

DOCUMENT PRÉSENTANT LES INVESTISSEMENTS, LES ÉQUIPEMENTS ET LES BONNES PRATIQUES D'ÉLEVAGE ET DE PRODUCTION AYANT UN IMPACT SIGNIFICATIF SUR LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DANS LES ÉLEVAGES BOVINS, CAPRINS ET OVINS

Produit dans le cadre du projet : Diffusion et promotion des meilleurs investissements et pratiques d'élevage et de production de ruminants (bovin, ovin, caprin) pouvant réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre (GES)



Rédigé par
Nathalie Côté, agronome, directrice affaires agronomiques, PBQ

Révisé par
Maxime Leduc, Ph. D., Agr.
Sirine El Hamdaoui, agronome, PBQ
Sylvie Nadon, agronome, MsC., coordonnatrice aux opérations PLCQ
Alain Trudeau, directeur général par intérim, LEOQ

Mai 2023

TABLE DES MATIÈRES

1. MISE EN CONTEXTE	5
1.1. Inventaire des émissions de GES au Canada et part de l'agriculture.....	5
1.2. Détail sur l'inventaire des GES émis par l'agriculture au Canada	6
1.3. Inventaire des émissions de GES au Québec et part de l'agriculture	7
1.4. Détails sur l'inventaire des GES émis par l'agriculture au Québec.....	7
1.5. Émissions de GES en production bovine au Canada et au Québec.....	9
2. REVUE DE LA DOCUMENTATION SUR LA RÉDUCTION DES GES DANS LE BOVIN DE BOUCHERIE, LE CAPRIN ET L'OVIN.....	11
2.1. Constats généraux.....	11
2.2. Le méthane (ch₄)	12
2.3. Le protoxyde d'azote (n₂o).....	15
2.4. Le dioxyde de carbone (co₂)	16
3. LES BONNES PRATIQUES FAVORISANT LA RÉDUCTION DES GES À LA FERME	18
3.1. Améliorer la productivité et l'efficacité des animaux	19
3.2. Améliorer l'efficacité des animaux par la sélection génétique (4,9,14).....	19
3.3. Optimiser l'alimentation (4,10,11,12, 13,14,15)	19
3.4. Choix des espèces végétales et mélange d'espèces (17, 19, 26)	20
3.5. Gestion des plantes fourragères destinées à la fauche (14,17).....	20
3.6. Gestion des paissances (18, 19,20,21,22,23).....	20

3.7. Conserver les parcelles en cultures pérennes (1, 20)	20
3.8. Gérer les fumiers différemment (16, 26)	21
3.9. Tirer avantage des arbres (24)	21
3.10. Diminuer le gaspillage (12, 25).....	21
4. EXEMPLES D'INVESTISSEMENTS ET ÉQUIPEMENTS AYANT UN IMPACT SUR LA RÉDUCTION DES GES EN PRODUCTION BOVINE, CAPRINE ET OVINE	22
5. RESSOURCES DISPONIBLES	25
6. CONCLUSION.....	25

RÉFÉRENCES.....27

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Document synthèse des actions et pratiques pour lutter contre les changements climatiques en production bovine

1. MISE EN CONTEXTE

La convention signée entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et Les Producteurs de bovins du Québec (PBQ) pour le projet **Diffusion et promotion des meilleurs investissements et pratiques d'élevages et de production de ruminants (bovin, ovin, caprin) pouvant réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre (GES)** prévoit la production d'une *Liste exhaustive et bien documentée des investissements, équipements, bonnes pratiques d'élevage et de production ayant un impact significatif sur la réduction des émissions de GES dans le bovin de boucherie, l'ovin et le caprin au Québec*. Le présent document répond à cette exigence.

Les données citées tout au long du document proviennent de sources documentées pour le bovin de boucherie ou le bovin laitier, aucune référence pour les ovins ou caprins n'a été utilisée. Toutefois, comme ils sont aussi des ruminants, les pratiques recommandées peuvent aussi favoriser la réduction des GES dans ces productions.

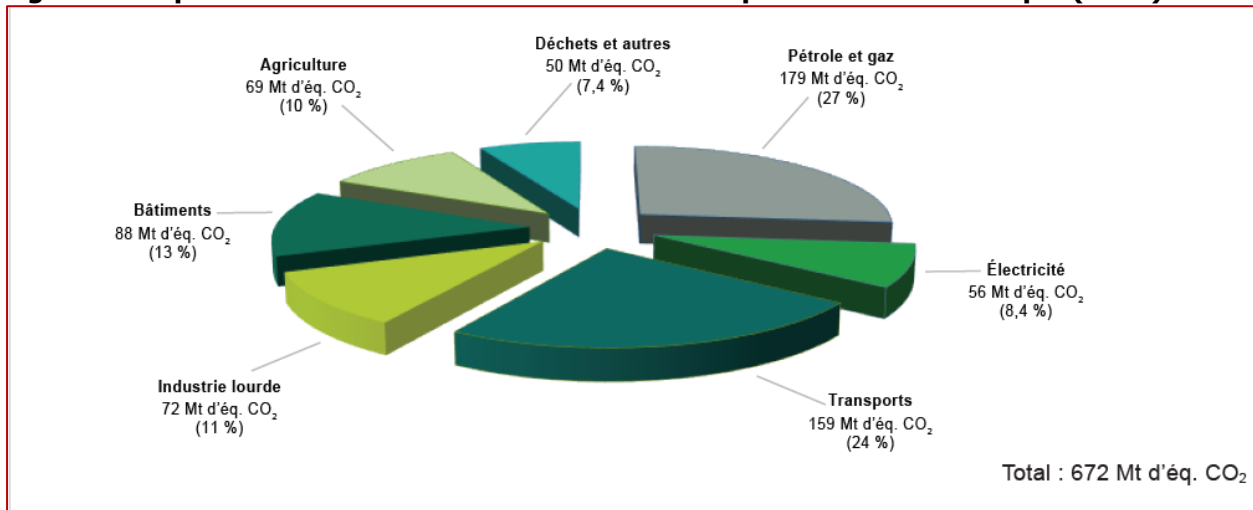
Le document inclut tout d'abord un rappel des émissions de GES au Canada et au Québec pour situer l'importance des différents gaz émis en agriculture ainsi qu'un rappel des émissions en production bovine. Par la suite, pour chacun des gaz d'importance, soit le CH₄, le N₂O et le CO₂, une revue de la documentation sur la réduction possible des GES est faite pour en arriver à un résumé des bonnes pratiques favorisant la réduction des GES. Un tableau synthèse des investissements, équipements et pratiques ayant un impact sur la réduction des GES en production bovine, caprine et ovine est présenté. Différentes ressources disponibles sont aussi listées.

Il est à noter que certaines références sont citées, mais il ne s'agit pas d'une revue de littérature exhaustive, mais bien d'un relevé de documentation issue principalement de la « Formation sur l'adaptation aux changements climatiques et la réduction des gaz à effet de serre en production bovine ». Les chiffres entre parenthèses réfèrent aux références inscrites à la fin du document.

1.1. Inventaire des émissions de GES au Canada et part de l'agriculture

Selon le rapport d'inventaire national 1990-2020 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada produit par Environnement et Changement climatique Canada en 2022 (1), l'agriculture représente 10 % des émissions des GES lorsque l'on fait la répartition en fonction des secteurs économiques. Il faut noter que le Canada calcule aussi les émissions par secteur du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2020). Selon cette dernière répartition, l'agriculture représente 8,2 % des émissions totales de GES au Canada. Les auteurs du rapport précisent que le fait de redistribuer par secteur économique la portion relative des émissions associées aux différentes catégories du GIEC n'affecte en rien l'ampleur globale des estimations des émissions canadiennes qui demeure à 672 MT d'éq. CO₂, mais que cela permet de faire des analyses des tendances et des politiques économiques.

Figure 1 : Répartition des émissions de GES au Canada par secteur économique (2020)



1.2. Détail sur l'inventaire des GES émis par l'agriculture au Canada

Dans le rapport d'inventaire national 1990-2020 du Canada (1), le secteur de l'agriculture du Canada représente 30 % des émissions de CH₄ et 75 % des émissions de N₂O.

Le rapport précise que « *Les principaux facteurs influant sur la tendance des émissions dans le secteur de l'agriculture sont les variations des populations d'animaux d'élevage et l'application d'engrais azotés inorganiques sur les sols agricoles dans les Prairies. Depuis 2005, l'utilisation d'engrais a augmenté de 71 %, tandis que les principales populations d'animaux d'élevage, qui étaient à leur maximum en 2005, ont alors diminué de façon marquée jusqu'en 2011. En 2020, les émissions rejetées par le bétail pendant le processus de digestion (fermentation entérique) représentaient 43 % des émissions agricoles totales, et l'application d'engrais azotés inorganiques, 21 % des émissions agricoles totales* ».

Le rapport canadien inclut une section sur l'affectation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie (ATCATF). Il est indiqué que l'ATCAFT « *inclut les flux anthropiques de GES entre l'atmosphère et les terres aménagées au Canada, y compris ceux associés au changement d'affectation des terres et les émissions provenant des Produits ligneux récoltés (PLR), qui sont étroitement liés aux terres forestières.*

Dans ce secteur, le flux net est calculé comme étant la somme des quantités de CO₂ et de gaz autres que le CO₂ émises dans l'atmosphère et des quantités de CO₂ absorbées de l'atmosphère. En 2020, ce flux net correspondait à des absorptions nettes de 6,8 Mt qui, lorsqu'ajoutées aux émissions d'autres secteurs, diminuaient les émissions totales de GES au Canada de 1,0 % ».

