

L’empreinte carbone des élevages d’herbivores : présentation de la méthodologie d’évaluation appliquée à des élevages spécialisés lait et viande

GAC A. (1), MANNEVILLE V. (2), RAISON C. (1), CHARROIN T. (3), FERRAND M. (4)

(1) Institut de l’Elevage, Département Technique d’Elevage et Qualité, BP 85225, 35652 Le Rheu Cedex

(2) Institut de l’Elevage, Département Technique d’Elevage et Qualité, 9, allée Pierre de Fermat, 631700 Aubière

(3) Institut de l’Elevage, Département Actions Régionales, BP 50, 42272 St Priest en Jarez Cedex

(4) Institut de l’Elevage, Service Biométrie, 149 rue de Bercy, 75012 Paris

RESUME

Le contexte environnemental actuel, tant au niveau politique (Grenelle de l’Environnement) que sociétal, incite à disposer de méthodes d’évaluation précises concernant l’impact de l’élevage sur le changement climatique. L’enjeu est de connaître les niveaux d’émissions de gaz à effet de serre (GES) et de stockage de carbone (permis par les surfaces en prairies et par les haies), en fonction des modes de production. Mais il s’agit aussi d’identifier les sources de ces émissions pour pouvoir formuler des pistes de réduction adaptées à l’échelle des exploitations. L’Institut de l’Elevage a donc développé une méthode, basée sur le cadre méthodologique GES’TIM d’estimation de l’impact effet de serre et appliquée à un large échantillon d’exploitations spécialisées d’élevage bovin (lait et viande) issues de la base de données des Réseaux d’Elevage. L’objectif est d’obtenir des résultats qui traduisent les caractéristiques techniques de chaque exploitation et, *in fine*, d’aboutir aux empreintes carbone des différents systèmes spécialisés laitiers et allaitants français. Ce travail apporte des repères sur les émissions de GES et le stockage du carbone des élevages dans les différents systèmes de production. Ainsi, les systèmes laitiers affichent des empreintes carbone brutes comprises entre 1,19 et 1,29 kg équivalent (ég.) CO₂ par litre de lait produit et un taux de compensation par le stockage de carbone de 4 à 31% des émissions de GES (soit des empreintes nettes de 0,84 à 1,14 kg ég. CO₂). Les empreintes carbone des systèmes allaitants s’établissent entre 1412 et 2023 kg ég. CO₂ pour 100 kg de viande vive en brut et entre 872 et 1473 kg en net (compensation de 24 à 53%). Ces composantes environnementales fournissent une nouvelle clé pour l’analyse technique des systèmes. Les niveaux d’émissions sont liés aux composantes structurelles, techniques et économiques qui caractérisent chaque système, en particulier le système d’alimentation et la part de prairies permanentes. Dans la plupart des cas, la variabilité des empreintes carbone est plus importante à l’intérieur d’un même système qu’entre les systèmes. Cette analyse propose également quelques pistes de réduction des émissions adaptées aux systèmes de production et ouvre des perspectives pour réduire l’impact des exploitations bovines sur l’effet de serre.

Development of a methodology to assess carbon footprint in herbivore cattle farms. Implementation to dairy and beef production specialised farms.

GAC A. (1), MANNEVILLE V. (2), RAISON C. (1), CHARROIN T. (3), FERRAND M. (4)

(1) Institut de l’Elevage, BP 85225, 35652 Le Rheu Cedex

SUMMARY

The current environmental context, both at the political and societal levels (“Grenelle de l’Environnement”), inclines to have accurate methods to assess the impact of bovine production on climate change. The stake is to know the levels of greenhouse gas emissions (GHG) and carbon storage by pasture and hedges, according to the various production systems. But it is also a question of identifying the sources of these emissions in order to propose ways of mitigation adapted to the farm type. Thus, the Livestock Institute developed a specific method to assess the impact of climate change, based on a methodological framework provided by GES’TIM. It was applied to a sample of bovine specialised farms in dairy and meat production from the French Breeding Network database. Calculations were made with the objective to establish specific data for each farm. This work provides references about greenhouse gas emissions and carbon storage for farms in the various production systems. The dairy systems have raw carbon footprints between 1.19 and 1.31 kg CO₂eq. per liter of milk produced and a compensation of carbon storage from 4 to 31 % (net C footprints from 0.84 to 1.15 kg CO₂eq.). The carbon footprints of the bovine meat systems are between 1412 and 2023 kg CO₂eq. for 100 kg of live meat and between 872 and 1473 kg in net emissions (compensation from 24 to 53 %). These environmental components provide an additional way for the technical analysis of the systems. The levels of emissions are related to the structural, technical and economic constituents that characterise each system, in particular the food system and the share of permanent pastures. In most of the cases, the intra-system variability of carbon footprints is higher than inter-system variability. This analysis also proposes some ways of mitigation adapted to the production systems and it opens perspectives to reducing the impact of bovine farms on climate change.

INTRODUCTION

L'agriculture française contribue à 18,5% des émissions nationales de gaz à effet de serre (GES), 10% pouvant être attribués aux exploitations bovines (soit près de 60% des émissions agricoles, en considérant les surfaces affectées à l'élevage) (CITEPA, 2010).

La France s'est engagée, dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), à rendre compte annuellement de ses émissions de gaz à effet de serre selon la méthodologie internationale d'inventaire fixée par le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental pour l'Evolution du Climat). Cette méthodologie consensuelle, reconnue au niveau international, est largement utilisée. Les émissions y sont comptabilisées par secteur d'activités, selon trois niveaux possibles, du plus générique, correspondant à des situations moyennes (Tier 1), au plus détaillé, intégrant des données et des modes de calcul spécifiques au pays (Tier 3). Cette méthodologie ne permet pas de tenir compte des spécificités nationales en termes de modes de production (diversité des systèmes, des conduites animales et végétales...) et n'est donc pas adaptée pour être appliquée à l'échelle des exploitations agricoles ou des produits alimentaires. Elle présente également le désavantage de ne comptabiliser que les émissions gazeuses, sans raisonner en terme d'impact sur l'effet de serre, qui consiste à réaliser le bilan entre les émissions et la compensation permise par le stockage de carbone sous les prairies et les haies (Lucbert et al., 2008).

Pourtant, au niveau mondial, le rôle de l'agriculture et de l'élevage dans la lutte contre le changement climatique est désormais largement reconnu et a été mis en avant lors des négociations de Copenhague. Il est admis que les sols représentent le puits de carbone le plus important sur terre (1500 milliards de tonnes de C, GIEC 2007) et que la gestion des prairies constitue une voie prometteuse pour réduire les émissions de GES : l'élevage et les systèmes pastoraux ont ainsi un rôle majeur à jouer dans la réduction du réchauffement climatique (Arrouays, 2002, FAO, 2009).

