



Le potentiel d'atténuation des gaz à effet de serre en productions bovines

Armelle Gac, Jacques Agabriel, J.-B. Dollé, Philippe Faverdin, Hayo van Der Werf

► To cite this version:

Armelle Gac, Jacques Agabriel, J.-B. Dollé, Philippe Faverdin, Hayo van Der Werf. Le potentiel d'atténuation des gaz à effet de serre en productions bovines. *Innovations Agronomiques*, 2014, 37, pp.67-81. hal-01209220

HAL Id: hal-01209220

<https://hal.science/hal-01209220>

Submitted on 27 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Le potentiel d'atténuation des gaz à effet de serre en productions bovines

Gac A.¹, Agabriel J.², Dollé J.-B.³, Faverdin P.⁴, Van Der Werf H.⁵

¹ Institut de l'Élevage, Monvoisin, F-35652 Le Rheu cedex

² INRA, VetAgro Sup, UMR 1213 Herbivores, Site de Theix, F-63122 Saint-Genès-Champanelle

³ Institut de l'Élevage, 54-56 avenue Roger Salengro, BP 80039, F-62051 St Laurent Blangy

⁴ INRA, Agrocampus Ouest, UMR1348 PEGASE, F-35000 Rennes

⁵ INRA, Agrocampus Ouest, UMR1069 Sol, Agro and hydroSystème, 65, rue de Saint Briec, CS 84215, F-35042 Rennes

Correspondance : armelle.gac@idele.fr

Résumé

L'élevage bovin est l'un des principaux contributeurs aux émissions de gaz à effet de serre (GES), le principal poste étant la fermentation entérique. En contrepartie, le stockage de carbone par les prairies et les haies compense de 25 à 30% des émissions nationales. L'élevage est également la phase qui domine l'empreinte carbone des produits lait et viande. L'analyse à l'échelle des exploitations fait apparaître une grande variabilité des niveaux d'émissions et de compensation et permet l'identification des postes émetteurs. Cela laisse entrevoir deux voies pour l'atténuation des émissions : l'efficacité des systèmes et l'introduction de techniques spécifiques pour la réduction des GES. La première voie peut rencontrer l'adhésion des éleveurs car elle va également dans le sens de meilleures performances techniques et économiques, alors que la deuxième peut nécessiter de la technicité et être coûteuse. Toutefois, des actions sont déjà engagées pour réduire les GES en élevage : des améliorations sont déjà visibles et les acteurs économiques et du développement intègrent cette thématique nouvelle dans leurs activités. L'acquisition de connaissances nouvelles est aujourd'hui nécessaire pour consolider les savoirs sur les leviers d'action et intégrer les autres enjeux environnementaux.

Mots-clés : élevage bovin, changement climatique, lait, viande

Abstract: Greenhouse gas mitigation potential from cattle production

Cattle farming is one of the main contributors to greenhouse gas (GHG) emissions, with enteric fermentation as the main source. In return, carbon storage by pastures and hedges compensates 25 to 30% of the national emissions. Livestock production is also the stage which dominates carbon footprint of milk and beef. The analysis at farm level reveals a great variability in emissions and compensations and helps identifying the stages of emissions. Two ways for mitigation can be identified: system efficiency and techniques which reduce GHG emissions specifically. The first way can address both technical and economic concerns of farmers, while the second one possibly means a higher technicality and costs. However, actions are already engaged to reduce GHG in livestock farms: improvements are already noticed and economic and extension actors take this new topic into account in their activities. Further work is now needed to strengthen knowledge about mitigation options and integrate other environmental issues.

Keywords: cattle farming, climate change, milk, beef meat

Introduction

L'élevage bovin est en France l'activité qui contribue de manière majoritaire aux émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine agricole, en raison de son importance économique à l'échelle nationale. Avec une population totale de 19,13 millions de bovins en décembre 2013, la France est exportatrice nette en produits laitiers (environ 10% de la production) et en animaux bovins vivants et elle est autosuffisante à 93% en viande bovine. Elle produit environ 24 millions de tonnes de lait et 1,4 million de tonnes d'équivalent carcasse et exporte près de 1 million de tête en vif par an. Les ruminants sont présents dans près de la moitié des exploitations agricoles françaises. Les exploitations ayant l'élevage bovin comme activité principale occupent près de 30% de la SAU nationale (Agreste, 2007). C'est également le secteur qui possède le plus fort potentiel d'atténuation des émissions de GES, d'une part en tenant compte des leviers d'action au niveau des pratiques de conduites du troupeau et des surfaces, et d'autre part en considérant sa capacité à stocker du carbone au niveau des sols et des haies.

Ce papier propose de faire l'état des lieux des émissions de gaz à effet de serre à différents niveaux, de l'échelle nationale, à celle du produit agricole et alimentaire, en passant par l'exploitation agricole. Les voies d'atténuation aujourd'hui accessibles pour la filière sont ensuite identifiées avant d'aborder les actions déjà en cours et les perspectives de travaux de recherche dans ce domaine.

1. Contribution de l'élevage bovin aux émissions de gaz à effet de serre

1.1 Les émissions du secteur bovin au niveau mondial et national

Selon la FAO (Tubiello *et al.*, 2014), les émissions mondiales du secteur agricole s'élèvent en 2011 à 5,335 milliards de tonnes d'équivalents CO₂. Dans ce total, l'agriculture française représente 1,3% des émissions. Les sources en provenance des élevages sont majoritaires (Figure 1) : fermentation entérique, gestion des déjections, ainsi qu'une partie des émissions liées aux sols cultivés (en lien avec la production des aliments pour animaux). Ainsi, la FAO (Gerber *et al.*, 2013) estime que l'élevage représente 14,3% des émissions de GES mondiales. Cela porte la contribution de l'élevage bovin à 8,8% (10% au niveau français), 2.9% étant liés à l'élevage laitier et 5.9% à l'élevage allaitant.

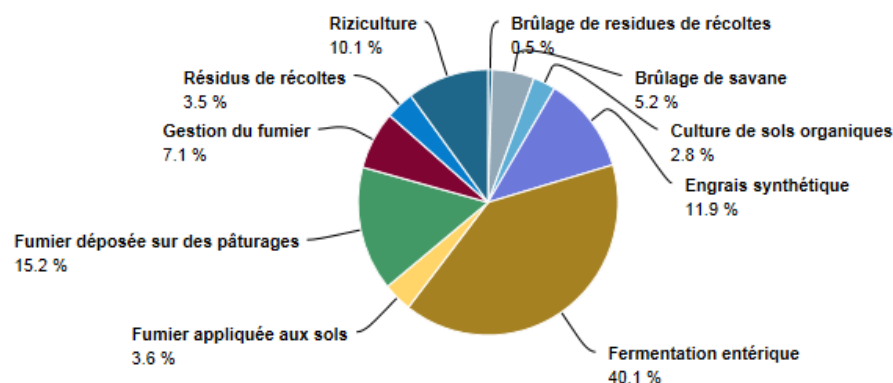


Figure 1 : Sources de gaz à effet de serre agricole au niveau mondial (moyenne 1990-2011).
Source: FAOSTAT.