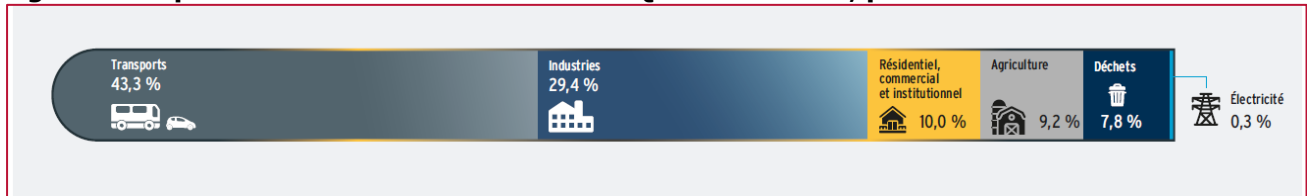
Il est aussi rapporté que les terres cultivées ont contribué à une absorption nette à l'exception des années de sécheresse jusqu'en 2003. Ces absorptions nettes découlent de l'amélioration des pratiques de gestion des sols (pratiques de conservation des sols) et de l'augmentation de la productivité des cultures (augmentation des apports d'engrais et diminution des jachères). Toutefois, le rapport mentionne que depuis 2005 il y a eu diminution des absorptions nettes résultant d'une diminution du couvert pérenne des terres.

1.3. Inventaire des émissions de GES au Québec et part de l'agriculture

Selon l'inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2019 (2), il faut retenir que l'agriculture représente 9,2 % des émissions de GES.

La figure 2 ci-après, tirée du document produit par le gouvernement du Québec positionne l'agriculture comme émettant 9,2 % des GES au Québec pour un total de 7,8 Mt éq. CO₂.

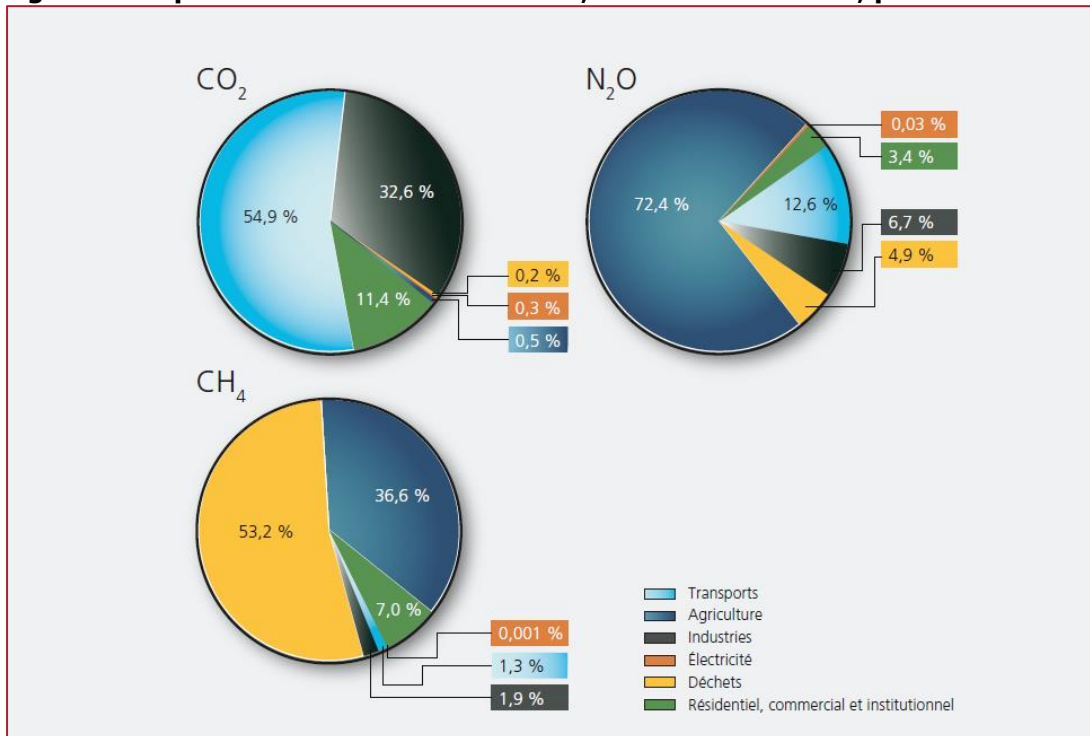
Figure 2 : Répartition des émissions de GES au Québec en 2019, par secteur d'activité



1.4. Détails sur l'inventaire des GES émis par l'agriculture au Québec

Toujours selon l'inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2019 (2) et leur évolution depuis 1990, la répartition des émissions de CO₂, CH₄ et N₂O au Québec par secteur d'activité est illustrée à la figure 3.

Figure 3 : Répartition des émissions de CO₂, CH₄ et N₂O en 2019, par secteur d'activité



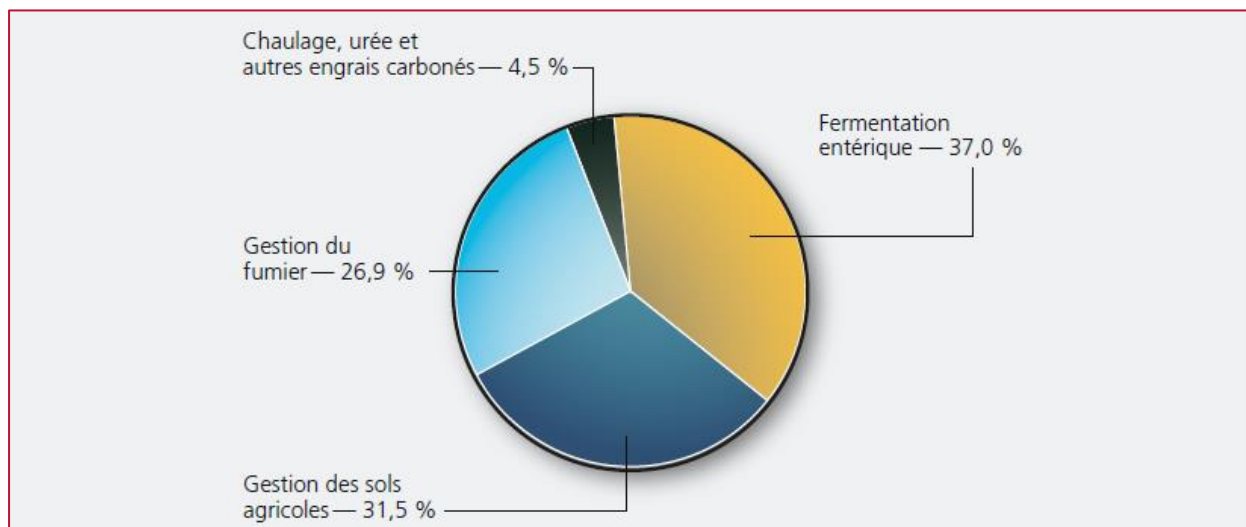
On constate que l'agriculture occupe une place importante dans les émissions de N₂O (72,4 %) et se situe à 36,6 % pour les émissions de CH₄, mais les émissions sont négligeables pour le CO₂.

Il faut noter que les informations décrites dans l'inventaire le sont en fonction que l'agriculture « *comprend les émissions de GES provenant de la digestion des animaux (fermentation entérique), de la gestion du*

fumier et de la gestion des sols agricoles. Les émissions de CO₂ provenant des sols agricoles sont considérées dans le secteur de l'affectation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie, à l'exception des émissions provenant du chaulage et de l'application d'urée et d'autres engrais émettant du carbone ».

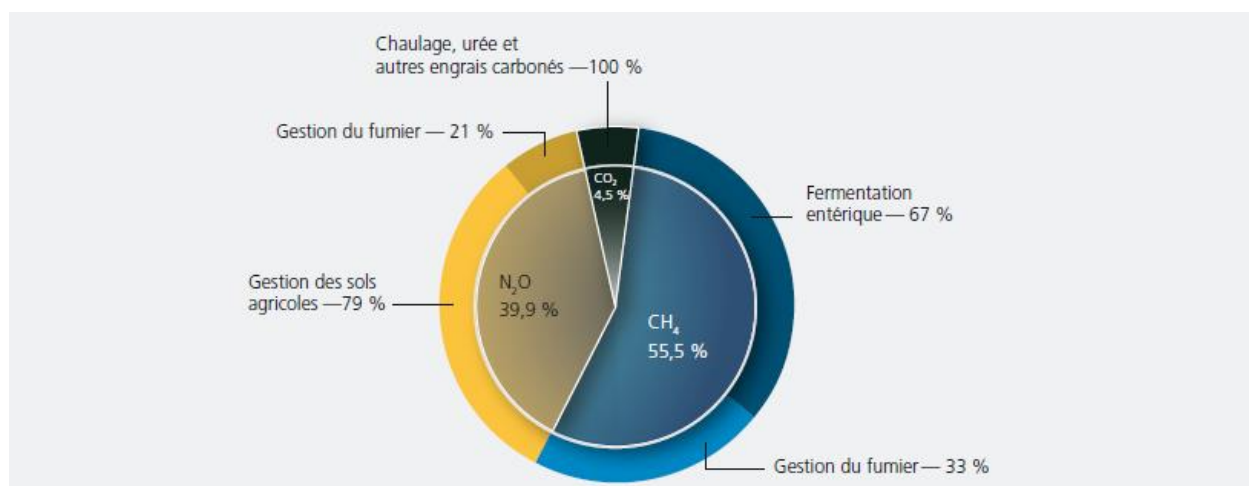
La figure 4 illustre que « la fermentation entérique, la gestion des sols agricoles et celle du fumier ont produit la plus grande part de ces émissions, soit respectivement 37,0 %, 31,5 % et 26,9 % du total du secteur. Le CO₂ attribuable au chaulage et à l'application d'urée et d'autres engrais émettant du carbone représente, quant à lui, 4,5 % des émissions du secteur de l'agriculture ». En exprimant la répartition des émissions de GES par gaz dans le secteur agricole, on est en mesure d'identifier quelles activités génèrent quels gaz.