Parallèlement, le renforcement des politiques publiques en matière d'environnement, en particulier en France avec le Grenelle de l'Environnement (objectif de réduction des GES et des consommations d'énergie, affichage environnemental des produits), mais aussi les critiques de la société publique envers les produits issus de l'élevage (attaques « anti-viande ») nécessitent de mieux appréhender les incidences de l'élevage sur l'effet de serre. L'enjeu est à la fois de connaître les niveaux d'impacts en fonction des modes de production, d'identifier les sources, les points forts et les points faibles en fonction des situations, pour pouvoir formuler des pistes de réduction de cet impact sur l'effet de serre à l'échelle des exploitations agricoles. Des méthodes d'évaluation environnementales adaptées doivent donc être développées pour établir les empreintes carbone des systèmes et des produits agricoles, et pour identifier et évaluer les marges de progrès possibles.

C'est ce qui a conduit les instituts techniques agricoles à développer le cadre méthodologique GES'TIM pour l'estimation de l'impact des activités agricoles sur l'effet de serre, intégrant le stockage de carbone par les sols, dans le cadre d'un projet CASDAR (compte d'affectation spéciale développement agricole et rural) (Gac et al. 2010).

Les premières applications de GES'TIM en filière bovine, concernent quelques systèmes types laitiers et allaitants. Les résultats de ces travaux ont fourni des premiers chiffrages d'empreintes carbone en faisant apparaître des écarts liés à la capacité de stockage du carbone des différents systèmes fourragers (Dollé et al., 2009). Les enjeux sont aujourd'hui de déployer l'approche sur un grand nombre de situations d'élevage, afin de mieux appréhender la variabilité des résultats entre systèmes de production et entre exploitations : Quelles sont les performances environnementales des

différents systèmes ? Quels sont les postes les plus émetteurs ? Au sein des systèmes, quelles sont les exploitations les plus performantes ? Pourquoi ? Grâce à quelles pratiques ? Il s'agit *in fine* d'identifier les leviers d'action possibles pour réduire efficacement les émissions de gaz à effet de serre, et de définir des stratégies de réduction adaptées à chaque système pour les traduire en termes de conseils aux éleveurs.

Cette communication présente les travaux menés dans le cadre de trois projets CASDAR sur les systèmes laitiers et allaitants : Systèmes laitiers et environnement, Cédabio et Durabeef. Une méthode spécifique est développée et appliquée à un large échantillon d'exploitations de la base des données des Réseaux d'Elevage pour obtenir des résultats qui traduisent les caractéristiques techniques de chaque exploitation et, *in fine*, aboutir aux empreintes carbone des différents systèmes spécialisés laitiers et allaitants français.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. UNE SOURCE DE DONNEES TECHNIQUES : LA BASE DE DONNEES DES RESEAUX D'ELEVAGE

1.1.1. Le dispositif des Réseaux d'Elevage et la base de données Diapason

Les « Réseaux d'élevage pour le conseil et la prospective » est un dispositif partenarial mis en place dans les années 1980 associant des éleveurs volontaires, les chambres d'agriculture et l'Institut de l'Elevage. Il est basé sur un suivi pluriannuel d'un échantillon de 1420 exploitations herbivores réparties sur l'ensemble du territoire.

Ce dispositif a pour objectif la description des systèmes d'élevage herbivore et l'élaboration de références techniques et économiques (élaboration de cas-type par système) à destination des éleveurs et des conseillers de terrain ou à vocation collective. Il s'agit aussi d'un outil de recherche appliquée : source de connaissances et d'expertise sur les systèmes de production régionaux et nationaux, informations sur les évolutions de systèmes, recherche et innovation, études thématiques.

Le système d'information mis en œuvre se concrétise par une base de données baptisée « Diapason ». La base rassemble les données collectées en élevage ainsi qu'un ensemble de données calculées. Les informations de cette base se structurent autour des moyens de production, du fonctionnement global de l'exploitation, des performances zootechniques, des résultats économiques et d'indicateurs agro-environnementaux. Sur le plan agro-environnemental, le bilan des minéraux a été intégré dans Diapason dès 1996, et le volet sur les consommations d'énergie s'est récemment consolidé grâce à une collecte de données qui se systématise depuis 2007. La prise en compte de la durabilité est en effet un objectif d'évolution du dispositif des Réseaux d'Elevage depuis quelques années (Charroin et al., 2005).

1.1.2. Caractéristiques de l'échantillon étudié

L'évaluation a porté sur les exploitations spécialisées en production laitière et en viande bovine. Elle a été menée pour l'année 2008 sur un échantillon d'exploitations homogène en termes de données renseignées. De plus, les individus aberrants avec des résultats environnementaux extrêmes, au delà de 3 fois l'écart-type sont écartés (99% de la population se trouve dans l'intervalle [moyenne - 3 x écart-type ; moyenne + 3 x écart-type]). Au final, l'analyse des résultats porte sur un échantillon de 196 exploitations bovines laitières spécialisées (soit 60% des exploitations laitières spécialisées de la base de données initiale) et 350 exploitations bovines allaitantes spécialisées (soit 60% de la base) (Tableau 1).

Tableau 1 Composition de l'échantillon étudié

Systemes	Classe (typologie Réseaux d'élevage)		Nombre élevages
Laitiers spécialisés	Plaine	Maïs dominant (maïs/SFP > 30%)	47
		Maïs-Herbe (maïs/SFP = 10-30%)	29
		Herbe (maïs/SFP < 10%)	37
	Montagne	Maïs-Herbe (maïs/SFP = 10-30%)	34
		Herbe (maïs/SFP < 10%)	49
	TOTAL Lait spé.		
Allaitants spécialisés	Naisseur engraisseurs (NE)	Bœufs	13
		Jeunes Bovins (JB)	67
		Veaux sous la mère (VSLM)	26
	Naisseur		244
	TOTAL Bov. Viande spé.		

SFP : surface fourragère principale

1.2. LA METHODE D'EVALUATION DE L'IMPACT SUR L'EFFET DE SERRE

1.2.1. GES'TIM : Un cadre et un référentiel national pour estimer les GES en agriculture

GES'TIM est un guide méthodologique qui propose un cadre homogénéisé et un référentiel pour évaluer l'impact en terme d'effet de serre des productions des filières bovines, porcines, avicoles et des grandes cultures. Il contient tous les éléments méthodologiques pour une estimation à différentes échelles (filiale, exploitation, atelier, produit) et dans différents cadres (empreinte carbone, Bilan Carbone®, Analyse de Cycle de Vie, évaluation environnementale des exploitations, etc.).