Selon l'inventaire national d'émissions de GES établi pour 2011 par le CITEPA (2013), l'agriculture française représente 18.7% des émissions de GES nationales, soit près de 94 millions de tonnes d'eq. CO₂¹.

Les autres secteurs émetteurs sont l'énergie (70%), les procédés industriels (6%) et les autres sources (4%). Comme au niveau mondial, les élevages bovins sont les principaux contributeurs à ces

¹ Les écarts entre sources s'expliquent par des écarts de méthodologies de calcul entre le CITEPA et la FAO

émissions. En comptabilisant leur fermentation entérique et la gestion de leurs déjections (au bâtiment et stockage), ainsi qu'une partie des émissions des sols pâturés, des autres sols et celles liées à l'utilisation d'énergie (carburants), le total avoisine 60% des GES agricoles (Figure 2), soit environ 10% des GES nationaux.

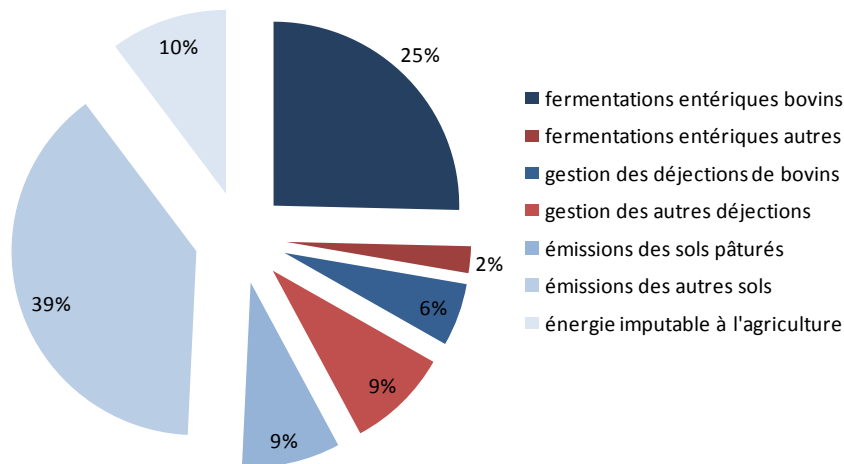


Figure 2 : Contribution des différentes sources aux émissions de gaz à effet de serre agricoles en 2011 (d'après CITEPA, 2014). En bleu, les sources qui impliquent l'élevage de bovins, en totalité (foncé) ou en partie (clair).

1.2 L'élevage bovin : le principal puits de carbone

Le sol représente un puits de carbone naturel et à long terme (50-100 ans), le plus important sur les surfaces continentales. A l'échelle mondiale, les sols des prairies permanentes et temporaires, et les surfaces pastorales valorisées par l'élevage bovin jouent un rôle majeur en ce sens (Gerber *et al.*, 2013 ; Arrouays *et al.*, 2002 ; Gac *et al.*, 2010 ; Dollé *et al.*, 2013a). Ces surfaces ont la capacité à capter le carbone atmosphérique par photosynthèse puis à en stocker une partie de manière pérenne dans le sol. Les stocks rencontrés dans les sols prairiaux, tout comme ceux des forêts, sont importants (70 t C/ha) et s'expliquent par l'ampleur du flux de carbone entrant (racine, débris, couvert permanent, apport de déjections), une dégradation lente de la matière organique et le fait que le sol ne soit pas (ou peu) aéré et perturbé par le labour. A l'inverse, un déstockage de carbone se produit lors du travail du sol, dans la plupart des terres cultivées (dont les prairies temporaires). Les flux de déstockage sont deux fois plus importants que ceux du stockage. Les haies, présentes de manière significatives dans de nombreuses régions d'élevage, présentent un potentiel important de stockage de carbone à la fois dans le sol et dans la biomasse aérienne dès lors qu'elle n'est pas exploitée à l'échelle annuelle. Les connaissances sur ce phénomène complexe sont encore partielles, notamment car les niveaux de stockage et déstockage annuels varient en fonction de la nature de la prairie, de son mode de gestion et des pratiques associées, et également des conditions pédoclimatiques (teneur en matière organique initiale des sols, température).

En tenant compte de cette capacité à atténuer le changement climatique dans la comptabilité des gaz à effet de serre, on peut estimer qu'à l'échelle nationale les élevages bovins compensent en moyenne de l'ordre de 25 à 30% leurs émissions (Dollé *et al.*, 2013a).

1.3 L'empreinte carbone de la viande et du lait

La contribution de la production de lait ou de viande aux changements climatiques se traduit par l'empreinte carbone des produits.

Aux émissions du secteur bovin, présentées précédemment, s'ajoutent celles qui ont eu lieu en amont des exploitations d'élevage (production et acheminement des aliments achetés, fertilisants, etc.), selon une approche propre à l'Analyse par Cycle de Vie (ACV), une méthode normalisée d'évaluation environnementale (ISO, 2006).

Après le constat d'un manque de données fiables sur les ACV agricoles pour étudier les différents produits et couvrir la diversité des modes de production (EcoIntesys, 2008), les études françaises sur le sujet se sont généralisées ces dernières années. Il faut en particulier citer le programme AGRIBALYSE®, dont le double objectif a été 1) de contribuer à renseigner l'affichage environnemental des produits alimentaires, 2) de fournir des références aux filières agricoles pour accompagner les démarches d'analyses environnementales et de réduction de leurs impacts. Des ACV de lait et de viande bovine ont ainsi été réalisées (ADEME, 2014), selon un cadre méthodologique partagé avec les autres productions agricoles étudiées (choix des modèles de calcul des émissions, d'allocation, etc.) (Koch et Salou, 2014). Des systèmes types représentatifs de la diversité des systèmes bovins, ont été étudiés et agrégés afin de fournir une image nationale de l'impact environnemental de ces produits ; l'empreinte carbone du lait moyen français s'établit ainsi à 1,08 kg eq. CO₂/ kg de lait et celle de la viande bovine à 12,99 kg eq. CO₂/ kg de poids vif en sortie de ferme (hors stockage de carbone).

Des travaux s'intéressent également à l'échelle du produit alimentaire, en intégrant les phases agro-industrielles, de distribution, voire d'utilisation par le consommateur. Quel que soit le produit et le degré de transformation, c'est toujours la phase de production en élevage qui domine en termes de contribution à l'empreinte carbone. Sur un ensemble de produits laitiers mis à disposition du consommateur (beurre, crème, fromage, lactosérum), Flysjö *et al.* (2014) estiment que 80 à 90% de leur empreinte carbone résulte de la phase d'élevage. De même, dans une étude sur la viande bovine française abattue, découpée et distribuée en France (Gac *et al.*, 2014, *non publié*), en moyenne la phase d'élevage représente 96% de l'impact total sur le changement climatique.

1.4 Analyse des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle des élevages

Si l'analyse de cycle de vie d'un produit menée à une échelle globale (filière, production nationale) permet d'identifier les étapes les plus contributrices et les sources majoritaires, une analyse spécifique est nécessaire à l'échelle du système d'élevage, en lien avec son fonctionnement, pour ensuite raisonner les stratégies de réduction des émissions de GES.

Les postes contributeurs aux GES sont globalement les mêmes en production laitière et allaitante, chacune ayant tout de même ses spécificités (Figure 3). Le méthane entérique représente la contribution majoritaire avec 55% en élevage allaitant. En élevage laitier, il est un peu moindre proportionnellement aux autres postes. Notamment, la part de GES liée à la gestion des déjections (bâtiments, stockage) est corrélée à une présence plus importante des animaux laitiers en bâtiments, tandis qu'en système viande les émissions de GES liés aux restitutions au pâturage sont plus importantes. Une autre particularité de l'élevage laitier est la part plus importante du poste énergie, en particulier en raison des consommations sur le bloc traite et les achats supérieurs en aliments concentrés.

Chaque système de production et, a fortiori, chaque élevage, a ses spécificités propres qu'il convient de prendre en compte pour l'évaluation de ces impacts et le choix des leviers d'action. C'est ainsi que l'Institut de l'Élevage fait apparaître que la variabilité des résultats est plus importante à l'intérieur de chaque système qu'entre les systèmes de production (Figure 4). Cette variabilité est due à la fois aux différences de pratiques et de structures d'exploitation (potentiel pédoclimatique, parcellaire) et à leurs interactions. Quel que soit le système de production, des voies de progrès sont donc sans doute possibles. Par ailleurs, à côté des émissions de GES, un bilan net de contribution à l'effet de serre est calculé en tenant compte du carbone stocké par le sol (sous les prairies et les haies). Ainsi, des différences d'empreinte carbone plus marquées entre systèmes apparaissent, les systèmes les plus herbagers étant ceux qui contribuent le moins à l'effet de serre. Les compensations sont de l'ordre de 5 à 40% des GES en élevage laitier et de 25 à 55% en élevage allaitant.

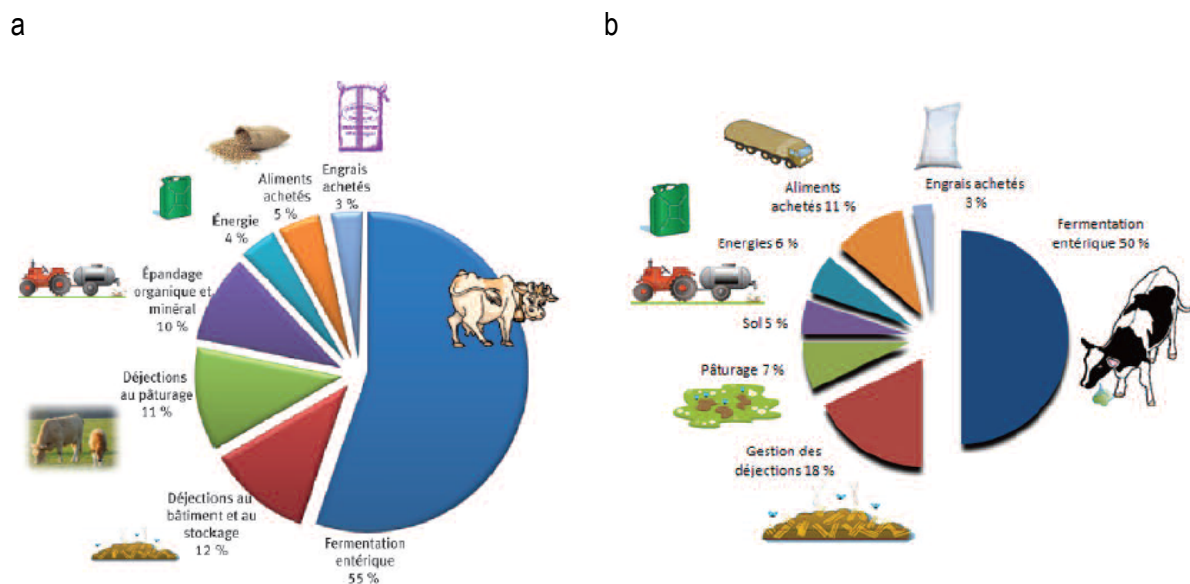


Figure 3 : Contribution des différents postes d'émissions de gaz à effet de serre en élevage bovin allaitant (a) et bovin laitier (b) (234 exploitations allaitantes spécialisées, Réseaux d'élevage 2008 ; 214 exploitations laitières spécialisées, Réseaux d'Elevage 2010 ; in Moreau *et al.*, 2013a et Dollé *et al.*, 2013b)

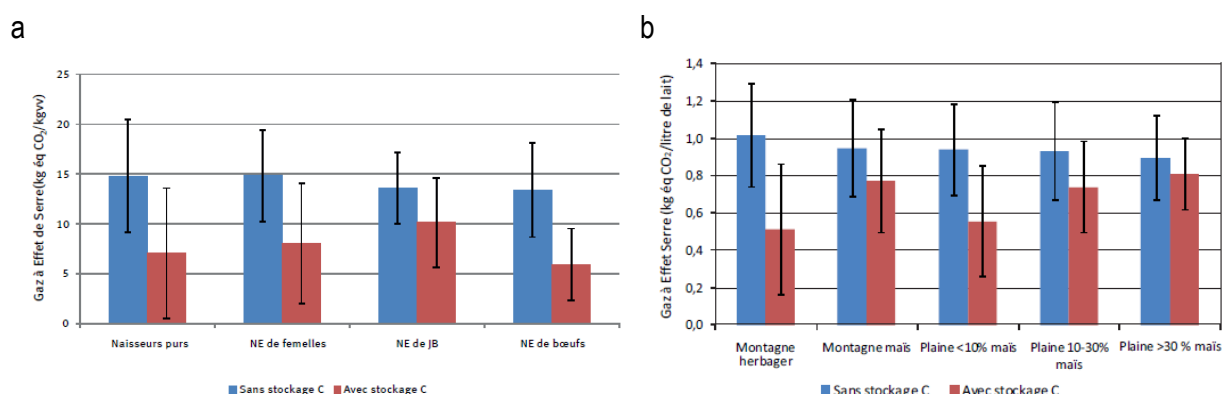


Figure 4 : Variation des niveaux d'émissions de gaz à effet de serre inter et intra systèmes en production allaitante (a) et laitière (b) (234 exploitations allaitantes spécialisées, Réseaux d'élevage 2008 ; 214 exploitations laitières spécialisées, Réseaux d'Elevage 2010 ; in Moreau *et al.*, 2013a et Dollé *et al.*, 2013b)

2. Les voies identifiées pour atténuer les émissions de GES en élevage bovin

Comme le soulignent l'Institut de l'Elevage (Beguin *et al.*, 2012) et la FAO (Gerber *et al.*, 2013), deux voies principales permettent de réduire les émissions de GES : rendre les élevages plus efficaces du point de vue de l'environnement et introduire des techniques qui visent spécifiquement la réduction des émissions (Tableau 1).

L'efficacité environnementale peut se définir comme l'optimisation du fonctionnement des exploitations, en limitant leurs pertes vers l'environnement. L'entrée est avant tout technique et les leviers correspondants ne sont pas spécifiques à l'environnement. Les actions concernent en particulier la

gestion du troupeau et son alimentation, la gestion de la fertilisation. Elles sont le plus souvent valables en production laitière comme allaitante et visent à améliorer le coût de production et l'autonomie.

Tableau 1 : Voies d'atténuation des émissions de GES en élevage bovin laitier et allaitant, relevant de l'efficacité des systèmes ou de techniques spécifiques

Effizienz	Technique	Objectifs et Actions	Lait	Viande
Avoir des animaux productifs, en bonne santé et qui se reproduisent				
X		Limitier la mortalité des veaux (logement, alimentation)	X	X
X		Améliorer la productivité numérique		X
X		Réduire l'âge au premier vêlage	X	X
X		Gérer les problèmes sanitaires qui pénalisent la production (mammites, boiteries)	X	X
X		Réformer dès que possible les animaux improductifs (vaches vides)	X	X
Modifier la ration des animaux pour émettre moins de méthane entérique et rejeter moins d'azote				
	X	Substituer des glucides par des lipides insaturés ; ajouter un additif	X	
	X	Réduire la teneur en protéines des rations	X	X
Consommer moins d'intrants alimentaires				
X		Optimiser les quantités de concentrés, en particulier protéiques, apportées en adaptant les apports aux objectifs de production et au potentiel des animaux	X	X
X	X	Privilégier les coproduits disponibles localement et les aliments d'origine européenne	X	X
X		Adapter les conduites alimentaires de façon à mobiliser les réserves corporelles pour les vaches reproductrices et à bénéficier de la croissance compensatrice sur les animaux en croissance		X
Améliorer l'autonomie de l'élevage				
X		Maintenir ou améliorer les qualités maternelles des vaches, en valorisant leur production de lait par les veaux		X
X		Produire suffisamment de fourrages et viser l'autonomie	X	X
X		Maximiser le recours au pâturage	X	X
Mieux gérer les déjections et maîtriser la fertilisation				
X		Ajuster la fertilisation aux besoins et valoriser de manière optimale les déjections animales pour limiter le recours aux engrais minéraux	X	X
X		Maximiser l'efficacité des apports en retardant la date du premier apport au printemps et en enfouissant dans le sol	X	X
	X	Utiliser des inhibiteurs de nitrification	X	X
X	X	Maintenir et accroître la part de légumineuses des prairies temporaires	X	X
	X	Couvrir les ouvrages de stockage et installer des unités de méthanisation ou torchères pour brûler le CH ₄ émis	X	X
Consommer moins d'énergie fossile, produire de l'énergie renouvelable				
X		Réduire la consommation d'énergie (moins de passages, conduite économe, conception du bloc traite, ...)	X	X
	X	Développer la méthanisation	X	
Stocker du carbone dans le sol et la biomasse				
	X	Intégrer les techniques culturales sans labour (semis direct ou labour occasionnel ou travail superficiel du sol)	X	X
	X	Introduire davantage de cultures intermédiaires et bandes enherbées	X	X
	X	Développer l'agroforesterie et les haies	X	X
X	X	Optimiser la gestion des prairies (allongement des périodes de pâturage, allongement de la durée des prairies temporaires, réduire la fertilisation des surfaces les plus intensives, intensifier modérément les prairies peu productives)	X	X

Il convient de souligner que performance environnementale va de pair avec performances technique et économique, en production laitière (Foray *et al.*, 2013 ; Lorinquer *et al.*, 2013 ; Dollé *et al.*, 2013c) comme allaitante (Moreau *et al.*, 2013b). Veyssset *et al.* (2014) montrent ainsi que les exploitations Charolaise naisseurs qui émettent le moins de GES et consomment le moins d'énergie sont celles qui dégagent un meilleur revenu par travailleur (+30%).

Au-delà de l'amélioration de l'efficacité des systèmes, l'élevage a également à sa portée la possibilité d'introduire des pratiques ou technologies nouvelles pour réduire les GES. Les mesures d'atténuation en élevage concernent deux postes principaux, les émissions de méthane entérique et les émissions des effluents (CH₄, N₂O et NH₃). Leur mise en place peut nécessiter une technicité particulière et être d'un coût élevé (introduction d'additifs, méthanisation, etc.).

La combinaison de ces deux voies permettrait ainsi d'atteindre globalement un potentiel d'atténuation des GES de 17% dans les pays de l'OCDE (Gerber *et al.*, 2013). Les dix mesures identifiées par la récente expertise collective de l'INRA en la matière (Pellerin *et al.*, 2013) sont toutes applicables en élevage bovin. Elles représentent un potentiel d'abattement en agriculture compris entre 10 et 30 %. Le potentiel d'atténuation des élevages bovins ayant des pratiques moyennes a été estimé à 5 à 15% par Dollé *et al.* (2011). Ces mesures d'atténuation concourent à rejoindre les objectifs du protocole de Kyoto (-20% en 2030 par rapport à 1990).

3. Les actions engagées pour réduire la contribution de l'élevage bovin au changement climatique

3.1 Des systèmes déjà en route vers une meilleure efficacité

Quatre systèmes laitiers de plaine décrits dans le cadre des Réseaux d'Elevage ont fait l'objet d'une évaluation de l'empreinte carbone de leur lait entre 1990 et 2010 (Figure 5).

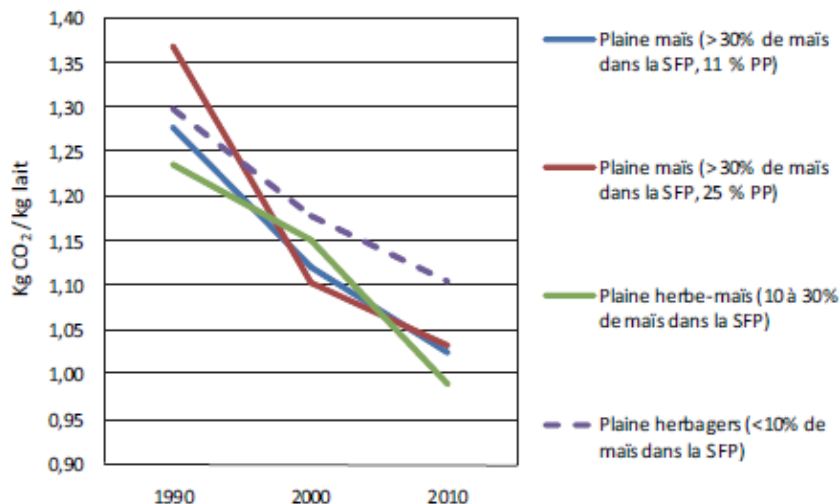


Figure 5 : Evolution de l'empreinte carbone du lait de quatre cas types laitiers, de 1990 à 2010 (Dollé *et al.*, 2013b, Données des Réseaux d'Elevage)

Entre ces deux dates, deux évolutions techniques majeures ont permis d'atteindre une réduction de 15 à 25% des émissions de GES ramenées à la production de lait :

- La diminution de l'utilisation des engrais minéraux, grâce à une meilleure valorisation agronomique des déjections animales (notamment dans le cadre du PMPOA – Plan de Maîtrise des Pollutions d'Origine Agricole) et à un meilleur raisonnement de la fertilisation minérale qui ont permis de réduire les excédents d'azote ; les exploitations productrices de viande bovine sont également concernées par ce progrès ;

- L'augmentation de la productivité par vache, de + 600 à + 1900 kg de lait par vache en fonction des systèmes, s'est traduite par une réduction des effectifs pour un même volume de lait produit.