Figure 4 : Répartition des émissions de GES de l'agriculture en 2019



La figure 5 démontre que le CH₄ représente 55,5 % des émissions en agriculture et que ces émissions proviennent de la fermentation entérique à 67 % et de la gestion des fumiers à 33 %. De même, pour les 33,9 % d'émissions de N₂O, 79 % proviennent de la gestion des sols et 21 % de la gestion du fumier. Finalement, 100 % des émissions de CO₂ sont en lien avec le chaulage, l'urée et autres engrais azotés.

Figure 5 : Répartition des émissions de GES par gaz dans le secteur de l'agriculture en 2019



En ce qui concerne les émissions de CO₂ provenant des sols agricoles qui sont considérées dans le secteur de l'affectation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie, la seule référence trouvée sur le site du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) date de 2000 (3). Il y est indiqué que :

« Les méthodes proposées par le GIEC ne nous permettent pas pour l'instant de produire un inventaire fiable des émissions de GES pour ce secteur d'activité. Cette omission aura toutefois un effet négligeable sur le présent rapport, car conformément aux lignes directrices du GIEC, l'émission et l'absorption de CO₂ provenant du changement d'affectation des terres ne sont pas incluses pour l'instant dans les totaux nationaux ».

1.5. Émissions de GES en production bovine au Canada et au Québec

Au Canada

En 2011, Beauchemin et al. (4) ont publié les résultats d'une recherche sur l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre provenant de la production bovine dans l'Ouest. Dans leur scénario de base les calculs démontrent une émission de 22 kg CO₂ éq./kg carcasse. Le poids carcasse est estimé à partir du poids vivant en appliquant un facteur de 0,6. L'étude calcule que 80 % des émissions proviennent du secteur vache-veau et 20 % du secteur bouvillon. Les émissions de CH₄ représentent 63 % des émissions totales.

Une étude pour estimer les émissions de GES de la production bovine canadienne a été réalisée par la Table ronde canadienne sur le bœuf durable (TRCBD) (2016) (5). Les résultats ont positionné l'empreinte carbone de celle-ci à 11,4 kg CO₂ éq./kilogramme de poids vif à la sortie de la ferme. Dans cette étude de la TRCBD (ou CRSB en anglais), il est mentionné que des valeurs dans un intervalle de 10 à 19 kg CO₂ éq./ kilogramme de poids vif se retrouvent dans la littérature positionnant ainsi le Canada avantageusement par rapport à d'autres pays. La fermentation entérique demeure le principal responsable des émissions de GES dans une ferme bovine.

De même, Legesse et al (6) ont comparé les émissions de GES de la production bovine canadienne entre 1981 et 2011. Les émissions ont été estimées à l'aide d'une évaluation du cycle de vie basée principalement sur Holos, un modèle canadien d'émissions pour l'ensemble de la ferme. L'intensité estimée de GES par kilogramme de poids vif à la sortie de la ferme était de 14,0 kg équivalent CO₂ pour 1981 et de 12,0 kg équivalent CO₂ pour 2011, soit une baisse de 14 %. Les auteurs estiment que 73 % des émissions totales proviennent du méthane entérique.

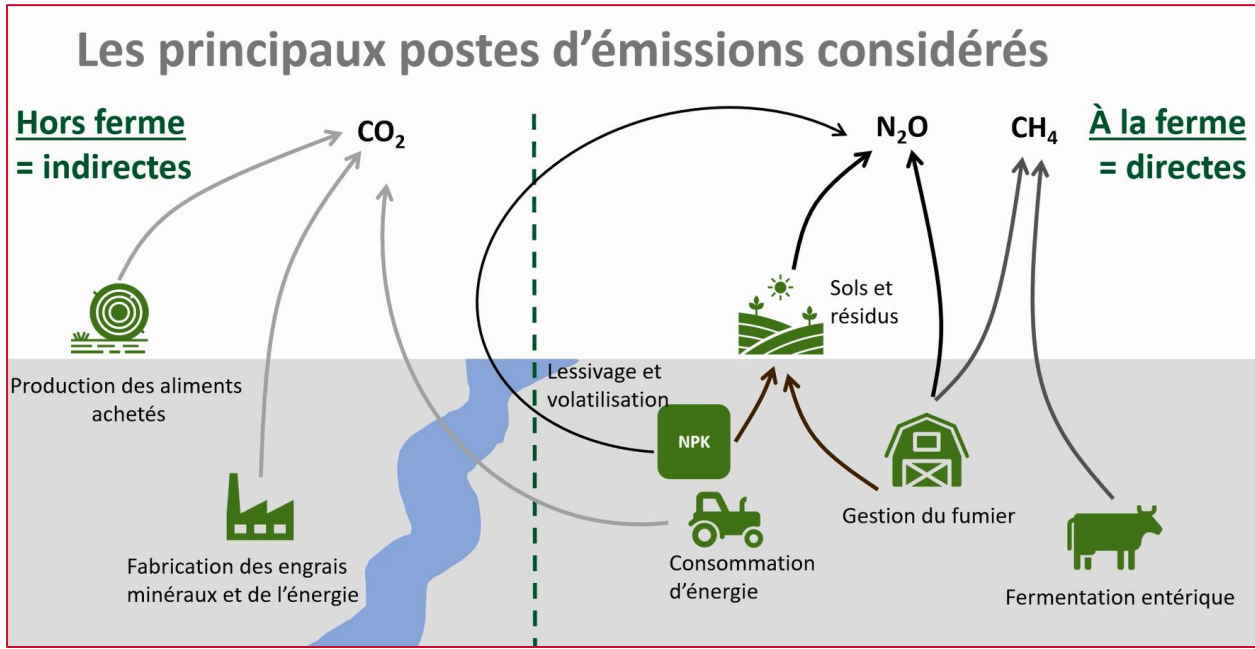
Au Québec

Une étude québécoise réalisée par l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA) (7) en 2019 a démontré que pour deux régions différentes avec deux systèmes différents d'élevages soient, élevage traditionnel en bâtiment avec entreposage étanche et aménagement avec enclos d'hivernage et stockage de fumier au champ, les émissions se situaient entre 15 et 17,5 kg CO₂ éq./kg veaux vendus. Ces données se retrouvent dans l'intervalle obtenu dans la littérature citée par la TRCBD et se rapprochent des données de Legesse et al.

Le projet Formation sur l'adaptation aux changements climatiques et la réduction des GES en production bovine comporte une capsule sur les émissions de GES en production bovine (8). Les données pour les productions caprines et ovines devraient être similaires en termes des principaux postes d'émissions. La différence résidera dans les quantités totales des émissions à la ferme ainsi que par kilogramme d'animal.

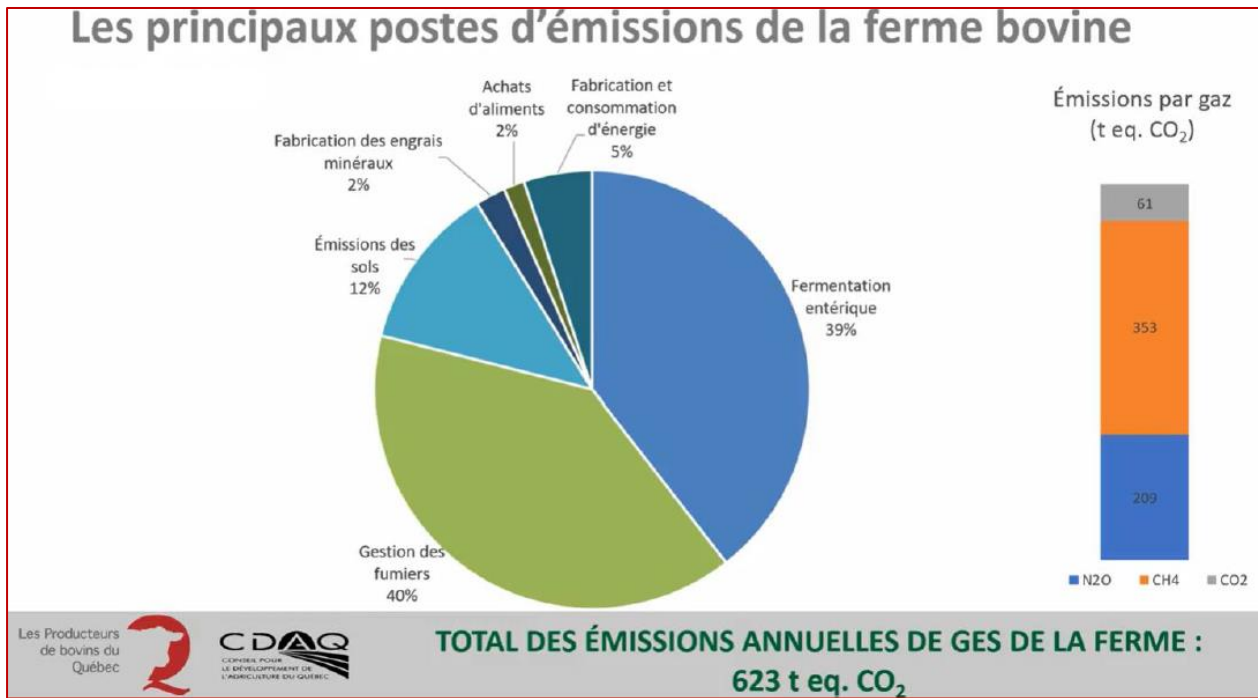
La figure 6 ici-bas provenant de la capsule sur les émissions de GES en production bovine (8) décortique quelles sont les émissions provenant directement des activités de la ferme et celles provenant hors ferme, mais qui ont un lien avec les activités de la ferme. Cette figure est semblable à celle produite par l'inventaire québécois (figure 4) sauf qu'elle ajoute les émissions de CO₂ liées à la production d'aliments achetés.

