

**ÉMISSIONS DE GES DES MODES D'ÉLEVAGES DE BOVINS DE BOUCHERIE AU QUÉBEC:
QUANTIFICATION ET RÉDUCTION
16-GES-03**

DURÉE DU PROJET : (AVRIL-2017/ JANVIER-2019)

RAPPORT FINAL

Réalisé par :
Stéphane Godbout, IRDA
Patrick Brassard, IRDA
Marie-France Blais, MELCC
Nathalie Coté, FPBQ
Hanan Mannai, IRDA

02/01/2019

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

ÉMISSIONS DE GES DES MODES D'ÉLEVAGES DE BOVINS DE BOUCHERIE AU QUÉBEC: QUANTIFICATION ET RÉDUCTION:

16-GES-03 :

RÉSUMÉ DU PROJET (Maximum de ½ page)

Au Québec, les émissions de gaz à effet de serre (GES) des différents modes d'élevages en production de bovins de boucherie n'ont jamais fait l'objet d'une quantification avec les conditions d'élevages retrouvées au Québec. Dans le présent projet, la quantification des émissions de GES a été basée sur l'approche d'inventaire de cycle de vie, prenant en compte plusieurs opérations à la ferme, dont les émissions de CH₄ de la fermentation entérique des animaux, les émissions de CH₄ et de N₂O (directes et indirectes) de la gestion du fumier, les émissions directes et indirectes de N₂O au pâturage et en enclos d'hivernage causées par la déposition des fèces et de l'urine, les émissions de GES causée par l'épandage ainsi que les émissions de N₂O des sols sur lesquels les fertilisants sont épandus afin de cultiver du foin. L'échantillonnage d'aliments et de déjections fraîches a été fait dans deux scénarios d'élevage (traditionnel en bâtiment et alternatif avec enclos d'hivernage) sur deux régions agricoles du Québec (Bas-St-Laurent et Estrie). Les résultats de l'analyse des échantillons ont permis de calculer les émissions en se basant sur la méthode de Tiers 2 du GIEC. Les émissions moyennes de GES étaient plus élevées dans le scénario alternatif (14,7 kg CO₂e kg⁻¹_{veaux produits}) que dans les scénarios traditionnels (13,5 kg CO₂e kg⁻¹_{veaux produits}) en raison des émissions entériques de CH₄ plus élevées chez les animaux élevés à l'extérieur en hiver. Les émissions de CH₄ entériques sont également plus élevées dans le Bas-St-Laurent en raison du climat plus froid et de la digestibilité réduite des aliments. Au contraire, les émissions de GES provenant de la gestion du fumier sont 7% moins élevées dans le scénario alternatif en raison de la gestion minimale du fumier.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE (Maximum 3 pages)

L'ultime objectif de ce projet était d'évaluer l'impact de différentes pratiques de production vaches-veaux sur les émissions de GES à la ferme dans différentes régions du Québec. Pour ce faire, une quantification et une comparaison des émissions de GES des élevages de vaches-veaux sous différentes régies, soit l'aménagement traditionnel avec bâtiment d'élevage et l'élevage alternatif avec enclos d'hivernage ont été faites.

La quantification des émissions de GES a été basée sur l'approche d'inventaire de cycle de vie, prenant en compte plusieurs opérations à la ferme, dont les émissions de CH₄ de la fermentation entérique des animaux, les émissions de CH₄ et de N₂O (directes et indirectes) de la gestion du fumier, les émissions directes et indirectes de N₂O au pâturage et en enclos d'hivernage causées par la déposition des fèces et de l'urine, les émissions de GES causée par l'épandage (combustion et fabrication du diesel, fabrication des équipements et des fertilisants) ainsi que les émissions de N₂O des sols sur lesquels les fertilisants sont épandus afin de cultiver du foin.

La revue de littérature réalisée, qui porte sur les émissions de GES des modes d'élevage de vaches-veaux et sur les méthodes de calculs des émissions de GES, a permis d'établir les scénarios en considérant l'étude sur le coût de production de veaux d'embouche du Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA, 2016) pour l'année 2015, et le guide des aménagements alternatifs en production bovine (FPBQ et MAPAQ, 2014). Il fallait également s'assurer que les scénarios respectent le Règlement sur les exploitations agricoles (REA).

Deux scénarios de base (voir Annexe-Figure-1 et Figure-2) dans deux régions agricoles du Québec (Bas-St-Laurent et Estrie) ayant des conditions climatiques différentes (voir Annexe-Tableau-1) ont été définis, soit :

- Un scénario de référence, consistant en un élevage traditionnel en bâtiment avec entreposage étanche des fumiers, et
- Un scénario alternatif, consistant en un aménagement avec enclos d'hivernage et stockage de fumier en amas au champ.

Dans chaque région, un questionnaire a été conçu afin de compiler les informations concernant la régie d'élevage, l'alimentation et les terres en culture et en pâturage. Ensuite, des échantillons d'aliments et de déjections fraîches ont été prélevés pour des fins d'analyse au laboratoire d'analyses agroenvironnementales de l'IRDA ainsi qu'au laboratoire de Valacta (Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec).

Calcul des émissions

Pour les émissions de fermentation entérique, les facteurs d'émissions (FE), l'énergie brute (EB), le facteur de conversion du méthane (Y_m), l'énergie nécessaire à la survie et à l'activité de l'animal (EN_s , EN_a), l'énergie nette nécessaire à la croissance (EN_{Cce}), l'énergie nette nécessaire à la lactation et la gestation (EN_l , EN_g) ont été calculés selon l'approche Tiers 2 du GIEC (2006) adapté pour les conditions du Canada (Environment and Climate Change Canada, 2017) et des valeurs de L'énergie digestible (TDN) analysée au laboratoire de VALACTA pour chaque aliment (équations de 1 à 9). L'énergie digestible (DA) a été calculée pour chaque catégorie d'animaux (vaches, veaux et génisses) et pour chaque région selon la proportion des aliments composant le régime alimentaire. TES est le taux d'énergie nette disponible dans l'alimentation pour la survie par rapport à l'énergie digestible consommée, alors que TEC est le taux d'énergie nette dans l'alimentation disponible à la croissance par rapport à l'énergie digestible consommée.

