

# Le diagnostic et la réduction des GES des entreprises agricoles du Bas-Saint-Laurent

## Développement agricole des Basques

Saint-Mathieu-de-Rioux, Bas-Saint-Laurent, Québec, Canada

Date : 2023-02-01



Les auteurs s'efforcent, dans la limite du possible, de faire en sorte que le contenu de cette publication soit exact et à jour, mais ils ne peuvent garantir qu'il soit exempt d'erreur ou d'omission. Les auteurs n'offrent aucune garantie ou déclaration quant à l'exactitude ou l'exhaustivité du contenu du site. Les auteurs se réservent le droit d'en modifier, corriger, supprimer, voire annuler l'information de cette publication, et ce, sans notification préalable. L'information contenue dans cette publication n'est offerte qu'à titre indicatif seulement et doit être traitée comme telle. Les auteurs n'assument aucune responsabilité, que ce soit à la suite d'une erreur ou d'une omission, quant à son contenu ou à son utilisation.

Cette publication peut être reproduite sans autorisation dans la mesure où l'utilisation qu'on en fait respecte les limites d'utilisation équitable tel qu'il est défini dans la Loi sur le droit d'auteur et qu'elle soit faite uniquement aux fins d'étude privée, de recherche, de critique, de compte rendu ou de la préparation d'un résumé destiné aux journaux. Il est nécessaire d'indiquer la source en entier. Toutefois, la reproduction de cette publication en tout ou en partie à des fins commerciales ou de redistribution nécessite l'obtention au préalable d'une autorisation écrite des auteurs.

# LE DIAGNOSTIC ET LA RÉDUCTION DES GES DES ENTREPRISES AGRICOLES DU BAS-SAINT-LAURENT

Pierre-Luc Lizotte, Ph.D., ing., agr. <sup>[a]</sup>

Alyse Grenier-Denis, techn. agr. <sup>[a]</sup>

Charles-Antoine Besner, techn. agr. <sup>[a]</sup>

Gabriel Legaré, B.A. <sup>[a]</sup>

<sup>[a]</sup> Développement agricole des Basques, 701, 3e rang Ouest, Saint-Mathieu-de-Rioux, (Québec, Canada), G0L 3T0, tél.: (418) 476-1143, courriel: dev-agr-basques@mail.com.

## TABLE DES MATIÈRES

Quantification et réduction des émissions de GES de la production laitière, ovine et bovine au Bas-Saint-Laurent.....	3
Introduction.....	3
Matériel et méthode.....	3
Résultats et discussion.....	7
Bilan de la production laitière.....	7
Bilan de la production ovine.....	9
Bilan de la production bovine.....	11
Répartition des émissions des productions animales.....	12
Bilan de la production acéricole.....	13
Applications possibles pour l'industrie.....	15
Fermentation entérique.....	15
Gestion des fumiers.....	16
Sols agricoles.....	17
Utilisation des énergies.....	18
Intrants à la production.....	18
Réduction des GES de la production acéricole.....	19
Conclusion.....	19
Remerciements.....	20
Bibliographie.....	20
Réduction des gaz à effet de serre et Recension des pistes d'interventions.....	25
Introduction.....	25
Matériel et méthode.....	25
Principales sources de GES en production agricole bas-laurentienne.....	26
La fermentation entérique.....	26
Les fumiers.....	26
La gestion des sols.....	27
Les sources d'énergie thermique et mécanique.....	27

Intrants.....	28
Pistes d'interventions.....	28
La fermentation entérique.....	28
Les fumiers.....	29
La gestion des sols.....	30
Les sources d'énergie thermique et mécanique.....	32
Intrants.....	32
Conclusion.....	33
Références.....	33
Aspects économiques de la conversion énergétique.....	39
Conversion de l'évaporateur.....	39
Électrification.....	41
Références.....	42
Remerciements.....	43
Annexe 1.....	44
Annexe 2.....	46

# QUANTIFICATION ET RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GES DE LA PRODUCTION LAITIÈRE, OVINE ET BOVINE AU BAS-SAINT-LAURENT

## INTRODUCTION

Au Québec, l'agriculture est responsable d'environ 10,6 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique (à l'exclusion du changement d'affectation des terres) (MELCCFP, 2022). Ce secteur économique est le troisième plus grand émetteur dominé par les transports (42,8%) et les industries (30,6%). La réduction des émissions est une préoccupation croissante pour les gouvernements et la recherche. Afin de répondre à la demande alimentaire croissante, l'intensification et l'expansion de l'agriculture sont nécessaires. Une gestion réussie des émissions de GES agricoles représente donc un défi substantiel pour le secteur et la communauté scientifique.

Les GES les plus préoccupants sont le méthane ( $\text{CH}_4$ ) et le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), qui ont un potentiel de réchauffement de 27 et 273 fois celui du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) par kg sur une période de 100 ans (équivalent  $\text{CO}_2$  ou éq.  $\text{CO}_2$ ) (Forster *et al.*, 2021). La production de  $\text{CH}_4$  en tant que sous-produit de la fermentation des aliments dans le rumen signifie que la viande rouge a une intensité d'émissions plus élevée qu'une quantité équivalente de viande blanche produite par des monogastriques (Gerber *et al.*, 2013). Alors que le bœuf et le lait ont fait l'objet d'un intérêt considérable de la part des chercheurs, l'empreinte carbone (EC) de la viande ovine est moins documentée dans la littérature scientifique. Or, l'ampleur des émissions de GES des pratiques agricoles, la répartition de ceux-ci ainsi que l'intensité d'émissions de la production ovines sont des informations nécessaires afin d'orienter et faciliter la réduction des GES.

Ainsi, ce projet se compose de deux principaux objectifs, soit 1) de quantifier les émissions de GES provenant d'entreprises laitières, ovines et bovines réparties sur le territoire du Bas-Saint-Laurent et 2) d'évaluer certaines pistes d'intervention pour réduire les émissions de GES des entreprises étudiées. Les résultats découlant de la réalisation de ce projet permettront d'avoir une meilleure connaissance des émissions de GES au Bas-Saint-Laurent et d'établir des stratégies de réduction de GES réalistes et adaptées aux entreprises agricoles de la région.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

De 2020 à 2023, 61 entreprises ont été sondées sur le territoire de la région du Bas-Saint-Laurent (Québec, Canada). Initialement, la collecte de données auprès des entreprises était effectuée en personne. Or, suite à la pandémie de COVID-19 et des restrictions sanitaires imposées, les entreprises étaient invitées à remplir un questionnaire sur internet permettant d'obtenir les informations nécessaires à la quantification des GES. Un exemple de

questionnaire est en ligne à l'adresse : <https://forms.office.com/r/ZkAPy3VVmZ>. Les entreprises étaient contactées par téléphone et par courriel pour toutes informations manquantes ou ambiguës, ainsi que pour la remise du rapport d'émissions de GES agricoles. Suite à celle-ci, les entreprises étaient invitées à discuter des résultats d'émissions et des mesures possibles afin de réduire celles-ci. Un exemple de rapport d'émissions est présenté à l'annexe 1.

La quantification des GES a été effectuée conformément aux normes ISO 14040 et 14044 (ISO, 2006a ; 2006b), en suivant un calcul de niveau 2 et 3 des lignes directrices 2006 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour les inventaires nationaux de GES, du raffinement 2019 de ces protocoles et de la méthodologie du Ministère de l'environnement et des changements climatiques du Canada utilisée pour dresser l'inventaire canadien de GES (ECCC, 2022 ; Gavrilova *et al.*, 2019 ; Hergoualc'h *et al.*, 2019). À l'origine, la méthodologie du GIEC a été créée pour estimer les inventaires nationaux d'émissions de GES, mais elle a également été souvent utilisée dans le contexte de l'EC (Vergé *et al.*, 2013). Le potentiel de réchauffement planétaire utilisé pour convertir le CH<sub>4</sub>, le CH<sub>4</sub> d'origine fossile et le N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> était de 27, 29,8 et 273, respectivement, sur un horizon de 100 ans, conformément aux valeurs fournies par le GIEC dans son sixième rapport d'évaluation (Forster *et al.*, 2021). L'allocation des GES a été effectuée sur une base économique, soit les revenus d'entreprise des produits agricoles vendus.

Une approche d'analyse de cycle de vie dite « du berceau à la porte » des entreprises a été utilisée pour estimer l'EC. Ainsi, nous avons quantifié toutes les émissions de GES produites durant l'élevage, la production interne et externe des aliments (fourrages et céréales) et l'approvisionnement en intrants externes (engrais minéraux, carburants, chaux). Afin de simplifier la démarche, la fabrication des bâtiments et l'achat d'équipements agricoles n'ont pas été pris en compte lors de l'estimation de l'EC. Également, les GES associés à la fabrication et au transport des pesticides et des plastiques d'enrobage des fourrages n'ont pas été comptabilisés alors qu'ils ne représentent pas plus de 0,15% des émissions totales et facilitaient la collecte de données auprès des entreprises. L'intensité d'émissions de la production est exprimée par l'unité fonctionnelle de GES en équivalence CO<sub>2</sub> par 1 kg de poids vif de bétail (kg éq. CO<sub>2</sub>/kg PV).

Les cinq sources d'émissions de GES agricoles ont été considérées pour la quantification de l'EC, soient la fermentation entérique, la gestion des fumiers, les sols agricoles, l'utilisation des énergies à la ferme et l'achat d'intrants nécessaires à l'exploitation de l'entreprise. Le tableau 8 en annexe 2 présente l'ensemble des équations de Niveau 2 et Niveau 3 utilisées afin de déterminer les coefficients d'émissions (EF). Fondamentalement, ces EF sont ensuite

par le nombre d'unité de production relevant de la source d'émissions, ex. : GES de la fermentation entérique des brebis = # brebis x EF.

De façon détaillée, le calcul de niveau 2 des émissions de CH<sub>4</sub> de la fermentation entérique est basé sur la fraction (Y<sub>m</sub>) de l'énergie ingérée (GEI) par le bétail (IPCC, 2019). Les mesures de CH<sub>4</sub> entérique réalisées par Avila-Stagno et al. (2013) et McGeough et al. (2019) sur des agneaux à l'engraissement dans l'Ouest canadien ont démontrées que la fraction d'énergie convertie en CH<sub>4</sub> durant la digestion des aliments était en moyenne de 2,72% (Tableau 1). Le poids et la durée de logement des différentes catégories de bétail sont basées sur les valeurs de référence des effluents d'élevage du CRAAQ (2020), alors que les consommations volontaires de matières sèche (CVMS ou DMI) ont été obtenus du NRC (1985) et de l'inventaire canadien (ECCC, 2022). Les émissions de CH<sub>4</sub> provenant de la gestion du fumier ont été calculés d'une méthode niveau 2 à partir des solides volatiles produits par le bétail (IPCC, 2019 ; ECCC, 2022) (Tableau 8, 1 et 2). La totalité des entreprises ovines sondées font l'accumulation du fumier en bergerie et l'entreposage sous forme d'amas dans une fosse ou au champ. Le facteur de conversion du CH<sub>4</sub> (MCF) de l'accumulation du fumier ovin en bâtiment n'est pas défini par le GIEC et l'ECCC. Considérant cette accumulation beaucoup plus sèche que celle des porcs ou des bovins, mais comparable à l'accumulation du fumier avicole, le facteur de l'avicole de 2,75% a été utilisé (Tableau 2). La quantité de déjection produite pour chaque catégorie d'animaux a été estimée à l'aide des valeurs de l'AGDEX 538/400.27 (2012) ont été appliquées. Les volumes de paille utilisés pour la litière ont été obtenus du guide de dimensionnement des structures d'entreposage de Godbout et al. (2017). La fiche technique de la concentration et valeur des éléments nutritifs dans le fumier de différents types d'élevages du ministère de l'agriculture de l'Ontario (OMAFRA) a été utilisée comme référence de la teneur en azote (N) du fumier entreposé (Brown, 2021) (Tableau 9 en annexe 2). Les émissions de N<sub>2</sub>O du N contenu dans le fumier à l'entreposage sont déterminées à l'aide de méthode niveau 2 du GIEC (2019) et du ECCC (2022).

**Tableau 1. Exemple des paramètres d'élevage utilisés pour calculer les émissions de GES provenant de la fermentation entérique et de la gestion du fumier.**

Paramètre	Brebis	Bélier	Agnelle	Agneau			Référence
				Lait	Léger	Lourd	
<b>Fermentation entérique</b>							
Poids (kg)	65	80	55	< 22	22 à 36	36 à 54	CRAAQ (2020)
Période de logement, P (j)	365	365	171	60	26	78	CRAAQ (2020)
Consommation, DMI (kg MS/j)	2,0	2,3	1,8	NA	1,5	1,8	NRC (1985), ECCC (2022)
Y <sub>m</sub> (%)	5,80	5,80	2,72	NA	2,72	2,72	IPCC (2019), Avila-Stagno et al. (2013), McGeough et al., (2019)
<b>Gestion du fumier</b>							
Digestibilité de la ration, DE (%)	74	74	74	74	74	74	ECCC (2022)
Énergie urinaire, UE (%)	4	4	2	2	2	2	IPCC (2019)
Cendre de la ration, Ash (%)	8	8	8	8	8	8	ECCC (2022)
Potentiel de CH <sub>4</sub> , B <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /kg SV)	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	ECCC (2022)
Déjections (kg MH/tête/an)	2,80	2,80	2,15	0,50	2,15	1,50	Brassard et al. (2012)
Paillage (Lj/tête)	2,8	2,8	2,0	0,4	2,0	1,2	Godbout et al. (2017)

La méthode de niveau 3 de Liang et al. (2020) et les ajustements apportés par le ECCC (2022) ont permis d'estimer les émissions de N<sub>2</sub>O de l'apport en N aux sols agricoles par la fertilisation azotée (organique et inorganique), la décomposition des résidus, la minéralisation de la matière organique (MO) ainsi que les déjections du pâturage du bétail. À cet effet, les équations de cette méthode sont présentées dans le tableau 8 en annexe 2, alors que les EF en lien avec la source de N et le type de culture fertilisé se retrouvent dans les tableaux 9 et 10 en annexe 2. Il est supposé que le cumule des précipitations et de l'évapotranspiration du 1<sup>er</sup> mai au 31 octobre pour toute la région du Bas-Saint-Laurent sont similaires aux normales climatiques de 30 ans (1981 à 2010) pour l'écodistrict 479 (ECCC, 2022).