L'évaluation de l'impact environnemental « effet de serre » consiste à faire le bilan des émissions de gaz à effet de serre (GES directs correspondant aux émissions intervenant sur l'exploitation, les GES indirects sont liés aux intrants) et des compensations (Stockage de Carbone sous les prairies et les haies) observées aux différents stades de production :

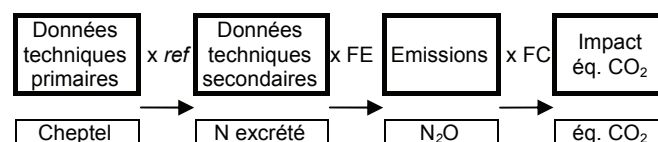
$$\text{Bilan GES} = \text{GES}_{\text{directs}} + \text{GES}_{\text{indirects}} - \text{Stockage C}$$

Le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et le dioxyde de carbone (CO₂) sont les principaux GES émis par l'agriculture. Les facteurs d'émissions et coefficients de stockage de GES'TIM, adaptés aux conditions des productions agricoles françaises, sont issus d'une revue bibliographique actualisée.

La mise en œuvre du calcul de l'empreinte carbone mobilise un ensemble de variables (Figure 1) :

- Des données techniques, dites primaires, directement accessibles à l'échelle de l'exploitation (cheptel, surfaces, production, etc.) ;
- Des données techniques secondaires, calculées à partir des primaires, à partir de référentiels (*ref*) ou d'hypothèses (azote excrété, quantités de déjections, etc.) ;
- Des facteurs d'émissions (FE), qui vont permettre de convertir les données d'activité en émissions de gaz à effet de serre (CH₄, N₂O et CO₂) ;
- Des facteurs de caractérisation (FC), qui traduisent l'ensemble des contributions des gaz à l'effet de serre en impact sur l'effet de serre, exprimé dans une unité commune : l'équivalent CO₂. On utilise les potentiels de réchauffement globaux (PRG) de chacun des gaz (CH₄ : 25 ; N₂O : 298 ; CO₂ : 1).

Figure 1 Etapes du calcul de l'empreinte carbone avec l'exemple du N₂O



Concernant les émissions indirectes, des données d'impact sur l'effet de serre pour les principaux intrants agricoles (aliments, fertilisants) sont disponibles dans GES'TIM. Elles ont été établies à partir de données statistiques sur les utilisations et importations de matières premières en alimentation animale pour la fabrication d'aliments composés (Céréopa, Syndicat National de l'Industrie de la Nutrition Animale) et sur les informations sur les intrants des cultures (Union des Industries de la Fertilisation).

1.2.2. Le périmètre

Le périmètre de l'étude comprend l'ensemble des stades de production, sur l'exploitation et en amont de celle-ci (du berceau aux portes de la ferme), selon une approche cycle de vie. Cela concerne l'atelier de production spécialisé laitier ou allaitant (animaux en production et de renouvellement), les surfaces de l'exploitation destinées à cet atelier et l'ensemble des intrants (énergie, fertilisants, alimentation...) alimentant cet atelier et ces surfaces. Les bâtiments et matériels sont exclus du champ de l'étude.

1.2.3. Les postes d'émissions et de compensation considérés

Conformément au périmètre décrit précédemment, les postes d'émission sont regroupés en six postes principaux :

- La fermentation entérique : émissions de méthane issues de l'activité biologique des animaux de l'atelier ;
- La gestion des déjections : émissions de méthane et de protoxyde d'azote issues de la gestion des déjections (pâturage, bâtiment, stockage) ;
- Les apports azotés : émissions de protoxyde d'azote liées aux phénomènes de nitrification et dénitrification des apports directs d'azote par la voie de la fertilisation organique (y compris résidus de culture) et minérale, et des apports indirects résultant de l'enrichissement en azote par le lessivage de nitrates et la volatilisation d'ammoniac en provenance des terres agricoles ;
- L'énergie directe : émissions de CO₂ résultant de la combustion de fioul sur l'exploitation ou sur l'atelier et émissions de CO₂ résultant de la production d'énergies fossiles consommées (électricité et fioul) ;
- Les intrants : impact en équivalent CO₂ généré lors de la fabrication et du transport des intrants (engrais, aliments du bétail, semences) ; il s'agit en particulier de CO₂ d'origine énergétique, mais aussi des autres GES, dont le N₂O issu de la fabrication des engrais ;
- Le stockage de carbone : stockage de carbone additionnel sous forme de matière organique stable dans le sol (sous haies et prairies) résultant de la consommation de CO₂ atmosphérique par photosynthèse en lien avec les pratiques.

1.2.4. L'unité fonctionnelle

Les émissions de GES sont exprimées en lien avec la fonction productive de l'activité agricole. Elles sont ramenées au litre de lait produit (eq. CO₂/ litre de lait) et à la quantité de viande vive produite (eq. CO₂/ 100 kg VV), respectivement pour les systèmes laitiers et allaitants.

La production brute de viande vive est indicateur de performance zootechnique issu du calcul suivant : kg de viande vive vendue +/- variation d'inventaire - kg de viande acheté + kg de viande autoconsommé.

1.2.5. Les modes d'allocation

Les émissions calculées ont été ventilées directement par atelier de production, à partir des flux matière qui concernent cet atelier (quantités d'aliments consommés, déjections produites, etc.) ou en faisant appel à des clés de répartition sur les consommations d'énergie par atelier (Galan et al. 2007).

Lorsqu'un atelier génère différents produits, les impacts de cet atelier doivent être répartis entre les produits en faisant appel à une règle d'allocation. Dans le cas des exploitations laitières, l'allocation protéique a été retenue (au prorata des contenus protéiques du lait et de la viande), soit une attribution de 85% des impacts au lait produit et 15% des impacts à la viande issue du troupeau laitier. C'est également le choix adopté par la FAO pour évaluer les GES du secteur laitier mondial (FAO, 2010).

1.3 APPLICATION DE LA METHODE AUX EXPLOITATIONS DE LA BASE DE DONNEES DIAPASON

1.3.1. Des données disponibles dans Diapason aux variables nécessaires au calcul des émissions

Diapason fournit des données sur les caractéristiques techniques des exploitations et sur les consommations d'énergie : consommations directes (fioul, électricité...) et indirectes (concentré, engrais, etc.).