La méthodologie de Tiers 2 du GIEC a été aussi utilisée pour calculer les émissions de GES de la gestion du fumier, soient les émissions de CH_4 (Équation 10), de N_2O directes (Équation 11 et 12) et de N_2O indirectes (Équation 13 et 14). Les équations (1 à 14) ainsi que les méthodes de calcul des émissions provenant des pâturages et de l'épandage sont présentées en annexe.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS (Maximum 3 pages)

Les résultats détaillés d'analyse de la diète, le calcul des facteurs d'émissions de CH_4 , de N_2O (directes et indirectes) au niveau pâturages et de l'épandage ainsi que les volumes de fumier et ses caractéristiques pour chaque scénario et par région choisie (Bas-St-Laurent et l'Estrie) sont présentés en annexe.

Sommaire des résultats des émissions de GES

Les émissions de GES ont été rapportées en $kg\ CO_2e\ kg^{-1}_{veau\ vendu}$ considérant que 97 veaux sont vendus par année. Les émissions sont plus élevées dans le scénario alternatif que dans le scénario de référence. La différence est de $2,07\ kg\ CO_2e\ kg^{-1}_{veau\ vendu}$ au Bas-St-Laurent et de $1,65\ kg\ CO_2e\ kg^{-1}_{veau\ vendu}$ en Estrie (Tableau1 et figures 1, 2, 3, 4). Lorsque combinées, les émissions de la gestion du fumier sont plus faibles dans le scénario alternatif que dans le scénario de référence. Cependant, les émissions de la fermentation entérique, principale source d'émissions, sont plus élevées dans le scénario alternatif, car les animaux passent plus de temps à l'extérieur et ont conséquemment un besoin en énergie brute plus élevé. De

plus, les émissions de l'épandage (opérations culturales et sols) et de la déposition des déjections en pâturage sont plus élevées dans le scénario alternatif. Cela est principalement dû à une gestion moins efficace des déjections en tant que fertilisant comparativement au scénario de référence. En effet, dans le scénario d'élevage en bâtiment avec une gestion étanche des fumiers, aucun nutriment n'est ruisselé, que ce soit au pâturage et dans une bande végétative filtrante. Cela permet une fertilisation optimale des terres pour la production de fourrage.

Tableau 1. Émissions de GES des scénarios (kg CO₂e par kg de veau vendu par an)

	Scénario de référence		Scénario alternatif	
	Bas-St-Laurent	Estrie	Bas-St-Laurent	Estrie
Fermentation entérique	10.40	10.02	11.95	11.26
Gestion du fumier (CH₄)	0.595	0.495	0.592	0.470
Gestion du fumier (N₂O - directes)	1.238	1.055	1.052	0.897
Gestion du fumier (N₂O - indirectes)	0.232	0.198	0.197	0.168
Pâturage (N₂O)	0.462	0.551	0.559	0.619
Épandage et sols (directes et indirectes)	2.517	2.713	3.171	3.265
Total	15.45	15.03	17.52	16.68