**Tableau 2. Exemple des coefficients d'émissions des émissions de CH<sub>4</sub> et du N<sub>2</sub>O des deux systèmes de gestion des fumiers de la production ovine du Bas-Saint-Laurent.**

Paramètre	Accumulation en bâtiment	Amas	Référence
Conversion en CH <sub>4</sub> , MCF (%)	2,75	2,00	IPCC (2019)
N <sub>2</sub> O, EF <sub>AWMS</sub> (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)	0,01	0,01	IPCC (2019)
Volatilisation, GasMS (%)	12	12	ECCC (2022)
Lessivage, LeachMS (%)	0	3	ECCC (2022)

L'utilisation, mais également la production et le transport des énergies à la ferme pour les opérations culturales, le chauffage des bâtiments, les équipements fixes ou le séchage du grain génère des GES directs sur l'entreprise et indirects à l'extérieur de l'entreprise. Pour la combustion d'énergies fossiles et la production et le transport de l'électricité, les EF du ECCC (2022) ont été utilisés. Or, les émissions indirectes de GES de la fabrication et du transport



des énergies fossiles ont été estimés à l'aide des coefficients de Rotz et al. (2019). D'ailleurs, les émissions de GES découlant de la fabrication et le transport des intrants utilisés à l'alimentation du troupeau et aux opérations culturales ont été comptabilisées. À cet effet, les EF de Rotz et al. (2019) ont servie de base de calcul pour tous les intrants à l'exception du coefficient pour le tourteau de canola provenant de Hawkins et al. (2015) (Tableau 11 en annexe 2).

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Suite aux diagnostics des GES réalisés auprès de 61 entreprises agricoles réparties sur le territoire de la région du Bas-Saint-Laurent, la valeur médiane du bilan de GES de la production ovine, bovin de boucherie et laitière était de 413, 397 et 850 t éq. CO<sub>2</sub>/an, respectivement, en excluant la séquestration du carbone dans les sols (Tableau 3, 4 et 5). La principale source de GES de ces productions était la fermentation entérique, présentant de 52% à 71% des émissions (Tableau 6).

### Bilan de la production laitière

Le bilan de GES élevé de la production laitière par rapport à ceux de la production ovine et de bovins de boucherie est principalement attribuable à la fermentation entérique. Cette fermentation est due à la dégradation de la biomasse végétale par les micro-organismes du rumen des animaux. Elle est fortement liée aux caractéristiques de leur régime alimentaire. Ce processus de fermentation produit une quantité importante CH<sub>4</sub> et s'avère donc la principale source d'émission sur les fermes laitières de l'étude, avec en moyenne 481 t éq. CO<sub>2</sub>/an (Tableau 3). L'écart type élevé de 254 t éq. CO<sub>2</sub>/an est principalement justifié par les différentes grosseurs de troupeau des fermes étudiées. Plus le nombre d'animaux est élevé, plus les émissions de la fermentation entérique seront élevées.

**Tableau 3. Émission de GES des entreprises laitières sondées (n = 30) au Bas-Saint-Laurent.**

Source et intensité de GES	Moy.	Méd.	Min	Max	ET
<b>Émission de GES (t éq. CO<sub>2</sub>)</b>					
Fermentation entérique (CH <sub>4</sub> )	481	417	266	1504	254
Gestion du fumier					
CH <sub>4</sub>	155	141	12	520	118
N <sub>2</sub> O direct	35	30	13	112	19
N <sub>2</sub> O indirect	9	8	5	28	5
Sols agricoles					
N <sub>2</sub> O direct	93	88	39	224	42
N <sub>2</sub> O indirect	34	31	14	98	18
CO <sub>2</sub>	9	7	0	36	8
Utilisation des énergies (CO <sub>2</sub> )	57	42	24	178	37
Achat d'intrants					
Aliments	88	90	0	306	67
Engrais minéraux	5	2	0	22	7
Carburants	10	8	4	34	6
Toutes les sources	976	850	459	2926	518
<b>Intensité d'émissions</b>					
Lait corrigé (kg éq.CO <sub>2</sub> /kg lait)	1.22	1.19	0.77	1.93	0.23

La seconde source de GES sur les fermes laitières à l'étude est attribuable aux modes d'entreposage des fumiers et est responsable d'émissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O, soient 155 et 35 t éq. CO<sub>2</sub>/an en moyenne, respectivement. Alors que la majorité des fermes laitières gère les fumiers sous forme liquide, la méthanisation ou la fermentation anaérobie de ces lisiers peut être de 1,9 à 20 fois supérieure aux entreprises entreposant des fumiers solides en amas en structure d'entreposage ou au champ. L'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) de la dénitrification de l'azote (N) des sols agricoles était de 93 t éq. CO<sub>2</sub>/an. Suivie de près par l'achat d'intrants lié aux aliments, avec des émissions annuelles moyennes de 88 t éq. CO<sub>2</sub>/an. En calculant toutes les sources de GES, les fermes laitières à l'étude présentaient une valeur médiane de 850 t éq. CO<sub>2</sub>/an, avec un maximum de 2926 t éq. CO<sub>2</sub>/an et un minimum de 459 t éq. CO<sub>2</sub>/an.

Par la méthodologie quantification utilisée, l'intensité d'émissions du lait produit par les entreprises laitières sondées était en moyenne de 1,26 kg éq. CO<sub>2</sub> par kg de lait corrigé pour sa teneur en protéine et en gras (FPCM) (Tableau 3). Ces données sont cohérentes avec celles recueillies par l'équipe de recherche en production laitière d'Édith Charbonneau de l'Université Laval, qui a modélisé à l'aide du logiciel N-CyCLE l'empreinte carbone d'un troupeau laitier de l'Est du Québec (Saint-Augustin-de-Desmaures) en fonction d'une

alimentation composée de luzerne combinée à quatre graminées (fléole des prés, fétuque élevée, fétuque des prés, brome des prés) (Ouellet et al., 2021). Cette alimentation similaire à celle des troupeaux laitiers du Bas-Saint-Laurent générerait des intensités d'émissions variant entre 1,24 et 1,28 kg éq. CO<sub>2</sub>/kg FPCM. La production laitière au Bas-Saint-Laurent serait tout de même moins émettrice de GES comparée à celle des États-Unis. En effet, Uddin et al. (2021) la chiffrait entre 1,31 et 1,56 kg éq. CO<sub>2</sub>/kg FPCM pour des troupeaux laitiers nourris à l'ensilage de luzerne et de maïs.

### **Bilan de la production ovine**

Pour les 18 entreprises ovines sondées sur le territoire du Bas-Saint-Laurent, la fermentation entérique constituait la source la plus importante de GES avec un maximum de 533 t éq. CO<sub>2</sub>/an, un minimum de 2 t éq. CO<sub>2</sub>/an et une moyenne de 231 t éq. CO<sub>2</sub>/an (Tableau 4). La gestion des sols agricoles est la seconde source notable de GES pour la production ovine, avec en moyenne des émissions de 60 t éq. CO<sub>2</sub>/an. Sur les 18 entreprises à l'étude, l'utilisation des énergies ainsi que l'achat d'aliments représentent respectivement une moyenne d'émission de GES de 38 et de 35 t éq. CO<sub>2</sub> annuellement (tableau 4). Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation des énergies varient d'une entreprise à une autre et dépendent du diesel utilisés principalement pour les opérations culturales. On observe donc sur les 18 fermes sondées une émission maximale de 84 t éq. CO<sub>2</sub> et minimale de 2 t éq. CO<sub>2</sub>, selon la gestion de l'énergie sur chaque ferme. L'achat d'intrants, des aliments spécifiquement, est aussi une source non négligeable de GES. La distance parcourue par les produits avant d'arriver à la ferme ainsi que leur moyen de production et de transformation sont les principaux facteurs de GES des intrants alimentaires. On observe donc une émission maximale de 100 t éq. CO<sub>2</sub> et minimale de 0 t éq. CO<sub>2</sub> dans les données recueillies sur les 18 fermes. En calculant toutes les sources de GES combinées pour la production ovine au Bas Saint-Laurent, on obtient une moyenne de 426 t éq. CO<sub>2</sub>/an, soit moins de la moitié des émissions produites sur les fermes laitières.

**Tableau 4. Émission de GES des entreprises ovines sondées (n = 18) au Bas-Saint-Laurent.**

Source et intensité de GES	Moy.	Méd.	Min	Max	ET
<b>Émission de GES (t éq. CO<sub>2</sub>)</b>					
Fermentation entérique (CH <sub>4</sub> )	222	208	2	514	153
Gestion du fumier					
CH <sub>4</sub>	10	10	0	24	7
N <sub>2</sub> O direct	24	25	0	54	16
N <sub>2</sub> O indirect	4	5	0	10	3
Sols agricoles					
N <sub>2</sub> O direct	60	57	2	153	39
N <sub>2</sub> O indirect	19	17	0	46	13
CO <sub>2</sub>	2	1	0	13	4
Utilisation des énergies (CO <sub>2</sub> )	38	38	2	84	26
Achat d'intrants					
Aliments	35	27	0	100	34
Engrais minéraux	5	1	0	28	8
Carburants	6	6	0	16	5
Toutes les sources	426	413	10	913	276
<b>Intensité d'émissions</b>					
Ovins vendus (kg éq.CO <sub>2</sub> /kg) <sup>a</sup>	13.5	11.3	6.7	29.9	5.9

<sup>a</sup> Émissions de GES sur une base de kg de bétail vivant vendu.

Basé sur les entreprises ovines sondées, près de 13,5 kg éq. CO<sub>2</sub> de GES sont en moyenne émis par kg d'agneaux vivants produits (PV) (Tableau 4). Cette valeur est très similaire à celles de 10,6 et 14,2 kg éq. CO<sub>2</sub>/kg PV provenant d'autres études réalisées au Canada telles que Groupe AGÉCO (2017) et Dyer et al. (2014), respectivement. Une analyse de cycle de vie (ACV) de la production ovine réalisée en Ontario (Canada) révélait une intensité d'émissions de l'ordre de 8,4 à 18,6 kg éq. CO<sub>2</sub>/kg PV (Bhatt et Abbassi, 2022). En Nouvelle-Zélande, l'intensité d'émissions associée à l'agneau vendu à la ferme est très faible à 6,01 kg éq. CO<sub>2</sub>/kg PV (Mazzetto, Falconer et Ledgard, 2023). Or, l'élevage en pâturage des ovins effectué en Nouvelle-Zélande réduit considérablement les émissions de GES puisqu'il n'y a pas bio-méthanisation (CH<sub>4</sub>), ni de dénitrification de l'azote (N<sub>2</sub>O) du fumier entreposé.

## Bilan de la production bovine

Pour les 6 entreprises œuvrant en production bovine sondées, la fermentation entérique constitue la principale source de GES pour cette production, avec une moyenne de 272 t éq. CO<sub>2</sub> annuellement (Tableau 5). Un résultat doublement inférieur à celui des vaches laitières (501 t éq. CO<sub>2</sub>), mais tout de même important. Les GES liés à la gestion des fumiers représentent en moyenne 46 t éq. CO<sub>2</sub>/an (Tableau 5). Le pâturage et une gestion solide en amas sont ici les raisons pour lesquelles on observe des émissions moindres liées à l'entreposage des fumiers. En effet, sur les fermes bovines, l'accumulation du fumier se fait principalement à l'hiver lorsque les bovins sont davantage en confinement ou en enclos d'hivernage, ce qui entraîne une moins grande quantité de fumier entreposée.

**Tableau 5. Émission de GES des entreprises de bovins de boucherie sondées (n = 6) au Bas-Saint-Laurent.**

Source et intensité de GES	Moy.	Méd.	Min	Max	ET
<b>Émission de GES (t éq. CO<sub>2</sub>)</b>					
Fermentation entérique (CH <sub>4</sub> )	272	266	157	392	85
Gestion du fumier					
CH <sub>4</sub>	8	7	5	13	3
N <sub>2</sub> O direct	25	24	15	40	9
N <sub>2</sub> O indirect	13	12	7	20	4
Sols agricoles					
N <sub>2</sub> O direct	30	27	17	44	9
N <sub>2</sub> O indirect	13	12	7	20	4
CO <sub>2</sub>	2	1	0	8	3
Utilisation des énergies (CO <sub>2</sub> )	29	28	5	61	18
Achat d'intrants					
Aliments	1	0	0	6	2
Engrais minéraux	7	6	0	12	4
Carburants	5	5	1	8	3
Toutes les sources	404	397	242	606	131
<b>Intensité d'émissions</b>					
Bovins vendus (kg éq.CO <sub>2</sub> /kg) <sup>a</sup>	21.3	20.1	16.6	31.6	5.4

<sup>a</sup> Émissions de GES sur une base de kg de bétail vivant vendu.

Les émissions de GES des sols agricoles en production bovine sont aussi élevées que celles de la gestion des fumiers avec 45 t éq. CO<sub>2</sub>/an en moyenne, suivie de près par l'utilisation des énergies sur la ferme avec 29 t éq. CO<sub>2</sub>/an en moyenne. Avec des émissions directes de N<sub>2</sub>O maximale de 44 t éq. CO<sub>2</sub> et une émission minimale de 17 t éq. CO<sub>2</sub> annuellement, les sols agricoles des entreprises bovines libèrent pratiquement trois fois moins de N<sub>2</sub>O que les productions laitières (93 t éq. CO<sub>2</sub>/an).

Pour les 6 entreprises de production de bovin de boucherie à l'étude, une moyenne d'intensité d'émission de 21,4 kg éq. CO<sub>2</sub> par kg de bétail vivant vendu a été observée. Ce résultat est similaire aux résultats de 16,3 à 37,8 kg éq. CO<sub>2</sub>/kg PV obtenus par Alemu et al. (2017) suite au diagnostic de 295 fermes en production vache-veau au Canada. Or, les résultats obtenus sont variables d'une entreprise bovine sondée à une autre. Une meilleure représentation de ce type de production améliorerait la précision et la représentativité des résultats obtenus.

### Répartition des émissions des productions animales

Pour l'ensemble des productions laitière, ovine et bovine, la fermentation entérique est la principale source de GES. En effet, cette dernière représente respectivement 48%, 53% et 69% des émissions totales sur chaque ferme (Tableau 6). C'est en production laitière que la gestion des fumiers impacte de façon plus importante les émissions de GES de par les émissions de CH<sub>4</sub> de la gestion principalement liquide des fumiers et se trouve à être la source de 21% d'émissions. Ce taux est très élevé comparativement à la production ovine (10%) et à la production bovine (11%) étant majoritairement en production solide. Sur les fermes ovines sondées, la gestion des sols agricoles représente la seconde source d'émissions la plus importante, avec 19% des émissions totales, tant dis que les sols agricoles des fermes laitières et bovines produisent respectivement 15% et 10% de leurs émissions totales. Ce sont l'achat d'intrants et l'utilisation des énergies qui génèrent le moins de GES parmi l'ensemble des productions. Or, pour la production laitière, on observe tout de même un taux assez élevé de 12% des émissions totales lié à l'achat d'intrants. Chez les productions ovines, on observe que 10% de leurs émissions de GES proviennent de l'utilisation des énergies sur la ferme. L'intensité des émissions de GES sur une base de protéine produite (PP) en lait et en viande est très élevée pour la production bovine avec plus de 242,2 kg éq. CO<sub>2</sub>/kg PP, suivie par la production ovine produisant 176,6 kg éq. CO<sub>2</sub>/kg PP (Tableau 6). L'intensité d'émissions du lait produit par les entreprises laitières est nettement inférieure et représente 36,1 kg éq. CO<sub>2</sub>/kg PP. Ces valeurs d'intensité sont globalement inférieures à celles définies à l'échelle mondiale par la FAO, soient de 87 kg éq. CO<sub>2</sub>/kg PP pour le lait, 201 et 295 kg éq. CO<sub>2</sub>/kg PP pour la viande de petits ruminants et de bovins de boucherie, respectivement (Gerber et al., 2013).