En complément de ces données déjà disponibles, des calculs intermédiaires sont nécessaires, que ce soit pour obtenir des données d'activité fines ou pour renseigner des flux environnementaux intermédiaires, sur le cycle de l'azote en particulier (émissions d'ammoniac, lessivage de l'azote). Un traitement spécifique est réalisé sur les exploitations pour lesquelles des informations sont manquantes. Pour ce faire, des hypothèses sont fixées à dire d'experts dans le cadre des UMT RIEL (Recherche et Ingénierie en Elevage Laitier) et PASF (Productions Allaitantes et Systèmes Fourragers) associant l'Institut de l'Elevage et l'INRA.

Ainsi pour la fixation symbiotique, un forfait de 15 kg par ha de prairie est appliqué. Enfin, une méthode spécifique par sondage réalisée à partir de photographies aériennes estime pour chaque exploitation les linéaires de haies en fonction de sa région d'appartenance et selon la nature de ses surfaces (Surface Toujours en Herbe et surfaces arables) (Institut de l'Elevage, 2010, non publié).

Les émissions de N_2O étant en grande partie liées à la gestion de l'azote, une attention particulière a été apportée à l'évaluation des flux d'azote dans chaque système. Ainsi, l'azote excrété par les animaux est conditionné par l'ingestion des différents fourrages et la nature des concentrés. A chaque exploitation d'élevage correspond une stratégie d'alimentation des différentes catégories animales pour une performance zootechnique donnée. A cela s'ajoute la durée de présence en bâtiments, le mode de logement et le type d'effluents générés. C'est à partir de la méthode CORPEN (CORPEN 1999, 2001) et des référentiels afférents que l'azote excrété par les animaux est déterminé. Pour estimer les quantités d'azote excrété, les différents types de fourrages stockés sont répartis entre les différentes catégories animales présentes sur l'exploitation à partir de règles de décisions spécifiques ainsi que pour les concentrés distribués. Une fois que ce stock fourrager est affecté, il est converti pour chaque catégorie en nombre de journées d'alimentation sur stock à partir de formules de capacité d'ingestion spécifiques aux différentes catégories animales. Cette étape permet de déduire le nombre de jours de pâturage strict. Ensuite, des formules d'ingestion (CORPEN) prenant en considération le poids vif voire la production laitière quantifient l'herbe ingérée au pâturage pour chaque animal en fonction de sa durée de présence au pâturage. Enfin, il convient de confronter ces quantités d'azote ingérées par les catégories animales avec les quantités d'azote fixées par le lait et la viande pour obtenir l'azote excrété.

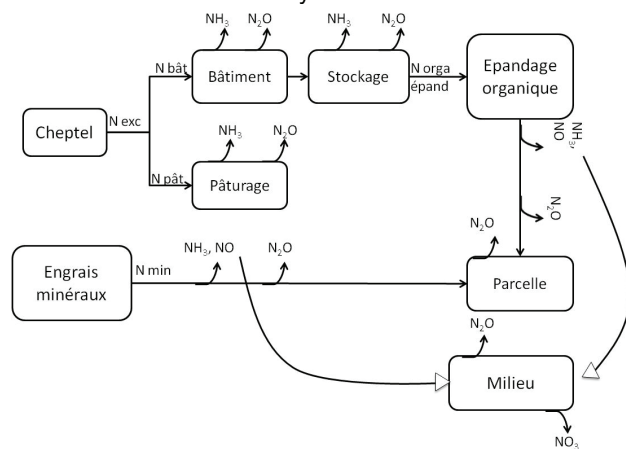
En ce qui concerne les émissions de méthane entérique, la combinaison de la performance animale et du poids vif des animaux déterminent ce poste d'émission.

Enfin, la compensation des émissions de carbone par son stockage par la prairie est complétée par le stockage sous les haies présentes sur la SAU de l'exploitation.

1.3.2. La mise en œuvre des calculs et le traitement des données

Les équations de calcul ont été générées, en intégrant les facteurs d'émission de GES-TIM et en privilégiant une approche par bilan matière (Figure 2). Les émissions sont ainsi calculées de manière successive à chaque étape du système, à partir des quantités de matière issues du poste précédant. Ainsi les émissions azotées au stockage des déjections sont calculées à partir des quantités d'azote stockées, elles même issues des quantités d'azote excrétées en bâtiment desquelles on retranche les émissions qui ont eu lieu au bâtiment. Cette approche permet d'effectuer les calculs pour un grand nombre de situations et d'exploitations, à partir des mêmes équations génériques.

Figure 2 L'approche par bilan matière avec l'exemple du calcul des flux d'azote en systèmes laitiers et allaitants



L'ensemble des calculs d'émissions et d'impact a été réalisé avec le logiciel SAS V9.2. Son utilisation se justifie par le nombre important de paramètres intervenant dans les calculs et par l'importance de l'échantillon étudié. Ce choix a été privilégié dans une optique d'évolution dans le temps des modes de calculs et de mise à jour ultérieure des facteurs d'émissions.

Au-delà de la réalisation des calculs d'impact, un traitement statistique des données a été réalisé (moyenne, dispersion) afin d'analyser la variabilité des résultats inter et intra système.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. EMPREINTES CARBONE EN SYSTEMES LAITIERS FRANCAIS

2.1.1. Empreintes carbonées et sources d'émissions des exploitations laitières spécialisées

L'empreinte carbone brute moyenne du lait obtenue sur notre échantillon est de 1,25 kg éq. CO_2 par litre (coefficient de variation : 15%). L'empreinte nette moyenne (tenant compte de la compensation carbone) se situe à 0,99 kg éq. CO_2 par litre (coefficient de variation : 21%), soit une compensation de 20% des émissions permise par le stockage de carbone.

Ces niveaux d'émissions sont cohérents avec la bibliographie qui fait apparaître des empreintes carbone brutes autour de 1,0 kg éq. CO_2 par litre (Tableau 2). Les variations entre études sont dues à la fois aux systèmes étudiés (parfois sur des cas spécifiques, avec peu d'exploitations), aux choix méthodologiques retenus (périmètre, règle d'allocation, mode de calcul), ainsi qu'à l'unité fonctionnelle retenue (lait brut ou corrigé sur l'énergie ou la matière grasse et protéique).

Tableau 2 Comparaison d'empreintes carbone du lait issues de la bibliographie (émissions exprimées en kg eqCO₂/litre de lait)

Pays	Sources	Syst.	Nb fermes	Emissions brutes	Emissions nettes
France	Cette étude	Spé.	196	1,25 ¹	0,99 ¹
	Dollé et al., 2009	Spé.	4	0,80-1,25 ¹	0,6-1 ¹
	Van der Werf et al., 2009	Conv.	41	1,037 ²	-
AB		6	1,082 ²	-	
Nouvelle Zélande	Basset-Mens et al., 2009	Conv.	1	0,903 ²	-
Allemagne	Haas et al., 2001	Intensif	6	1,3 ¹	-
		Extensif	6	1,0 ¹	-
		AB	6	1,3 ¹	-
Pays-Bas	Thomassen et al., 2005	Conv.	8	1,81 ²	-
Suède	Cederberg et al., 2000	Conv.	1	1,1 ³	-
		AB	1	0,91 ³	-
Monde	FIL, 2009	Biblio.		1,0 ¹	-
Europe	FAO, 2010	ensemble du secteur		1,3 ²	-

Spé. : spécialisé ; Conv. : conventionnel. AB : agriculture biologique
¹ : lait non corrigé ; ² : lait corrigé matière grasse et protéique ; ³ : lait corrigé sur l'énergie

La répartition moyenne de ces émissions par poste et par GES est précisée dans le tableau 3. La fermentation entérique représente 43% de l'impact final, devant les émissions en bâtiment (15%) et celles liées aux intrants (13%). La forte contribution du méthane dans l'empreinte carbone du lait (62%) est liée à la part prépondérante de la fermentation entérique (69% des émissions de CH₄). Les autres émissions se répartissent quasiment pour moitié entre le protoxyde d'azote, influencé par les émissions au pâturage (41%), et le dioxyde de carbone, auquel contribuent la combustion d'énergies fossiles sur l'exploitation (38%) et les intrants (38%). Le stockage de carbone et la fermentation entérique, sont deux postes directement liés à la capacité des bovins à valoriser les surfaces en herbe ; le carbone stocké permet ainsi de compenser 47% du méthane d'origine entérique.

2.1.2. Analyse de la variabilité inter et intra-système

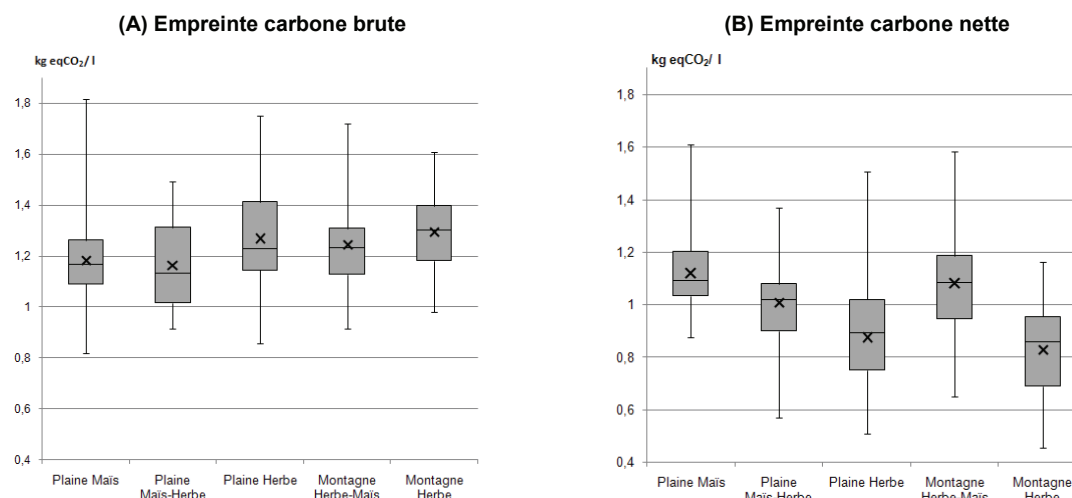
Au-delà de l'empreinte carbone moyenne de l'échantillon étudié, l'analyse des résultats obtenus par système de production indique que les émissions brutes de CO₂ sont peu différenciées d'un système à l'autre (Figure 4 (A)) : les médianes et moyennes de chaque système se situant autour de la valeur moyenne de l'échantillon. Toutefois, les émissions des systèmes à forte productivité (Plaine Maïs et Maïs-Herbe) ont des impacts inférieurs à la moyenne.

Les résultats d'émissions nettes sont plus contrastés (Figure 4 (B)) et les écarts entre les systèmes les plus herbagers et les autres s'accroissent, en lien avec la potentialité de leurs surfaces en prairies à stocker du carbone. L'effet productivité observé sur les émissions brutes s'estompe et les systèmes les plus herbagers ont une empreinte carbone plus faible.

Tableau 3 Répartition moyenne par gaz et par poste des émissions de gaz à effet de serre des systèmes laitiers

Poste d'émission	Fermentation Entérique	Gestion des déjections						Apports azotés				Energie directe	Intrants
		Bâtiment		Stockage		Pâturage		Org.	Min.	Résidus cultures	Indirects		
gaz émis	CH ₄	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O	CO ₂	CO ₂
kg eq. CO ₂ /l de lait	0,542	0,179	0,006	0,067	0,014	0,001	0,096	0,046	0,029	0,001	0,036	0,098	0,155
% du total	43%	15%		6%		7%		3%	2%	0,1%	3%	8%	13%

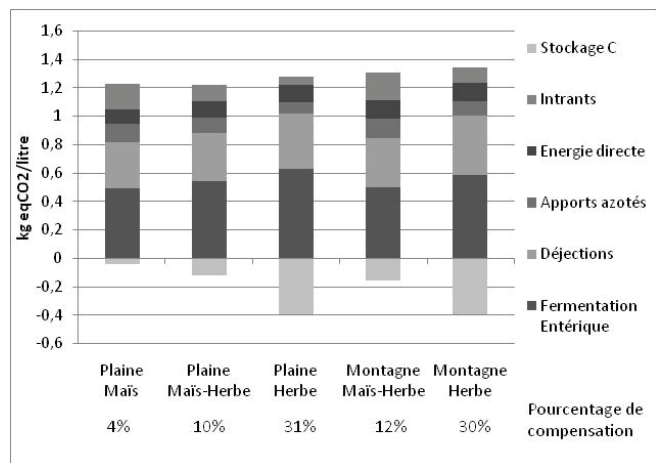
Figure 4 Variabilité des empreintes carbone brutes (A) et nettes (B) des systèmes laitiers (eq. CO₂ / l de lait)



Les différences de résultats bruts entre systèmes s'expliquent également par la part des intrants et des consommations d'énergie directe dans les émissions totales (Figure 5). Les systèmes les moins herbagers sont aussi les plus consommateurs d'intrants, en particulier de concentrés (systèmes Maïs et Maïs-Herbe). Les spécialisés de plaine en

système fourrager herbager sont ceux pour qui la part d'énergie directe est la plus élevée, en lien avec les besoins en mécanisation de leurs surfaces (consommation de fioul).

Figure 5 Répartition des émissions de gaz à effet de serre par poste et niveau de compensation carbone pour les systèmes laitiers étudiés



La variabilité intra-système est quant à elle plus importante, avec des coefficients de variation de 13 à 16% pour l’empreinte brute et de 13 à 22% pour l’empreinte nette. Certaines exploitations affichent des empreintes carbone plus basses que d’autres. Leurs résultats s’expliquent soit par de meilleures performances environnementales, soit par de meilleures performances techniques, leur productivité laitière réduisant alors l’expression de leur impact sur l’effet de serre. Sur l’empreinte nette, la variabilité intra-système a tendance à se réduire, sauf pour les systèmes herbagers, en lien avec la diversité des situations en particulier en termes de surfaces de prairies permanentes.

Pour aller plus loin, l’analyse du système Plaine Herbe qui est l’un de ceux qui présentent le plus de variabilité, que ce soit sur l’empreinte carbone brute (16%) ou nette (21%), permet de dégager des facteurs explicatifs de cette diversité. Dans ce système, les exploitations qui ont les meilleurs résultats ont une production laitière par vache élevée avec une quantité de concentrés distribuée plus faible que la moyenne. Par ailleurs, une part accrue d’herbe pâturée dans la ration

conduit à une part réduite d’achats de concentrés (moins d’impacts liés aux intrants). Une restitution des déjections au pâturage plus importante génère également moins d’impact, comparativement à une gestion des déjections au bâtiment et au stockage. D’autre part, les élevages les plus émetteurs se caractérisent par un niveau de fertilisation minérale plus élevé, associé à un lessivage d’azote plus important.

2.2. EMPREINTES CARBONE EN SYSTEMES ALLAITANTS FRANCAIS

2.2.1. Empreintes carbonées et sources d’émissions des exploitations allaitantes spécialisées

Pour notre échantillon de systèmes allaitants spécialisés, les émissions moyennes brutes sont de 1544 kg eq. CO₂ pour 100 kg VV. Cette valeur est comparable aux empreintes carbone estimées lors des premiers travaux de l’Institut de l’Elevage (Dollé et al., 2009) et sont proches de celles mentionnées dans les travaux de Nguyen et al. en 2010. (Tableau 4).

Le stockage de carbone, en moyenne de 693 kg eqCO₂ pour 100 kg de VV, compense les émissions brutes de CO₂ à hauteur de 45%. Les émissions nettes moyennes de CO₂ sont donc de 852 kg eqCO₂ pour 100 kg VV.

Tableau 4 Comparaison d’empreintes carbonées de la viande bovine issues de la bibliographie (émissions exprimées en kg eq. CO₂/100kg de viande vive)

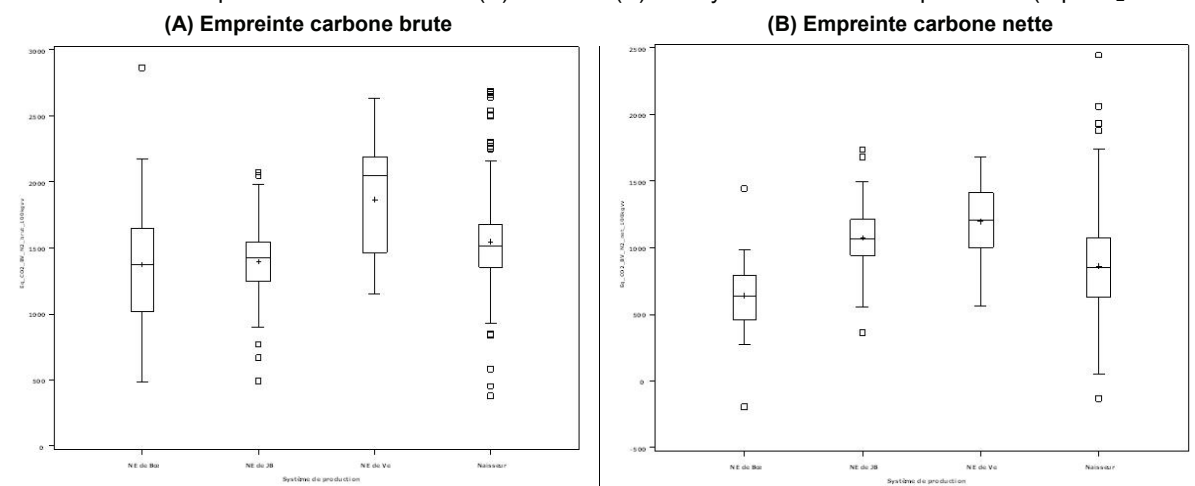
Pays	Sources	Syst.	Emissions brutes	Emissions nettes
France	Cette étude	Spé.	1150-2050	700-1700
	Dollé et al., 2009	Spé.	1200-2000	600-1200
Europe	Nguyen et al., 2010	-	1420	-
Japon	Ogino, 2004	engr.	1335	

Spé. : spécialisé ; engr. : engraisseur

Tableau 5 Répartition moyenne par gaz et par poste des émissions de gaz à effet de serre des systèmes allaitants spécialisés

Poste d’émission	Fermentation Entérique	Gestion des déjections						Apports azotés				Energie directe	Intrants
		Bâtiment		Stockage		Pâturage		Org.	Min.	Résidus cultures	Indirects		
gaz émis	CH ₄	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O	CO ₂	CO ₂
kg eq.CO ₂ /100 kg BVV	799	249	9,6	43	14	1,3	112	40	52	2	35	65	123
% du total	52%	17%		4%		7%		3%	2%	0%	2%	4%	8%

Figure 7 Variabilité des empreintes carbone brutes (A) et nettes (B) des systèmes allaitants spécialisés (eq. CO₂/ 100 kg VV)



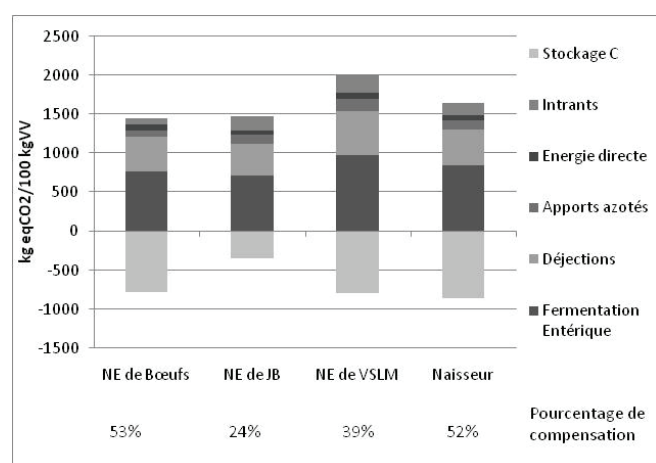
Parmi les trois principaux GES, la part du méthane est prépondérante (71 %). La fermentation entérique représente 52 % des émissions totales soit 73 % du méthane total émis (Tableau 5). Les émissions en bâtiment-stockage pèsent pour 21%. Les émissions de N₂O représentent 17 % de l’empreinte totale et sont essentiellement liées au pâturage (42%). Les émissions de CO₂, dues à la consommation d’énergies directes et surtout aux intrants, sont de 12%. Dans les systèmes très herbagers, les prairies permanentes et les haies présentes sur l’exploitation compensent en grande partie le méthane entérique, à hauteur de plus de 80%.

2.2.2. Analyse de la variabilité entre les quatre principaux systèmes allaitants

Les émissions brutes en équivalent CO₂ pour 100 kg brut de viande vive sont plus fortes pour des systèmes naisseurs engraisseurs de veaux sous la mère car l’essence même de la production de veaux est de produire des animaux légers (Figure 7 (A)). Toutefois, on remarque une grande variabilité au sein même du système. En revanche, pour les trois autres systèmes d’élevage, à savoir les naisseurs engraisseurs de bœufs et de jeunes bovins et les naisseurs, cette variabilité est plus importante à l’intérieur d’un même système d’exploitation qu’entre les systèmes eux-mêmes.

Si on porte notre analyse sur les émissions nettes (Figure 7 (B)) en équivalent CO₂ pour 100 kg de viande vive, cette variabilité entre les systèmes est plus flagrante. En effet, les systèmes naisseurs et naisseurs engraisseur de bœufs compensent très fortement en passant sous la barre des 900 kg eqCO₂ pour 100 kg VV. La présence importante de prairie permanente avec une stratégie d’alimentation tournée vers la valorisation de l’herbe auxquelles s’ajoute une plus forte densité de haies sont la signature de cette forte compensation (Figure 8). *A contrario*, pour les systèmes naisseurs engraisseurs de jeunes bovins, c’est le recours à la culture de maïs ensilage et aux concentrés pour la phase d’engraissement des jeunes bovins qui limitent la compensation par le stockage de carbone. Enfin, pour les naisseurs engraisseurs de veaux sous la mère, c’est la faiblesse de la production brute de viande vive qui explique des émissions nettes relativement supérieures aux trois autres systèmes d’exploitations.

Figure 8 Répartition des émissions de gaz à effet de serre par poste et niveau de compensation carbone pour les systèmes allaitants spécialisés



2.2.3. L’élevage allaitant spécialisé est conciliable avec le développement durable.

Au delà des seuls aspects environnementaux, il est essentiel d’évaluer le lien entre l’impact d’une activité et son efficacité économique et sociale. L’excédent brut d’exploitation (EBE) par unité de main d’œuvre (UMO) a ainsi été mis en relation avec les émissions nettes de GES pour 100 kg de viande vive. En effet, l’EBE par UMO associe la durabilité économique (EBE) à une notion de durabilité sociale

(UMO) alors que les émissions nettes de GES pour 100 kg VV associent la durabilité environnementale à la durabilité économique.

Sur la figure 9, dont les axes représentent les moyennes des EBE/UMO et des émissions nettes de GES en kg eq.CO₂/100 kg VV de l’échantillon, des exploitations concilient performance environnementale et des résultats économiques supérieurs au reste de l’échantillon (encadré). De plus, les individus les plus performants d’un point de vue économique (ellipse) affichent de bons résultats environnementaux ; quatre d’entre eux ont même des émissions de GES inférieures à la moyenne. Ces constats traduisent bien que l’on peut concilier un impact limité sur les GES, car atténués par une bonne productivité zootechnique, et un EBE par UMO important. Les systèmes d’exploitation (Tableau 6) conciliant au mieux faibles émissions de GES et bons résultats économiques représentent 42% des systèmes naisseurs engraisseurs de bœufs et 26 % des systèmes brouards constituant notre échantillon.

Figure 9 Relation entre EBE par UMO et les émissions nettes de GES pour 100kg VV

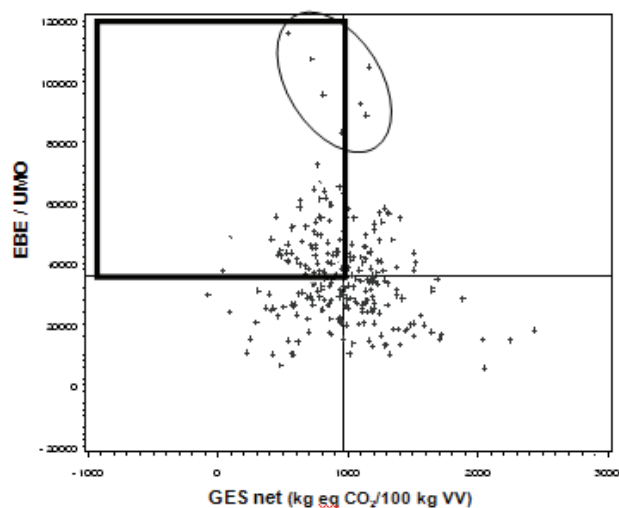


Tableau 6 Caractéristiques et nombre de systèmes à faibles émissions de GES / 100 kg de VV et à EBE par UMO élevé

	Nombre d’élevages à GES(-) & EBE(+)	Nombre d’élevages de l’échantillon	Part des élevages GES (-) et EBE(+) / total
Naisseur	39	150	26%
NE de JB	9	36	25%
NE de bœufs	5	12	42%
NE de VSLM	2	20	10%
Total	55	218	

GES : gaz à effet de serre ; VV : viande vive ; EBE : excédent brut d’exploitation ; UMO : unité de main d’œuvre ; NE : naisseur engraisseur ; JB : Jeunes Bovins ; VSLM : veau sous la mère

2.3. DISCUSSION

La répartition des émissions par gaz et par poste identifie (plus que ne quantifie) les sources les plus contributives et sur lesquelles les mesures sont à engager pour réduire l’empreinte carbone du lait et de la viande. La fermentation entérique est particulièrement ciblée, ainsi que la gestion des déjections, mais aussi l’optimisation de la fertilisation et la maîtrise des consommations énergétiques. Toutefois, les recherches sur les émissions du CH₄ restent à approfondir. Cela permet d’identifier des techniques de réduction des émissions, notamment par des voies technologiques (ingrédients alimentaires, biogaz, etc.).

En production bovine, la meilleure connaissance des flux par système offre la perspective d'engager de véritables stratégies de réduction tant sur le plan du fonctionnement du système de production que sur l'optimisation des itinéraires techniques. En effet, chaque système possède des caractéristiques qui lui sont propres et qui vont fortement influencer les émissions des exploitations. Certains systèmes semblent plus performants d'un point de vue environnemental. Cependant, la diversité des contextes pédoclimatiques limite l'intérêt de les comparer entre eux. Par ailleurs, la variabilité intra-systèmes est parfois aussi importante que la variabilité inter-systèmes. Ainsi, à l'intérieur même d'une classe typologique, certaines exploitations se démarquent des autres car elles mettent en adéquation les ressources distribuées et la performance technique. Plusieurs pistes de réduction touchant à l'optimisation et aux bonnes pratiques sont possibles : gestion de la fertilisation, recherche d'autonomie et de réduction des intrants, maîtrise des consommations d'énergie. Ces pistes dont d'autant plus pertinentes qu'elles peuvent se traduire également par des gains économiques.

Cette analyse sur les gaz à effet de serre ne doit pas occulter le fait que les élevages herbivores ont d'autres impacts environnementaux sur la qualité de l'air, de l'eau ou encore la biodiversité. La recherche de systèmes optimisés ou de leviers d'action pour réduire les bilans environnementaux doit ainsi tenir compte de l'ensemble de ces effets, d'autant plus qu'ils sont interconnectés. Ainsi une action corrective portant sur un compartiment environnemental peut provoquer un transfert dans un autre compartiment. *A contrario*, d'autres actions entrent en synergie telles que celles visant à l'optimisation de la gestion de l'azote au sein du système qui auront des effets sur un ensemble de compartiments environnementaux : gaz à effet de serre, eutrophisation (lessivage des nitrates), acidification (émissions d'ammoniac), consommation d'énergie fossile (économie de fertilisants de synthèse). Il faut privilégier à l'avenir des évaluations environnementales multicritère dans le but d'évaluer les performances dans plusieurs compartiments environnementaux et ainsi proposer des stratégies de limitation des impacts. Dans ce domaine, les analyses de cycle de vie sont des outils pertinents à condition d'adapter leur application au domaine agricole (prise en compte des phénomènes biologiques qui régissent les flux vers l'environnement, définition des systèmes de production).

CONCLUSION

Les travaux menés par l'Institut de l'Élevage sur la base de données des Réseaux d'Élevage fournissent des résultats qui précisent les émissions de gaz à effet de serre pour la production de lait de vache et de viande bovine. Ces informations fournissent de précieux arguments dans un contexte où la contribution de l'élevage au changement climatique est particulièrement d'actualité. Les résultats obtenus par système posent des bases utiles à l'identification de leviers d'action et à la définition de stratégies de réduction des émissions efficaces. Elle doit toutefois être étendue à une approche multicritère dans la perspective d'une analyse environnementale globale des systèmes et de leur amélioration. L'évolution des systèmes ne sera possible qu'en associant performance environnementale et performance technico-économique. Des travaux se poursuivent en ce sens. Ils seront à coupler à la conception d'outils d'évaluation des exploitations et de simulation d'évolution de système dans une optique de conseil aux éleveurs.

Les auteurs remercient les éleveurs qui participent au dispositif des Réseaux d'Élevage et les ingénieurs départementaux qui assurent le suivi et l'enregistrement des données des exploitations. Que soient remerciés les partenaires professionnels (INTERBEV, CNIEL) et financiers (CASDAR) pour leur implication technique et financière sur cette thématique. Merci également à C. Dezetter, E. Schaeffler et C. Sintive pour leur collaboration.

- Arrouays D., Balesdent J., Germon J.C., Jayet P.A., Soussana J.F., Stengel P., 2002.** Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Rapport. INRA, 332p
- Basset-Mens C., Ledgard S., Boyes M., 2009.** Ecological economics, vol. 68, p1615-1625.
- Cederberg C., Mattson B., 2000.** Journal of Cleaner production, vol. 8, p49-60
- CITEPA, 2010.** CORALIE format CCNUCC. Mise à jour avril 2010. CITEPA, Paris.
- Charroin T., Palazon R., Madeline Y., Guillaumin A., Tchakerian E., 2005.** Renc. Rech. Ruminants, 2005, 12, 335-338.
- CORPEN, 1999.** Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux vaches laitières et à leur système fourrager.
- CORPEN, 2001.** Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux bovins allaitants et aux bovins en croissance et à l'engrais et à leur système fourrager.
- Dezetter C., 2010.** Analyse environnementale multicritère des systèmes allaitants français. Mémoire ENSAIA. 76 p.
- Dollé J.B., Gac A., Le Gall A., 2009.** Renc. Rech. Ruminants, 2009, 16. 233-236.
- FAO, 2009.** Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change. 50 p. FAO, Rome.
- FAO, 2010.** Greenhouse gas emissions from the dairy sector. A life cycle assessment. 94 p. FAO, Rome.
- FIL, 2009.** Bulletin of the International Dairy Federation, n° 436, 60p.
- Gac A., Deltour L., Cariolle M., Dollé J-B., Espagnol S., Flénet F., Guingand N., Lagadec S., Le Gall A., Lellahi A., Malaval C., Ponchant P., Tailleur A., 2010.** GES'TIM, Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre. Version 1.2. 156 p. Institut de l'Élevage, Paris.
- Galan F., Dollé J-B., Charroin T., Ferrand M., Hiet C., 2007.** Renc. Rech. Ruminants, 2007, 14. 29-32
- GIEC, 2007.** Climate Change 2007: Mitigation. Cambridge University Press., United Kingdom and New York, NY, USA.
- Haas G., Wetterich F., Köpke U., 2001.** Agriculture, Ecosystems and environment, vol. 83, p43-53
- Lucbert J., Le Gall A., Hacala S., 2008.** Les ruminants et le réchauffement climatique. 19 p. Collection L'essentiel. Institut de l'Élevage, Paris.
- Nguyen, T.T., et al., 2010.** J Clean Prod (2010), doi:10.1016/j.jclepro.2009.12.023
- Ogino A., Kaku K., Osada T., Shimada K., 2004.** Anim. Sci. 82:2115-2122
- Schaeffler E., 2010.** Evaluation environnementale selon une approche cycle de vie des exploitations laitières françaises. Mémoire ENITA Bordeaux. 102 p.
- Thomassen M-A., De Boer I-J-M., 2005.** Agriculture, Ecosystems and Environment, vol. 111, p 185-199
- Van der Werf H.M.G., Kanyarushoki C., Corson M.S., 2009.** Journal of Environmental Management, vol. 90, p 3643-3652