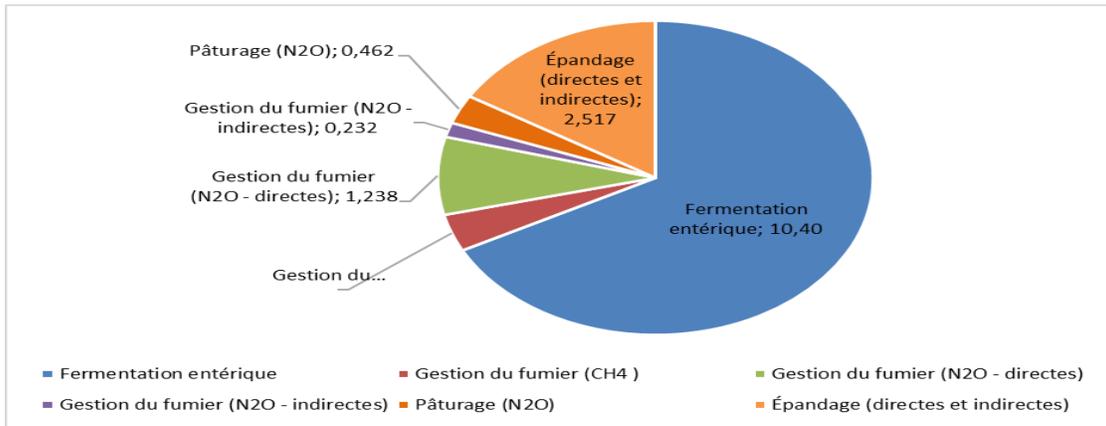


Figure1. Sources d'émissions de GES du scénario de référence – Bas-St-Laurent

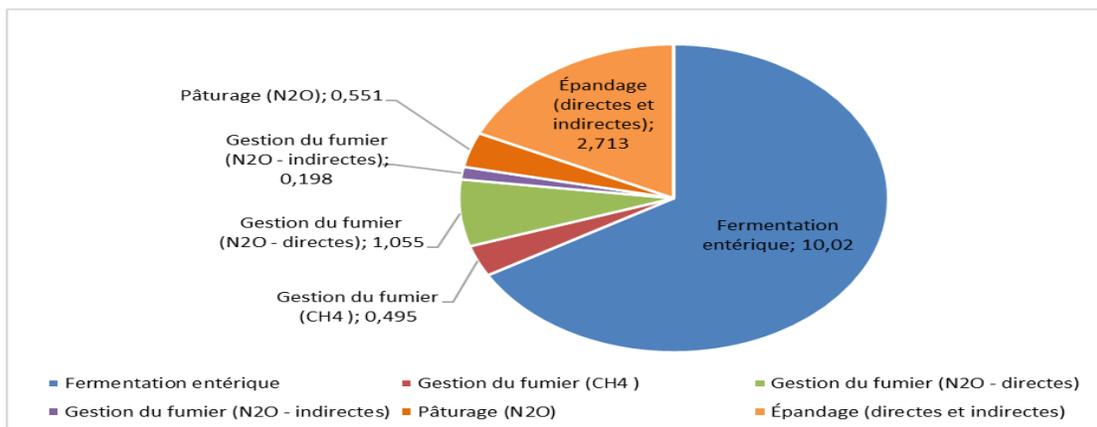


Figure2. Sources d'émissions de GES du scénario de référence – Estrie

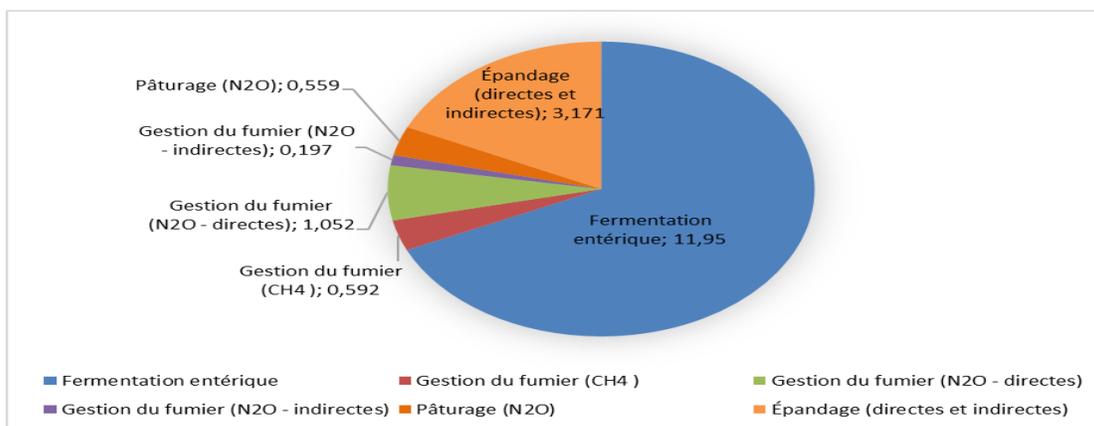


Figure3. Sources d'émissions de GES du scénario alternatif – Bas-St-Laurent

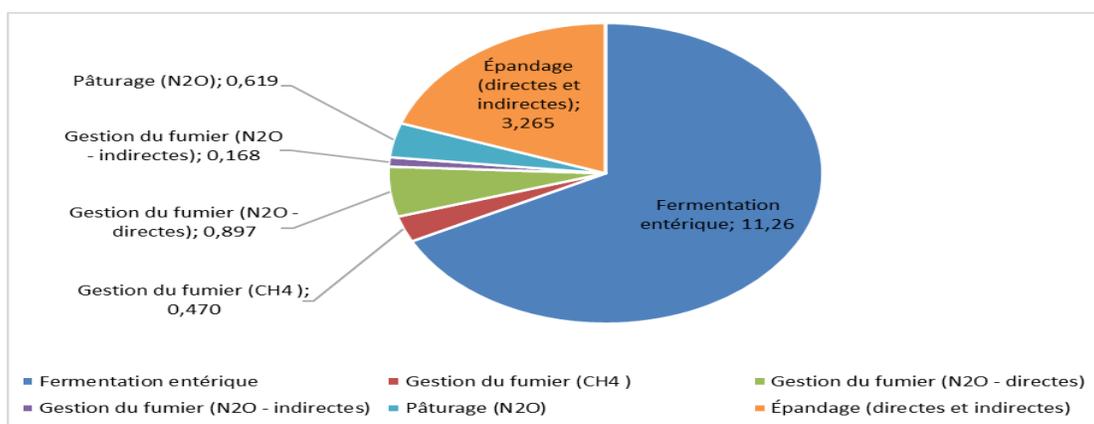


Figure4. Sources d'émissions de GES du scénario alternatif –Estrie

Concrètement, l'alimentation est la clé afin de réduire les émissions de la fermentation entérique, qui est la source d'émissions de GES la plus importante. Un régime alimentaire ayant une digestibilité plus élevée, contenant par exemple plus de légumineuses et de maïs ensilage, permet de réduire les émissions de CH₄. Une gestion du fumier en structure étanche permet une valorisation optimale du fumier en tant qu'engrais. Quoiqu'il en soit, les émissions sont généralement plus élevées pour un scénario en enclos d'hivernage, l'amélioration de l'aménagement des enclos permettrait de réduire l'impact environnemental de cette pratique afin que les émissions de GES se rapprochent de celles d'un aménagement traditionnel en bâtiment avec structure d'entreposage étanche. L'ajout d'un biofiltre ou d'un bassin de sédimentation pour réduire la charge fertilisante du liquide dirigé vers la BVF, ainsi que l'ajout d'une toiture afin de couvrir l'aire d'alimentation permettrait de réduire les pertes d'azote dans l'environnement.

Scénario alternatif amélioré

Lors des essais réalisés dans les enclos d'hivernage sur la ferme expérimentale de l'IRDA à Deschambault en 2013, la teneur en azote et en phosphore de l'eau de ruissellement en aval des enclos d'hivernage a été abaissée de 78% et 68%, respectivement par l'ajout d'un biofiltre (Pelletier et al., 2014). Ainsi, les calculs d'émissions de GES du sol ont été refaits pour un scénario alternatif dans lequel un biofiltre aurait été ajouté en amont de la bande végétative filtrante (BVF). Les émissions de la catégorie *Épandage et sols* sont ainsi réduites

de 0,37 et 0,35 kg CO₂e kg⁻¹_{veau vendu} au Bas-St-Laurent et en Estrie, respectivement. Cela correspond à une réduction des émissions de GES dans la BVF causée par une réduction de la teneur en azote du liquide ruisselé. Les émissions globales s'élèvent donc à 17,15 et 16,34 kg CO₂e kg⁻¹_{veau vendu} an⁻¹ pour le Bas-St-Laurent et l'Estrie, respectivement.

Le fait de couvrir l'aire d'alimentation permettrait également de réduire le lessivage. Ainsi, le fumier géré des enclos d'hivernage pourrait avoir des concentrations plus élevées en éléments nutritifs, permettant d'optimiser la fertilisation des cultures en foin et de réduire les besoins en engrais supplémentaires.

DIFFUSION DES RÉSULTATS (Maximum de ½ page)

Les résultats ont fait l'objet d'une présentation orale dans le cadre de conférence internationale CSBE/SCGAB 2018 à Guelph. Une deuxième participation par présentation orale sera faite au congrès international annuel ASABE 2019 à Boston.