**Tableau 6. Répartition des sources d'émission de GES des principales productions animales du Bas-Saint-Laurent.**

Source et intensité de GES	Production		
	Laitière	Ovine	Bovine
Nombre d'entreprises sondées (n)	30	18	6
Répartition des émissions (%)			
Fermentation entérique	48	53	69
Gestion du fumier	21	10	11
Sols agricoles	15	19	10
Utilisation des énergies	5	10	7
Achat d'intrants	12	9	3
Intensité (kg éq. CO <sub>2</sub> /kg PP) <sup>a</sup>	36.1	176.6	242.2

<sup>a</sup> Émissions de GES sur une base de protéine produite en lait et viande.

### Bilan de la production acéricole

Bien que l'échantillon soit petit (n=4), les entreprises acéricoles analysées émettaient en moyenne 74 t éq. CO<sub>2</sub>/an (Tableau 7). Leurs émissions totales de GES variaient de 10 à 192 t éq. CO<sub>2</sub>/an. Cet écart est attribuable à la différence importante des entreprises acéricoles analysées en termes de taille (de 4 200 à 23 000 entailles) et des sources d'énergie utilisées pour l'évaporateur (2 entreprises au bois, 1 au mazout, 1 à l'électricité). En comparant les différentes sources de GES de ces entreprises, il est constaté que les équipements fixes génèrent en moyenne la plus importante portion de ces émissions (52 t éq. CO<sub>2</sub>/an) et plus spécifiquement par les évaporateurs (34 t éq. CO<sub>2</sub>/an). Ces résultats confirment que la majeure partie des émissions de GES de la production acéricole provient de la transformation de l'eau d'érable par évaporation. Néanmoins, les émissions attribuables aux évaporateurs présentaient aussi la variabilité la plus importante des sources d'émissions (écart-type de 42 t éq. CO<sub>2</sub>/an). Elles pouvaient être très faibles ou totaliser près de 93 t éq. CO<sub>2</sub>/an) Ce résultat s'explique par l'absence d'émissions générées par un évaporateur électrique en comparaison des émissions issues d'un système de combustion classique opérant avec des combustibles tel que le bois et l'huile (mazout léger).

Les résultats permettent également de conclure que les autres équipements fixes (ex. : génératrice, pompe, chauffage, etc.) étaient la deuxième source d'émission en importance (18 t éq. CO<sub>2</sub>/an) (Tableau 7). La variabilité de cette source d'émission (écart-type de 26 t éq. CO<sub>2</sub>) s'avère également importante. Elle est notamment attribuable à l'électrification des équipements fixes autres que l'évaporateur. Il s'agit toutefois de possibilités qui ne s'offrent

pas toujours aux producteurs puisque plusieurs érablières ou stations de pompage s'avèrent coûteuse ou difficiles à alimenter en électricité. Les équipements mobiles et l'achat de carburants généraient des quantités moyennes de GES moins importantes que les deux sources mentionnées précédemment, soient 12 et 10 t éq. CO<sub>2</sub>/an, respectivement.

**Tableau 7. Émission de GES des entreprises acéricoles sondées (n = 4) au Bas-Saint-Laurent.**

Source et intensité de GES	Moy.	Méd.	Min	Max	ET
Émission de GES (t éq. CO <sub>2</sub> )					
Équipements fixes					
Évaporateur	34	20	0,03	93	42
Autre équipements fixes	18	8	0	57	26
Équipements mobiles					
Achat d'intrants					
Carburants	10	7	3	24	10
Chaux	0	0	0	0	0
Toutes les sources	74	47	10	192	82
Intensité d'émissions (kg éq. CO <sub>2</sub> /lbs) <sup>a</sup>	1.48	1.21	0.17	3.31	1.37

<sup>a</sup> Émissions de GES sur une base de livre (lbs) de sirop produit.

L'intensité d'émissions par livre (lbs) de sirop produit des entreprises sondées totalisait 1,48 kg éq. CO<sub>2</sub>/lbs (Tableau 7). Cet indice d'émissions s'avère variable au même titre que les différentes sources d'émissions considérées en raison du petit échantillon (n=4) et de la source d'énergie utilisé pour l'évaporateur, de l'électrification de l'érablière et des stations de pompage. En 2019, les Producteurs et productrices acéricoles du Québec (PPAQ) estimaient que la fabrication de chaque livre de sirop d'érable émettait en moyenne au Québec l'équivalent de 0,478 kg de CO<sub>2</sub> (Laterre, 2019). L'intensité d'émissions résultants des érablières sondées était largement supérieure du fait que le nombre de producteurs acéricoles diagnostiqués est très faible, mais également par la différence des limites du système analysé. À titre d'exemple, les GES associés à la fabrication et au transport du mazout (24 g éq. CO<sub>2</sub>/MJ) ont été considérés dans cette étude (EarthShift Global, WSP USA et Introspective Systems, 2020). Les PPAQ n'ont pas fourni d'informations sur la méthodologie employée pour déterminer l'intensité d'émissions du sirop produit au Québec.



## APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

Les résultats des diagnostics réalisés ont permis d'isoler certaines mesures d'atténuation des émissions de GES. Bien que ces mesures ne soient pas applicables pour chacune des fermes diagnostiquées, elles permettent néanmoins d'avoir un impact considérable de réduction des GES étant appropriées pour un grand nombre d'entreprises bas-laurentiennes. Les cinq sources de GES en production animale ainsi que les sources de la production acéricole sont abordées. Or, il est très important d'avoir une approche systémique dans l'élaboration d'une stratégie d'atténuation des GES, car une réduction obtenue pour une source spécifique peut être annulée par davantage d'émissions d'une autre source.

### Fermentation entérique

La fermentation entérique est la principale source de GES des productions animales. Malgré l'abondance des mesures d'atténuation pour cette source, la littérature scientifique indique qu'elles peuvent être complexes et coûteuses à appliquer sur les fermes, peuvent avoir un effet limité de réduction du CH<sub>4</sub> entérique et peuvent avoir une incidence sur la consommation volontaire de matière sèche (CVMS) et la productivité du bétail. Or, pour les entreprises sondées, une mesure applicable serait d'accroître la teneur en gras de la ration en utilisant des aliments attentifs à ceux utilisés. L'ajout de lipides à la ration permet de réduire ces émissions de CH<sub>4</sub> en diminuant la fermentation des matières organiques dans le rumen. Dans une méta-analyse de 10 publications évaluant l'effet de la composition de la ration sur les émissions de CH<sub>4</sub> de la fermentation entérique des ovins, Patra (2014) a constaté que pour chaque pourcentage de gras ingéré, la réduction est de 1,03 g de CH<sub>4</sub> par jour sans pour autant affecter la CVMS. Pour une méta-analyse portant sur l'ensemble des ruminants du secteur agricole, Arnt et al. (2022) ont estimé que l'ajout de gras à la ration réduirait de 12 et 22% le CH<sub>4</sub> entérique sur une base de lait produit et de gain moyen quotidien, respectivement. Le tourteau de soya est largement utilisé par les entreprises laitières (19/30 fermes) et ovines (7/18 fermes). Cette source de protéine (47% PB) a généralement une teneur de 0,5% en matières grasses. En remplaçant cette source de protéine par un tourteau de soya trituré (44 à 47% PB) ou un tourteau de canola (36% PB) ayant des niveaux de gras de 6,0% et de 2,0%, respectivement, la teneur en gras de la ration sera augmentée permettant de réduire le CH<sub>4</sub> entérique. Bien que le coût du tourteau de soya trituré soit environ 14% (+110 \$/t) plus élevé que celui du tourteau de soya conventionnel, les travaux d'AgriNova (2021) indiquaient que les coûts d'alimentation pour la production laitière peuvent néanmoins être similaires avec l'un ou l'autre des tourteaux. Le tourteau de canola est environ 9% moins coûteux que le tourteau de soya conventionnel, mais sa teneur en protéine est plus fiable. En prenant en considération les rations des vaches en lactation de la ferme du Québec de Holtshausen et al. (2021), la source de suppléments protéiniques de la ration avec le tourteau de canola serait 22% moins coûteuse que celle avec le tourteau de soya. Les coûts d'inclusion de ce tourteau de canola dans la ration doit être davantage étudié. Une autre mesure d'atténuation applicable sur les

fermes sondées serait d'accroître la digestibilité des rations offertes au bétail et augmentant la qualité fourrage ou en augmentant la proportion de céréales cultivées localement. Selon les coefficients d'émission du GIEC, le fait d'accroître la digestibilité de la ration dans une fourchette de 62 à 71% permet de réduire de 10% les émissions entériques (Gavrilova et al., 2019). Or, avant d'implanter cette mesure, il est important d'évaluer les retombés sur les autres sources de GES à la ferme, car les émissions de la production à la ferme ou l'achat de fourrages plus digeste ou de céréales peuvent contre-balancer la réduction du CH<sub>4</sub> entérique.

### Gestion des fumiers

Pour une gestion liquide des fumiers telle que majoritairement utilisée en production laitière (24/30 fermes), l'acidification du restant de lisier dans la fosse suivant la fin d'un chantier d'épandage réduirait de 77% les émissions de CH<sub>4</sub> et de 73% les émissions de N<sub>2</sub>O (Sokolov et al., 2020). À la fin d'un chantier d'épandage, il y a la présence de lisier résiduel dans la fosse soit parce qu'il est physiquement impossible de parfaitement vider la fosse ou parce que les quantités de lisier à épandre étaient inférieures au contenu total de la fosse. Ce lisier résiduel inocule l'apport de nouveau lisier dans la fosse réactivant rapidement la réaction de bio-méthanisation des matières organiques. En limitant l'activité biologique du lisier résiduel par une acidification, par exemple à l'acide sulfurique, la réactivation de la réaction de bio-méthanisation est retardée permettant de réduire les émissions. Selon les travaux de Sokolov et al. (2020), l'ajout de 1,1 L d'acide sulfurique (concentration de 70%) par m<sup>3</sup> de lisier résiduel dans la fosse à la fin du chantier d'épandage permet d'obtenir les réductions mentionnées. Au Québec, l'acide sulfurique (93%) est utilisé pour acidifier l'eau d'irrigation et se détaille à environ 2,41 \$/L. Pour une telle concentration d'acide, la quantité à ajouter serait de l'ordre de 0,83 L/m<sup>3</sup> de lisier résiduel. Une autre mesure d'atténuation des émissions de la gestion des fumiers est de réduire la durée d'entreposage. En raccourcissant la durée d'entreposage des fumiers solides de la déjection de l'animal à l'épandage au champ, moins d'émissions directes et indirectes de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O seront générées. Pour les entreprises ovines sondées, la durée médiane d'entreposage incluant l'accumulation en bâtiment et le fumier en amas une fois les bâtiments écurés est de 12 mois. En raccourcissant cette durée à 9 mois, environ 25% des émissions de GES de la gestion des fumiers seraient théoriquement atténués. Cette mesure implique de faire davantage de chantiers d'écurage et d'épandage ainsi que de raccourcir la durée d'amas en structure ou en champ. Le même principe de réduction de la durée d'entreposage s'applique pour les lisiers. Basé sur le calculateur du GIEC pour des températures moyennes de la région (VanderZaag, 2018), effectué trois chantiers d'épandage de lisier permet de réduire de 32% les émissions de CH<sub>4</sub> comparativement à une gestion à deux chantiers.

## Sols agricoles

Une gestion optimale des engrais azotés organiques et inorganiques est essentielle pour réduire les émissions de N<sub>2</sub>O des sols agricoles. La mise en application des 4 B d'une fertilisation azotée optimale est nécessaire; les 4 B étant d'appliquer la bonne source de N, selon la bonne dose, au bon moment et au bon endroit. Cette mise en application devrait prioritairement s'orienter pour une meilleure gestion des épandages de fumiers et de lisiers, car l'utilisation d'engrais minéraux azotés des entreprises sondées en production animale était relativement faible. À titre d'exemple pour les entreprises ovines, ce sont en moyenne 13 kg N/ha qui étaient annuellement appliqués sur l'ensemble des superficies cultivées pour chacune des fermes. Une autre stratégie de réduction des émissions de N<sub>2</sub>O des sols agricoles serait l'utilisation d'inhibiteur de nitrification (IN) pour le lisier et les engrais azotés à base d'urée. Dans une méta-analyse mondiale réalisée par Fan et al. (2022) et incluant la collaboration de chercheurs d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, l'utilisation d'IN permet à lui seule de réduire de 49% les émissions de N<sub>2</sub>O des sols. Les IN réduisent temporairement les populations de bactéries *Nitrosomonas* et *Nitrobacter* dans le sol. Ces bactéries sont responsables de la transformation de l'ammonium en nitrite (*Nitrosomonas*) et du nitrite en nitrate (*Nitrobacter*). Les IN protègent à la fois contre la dénitrification et le lessivage en retenant l'azote des engrais sous forme d'ammonium. Il est préférable d'utiliser l'IN en combinaison d'un inhibiteur d'uréase (IU) pour à la fois réduire les pertes par dénitrification, mais également par volatilisation (Woodley *et al.*, 2020). Le coût d'utilisation d'un double inhibiteur avec l'urée est d'environ 23% plus élevé que le coût de l'urée sans inhibiteur. Des IN peuvent être mélangés au lisier au début des chantiers d'épandage pour réduire les émissions de N<sub>2</sub>O des sols suite à l'épandage au champ. Les IN peuvent également être appliqués par pulvérisation au champ après l'épandage du lisier au champ. Le coût d'utilisation des IN pour les lisiers est d'environ de 21 \$/ha. Ce coût considérable n'est cependant pas compensé par une augmentation systématique des rendements de culture. Globalement pour l'Est du Canada, ce ne sont que 1 à 3% du N appliqué sur les sols qui sont responsables des émissions de N<sub>2</sub>O. Alors, le gain en N pour les cultures (environ 0,5 à 1,5% du N appliqué) par l'utilisation des IN est trop faible en relation aux autres pertes par volatilisation et lessivage pouvant correspondre de 14 à 44% du N appliqué (Tran et Giroux, 1998).

