminution de la production de méthane, en grande partie liée à l'augmentation de la part de propionate dans le mélange d'acides gras volatils. La diminution est curvilinéaire, d'autant plus importante que le pourcentage de concentré s'accroît (Sauvant et al., 2011). Même si elle est sensible au-delà de 50% de concentré, c'est à partir de 80% de concentré dans la ration qu'elle est systématiquement très marquée. Ce type de ration, utilisé en France de manière très limitée dans les régimes d'engraissement de bovins, présente des inconvénients : risque potentiel pour la santé de l'animal (acidose digestive), compensation par des émissions accrues des autres gaz à effet de serre (protoxyde d'azote, gaz carbonique) et d'autres impacts environnementaux (eg. potentiel d'eutrophisation plus élevé).
- Les émissions de méthane dépendent surtout des quantités consommées par les animaux et de leur capacité à les digérer. Certains aliments, comme les légumineuses riches en tannins (ex. le lotier, peu présent dans les prairies), conduiraient à une moindre production de méthane, de même que les fourrages jeunes très digestibles. L'effet du mode de récolte et de conservation des fourrages est peu documenté et demande à être précisé.

- **Apports de lipides**

La solution nutritionnelle actuellement reconnue par la communauté scientifique comme la plus efficace pour réduire les émissions de méthane est le remplacement d'une partie des glucides de la ration par des lipides (Martin et al., 2010, Hristov et al., 2013). La raison essentielle est que les glucides produisent de l'hydrogène, précurseur du méthane, alors que les lipides, qui ne sont pas fermentés dans le rumen, n'en produisent pas. Une seconde raison est l'action négative des lipides sur les protozoaires, connue depuis longtemps (Doreau et Ferlay, 1995).

- **Additifs alimentaires**

Depuis une dizaine d'années, les chercheurs de nombreux pays explorent des pistes très diverses pour réduire les émissions de méthane, et confrontent leurs résultats. Parmi les additifs dont l'efficacité a été parfois montrée, l'effet de produits chimiques dont la toxicité est probable (chloroforme, bromoethylsulfonate, etc,...), ou d'antibiotiques ionophores interdits dans l'Union Européenne (monensin) a été écarté.

- **Les produits dits « naturels »** comme certaines plantes, extraits de plantes (plantes riches en saponines comme le thé ou extrait d'ail riche en diallyldisulfide par exemple) et huiles essentielles, donnent souvent des résultats positifs dans des essais *in vitro*. Mais ils n'ont pas pour l'instant donné de résultats probants et répétables sur l'animal dans des essais *in vivo*, selon la bibliographie.
- **Les saponines** sont des molécules présentes dans les plantes entraînant une diminution des protozoaires, par suite de l'atteinte à l'intégrité de leurs membranes cellulaires. Elles sont donc susceptibles de réduire la production de méthane. Les résultats obtenus avec des constituants sont souvent convaincants *in vitro*, plus rarement *in vivo* (Goel et Makkar, 2012).
- Autres constituants secondaires des plantes, **les tanins** ont été évoqués lorsqu'ils sont distribués sous forme de fourrages. Mais des extraits de tanins sont également utilisés, et peuvent se révéler efficaces. Ainsi de l'extrait d'*Acacia mearnsii* a permis de réduire la production de méthane en particulier dans un essai de Staerfl *et al.* (2012), d'autres essais ont été récapitulés dans la revue de Doreau *et al.* (2011a).
- Une voie nouvelle pour modifier le méthane est l'addition de **nitrate de calcium** dans la ration (synthèse de Lee et Beauchemin, 2014). Le nitrate se transforme en nitrite puis en ammoniac dans le rumen, et utilise ainsi l'hydrogène. Jusqu'à présent cet additif s'est révélé efficace dans 100% des essais réalisés sur l'animal (une douzaine au total). La formation d'ammoniac implique qu'il doit être employé uniquement avec des rations pauvres en azote fermentescible (ensilage de maïs), et remplacer d'autres sources d'azote fermentescible.
- Récemment une nouvelle molécule, **le 3-nitrooxypropanol (3-NOP)**, a été testée. Cette molécule est un analogue du coenzyme M, impliqué dans la dernière étape