De plus, un article scientifique est en cours de rédaction, un article de vulgarisation sera publié au cours de 2019 et une fiche résumée sera publiée sur le site internet de l'IRDA en février 2019.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE (Maximum de ½ page)

Les nouvelles connaissances apportées par ce projet permettent une meilleure identification des éléments affectant les émissions de GES en production bovine au Québec et offrent aux producteurs voulant améliorer le bilan environnemental de leur production, des pistes de solutions pour les réduire en utilisant une approche rationnelle afin d'assurer une meilleure protection de l'environnement ainsi qu'une durabilité de leurs fermes. En effet, les informations obtenues par la réalisation de ce projet permettent aux dirigeants de la Fédération des producteurs de bovins : (1) d'aider les producteurs dans le choix et le développement de leur production, (2) de réduire les émissions dans l'environnement en ciblant les scénarios respectant le concept d'agriculture durable et (3) de permettre aux producteurs de bovins de présenter leurs progrès environnementaux d'une façon quantifiée.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Stéphane Godbout : Courrier électronique : stephane.godbout@irda.qc.ca;
Adresse : IRDA, 2700 rue Einstein, Québec, Québec, G1P 3W8;
Téléphone : 418 643-2380, 600

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé en vertu du volet 4 du programme Prime-Vert 2013-2018 et il a bénéficié d'une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) par l'entremise du Fonds vert. Des remerciements s'adressent également à l'IRDA qui a fourni une contribution importante dans le cadre de cette étude. Les auteurs remercient également les participants du projet et reconnaissent également l'appui technique fourni par le personnel de recherche de l'IRDA.

ANNEXE(S)

Revue de littérature

Afin d'atteindre le premier objectif, les moteurs de recherche des différentes bases de données scientifiques ont été consultés. Quelques articles présentant des études d'analyse de cycle de vie en production de bovins de boucherie ont été identifiés et les données d'émissions ont été compilées variant de 10,1 à 23,9 kgCO₂ e / kg veau (élevage vache-veau) De plus, les méthodes de calculs utilisées pour évaluer les émissions de GES liées à la production des aliments (foin et grains), à la fermentation entérique des animaux et à la gestion et l'épandage des fumiers ont été identifiées. Les équations proviennent principalement de la documentation publiée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2006). Quelques études ont permis de déterminer les émissions de GES des élevages de bovins de boucherie. Cependant, l'unité fonctionnelle et les limites du système sont souvent différentes d'une étude à l'autre.

Caractéristiques de base de chaque scénario

Scénario de référence – Élevage traditionnel en bâtiment

Dans ce scénario, l'élevage se fait dans un bâtiment avec plancher pavé et murets. Le fumier solide est accumulé dans l'aire d'élevage et dans une structure d'entreposage étanche avec toiture. L'étable est subdivisée en une aire d'alimentation avec ajout de litière grattée hebdomadairement, et une aire de couchage avec litière accumulée. La quantité de litière ajoutée est de 3,6 kg par vache-jour et 1 kg par veau-jour.



Figure1. Élevage de vaches veaux en bâtiment

Scénario alternatif – Aménagement avec enclos d'hivernage

La charge de phosphore théorique est de 3 200 kg P₂O₅, soit 117 vaches-veau x 27,4 kg P₂O₅/an/vache-veau. L'enclos d'hivernage est conçu selon les règles administratives fondées sur des critères de conception et de localisation pour les petites entreprises agricoles en fonction des seuils d'assujettissement au REA, pour une charge de 1 600 à 3 200 kg de P (FPBQ et MAPAQ, 2014).



Figure2. Élevage de vaches-veaux en enclos d'hivernage

L'enclos d'hivernage d'une superficie de 100 m²/vache-veau est composé d'une aire d'élevage sur sol naturel et d'une aire d'élevage à portance améliorée (15 m²/vache-veau), tel que spécifié dans le Guide des aménagements alternatif en production bovine (FPBQ et MAPAQ, 2014). La durée de séjour dans l'enclos est généralement de 180 jours mais peut varier selon les régions. Les animaux seront confinés à l'aire d'élevage à portance améliorée aux période critiques à l'automne et au printemps, soit de 60 à 90 jours. Une quantité de 3 kg d'absorbant (refus de foin dans les enclos, litière) vache⁻¹ jour⁻¹ et 1 kg veau⁻¹ jour⁻¹, dans les aires d'alimentation et de couchage, est considérée satisfaisante. Une bande végétative filtrante de 132 m² vache-veau⁻¹ recueille le liquide lixivié de l'enclos d'hivernage.

Variantes régionales

Environ 64% des sites d'élevage de vaches-veaux de la province sont situés dans cinq régions, soit Chaudière-Appalaches (18%), l'Estrie (15%), l'Outaouais (13%), le Centre-du-Québec (10%) et le Bas-St-Laurent (8%). Chaque scénario a été étudié pour deux régions ayant des conditions climatiques différentes influençant le type d'alimentation, les cultures et les périodes d'épandage. L'Estrie et le Bas-St-Laurent ont donc été sélectionnées.

Tableau A1. Variantes climatiques pour les deux régions à l'étude

	Bas-St-Laurent	Estrie
Température moyenne (hiver)	-6 °C	-1,7 °C
Période au pâturage	Mi-mai à mi-octobre (5 mois)	1 ^{er} mai au 31 octobre (6 mois)
Alimentation	Fléole des prés et brome (1 ^{re} coupe, sec)	Fléole des prés (1 ^{re} coupe)
	Trèfle, Fléole des prés et brome (1 ^{re} coupe, ensilage)	Fléole des prés (2 ^e coupe)
		Maïs ensilage
	Avoine (veaux et génisses)	Grains (mélange maïs, avoine et orge (veaux)
	Pâturage	Pâturage
Type de sol	Loam	Loam sableux

Méthodes de calcul des émissions provenant de :

Pâturages

Les émissions de N₂O au pâturage et dans les enclos d'hivernages (15% des déjections qui ne sont pas gérées en amas au champs) ont été calculées selon la méthodologie spécifique au pays présentée dans le rapport d'inventaire national (Environment and Climate Change Canada, 2017). Elles incluent les émissions directes de N₂O causées par la déposition d'urine et de fèces, ainsi que les émissions indirectes causées par la lixiviation et la volatilisation de l'azote.

Épandage

Volumes de fumier

Un scénario d'épandage a été défini pour chacun des scénarios et leurs variantes régionales. Tout d'abord, les volumes de fumier à épandre ont été évalués. Ces derniers incluent la production de déjections estimée à partir de la fiche Déjections animales – production (Brassard et al., 2012) pour les vaches de boucherie de 600kg, les veaux et les génisses, ainsi que la quantité de litière utilisée. 85% des déjections produites en enclos d'hivernage sont considérées (portion de l'enclos gratté dans les aires de couchage et d'alimentation). Les déjections produites au pâturage ne sont donc pas considérées. Dans le scénario de référence, tout le fumier produit est entreposé dans une structure étanche couverte puis épandu au champ dans les cultures de foin.