Figure 6 : Principaux postes d'émissions dans une ferme vache-veau



Dans cette capsule (8), une simulation a été faite avec une ferme vache-veau modèle du Québec. Les données utilisées pour faire la simulation proviennent du Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA) en 2022 pour le calcul des coûts de production de référence utilisés pour l'ASRA. Les deux principaux postes d'émissions sont la gestion des fumiers et la fermentation entérique, comme illustré sur la figure 7 suivante.

Figure 7 : Les principaux postes d'émissions de la ferme vache-veau modèle (117 vaches)



En allouant la production des différents GES sur une ferme vache-veau aux différentes activités, les auteurs de la capsule calculent une intensité de GES de 11,9 kg CO₂ éq. par kilogramme de poids vif pour une ferme vache-veau. Cette donnée est dans les plages de données obtenues par les auteurs des différentes études citées précédemment.

2. REVUE DE LA DOCUMENTATION SUR LA RÉDUCTION DES GES DANS LE BOVIN DE BOUCHERIE, LE CAPRIN ET L'OVIN

2.1. Constats généraux

Il faut rappeler que chaque gaz a une durée de vie atmosphérique unique et un potentiel de réchauffement qui lui est propre. Le CO₂ est le gaz de référence.

Figure 8 : Potentiel de réchauffement de trois gaz à effet de serre

Gaz à effet de serre	Formule chimique	Potentiel de réchauffement planétaire (PRP)
Dioxyde de carbone	CO ₂	1
Méthane	CH ₄	25
Oxyde nitreux	N ₂ O	298

Source : Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2019 et leur évolution depuis 1990 (Gouvernement du Québec, 2021. ISBN : 978-2-550-90948-4 (PDF)).(2)

L'agriculture est une source d'émission de CH₄ et de N₂O. La fermentation entérique est la première source de méthane (CH₄) en agriculture. Les bovins, caprins et ovins étant des ruminants, ils émettent donc du CH₄. Le travail du sol, le stockage de fumier, l'épandage de fumier ou d'engrais sont des activités qui peuvent générer du N₂O et elles sont pratiquées sur les fermes bovines, caprines et ovines.

Finalement, l'utilisation des énergies à la ferme et l'achat d'intrants constituent les principales sources d'émission de CO₂ à la ferme.

2.2. Le méthane (CH₄)

La fermentation entérique

La fermentation entérique est le processus de digestion se produisant dans le rumen des ruminants. Lors de ce processus les aliments sont fermentés par les micro-organismes du rumen qui se traduit par la production d'acides gras volatiles qui sont absorbés par l'animal comme source d'énergie et la production d'ions H⁺. Ces ions H⁺ sont par la suite utilisés par des bactéries méthanogènes pour produire du méthane.

Les gains de productivité et d'efficacité vont contribuer à la réduction de l'intensité des émissions de CH₄ par kilogramme de poids vif en production bovine. Ainsi, il faut arriver à produire plus de viande, plus rapidement avec moins d'intrants. La sélection génétique de sujets pour des caractères qui permettront d'arriver à cet objectif constitue une des pistes de solutions (9).

Une revue de littérature portant sur les options de mitigations d'émissions de CH₄ publiée en 2022 (10) recense une série de stratégies qui peuvent aider à réduire le méthane entérique. Toutefois, les auteurs affirment que certaines de ces stratégies méritent que de nouvelles recherches soient conduites parce que les effets sur la réduction du méthane ne sont pas toujours constants.

- Augmenter la productivité animale;
- Sélectionner des animaux produisant moins de CH₄;
- Ajuster le niveau de consommation d'aliments et de concentrés;
- Ajouter du gras dans l'alimentation;
- Augmenter la digestibilité des fourrages;
- Utiliser des fourrages riches en amidon;
- Utiliser des graminées à haute teneur en sucre;
- Introduire des ionophores dans l'alimentation;
- Introduire de nouveaux produits tels que le 3-NOP (NOTE : en processus d'approbation au Canada), les algues (NOTE : L'Australie a approuvé la vente d'asparagopsis en 2022, pas encore approuvé au Canada mais la compagnie Synergaze annonce sa commercialisation pour bientôt), les huiles essentielles;
- Utiliser des fourrages riches en tannins ou saponine.

La figure 9 provient de cet article.

Figure 9 : Sommaire des stratégies de mitigation des émissions de méthane présentement disponibles

Table 1. Summary of enteric methane mitigation strategies presently available for confined and partial grazing systems

Strategy ¹	Expected CH ₄ decrease range ²		Effects on other emissions ³	Animal productivity ⁴	Risks ⁵	Potential barriers for on-farm adoption
	g/d	g/kg of meat or milk				
Increased animal productivity	↑	↓ to ↓↓	↑↑↑ (UPS, MAN)	↑	0	Cost/lack of financial incentives; technical support
<i>Selection of low-CH₄-producing animals</i>	↓	?	0	↑/↓	0	Accessibility; cost/lack of financial incentives; resistance to change; technical support
Levels of feed and concentrate intake, concentrate sources, processing	↑	↓↓	↑↑↑ (UPS, MAN)	↑	S-ANI	Cost/lack of financial incentives; technical support
Lipid supplementation	↓↓	↓ to ↓↓	↑↑↑ (UPS, MAN)	0 to ↑	0	Accessibility; cost/lack of financial incentives; technical support
Increased forage digestibility	↑	↓	↑/↓ (UPS, MAN)	↑	0	Cost/lack of financial incentives; resistance to change; technical support
Perennial legumes	↑/↓	↑/↓	↓/↑ (UPS, MAN)	↑/↓	0 ⁶ or S-ANI ⁷	Accessibility; resistance to change; technical support
High-starch forages	↓	↓	↓/↑ (UPS, MAN)	0 to ↑	0	Accessibility; cost/lack of financial incentives; resistance to change; technical support
High-sugar grasses	↓	↓	0 to ↓ (MAN)	0	0	Accessibility; cost/lack of financial incentives; technical support
Preservation and processing	0 to ↑	0 to ↓	↑↑↑ (UPS, MAN)	0 to ↑	0	Accessibility; cost/lack of financial incentives; technical support
Ionophores	0 to ↓	↓	↑ (UPS)	↑	MAX	Accessibility; regulatory approval; consumer acceptance
3-Nitrooxypropanol	↓↓↓	↓↓↓	↑ (UPS)	↑/↓	MAX	Accessibility; cost/lack of financial incentives; regulatory approval; consumer acceptance
<i>Asparagopsis spp.</i>	↓↓↓	↓↓↓	↑ (UPS)	↑/↓	MAX, S-ANI, S-HUM, S-ENV	Accessibility; cost/lack of financial incentives; regulatory approval; safety for the animal; the consumer; and the environment
Alternative electron acceptors (organic acids)	↓↓	↑/↓	↑↑↑ (UPS)	↑/↓	0	Accessibility; cost/lack of financial incentives
Alternative electron acceptors (nitrate)	↓↓	↓	0 to ↑↑↑ (UPS, ANI, MAN)	0 to ↑	MAX, S-ANI	Accessibility; cost/lack of financial incentives; regulatory approval; safety for the animal; technical support
Essential oils	↓	0 to ↓	↑ (UPS)	?	MAX	Accessibility; cost/lack of financial incentives; technical support
Tannins and saponins	↓	↑/↓	↑/↓ (MAN)	↑/↓	MAX	Accessibility; cost/lack of financial incentives; technical support
<i>Direct-fed microbials</i>	0	0 to ↓	↑ (UPS)	0 to ↑	0	Accessibility; cost/lack of financial incentives; regulatory approval

¹Degree of confidence: entries in italics indicate that few (<5) in vivo peer-reviewed published studies simultaneously evaluating CH₄ production and animal performance exist; entries in regular font indicate that 5 to 10 in vivo peer-reviewed published studies simultaneously evaluating CH₄ production and animal performance exist and no meta-analysis conducted solely on the particular strategy has been published; entries in bold indicate that >10 in vivo peer-reviewed published studies simultaneously evaluating CH₄ production and animal performance exist and at least one meta-analysis has been published.

²↓ = small decrease (≤15%); ↓↓ = medium decrease (15–24%); ↓↓↓ = large decrease (≥25%); 0 = minimal or no change; ↑ = increase; ↑/↓ = variable results; ? = more research is needed.

³↑↑↑ = large increases; ↑ = small increases; 0 = minimal or no change; ↓ = decreases; ↑/↓ = increases in some emissions and decreases in others, or net CO₂ fixation, can occur; sources of other emissions: UPS = changes in upstream emissions of CO₂ from fossil fuels use or N₂O from application of fertilizers; ANI = increase in emissions of enteric N₂O; MAN = increase in emissions of manure CH₄ and N₂O.

⁴↑ = increase (of any magnitude); 0 = no change; ↑/↓ = variable results; ? = more research is needed.

⁵0 = no known risks; MAX = maximum dose exists; S-ANI = safety for the animal; S-ENV = safety for the environment; S-HUM = safety for humans.

⁶Conserved legumes or grazed, tannin-containing legumes.

⁷Grazed, non-tannin-containing legumes.

Robert Berthiaume, lors de son allocution au Congrès bœuf 2022 (11) résumait les effets de différents facteurs sur la réduction du CH₄ de la façon décrite dans la figure 10.