de la chaîne réactionnelle de la méthanogenèse dont l'enzyme clé est la coenzyme M-réductase. Elle a montré une très forte efficacité dans plusieurs essais réalisés depuis 2013, y compris à long terme, sans effet négatif sur les performances de l'animal. A l'heure actuelle, le 3NOP est le produit à action systématique la plus efficace pour réduire la production de méthane ; de nombreux essais sont en cours dans le monde pour préciser les conditions de son action et ses éventuels effets secondaires sur la santé de l'animal. Un produit naturel extrait de la noix de cajou pourrait avoir un mode d'action similaire sur la méthanogenèse grâce à un composé qui pourrait être l'acide anacardique (Shinkai *et al.*, 2012, sur vaches taries), mais l'effet sur la méthanogenèse est plus limité et demande confirmation, et les effets sur les performances animales doivent être précisés.

Tableau 21 : bilan des actions de réduction du méthane entérique par l'alimentation ou sur via des additifs avec efficacité et applicabilité

Action de réduction du méthane entérique par l'alimentation ou sur via des additifs	Efficacité <i>in vivo</i>	Applicabilité (si efficace)
Ration très riches en concentré	Oui	Limitée par choix éthique (durabilité) ou en raison d'autres effets négatifs sur l'environnement
lipides insaturés	Oui	Bonne, mais problème de coût
Plantes riches en tanins	Oui	Pour animaux à besoins modérés
Plantes riches en saponines	variable	Prématurée
Autres plantes, extraits ou huiles essentielles	faible ou non systématique	Pour l'instant limitée, mais intérêt possible à l'avenir
Acides organiques	variable	Faible ; produit coûteux
Nitrate	efficace	Limitée par les risques pour la santé de l'animal et l'acceptabilité par l'éleveur et le consommateur
3-nitrooxypropanol	très efficace	Pas encore commercialisé ; problèmes éventuels d'acceptabilité d'un additif de synthèse par le consommateur
Vaccination, anticorps	?	-
Ajout de levures	non	-
Ajout de souches bactériennes	variable	Prématurée

Source Doreau et al. 2017

L'optimisation des systèmes

Au-delà, d'une réflexion sur l'animal, il est possible de raisonner les émissions de méthane entérique à l'échelle de la ferme. L'optimisation des systèmes d'exploitation passe par une amélioration de la reproduction et la santé des animaux, ainsi on limite le nombre d'animaux sur l'exploitation et par voie de conséquence la production de méthane de ces animaux. Une voie complémentaire est de diminuer l'âge au vêlage des animaux et ainsi de limiter le nombre d'élèves sur la ferme.

Méthode d'estimation des émissions de méthane entérique

Différentes méthodes permettent d'estimer les émissions de méthane des animaux :

- A partir de la ration et ingestion : le nouveau système d'alimentation de l'INRA prend en compte un certain nombre de facteurs permettant d'estimer le méthane émis à partir d'une

RMT Elevage et Environnement - Guide des bonnes pratiques environnementales d'élevage

catégorie animale et une ration donnée. (INRA 2018) Le logiciel CAP2ER (<http://www.cap2er.fr/Cap2er/>) permet également une estimation du méthane entérique à partir de la ration des animaux.

- A partir des acides gras du lait, il existe des équations permettant de calculer le méthane entérique (http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/idelesolr/recommends/phenofinlait-phenotypage-fin-du-lait.html)
- A partir du spectre MIR du lait il est également possible d'obtenir une estimation (<http://www.journees3r.fr/spip.php?article3735>)

Bénéfices environnementaux

Les émissions de méthane entérique représentent entre 35 et 50 % des émissions totales de gaz à effet de serre d'une ferme d'élevage de ruminants. Leur réduction peut donc avoir un impact significatif, à condition qu'elle ne s'accompagne pas d'une augmentation des autres GES ou impacts environnementaux.