Toutefois, en ce qui concerne le deuxième point, l'augmentation de la productivité laitière à l'animal conduit à produire moins de viande par le troupeau laitier, diminution qui a été compensée par un accroissement de la production de viande par le troupeau allaitant (développement des races spécialisées, augmentation des effectifs nationaux). Cette évolution à l'échelle de la production laitière a donc peu d'effet sur l'évolution des émissions de GES du troupeau bovin national.

3.2 Le développement de méthodes d'évaluation et la formalisation d'outils se poursuivent

Pour évaluer les systèmes et accompagner les éleveurs, les conseillers et l'ensemble des filières vers une réduction de l'impact changement climatique, des méthodes et outils se sont développés au cours des dernières années. Le guide méthodologique et le référentiel GES'TIM (Gac *et al.*, 2010b) ont constitué une première base commune à un ensemble de secteurs agricoles pour élaborer des bilans gaz à effet de serre, incluant le stockage de carbone. La création d'outils d'envergure comme Dia'terre® (ADEME, 2013) et plus récemment la base de données AGRIBALYSE® (ADEME, 2014), ont permis de consolider ces apports méthodologiques de manière collective et concertée entre acteurs de la recherche et développement.

Pour les filières de ruminants, l'Institut de l'Élevage et ses partenaires ont développé un outil spécifique CAP2ER (Calcul Automatisé des Performances Environnementales en Élevage de Ruminants). Cet outil à deux niveaux permet à la fois de sensibiliser les acteurs des filières et également d'appuyer les conseillers à la construction de plans d'action en exploitation (Institut de l'Élevage, 2012). Il permet de réaliser une évaluation environnementale multicritère (GES, eutrophisation, biodiversité, ...), en lien avec les performances techniques, économiques et sociales des systèmes d'élevage pour envisager des leviers d'action spécifiques et durables.

3.3 Les acteurs des filières s'impliquent

L'ensemble des acteurs des filières lait et viande est désormais sensibilisé à la thématique des gaz à effet de serre, des organismes professionnels et interprofessionnels jusqu'aux conseillers techniques et de développement. Des projets d'ampleur voient le jour associant plusieurs types d'acteurs témoignant de leur mobilisation sur le sujet. C'est le cas notamment du projet Carbon Dairy qui ambitionne la mise en place d'un plan carbone de la production laitière à l'échelle nationale. Basé sur la constitution d'un observatoire de l'empreinte carbone de 4 000 exploitations et sur la mise en œuvre d'actions innovantes sur un réseau de 60 fermes pilotes appartenant à six régions d'élevage, ce projet vise une implication forte de la filière pour l'amélioration de l'efficacité des systèmes et la réduction des impacts environnementaux.

Par ailleurs, les chambres d'agriculture et les instituts techniques (Institut de l'Élevage, Arvalis-Institut du végétal) sont fortement impliqués dans l'amélioration des performances environnementales de fermes expérimentales bovines laitières et viandes.

Plusieurs fermes expérimentales laitières (Trévarez – 29, Derval – 44, Blanche Maison – 50, Poisy – 74) et allaitantes (Jalogny – 71, Thorigné d'Anjou – 49) réalisent ainsi l'évaluation environnementale de leur système (Foray et Defrance, 2014) et sont impliquées dans des projets spécifiques qui visent à réduire les gaz à effet de serre et les consommations d'énergie. Ces outils permettent de tester de nouvelles pratiques, de disposer de références locales et de diffuser de la connaissance vers le monde professionnel.

4. Perspectives et travaux en cours

4.1 Des méthodes d'évaluation environnementale qui s'améliorent

Le changement climatique n'est qu'un des enjeux environnementaux auxquels l'élevage bovin est confronté. D'une part l'évaluation environnementale doit se faire en multicritère pour aborder les autres impacts générés sur la qualité de l'eau (eutrophisation), la qualité de l'air (acidification, particules), l'épuisement de ressources (consommations d'énergie fossile, occupation de surfaces) et ainsi éviter les transferts de pollutions lors de changements de pratiques ou de système. D'autre part, l'élevage bovin contribue également à de nombreux services environnementaux qu'il est actuellement difficile de traduire en évaluation environnementale : valorisation de surfaces en herbe non labourables, entretien des milieux, qualité des paysages, biodiversité. En particulier sur la biodiversité, des travaux sont en cours pour développer des indicateurs de contribution à la biodiversité, en lien avec les pratiques (CAS DAR Indibio) et développer des indicateurs compatibles avec l'évaluation environnementale de type ACV (Vergez et Bortzmeyer, 2013), notamment pour l'affichage environnemental des produits.

Par ailleurs, l'acquisition de connaissances doit se poursuivre pour mieux appréhender les niveaux de stockage et de déstockage de carbone par les sols en fonction des contextes pédoclimatiques et des pratiques agronomiques et ainsi réduire les incertitudes sur les estimations. L'application du modèle PASIM (Riedo *et al.*, 1998 ; Graux *et al.*, 2011) à une large diversité de situations dans les fermes expérimentales pourrait aider à mieux maîtriser la variabilité. D'autre part, les méthodologies d'évaluation, en particulier l'ACV, doivent évoluer pour prendre en compte cette composante. C'est ce que préconisent les travaux récents de l'initiative LEAP (2014) coordonnée par la FAO pour définir un cadre méthodologique pour l'évaluation environnementale propre à chaque filière d'élevage et à l'alimentation animale.

Par ailleurs, pour être correctement appréhendée par l'éleveur, l'évaluation environnementale à l'échelle de l'élevage doit combiner indicateurs d'impacts et indicateurs de pratiques et de pression, mais aussi associer les performances techniques, économiques et sociales à la performance environnementale.

4.2 Amélioration des connaissances sur les mesures d'atténuation

Les travaux actuels de réduction des émissions portent principalement sur la voie génétique, sur l'alimentation et le contrôle de l'activité microbienne ruminale et sur la gestion des effluents. Parmi les voies actuellement à l'étude, la voie de la sélection génétique pour réduire les émissions de méthane entérique est parmi les plus prometteuses. La première stratégie vise à sélectionner directement les animaux sur les émissions de méthane entérique. Jugée pertinente pour les ovins (Pinares-Patiño *et al.*, 2013), elle semble cependant moins évidente pour les bovins. La seconde stratégie vise plus largement l'efficacité alimentaire ; il s'agit de viser une réduction de la consommation d'aliments pour une même production, donc de réduire les pertes (méthane entérique, excrétion). Cette voie présente à la fois des avantages économiques et environnementaux.

Des sélections sur ce caractère pour des bovins viande en croissance ont déjà été mises en place dans plusieurs pays et dans certains cas confirment l'impact attendu sur les consommations d'aliments et sur les émissions de GES (Nkrumah *et al.*, 2006). Son application aux animaux laitiers est également à l'étude, mais les effets mesurés sur les génisses ne semblent pas perdurer au stade adulte (Macdonald *et al.*, 2014). La recherche d'indicateurs adaptés à la mesure de l'efficacité alimentaire des vaches est donc nécessaire.

Même si les grands principes de la méthanogénèse sont maintenant bien connus, les travaux sur les réductions possibles d'émission de méthane entérique via l'alimentation sont encore peu nombreux. Deux pistes principales sont aujourd'hui bien identifiées pour réduire les émissions de CH₄. La première consiste à réduire les populations de bactéries cellulolytiques et de protozoaires, en particulier par la

présence de lipides insaturés (diminution de la production de H_2 , utilisation favorisée dans les voies biochimiques privilégiées par la flore amylolytique). L'autre piste consiste à fournir d'autres accepteurs de protons dans le rumen. En particulier, la réaction avec le nitrate, riche en oxygène, limite la disponibilité des protons libres et donc la production de CH_4 . Son utilisation en substitution à de l'urée pour la fourniture d'azote dégradable pourrait se concevoir (Van Zijderveld *et al.*, 2011), mais les risques de toxicité devraient limiter cependant l'utilisation de ce produit. De nombreux travaux visent à préciser les effets des nombreux additifs agissant souvent via la voie bactérienne, mais leurs effets sont souvent aléatoires. Parmi les solutions originales et prometteuse encore à l'étude, la voie de la vaccination en est encore à un stade trop précoce pour qu'il soit possible de conclure sur son efficacité et son application à terme (Wedlock *et al.*, 2013).

Les émissions par les effluents sont globalement importantes et portent sur les GES (CH_4 , N_2O), mais aussi sur l'ammoniac (enjeux acidification et particules). Ces émissions sont en partie maîtrisables à la fois par des mesures d'efficacité et par des mesures techniques (Petersen *et al.*, 2013). Les deux grands systèmes de bâtiments conduisent à la production de fumier et/ou de lisier. Le bilan complet de ces deux filières d'effluents combinées avec différents modes de gestion (séparation de phase, compostage, méthanisation, acidification...) et d'épandage peuvent conduire à des bilans d'émissions très différents. Les filières fumiers sont beaucoup moins bien documentées actuellement et font l'objet de travaux récents pour mieux préciser les facteurs d'émissions en fonction des modes de gestion (projets ADEME EM2B et BTEP, Edouard *et al.*, 2012). De même, les possibilités d'agir sur l'excrétion d'azote par les animaux pour réduire les émissions en bâtiments et au stockage semblent à la fois efficaces et moins coûteuses que les stratégies technologiques (van Duinkerken *et al.*, 2005), mais elles peuvent bien entendu les compléter.

4.3 Quantification de l'effet des leviers d'action

Les leviers d'action pour réduire les GES en élevage bovin sont aujourd'hui identifiés (Tableau 1) et leur effet potentiel en termes de réduction des émissions est quantifié individuellement. Tout un champ de travaux reste cependant ouvert quant à l'application de ces leviers dans les exploitations et leur(s) combinaison(s). En effet, compte tenu de la diversité des systèmes d'élevage, tous les leviers ne sont pas applicables dans tous les contextes. Leur choix dépend de la situation initiale de l'élevage (environnementale, technique, économique), de ses caractéristiques (type de système fourrager, localisation, potentiel des sols), de ses contraintes éventuelles (parcellaire, bâtiments et ouvrages de stockage existants) et surtout de la décision de l'éleveur. Pour réaliser des estimations du potentiel d'atténuation des gaz à effet de serre à l'échelle de l'élevage bovin national, il est donc nécessaire de déterminer dans quelle proportion d'élevages ils sont applicables, et ce, système par système.

Par ailleurs, des leviers d'action combinés au sein de systèmes peuvent agir en synergie en production allaitante et laitière, comme le montrent les simulations de Nguyen *et al.* (2013a), de Pavie (2013) et Désarménien *et al.* (2013).

L'analyse doit aujourd'hui se compléter par une palette de combinaisons plus exhaustive et reste à quantifier sur le terrain: quels sont les leviers qui peuvent être associés et dans quelles conditions? quels sont les effets induits sur la performance du système de production? sur les autres enjeux environnementaux? etc.

4.4 Une nécessaire évaluation des filières lait et viande à des échelles plus globales

Les voies d'atténuation des GES sont aujourd'hui identifiées et leur effet en termes de réduction des GES ou d'accroissement du stockage de carbone commencent à être comptabilisés au sein des systèmes laitiers et allaitants. De nombreux travaux ont abordé de façon distincte ces questions de

l'atténuation du changement climatique et de l'évolution des systèmes de production à l'échelle de chacune des filières. Toutefois, le véritable enjeu reste la réduction du bilan GES à l'échelle nationale, en tenant compte des interactions fortes entre les deux troupeaux. L'augmentation de la productivité laitière qui a permis à l'échelle de l'animal et du produit de réduire les émissions de GES, ne s'accompagne pas forcément d'une réduction à l'échelle globale de la filière lait + viande, car la viande qui n'est plus produite dans le secteur laitier (moins d'animaux pour une production de lait maintenue) est compensée par un accroissement de l'effectif d'animaux allaitants, comme le soulignent Puillet *et al.* (2014). Ceci doit inciter à repenser les méthodes d'allocation des impacts entre le lait et la viande (Cederberg et Stadig, 2003) afin que les impacts calculés à l'échelle de l'exploitation résiste mieux au changement d'échelle, n'incitent pas à mettre en place des mesures de réduction des GES peu efficaces globalement et ne donnent pas l'impression de résultats contradictoires. Parallèlement, le rôle de l'affectation des terres à ses productions et la baisse des surfaces en prairies permanentes doivent être pris en compte dans le bilan GES de l'élevage bovin.

Le projet GESEBOV (ADEME, REACTIF) actuellement piloté par l'Institut de l'Élevage vise à analyser la contribution de l'élevage bovin aux émissions de GES et à la consommation d'énergie entre 1990 et 2030. Cette étude prospective conduite à l'échelle nationale intègre l'évolution des systèmes d'élevage bovin face à la conjoncture économique et politique (future Politique Agricole Commune), la complémentarité des filières lait et viande et la mise en place de mesures de mitigation. Elle vise à identifier les systèmes, ainsi que leurs combinaisons, capables d'atteindre les objectifs nationaux de réduction des GES.

Par ailleurs, alors que les conséquences environnementales de changements de systèmes au niveau du site de l'exploitation sont bien documentées, des changements peuvent également avoir des conséquences environnementales en dehors de l'exploitation, causés par les intrants utilisés par l'exploitation (engrais de synthèse, tourteau de soja). Un développement récent en ACV est l'ACV conséquentielle (ACVC), qui vise à étudier les conséquences environnementales indirectes d'un changement d'un système de production à travers ses effets sur d'autres systèmes de production à travers le monde (Nguyen *et al.*, 2013b). L'ACVC utilise des données économiques pour identifier les conséquences induites par le changement de système. Les ACVC publiées utilisent souvent des scénarios économiques basés sur des dires d'experts, ce qui constitue une faiblesse. Dans une thèse démarrée en 2013, financée par l'INRA et l'ADEME, un modèle de marchés et d'échanges internationaux agricoles est utilisée pour estimer les conséquences de changement de systèmes de production laitières notamment en ce qui concerne les changements d'affectation des sols. Ces travaux permettront d'estimer, au niveau mondial, les impacts indirects de changements de systèmes en France, en termes de déforestation, de déstockage de carbone et de pertes de biodiversité. Ces travaux viseront à identifier les changements de systèmes laitiers les plus souhaitables d'un point de vue environnemental.

4.5 De l'élevage au produit fini

Même si l'exploitation agricole représente la majeure partie de l'impact sur le changement climatique, des actions peuvent également être engagées sur les autres étapes du cycle de vie que sont la transformation agro-alimentaire et l'alimentation, pour quantifier les impacts et raisonner les améliorations.

Le projet ACYVIA (Bayart *et al.*, 2013), coordonné par l'ADEME, vise ainsi à produire une base de données pour réaliser des ACV sur des produits issus de l'agro-alimentaire. Les filières de transformation de la viande bovine et des produits laitiers font partie du champ du projet. Les objectifs poursuivis sont à la fois de disposer de données pour renseigner l'impact environnemental des produits et pour entreprendre des actions d'éco-conception avec les entreprises du secteur.

Le projet ANR AGRALID (<http://www6.inra.fr/agralid>), coordonné par l'INRA, a pour objectif de développer un outil qui permettra de définir les stratégies alimentaires qui concilient santé humaine, bien-être animal, biodiversité agricole et impacts environnementaux de la production alimentaire. Le projet est centré sur le consommateur dont les habitudes alimentaires sont très prégnantes. L'objectif principal du projet est d'offrir au consommateur un meilleur accès à une nourriture plus équilibrée, en particulier en ce qui concerne la teneur en lipides dans les produits d'origine animale en mettant l'accent sur la restauration d'un bon équilibre entre Oméga-3 (n-3 AF) et Omega 6 (n-6 AF), la diminution des acides gras saturés, tout en prenant en compte l'impact de ses choix alimentaires sur l'environnement.

Conclusion

Bien que l'élevage bovin soit un contributeur important aux émissions agricoles de GES, il s'agit également d'un secteur qui dispose d'un fort potentiel d'atténuation, que ce soit via le stockage de carbone, l'efficacité des systèmes ou l'introduction de techniques spécifiques.

De nombreux travaux ont récemment été conduits à la fois pour analyser la performance environnementale des systèmes bovins et identifier les techniques de réduction appropriées. Les travaux en cours devraient permettre de franchir une nouvelle étape pour raisonner la combinaison de leviers d'action entre eux et valider leur pertinence d'un point de vue technique, social et économique, ainsi que leur compatibilité avec d'autres enjeux environnementaux, en particulier celui de la qualité de l'eau qui reste une priorité pour la France. Il sera alors possible de quantifier de manière plus fine le potentiel d'atténuation des GES à l'échelle individuelle des élevages mais aussi et surtout à l'échelle globale de la filière bovine française, tout en tenant compte des autres contraintes qui influencent l'évolution des systèmes (contexte politique, économique, réglementaire, demande alimentaire).

Références bibliographiques

- ADEME, 2013. Dia'terre® Synthèse du guide de la méthode version 3.0. Disponible sur www.ademe.fr/diaterre/
- ADEME, 2014. AGRIBALYSE® Fiches de synthèse Version 1.1. Disponibles sur www.ademe.fr/agribalyse/
- Agreste, 2007. Agreste - Enquête structure 2007. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/>
- Arrouays D., Balesdent J., Germon J.C., Jayet P.A., Soussana J.F., Stengel P., 2002 : Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Rapport d'expertise collective, réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Paris. 334 pages.
- Bayart J-B., Barrucand P., Bortoli H., Clermidy S., Darlot E., Gac A., Gaillard G., Jolibert F., Labau M-P., Nassy G., Bosque F., 2013. ACYVIA, an LCA database for the French food industry. Congrès Avnir, 4 et 5 novembre 2013, Lille.
- Beguin E., Lorinquer E., Pavie J., Ferrand M., Réseau d'Elevage Bovin lait de Normandie, 2012. Analyse environnementale multicritères et voies d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES) des systèmes d'exploitation bovins lait. Renc. Rech. Ruminants 19, 25-28.
- Cederberg C., Stadig M., 2003. System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. International Journal of Life Cycle Assessment 8, 350-356.
- CITEPA, 2013. Rapport national d'inventaire pour la France au titre de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques et du protocole de Kyoto - CCNUCC. Edition de mars 2013. Citepa, Paris.
- Desarménien D., Bouet J-M., Pétiard-Colombier S., Hubert C., Chambaut H., 2013. Gaz à effet de serre : un enjeu pour les productions bovines des Pays de la Loire, Chambres d'Agriculture de Pays de la Loire - Institut de l'Elevage - Réseaux d'Elevage, 8 p.

Dollé J.-B., Agabriel J., Peyraud J.-L., Faverdin P., Manneville V., Raison C., Gac A., Le Gall A., 2011. Les gaz à effet de serre en élevage bovin : évaluation et leviers d'action. In : Doreau M., Baumont R., Perez J.M. (Eds). Gaz à effet de serre en élevage bovin : le méthane. Dossier, INRA Prod. Anim. 24, 415-432.

Dollé J.-B., Faverdin P., Agabriel J., Sauvant D., Klumpp K., 2013. Contribution de l'élevage bovin aux émissions de GES et au stockage de carbone selon les systèmes de production. Fourrages 215, 181-191.

Dollé J.-B., Moreau S., Foray S., 2013b. Combiner production et environnement, un défi pour la filière laitière. Collection L'Essentiel, Institut de l'Elevage, Paris.

Dollé J.-B., Delaby L., Plantureux S., Moreau S., Amiaud B., Charpiot A., Manneville V., Chanseaux A., Chambaut H., Le Gall A., 2013c. Impact environnemental des systèmes bovins laitiers français. In : Faverdin P., Leroux C., Baumont R. (Eds). Numéro spécial, La vache et le lait. INRA Prod. Anim. 26, 2, 207-220.

EcoIntesys, 2008. Revue bibliographique des études « Analyse du cycle de vie des produits agricoles ». Rapport final. EcoIntesys, Paris, France.

Edouard N., Charpiot A., Robin P., Lorinquer E., Dollé J.-B., Faverdin P., 2012. Émissions de gaz en bâtiment bovin lait : interactions entre conduite et nutrition azotée. Renc. Rech. Ruminants 20, 331.