Figure 10 : Effet de différents facteurs sur la réduction du méthane

Facteur	Effet sur le CH ₄
CVMS ↑	↓
Ratio fourrage : Concentré ↓	↓
Concentré riche en amidon (grain) vs fibre (Pulpe de betterave)	↓
Maïs vs Orge	↓
Grosseur des particules de fourrages ↓	↓

Dans les capsules produites par madame Élisabeth Lepage (12, 13), les stratégies suivantes sont avancées :

- Maximiser la qualité et la durée de l'alimentation au pâturage;
- Ajouter du gras dans la ration en été;
- Offrir une ration plus énergétique aux animaux en hiver;
- Incorporer des sous-produits dans la ration (favorise aussi la réduction du CO₂ par l'enfouissement évité);
- Ajuster l'apport de protéines (favorise aussi la réduction de l'élimination de l'azote par l'animal);
- Ajouter des additifs dans la ration.

Jean-Philippe Laroche de chez Lactanet a produit une infobulle sur les solutions pour diminuer les émissions de méthane entérique (14). Il a introduit des données sur la production laitière, mais aussi sur la production bovine. Les stratégies proposées sont axées sur l'amélioration de la productivité et la réduction des émissions absolues. Voici les stratégies proposées, celles en gras ont été identifiées par l'auteur comme étant les plus prometteuses :

- Amélioration de la productivité (sur la base des unités de production)
 - Augmenter l'ingestion des aliments par :
 - L'amélioration de la qualité et la conservation des fourrages en **récoltant les fourrages plus hâtivement**;
 - Une longueur de coupe optimale;
 - L'amélioration de la régie des mangeoires (repoussage, nettoyage, séquençage alimentaire, refus);
 - Un bon débit et une bonne qualité de l'eau;
 - Un bon confort des animaux;
 - **Une sélection génétique**;
 - Une santé optimale des animaux;
 - Diminuer le ratio fourrages/concentrés.
- Réduction des émissions absolues
 - **Utilisation d'inhibiteur de méthane** comme le 3-NOP (pas encore approuvé au Canada);
 - Sélection génétique pour des faibles inhibiteurs de CH₄;
 - Utilisation de fourrages contenant des tannins par exemple le **lotier corniculé**;
 - Utilisation de puits d'électrons; le nitrate est considéré comme efficace, mais il y a un potentiel de toxicité si ajouté en trop grande quantité;
 - Ajout d'huile ou de gras dans la ration;
 - Ajout de graines oléagineuses dans la ration (pas recommandé pour le bovin de boucherie).

Pour la question des sous-produits, une étude réalisée en Italie et publiée en avril 2022 arrive à la conclusion que d'incorporer des sous-produits (résidus de boulangerie et drêches de distillerie de blé) réduit l'impact environnemental de bouvillons Limousin (15). Les auteurs mentionnent aussi que cela permet un recyclage des sous-produits d'aliments destinés à la consommation humaine.

Gestion des fumiers

La gestion du fumier entraîne aussi des émissions de méthane. La quantité émise dépendra de la méthode de gestion des fumiers et de ses propriétés. En fait, c'est lors de la digestion des matières organiques par les micro-organismes dans un environnement sans oxygène que la production de méthane débute (8). Un fumier solide et plus aéré engendrera moins de digestion anaérobique. Sébastien Fournel dans sa capsule (16) indique que le traitement du fumier tel que le compostage vise à réduire l'humidité et donc de rendre la digestion dans un environnement plus aérobique et ainsi réduire les émissions de CH₄.

2.3. Le protoxyde d'azote (N₂O)

Gestion des sols

Les sols émettent du N₂O par le processus de dénitrification qui transforme le nitrate en N₂O en l'absence d'oxygène et aussi par le processus de volatilisation et de lessivage qui entraîne la perte de l'azote dans l'air et dans l'eau. Pour ce dernier cas, la dénitrification se fera en dehors de la ferme. L'azote à l'origine des émissions de N₂O provient de l'engrais minéral, du fumier, des résidus de cultures et de la minéralisation de la matière organique (8).

Dans la capsule de madame Thivierge (17), on explique que les émissions de N₂O du sol dépendent :

- Des cultures (annuelles vs pérennes);
- Des apports d'engrais et fumiers :
 - type, quantité, moment d'application, méthode d'application;
- Des conditions du sol : climat (précipitations), topographie (cuvettes qui retient plus d'eau), texture de sol (les sols lourds sont plus souvent en anoxie) et le drainage.

Il y a réduction de 40 à 50 % des émissions de N₂O du sol en ajoutant des légumineuses aux graminées dans les champs. Ceci s'explique par une meilleure complémentarité qui mène à une meilleure utilisation de l'azote et il y a aussi moins de pertes d'azote avec plus d'espèces. L'azote libéré par les légumineuses est utilisé plus facilement par les graminées et il y a donc moins de lessivage et d'émission de N₂O.

Gestion des fumiers

Sébastien Fournel fait le tour de la question dans sa capsule (16). Les émissions dépendent de la quantité de fumier produite, du mode de gestion du fumier et du temps d'entreposage. Il rappelle que sans oxygène, l'azote du fumier est transformé en N₂ et N₂O, ce que l'on appelle la dénitrification. Il y a aussi des pertes d'azote par volatilisation et/ou lessivage durant le stockage par exemple lors de la mise en amas au champ. Le processus de dénitrification d'une fraction de cet azote se produit aussi par la suite.

Les conditions climatiques influencent aussi les pertes d'azote. Ainsi, il y a plus d'émissions en été qu'en hiver. Finalement, les techniques d'épandage des fumiers peuvent aussi favoriser la perte d'azote par volatilisation.

Voici les bonnes pratiques mises de l'avant dans cette capsule :

- Analyser le fumier avant l'épandage afin d'adapter les doses aux besoins des cultures;
- Éviter l'épandage lorsque le temps est chaud et venteux;
- Utiliser des équipements qui génèrent moins de pertes d'azote à l'épandage (batteurs horizontaux, batteurs verticaux, à distribution latérale);
- Incorporer le fumier lors de l'épandage aux champs.

2.4. Le dioxyde de carbone (CO₂)

Émissions de CO₂

L'information colligée dans cette section provient des références 8, 12, 17, 18 et 19.

L'utilisation des sources d'énergie telles que le diesel, l'essence, le propane ou le gaz naturel émet du CO₂ à la ferme. Toutefois, une ferme vache-veau utilise peu d'énergie à ce qui donne seulement des émissions de 0,6 kg éq. CO₂ par kilogramme de poids vif selon le calcul de bilan carbone à la ferme.

Aussi, puisque la fabrication des engrais produit des GES en raison de la combustion de gaz naturel utilisé pour les produire, celle-ci est donc compatibilisée dans le bilan de la ferme. De même, l'utilisation d'énergie pour extraire les matières premières (phosphore et potassium), leur broyage et leur transport émettent aussi des GES. L'apport de chaux et l'hydrolyse de l'urée sont aussi comptabilisés dans le bilan carbone de la ferme. La production et le transport des aliments et litières achetés représentent aussi une source d'émissions de CO₂ sur une ferme vache-veau modèle. De façon générale, une utilisation optimisée des engrais minéraux, chaux, urées, aliments achetés et litières favorisera une réduction du CO₂ à la ferme.

L'ajout de légumineuses pérennes dans les prairies permet d'éviter des émissions de CO₂ liées à la fabrication et au transport d'engrais azoté de synthèse. Les prairies composées de plantes pérennes laissent de l'azote pour la culture suivante et donc un besoin moindre de fertiliser la culture suivante résultant à une utilisation moindre d'engrais de synthèse.

Allonger la saison de pâturage permet une utilisation moindre de la machinerie et donc une réduction des émissions de CO₂. Plusieurs techniques existent pour allonger la saison de pâturage tout en offrant une alimentation équilibrée aux animaux.

Séquestration de CO₂

Cultures pérennes

Les scénarios étudiés dans l'étude de Beauchemin et al. (4) démontrent qu'en absence de pratiques de gestion ou de changement d'usage des terres, le carbone dans le sol demeure inchangé. Ils ont noté que le taux de carbone capté diminue dans le temps quand un nouvel équilibre est retrouvé.

Dans leur capsule intitulée *Rôle des plantes fourragères pérennes sur les stocks de carbone et la santé des sols* (19), les auteures débutent en affirmant que la matière organique est la clé de voûte de la santé des sols. Celle-ci joue un rôle central dans sa fertilité et favorise une activité microbienne accrue. Cette activité microbienne résultera dans la production de complexes organominéraux qui sont un des acteurs principaux dans la séquestration du carbone dans les sols.

Il y est aussi rapporté que les racines des plantes pérennes se renouvellent constamment en plus de libérer du carbone dans leurs exsudats. Les racines des plantes pérennes retournent 45 à 65 % du carbone dans le sol à la fin de l'année. Tout ce processus se passe via le système racinaire. En effet, la biomasse racinaire des plantes pérennes peut facilement être le double de celle des plantes annuelles. Ainsi donc, le passage de cultures annuelles vers les cultures pérennes engendrera un stockage de carbone.

Dans cette capsule (19), on apprend aussi que l'ajout de légumineuses aux graminées augmente la séquestration du carbone. Cet ajout permet un meilleur équilibre du ratio entre le carbone et l'azote dans le sol et rend celui-ci plus favorable à l'accumulation de carbone. La présence d'un nombre plus élevé de racines favorise l'apport de carbone au sol. Augmenter le nombre d'espèces en mélange favorise le stockage de carbone, et ce, surtout en sol dégradé. Donc, plus le sol a une teneur faible en carbone, plus il y a un potentiel de l'augmenter. Lorsque le sol a atteint une certaine teneur en carbone, il y a un genre d'équilibre

qui s'installe. Certaines espèces vont favoriser une biomasse racinaire plus élevée et donc favorisent plus d'apports de carbone dans le sol. Une étude citée dans cette capsule rapporte que la fétuque élevée, le brome des prés et le dactyle pelotonné jouent ce rôle.

