

Réduction des émissions de gaz à effet de serre des ruminants : choix des techniques les plus efficaces, ampleur de la réduction, coût de leur mise en application

KLUMPP K. (1), FAVERDIN P. (2), BENOIT M. (3), PELLERIN S. (4), BAMIERE L. (5), CHEMINEAU P. (6), LHERM M. (3), PARDON L. (6), DOREAU M. (3)

(1) INRA UR 874 Ecosystème prairial 5 Ch de Beaulieu, 63039 Clermont-Ferrand

(2) INRA/Agrocampus Ouest, UMR 1348 Pegase, 35590 Saint-Gilles, France

(3) INRA/ VetAgroSup UMR 1213 Herbivores, Theix, 63 122 Saint-Genès-Champanelle

(4) INRA Département Environnement et Agronomie 33883 Villenave d'Ornon Cedex

(5) INRA UMR Economie Publique BP 01 78850 Thiverval-Grignon

(6) INRA DEPE 147 rue de l'Université 75338 PARIS CEDEX 07

RESUME

La part de l'agriculture dans les émissions de gaz à effet de serre (GES) représente 18% des émissions totales (en équivalent - CO₂e) et se répartit à 50% pour le N₂O, 40% pour le CH₄ et 10 % pour le CO₂. Cette contribution nécessite de trouver des leviers d'action pour réduire ces émissions, y compris les variations de séquestration de carbone par les sols. Bien que les évaluations de type Analyse du Cycle de vie (ACV) mettent en évidence des stratégies pertinentes pour réduire ces émissions, une application sur le terrain nécessite d'évaluer le coût de leur mise en œuvre, et de s'assurer de leur faisabilité technique. Une étude collective de l'INRA (Pellerin et al., 2013) consacrée à ces questions a identifié un nombre important de mesures d'atténuation. Trois mesures qui concernent les exploitations d'élevage de ruminants sont décrites dans cet article : la réduction du CH₄ entérique par l'alimentation, la réduction des pertes azotées par l'alimentation et une gestion optimisée des prairies. Les actions les plus intéressantes pour réduire les tonnages d'équivalent CO₂e émis sont: ajout des graines oléagineuses dans les rations, le prolongement de la durée des prairies temporaires et ajout de nitrate à la ration. L'analyse coûts-bénéfice montre un gain économique (€ per Mg CO₂e évité) liée à l'allongement de la saison de pâturage, la durée des prairies temporaires et la réduction des apports protéiques dans les rations animales.

Reduction of greenhouse emissions for livestock: choice of technically efficient mitigation options, magnitude of reduction and costs of implementation

KLUMPP K. (1), FAVERDIN P. (2), BENOIT M. (3), PELLERIN S. (4), BAMIERE L. (5), CHEMINEAU P. (6), LHERM M. (3), PARDON L. (6), DOREAU M. (3)

(1) INRA UR 874 Ecosystème prairial 5 Ch de Beaulieu, 63039 Clermont-Ferrand

SUMMARY

The important contribution of agriculture (about 18% equivalent CO₂e) to total GHG emissions (partitioned 50% N₂O, 40% CH₄ and 10% CO₂), requires the finding of effective mitigation options to reduce emissions (including carbon sequestration in soils). Even though several studies using Life Cycle Assessments (LCA) highlight strategies that could be followed, a "field" application requires estimating the cost of implementation, and ensuring technical feasibility. A national abatement study (Pellerin et al., 2013, Coord. INRA) has, thus, been devoted to these questions. Three actions concern mitigation options for livestock farms (i.e. ruminants): reduction of enteric CH₄ through feed complements, reduction of nitrogen losses through diet changes and improved grassland management. Analyses show that in terms of abatement potential (Mg CO₂e avoided) the most interesting options are the following: feed addition with oilseeds, prolongation of life time for temporary grassland (i.e. reduced tillage) and nitrate addition to the diet. Abatement costs (€ per Mg CO₂e) are the most attractive for the extension of the grazing season, life time prolongation for temporary grassland and reducing protein content in the diet.

INTRODUCTION

A l'échelle de la France, les exploitations agricoles contribuent pour 18% aux émissions totales de gaz à effet de serre exprimées en équivalent CO₂ (CO₂e) dont 50% sont dus aux émissions de protoxyde d'azote (N₂O) produit lors des réactions biochimiques de nitrification et de dénitrification, 40% sont dus au méthane (CH₄) produit lors des fermentations entériques et des effluents en conditions anaérobies, et 10 % sont dus au CO₂ lié aux consommations d'énergie des exploitations CITEPA (2012). S'y ajoutent les émissions liées à la fabrication et au transport d'intrants (engrais, aliments concentrés,...), qui sont comptabilisées dans les secteurs de l'industrie et des transports. Compte tenu de son poids dans les émissions, l'agriculture est appelée à contribuer à l'effort général de réduction des émissions de GES et à l'atteinte des objectifs fixés aux niveaux national (division par 4 des émissions en 2050 par rapport aux émissions en 1990) et international. L'agriculture peut participer à l'amélioration du bilan net des émissions de

GES via 3 voies d'atténuation principales: la réduction des émissions de N₂O et de CH₄, le stockage de carbone dans les sols et dans la biomasse, et la production d'énergie à partir de biomasse (biocarburants, biogaz qui réduisent les émissions par effet de substitution à des énergies fossiles). Toutefois, en raison de la nature complexe des processus et des incertitudes fortes, les possibilités d'atténuation en système d'élevage bovin sont à ce jour moins bien évaluées que dans d'autres secteurs de l'économie, et une quantification des possibilités d'atténuation des émissions de l'agriculture est donc nécessaire. De plus une application sur le terrain nécessite d'évaluer le coût de leur mise en œuvre, et de s'assurer de leur faisabilité technique. Une étude de l'INRA réalisée à la demande des ministères en charge de l'Agriculture et de l'Environnement a été consacrée à ce sujet (Pellerin *et al.* 2013). Dix mesures ont été sélectionnées pour leur intérêt et la possibilité de les mettre en œuvre rapidement ; trois d'entre elles concernent les exploitations d'élevage de ruminants et sont décrites dans ce texte.

- Modifier la ration des bovins pour réduire leurs émissions entériques de CH₄ par deux moyens: i) enrichir la ration en lipides insaturés sous forme de graines oléagineuses, ii) ajouter un additif (nitrate) dans les rations pauvres en azote fermentescible.

- Modifier la ration des vaches laitières pour réduire les pertes de matières azotées dans l'urine (essentiellement sous forme d'urée) à l'origine d'émissions de N₂O par réduction des apports protéiques des aliments concentrés.

- Optimiser la gestion des prairies en i) allongeant la saison de pâturage pour réduire la part des déjections émises en bâtiment (N₂O et CH₄) et ii) accroissant la durée de vie des prairies temporaires, pour différer leur retournement qui contribue au déstockage du carbone du sol (CO₂).

1. MATERIEL ET METHODES

Avant cette sélection de trois actions, l'efficacité de la mesure, la facilité de mise en œuvre et l'absence d'effets négatifs sur la production ou sur d'autres critères environnementaux avaient été vérifiés. Pour rester dans un cadre méthodologique permettant de les évaluer, elles ne devaient pas entraîner de changement important de système d'élevage. On a déterminé pour chacune le potentiel unitaire d'atténuation des émissions de GES par animal ou par hectare.

L'étape suivante a été la détermination de l'assiette concernée par chaque mesure : type d'animal, effectifs et ration habituelle, type de prairie et part de pâturage, surfaces, etc... Les informations provenaient des statistiques agricoles annuelles (effectifs d'animaux) et de différents documents de l'Institut de l'Élevage (systèmes d'élevage). On a retenu l'assiette maximale techniquement envisageable uniquement à partir de critères techniques. A partir de ces éléments on a calculé le potentiel d'atténuation annuel (moyenne et limites haute et basse) et les variations de coût annuel de mise en œuvre. Le scénario de référence pour les calculs sur toute la période est celui de 2010. Chacune des actions a été estimée pour la France métropolitaine en considérant directement l'échelle nationale ou, lorsque c'était nécessaire, en agrégeant des informations à partir de l'échelle régionale, et à partir d'hypothèses sur la diffusion des actions sur la période 2010-2030. Le potentiel d'atténuation est calculé, à l'horizon 2030, en prenant en compte tous les postes d'émissions potentiellement affectés par l'action: directs sur l'exploitation d'élevage, indirectes (émissions de N₂O en dehors de l'exploitation) et induites (conséquences de la mesure sur d'autres émissions de GES que celle qui est recherchée, cas de la modification des rations par changement des aliments achetés). Dans une dernière étape, des analyses de sensibilité ont été effectuées pour chaque action (plus détails sur méthodologie voir Pellerin et al., 2013).

2. RESULTATS

2.1. MODIFICATION DE LA RATION DES ANIMAUX

2.1.1. Action sur le méthane entérique

Parmi les différentes techniques permettant de réduire le méthane entérique (Doreau *et al.*, 2011), la principale mesure retenues est l'incorporation d'aliments riches en lipides insaturés dans les rations. Elle est efficace sur le long terme. Les lipides insaturés (graines de lin et de colza extrudées) ont été choisis en raison d'une atténuation démontrée et d'un effet tendant à être positif (cas du lin) ou nul (cas du colza) sur la qualité des produits. Il a été considéré que l'application de cette mesure serait effective pour la totalité de l'assiette en 2022 (6,6Mbovins ; cf Tab 1.). Elle est proposée pour l'ensemble des bovins recevant du concentré. Le potentiel d'atténuation du CH₄ entérique a été estimé à 4% par point de lipides ajouté en substitution à des glucides (Doreau *et al.*, 2011). La seconde mesure concerne les additifs alimentaires.

Parmi les nombreux additifs alimentaires ayant fait l'objet d'expérimentations, seul le nitrate *in vivo* s'est révélé efficace pour réduire l'émission de méthane, y compris à long terme, sans effet négatif sur la production (à l'heure actuelle, 8 essais concluants sur 8 essais publiés). Il a été retenu en tant que modèle d'additif pour cette étude bien qu'on puisse avoir des doutes sur son acceptation par les éleveurs et le citoyen, et même sur sa mise sur le marché. Outre la connotation négative du mot « nitrate » à l'heure actuelle, l'additif nitrate présente en effet un risque sanitaire lié à la formation de nitrites en cas d'erreur de dosage dans la ration, et un risque d'accroissement des pertes azotées en cas d'excès d'azote fermentescible dans le rumen, car le nitrate s'y transforme en ammoniacque, comme l'urée. On a limité l'apport de nitrate à 1% de la ration avec une atténuation de 10% de l'émission de méthane entérique. Il a été considéré que l'application de cette mesure serait effective pour 80% de l'assiette en 2030. Le potentiel d'atténuation des deux mesures est de 2,4 Mt CO₂e/an en 2030 (1,9 pour les lipides et 0,5 pour les nitrates. Le coût de la tonne de CO₂e pour l'agriculteur apparaît particulièrement élevé pour la sous-action "Lipides" (267 €/t CO₂e) par rapport à la sous-action "Nitrate" (38 €/t CO₂e): cela est dû au différentiel actuel de prix entre les céréales (de l'ordre de 200-250 €/t) et les oléagineux (plus de 400 €/t). Le coût de l'action est extrêmement sensible aux prix des matières premières et de l'additif, dont l'évolution n'est pas prévisible. Il serait réduit par la seule utilisation de la graine de colza, moins onéreuse que le lin, mais le colza est moins efficace que le lin pour réduire le méthane, ce dont on n'a pas tenu compte dans l'étude faute de chiffres précis. La substitution de glucides par des lipides entraîne des émissions induites de GES, car la production de graines oléagineuses a un coût carbone supérieur à celle des céréales et des tourteaux qu'elles remplacent. Ce calcul d'émissions induites est fortement dépendant du référentiel retenu ; elles sont plus élevées avec Dia'terre® - Ges'tim qu'avec les données les plus récentes de l'INRA (respectivement 0,9 et 0,3 Mt CO₂e/an).

Toutefois parmi les différentes techniques permettant de réduire le méthane entérique (Doreau *et al.*, 2011), certaines n'ont pas été retenues 1) la distribution de régimes très riches en concentré, car ils induisent d'autres impacts environnementaux négatifs, à commencer par l'accroissement du N₂O et du CO₂ lié au coût carbone de la production des concentrés ; 2) la voie génétique : l'augmentation de la productivité animale est une tendance sur laquelle les décideurs n'ont pas de prise, et d'ailleurs elle n'est pas efficace lorsqu'on considère l'ensemble des GES (Dollé *et al.*, 2011), et l'amélioration génétique par augmentation de l'efficacité productive n'est pas encore prête pour sa mise en œuvre.

2.1.2. Action sur le protoxyde d'azote

Parmi les différentes techniques visant à réduire la nitrification/dénitrification des rejets azotés, en agissant sur la productivité du troupeau pour diminuer les émissions de N₂O, la mesure retenue est la réduction des apports protéiques dans les rations animales pour limiter les quantités d'azote des effluents et les émissions de N₂O (Peyraud *et al.*, 2012). D'après la bibliographie, une teneur de 14% de matières azotées dans la ration permet de réduire significativement les pertes azotées dans les fèces et surtout l'urine sans réduire la production laitière (Vérité et Delaby, 1998).

Tableau 1 Résumé des principaux résultats

Action	Modifier la ration des animaux			Optimiser la gestion des prairies	
	↓ CH ₄		↓ N ₂ O	↓ N ₂ O, ↓ CH ₄	↓ CO ₂ , ↓ N ₂ O
Effets					
Description	Substituer une fraction de céréales et de tourteau par des graines oléagineuses	Ajouter un additif (nitrate) dans la ration	Réduire les teneurs protéiques des rations pour réduire les rejets azotés	Allonger la saison de pâturage	Accroître la durée de vie des prairies temporaires
Situation initiale	La ration de référence contient 1,5% de lipides dans la matière sèche	La ration de référence ne contient pas de nitrate sous forme d'additif.	Grande variabilité de la composition des rations hivernales, avec de 10 à 18% de matières azotées totales (MAT)	Saison de pâturage ne valorisant pas toute l'herbe disponible	Durée d'exploitation des prairies temporaires (PT, 3,14Mha) : de 1 à 5 ans, avec 65% de PT < 3 ans
Modification	La ration modifiée contient 4,5 à 5% de lipides dans la matière sèche (+3 à 3,5% par rapport à la référence).	La ration modifiée contient 1% de nitrate (sous forme de nitrate de calcium).	Réduction de la teneur en MAT des rations trop riches en protéines (objectif 14%). Calculs pour 15 rations-types	Allongement de la saison de pâturage de 20 jours → modification de la ration, de la localisation des déjections et de la quantité d'effluents à épandre. Calculs pour 15 rations-types	Allongement à 5 ans de la durée de vie d'une partie des PT (75%)
Assiette retenue	6,6 M bovins	2,9 M vaches laitières et jeunes bovins	1,96 M vaches laitières	4,0 M ha 3,14 M têtes bovins	2,3 M ha
Origine des variations de coût liées à la mesure	Substitution d'une partie des glucides de la ration par des lipides	Achat du nitrate et économie d'urée	Coût de la modification de la ration	Réduction des travaux de fauche/ensilage, de consommation, d'aliments concentrés et coût d'épandage des effluents, production. Gain pour la vente de maïs	Travail du sol et implantation (préparation du sol, semences)
€/unité (vache laitière ou ha)/an	109 €/VL (coût supplémentaire)	11,6 €/VL (coût supplémentaire)	-11,6 €/VL (économie)	-32 €/VL (économie) -26 €/ha (économie)	-112€/ha (économie)
Potentiel d'atténuation unitaire, total direct + indirect (kg CO₂e/animal/an)	VL : 210	VL : 289	VL : 124	VL: 62 ha: 50	ha: 612
Potentiel d'atténuation en 2030 (MtCO₂e) en méthode experts	1,89 (1,5 à 2,3)	0,49 (0,4 à 0,9)	0,23 (0,44 à 0,79)	0,20 (0,1 à 0,2)	1,44 (0,5 à 1,2)
Potentiel d'atténuation cumulé 2010 à 2030 (MtCO₂e)	27,0	4,5	3,2	1,5	13,9
Coût de la tonne de CO₂e pour l'agriculteur (sans émissions induites)	267 €/t CO₂e (coût)	38€/t CO₂e (coût)	-94€/t CO₂e (économie)	-515 €/t CO₂e (économie)	-184 €/t CO₂e (économie)

La connaissance de la teneur en urée du lait, liée positivement à la teneur en matières azotées de la ration, constitue un moyen de détection des rations excessives en

azote. L'application de cette mesure associée à l'ajustement de la ration économiserait 0,23 Mt CO₂e/an en 2030. Comme la réduction de l'apport azoté aux animaux réduit les

dépenses pour l'éleveur, cette mesure ferait économiser 94 €/Mg CO₂e. Il s'agit donc d'une mesure gagnant-gagnant. Cette économie est liée aux économies réalisées suite à la modification de la ration (environ 20 € par vache et par an). D'autres techniques visant à réduire les émissions de N₂O n'ont pas été retenues 1) utiliser des produits augmentant la production (viande ou lait) par animal, car l'utilisation de la somatotropine bovine est interdite dans l'Union européenne; 2) développer des races mixtes ou des croisements industriels chez les bovins pour diminuer les émissions de GES par unité de produit, car elle modifierait de manière importante les systèmes d'élevage et que le potentiel est incertain sur l'alimentation des animaux.

2.2. OPTIMISATION DE LA GESTION DES PRAIRIES

Parmi les différentes techniques ciblant l'accumulation de matière organique dans les sols, en augmentant la production de biomasse pérenne par photosynthèse et/ou l'apport de matière organique dans les sols, une de principale mesure retenue est un changement d'usage de certaines prairies (Eagle et al., 2012) : 1) en augmentant la durée de pâturage de 20 jours par an lorsque c'est possible, car les élevages de plaine visés sous-utilisent le pâturage en période intermédiaire (automne, printemps) et consomment plus d'ensilage (maïs ou herbe) et de tourteau que nécessaire. Les effets de cette extension du pâturage sont d'accroître la part des déjections au pâturage, moins émettrices de CH₄ et de N₂O que celles produites en bâtiment et pendant l'épandage, et 2) en accroissant la durée de vie des prairies temporaires à 5 ans, ces actions permettant l'accroissement de la séquestration de carbone dans les sols et la réduction des émissions de N₂O. Leur application entraîne respectivement une atténuation de 0,2 et 1,4 Mt CO₂e/an et une économie de 515 et 184 €/t CO₂e. Il s'agit donc d'une mesure gagnant-gagnant. Cela est dû à une économie sur l'alimentation à l'étable (12,5 €/VL) qui représente 40% du gain réalisé suite à cette action.

Parmi des différentes techniques étudiées certaines n'ont pas été retenues 1) restaurer les sols dégradés pour augmenter la production de matière organique et stocker du carbone dans les sols (sols acidifiés, érodés, salés...), car son assiette est faible; 2) éviter l'utilisation de zones humides pour limiter le relargage de CO₂ stocké dans la matière organique, car malgré un potentiel unitaire non négligeable, l'assiette des zones utilisées qui pourraient être remises en eau est probablement faible en France.

3. DISCUSSION

La disponibilité de données fiables concernant les effectifs, les surfaces utilisées et les pratiques d'alimentation constitue la principale difficulté pour prendre en compte une action dans cette étude, et calculer ses effets. Par ailleurs le niveau des émissions dépend fortement des références choisies (par exemple Dia'terre® - Ges'tim ou INRA pour les coûts carbone de la production d'aliments). Enfin, les scénarios à effectifs et prix constants retenus pour les calculs sont bien entendu sujets à fortes critiques pour le chiffrage de ces actions. Les résultats concernant le CH₄ entérique montrent en premier lieu la possibilité d'atténuation importante des émissions suite à l'apport de lipides, trois fois plus élevée que celle du nitrate en atténuation cumulée, et en second lieu le coût très élevé de cette mesure, en particulier par rapport au nitrate. Toutefois il faut souligner la très grande sensibilité des résultats, d'une part aux variations de coût des matières premières, d'autre part aux estimations d'empreinte carbone liée à la production de ces matières premières. Pour l'instant, la distribution de graines oléagineuses ne suscite a priori pas de frein à sa diffusion à grande échelle, mais sa mise en œuvre est liée à une réduction du coût de la mesure, ou à des bénéfices pour l'éleveur autres que la réduction de GES; ceux-ci restent à préciser. Si le nitrate, dont l'autorisation de

mise sur le marché n'est pas acquise, est commercialisé à un prix raisonnable, et si le mode de distribution par incorporation aux aliments du bétail est maîtrisé en amont des élevages, il pourrait constituer une technique efficace d'atténuation. Jusqu'à présent, les autres pistes d'atténuation du méthane entérique n'ont pas été retenues. Il est possible que dans quelques années un additif ou un mélange d'additifs autres que le nitrate se révèlent efficaces.

Les résultats concernant le N₂O montrent qu'un changement de consommation de matières premières par les animaux pourrait modifier les surfaces des cultures à l'échelle France, mais cet effet n'est pas certain car la modification peut se faire sur des produits importés. De plus une action contribuant à diminuer les importations de tourteau de soja et favorisant l'utilisation des ressources produites en métropole accroît l'autonomie protéique de la France.

En ce qui concerne la gestion des prairies, l'astreinte de sortir les vaches pendant la journée à des périodes où les conditions météorologiques restent aléatoires apparaît souvent comme un frein. Toutefois, le pâturage précoce aide à réguler la croissance de l'herbe au printemps, et il permet d'économiser de l'ensilage et des tourteaux. Cette pratique conduit à de faibles économies de GES, mais le gain économique par tonne de CO₂e évité apparaît très élevé. Cependant, le risque d'une légère baisse des rendements et des stocks fourragers peut dissuader l'agriculteur d'allonger la durée des prairies temporaires. Mais la forte économie financière apparaît comme un atout qui pourrait compenser cette baisse potentielle du rendement.

CONCLUSION

Trois des cinq actions examinées sont du type "gagnant-gagnant" (les pratiques proposées pour améliorer le bilan de GES sont aussi économiquement intéressantes) et leur mise en œuvre pourrait paraître facile. Le fait qu'elles ne soient néanmoins pas adoptées spontanément par les éleveurs implique l'existence de freins. On peut donc imaginer des contextes et mesures susceptibles de favoriser le déploiement de l'action comme par exemple une reconnaissance par le marché de la qualité spécifique (ex. label environnemental ou une viande produite enrichie en oméga 3 dans le cas de graines oléagineuses).

La réalisation de l'étude sur l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur agricole métropolitain a été faite à la demande du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF, du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE) qui ont contribué au financement, et de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie).

CITEPA, 2012. Citepa, Paris.

Doreau M., Martin C., Eugène M., Popova M., Morgavi D.P., 2011. in Perez J.M. (Eds). Dossier, INRA Productions Animales, 24, 461-474.

Eagle A.J., Olander L.P., Henry L.R. Haugen-Kzyra K., Millar N., Roberston G.P. 2012. Technical working group on Agricultural Greenhouse Gases (T-AGG) – Duke University
Dollé J.B., Agabriel, J., Peyraud J.L., Faverdin P., Manneville J., Raison C, Gac A., Le Gall E., 2011. INRA Productions Animales, 24, 415-432.

Peyraud J.L., Cellier P., (coord.), et al., 2012. Expertise scientifique collective, rapport, Inra (France).

Pellerin S. et al 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. INRA, Paris.

Vérité R., Delaby L., 1998. Renc. Rech. Ruminants, 5, 185-192.