Foray S., Beguin E., Ferrand M., Perrot C., Dollé J.-B., Béchu T., Hennart S., Boonen J., Tirard S., Morin C., Castellane E., 2013. La durabilité des exploitations laitières du Nord-Ouest de l'Europe. Renc. Rech. Ruminants 20, 217-220.

Foray S., Defrance P., 2014. Mise au point et évaluation de systèmes laitiers performants et durables. Application de l'analyse environnementale sur les fermes de Derval, Trévarez et Blanche Maison. Actes des Biennales des stations expérimentales professionnelles laitières du Grand Ouest, 6 février 2014, Rennes.

Flysjö A., Thrane M., Hermansen J.-E., 2014. Method to assess the carbon footprint at product level in the dairy industry. International Dairy Journal 34, 86-92.

Gac A., Dollé J.-B., Le Gall A., Klumpp K., Tallec T., Mousset J., Eglis T., Bispo A., 2010. Le stockage de carbone par les prairies, Institut de l'Elevage - INRA UR 874 - ADEME, 12 p.

Gac A., Cariolle M., Deltour M., Dollé J.-B., Espagnol S., Flenet F., Guingand N., Lagadec S., Le Gall A., Lellahi A., Malaval C., Ponchant P., Tailleux A., 2010b. GES'TIM – Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre. Réalisé dans le cadre du projet « Gaz à Effet de Serre et Stockage de Carbone en exploitations agricoles » (CASDAR 6147).

Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Graux A.I., Gaurut M., Agabriel J., Baumont R., Delagarde R., Delaby L., Soussana J.F., 2011. Development of the Pasture Simulation Model for assessing livestock production under climate change Agriculture, Ecosystems and Environment 144, 69–91

Institut de l'Elevage, 2012. CAP'2ER : Evaluer l'Empreinte Environnementale d'un Elevage Laitier. Disponible sur www.idele.fr/institut-de-lelevage/cap2er.html

ISO, 2006. NF EN ISO 14044 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie – Exigences et lignes directrices. Ed AFNOR, La Plaine Saint-Denis, France. 49 p.

Koch P., Salou T., 2014. AGRIBALYSE®: Rapport Méthodologique – Version 1.1. Mars 2014. Ed ADEME, Angers, France. 386 p.

LEAP, 2014. Environmental performance of animal feeds supply chains: Guidelines for quantification – Draft for public review. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. FAO, Rome, Italy.

Lorinquer E., Beguin E., Raison C., Dollé J.-B., Gac A., Moreau S., Manneville V., Charroin T., Ferrand M., Defrance P., Castellan E., Tirard S., Pelletier E., Fougère M., 2013. Concilier des systèmes laitiers innovants, productifs et respectueux de l'environnement. Innovations Agronomiques 30, 59-74

- Macdonald K.A., Pryce J.E., Spelman R.J., Davis S.R., Wales W.J., Waghorn G.C., Williams Y.J., Marett L.C., Hayes B.J., 2014. Holstein-Friesian calves selected for divergence in residual feed intake during growth exhibited significant but reduced residual feed intake divergence in their first lactation. *Journal of Dairy Science* 97, 1427-1435.
- Moreau S., Devun J., Manneville V., 2013a. Concilier production et environnement en système bovin allaitant : état des lieux et pistes de progrès. Collection L'Essentiel, Institut de l'Élevage, Paris.
- Moreau S., Manneville V., Morel K., Agabriel J., Devun J., 2013b. Le compromis performances de production et impacts environnementaux : méthode et analyse des résultats dans les élevages bovin allaitants. *Renc. Rech. Ruminants* 20, 311-320.
- Nguyen T.T.H., Doreau M., Eugène M., Corson M.S., Garcia-Launay F., Chesneau G., van der Werf H.M.G., 2013a. Effect of farming practices for greenhouse gas mitigation and subsequent alternative land use on environmental impacts of beef cattle production systems. *Animal* 7, 860-869.
- Nguyen T.T.H., Corson M.S., Doreau M., Eugène M., van der Werf H.M.G., 2013b. Consequential LCA of switching from maize silage-based to grass-based dairy systems. *Int J of Life Cycle Assessment* 18, 1470-1484.
- Nkrumah J.D., Okine E.K., Mathison G.W., Schmid K., Li C., Basarab J.A., Price M.A., Wang Z., Moore S.S., 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science* 84, 145-153.
- Pavie J., 2013. Performance environnementale des systèmes laitiers bas normands. Améliorer l'efficacité pour réduire les impacts. Réseaux d'Élevage ovin lait Normandie. Collection Théma. Institut de l'Élevage, Paris.
- 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., Faverdin 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), 454 p.
- Petersen S.O., Blanchard M., Chadwick D., Del Prado A., Edouard N., Mosquera J., Sommer S.G., 2013. Manure management for greenhouse gas mitigation. *Animal* 7, 266-282.
- Pinares-Patiño C.S., Hickey S.M., Young E.A., Dodds K.G., MacLean S., Molano G., Sandoval E., Kjestrup H., Harland R., Hunt C., Pickering N.K., McEwan J.C., 2013. Heritability estimates of methane emissions from sheep. *Animal* 7, 316-321.
- Puillet L., Agabriel J., Peyraud J.L., Faverdin P., 2014. Modelling cattle population as lifetime trajectories driven by management options: a way to better integrate beef and milk production in emissions assessment. *Livestock Science*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.001>
- Riedo, M., Grub, A., Rosset, M., Fuhrer, J., 1998. A pasture simulation model for dry matter production and fluxes of carbon, nitrogen, water and energy. *Ecol. Model.* 105, 41-183.
- Tubiello F.N., Salvatore M., Córdor Golec R.D., Ferrara A., Rossi S., Biancalani R., Federici S., Jacobs H., Flammini A., 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks. 1990 – 2011 Analysis. ESS Working Paper No. 2, Mar 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- van Duinkerken G., Andre G., Smits M.C.J., Monteny G.J., Sebek L.B.J., 2005. Effect of rumen-degradable protein balance and forage type on bulk milk urea concentration and emission of ammonia from dairy cow houses. *Journal of Dairy Science* 88, 1099-1112.
- Van Zijderveld, S.M., Gerrits, W.J.J., Dijkstra, J., Newbold, J.R., Hulshof, R.B. A., Perdok, H.B., 2011. Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94, 4028-4038.
- Vergez A., Bortzmeyer M., 2013. Analyse d'un indicateur « biodiversité » pour les produits agricoles dans le cadre de l'affichage environnemental. Etudes et Documents n°99, CGDD, MEDDE, Paris.
- Veyssset P., Lherm M., Bébon D., Roulenc M., Benoit M., 2014. Variability in greenhouse gas emissions, fossil energy consumption and farm economics in suckler beef production in 59 French farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 188, 180-191.

Wedlock D.N., Janssen P.H., Leahy S.C., Shu D., Buddle B.M., 2013. Progress in the development of vaccines against rumen methanogens. *Animal* 7, 244-252.