La capsule aborde aussi la fertilisation des prairies et il apparaît clair que la fertilisation avec des matières organiques a un effet clair sur l'augmentation de la matière organique du sol et donc de l'apport de carbone au sol. Il faut favoriser la productivité des prairies, car plus de rendement favorise plus de carbone capté et plus de carbone laissé au sol. Il faut viser la persistance des prairies, car elles ont une meilleure masse racinaire qui retourne du carbone annuellement au sol.

Dans la conclusion de la capsule, on apprend que les sols au Québec sont en pertes nettes de carbone, et ce, depuis plusieurs années. madame Marie-Élise Samson cite le texte suivant : « Au Canada, conserver les superficies actuelles en prairies représenterait notre levier le plus important sur les stocks de carbone de nos sols (Drever, 2022) pour la lutte aux changements climatiques et pour la résilience de nos systèmes agroalimentaires. »

Par ailleurs, madame Samson discute de l'impact des changements climatiques sur la matière organique des sols dans une autre capsule (20). Le bilan carbone du sol dépend des pertes dues à la minéralisation et des gains par les apports de matière organique. Tout ceci est influencé par la température, l'humidité et la concentration de carbone dans l'atmosphère. Une augmentation des températures devrait faire augmenter la saison de croissance favorisant une augmentation des apports de carbone au sol via une production de plantes accrue dans l'hémisphère nord. Toutefois, une augmentation de la température du sol favorise aussi la désorption et la minéralisation de la matière organique dans le sol ayant pour conséquence une perte de carbone par les sols.

Selon des modélisations effectuées, on anticipe d'ici 2050 une hausse des pertes de carbone du sol. Au Québec, il est estimé que l'on pourrait perdre de 2 à 3 tonnes de carbone/hectare par année d'ici 2050 si on ne fait aucune modification des pratiques agricoles.

Paissance

De même que pour les prairies, de façon générale, plus il y aura du rendement dans les pâturages, plus le stockage de carbone sera présent. Parmi les scénarios étudiés dans l'étude de Beauchemin et al. (4) il est indiqué qu'une transformation d'une terre cultivée en plantes annuelles en pâturage semé procurait un gain de carbone dans le sol. Ils ont noté que le taux de carbone capté diminue dans le temps quand un nouvel équilibre est retrouvé.

Les pâturages en rotation sont favorables pour le rendement et le stockage de carbone. Toutefois, il n'y a pas encore de littérature claire dans nos conditions québécoises sur les bénéfices du pâturage intensif par rapport à très intensif. L'effet sur le rendement et le carbone du sol variera selon (19) :

- Le contexte pédoclimatique;
- Le contenu initial du sol en C;
- Les espèces végétales;
- La densité des animaux;
- La durée de la paissance;
- La durée de la période de repos;
- La hauteur de l'herbe à l'entrée et à la sortie des animaux.

Une revue sommaire de Xu S. et al. (21) ainsi que deux méta-analyses (Liming et Kumar (22), Abdalla et al. (23) se sont penchées sur les réponses du sol à différentes stratégies de pâturage).

Il ressort de ces analyses que différents facteurs de santé du sol comme la capacité d'infiltration l'eau, la séquestration du carbone et l'efficacité d'utilisation de l'azote sont influencés par le pâturage. De façon générale, une bonne gestion de pâturage telle que le pâturage modéré continu et le pâturage en rotation

avec des taux de chargement de faibles à modérés ont tendance à profiter aux propriétés du sol. Les études se sont attardées à trois modes de gestion des pâturages : pâturage intense, pâturage modéré et pâturage léger en les comparant à des parcelles non pâturées. Selon les résultats, la texture du sol, le type d'animal (bovins vs ovins), la période de paissance et son intensité, les précipitations, les espèces de plantes utilisées et la température sont les principaux facteurs qui ont un impact sur les propriétés des sols lors de l'utilisation de la gestion en pâturage. Les auteurs rapportent que le pâturage intensif a un effet significatif sur la compaction du sol et réduit le carbone organique de celui-ci. Il semble que cela s'explique par le fait que le pâturage intensif a démontré une probabilité plus élevée de conduire à du surpâturage. Il faut donc optimiser l'intensité du pâturage selon la région et les plantes présentes.

Tirer avantage des arbres

La fiche agroforesterie (24) décline les avantages des systèmes agroforestiers en identifiant entre autres la séquestration du carbone qui se produit dans les parties ligneuses (troncs, branches, racines) et dans le sol à proximité des arbres. Les arbres à croissance rapide (ex. : peupliers) séquestreraient davantage de carbone, mais sur une plus courte durée. Les arbres contribuent aussi à enrichir le sol en carbone par l'apport de matière organique due aux feuilles mortes et brindilles qui tombent ainsi que par l'apport dû à la dégradation et au renouvellement des racines annuellement et aux exsudats qu'elles produisent.

Donc, utiliser des arbres enrichit les sols et contribue à la protection des sols; la protection contre le vent ou la réduction du stress thermique.

3. LES BONNES PRATIQUES FAVORISANT LA RÉDUCTION DES GES À LA FERME

L'industrie canadienne du bœuf s'est dotée d'un objectif de réduire de 33 % de l'intensité des émissions de GES et d'un objectif de séquestrer 3,4 millions de tonnes additionnelles de carbone chaque année d'ici 2030 (25). Pour y arriver, différentes pratiques sont proposées :

- **Améliorer l'efficacité reproductive par :**
 - La vaccination des vaches;
 - Une ration alimentaire équilibrée aux besoins nutritionnels incluant les minéraux appropriés;
 - Une meilleure gestion des pâturages;
 - Une meilleure gestion des taureaux, par exemple examens de fécondité;
 - Un suivi plus rigoureux des chaleurs des femelles non gestantes au fur et à mesure que progresse la saison des accouplements afin de minimiser la réforme lors du sevrage. L'utilisation d'un licou marqueur, une détection plus rigoureuse des chaleurs avec ou sans système d'aide à la détection (détecteur de monte), un test de DG-29, etc.

- **Améliorer les rendements en foin par :**
 - L'utilisation de bons mélanges graminées/légumineuses;
 - La fertilisation;
 - L'introduction de nouvelles variétés.

- **Améliorer l'efficacité alimentaire par :**
 - La sélection génétique;
 - L'utilisation de la génomique;
 - L'introduction d'additifs alimentaires tels que le BOVAER (3-NOP);
 - L'utilisation de sous-produits;
 - Une meilleure gestion en parc d'engraissement.

- **Améliorer les rendements en grains pour alimenter les animaux par :**

- La disponibilité de nouvelles variétés;
- L'agriculture de précision.
- **Séquestrer plus de carbone par :**
 - Une meilleure gestion des pâturages;
 - Une amélioration de la santé des sols.
- **Diminuer le gaspillage par :**
 - Évaluer les pertes/le gaspillage tout au long de la chaîne d'approvisionnement;
 - Aborder la notion d'étiquetage alimentaire et l'éducation des consommateurs.

Ces recommandations sont détaillées dans les prochaines sections du document.

3.1. **Améliorer la productivité et l'efficacité des animaux**

Selon Beauchemin et al. (4), les stratégies d'atténuation appliquées au secteur vache-veau peuvent réduire l'intensité des GES à la ferme jusqu'à 8 % et atteindre 17 % de réduction si on combine avec d'autres stratégies. Du côté bouvillon, les réductions possibles sont chiffrées de 2 à 4 % et ceci s'explique par l'efficacité accrue de ce secteur. Globalement, les auteurs parlent donc d'une réduction possible de 20 % dans le secteur bovin en adoptant une panoplie de stratégies.

Les gains de productivité et d'efficacité vont contribuer à la réduction des émissions de GES. Ainsi, il faut arriver à produire plus de viande, plus rapidement avec moins d'intrants. Il faut donc viser à augmenter l'efficacité des troupeaux et utiliser des indicateurs tels que (9, 14) :

- Kilogrammes éq. CO2 par kilogramme de viande;
- kilogrammes de veaux ou viande par vache;
- kilogrammes de veau ou viande par kilogramme d'aliments;
- kilogrammes de veaux ou viande par hectare.

Réformer davantage les animaux improductifs (9, 26) permettra de réduire les émissions de GES à la ferme.

3.2. **Améliorer l'efficacité des animaux par la sélection génétique (4,9,14)**

- Sélectionner sur l'efficacité des animaux et non uniquement la productivité;
 - Par ex. : efficacité alimentaire, rendement en viande;
- Pour les croisements terminaux, sélectionner sur l'efficacité des veaux;
- Sélectionner des mères fertiles et avec un bon taux de survie des veaux;
- Miser sur la longévité des animaux reproducteurs;
- Sélectionner des femelles avec des besoins plus modérés et réserver les croisements sur la productivité pour les croisements terminaux.

3.3. **Optimiser l'alimentation (4,10,11,12, 13,14,15)**

- Reformuler les rations;
- Maximiser la qualité et la durée de l'alimentation au pâturage;
- Améliorer la qualité et la conservation des fourrages en récoltant les fourrages plus hâtivement;
- Utiliser des fourrages riches en tannins comme le lotier corniculé;
- Ajouter du gras dans la ration;
- Utiliser des fourrages riches en amidon ou à haute teneur en sucres;

- Offrir une ration plus énergétique aux animaux en hiver;
- Incorporer des sous-produits dans la ration;
- Ajouter de l'acide propionique dans les aliments;
- Ajuster l'apport de protéines;
- Ajouter des additifs dans la ration (ionophores, 3-NOP, algues, huiles essentielles, etc.).