Différentes mesures à la ferme peuvent être mises en place au Bas-Saint-Laurent pour diminuer la perte de carbone des sols ou augmenter sa teneur telles que 1) réduire le travail du sol, 2) accroître le retour de résidus au sol, 3) valoriser des apports au sol de biomasses racinaires et aériennes à l'aide d'engrais verts et de cultures de couverture, 4) accroître la biomasse racinaire par une sélection adapter des cultures, une meilleure santé des sols et par l'optimisation de la fertilisation, etc. Basé sur la méta-analyse de Bai et al. (2019), la réduction du travail de sol et l'usage de cultures de couverture auraient un potentiel d'augmentation du carbone du sol relativement similaire de l'ordre de 5-6% pour le climat froid et humide du Québec. Or, les travaux de Poirier et al. (2009) et de Liang et al. (2020)

remettaient en perspective la conversion de travail de sol conventionnel à semis-direct alors que le carbone total des profils de sols de plus de 60 cm de profondeur n'est pas significativement différent d'un travail à l'autre. Alors que dans certaines situations, les cultures de couverture peuvent augmenter le carbone du sol de 10 à 12% et réduire les émissions de N<sub>2</sub>O des sols (McClelland, Paustian et Schipanski, 2021 ; Bolinder *et al.*, 2020 ; Basche *et al.*, 2014), elles peuvent réduire les rendements des cultures et être coûteuses à valoriser (79 à 124 \$/ha) (Abdalla *et al.*, 2019 ; Lizotte, 2022). Afin d'optimiser les retombés des cultures couverture sur le bilan carbone, il est préférable 1) d'utiliser des cultures non-fixatrices d'azote afin de puiser le N résiduel du sol et réduire les pertes par lessivage et de 2) ne pas enfouir les cultures à l'automne afin de limiter les importantes émissions de N<sub>2</sub>O survenant lors du dégel du sol et de la fonte de la neige au printemps (Muhammad *et al.*, 2019 ; Pelster *et al.*, 2022). Ainsi, si l'on prend pour exemple pour une rotation de maïs ensilage avec intercalaire non-enfoui à l'automne suivi d'une année d'orge grainée et de cinq années de prairie, l'intercalaire de ray-grass annuel aurait un meilleur bénéfice sur le bilan de GES (-97 kg éq. CO<sub>2</sub>/ha) qu'un intercalaire de trèfle incarnat (-31 kg éq. CO<sub>2</sub>/ha) (Lizotte, 2022).

### Utilisation des énergies

La principale source de GES liée à l'utilisation des énergies des productions animales sondées est la combustion de carburant pour les opérations culturales. Alors, toutes mesures visant à réduire la consommation de diesel permettent d'atténuer les GES de ce poste d'émissions. Ces mesures peuvent 1) réduire la profondeur et le travail du sol, 2) réduire les passages au champ en utilisant des machines plus larges ou combinant des opérations (combo déchaumeuse-semoir), 3) utiliser des tracteurs récents ayant de meilleures performances en fonction du carburant utilisé et ayant des systèmes de combustion à faible émissions, 4) maximiser la performance des équipements agricoles par un meilleur ajustement et un entretien adéquat (ex. : changer les pièces d'usure dès que nécessaires), etc.

### Intrants à la production

Les intrants, autant ceux pour l'alimentation que les engrais et les carburants, ont un impact considérable en termes d'émissions de GES de par leurs fabrications et leurs transports. Une stratégie de réduction de ces émissions est l'auto-suffisance à la ferme. En produisant à la ferme la protéine nécessaire pour engraisser le bétail ou produire du lait, l'achat (et les GES associés) des suppléments protéiniques et de certaines moulées en sera diminué. Pour les 30 fermes laitières diagnostiquées, l'achat de maïs grain pour la ration s'élevait à 76 t/an (environ 87% MS) par ferme en moyenne. Alors que chaque tonne (100% MS) achetée de maïs est responsable de l'émission de 0,325 t éq. CO<sub>2</sub>, (Rotz *et al.*, 2019), l'ajustement de la ration par le remplacement de cet aliment avec une céréale produite sur les fermes du Bas-Saint-Laurent permettrait de réduire de 21 t éq. CO<sub>2</sub> le bilan de GES. Autre mesure d'atténuation réside dans

le choix d'intrants agricoles à faible GES. Près de la moitié des entreprises ovines font l'achat de supplément protéinique 39%. Ces suppléments cubés ont une empreinte carbone plus élevée (environ 1,02 t éq. CO<sub>2</sub>/t) que celles des sources primaires de protéine telles que le tourteau de soya, le tourteau de canola, le fin gluten de maïs, etc (environ 0,420 à 0,548 t éq. CO<sub>2</sub>/t) (Rotz *et al.*, 2019 ; Hawkins *et al.*, 2015).

### Réduction des GES de la production acéricole

Pour le secteur de l'acériculture, la principale mesure d'atténuation est liée au type d'énergie utilisé pour l'évaporateur. En prenant en considération les GES de la combustion, mais également les GES de la fabrication et du transport du carburant, la production d'un baril de 32 gal Imp. à partir d'un concentré de 15 degrés Brix à l'aide d'un évaporateur conventionnel au mazout est responsable de l'émission de 289 kg éq. CO<sub>2</sub> (Tableau 10). La même quantité de sirop produite à l'aide d'un évaporateur conventionnel au bois, un évaporateur hautes-performances au bois et un évaporateur aux granules résulte en l'émissions de 173, 69 et 76 kg éq. CO<sub>2</sub>, respectivement. Ces émissions sont 39, 76 et 74% inférieures à celles de l'évaporateur conventionnel au mazout. Cependant, la réduction des émissions est nettement supérieure (99,96%) pour l'évaporateur électrique, alors que seulement 0,11 kg éq. CO<sub>2</sub>, est émis par la production et la distribution des 58 kWh nécessaire pour produire le 32 gal Imp. Un changement de type d'énergie peut s'avérer économiquement intéressant. Les travaux de Bernier (2020) fixaient de façon générale, des coûts fixes et variables similaires sinon inférieurs pour un évaporateur électrique en comparaison à un évaporateur conventionnel au mazout. Autant pour les érablières de 5000 que celles à 40 000 entailles, les évaporateurs à la biomasse de bois (bûche et granules) présentaient des coûts fixes et variables inférieurs à ceux d'un évaporateur conventionnel au mazout.

### CONCLUSION

L'étude observationnelle réalisée sur quatre terres agricoles dévalorisées réparties sur le territoire du Bas-Saint-Laurent a permis de confirmer la faible fertilité des sols de ces terres. Les modestes niveaux de P, K, et de CEC démontraient cette faible fertilité. Bien que ces terres présentaient certaines problématiques localisées de drainage, les propriétés physiques de densité, de porosité et d'infiltration étaient globalement adéquates. L'estimation des coûts des opérations mécanisées permettant la suppression de la biomasse aérienne et le travail primaire du sol de la première année de remise en culture de TAD était inférieur à ceux de la littérature, particulièrement pour les couverts herbacés de friche. Or, un suivi sur plusieurs années serait nécessaire pour établir un portrait global des retombées économiques de la remise en culture de TAD.

## REMERCIEMENTS

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert.



## BIBLIOGRAPHIE

- Abdalla, Mohamed, Astley Hastings, Kun Cheng, Qian Yue, Dave Chadwick, Mikk Espenberg, Jaak Truu, Robert M. Rees et Pete Smith. 2019. « A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity ». *Global Change Biology*, vol. 25, n° 8, p. 2530-2543. <<https://doi.org/10.1111/gcb.14644>>.
- Agrinova. 2021. *Trituro laitier - En action sur les fermes de chez vous - Ferme Gilbert et fils*. Alma, Canada : Agrinova, 1 p.
- Alemu, Aklilu W., Brian D. Amiro, Shabtai Bittman, Douglas MacDonald et Kim H. Ominski. 2017. « Greenhouse gas emission of Canadian cow-calf operations: A whole-farm assessment of 295 farms ». *Agricultural Systems*, vol. 151, p. 73-83.
- Arndt, Claudia, Alexander N. Hristov, William J. Price, Shelby C. McClelland, Amalia M. Pelaez, Sergio F. Cueva, Joonpyo Oh, Jan Dijkstra, André Bannink, Ali R. Bayat, Les A. Crompton, Maguy A. Eugène, Dolapo Enahoro, Ermias Kebreab, Michael Kreuzer, Mark McGee, Cécile Martin, Charles J. Newbold, Christopher K. Reynolds, Angela Schwarm, Kevin J. Shingfield, Jolien B. Veneman, David R. Yáñez-Ruiz et Zhongtang Yu. 2022. « Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 °C target by 2030 but not 2050 ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 119, n° 20, p. 1-10. <<https://doi.org/10.1073/pnas.2111294119>>.
- Avila-Stagno, J., A. V. Chaves, M. L. He, O. M. Harstad, K. A. Beauchemin, S. M. McGinn et T. A. McAllister. 2013. « Effects of increasing concentrations of glycerol in concentrate diets on nutrient digestibility, methane emissions, growth, fatty acid profiles, and carcass traits of lambs1 ». *Journal of Animal Science*, vol. 91, n° 2, p. 829-837. <<https://doi.org/10.2527/jas.2012-5215>>.
- Bai, Xiongxiang, Yawen Huang, Wei Ren, Mark Coyne, Pierre-Andre Jacinthe, Bo Tao, Dafeng Hui, Jian Yang et Chris Matocha. 2019. « Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: A meta-analysis ». *Global Change Biology*, vol. 25, n° 8, p. 2591-2606. <<https://doi.org/10.1111/gcb.14658>>.
- Basche, A. D., F. E. Miguez, T. C. Kaspar et M. J. Castellano. 2014. « Do cover crops increase or decrease nitrous oxide emissions? A meta-analysis ». *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 69, n° 6, p. 471-482. <<https://doi.org/10.2489/jswc.69.6.471>>.

- Bernier, Raymond. 2020. *Évaporateur d'eau d'érable - Caractéristiques, opération et choix selon les préférences, les coûts d'acquisition et d'opération*. Gatineau, Canada : Bélanger agro-consultant Inc., 51 p.
- Bhatt, Akul et Bassim Abbassi. 2022. « Life cycle impacts of sheep sector in Ontario, Canada ». *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 27, p. 1283-1298. <<https://doi.org/10.1007/s11367-022-02105-1>>.
- Bolinder, Martin A., Felicity Crotty, Annemie Elsen, Magdalena Frac, Tamás Kismányoky, Jerzy Lipiec, Mia Tits, Zoltán Tóth et Thomas Kätterer. 2020. « The effect of crop residues, cover crops, manures and nitrogen fertilization on soil organic carbon changes in agroecosystems: a synthesis of reviews ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 25, n° 6, p. 929-952. <<https://doi.org/10.1007/s11027-020-09916-3>>.
- Brassard, P., L. Hamelin, P. Singh et S. Godbout. 2012. *Révision de l'AGDEX 538 / 400.27*. Québec, Canada : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, 36 p.
- Brown, C. 2021. *Available nutrients and value for manure from various livestock types*. Toronto, Canada : Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 10 p.
- CRAAQ. 2020. *Valeurs références pour les volumes et les concentrations d'éléments fertilisants dans les effluents d'élevage*. Québec, Canada : Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 36 p.
- Dyer, James A., Xavier PC Vergé, Raymond L. Desjardins et Devon E. Worth. 2014. « A comparison of the greenhouse gas emissions from the sheep industry with beef production in Canada ». *Sustainable Agriculture Research*, vol. 3, n° 3, p. 153.
- EarthShift Global, WSP USA et Introspective Systems. 2020. *Milestone 2: Methodology for Fossil Fuel Pathways and Baseline Carbon Intensities*. Kittery, ME : EarthShift Global LLC., 158 p.
- ECCC. 2022. « Part 2 ». In *National inventory report 1990 - 2020: Greenhouse gas sources and sinks in Canada*, p. 323. Gatineau, Canada : Environment and Climate Change Canada.
- Fan, Daijia, Wentian He, Ward N. Smith, Craig F. Drury, Rong Jiang, Brian B. Grant, Yaoyao Shi, Daping Song, Yanhua Chen, Xuexia Wang, Ping He et Guoyuan Zou. 2022. « Global evaluation of inhibitor impacts on ammonia and nitrous oxide emissions from agricultural soils: A meta-analysis ». *Global Change Biology*, vol. 28, n° 17, p. 5121-5141. <<https://doi.org/10.1111/gcb.16294>>.
- Forster, Piers, Trude Storelvmo, William Collins, Jean-Louis Dufresne, Dave Frame, Dan Lunt, Thorsten Mauritsen, Matthew Palmer, Masahiro Watanabe, Martin Wild, Hua Zhang, Kari Alterskjaer et Christopher Smith. 2021. « The Earths energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity ». In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, p. 923-1054. vol. 2021. United Kingdom and New York, NY, USA : Cambridge University Press. <<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021AGUFM.U13B..07A>>. Consulté le 14 novembre 2022.
- Gavrilova, Olga, Adrian Leip, Hongmin Dong, James Macdonald, Carlos Gomez, Barbara Amon, Rolando Barahona Rosales, Agustin, Agustin Del Prado, Magda Lima, Walter Oyhantcabal, Tony Weerden, Yeni Widiawati, Andre Bannink, Karen Beauchemin, Harry Clark, April Leytem, Ermias Kebreab, Ngwa Ngwabie et Theunis Vellinga. 2019. « Chapter 10: Emissions from livestock and manure management ». In *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, p. 209. vol. 4. Geneva, Switzerland : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

- Gerber, Pierre J., Henning Steinfeld, Benjamin Henderson, Anne Mottet, Carolyn Opio, Jeroen Dijkman, Alessandra Falcucci et Giuseppe Tempio. 2013. *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Rome, Italy : Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 115 p.
- Godbout, S., P. Brassard et J. Palacios. 2017. *Calcul du volume de fumier pour le dimensionnement des structures d'entreposage - Évaluation des volumes complémentaires*. Québec, Canada : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, 18 p.
- Groupe AGÉCO. 2017. *Life cycle assessment of sheep production in Ontario*. Montréal, Canada : Groupe AGÉCO, 23 p.
- Hawkins, James, Alfons Weersink, Claudia Wagner-Riddle et Glenn Fox. 2015. « Optimizing ration formulation as a strategy for greenhouse gas mitigation in intensive dairy production systems ». *Agricultural Systems*, vol. 137, p. 1-11. <<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.03.007>>.
- Hergoualc'h, Kristell, Hiroko Akiyama, Martial Bernoux, Ngonidzashe Chirinda, Agustin del Prado, AAAsa Kasimir, James Douglas MacDonald, Stephen Michael Ogle, Kristiina Regina et Tony John van der Weerden. 2019. « Chapter 11: N<sub>2</sub>O emissions from managed soils, and CO<sub>2</sub> emissions from lime and urea application ». In *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, p. 48. vol. 4. Geneva, Switzerland : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- Holtshausen, Lucia, Chaouki Benchaar, Roland Kröbel et Karen A. Beauchemin. 2021. « Canola meal versus soybean meal as protein supplements in the diets of lactating dairy cows affects the greenhouse gas intensity of milk ». *Animals*, vol. 11, n° 6, p. 1636. <<https://doi.org/10.3390/ani11061636>>.
- IPCC. 2019. « Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management ». In *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, p. 209. vol. 4. Hayama, Japan : Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Laterre, Rédaction. 2019. « C'est le temps de rendre le sirop d'érable plus vert ». In *La Terre de Chez Nous*. <<https://www.laterre.ca/actualites/foret/cest-le-temps-de-rendre-le-sirop-derable-plus-vert>>. Consulté le 4 février 2022.
- Liang, B. C., A. J. VandenBygaart, J. D. MacDonald, D. Cerkowniak, B. G. McConkey, R. L. Desjardins et D. A. Angers. 2020. « Revisiting no-till's impact on soil organic carbon storage in Canada ». *Soil and Tillage Research*, vol. 198, p. 104529. <<https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104529>>.
- Liang, Chang, Douglas MacDonald, Arumugam Thiagarajan, Corey Flemming, Darrel Cerkowniak et Raymond Desjardins. 2020. « Developing a country specific method for estimating nitrous oxide emissions from agricultural soils in Canada ». *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 117, n° 2, p. 145-167. <<https://doi.org/10.1007/s10705-020-10058-w>>.
- Lizotte, P.-L. 2022. *Les retombées économiques et environnementales d'adoption de pratiques régénératrices pour la réduction des GES de fermes laitières*.
- Mazetto, Andre M., Shelley Falconer et Stewart Ledgard. 2023. « Carbon footprint of New Zealand beef and sheep meat exported to different markets ». *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 98, p. 106946. <<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106946>>.
- McClelland, Shelby C., Keith Paustian et Meagan E. Schipanski. 2021. « Management of cover crops in temperate climates influences soil organic carbon stocks: a meta-analysis ». *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, vol. 31, n° 3, p. e02278. <<https://doi.org/10.1002/eap.2278>>.



- McGeough, E.J., L.C.G. Passetti, Y.H. Chung, K.A. Beauchemin, S.M. McGinn, O.M. Harstad, G. Crow et T.A. McAllister. 2019. « Methane emissions, feed intake, and total tract digestibility in lambs fed diets differing in fat content and fibre digestibility ». *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 99, n° 4, p. 858-866. <<https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0185>>.
- MELCCFP. 2022. *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2020 et leur évolution depuis 1990*. Québec, Canada : Ministère de l'environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la faune et des parcs du Québec, 54 p.
- Muhammad, Ihsan, Upendra M. Sainju, Fazhu Zhao, Ahmad Khan, Rajan Ghimire, Xin Fu et Jun Wang. 2019. « Regulation of soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions by cover crops: A meta-analysis ». *Soil and Tillage Research*, vol. 192, p. 103-112. <<https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.020>>.
- NRC. 1985. *Nutrient requirements of sheep*, 6<sup>e</sup> éd. Washington, DC : National Academies Press, 100 p.
- Ouellet, Veronique, Gaëtan F. Tremblay, Jean-Philippe Laroche, Gilles Bélanger, Simon Binggeli, Guillaume Jégo et Edith Charbonneau. 2021. « Modeling whole farm profitability and environmental performance of four alfalfa-grass binary mixtures in eastern Canadian dairy farms ». *Agronomy Journal*, vol. 113, n° 5, p. 4047-4063. <<https://doi.org/10.1002/agj2.20793>>.
- Patra, Amlan Kumar. 2014. « A meta-analysis of the effect of dietary fat on enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in sheep, and a comparison of these responses between cattle and sheep ». *Livestock Science*, vol. 162, p. 97-103. <<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.007>>.
- Pelster, David E., Arumugam Thiagarajan, B. Chang Liang, Martin H. Chantigny, C. Wagner-Riddle, Kate A. Congreves, R. L. Lemke, Aaron Glenn, Mario Tenuta, Guillermo Hernandez-Ramirez, Shabtai Bittman, D. E. Hunt, Jennifer Owens et J. Douglas MacDonald. 2022. « Ratio of non-growing season to growing season N<sub>2</sub>O emissions in Canadian croplands: an update to national inventory methodology ». *Canadian Journal of Soil Science*. <<https://doi.org/10.1139/CJSS-2022-0101>>. Consulté le 8 février 2023.
- Rotz, C. Alan, Senorpe Asem-Hiablie, Sara Place et Greg Thoma. 2019. « Environmental footprints of beef cattle production in the United States ». *Agricultural Systems*, vol. 169, p. 1-13. <<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.11.005>>.
- Sokolov, Vera, Andrew VanderZaag, Jemaneh Habtewold, Kari Dunfield, James T. Tambong, Claudia Wagner-Riddle, Jason J. Venkiteswaran et Robert Gordon. 2020. « Acidification of residual manure in liquid dairy manure storages and its effect on greenhouse gas emissions ». *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 4, n° 568648, p. 1-11. <<https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.568648>>.
- Tran, Thi Sen et Marcel Giroux. 1998. « Fate of 15N-labelled fertilizer applied to corn grown on different soil types ». *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 78, n° 4, p. 597-605. <<https://doi.org/10.4141/S97-086>>.
- Uddin, M. E., H. A. Aguirre-Villegas, R. A. Larson et M. A. Wattiaux. 2021. « Carbon footprint of milk from Holstein and Jersey cows fed low or high forage diet with alfalfa silage or corn silage as the main forage source ». *Journal of Cleaner Production*, vol. 298, p. 126720. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126720>>.
- VanderZaag, Andrew. 2018. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - MCF Calculations Example Spreadsheet*.
- Vergé, X. P. C., D. Maxime, J. A. Dyer, R. L. Desjardins, Y. Arcand et A. Vanderzaag. 2013. « Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues ». *Journal of Dairy Science*, vol. 96, n° 9, p. 6091-6104.

Vincent Poirier, Denis A. Angers, Philippe Rochette, Martin H. Chantigny, Noura Ziadi, Gilles Tremblay, et Josée Fortin. 2009. « Interactive Effects of Tillage and Mineral Fertilization on Soil Carbon Profiles ». *Soil Science Society of America journal*, vol. 73, n° 1, p. 255-261. <<https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0006>>.

Woodley, Alex L., Craig F. Drury, Xueming Y. Yang, Lori A. Phillips, Daniel W. Reynolds, Wayne Calder et Tom Okello Oloya. 2020. « Ammonia volatilization, nitrous oxide emissions, and corn yields as influenced by nitrogen placement and enhanced efficiency fertilizers ». *Soil Science Society of America Journal*, vol. 84, n° 4, p. 1327-1341. <<https://doi.org/10.1002/saj2.20079>>.

# RÉDUCTION DES GAZ À EFFET DE SERRE ET RECENSION DES PISTES D'INTERVENTIONS

## INTRODUCTION

Les émissions de GES des principales productions agricoles du Bas St-Laurent – laitière, ovine, bovine et acéricole – sont liées à quatre principales sources : la fermentation entérique, la gestion des fumiers, la gestion des sols, ainsi que l'énergie thermique et mécanique. À cela, il faut ajouter une cinquième source, soit les émissions indirectes liées à l'approvisionnement en engrais minéral et en moulée. La première section décrit les mécanismes d'émissions de GES pour chaque catégorie de sources. La deuxième section s'attarde aux interventions possibles. Leur efficacité attendue et leur réalisme en contexte bas-laurentien sera analysé dans la suite du projet.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

Moteurs de recherche utilisés :

- Agri-Réseau & Google

Dans un premier temps, ces outils permettent de trouver facilement plusieurs publications gouvernementales et institutionnelles traitant déjà des questions abordées. L'approche québéco-centrée des documents publiés sur Agri-Réseau est d'ailleurs incontournable. Ces publications contiennent généralement de riches bibliographies d'articles scientifiques qui sont ensuite consultés et cités au besoin.

- Google Scholar, doaj.org (banque de données d'articles scientifiques en libre-accès)

Ces outils permettent de raffiner la recherche en allant trouver dans la littérature scientifique des données et des analyses plus spécifiques.

Les inventaires nationaux de GES, effectués par le Ministère de l'Environnement et de la Lutte aux Changements Climatiques du Québec (MELCC) et Environnement et Changement climatique Canada (ECC) sont évidemment un point de départ incontournable pour juger de l'état des lieux. Ces inventaires ont également parfois des résultats divergents, dus à des méthodes de calcul et des hypothèses différentes, malgré le tronc commun que sont les normes de calcul établies par le Groupe Intergouvernemental d'Étude sur le Climat. Les divergences de résultats, de méthodes retenues, de même que les sources scientifiques citées sont par conséquent d'excellents points de départ pour avoir une vue d'ensemble des bases scientifiques établies de même que des incertitudes qui subsistent.

## PRINCIPALES SOURCES DE GES EN PRODUCTION AGRICOLE BAS-LAURENTIENNE

### La fermentation entérique

Les animaux ruminants – ovins et bovins – doivent être nourris d'une bonne proportion de fourrages riches en cellulose et hémicellulose. La flore des micro-organismes présents dans leur rumen effectue un processus complexe de digestion anaérobie, qui permet de transformer les chaînes de glucides complexes en Acides Gras Volatils, qui sont ensuite assimilés par les animaux. Ce processus dégage cependant du méthane (CH<sub>4</sub>), qui est en même temps un puissant GES (25 fois plus puissant que le CO<sub>2</sub>) et une perte énergétique. Un excès de production de méthane signifie donc aussi une moins bonne productivité; trop de méthane émis = moins de viande ou moins de lait par kg d'aliment. (Camirand et al 2011; Chouinard 2002)

Au Québec, la fermentation entérique est responsable d'un peu plus du tiers des émissions de GES du secteur agricole, avec 115 000 tonnes de CH<sub>4</sub> relâchées dans l'atmosphère en 2018 (MELCC 2020).

### Les fumiers

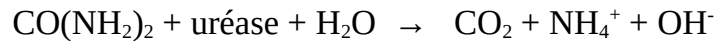
Les fumiers sont une source importante de méthane (CH<sub>4</sub>) et de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O). Le CH<sub>4</sub> est produit par fermentation anaérobie, en partie dans le fumier solide mais surtout dans sa forme liquide. Les quantités de CH<sub>4</sub> produites par un fumier peuvent varier considérablement en fonction de nombreux facteurs : sa composition, son entreposage, sa gestion, etc. Le N<sub>2</sub>O est également le produit d'activités microbiennes anaérobies, mais dans le cas de l'azote organique des fumiers, seulement après un processus de nitrification. L'oxydation de l'azote ammoniacal (NH<sub>3</sub>(-N)) en nitrate (NO<sub>3</sub>-) est en effet un préalable à la dénitrification (microbienne, anaérobie) du nitrate en protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), un GES 300 fois plus puissant que le CO<sub>2</sub>. Le lisier ne produit pratiquement pas de N<sub>2</sub>O car l'azote des fumiers est stable en absence d'oxygène (Rochette, 2005). Par contre, l'entreposage sous forme solide génère beaucoup de N<sub>2</sub>O et peu de méthane, en raison de sa meilleure oxygénation.

Au Québec, la gestion des fumiers génère un peu plus du quart des émissions de GES agricoles, avec l'équivalent de 2,07 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2018. En réalité, on évalue à 2210 tonnes de N<sub>2</sub>O et 56 731 tonnes de CH<sub>4</sub> les quantités qui se sont échappées des fumiers en 2018 (MELCC 2020).

## La gestion des sols

Les sols sont à la fois un puits et une source de carbone; ils sont un chaînon important dans le cycle du carbone. Le carbone organique qu'ils contiennent peut être accumulé et séquestré au fil des années, ou au contraire être émis et perdu dans l'atmosphère. L'application des engrais azotés, qu'ils soient minéraux ou d'origine animale, peuvent causer la production de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), particulièrement en conditions de sol anaérobiques ou en cas de grande disponibilité des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). De la même façon, la minéralisation de la matière organique, suite au travail d'une terre noire ou de la décomposition d'un engrais vert, peut aussi produire du N<sub>2</sub>O.

L'emploi d'urée comme engrais émet aussi directement du CO<sub>2</sub>, à raison de 0,2 kg de CO<sub>2</sub>/kg d'urée :



Le processus de neutralisation suite au chaulage des sols génère aussi du CO<sub>2</sub>, mais les quantités sont moins importantes; évaluées entre 220 000 (ECC 2019) et 370 000 tonnes (MELCC 2020) pour le Québec.

Les émissions de N<sub>2</sub>O suite à la dénitrification en sol cultivé sont par contre beaucoup plus significatives; elles sont estimées à 11 000 tonnes en 2019 pour le Québec, soit l'équivalent de 3,4 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> (ECC 2019).

## Les sources d'énergie thermique et mécanique

Cette catégorie inclut principalement les hydrocarbures utilisés sur les exploitations agricoles : diesel, essence, propane, mais aussi les énergies de remplacement (bois, biomasse, CH<sub>4</sub>). Leur combustion émet du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), à raison de 2,7 kg/L de diesel, 2,3 kg/L d'essence et 1,5 kg/L de propane (MELCC 2019). L'utilisation de combustibles bio-sourcés est généralement jugée carbo-neutre, car les émissions de CO<sub>2</sub> à la combustion sont compensées par l'absorption de CO<sub>2</sub> par la croissance des arbres et des plantes sur le même site.

Par ailleurs, l'approvisionnement en électricité n'est pas un enjeu au Québec, vu la quasi-totalité de l'approvisionnement provenant de sources renouvelables; les émissions de GES équivalent à seulement 0,0015 kg eq. CO<sub>2</sub> par kWh (EEC 2021).

L'utilisation des combustibles fossiles dans le domaine agricole n'est pas calculée dans la catégorie « agriculture » dans les inventaires canadien et québécois; les émissions associées sont amalgamées dans les catégories « Transport » et « Industries » (et « Résidentiel, commercial et institutionnel » pour ce qui est relatif au chauffage des bâtiments) dans l'inventaire québécois, et dans la catégorie « Énergie »

dans l'inventaire fédéral. Il est cependant assez simple de calculer ces émissions pour une exploitation agricole prise à part.

### **Intrants**

La moulée et les engrais peuvent représenter, pour beaucoup d'exploitations agricoles, des intrants qui pourraient faire l'objet d'une auto-production à la ferme (cultures, engrais verts & retours de prairie) mais qui sont souvent importés de façon massive. La production et le transport de ces importants intrants génèrent eux aussi des GES et il est pertinent d'en tenir compte dans une vision d'intervention globale. Nous pouvons asseoir nos évaluations et nos analyses sur des données de base, exprimées en eq. kg CO<sub>2</sub>/kg matière sèche.

## **PISTES D'INTERVENTIONS**

### **La fermentation entérique**

Une façon de diminuer l'émanation de CH<sub>4</sub> est d'améliorer la productivité du troupeau. L'optimisation de la production de lait d'une vache permet d'obtenir plus de kg de lait par kg de CH<sub>4</sub> émané puisque la quantité de CH<sub>4</sub> émis par une vache est indépendante de sa production de lait. Voici quelques pistes pour améliorer la productivité du troupeau et diminuer la production de CH<sub>4</sub> :

- Améliorer la génétique : produire plus de lait par vache et améliorer leur longévité
- Diminuer le nombre d'animaux de remplacement
- Optimiser les vêlages et les lactations avec une première lactation à 24 mois et viser 3 lactations par vache.
- Avoir un objectif de taux de réforme de 25%.

L'alimentation est un levier qui permet de jouer sur la production de CH<sub>4</sub> des vaches.

- Des fourrages plus digestibles : des fourrages ensilés, récoltés plus jeunes et contenant davantage de légumineuses sont plus digestibles. Ils passent plus vite dans le rumen et subissent moins de fermentation, ce qui diminue le CH<sub>4</sub> produit par la rumination. Ces fourrages demandent moins d'énergie pour être ingérés, ce qui augmente leur assimilation, ce qui augmente la production de lait par vache.
- Un ajout de concentrés ou d'aliments riches en amidon tel que le maïs et l'orge. L'amidon est plus facile à digérer que les fibres. Il passe plus vite dans le rumen et fermente moins, ce qui réduit les émissions de méthane.

- un ajout de lipides tel que de l'huile de canola, de lin, de tournesol, de soya ou bien des graines broyées de ces mêmes plantes a pour effet de réduire le CH<sub>4</sub> de la fermentation. (Beauchemin et al. 2009)

- Ajout d'une période de pâturage : Un pâturage de qualité augmente la production du lait. De plus, puisque les vaches séjournent au champ, l'entreposage du fumier est moindre et la décomposition de celui-ci est aérobie, réduisant la quantité émise de CH<sub>4</sub>.

- Une alimentation plus précise, sans surplus de protéines, permet de réduire les pertes d'azote dans l'urine, ce qui contribue à une meilleure productivité des vaches. L'ajout d'acides aminés limitants permet aussi de réduire le niveau de protéines brutes des rations. (Camirand et al. 2011)

### Les fumiers

Des GES émanent des structures d'entreposage tout dépendant sous quelle forme les déjections sont entreposées. De façon générale, le lisier dégage plus de GES que le fumier solide qui en dégage plus à son tour que le compost.

Certaines mesures permettent de réduire les GES provenant des fumiers :

- La couverture de fosse permet de 1) réduire l'infiltration de l'eau, ce qui diminue la circulation de la machinerie pour l'épandage du fumier, diminuant ainsi l'utilisation de combustibles fossiles; 2) diminuer la volatilisation de l'azote, qui permet de réduire l'utilisation d'engrais azoté dont la production engendre des GES; 3) capter et brûler le CH<sub>4</sub> dégagé par la fermentation anaérobie du lisier. Le CH<sub>4</sub> est alors transformé en CO<sub>2</sub>, qui est 25 fois moins polluant – en termes de potentiel de réchauffement du climat – que le méthane. Il est même possible de récupérer le méthane de façon à l'utiliser comme source d'énergie, ce qui réduit d'autant les émissions potentielles d'une source d'énergie fossile ainsi remplacée.

- Le moment et la façon de vider la fosse :

1) Vider la fosse au complet permet de réduire la production de méthane puisque le lisier résiduel devient constitue un puissant ionculum de micro-organismes méthanogènes actifs prêts à produire rapidement du méthane dès le prochain apport de déjections dans la fosse.

2) Vider la fosse au printemps, pour diminuer la quantité de lisier entreposée en été, où les températures chaudes augmentent l'activité microbienne méthanogène.

3) Vider fréquemment la fosse/épandre souvent pour diminuer la quantité de lisier produisant du CH<sub>4</sub> dans la fosse.

- La séparation de la phase liquide de la phase solide permet de diminuer les émanations de CH<sub>4</sub> de 50% en utilisant une centrifugeuse et jusqu'à 80% avec une collecte sélective. (Camirand et al. 2011)

### La gestion des sols

L'utilisation massive d'engrais azoté minéral est la principale cause d'émissions de N<sub>2</sub>O du secteur agricole au Québec (MELCC 2020, EEC 2019). Tout azote se retrouvant au sol en superflu – au-delà de la capacité de la culture à l'absorber – est candidat à la dénitrification, productrice de N<sub>2</sub>O. L'adoption d'une démarche de fertilisation raisonnée est indispensable à la diminution des émissions de N<sub>2</sub>O. Meilleur sera l'ajustement de la fertilisation aux besoins de la culture, le moins de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> sera disponible pour les bactéries dénitrifiantes (Pages 2005). De plus, la fabrication (et accessoirement le transport) de chaque kg d'engrais azoté a généré 3,6 kg d'éq. Kg CO<sub>2</sub> (Adom et al, *ibid*). Toute réduction des quantités d'engrais azoté appliquées au champ est donc une réduction directe d'émissions de GES.

Un sol en santé – bien structuré, aéré, vivant – permet de diminuer considérablement les besoins en engrais azoté minéral. Une menace grandissante à cette santé des sols est leur compaction par la machinerie, qui diminue leur fertilité en limitant considérablement l'accès aux éléments fertilisants, la vie microbienne et en augmentant l'énergie nécessaire au travail du sol (Duiker, 2004 ; Wolkowski et Lowery, 2008). La compaction réduit la porosité, l'infiltration et l'aération et crée des conditions favorables à la dénitrification de l'azote, ce qui génère du N<sub>2</sub>O. La prévention de la compaction des sols est incontournable dans l'adoption de bonnes pratiques visant à diminuer les émissions de GES provenant du sol; un sol compacté nécessitera l'ajout de beaucoup plus d'engrais et émettra en moyenne deux fois plus de N<sub>2</sub>O (Hernandez-Ramirez et al 2021). Les conditions favorisant la formation de compaction peuvent être réduites en évitant de travailler dans des conditions humides, en ajustant la pression des pneus, en augmentant la surface de contact des pneus, en réduisant la charge par essieu (< 5 t de préférence), en réduisant le travail du sol, en réduisant les superficies circulées par la machinerie (circulation contrôlée, utilisation d'équipements combinés, utilisant des technologies d'agriculture de précision), en ajustant la répartition du poids de l'ensemble tracté et en augmentant la matière organique des sols (Garon 2014, Duiker, 2004 ; Wolkowski et Lowery, 2008).



L'ajustement de la fertilisation azotée aux besoins des cultures passe aussi par de meilleures techniques : 1) épandre les fumiers et lisiers de façon mesurée (adaptée aux besoins des cultures, après analyse des déjections) (Pages 2005), près du sol, en évitant les jours trop chauds ou de grand vent, en les incorporant au sol dans les heures qui suivent (Vanasse 2004), tout cela permet de limiter les pertes en azote par volatilisation de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), ruissellement ou dénitrification, et d'ainsi réduire l'ajout de fertilisant minéral azoté; 2) en analysant les teneurs en azote des terres à proximité des parcs d'engraissement extérieur (beaucoup d'azote ammoniacal volatilisé dans le parc peut être déposé aux environs sous forme d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )); 3) l'utilisation de techniques d'agriculture de précision, telle que l'imagerie par drone aérien, pour ajuster la fertilisation azotée en fonction des besoins dans les différentes zones cultivées; 4) l'utilisation de formulations d'engrais avec « protecteur d'azote » - inhibiteurs d'uréase (NBPT) pour ralentir la transformation de l'urée et minimiser la perte par volatilisation en ammoniac, et inhibiteurs de nitrification (DCD & DMPP), afin de limiter la transformation de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et sa perte par ruissellement et dénitrification (Dollé et al 2016); 5) le fractionnement des doses d'engrais en plusieurs petits épandages ou l'utilisation de formules d'engrais à libération lente, pour favoriser la plus grande absorption possible par les plantes tout au long de leur croissance; 6) implanter des pratiques culturales génératrices ou récupératrices d'azote : période de pâturage, introduction de légumineuses dans la rotation, implantation de cultures de couvertures en intercalaire ou à la récolte (Rochette et al 2004).

Il est enfin possible de tirer parti du potentiel de séquestration du carbone des sols. Il est possible de 1) mettre à l'oeuvre le potentiel avéré de stockage du carbone des prairies, en privilégiant les prairies permanentes, en entretenant/intensifiant les prairies permanentes pauvres avec une fertilisation adaptée et en allongeant la durée des prairies temporaires (Arrouays et al 2002); 2) en introduisant des pâturages dans la rotation et en privilégiant les pâturages permanents; en effet, ceux-ci ont de meilleures capacités de séquestration du carbone que les prairies fauchées (Gac et al 2020); 3) en implantant des cultures intercalaires (Lizotte, Luo 2010) et 4) en implantant ou conservant des haies brise-vent, des plantations en rideau-abri ou des corridors fauniques végétalisés (Huffman et al 2015).

Enfin, le travail réduit du sol ou le semis direct a longtemps été vanté comme une excellente stratégie de diminution des GES et de séquestration du carbone dans les sols. Or, le bilan GES du passage au semis direct ne fait pas actuellement l'objet d'un

consensus scientifique (Baker et al 2007, Luo 2010, Ogle et al 2012, Cooper et al 2021). Cette pratique permet évidemment l'obtention de nombreux bénéfices agronomiques, mais son impact spécifique sur les émissions de GES provenant du sol est encore mal compris. Les études plus récentes tendent à montrer que les gains escomptés ne se matérialisent pas, ou que le stockage de carbone additionnel dépend du type ou de la fréquence de la culture (Conceicao et al 2013; Luo 2010). Pire encore, il se pourrait que les pratiques de travail réduit du sol tendent à favoriser la dénitrification de l'azote et à accroître la production de N<sub>2</sub>O (MELCC 2020, p. 41; Rochette et al 1999 in Chantigny 2002), mais cet effet ne pourrait être que temporaire et disparaître quelques années après l'implémentation de la pratique (Six et al 2002) ou encore être réduit grâce à une culture de couverture ou une culture d'automne (Chantigny 2002).

### **Les sources d'énergie thermique et mécanique**

Toute réduction de l'effort mécanique que fournit le tracteur pour travailler le sol économisera du carburant et réduira les émissions de CO<sub>2</sub>. Il est possible de 1) réduire la profondeur du travail, 2) réduire la quantité et le chevauchement des passages, notamment en les combinant à l'aide d'équipements appropriés ou en utilisant des technologies d'agriculture de précision, 3) d'ajuster la répartition du poids de l'ensemble tracté, 4) d'ajuster la pression des pneus pour assurer une traction optimale, 5) même de passer au semis direct.

Les autres sources d'énergie fossile potentiellement utilisées sont à prioriser : 1) remplacer un évaporateur à l'huile par un évaporateur à émissions quasi-nulles (électrique) ou carbo-neutre (à granules ou au bois); 2) modifier un système de séchage des grains alimenté au propane avec une fournaise alimentée au bio-gaz ou à la biomasse forestière (carbo-neutralité); 3) remplacer un appareil de chauffage de bâtiment selon la même logique.

La carbo-neutralité dont il est question n'est jamais absolue; des émissions indirectes, associées par exemple au transport de la matière ligneuse, existent toujours. Dès lors, toute démarche d'efficacité énergétique, par exemple en améliorant l'isolation de vieux bâtiments, est productive en termes de diminution de GES.

### **Intrants**

La connaissance des ratios eq. kg CO<sub>2</sub>/kg intrant, ainsi qu'une analyse des émissions d'une exploitation agricole donnée – par exemple avec le logiciel *Holos* – permet la comparaison entre la performance des opérations de la ferme versus le reste de

l'industrie. Une telle analyse comparative permet de cibler des domaines d'intervention pour améliorer le bilan GES de l'exploitation agricole, ce qui peut inclure de remplacer l'importation d'intrants par une production à la ferme, ou l'inverse.

## CONCLUSION

Les pistes d'intervention recensées feront l'objet d'évaluations en termes de gains potentiels (en termes de réduction de GES) et de leur applicabilité pour la majorité des entreprises et dans les principaux secteurs agricoles bas-laurentiens. Un des objectifs du présent projet de recherche est d'identifier des mesures concrètes qui amèneront des résultats significatifs et qui pourront être effectivement appliquées par les entreprises régionales. Les gains potentiels seront évalués à l'échelle de la région et en tenant compte de la structure et des pratiques des entreprises de la région, de même que des contraintes géographiques, climatiques et économiques à l'intérieur desquelles elles évoluent.

## RÉFÉRENCES

- Adom, Felix, Ashley Maes, Charles Workman, Zara Clayton-Nierderman, Greg Thoma, David Shonnard. (2012). « Regional carbon footprint analysis of dairy feeds for milk production in the USA ». *International Journal Life Cycle Assessment* (2012) 17:520–534. DOI 10.1007/s11367-012-0386-y.
- Adom, Felix, Charles Workman, Greg Thoma, David Shonnard. (2013). « Carbon footprint analysis of dairy feed from a mill in Michigan, USA ». *International Dairy Journal* 31 (2013) S21eS28.
- Alemu, Aklilu W., Brian D. Amiro, Shabtai Bittman, Douglas MacDonald, Kim H. Ominski. (2017). « Greenhouse gas emission of Canadian cow-calf operations: A whole-farm assessment of 295 farms ». *Agricultural Systems* 151 (2017) 73–83.
- Arrouays, Dominique & Balesdent, Jerome & Germon, Jean-Claude & Jayet, Pierre-Alain & Soussana, Jean-Francois & Stengel, Pierre. (2002). Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?. [en ligne] : [https://www.researchgate.net/publication/284169283\\_Contribution\\_a\\_la\\_lutte\\_contre\\_l%27effet\\_de\\_serre\\_Stocker\\_du\\_carbone\\_dans\\_les\\_sols\\_agricoles\\_de\\_France](https://www.researchgate.net/publication/284169283_Contribution_a_la_lutte_contre_l%27effet_de_serre_Stocker_du_carbone_dans_les_sols_agricoles_de_France)

- Baker et al 2007, « Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know? », Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 118, Issues 1–4, January 2007, Pages 1-5, [en ligne] : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880906001617>
- Camirand, Jeanne & Christine Gingras et al 2010. « Module 2, Réduction des GES dans les élevages au Québec. » Nature Québec. Document réalisé dans le cadre du projet Agriculture et climat : vers des fermes 0 carbone. 35 pages.
- Camirand et al, 2011. (Nature Québec, La Coop fédérée, Fédération des producteurs de porcs du Québec). « Stratégies de réduction des gaz à effet de serre pour le secteur de la production laitière au Québec. Guide d'information et d'accompagnement du calculateur de gaz à effet de serre en secteur laitier. » Réalisé dans le cadre du projet Outil d'aide à la décision : exploitation laitière et GES.
- Chantigny, Martin, (2002). « Émissions de protoxyde d'azote (n<sub>2</sub>o) en agriculture, contribution des amendements organiques, des fertilisants minéraux et du labour ». 65e Congrès de l'OAQ.
- CHOUINARD, Y., 2002. « Production et émissions du méthane et du gaz carbonique par les ruminants », 65e congrès de l'Ordre des agronomes du Québec, 10 p., sur le site de AgriRéseau. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/chouinard.pdf>
- Cooper H V, S Sjögersten, R M Lark and S J Mooney, (2021). « To till or not to till in a temperate ecosystem? Implications for climate change mitigation ». Environmental Research. Letter. 16 (2021) 054022. [en ligne]: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe74e>
- Conceição et al 2013, « Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization », Soil and Tillage Research, Volume 129, May 2013, Pages 40-47, [en ligne] : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198713000081>
- Dollé, Jean-Baptiste et al (2016), « Mesures d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre en élevage bovin lait et viande ». Institut de l'élevage, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire. République française.

Duiker, Sjoerd W. 2004. Avoiding soil compaction. University Park, PA : Penn State Extension, Pennsylvania State University, 8 p.

Environnement et Changement climatique Canada, 2021. « Rapport d'inventaire national 1990–2019 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada - La déclaration du Canada à la Convention-Cadre des Nations unies sur les changements climatiques ». Sommaire, Parties 1-2-3. [En ligne] : [canada.ca/inventaire-ges](https://canada.ca/inventaire-ges)

Friedl, Johannes – Clemens Scheer, David W. Rowlings, Evi Deltedesco, Markus Gorfer, Daniele De Rosa, Peter R. Grace, Christoph Müller & Katharina M. Keiblinger, 2020. « Effect of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on N-turnover, the N<sub>2</sub>O reductase-gene nosZ and N<sub>2</sub>o:n<sub>2</sub> partitioning from agricultural soils ». Nature, Scientific Reports. 10:2399. [en ligne]: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-59249-z.pdf>

Godbout et al 2019. « Émissions de GES des modes d'élevages de bovins de boucherie au Québec: Quantification et réduction ». [en ligne] : <https://irda.blob.core.windows.net/media/5686/godbout-et-al-2019-emissions-de-ges-des-modes-delevages-de-bovins-de-boucherie-au-quebec-quantification-et-reduction-rapport.pdf>

Hernandez-Ramirez Guillermo, Reiner Ruser, Dong-Gill Kim, 2021. « How does soil compaction alter nitrous oxide fluxes? A meta-analysis », Soil and Tillage Research, 10.1016/j.still.2021.105036, 211, (105036), [en ligne] : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198721001069?via%3Dihub>

Huffman, T., J. Liu, M. McGovern, B. McConkey et T. Martin. 2015. « Carbon stock and change from woody biomass on Canada's cropland between 1990 and 2000 ». Agriculture, Ecosystems & Environment 205: 102-111.

Gac et al 2020, « Le stockage de carbone par les prairies : Une voie d'atténuation de l'impact de l'élevage herbivore sur l'effet de serre. », Institut de l'Élevage - INRA, 12 p., 2010, Collection l'Essentiel. Hal-02824535

Garon, Bruno, 2014. « Attention à la compaction au champ, comment réduire la compaction ». [en ligne] : [https://www.agrireseau.net/legumeschamp/documents/Compaction\\_et\\_%20balancement\\_du\\_tracteur.pdf](https://www.agrireseau.net/legumeschamp/documents/Compaction_et_%20balancement_du_tracteur.pdf)

- Li , Hua – Xinqiang Liang, Yingxu Chen, Yanfeng Lian, Guangming Tian, Wuzhong Ni. 2008. « Effect of nitrification inhibitor DMPP on nitrogen leaching, nitrifying organisms, and enzyme activities in a rice-oilseed rape cropping system ». *Journal of Environmental Sciences (China)*. 2008;20(2):149-55. doi: 10.1016/s1001-0742(08)60023-6.
- Luo et al 2010, « Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments ». *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 139, Issues 1–2, 15 October 2010, Pages 224-231. [en ligne] : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880910002094>
- Meyer, Andreas – Auricha Alfons – Weersink Ken Janovicek – Bill Deen. 2006. « Cost efficient rotation and tillage options to sequester carbon and mitigate GHG emissions from agriculture in Eastern Canada ». *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 117, Issues 2–3, November 2006, Pages 119-127
- Ministère de l’Environnement et de la Lutte aux Changements Climatiques (MELCC), 2019. « Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre ». 107 p.
- Ministère de l’Environnement et de la Lutte aux Changements Climatiques, 2020, « Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2018 et leur évolution depuis 1990 », Gouvernement du Québec, [en ligne] : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/index.htm>
- Ogle et al 2012, « No-till management impacts on crop productivity, carbon input and soil carbon sequestration », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 149, 1 March 2012, Pages 37-49, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [en ligne] : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880911004361>
- Programme d’atténuation des gaz à effet de serre (PAGES). 2005. Équipements d’épandage et gestion des lisiers : caractérisation de 75 chantiers, saison 2004. Clubs-conseils en agroenvironnement. 8 pages. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Brochure\\_ClubsConseils.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Brochure_ClubsConseils.pdf)
- Rochette, P., M. Chantigny, D. Angers et A. Vanasse, 2004. « Gestion de l’azote des fumiers : comment réduire les pertes ? Document produit dans le cadre du programme d’atténuation des gaz à effet de serre » (PAGES). 6 p. [En ligne]. [http://www.soilcc.ca/ggmp\\_fact\\_sheets/pdf/QU\\_Vol-N-Rochette.pdf](http://www.soilcc.ca/ggmp_fact_sheets/pdf/QU_Vol-N-Rochette.pdf)

- Rochette , P., 2005. « L'entreposage des fumiers : une source appréciable de GES. Bovins du Québec ». 2 p. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinsboucherie/documents/fumiers%20GES.pdf>
- SCCC (Soil Conservation Council of Canada), 2001. "Fossil Fuel". In: Global Warming and Agriculture, Facts Sheets Series, with the participation of Agriculture and Agri-Food Canada, vol. 1, no 3. [En ligne]. <http://www.soilcc.ca/resources.htm>
- Sheehy, Jatta – Kristiina Regina – Laura Alakukku – Johan Six. 2015. « Impact of no-till and reduced tillage on aggregation and aggregate-associated carbon in Northern European agroecosystems ». Soil and Tillage Research, Volume 150, July 2015, Pages 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.01.015>
- Six (Johan), Christian Feller, Karolien Denef, Stephen Ogle, Joao Carlos de Moraes Sa, et al.. 2002. « Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. » Agronomie, EDP Sciences, 2002, 22 (7-8), pp.755-775. 10.1051/agro:2002043. hal-00885974
- Taurus (blog), 2018. « The differences between NBPT, DCD and DMPP ». [en ligne] : <https://taurus.ag/understanding-and-preventing-nitrogen-loss/>
- Ulrich Sebastian, Sabine Tischer, Bodo Hofmann, Olaf Christen. 2010. « Biological soil properties in a long-term tillage trial in Germany ». Journal of Plant Nutrition and Soil Science. <https://doi.org/10.1002/jpln.200700316>
- Vallée, Jérémie et al. 2012. « Des pratiques agricoles efficaces, un impact bénéfique sur le climat ». Nature Québec, dans le cadre du projet Favoriser l'adoption de pratiques de gestion bénéfiques pouvant réduire le bilan de GES de cinq secteurs agricoles au Québec.
- VANASSE, A. Programme d'atténuation des gaz à effet de serre (PAGES). 2004. Leadership de l'agriculture dans la réduction des GES. 4 pages. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/GESencart\\_mars04.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/GESencart_mars04.pdf)
- Wolkowski, Richard et Birl Lowery. 2008. Soil compaction: causes, concerns, and cures. Madison, WI : University of Wisconsin-Extension, 8 p.
- Zerulla, Wolfram & Barth, Thomas & Dressel, Jürgen & Erhardt, Klaus & Locquenghien, Klaus & Pasda, Gregor & Rädle, Matthias & Wissemeier, Alexander. (2001). « 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) - A new nitrification inhibitor for agriculture

and horticulture. An introduction ». *Biology and Fertility of Soils*. 34. 79-84.  
10.1007/s003740100380.



## ASPECTS ÉCONOMIQUES DE LA CONVERSION ÉNERGÉTIQUE EN PRODUCTION ACÉRIQUE AU BAS SAINT-LAURENT

### CONVERSION DE L'ÉVAPORATEUR

La conversion d'un type d'évaporateur à un autre plus sobre en carbone doit considérer plusieurs facteurs (BERNIER, 2020), notamment :

- les conditions des personnes travaillant dans l'érablière durant le temps des sucres ;
- les composantes de l'érablière (ex. : distance des chemins et du réseau public, sources d'énergie disponibles, équipements employés, taille et rendement de l'érablière, etc.) ;
- l'impact environnemental de la source d'énergie employée ;
- l'impact financier d'un type d'évaporateur par rapport à un autre (coûts d'acquisition et d'opération, variation du coût de l'énergie, etc.).

En 2020, Bernier compare les coûts d'acquisition et d'opération de six modèles d'évaporateurs pour quatre entreprises acéricole-type, soit une érablière de 5 000, de 10 000, de 20 000 et de 40 000 entailles.

Pour une érablière de 5 000 entailles, il estime que ce sont l'évaporateur au bois conventionnel (114,88 \$) et l'évaporateur conventionnel à l'huile (162,26 \$) qui sont les moins coûteux à opérer par baril de 32 gallons en considérant le coût de l'énergie, les autres frais variables (entretien) et les frais fixes. Cette estimation ne considère cependant pas le salaire pour faire le bois ni pour alimenter l'évaporateur. Si l'entreprise n'a pas le temps ou les ressources nécessaires à cet effet, les coûts des autres options se ressemblent variant de 162,26 \$ à 187,51 \$ par baril. Il est aussi important de considérer que le prix de l'huile peut changer rapidement dans le contexte géopolitique actuel. La conversion d'un évaporateur conventionnel à l'huile pour un évaporateur au bois conventionnel permet de réduire la charge de 47,38 \$ par baril, tandis que la conversion vers un évaporateur électrique augmente la charge de 16,49 \$.

Pour une érablière de 10 000 entailles, ce sont l'évaporateur au bois conventionnel (69,42 \$) et au bois hautes-performances (99,44 \$) qui sont les moins coûteux par baril. Si l'entreprise n'a pas le temps ou les ressources pour faire le bois et alimenter l'évaporateur, les coûts des autres options se ressemblent variant de 103,40 \$ à 119,39 \$ par baril. La conversion d'un évaporateur conventionnel à l'huile pour un évaporateur au bois conventionnel permet de réduire la charge de 33,98 \$ par baril, tandis que la conversion vers un évaporateur électrique augmente la charge de 15,62 \$.

Pour une érablière de 20 000 entailles, ce sont l'évaporateur au bois ventilé étanche (56.43 \$) et au bois hautes-performances (68.69 \$) qui sont les moins coûteux à opérer par baril. Si l'entreprise n'a pas le temps ou les ressources pour faire le bois et alimenter l'évaporateur, les coûts des autres options se ressemblent variant de 80.23 \$ à 97.30 \$ par baril. La conversion d'un évaporateur conventionnel à l'huile pour un évaporateur isolé-ventilé-étanche permet de réduire la charge de 35,10 \$ par baril, tandis que la conversion vers un évaporateur électrique diminue la charge de 6,49 \$.

Pour une érablière de 40 000 entailles, ce sont l'évaporateur au bois ventilé et étanche (51.71 \$) et l'évaporateur au bois hautes-performances (55.02 \$) qui sont les moins coûteux à opérer par baril. Si l'entreprise n'a pas le temps ou les ressources pour faire le bois et alimenter l'évaporateur, les coûts des autres options se ressemblent variant de 59.48 \$ à 85.02 \$ par baril. La conversion d'un évaporateur conventionnel à l'huile pour un évaporateur isolé-ventilé-étanche permet de réduire la charge de 30,31 \$ par baril, tandis que la conversion vers un évaporateur électrique diminue la charge de 19,35 \$ par baril.

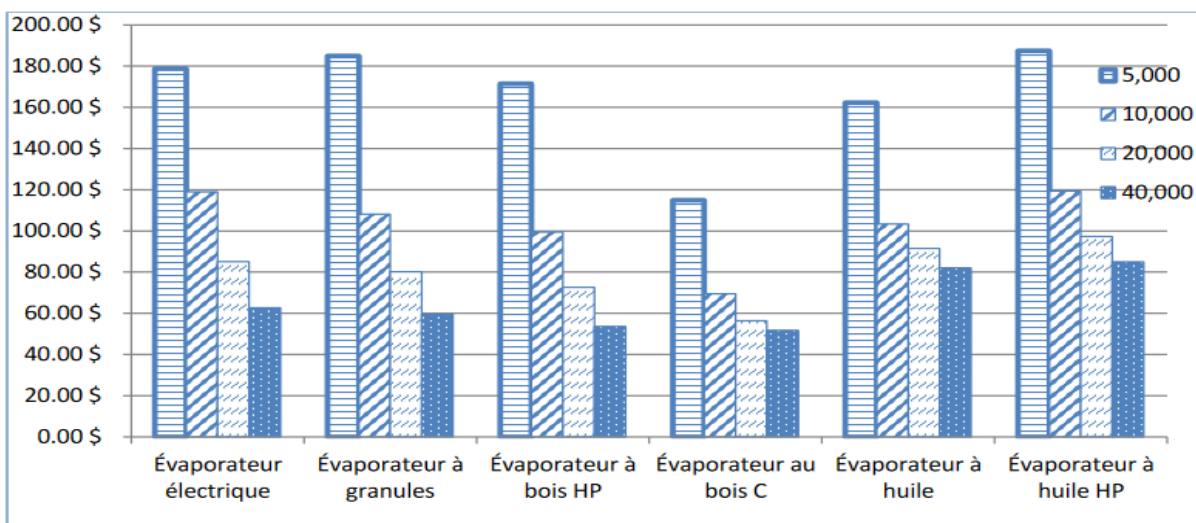


Figure 1. Coûts par baril de 32 gallons de propriété et coûts des frais variables de différents types (BERNIER, 2020).

Il est à noter que les estimations précédentes ne tiennent pas compte de la main-d'œuvre additionnelle et certains équipements nécessaires pour alimenter l'évaporateur en bois lors de l'évaporation. Pour les entreprises de grande taille 20 000 entailles et plus, l'utilisation du bois comme combustible demandera une personne de plus à la cabane. L'utilisation de palettes de bois pré-cordées et de chariot élévateur sont nécessaires pour rendre ce travail efficace.

Il est à noter qu'il est possible de comparer les coûts reliés à l'exploitation de différents types de système d'évaporation par l'entremise de l'outil de calcul des coûts de production du sirop d'érable ACERUPA2014 du Centre ACER ([voir le lien suivant](#)). Cet outil permet au producteur de mieux choisir le type d'évaporateur répondant à son besoin particulier selon la taille de son érablière et le budget alloué à son installation et son exploitation. La comparaison entre les évaporateurs est basée sur la différence entre les coûts de différentes catégories de dépenses ainsi que le coût total de l'exploitation d'un évaporateur. Les évaporateurs choisis à titre de comparaison dans cet outil sont ceux les plus souvent retrouvés sur le marché, soit l'évaporateur à l'huile, au bois et aux granules de bois. L'analyse de l'évaporateur électrique est quant à elle disponible sur le [CTTA 2e édition](#).

## ÉLECTRIFICATION

L'avènement des systèmes de collecte mécanisés et des systèmes de concentration partielle par osmose inversée ainsi que l'utilisation des évaporateurs munis de brûleurs à l'huile ont fait en sorte que l'électricité est bien souvent nécessaire. Elle est devenue l'une des infrastructures essentielles à l'exploitation de l'érablière. Tel que d'autres éléments d'infrastructure, l'approvisionnement en électricité (planification et installation d'une ligne électrique ou achat d'un groupe électrogène de forte puissance) constitue un investissement qui peut augmenter considérablement les frais fixes d'exploitation et influencer la rentabilité de l'entreprise acéricole. Il importe donc d'effectuer une analyse stricte et rigoureuse entre l'aménagement d'une ligne reliée au réseau de distribution électrique existant et l'achat d'un groupe électrogène de forte puissance.

En cas de raccordement au réseau public, Hydro-Québec détaille les Conditions de service, les modalités de facturation et de paiement, ainsi que les modes d'alimentation et de raccordement de nouvelles installations par une ligne privée d'alimentation. L'installation d'une telle ligne est cependant soumise aux prescriptions contenues dans les différents codes et autres textes réglementaires. En conséquence, l'exécution de tels travaux devrait toujours être confiée à un entrepreneur spécialisé ou à un maître électricien.

Quelques éléments sont à considérer :

- Frais d'intervention sur le réseau de 360 \$ ;
- 30 premiers mètres généralement gratuits (inclus au service de base) ;
- Le reste de la distance est aux frais du client à coût variable selon le type d'alimentation (aérien ou souterrain ; basse ou moyenne tension ; monophasé ou

triphase) et les équipements requis (poteaux, transformateurs, etc.). [Voir les conditions de service : Chapitre 20](#)

Exemple :

Prolongement de 1 000 mètres, en arrière-lot, d'une ligne de distribution aérienne monophasée (basse tension incluse) sur poteaux de bois, en l'absence d'un réseau municipal d'aqueduc ou d'égout – Puissance comprise entre 2 et 50 kW, un coffret de branchement principal à raccorder

- [Supplément en arrière-lot pour le service de base \(Ce lien vous amènera vers une section plus haut dans la page.\)](#) 100 mètres à 26 \$/m = 2 600 \$
- [Prolongement au-delà du service de base \(Ce lien vous amènera vers une section plus haut dans la page.\)](#) 900 mètres à 109 \$/m = 98 100 \$
- Calcul du montant à payer Coût total des travaux 100 700 \$
- Montant à payer 100 700 \$
- Montant total admissible à un remboursement 74 700 \$[note](#)<sup>1</sup>

1. Ce montant provient du calcul suivant : 1 000 mètres x 83 \$ = 83 000\$ (correspond au montant du service de base en présence d'un réseau d'aqueduc ou d'égout en emprise publique). Duquel on soustrait le service de base déjà accordé, soit 100 mètres x 83 \$ = 8 300 \$.

## RÉFÉRENCES

ALI, FADI ET JESSICA HOUDE. CENTRE ACER. 2013. *Coût d'utilisation du bois de chauffage, de l'huile légère et des granules de bois comme combustible pour la production du sirop d'érable*. (Consulté le 26 janvier 2023 à <https://gestion.centreacer.qc.ca/fr/UserFiles/Publications/Fiche%20%C3%A9conomique%20-%20Combin%C3%A9-%20%C3%89vaporateur%20au%20bois-huile-granules%20V3.pdf>).

BERNIER, RAYMOND. 2020. *Évaporateur d'eau d'érable - Caractéristiques, opération et choix selon les préférences, les coûts d'acquisition et d'opération*. (Consulté le 13 janvier 2023 à <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/ChaudiereAppalaches/RaymondBernier-Evaporateur-Characteristiques.pdf>).

CENTRE DE RECHERCHE DE DÉVELOPPEMENT ET DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE ACÉRICOLE (CENTRE ACER). 2021. *Cahier de transfert technologique en acériculture 2e édition – Volume 1 : Les appareils de concentration membranaire et les évaporateurs*. 278 p.

CENTRE D'ÉTUDES SUR LES COÛTS DE PRODUCTION EN AGRICULTURE (CECPA), 2021. *Étude technico-économique de secteur : Production acéricole au Québec*. (Consulté le 27 janvier 2023 à [https://ppaq.ca/app/uploads/2021/12/2021-11-Etude\\_technico-economique\\_Acericole.pdf](https://ppaq.ca/app/uploads/2021/12/2021-11-Etude_technico-economique_Acericole.pdf)).

HYDRO-QUÉBEC. 2019. *Exemples de calcul du montant à payer pour travaux - Promoteurs*. (Consulté le 27 janvier 2023 à <https://www.hydroquebec.com/promoteurs/documentation.html>).

LAPOINTE, DAVID. MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC (MAPAQ). 2016. *Passer de l'huile au bois : résultats d'enquête*. (Consulté le 27 janvier 2023 à [https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/GaspesieIledelaMadeleine/De\\_l\\_huile\\_au\\_bois\\_David\\_Lapointe.pdf](https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/GaspesieIledelaMadeleine/De_l_huile_au_bois_David_Lapointe.pdf)).

LEDUC, PHILIPPE ET VINCENT POISSON. 2018. *Le bois : combustible d'avenir ?* (Consulté le 26 janvier 2023 à [https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/ChaudiereAppalaches/Espaceconferences/Le\\_bois\\_combustible\\_JA\\_2018.pdf](https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/ChaudiereAppalaches/Espaceconferences/Le_bois_combustible_JA_2018.pdf)).

## REMERCIEMENTS

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert.



# Rapport de GES

## Ferme Exemple-de-rapport

Au Québec, le secteur agricole est responsable de 9,6% des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, soit 7,8 Mt éq. CO<sub>2</sub>. Trois principaux GES sont en cause, soient le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O).

Gaz à effet de serre	Équivalence au CO <sub>2</sub>	Principale source d'émissions agricoles
CO <sub>2</sub>	1	- Travaux mécanisés - Chauffage des bâtiments
CH <sub>4</sub>	28	- Fermentation entérique - Entreposage des fumiers
N <sub>2</sub> O	265	- Épandage des engrais - Entreposage des fumiers

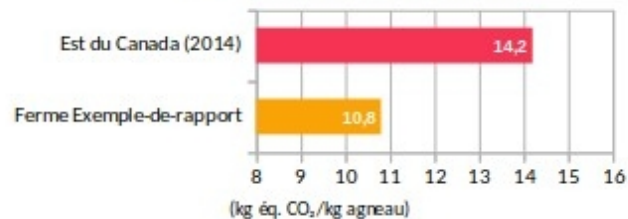
**642** Émissions de GES de l'entreprise (t éq.CO<sub>2</sub>/an)

**21** CO<sub>2</sub> séquestré (valeur négative) ou émis (valeur positive) par le sol (t éq.CO<sub>2</sub>/an)

**663** Bilan global de GES de l'entreprise (t éq.CO<sub>2</sub>/an)

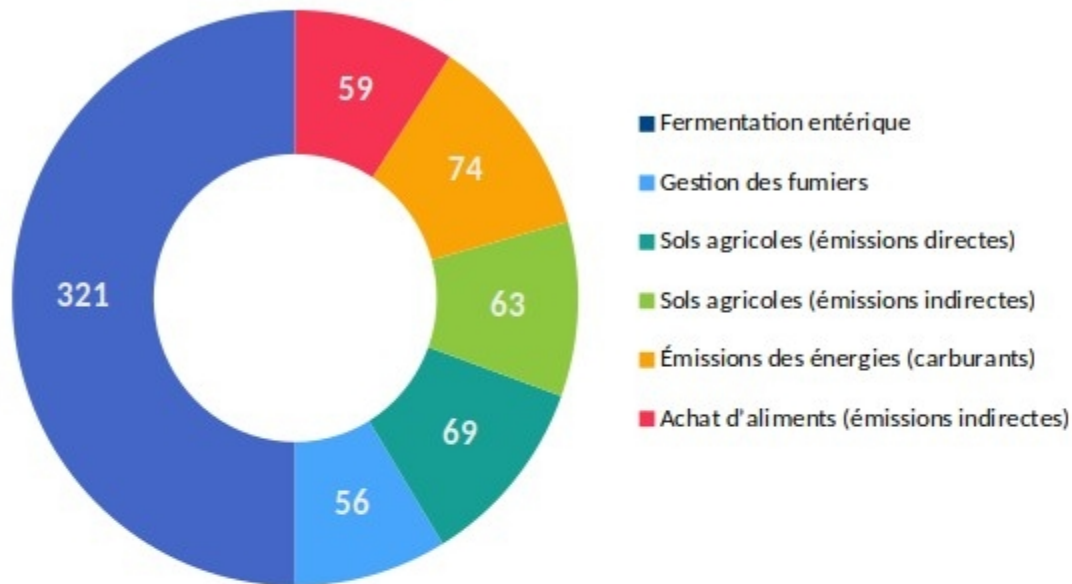
Pour la production ovine, un indice d'émissions consiste à diviser les GES émis par le poids total d'agneaux vivants vendus. Si l'indice de votre entreprise est plus petit que 14,2 kg éq.CO<sub>2</sub>/kg, elle est parmi celles qui produisent le moins de GES dans l'Est du Canada (Dyer et al., 2014).

### Moyenne des émissions sur une base d'agneaux vivants vendus



# Rapport de GES

Répartition des émissions de GES de l'entreprise  
(t éq.CO<sub>2</sub>/an)



Les émissions de la fermentation entérique proviennent de la digestion des aliments par le bétail.

Les émissions directes des sols sont produites par la dénitrification de l'azote des engrais appliqués au champ.

Les émissions des énergies sont principalement produites par les travaux mécanisés au champ.

Les émissions sont résultantes de la fermentation sans oxygène des fumiers lors de l'entreposage.

Les émissions indirectes des sols proviennent de la volatilisation et du lessivage de l'azote des engrais appliqués au champ.

Les émissions indirectes sont produites lors du séchage, de la fabrication et du transport des aliments achetés.

**Informations sur la réduction des GES agricoles :**  
Développement agricoles des Basques  
MAPAQ  
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Un projet financé par le programme Prime-Vert du MAPAQ



Pour information :  
Pierre-Luc Lizotte, ing., agr.  
Développement agricole des Basques  
Courriel : dev-agr-basques@mail.com

2023-01-25

2 de 2

## ANNEXE 2

**Tableau 8. Équations des lignes directrices du GIEC et du ECCC pour quantifier l’empreinte carbone.**

Équation des facteurs d’émissions (EF)		Référence
Fermentation entérique		
	GEI = DMI x GE	IPCC (2019)
	EF = (GEI x Y <sub>m</sub> x 365)/55,65	IPCC (2019)
Gestion du fumier		
CH <sub>4</sub>	VS = (GEI x (1-DE)+(UE x GEI)) x ((1 – Ash)/18.45)	ECCC (2022)
	EF = VS x P x (Bo x 0,67 x MCF x AWMS)	ECCC (2022)
N <sub>2</sub> O	EF = EF <sub>AWMS</sub> x (44/28)	ECCC (2022)
	EF = GasMS x EF <sub>4</sub> x (44/28)	ECCC (2022)
	EF = LeachMS x EF <sub>5</sub> x (44/28)	ECCC (2022)
Sols agricoles		
N <sub>2</sub> O	EF_CT = exp(0.00558P-7.701)	ECCC (2022), Liang et al. (2020)
	EF_B = ((EF_CT x Topo) + (EF_CT x (1 – Topo)) x TX	ECCC (2022), Liang et al. (2020)
	EF = EF_B x NSE x NS x CS x (44/28)	ECCC (2022), Liang et al. (2020)
	EF = GasF x EF <sub>4</sub> x (44/28)	ECCC (2022)
	EF = LeachF x EF <sub>5</sub> x (44/28)	ECCC (2022)

**Tableau 9. Matière sèche, teneur en azote et coefficient de volatilisation (épandage au champ) du fumier de la production laitière, bovine et ovine.**

Paramètre	Production				Référence
	Laitière		Bovine	Ovines	
Mode de gestion des fumiers	Liquide	Solide	Solide	Solide	
MS des déjections (%)	13	13	10	15	Brassard et al. (2012)
Fumier épandu					
Teneur en N total (%)	0,36	0,71	0,88	0,88	Brown (2021)
Matière sèche (%)	8,1	27,3	30,9	32,8	Brown (2021)
Volatilisation, GasF (kg NH <sub>3</sub> -N/kg N)	0,15	0,15	0,21	0,21	ECCC (2022)



**Tableau 10. Coefficient d'émissions du N<sub>2</sub>O produit par l'apport d'azote aux sols agricoles.**

Paramètre	Coefficient	Référence
Précipitation, P (mm)	520,05	Ecodistrict 479, ECCC (2022)
Évapotranspiration, PE (mm)	466,54	Ecodistrict 479, ECCC (2022)
Topo (déc.)	1,00	Liang et al. (2020)
TX (déc.)	1,21	Ecodistrict 479, ECCC (2022)
NSE (déc.)	1/0,634	ECCC (2022)
NS, Engrais org., résidus (déc.)	0,84	ECCC (2022)
NS, Engrais inorg., cult. pér. (déc.)	1,00	ECCC (2022)
CS, Culture annuelle (déc.)	1,00	ECCC (2022)
CS, Culture pérenne (déc.)	0,19	ECCC (2022)
Volatilisation, EF <sub>4</sub> (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)	0,014	ECCC (2022)
Lessivage, EF <sub>5</sub> (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)	0.0075	ECCC (2022)
Volatilisation inorg., GasF (kg NH <sub>3</sub> -N/kg N)	0,07	ECCC (2022)
Lessivage, LeachF (kg N/kg N)	0,30	ECCC (2022)
Chaulage, EF <sub>Limestone</sub> (kg CO <sub>2</sub> -C/kg)	0,12	ECCC (2022)
Épandage d'urée, EF <sub>Urea</sub> (kg CO <sub>2</sub> -C/kg)	0,20	ECCC (2022)

**Tableau 11. Coefficient d'émissions des intrants utilisés par les entreprises agricoles du Bas-Saint-Laurent; valeurs provenant de Rotz et al. (2019), et Hawkins et al. (2015).**

Intrant	Coefficient (kg éq. CO <sub>2</sub> /kg) <sup>a</sup>
Tourteau de soya	0,42
Tourteau de canola	0,548
Minéraux pour le bétail	1,62
Moulée	1,02
Maïs	0,325
Paille	0,15
Engrais minéral	2,60
Carburant <sup>b</sup>	0.522
Chaux	0.014

<sup>a</sup> À l'exception du carburant dont l'unité est kg éq. CO<sub>2</sub>/L.

<sup>b</sup> Carburant inclut le diesel et l'essence.