L'optimisation des systèmes

Limiter le nombre d'animaux sur l'exploitation tout en maintenant une production équivalente, par l'amélioration de la santé du troupeau, la reproduction, l'âge au vêlage, limitera la quantité de méthane entérique de l'exploitation ainsi que son empreinte carbone.

La voie génétique

Il existe une variabilité individuelle à digérer plus ou moins rapidement une ration (lien également avec la flore microbienne du rumen). Les émissions de méthane d'une vache à l'autre au sein d'un même groupe sont très variables : jusqu'à 20 % de différence (consultation www.sillonbelge.be) ! Il a été rapporté que la diminution de 15% du temps de séjour permet de diminuer de 30% la méthanogénèse et par conséquent le méthane entérique.

Les biotechnologies

Les biotechnologies en sont pas suffisamment probantes pour le moment, il n'y a pas suffisamment de publications permettant de proposer cette voie en déploiement en ferme.

L'alimentation

Nature des fourrages et proportion de concentrés

Bien que l'augmentation des concentrés dans la ration permette de limiter les émissions de méthane entérique, elle n'a pas vocation à s'appliquer à toutes les catégories animales et tous les systèmes au détriment de fourrages ou de prairies naturelles, qui permettent de stocker du carbone dans le sol et pourrait dégrader le bilan carbone de l'exploitation.

Apports de lipides

D'après les estimations de Grainger et Beauchemin (2011) et Doreau et al. (2011), l'ajout d'un point de lipides dans la ration, exprimé en % de la matière sèche, entraîne une baisse moyenne de 4% de méthane. L'étude Pellerin et al. (2013) a illustré ceci par un ajout de 3.5 points de lipides (ration passant par exemple de 1,5 à 5% d'acides gras dans la matière sèche).

Additifs alimentaires

Concernant les additifs alimentaires, il est difficile de donner une valeur chiffrée, étant donné leur nombre et la variabilité de la réponse *in vivo* allant de 0 à 30% selon les études et les additifs. Combinaison de pratiques

Certaines combinaisons semblent avoir des effets bénéfiques cumulatifs sur les émissions de méthane des ruminants (eg. Nitrates + lipides Guyader et al., 2015 – 2016). Cependant, il y a assez peu de recul dans la durée et cela reste encore à étudier.





Effets croisés

Les effets croisés sont variables d'une solution à l'autre mais a priori limités si appliqué correctement. Mais les techniques à diffuser doivent être évaluées en termes de risque potentiels de moindre performance des animaux, d'effet négatif sur leur santé (par exemple troubles métaboliques avec des rations très riches en concentrés) et de possibilité de passage de substances dans le lait ou la viande en cas d'utilisation d'additifs.

Coûts

Concernant la **génétique**, l'arrivée du génotypage pourrait peut-être permettre à moyen terme d'ajouter un critère d'évaluation sur l'émission de méthane. Ce n'est pas proposé actuellement, cela nécessite de pouvoir identifier un gène marqueur.

Concernant, l'**alimentation**, les stratégies peuvent être variées au cours de l'année (période hivernale VS période estivale), entre catégorie animale, couplage de différentes solutions... il est donc difficile de chiffrer, le chiffrage ne peut se faire qu'au cas par cas, selon la situation de départ et l'objectif à atteindre.

Le surcoût/bénéfice lié à la mise en œuvre des différentes pratiques est difficile à évaluer. Concernant, l'**optimisation des systèmes**, l'éleveur doit être gagnant d'un point de vue économique mais cela nécessite d'être évalué au cas par cas selon la situation de départ de l'exploitation et l'objectif fixé.

Applicabilité

L'applicabilité de ces techniques peut être mise en œuvre pour différents objectifs :

- Pour réduire les émissions de méthane entérique par kg de lait, on peut améliorer la reproduction ou la santé des animaux, pour réduire les phases improductives, ou encore utiliser la voie génétique pour avoir des générations plus efficaces,
- Pour réduire les émissions de méthane entérique par kg MS ingérée, on peut jouer sur la nature du régime, ou sur un apport lié aux biotechnologies.

Facteurs incitatifs

Les filières lait et viande (<http://idele.fr/reseaux-et-partenariats/life-beef-carbon.html> / <http://www.ferme-laitiere-bas-carbone.fr/>) et se sont engagés à abaisser leurs émissions de GES afin de contribuer aux engagements climatiques de la France. Des entreprises laitières s'engagent également avec leur producteur de lait, ces démarches ne sont pas axées uniquement sur le méthane entérique mais plus globalement sur des plans multi-actions à l'échelle des exploitations. L'outil CAP'2ER permet de réaliser les empreintes carbone des élevages et de simuler l'effet des plans d'action.

Etat des lieux de l'application de cette technique

Les deux techniques les plus développées sont : (i) l'optimisation des systèmes, (ii) l'utilisation de lipides dans la ration, cependant cette dernière présente un coût supplémentaire pour l'éleveur. Concernant les biotechnologies et l'utilisation d'additif elles ne sont pas ou très peu développées en lien avec les incertitudes sur leur efficacité.

Pour en savoir plus

- Aufrère J., Theodoridou K., Baumont R., 2012. Valeur alimentaire pour les ruminants de légumineuses contenant des tanins condensés en milieux tempérés. *Inra Productions Animales*, 25, 29-44.
- BENCHAAR C., POMAR C. and CHIQUETTE J., 2001. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: a modeling approach. *Canadian Journal of Animal Science* n°81, pages 563-574.
- Cook S.R., Maiti P.K., Chaves A.V., Benchaar C., Beauchemin K.A., McAllister T.A., 2008. Avian (IgY) anti-methanogen antibodies for reducing ruminal methane production: in vitro assessment of their effects. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48, 260-264.

RMT Elevage et Environnement - Guide des bonnes pratiques environnementales d'élevage



- Doreau M., Jouany J.P., 1998.. Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on nutrient digestion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81, 3214-3221.
- Doreau M., Ferlay A., 1995. Effect of dietary lipids on nitrogen metabolism in the rumen: a review. *Livestock Production Science*, 43, 97-110.
- Doreau M., Martin C., Eugène M., Popova M., Morgavi D.P., 2011a. Leviers d'action pour réduire la production de méthane entérique par les ruminants. In : *Gaz à effet de serre en élevage bovin : le méthane*. Doreau M., Baumont R., Perez J.M. (Eds). Dossier, INRA Productions Animales, 24, 461-474.
- Doreau M., Ferlay A., Rochette Y., Martin C., 2014a. Effects of dehydrated lucerne and soya bean meal on milk production and composition, nutrient digestion, and methane and nitrogen losses in dairy cows receiving two different forages. *Animal*, 8, 420-430.
- Doreau M., Bamière L., Pellerin S., Lherm M., Benoit M., 2014b. Mitigation of enteric methane for French cattle: Potential extent and cost of selected actions. *Animal Production Science*, 54, 1417-1422.
- Doreau M., Van der Werf H.M.G., Nguyen T.T.H., Martin C., Bauchart D., Lherm M., Micol D., Mialon M.M., 2014c. Les rations d'engraissement de taurillons: éléments d'évaluation de la durabilité. *Viandes et Produits Carnés, hors-série 15e JSMTV*, 13-14.
- Doreau M., Martin C., Morgavi D.-P., 2017. Réduire les émissions de méthane entérique par l'alimentation des ruminants. *Viande & Produits carnés – juin 2017*. VPC-2017-33-2-7. 11p <https://www.viandesetproduitscarnes.fr/index.php/en/842-reduire-les-emissions-de-methane-enterique-par-l-alimentation-des-ruminants> - consulté en juillet 2019
- GIGER, REVERDIN, 2000. Modélisation empirique des facteurs de variation des rejets de méthane par les ruminants. *Rencontre Recherche Ruminants*, 7, pages 187-190.
- Goel G., Makkar H.P.S., 2012. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health Production*, 44, 729-739.
- Grainger C., Beauchemin K.A., 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 308-320.
- Guyader J., Eugène M., Meunier B., Doreau M., Morgavi D.P., Silberberg M., Rochette Y., Gérard C., Loncke C., Martin C., 2015. Additive methane-mitigating effect between dietary linseed oil and nitrate fed to cattle. *Journal of Animal Science*, 93, 3564-3577.
- Guyader J., Doreau M., Morgavi D.P., Gérard C., Loncke C., Martin C., 2016. Long-term effect of linseed plus nitrate fed to dairy cows on enteric methane emission and nitrate and nitrite residuals in milk. *Animal*, 10, 1173-1181.
- Lee C., Beauchemin K.A., 2014. A review of feeding supplementary nitrate to ruminant animals: nitrate toxicity, methane emissions, and production performance. *Canadian Journal of Animal Science*, 94, 557-570.
- MARTIN C., MORGANI D. P., DOREAU M., 2009. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal*, 3(1), pages 1-15.
- Martin C., Morgavi D.P., Doreau M., 2010. Methane mitigation in ruminants : from microbe to the farm scale. *Animal*, 4, 351-365.
- Martin C., Copani G., Niderkorn V., 2016a. Impacts of forage legumes on intake, digestion and methane emissions in ruminants. *Legume Perspectives*, 12, 24-25.
- McGinn S.M., Beauchemin K.A., Coates T., Colombatto D., 2004. Methane emissions from beef cattle : effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *Journal of Animal Science*, 82, 3346-3356.
- Morgavi D.P., Forano E., Martin C., Newbold C.J., 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, 4, 1024-1036.
- Rira M., Morgavi D.P., Archimède H., Marie-Magdeleine C., Popova M., Bousseboua H., Doreau M., 2015. Potential of tannin-rich plants for modulating rumen microbes and ruminal fermentation in sheep. *Journal of Animal Science*, 93, 334-347.
- Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Favardin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L., 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques.

Rapport d'étude, INRA (France), 454p. – <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Etude-Reduction-des-GES-en-agriculture>

- Sauvant D., Giger-Reverdin S., Serment A., Broudiscou L., 2011. Influences des régimes et de leur fermentation dans le rumen sur la production de méthane par les ruminants. In : Gaz à effet de serre en élevage bovin : le méthane. Doreau M., Baumont R., Perez J.M. (Eds). Dossier, INRA Productions Animales, 24, 433-446.
- Staerfl S.M., Zeitz J.O., Kreuzer M., Soliva C.R., 2012. Methane conversion rate in bulls fattened on grass or maize silage as compared with the IPCC default values, and the long-term methane mitigation efficiency of adding acacia tannin, garlic, maca and lupine. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 148, 111-120.
- Shinkai T., Enishi O., Mitsumori M., Higuchi K., Kobayashi Y., Takenaka A., Nagashima K., Mochizuki M., Kobayashi Y., 2012. Mitigation of methane production from cattle by feeding cashew nut shell liquid. *Journal of Dairy Science*, 95, 5308-5316.
- Sillon Belge : <https://www.sillonbelge.be/2315/article/2018-04-15/diminuer-les-emissions-de-methane-en-adaptant-la-ration-alimentaire#2314> consulté le 31/07/2019.
- Wright A.D.G., Kennedy P., O'Neill C.J., Toovey A.F., Popovski S., Rea S.M., Pimm C.L., Klein L., 2004. Reducing methane emissions in sheep by immunization against rumen methanogens. *Vaccine*, 22, 3976-3985.

Contacts : elise.lorinquer@idele.fr

Pour citer le document : RMT Elevage et Environnement, 2019. Guide des bonnes pratiques environnementales d'élevage. Fiche B3 - Réduction des émissions de méthane entérique. 9 pages.