3.4. **Choix des espèces végétales et mélange d'espèces (17, 19, 26)**

- Augmenter le nombre d'espèces en mélange;
- Ajouter des légumineuses aux graminées;
- Ajouter des légumineuses pérennes;
- Favoriser une biomasse racinaire plus élevée. Ex. : la fétuque des prés, le brome des prés et le dactyle pelotonné;
- Favoriser des plantes tolérantes à la chaleur et au gel.

3.5. **Gestion des plantes fourragères destinées à la fauche (14,17)**

- Favoriser le mélange d'espèces;
- Faucher au stade de développement optimum (viser début floraison);
- Récolter les fourrages plus hâtivement;
- Limiter la compaction;
- Favoriser la persistance des prairies;
 - Éviter coupe à l'automne;
 - Rehausser la hauteur de fauche;
 - Choisir des cultivars résistants;
 - Pratiquer le sursemis.

3.6. **Gestion des paissances (18, 19,20,21,22,23)**

- Adopter des pratiques de pâturage intensif;
- Viser le pâturage en rotation;
- Favoriser une courte présence des animaux pour;
 - Limiter surpaissance;
 - Limiter la compaction des sols;
 - Conserver la productivité du pâturage;
- Garder l'herbe haute à la sortie du pâturage pour favoriser la reprise;
- Prévoir une assez longue période de repos pour permettre à la plante de refaire ses réserves;
- Augmenter la saison de paissance;
- Explorer les techniques alternatives d'alimentation au pâturage.

3.7. **Conserver les parcelles en cultures pérennes (1, 20)**

- Au Canada, conserver les superficies actuelles en prairies représenterait le levier le plus important sur les stocks de carbone de nos sols;
- Le transfert de parcelles en cultures annuelles vers les cultures pérennes et leur maintien peut aussi contribuer.

3.8. **Gérer les fumiers différemment (16, 26)**

- Stocker moins longtemps;
- Couvrir les structures d'entreposage;
- Les épandre mieux :
 - Analyser le fumier avant l'épandage afin d'adapter les doses aux besoins des cultures;
 - Utiliser des équipements qui génèrent moins de pertes d'azote à l'épandage (batteurs horizontaux, batteurs verticaux, à distribution latérale);
- Incorporer le fumier lors de l'épandage aux champs.

3.9. **Tirer avantage des arbres (24)**

- Planter des arbres à proximité des pâturages;
- Planter des haies brise-vent en bordure de champs;
- Planter des bandes riveraines arbustives en bordure de cours d'eau.

3.10. **Diminuer le gaspillage (12, 25)**

- Incorporer des sous-produits dans la ration;
- Diminuer l'utilisation du plastique;
- Évaluer les pertes/le gaspillage tout au long de la chaîne d'approvisionnement.

Un document synthèse des actions et pratiques pour lutter contre les changements climatiques (26) en production bovine se trouve en annexe 1.

4. EXEMPLES D'INVESTISSEMENTS ET ÉQUIPEMENTS AYANT UN IMPACT SUR LA RÉDUCTION DES GES EN PRODUCTION BOVINE, CAPRINE ET OVINE

PRATIQUES RECOMMANDÉES	ÉQUIPEMENT/INVESTISSEMENT	LIEN AVEC LES GES
Améliorer la productivité et l'efficacité des animaux	Achat de matériel informatique visant l'amélioration de la performance du troupeau (programme de gestion, ordinateur, bâton de lecture, Tru-Test et équipement relié).	Meilleur suivi du troupeau et de son efficacité pour optimiser les performances, contribue à réduire l'intensité des GES.
	Amélioration de l'isolation ou de la ventilation des bâtiments	Assure le bien-être animal et la performance globale des animaux, contribue à réduire l'intensité des GES.
	Achat d'un système de traite pour moderniser les équipements de traite en place.	Améliore l'efficacité du travail de l'opérateur, la santé des chèvres/brebis, la productivité de l'élevage, la qualité du lait et diminue l'émission de GES par kilogramme de lait produit.
	Achat d'équipement pour faciliter le nettoyage des aires de vie des chèvres, des bovins, des veaux lourds ou des agneaux (épandeur à litière, griffe à fumier, etc.)	Améliore l'efficacité du travail de l'opérateur, le bien-être animal des chèvres, des bovins ou des veaux lourds ou des ovins et favorise la productivité de l'élevage, contribue à réduire l'intensité des GES.
Améliorer l'efficacité des animaux par la sélection génétique	Achat d'un taureau/bélier/bouc améliorateur pour l'efficacité alimentaire, l'efficacité des veaux, le gain de poids et aussi adapté aux croisements ou aux groupes d'animaux.	Diminue l'intensité des GES par kilogramme de poids.
	Achat d'un taureau/bélier/bouc améliorateur pour les femelles de reproduction.	Amélioration génétique des filles de la descendance, diminue l'émission de GES par kilogramme de lait produit.
	Achat de femelle de reproduction ayant des besoins modérés, fertiles et avec un bon taux de survie pour augmenter l'efficacité reproductive du troupeau.	Diminue les intervalles de vêlage, améliore la productivité du troupeau et favorise la diminution des GES du troupeau.
	Système de surveillance des chaleurs des femelles non gestantes et des saillies afin d'améliorer l'efficacité reproductive (collier enregistreur de présence du taureau aux vaches afin de déterminer les saillies probables, licou marqueur, détecteur de monte, test DG-29,etc.).	Diminue les intervalles de vêlage, améliore la productivité du troupeau et favorise la diminution des GES du troupeau.

PRATIQUES RECOMMANDÉES	ÉQUIPEMENT/INVESTISSEMENT	LIEN AVEC LES GES
Optimiser l'alimentation	Achat d'une RTM ou autre équipement de précision pour l'alimentation des animaux.	Meilleure alimentation et meilleure réponse aux besoins des animaux permettant la diminution de l'intensité des GES par kilogramme de poids.
	Achat d'un corral et d'une balance, achat d'installation de contention d'appoint pour les sites d'élevages éloignés.	Meilleur suivi du poids des animaux, meilleur ajustement des rations pour optimiser les gains de poids, contribue à réduire l'intensité des GES par kilogramme de poids.
Diversifier le choix des espèces et des mélanges d'espèces dans les champs	Équipement spécialisé pour l'implantation/maintien de plantes avec des systèmes racinaires longs et profonds par exemple la fétuque des prés, le brome des prés et le dactyle pelotonné. Équipement spécialisé pour le travail du sol et l'ensemencement.	Meilleure production fourragère, participe à la séquestration du carbone.
Gérer les plantes fourragères destinées à la fauche	Équipement pour pratiquer le sursemis ou autres équipements pour améliorer les prairies.	Meilleure production fourragère, participe à la séquestration du carbone.
Gérer les pâturages	Achat d'équipement spécialisé tel que ceux requis pour le sursemis ou autres équipements pour améliorer les pâturages.	Participation au maintien/amélioration des pâturages et à la séquestration du carbone.
	Achat et installation d'abreuvoirs et de systèmes de clôtures favorisant une meilleure gestion des pâturages.	Participation au maintien/amélioration des pâturages, à une meilleure production fourragère et à la séquestration du carbone.
Conserver les parcelles en cultures pérennes	Achat de semences/implantation et maintien de nouveaux pâturages/prairie pour les besoins du troupeau ou transfert de parcelles en cultures annuelles vers les cultures pérennes.	Participe à la séquestration du carbone.
Gérer les fumiers et les litières	Achat d'épandeur de précision pour un meilleur épandage des fumiers ou d'équipement pour l'incorporation du fumier.	Amélioration de la gestion du fumier, réduction des pertes de N ₂ O
	Achat d'un système de récupération des litières, par exemple pour en faire du compost.	Améliorer la productivité de l'élevage, améliorer la gestion des matières fertilisantes. Contribue à la réduction du N ₂ O. Réduction du volume de fumier à épandre, réduction des opérations et contribution à la diminution des émissions de CO ₂ .

PRATIQUES RECOMMANDÉES	ÉQUIPEMENT/INVESTISSEMENT	LIEN AVEC LES GES
	Couvrir la structure d'entreposage	Contribue à la réduction du N ₂ O, car la couverture limite les émissions dans l'air liées à la dénitrification. Réduction du volume de fumier à épandre, réduction des opérations et contribution à la diminution des émissions de CO ₂ .
Tirer avantage des arbres	Achat, implantation et maintien d'arbres(brise-vent , pour l'ombre, etc.).	Participe à la séquestration du carbone.
Diminuer le gaspillage	Achat d'équipement pour faciliter le soin et l'alimentation des chèvres, des bovins ou des veaux lourds ou des ovins (louve pour la pouponnière, installation de rail pour distribuer les fourrages, silos pour entreposer les concentrés, etc.)	Diminution de l'utilisation du plastique (sacs individuels), distribution plus précise de l'alimentation réduisant ainsi les déchets et les émissions de GES tout en maximisant le travail de l'opérateur.
	Construction d'un abri permanent pour les balles de foin afin de réduire l'utilisation du plastique.	Diminuer l'utilisation du plastique et ainsi réduire les déchets et les émissions des GES.

5. RESSOURCES DISPONIBLES

Certaines recommandations pour réduire les GES à la ferme nécessiteront des investissements. Différents programmes peuvent fournir des aides financières. Chaque programme a ses propres critères et il faut toujours vérifier auprès des organismes subventionnaires si l'investissement prévu peut être admissible à une aide financière.