Dans le scénario alternatif, un volume de liquide lixivié a été estimé. Ce liquide est dispersé directement dans une bande végétative d'une superficie de 132 m² par vache-veau. Le volume de liquide lixivié a été calculé à partir de la teneur en eau de l'amas de fumier échantillonné sur le terrain et de la teneur en eau calculée théoriquement. En d'autres termes, le volume d'eau devant être retiré pour faire passer le fumier de la teneur en eau théorique à la teneur en eau réel des amas de fumier a été évalué. Le volume de fumier épandu est donc égal au volume de fumier total théorique moins le volume de liquide excédentaire lixivié

Caractérisation des fumiers

La valeur agronomique a été estimée à partir des échantillons prélevés sur les fermes types. Ainsi, la caractérisation d'amas au champ a été réalisée à la ferme type du Bas-St-Laurent alors que la caractérisation du fumier entreposé a été réalisée à la ferme type en Estrie. La composition chimique de ce liquide lixivié a été jugée équivalente à la composition chimique du liquide échantillonné au fond de la fosse d'entreposage étanche.

Émissions de GES des opérations culturales

La méthodologie utilisée pour calculer la consommation de carburant dû aux opérations culturales est basée sur les équations présentées dans les deux standards suivants produits par l'ASABE : Agricultural Machinery Management Data (ASA D497.7 MAR2001; ASABE, 2011) et Agricultural Machinery Management (ASA EP496.3 FEB2006; ASABE, 2006). La méthodologie consiste à déterminer, en fonction du tracteur et de l'équipement sélectionnés, la puissance nécessaire pour effectuer une opération. La puissance est par la suite utilisée pour calculer la consommation de carburant ainsi que les émissions de GES associés à une opération. Le facteur d'émissions de la combustion du diesel est de 2733 g CO₂e L⁻¹ (Baker et al., 2015) et celui de la fabrication et du transport du diesel est de 702 g CO₂e L⁻¹ (Lattanzio, 2014).

Équations utilisées (la méthodologie de Tiers 2 du GIEC)

$$FE \text{ kg } CH_4/\text{tête}/\text{an} = \frac{EB \times \left(\frac{Y_m}{100}\right) \times 365}{55.65} \quad (1)$$

$$EB \text{ (MJ } day^{-1}) = \left[\frac{EN_s + EN_a + EN_l + EN_{travail} + EN_g}{TES} + \frac{EN_{CCE}}{TEC} \right] \left/ \left(\frac{DA}{100} \right) \right. \quad (2)$$

$$EN_s \text{ (MJ } jour^{-1}) = \left[(Cf_i + 0.0048 \times (20 - ^\circ C)) \times poids^{0.75} \right] \quad (3)$$

$$EN_a \text{ (MJ } jour^{-1}) = C_a \times EN_s \quad (4)$$

$$EN_{CCE} \text{ (MJ } jour^{-1}) = 22.02 \times \frac{PV^{0.75}}{C \times PM} \times PP^{1.097} \quad (5)$$

$$EN_l \text{ (MJ } jour^{-1}) = \text{lait} \times (1.47 + 0.40 * \text{gras}) \quad (6)$$

$$EN_g \text{ (MJ } jour^{-1}) = C_{gestation} \times EN_s \quad (7)$$

$$TES = \left[1.123 - (4.092 \times 10^{-3} \times DA\%) + [1.126 \times 10^{-5} \times (DA\%)^2] - \left(\frac{25.4}{DA\%} \right) \right] \quad (8)$$

$$TEC = \left[1.164 - (5.160 \times 10^{-3} \times DA\%) + [1.308 \times 10^{-5} \times (DA\%)^2] - \left(\frac{37.4}{DA\%} \right) \right] \quad (9)$$

$$EF \text{ (kg } CH_4/\text{tête}/\text{an}) = VS \times M_{ex} \times 365 \times B_{o_T} \times 0.67 \text{ kg}/\text{m}^3 \times MCF \times AWMS \quad (10)$$

$$EF \text{ (kg } N_2O/\text{head}/\text{year}) = N_{ex} \times EF_{AWMS} \times \left(\frac{44}{28} \right) \quad (11)$$

$$N_{ex} = M_{ex} \times N \times 365 \quad (12)$$

$$FE \text{ (kg } N_2O/\text{tête}/\text{an}) = N_{volatilisation} \times FE_4 \times \frac{44}{28} \quad (13)$$

$$FE \text{ (kg } N_2O/\text{tête}/\text{an}) = N_{lessivage} \times FE_5 \times \frac{44}{28} \quad (14)$$

Émissions de GES des sols fertilisés

L'épandage du fumier se fait sur 100 hectares cultivés en foin. Dans le scénario de référence au bas-St-Laurent, les doses correspondantes d'azote (N), de phosphore (P₂O₅) et de potassium (K₂O) appliquées sont de 54,7, 27,2 et 79,1 kg ha⁻¹, respectivement. Dans les autres scénarios, une certaine quantité d'engrais de synthèse doit être appliquée afin d'atteindre la quantité de N et de P du scénario de référence au Bas-St-Laurent.

Les émissions de N₂O reliées à l'épandage d'engrais organiques et d'engrais minéraux sont calculées à l'aide de la méthodologie présentée par Rochette et al. (2008). Le total des émissions inclut les émissions directes suite à l'épandage des engrais et la décomposition

des résidus de récolte ainsi que les émissions indirectes suite à la volatilisation et redéposition de l'azote et suite au lessivage et ruissellement de l'azote.

Résultats

1.1 Émissions de GES

1.1.1 Fermentation entérique

Composition de la diète

Dans un premier temps, la proportion des différents aliments composant la diète a été estimée à partir des informations partagées par les producteurs des fermes types de chaque région (Tableau A1). La caractérisation de chaque aliment a permis d'évaluer la digestibilité de la diète (DA; Tableau A2). DA est une variable importante entrant dans le calcul de l'énergie brute consommée (Tableau A3). Enfin, l'apport alimentaire (kg MS tête⁻¹ jour⁻¹) a été calculée en divisant l'énergie brute consommée (MJ jour⁻¹) par la teneur en énergie brute des aliments (MJ kg⁻¹_{M.S.}).

Tableau A1. Composition de la diète

	Vaches		Veaux		Génisses	
	Proportion	Quantité kg MS tête jr ⁻¹	Proportion	Quantité kg MS tête jr ⁻¹	Proportion	Quantité kg MS tête jr ⁻¹
Bas-St-Laurent						
Fléole des prés, brome (sec)	58,6%	8,66	13,4%	0,24	54,3%	6,35
Trèfle, fléole des prés, brome (ensilage)	20,5%	3,03	4,7%	0,08	19,0%	2,22
Avoine	--		77,1%	1,37	7,5%	0,87
Pâturage	20,8%	3,08	4,8%	0,09	19,3%	2,25
Estrie						
Fléole des prés, 1 ^{re} coupe	26,6%	3,47	15,9%	0,25	24,5%	2,58
Fléole des prés (2 ^e coupe)	23,4%	3,05	13,9%	0,25	21,5%	2,27
Maïs ensilage	12,5%		--	0,85	11,5%	0,85
Grains (maïs, avoine, orge)	--	5,54	47,6%	0,40	8,1%	3,64
Pâturage	37,5%	1,63	22,4%		34,5%	1,22

Tableau A2. Caractéristiques principales de la diète

	Unité	Vaches	Veaux	Génisses
Bas-St-Laurent				
Digestibilité (DA)	%	61,9	75,2	63,1

Teneur en énergie brute	MJ kg ⁻¹ _{M.S.}	16,2	16,5	16,2
Estrie				
Digestibilité (DA)	%	61,9	75,2	63,1
Teneur en énergie brute	MJ kg ⁻¹ _{M.S.}	16,2	16,5	16,2

Facteurs d'émissions

Les facteurs d'émissions (Tableau A3) ont été calculés à partir de l'équation 1. Plus les besoins en énergie brute sont élevés, plus le facteur d'émissions de CH₄ est grand. Comme les animaux passent l'hiver à l'extérieur en enclos d'hivernage dans le scénario alternatif, leur besoin en énergie nette nécessaire à la survie sera plus élevé en raison du froid et l'énergie nette nécessaire aux activités est plus élevée car les animaux se déplaceront plus en espace non confiné. Le facteur d'émissions de la fermentation entérique est conséquemment plus élevé pour chaque catégorie d'animaux dans ce scénario que dans le scénario de référence. De la même façon, comme la température moyenne hivernale est plus faible au Bas-St-Laurent qu'en Estrie, le facteur d'émission est plus élevé dans la région plus au nord. Le facteur d'émission des veaux est relativement faible car ces derniers nécessitent moins d'énergie et consomment une partie de leur énergie sous forme de lait et de grains qui ont une digestibilité plus élevée.

Tableau A3. Demande en énergie brute et facteurs d'émissions de CH₄ de la fermentation entérique

	Énergie brute consommée	Facteur d'émission
	MJ jour ⁻¹	kg CH ₄ animal ⁻¹ an ⁻¹
Scénario de référence		
Bas-St-Laurent		
Vaches	216	92.1
Veaux	109	21.3
Génisse	177	75.6
Estrie		
Vaches	208	88.6
Veaux	112	21.9
Génisse	169	71.9
Scénario alternatif		
Bas-St-Laurent		
Vaches	250	106.7
Veaux	121	23.7
Génisse	202	86.2
Estrie		
Vaches	235	100.3
Veaux	123	24.0
Génisse	189	80.5

1.1.2 Gestion du fumier

Émissions de CH₄

Le principal facteur influençant les émissions de CH₄ de la gestion des fumiers est la quantité d'azote excrétée annuellement par les animaux. Comme la teneur en solides volatils (SV)

des fèces mesurées à la ferme du Bas-St-Laurent est légèrement plus élevée, le facteur d'émission de CH₄ est plus élevé en Estrie. Également, le facteur de conversion en méthane (FCM) est plus élevé pour la gestion solide du fumier (2%) que pour la gestion au pâturage. Comme les animaux sont plus longtemps au pâturage en Estrie, cela contribue à réduire le facteur d'émission dans cette région (Tableau A5). De plus, comme 15% des déjections ne sont pas gérées et demeurent au sol dans le scénario alternatif avec enclos d'hivernage, les émissions de ce scénario sont également plus faibles que pour le scénario de référence.

Tableau A4. Principales caractéristiques des déjections échantillonnées

		Bas-St-Laurent	Estrie
M.S.	%	14,6	12,9
N total	mg kg ⁻¹	3281	3263
M.O.	%	88,1	87,9
S.V.	%	12,9	11,3
N-NH₄	mg kg ⁻¹	524,8	151,3
P	mg kg ⁻¹	576,5	1200,3
K	mg kg ⁻¹	2176,5	1353,3
Ca	mg kg ⁻¹	2837,8	2298,3
Mg	mg kg ⁻¹	658,5	843,3
Na	mg kg ⁻¹	88,6	208,7

Tableau A5. Facteurs d'émissions de CH₄ de la gestion des fumiers (kg CH₄ animal⁻¹ an⁻¹)

	Vaches	Veaux	Génisses
Scénario de référence			
Bas St-Laurent	4.330	1.493	2.757
Estrie	3.598	1.241	2.290
Scénario Alternatif			
Bas St-Laurent	4.091	1.686	3.112
Estrie	3.418	1.179	2.176

Émissions de N₂O (directes)

Les émissions de N₂O de la gestion du fumier (Tableau A7) dépendent de la quantité d'azote excrétée annuellement (Tableau A8) calculée à partir de la teneur en azote des déjections (Tableau A4) et du volume de déjection produites par classe d'animaux (Brassard et al., 2012). La teneur en azote mesurée est cependant plus faible que la valeur de référence du CRAAQ qui est de 4800 mg N_{total} kg⁻¹ et que les valeurs proposées par le GIEC (2006). Ainsi, les émissions de N₂O pourraient être légèrement sous-estimées si les valeurs plus faibles considérées dans ce projet sont dues à des erreurs de manipulation lors de l'échantillonnage des déjections.

Tableau A6. Excrétion d'azote calculées selon la teneur en azote mesurée et le volume de déjections (kg_N animal⁻¹ an⁻¹)

	Vaches	Veaux	Génisses
Bas St-Laurent	51,9	17,9	33,0

Estrie	51,6	17,8	32,9
---------------	------	------	------

Tableau A7. Facteurs d'émissions directes de N₂O de la gestion des fumiers (kg N₂O animal⁻¹ an⁻¹)

	Vaches	Veaux	Génisses
Scénario de référence			
Bas St-Laurent	0,952	0,328	0,606
Estrie	0,811	0,280	0,516
Scénario Alternatif			
Bas St-Laurent	0,809	0,279	0,515
Estrie	0,689	0,238	0,439

Émissions de N₂O (indirectes)

Les émissions indirectes de N₂O causées par la gestion du fumier proviennent de la lixiviation et de la volatilisation de l'azote. Elles sont donc proportionnelles à l'excrétion annuelle d'azote (Tableau A6) et sont conséquemment élevées au Bas-St-Laurent qu'en Estrie et plus élevées dans le scénario de référence que dans le scénario alternatif.

Tableau A8. Facteurs d'émissions indirectes de N₂O de la gestion des fumiers (kg N₂O animal⁻¹ an⁻¹)

	Vaches	Veaux	Génisses
Scénario de référence			
Bas St-Laurent	0,143	0,049	0,091
Estrie	0,122	0,042	0,077
Scénario Alternatif			
Bas St-Laurent	0,121	0,042	0,077
Estrie	0,103	0,036	0,066

1.1.3 Pâturages

Les émissions de N₂O des pâturages (Tableau A9) sont plus élevées en Estrie car les animaux y passent plus de temps (6 mois vs 5 mois au Bas-St-Laurent).

Tableau A9. Facteurs d'émissions indirectes de N₂O de la gestion des fumiers (kg N₂O animal⁻¹ an⁻¹)

	Vaches	Veaux	Génisses
Scénario de référence			
Bas St-Laurent	0,211	0,073	0,134
Estrie	0,251	0,087	0,160

Scénario Alternatif			
Bas St-Laurent	0,255	0,088	0,162
Estrie	0,289	0,100	0,184

1.1.4 Épandage

Scénarios agronomiques

Les quantités de fumier produites pour chaque scénario sont présentées au tableau A10. Plus de fumier doit être épandu dans le scénario de référence car tout le liquide est conservé dans la structure d'entreposage étanche. Dans le scénario de référence, une certaine quantité de liquide perdu par ruissellement et lixiviation a été estimée à 388 t an⁻¹ au Bas-St-Laurent, et 325 t an⁻¹ en Estrie.

La quantité de fumier produite au Bas-St-Laurent est également plus élevée au Bas-St-Laurent qu'en Estrie, car les animaux y passent plus de temps en espace confiné (enclos d'hivernage) dans lequel le fumier est géré, contrairement au pâturage.

Tableau A10. Volumes de fumier

	Bas-St-Laurent		Estrie	
	Masse (t an ⁻¹)	TEE (%)	Masse (t an ⁻¹)	TEE (%)
Scénario de référence				
Déjections vaches	1079,5	90,2	925,3	90,2
Déjections veaux	154,3	89,4	110,2	89,4
Déjections génisses	52,9	90,8	45,3	90,8
Litière vaches	89,7	3,5	76,9	3,5
Litière veaux	10,3	3,5	7,4	3,5
Litière génisses	4,0	3,5	3,4	3,5
Fumier à épandre	1390,7	83,6	1168,5	83,6
Scénario Alternatif				
Déjections vaches	917,6	90,2	786,5	90,2
Déjections veaux	131,1	89,4	93,7	89,4
Déjections génisses	44,9	90,8	38,5	90,8
Litière vaches	74,7	3,5	64,1	3,5
Litière veaux	10,3	3,5	7,4	3,5
Litière génisses	4,0	3,5	3,4	3,5
Total (production)	1182,7	83,6	993,6	83,6
Liquide excédentaire	388,0		325,0	
Fumier à épandre	794,7	75,6	668,6	75,6

Afin d'établir des scénarios agronomiques, le fumier épandu a été caractérisé (Tableau A11). Pour ce qui est du scénario de référence, la caractérisation a été effectuée dans la fosse étanche couverte de la ferme type en Estrie. Dans le scénario alternatif, deux amas de fumier au champ ont été caractérisés à la ferme type du Bas-St-Laurent. Enfin, les caractéristiques de la phase liquide ruisselée du scénario alternatif correspondent à la caractérisation de liquide dans la fosse étanche.

Tableau A11. Caractérisation des fumiers

	Base	Unité	Référence (fumier) ¹	Alternatif (amas) ²	Alternatif (liquide) ³
pH	H		8,24	8,80	7,47
N Total	H	mg kg ⁻¹	3932,3	4770,0	3195,0
N-NH₄	H	mg kg ⁻¹	660,73	338,50	934
P	H	mg kg ⁻¹	854,15	987,00	219
P₂O₅	H	%	0,20	0,23	0,050151
K	H	mg kg ⁻¹	4723	4083	4285
K₂O	H	%	0,57	0,49	0,5163425
Ca	H	mg kg ⁻¹	1667	3431	757
Mg	H	mg kg ⁻¹	653	860	266
Na	H	mg kg ⁻¹	221,2	225,00	159
Mat. Sèche	H	%	18,06	24,00	3,13
Cendres	S	%	29,24	31,00	35,4
M.O	S	%	70,76	69,05	64,6
C.O (1.724)	S	%	41,08	40,05	37,5
C.O (2.00)	S	%	35,41	34,50	32,3
C/N (1.724)	S		18,17	20,05	3,67
C/N (2.00)	S		15,63	17,30	3,16
NTK B.S.	S	%	4,45	2,02	10,2
Densité (labo)	H	kg m ⁻³	892,0	736,0	1010,0
Densité (chaudière)	H	kg m ⁻³	851,5	763,0	1000,0

¹ Calculé à partir de la composition du solide (68%) et du liquide (32%) à la ferme type d'Estrie. ² Moyenne de 2 échantillons provenant d'amas au champ à la ferme type au Bas-St-Laurent. ³ Liquide échantillonné dans la fosse de la ferme type d'Estrie.

Les scénarios agronomiques ont été conçu afin de fertiliser 100 hectares d'une culture de foin (Tableau A12). Cependant, tout le liquide lixivié des aires d'hivernage est Considérant un rendement moyen de 4,8 t MS ha⁻¹, 480 t MS sont produit par an. Dans le scénario de référence au Bas-St-Laurent, seul le fumier est suffisant pour combler les doses d'éléments nutritifs à combler qui ont été fixées et qui sont comparables aux doses appliquées chez les producteurs types (environ 27 kg P₂O₅ ha⁻¹ et 55 kg N ha⁻¹).

Tableau A12. Scénarios agronomiques

	Dose t ha ⁻¹	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	K ₂ O (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	Superficie (ha)
Scénario de référence					
Bas-St-Laurent					
Fumier	13,91	27,20	79,14	54,68	100,0
Estrie					
Fumier	11,68	22,9	66,5	45,9	100,0

Engrais (5-3-3)	0,175	5,2	5,2	8,74	100,0
Scénario alternatif					
Bas-St-Laurent					
Fumier	8,07	18,2	39,7	38,50	98,5
Engrais (5-3-3)	0,324	9,7	9,7	16,18	98,5
Liquide (BVF)	251,9	126,4	1300,9	804,97	1,5
Estrie					
Fumier	6,79	15,3	33,4	32,39	98,5
Engrais (5-3-3)	0,446	13,4	13,4	22,29	98,5
Liquide (BVF)	211,0	105,8	1089,7	674,27	1,5

Émissions de GES

Les émissions de GES de l'épandage des fertilisants (Tableau A13) sont plus élevées dans le scénario alternatif que dans le scénario de référence. De plus, les émissions sont légèrement plus élevées en Estrie qu'au Bas-St-Laurent. Les émissions sont donc les plus faibles dans le scénario de référence en Estrie car la quantité de fumier suffit pour combler les besoins en fertilisants.

Tableau A13. Émissions de GES de l'épandage (kg CO₂e an⁻¹)

	Scénario de référence		Scénario alternatif	
	Bas-St-Laurent	Estrie	Bas-St-Laurent	Estrie
Fabrication de machinerie	448,4	458,3	451,3	451,3
Fabrication du diesel	435,1	483,4	460,2	454,9
Fabrication des fertilisants	-	711,9	1298,9	1789,2
Combustion du diesel	1694,1	1882,0	1791,6	1771,1
Épandage des fertilisants (N ₂ O du sol)	71 657,7	76 503,7	89 525,9	91 832,9
Total	74 235,5	80 039,3	93 527,9	96 299,4

Références citées dans le présent rapport

Baker, L. H., Collins, W. J., Olivie, D. J. L., Cherian, R., Hodnebrog, O., Myhre, G., & Quaas, J. (2015). Climate responses to anthropogenic emissions of short-lived climate pollutants. *Atmospheric chemistry and Physics*, 15 (14), 8201-8216.

Brassard, P., L. Hamelin, P. Singh et S. Godbout. 2012. Révision de l'AGDEX 538 / 400.27 : Rapport final. [En ligne] : <http://www.irda.qc.ca/fr/Rapports-de-recherche/435>.

- Centre d'études sur les coûts de production en agriculture pour l'année (CECPA). 2016. Sommaire – étude sur le coût de production du secteur, Veaux d'embouche 2015. (En ligne) http://bovin.qc.ca/wp-content/uploads/2017/02/Sommaire_VEE_2015_final.pdf. Page consultée le 30 janvier 2018.
- Environnement Canada. (2015). Rapport d'inventaire national 1990–2013 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada.
- FPBQ et MAPAQ. 2014. Guide des aménagements alternatifs en production bovine : Conception, gestion, suivi. ISBN 978-2-9814504-1-8. 118 pages.
- GIEC. 2006. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Vol. 4, Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- Lattanzio, K. (2014). Canadian Oil Sands: Life-Cycle Assessments of Greenhouse Gas Emissions. Congressional Research Service. p1-32.
- Pelletier, F., S. Godbout, K.H. Sporkmann, H. Georg et L. Belzile. 2014. Amélioration de l'efficacité environnementale des aires d'hivernage : validation d'un nouveau concept. Rapport final IRDA. 55 pages et annexes.
- Rochette, P., D.E. Worth, R.L. Lemke, B.G. McConkey, R.L. Desjardins, E.C. Huffman, D.J. Pennock, J.A. Brierley, J.Y. Yang, S. Gameda, and J.J. Hutchinson. 2008. Emissions of N₂O from Canadian agricultural soils: 1. Development of a country-specific methodology. Can. J. Soil Sci. (in press).

Autres références

- Alemu, A.W., B.D. Amiro, S. Bittman, D. MacDonald, K.H. Ominski. 2017. Greenhouse gas emission of Canadian cow-calf operations
- Appuhamy, J.A.D.R.N., J. France et E. Kebreab. 2016. Models for predicting enteric methane emissions from dairy cows in North America, Europe, and Australia and New Zealand. *Global Change Biology*, 22: 3039-3056.
- Beauchemin, K.A., H.H. Janzen, S.M. Little, T.A. McAllister and S.M. McGinn. 2010. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems*, 103: 371-379.
- Desjardins, R.L., D.E. Worth, X.P.C. Vergé, D. Maxime, J. Dyer et D. Cerkowniak. 2012. Carbon footprint of beef cattle. *Sustainability*, 4 : 3279-3301.
- Johannesson G., Dias G., Young S., Wiens M., Kopp J., & Dadfar H. (2010). LCA of cow-calf production systems in Manitoba, Canada. Presented at CYCLE 2010: From Science to Decision-Making, 4th Canadian Forum on the Life Cycle Management of Products and Services. Montréal, QC, May 4-5, 2010.
- Koch P. et Salou T., 2015. AGRIBALYSE : Rapport Méthodologique – Version 1.2. Mars 2015. Ed. ADEME, Angers, France. 393 p.

Nielson, N.I., H. Volden, M. Akerlind, M. Brask, A.L.F. Hellwing, T. Storlien and J. Bertilsson. 2013. A prediction equation for enteric methane emission from dairy cows for use in NorFor. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, 63-3: 126-130.

Pelletier, N., Pirog, R., & Rasmussen, R. (2010). Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*, 103(6), 380–389.

Vergé, X.P.C., J.A. Dyer, R.L. Desjardins and D. Worth. 2008. Greenhouse gas emissions from Canadian beef industry. *Agricultural Systems*, 98: 126-134.