Financière agricole du Québec (FADQ)

- Initiative ministérielle de rétribution des pratiques agroenvironnementales (RPA) <https://www.fadq.qc.ca/initiative-ministerielle-de-retribution-des-pratiques-agroenvironnementales/description/>
- Programme Investissement Croissance durable <https://www.fadq.qc.ca/investissement-croissance-durable/description/>

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ)

- Liste des programmes : <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/md/programmesliste/Pages/Programme2.aspx>

Association canadienne pour les plantes fourragères

<https://www.canadianfga.ca/>

Conseil québécois des plantes fourragères

<https://www.cqpf.ca/fr/>

6. CONCLUSION

L'agriculture contribue aux émissions de GES dans un ordre de grandeur de 10 % au Canada et de 9,2 % au Québec.

L'agriculture est principalement une source d'émission de CH₄ et de N₂O. La fermentation entérique est la première source de méthane (CH₄) en agriculture. Les bovins, caprins et ovins étant des ruminants, ils émettent donc du CH₄. Les sols agricoles sont une source de N₂O. Le travail du sol, le stockage de fumier, l'épandage de fumier ou d'engrais sont des activités qui peuvent générer du N₂O et elles sont pratiquées sur les fermes bovines, caprines et ovines. Finalement, l'utilisation des énergies à la ferme et l'achat d'intrants constituent les principales sources d'émission de CO₂ à la ferme.

Diverses recherches et documentation expliquent les sources des GES en agriculture et font des recommandations pour les réduire. Ces sources d'informations nous ont permis d'élaborer un tableau d'exemples d'investissements/équipements favorisant la réduction des GES en production bovine, caprine et ovine. Finalement, une liste de ressources disponibles pour aider les producteurs à réaliser ces investissements a été produite.

La science et le climat évoluent, et les pratiques agricoles s'ajusteront pour favoriser l'efficacité des pratiques à la ferme et contribuer à réduire, de ce fait, les émissions de GES.

RÉFÉRENCES

- (1) GOUVERNEMENT DU CANADA. Rapport d'inventaire national 1990–2020 : 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. Environnement et Changement climatique Canada. 2022. 17 p. No de cat. : En81-4/1F-PDFISSN : 2371-1310EC21275.01. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/emissions-gaz-effet-serre/sources-puits-sommaire-2022.html>
- (2) GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2019 et leur évolution depuis 1990. Ministère de l'Environnement et de La lutte contre les changements climatiques, 2021. ISBN : 978-2-550-90948-4 (PDF), 52 p. [Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2019 et leur évolution depuis 1990 \(gouv.qc.ca\)](https://www.gouv.qc.ca/inventaire-quebecois-des-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-en-2019-et-leur-evolution-depuis-1990)
- (3) MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC. Inventaire québécois des GES-2000. Environnement Québec, 2002. ISBN 2-550-39930-7. Envirodoq : ENV/2002/0289. 93 p. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/rapportGES.pdf>
- (4) BEAUCHEMIN, K.A., JANZEN, H.H., Little, S.M., McALLISTER, T.A., MvGINN, S.M. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada – Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Animal Feed Science and Technology*. Volumes 166-167, pages 663-677. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840111001660>
- (5) CRSB. National beef sustainability assessment: Environmental and social assessment. 2016. Calgary, AB: Deloitte. https://crsb.ca/wp-content/uploads/2021/12/CRSB-EnvironmentalAndSocialAssessments_2016_full-report.pdf
- (6) LEGESSE, G., BEAUCHEMIN, K.A., Ominski, K.H., McGeouch, E. J., Kreobl, R., MacDonald, D., Little, S. M., McAllister, T.A. 2015. Greenhouse gas emission of Canadian beef production in 1981 as compared with 2011. *Animal Production Science*, 56(3), 153. Doi:10.1071#an15386. <https://www.publish.csiro.au/an/an15386>
- (7) GODBOUT, S. et P. BRASSARD. 2019. Émissions de GES des modes d'élevage de bovins de boucherie au Québec : Quantification et réduction. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). 19p. <https://irda.blob.core.windows.net/media/5460/godbout-et-al-2019-emissions-de-ges-des-modes-delevage-de-bovins-de-boucherie-au-quebec-quantification-et-reduction.pdf>
- (8) CODRON C., DELMOTTE S., LIZOTTE P-L. DELISLE S. 2022. Émission de GES en production bovine. Capsule réalisée dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques en production bovine. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Disponible sur la plate-forme ASIO de l'Ordre des agronomes du Québec.
- (9) LEPAGE, Éric. 2022. Caractéristiques génétiques intéressantes dans la lutte aux changements climatiques et la réduction des GES. Capsule réalisée dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques en production bovine. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Disponible sur la plate-forme ASIO de l'Ordre des agronomes du Québec.

- (10) BEAUCHEMIN, K., UNGERFIELD, E.M., ABDALLA, A.L., ALVAREZ, C., ARNDT, C., BECQUET, P., BENCHAAAR, C., BERNDT, A., MAURICIO, R.M., McALLISTER, T.A., OYHANTCABAL, W., SALAMI, S.A., SHALLOO, L., SUN, Y., TROCARICO, J., UWIZEYE, A., DE CAMILLIS, C., BERNOUX, M., ROBINSON, T., KEBREAD, E., 2022. Current enteric methane mitigation options. *Journal of Dairy science*. Vol. 105 No. 12. 30 p. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>
- (11) BERTHIAUME, R. 2022. Regard d'un scientifique sur les GES en production bovine et l'agriculture régénératrice. Conférence donnée lors du Congrès Bœuf du 7 octobre 2022
- (12) LEPAGE, Élisabeth. 2022. Les pistes de réduction de GES par l'alimentation. Capsule réalisée dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques en production bovine. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Disponible sur la plateforme ASIO de l'Ordre des agronomes du Québec.
- (13) LEPAGE, Élisabeth. 2022. Utilisation des sous-produits en alimentation. Capsule réalisée dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques en production bovine. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Disponible sur la plateforme ASIO de l'Ordre des agronomes du Québec.
- (14) LAROCHE, J-P., 2022. Quelles solutions pour diminuer les émissions de méthane entérique des bovins ? Infobulle réalisée dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions en production fourragères. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Disponible sur la plateforme ASIO de l'Ordre des agronomes du Québec.
- (15) GROSSI, S., MASSA, V., GIORGINO, A., ROSSI, L., DELL'ANNO, M., PINOTTI, L., AVIDANO, F., COMPIANO, R., SGOIFO ROSSI, C.A. 2022. Feeding bakery former foodstuffs and wheat distiller's as partial replacement for corn and soybean enhance the environmental sustainability and circularity of beef cattle farming. *Sustainability*, 14, 4908 <https://doi.org/10.3390/su14094908>
- (16) FOURNEL S. 2022. Stratégies de réduction des émissions de GES en lien avec la gestion des effluents. Capsule réalisée dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques en production bovine. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Disponible sur la plateforme ASIO de l'Ordre des agronomes du Québec.
- (17) THIVIERGE, M-N., BÉLANGER, G. 2022. Cultiver les plantes fourragères en mélange pour favoriser leur résilience et atténuer les changements climatiques. Capsule réalisée dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions en production fourragères. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Disponible sur la plateforme ASIO de l'Ordre des agronomes du Québec.
- (18) LEDUC M.2022. Les stratégies permettant d'allonger la saison de pâturage. Capsule réalisée dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques en production bovine. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Disponible sur la plateforme ASIO de l'Ordre des agronomes du Québec.

- (19) SAMSON, M-E., THIVIERGE, M-N. 2022. Rôle des plantes fourragères pérennes sur les stocks de carbone et la santé des sols. Capsule réalisée dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions en production fourragères. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Disponible sur la plate-forme ASIO de l'Ordre des agronomes du Québec. <https://asio.oaq.qc.ca/Web/MyCatalog/ViewP?pid=Hz%2bL4eQ7kA0l7a2znDtCow%3d%3d&id=6jwbGccPbMUtpEdFx%2frwXg%3d%3d>
- (20) SAMSON, M-E., THIVIERGE, M-N. 2022. Impact des changements climatiques sur la matière organique des sols. Capsule réalisée dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions en production fourragères. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Disponible sur la plate-forme ASIO de l'Ordre des agronomes du Québec. <https://asio.oaq.qc.ca/Web/MyCatalog/ViewP?pid=Hz%2bL4eQ7kA0l7a2znDtCow%3d%3d&id=6jwbGccPbMUtpEdFx%2frwXg%3d%3d>
- (21) Xu, S., JADADAMMA, s., Rouwntree, J. 2018. Response of Grazing Land Soil Health to Management Strategies: A Summary Review. https://www.researchgate.net/publication/329658179_Response_of_Grazing_Land_Soil_Health_to_Management_Strategies_A_Summary_Review
- (22) LIMING, L., Kumar, S., 2020. A Global meta-analysis of livestock grazing impacts on soil properties. PLoS ONE 15(8) :e0236638. <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0236638&type=printable>
- (23) ABDALLA, M., Hastings, A., Chadwick, D.R., Jones, D.L., Evasn, C.D., Jones, M.B., Rees, R.M., Smith, P. 2017. Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.023>
- (24) CODRON, C., COGLIASREO, A., 2022. Avantages de l'agroforesterie en contexte de changement climatique. Fiche réalisée dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques en production bovine. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Disponible sur la plate-forme ASIO de l'Ordre des agronomes du Québec.
- (25) GRANT, B., 2022. Le bœuf canadien, un chef de file en durabilité. Présentation faite lors du webinaire du 6 juin 2022. https://youtu.be/f14WB_iFNjk
- (26) CODRON, C., PHILION, J. 2022. Document synthèse : actions et pratiques pour lutter contre les changements climatiques en production bovine. Document réalisé dans le cadre des formations Des solutions pour lutter contre les changements climatiques en production bovine. Projet financé par l'entremise du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture, en vertu du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques.