

Cette note technique est destinée aux conseillers agricoles et aux entreprises agricoles qui souhaitent comprendre quelles sont les opportunités d'évitement et de réduction des émissions de GES, ainsi que de séquestration du carbone dans leur entreprise.

Cette fiche fait partie d'un ensemble de quatre fiches complémentaires. Les autres traitent :

- Du fonctionnement des marchés du carbone et leur application dans le secteur agricole (fiche 2022-03);
- De la démarche à suivre pour mettre en œuvre un projet de compensation carbone ainsi que les programmes du marché volontaire disponibles pour le secteur agricole du Québec (2 fiches : 2022-04a et 2022-04b pour les annexes).

Réduire fortement les émissions de gaz à effet de serre (GES) est essentiel si le Québec souhaite contribuer à limiter la hausse de température à 1,5°C au-dessus du niveau préindustriel et atténuer les impacts ressentis et anticipés des changements climatiques. Les impacts anticipés d'ici 2050 mettent en évidence la nécessité d'un positionnement des entreprises agricoles quant aux stratégies à adopter pour maintenir, voire augmenter la productivité et la rentabilité de l'agriculture, tout en minimisant leur empreinte environnementale et carbone. Par ailleurs, une réduction significative des émissions de GES du secteur agricole permettra de contribuer à l'atteinte de la carboneutralité du Québec en 2050.

Dans ce contexte, cette note technique fait un survol des sources d'émissions de GES non énergétiques à la ferme. Elle propose aussi des mesures susceptibles de favoriser l'évitement et la réduction des principaux postes d'émissions de GES ainsi que la séquestration du carbone à l'échelle des entreprises agricoles. D'autres solutions de réduction et d'évitement pourront éventuellement être disponibles, en fonction de l'avancement des connaissances sur certaines pratiques agricoles.

Évitement et réduction des émissions de GES et séquestration du carbone dans les entreprises agricoles

Inventaire québécois des émissions de GES du secteur agricole

Selon l'inventaire québécois des émissions de GES réalisé en 2020, le secteur agricole compte pour 10,6% des émissions provinciales. Elles sont générées en ordre décroissant d'importance, par la fermentation entérique des animaux d'élevage (36,2%), la gestion des sols (32,8%), la gestion du fumier (26,3%), ainsi que le chaulage, l'application d'urée et d'autres engrais carbonés (4,8 %)¹. Les principaux GES émis par le secteur agricole sont en première position le méthane (CH₄), suivi du protoxyde d'azote (N₂O) et enfin du dioxyde de carbone (CO₂). Le tableau 1 précise les sources d'émission de chaque gaz ainsi que le potentiel de réchauffement planétaire (PRP), de manière à distinguer l'importance relative des différents GES impliqués dans le réchauffement climatique. Les proportions relatives des 3 principaux GES émis par le secteur de l'agriculture, ventilées par source d'émissions sont présentées dans la figure 1.

Tableau 1. Principaux GES émis par le secteur agricole (émissions de nature non énergétique seulement)

GES	PRP ² _{100 ans}	Pratiques agricoles concernées
CO ₂	1	Chaulage, urée et autres engrais carbonés
CH ₄	28	Fermentation entérique, gestion du fumier
N ₂ O	265	Gestion des sols (engrais organiques et de synthèse), gestion des fumiers

Note : le PRP ou le potentiel de réchauffement planétaire est défini dans la fiche 2022-03.

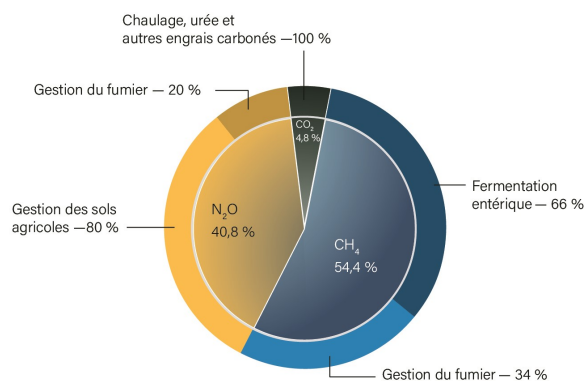


Figure 1. Répartition des émissions de GES par gaz et pratique agricole dans le secteur de l'agriculture en 2020¹

(1) MELCCFP, 2022

(2) Myrhe, G. D. et al., 2013

Avez-vous un bilan de GES ?

La première étape pour une entreprise agricole qui souhaite mettre en place des pratiques afin de réduire ou éviter ses émissions de GES ainsi que de séquestrer du carbone à la ferme est de faire son **bilan de GES**. Plusieurs outils et ressources sont disponibles pour vous accompagner dans cette démarche :

- Agriculture et Agroalimentaire Canada propose gratuitement le logiciel de modélisation agricole **Holos**³;
- **Agriclimat**⁴ est en train d'élaborer un calculateur, en rodage actuellement avec des fermes pilotes. D'ici 2 ans, l'outil devrait être offert gratuitement;
- Les **Réseaux Agriconseils**⁵ du Québec offrent de l'aide financière pour l'évaluation des émissions de GES d'une entreprise.

Discutez-en avec **votre conseiller agricole**, qui pourra vous accompagner dans cette démarche.

Sources d'émissions et mesures potentielles d'évitement et de réduction en productions animales

Cette section détaille les sources d'émissions de CH₄ et N₂O ainsi que les mesures potentielles d'évitement et de réduction de ces gaz pour les productions animales.

Fermentation entérique

La fermentation entérique constitue la première source d'émission du secteur agricole, sous la forme de **CH₄**. Elle désigne le processus par lequel les micro-organismes du système digestif, principalement du rumen, décomposent les aliments et permettent leur absorption dans la circulation sanguine de l'animal. Les émissions de CH₄ entérique sont plus élevées pour les ruminants (environ 43,8 à 142,9 kg CH₄/an/animal pour les bovins) et plus faibles pour les monogastriques (environ 1,5 kg CH₄/an/animal pour les porcs et minimales pour les volailles)⁶. Chez les ruminants, le CH₄ est évacué à 99 % par la bouche et les narines.

Gestion du fumier

La gestion des fumiers dans les bâtiments d'élevage, lors de l'entreposage et lors des épandages entraîne par ordre décroissant d'importance des émissions de **CH₄** et de **N₂O**. Différents facteurs influencent la quantité de ces émissions, par exemple :

- Le type d'animal;
- Le volume des déjections;
- Le mode de gestion (solide ou liquide);
- L'alimentation de l'animal;
- Le type de litière;
- Le climat;
- La durée de l'entreposage.

Le **CH₄** est produit en condition d'anaérobiose. La gestion liquide, la chaleur et le brassage augmentent les émissions.

Le **N₂O** quant à lui, est produit par le processus de dénitrification (transformation des nitrates en N₂O en l'absence d'oxygène) lors de la décomposition de la matière organique (MO). Il est aussi associé aux pertes d'azote par volatilisation et/ou lessivage durant le stockage et la manutention, principalement du fumier solide.

Mesures potentielles d'évitement et de réduction des émissions de GES

Des mesures prises à la ferme permettent d'éviter ou de réduire certaines émissions de GES en productions animales. Voici quelques exemples :

Optimiser la gestion du cheptel

- Accroître le rendement reproductif, la productivité et la longévité;
- Optimiser le nombre d'animaux de remplacement.

Optimiser la régie de l'alimentation

- Augmenter la prise alimentaire (figure 2);
- Réduire le gaspillage d'aliments;
- Récolter les fourrages plus jeunes;
- Utiliser des additifs permettant d'améliorer par exemple la digestibilité ou la santé intestinale;
- Ajouter des acides aminés de synthèse pour réduire l'azote excrété.



Figure 2. Augmenter la prise alimentaire (photo : Patrick Lachance, MAPAQ)

Optimiser la gestion des déjections animales

- Séparer les fractions solides et liquides;
- Réduire le nombre et le temps de brassage des lisiers (figure 3);
- Vider la fosse le plus souvent possible;
- Incorporer les déjections le plus tôt possible à la suite de l'épandage;
- Exporter le lisier vers un site de biométhanisation.

Favoriser le pâturage (figure 4)

(3) <https://agriculture.canada.ca/fr/production-agricole/holos>

(4) <https://agriclimat.ca>

(5) <https://agriconseils.qc.ca>

(6) ECCC, 2022



Figure 3. Réduire le temps et le nombre de brassages des lisiers (photo : Éric Labonté, MAPAQ)



Figure 4. Favoriser le pâturage (photo : Éric Labonté, MAPAQ)

Sources d'émissions et mesures potentielles d'évitement et de réduction en productions végétales

Cette section détaille les sources d'émissions de N_2O et CO_2 , ainsi que les mesures potentielles d'évitement et de réduction de ces gaz pour les productions végétales.

Gestion des sols

Tous les sols émettent du N_2O de façon directe lors du processus de dénitrification, mais également de façon indirecte par le processus de dénitrification à la suite de la volatilisation de l'ammoniac (NH_3) ou du lessivage des nitrates (NO_3) contenus dans les fumiers épandus, les engrais azotés inorganiques et les résidus de cultures.

La production des engrais de synthèse est aussi responsable d'émissions de GES⁷

1 kg de N = 3,1 kg éq. CO_2
1 kg de P = 1,8 kg éq. CO_2
1 kg de K = 1,3 kg éq. CO_2

(7) Rotz et al., 2019

Les émissions de N_2O des sols varient en fonction des :

- Choix de cultures (annuelles, pérennes);
- Apports d'engrais et de fumiers (source, dose, moment et méthode d'application);
- Conditions du sol et du site (texture, compaction, climat, localisation).

Les émissions de N_2O sont favorisées par :

- La présence d'azote provenant des engrais organiques et de synthèses, ainsi que de la décomposition des résidus de culture laissés au champ;
- Une aération imparfaite du sol (milieu avec une concentration faible en oxygène), associée à un mauvais drainage, un sol compacté, des textures plus lourdes, des précipitations importantes.

Épandage de la chaux

Lorsqu'elle est épandue, la chaux engendre une réaction chimique qui libère du CO_2 . Elle procure néanmoins des avantages agronomiques.

Épandage de l'urée

L'urée n'est pas absorbée directement par les racines. Elle doit être hydrolysée au préalable en ammoniac et en CO_2 avant d'être absorbée par les racines des plantes. Une partie du CO_2 produit est alors perdu et émis dans l'atmosphère.

Certaines conditions du site influencent le niveau des émissions de GES, mais celles-ci échappent au contrôle de l'entreprise agricole, en particulier :

- **La texture de sol :** émissions plus élevées dans les sols de texture fine (argile);
- **Le climat :** émissions plus élevées dans les climats humides.

Mesures potentielles d'évitement et de réduction des émissions de GES

Des mesures prises à la ferme permettent d'éviter ou de réduire certaines émissions de GES en productions végétales. Voici quelques exemples :

Optimiser la gestion de l'azote

- Éviter les doses d'azote en excès provenant d'engrais minéraux et organiques (figure 5);
- Faire coïncider les apports d'azote avec les besoins des cultures;
- Utiliser une combinaison d'inhibiteurs d'uréase et de la nitrification.



Figure 5. Éviter les doses d'azote en excès provenant des engrais (réaliser un test de nitrates dans les sols en post-levée du maïs) (photo : Maude Guillemette, Fertior)

Optimiser les pratiques de conservation des sols

- Augmenter la diversité des cultures en rotation, incluant des cultures pérennes et des cultures moins exigeantes en azote;
- Favoriser l'implantation de cultures de couverture (légumineuses);
- Conserver des prairies et des pâturages productifs plus long-temps;
- S'assurer d'avoir un sol bien égoutté (bon drainage de surface, bonne hauteur de la nappe phréatique, belle structure de sol et non compacté) (figure 6).



Figure 6. S'assurer d'avoir un sol bien égoutté
(photo : Marie-Christine Gauvreau, Fertior)

Séquestration du carbone par les activités agricoles

En milieu agricole, il est possible de séquestrer du carbone par l'implantation de systèmes agroforestiers et des pratiques de conservation des sols qui favorisent l'augmentation de la MO dans les sols. La séquestration du carbone est durable tant que les entreprises agricoles conservent ces pratiques. La permanence de la séquestration implique donc que les entreprises soient convaincues par l'expérience et en tirent des bénéfices.

Systèmes agroforestiers

Les systèmes agroforestiers reposent sur l'association d'arbres et/ou d'arbustes à des cultures ou à des élevages (figure 7).

Les arbres et les arbustes séquestrent du carbone en absorbant le CO₂ de l'air par le processus de la photosynthèse. Le carbone est principalement stocké dans la partie aérienne de l'arbre (entre 60 et 88 %), le reste l'étant dans le système racinaire. Dans le cas des arbustes, le carbone stocké dans la partie aérienne varie entre 50 et 60 %⁸. Les arbres des systèmes agroforestiers captent généralement plus de CO₂ que les arbres en forêt, car ils bénéficient de meilleures conditions de croissance (lumière et sol).



Figure 7. Haie brise-vent arborescente (photo : André Vézina)

Les cultures de couvertures pour réduire les émissions de N₂O

L'utilisation de cultures de couverture permet de récupérer les surplus d'azote épandus, évitant ainsi qu'ils ne soient transformés en N₂O par les micro-organismes et émis dans l'atmosphère. De plus, une fois enfouis, ces végétaux rendent disponible une partie de l'azote emmagasiné aux cultures suivantes, permettant ainsi de diminuer les apports en engrais de synthèse. Lorsque la culture de couverture comporte des légumineuses, il est avantageux d'ajuster la fertilisation azotée de la culture commerciale suivante. Cette pratique permet donc d'obtenir des rendements équivalents en réduisant les apports d'engrais de synthèse et donc les émissions potentielles de N₂O.

On peut déduire la quantité de CO₂ captées par un arbre (réservoirs aérien et racinaire) à partir de l'évaluation de sa biomasse aérienne. Le tableau 2 présente des mesures de quantités de CO₂ capté par groupe d'espèces.

Tableau 2. Quantité moyenne de CO₂ capté par un arbre (à 40 ans) et un arbuste (à 15 ans) en haie (réservoirs aérien et racinaire)⁸

Groupe d'espèces	CO ₂ séquestré (t éq. CO ₂ /arbre)
Feuillus durs (frênes, chênes, érables)	1,7
Peupliers hybrides	2,6
Conifères (épinettes et mélèzes)	1,5
Arbustes	0,004 - 0,05

Note : les conifères sont espacés aux 3 m, les feuillus entre 3 et 4 m et les arbustes aux 2 m. Ces données proviennent de mesures réalisées près de La Pocatière.

(8) Boulfroy et al., 2019

Selon les données du tableau, une haie, d'une longueur de 1 km, constituée d'une rangée de feuillus durs espacés de 3 m pourrait séquestrer environ 567 t éq. CO₂ sur une période de 40 ans. Cette quantité de carbone pourrait être éventuellement monnayée sur un marché du carbone et constituer un incitatif supplémentaire à l'implantation d'aménagements agroforestiers (voir les fiches 2022-03, 2022-04a et b). Un outil permettant d'évaluer les quantités de CO₂ séquestré et l'impact économique de tels aménagements est disponible (wbvecan.ca).

Il est important de minimiser les émissions à la suite de la récolte des arbres. Une utilisation du bois en produits durables est alors recommandée (p. ex. : matériaux de construction, planchers, meubles).

Le sol dans lequel poussent les arbres contient aussi du carbone, dont la quantité dépend d'un grand nombre de facteurs, par exemple :

- La région et le climat;
- La qualité du site;
- L'utilisation actuelle et passée du sol;
- L'âge des arbres;
- L'accumulation de litière.

Les taux de séquestration de carbone dans les sols sont très variables et seul un nombre très limité d'expériences sur le terrain ont été spécifiquement conçues pour tester rigoureusement les effets des pratiques.

En comptabilisant le carbone stocké dans les différents réservoirs (sol et biomasse), les systèmes agroforestiers plus vieux ont les stocks les plus importants. À l'inverse, les systèmes plus jeunes ont davantage tendance à constituer des sources d'émissions de GES durant les premières années, du fait de l'activité microbienne qui est stimulée par la perturbation du sol et du délai d'établissement des arbres.

Par ailleurs, **la conservation des boisés** sur les entreprises permet d'éviter des émissions de GES. Avant leur mise en culture, les sols forestiers du Québec et de l'est du Canada pouvaient contenir entre 70 et 110 t de carbone par hectare. La mise en culture de ces sols a conduit à des pertes de 20 à 30 % des stocks de carbone ¹⁰. Les deux principales causes de ces pertes sont l'érosion et la minéralisation de la MO.

Les coûts d'implantation d'un aménagement agroforestier peuvent être très variables. Néanmoins en 2022, pour une région centrale comme Chaudière-Appalaches, l'implantation d'une haie brise-vent peut coûter à l'entreprise agricole entre 3 et 6 \$ par mètre linéaire en fonction de l'espacement entre les plants et du pourcentage de financement accordé par les subventions Prime-Vert et Réseaux Agriconseils. Sans subvention, les coûts réels oscillent autour de 15 \$/m linéaire.

Pratiques de conservation des sols

Le carbone contenu dans les sols agricoles est surtout stocké dans la MO et sa présence est dynamique (tableau 3). La variation de la teneur en MO et donc des quantités de carbone dans le sol dépend des taux relatifs d'incorporation de débris végétaux et des émissions de CO₂ par la décomposition. S'il y a plus de gains que de pertes, les quantités de carbone stockées augmentent.

Tableau 3. Teneur potentielle en carbone en fonction du pourcentage de MO ¹¹

Pourcentage de MO d'un sol minéral (%)	Teneur potentielle en carbone en fonction du pourcentage de MO (pour une profondeur de culture de 17 cm, équivalent à la profondeur du travail du sol) (t éq. CO ₂ /ha)
2	95
3	143
4	191
5	238
6	286

Pour favoriser la séquestration du carbone, on doit idéalement :

- Augmenter le rendement végétal (photosynthèse) permettant une accumulation supplémentaire de carbone dans les biomasses racinaire et aérienne;
- Augmenter la proportion de carbone qui s'incorpore au sol (issu des racines et des résidus de cultures qui retournent au sol après la récolte);
- Ralentir le rythme de décomposition de la MO.

La capacité de séquestration des sols dépend de nombreux facteurs : le taux de MO initial, le climat, la texture du sol, l'affectation du sol, les pratiques agricoles et le type de culture qui s'y pratique.

Émissions de CO₂ par les sols

Les émissions de CO₂ liées à la gestion des sols ne sont actuellement pas comptabilisées dans l'inventaire québécois des émissions des GES du secteur agricole. Les sols sans couverture végétale émettent du CO₂ lors de la décomposition rapide de la matière organique, mais aussi par la dégradation des sols (érosions éolienne et hydrique). D'ailleurs, l'érosion éolienne de sols organiques cultivés non protégés est estimée à 1 cm/année ¹².

Une étude réalisée en Montérégie montre que les pertes de sol organique par érosion éolienne peuvent entraîner des émissions de 58 t éq. CO₂/ha/an. Selon cette même étude, l'aménagement d'un réseau de haies brise-vent destiné à contrer l'érosion éolienne pourrait réduire ces émissions de 46 % ⁹.

(9) Vézina et al., 2022

(10) Anger, D., 2002

(11) Nature Québec, 2012

(12) Dessurault Rompré et al., 2020

Certaines pratiques culturales permettent d'augmenter les quantités de carbone dans le sol, par exemple :

- Cultures de plantes fourragères pérennes : augmentation de la masse racinaire par rapport aux cultures annuelles (figure 8);
- Cultures de couverture : augmentation du carbone par les apports de la masse racinaire et par l'enfouissement de la biomasse aérienne (figure 9);
- Rotation des cultures diversifiées : augmentation de la séquestration du carbone par l'augmentation des rendements et par le maintien ou l'accroissement de la teneur des sols en MO (bonification avec les céréales d'automne en allongeant la période de séquestration du carbone);
- Résidus de culture au sol : augmentation du carbone en dispersant les résidus à la surface du champ (leur quantité influence la MO dans les 15 premiers centimètres du sol);
- Apport et incorporation superficielle des amendements organiques (fumier, compost, MRF) : apport supérieur de MO par les composts et les fumiers bien décomposés que par les lisiers et les fumiers jeunes et peu décomposés.

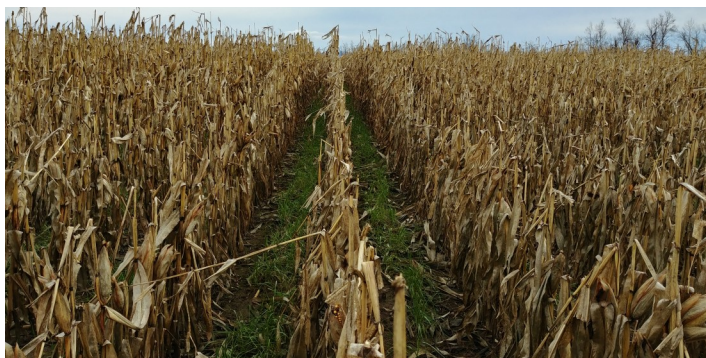


Figure 9. Culture de couverture en intercalaire (ray-grass et trèfle) dans le maïs grain (photo : Marie-Christine Gauvreau, Fertior)



Figure 8. Culture de plantes fourragères pérennes (photo : Marie-Christine Gauvreau, Fertior)

Les entreprises agricoles peuvent être propriétaires d'incroyables stocks de carbone qu'il faut impérativement protéger !

Il n'est pas rare de retrouver des milieux humides sur les terres des entreprises agricoles. Or, certains milieux humides comme les tourbières contiennent plus de la moitié des stocks de carbone terrestre au Québec. Ceci s'explique par le fait que des quantités importantes de carbone y sont emmagasinées depuis plusieurs milliers d'années. En effet, dans ces écosystèmes, la production de MO est plus importante que sa décomposition, étant donné la présence d'un milieu acide, humide et/ou saturé en eau.

Il est donc fortement recommandé de mettre plus d'efforts dans la **conservation, la réhabilitation et la gestion des tourbières et d'autres milieux humides en milieu agricole afin de ne pas altérer les stocks de carbone existants.**

En choisissant des pratiques permettant de réduire ou séquestrer vos émissions de GES, vous pouvez généralement aussi :

- **Réduire vos dépenses** liées aux achats d'intrants (engrais de synthèse, alimentation pour les animaux);
- **Augmenter le rendement de vos cultures** en améliorant les propriétés physiques du sol (corriger le drainage et la compaction, contrôler les pertes de sol par érosion, implanter des cultures de couverture), et en créant un microclimat et des conditions de croissance plus favorables aux cultures grâce à la présence d'aménagements agroforestiers.

Conclusion

Le secteur agricole représente 10,6 % des émissions de GES du Québec, issues principalement de la fermentation entérique, de la gestion des sols et des fumiers. Afin d'atteindre les objectifs de carboneutralité du Québec en 2050, le secteur agricole doit contribuer aux efforts pour réduire fortement ses émissions de GES.

Les entreprises agricoles peuvent agir en mettant en place des pratiques permettant d'éviter et de réduire certaines de leurs émissions. En production animale, il est possible d'optimiser la gestion du cheptel, la régie de l'alimentation, la gestion des déjections animales et de favoriser le pâturage. En production végétale, on suggère d'optimiser la gestion de l'azote et d'améliorer les pratiques de conservation des sols. Parallèlement à ces efforts de réduction, il est aussi possible d'augmenter la séquestration du carbone dans les entreprises agricoles par l'implantation de systèmes agroforestiers et des pratiques de conservation des sols.

Finalement, réduire les émissions de GES à la ferme permet non seulement de contribuer à la lutte contre les changements climatiques, mais génère aussi d'autres bénéfices environnementaux importants, en lien avec les objectifs du Plan d'agriculture durable 2020-2030 du MAPAQ, par exemple l'amélioration de la santé et la conservation des sols, la réduction des matières fertilisantes azotées et l'amélioration de la biodiversité grâce aux aménagements agroforestiers.

Principales références

- Angers, D., 2002.** Rôle des sols agricoles dans la séquestration du CO₂ atmosphérique. 65^e congrès de l'Ordre des agronomes du Québec. 5 p. <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Agriculture/permaculture/roles-des-sols-co2.pdf>; consulté le 24 janvier 2023
- Boulfroy, E., D. Babin, A. Vézina, G. Joannis et D. Blouin, 2019.** Optimisation de scénarios de plantation dans des bandes riveraines pour la séquestration du carbone. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) et Cégep de Sainte-Foy. Rapport 2019- 09. 82 pages + 3 annexes http://cerfo.gc.ca/wp-content/uploads/2019/09/Rapport_final_CERFO_2019-09.pdf; consulté le 10 novembre 2022
- ECCC (Environnement et Changement climatique Canada), 2022.** Rapport d'inventaire national 1990-2020 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada. Partie 2. Document d'annexes. 354 p. https://publications.gc.ca/collections/collection_2022/eccc/En81-4-2020-2-fra.pdf; consulté le 24 janvier 2023
- Dessureault-Rompré, J., C.J. Libbrecht et J. Caron. 2020.** Biomass crops as a soil amendment in cultivated histosols: Can we reach carbon equilibrium? *Soil Sci. Soc. Am. J.* 84:597–608.
- Dhillon, G.S. et Van Rees, K.C.J., 2017.** Soil organic carbon sequestration by shelterbelt agroforestry systems in Saskatchewan Canadian Journal of Soil Science. *Volume 97, Number 3, September 2017.*
- Klaus L., et R. Lal, 2014.** Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2014, 34 (2), pp.443- 454. ff10.1007/s13593-014-0212-yff. fffhal-01234833
- MELCCFP (Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs), 2022.** GES 1990-2020. Inventaire québécois des émissions de gaz à effets de serre en 2020 et leur évolution depuis 1990. 54 p. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2020/inventaire-ges-1990-2020.pdf>; consulté le 24 janvier 2023
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013.** Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf; consulté le 22 novembre 2022
- Nature Québec, 2012.** Des pratiques agricoles efficaces, un impact bénéfique sur le climat. <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2449525>; consulté le 27 octobre 2022
- Rotz, C. A., S. Asem-Hiablie, S. Place et G. Thomas, 2019.** Empreinte environnementales de a production de bovins de boucherie aux États-Unis. *Agricultural Systems*. 169 (2019) 1-13. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X18305675>; consulté le 8 décembre 2022
- Vanasse, A., S. Thibaudeau et A. Weill, 2022.** Guide des cultures de couverture en grandes cultures. Centre de référence et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 204 pages
- Vézina, A., N. De Baets, F. Lebel et A. Cogliastro, 2022.** Impact économique de l'aménagement de systèmes agroforestiers en sols organiques. CRAAQ, 35p.
- Zhou, X., M. M. Schoeneberger, J. R. Brandle, T. N. Awada, J. Chu, D. L. Martin, J. Li, Y. Li, et C. W. Mize. 2015.** Analyzing the Uncertainties in Use of Forest-Derived Biomass Equations for Open-Grown Trees in Agricultural Land. *Forest Science* 61(1):144-61.
- Dupont, D. et J. Ouellette. 2022.** Vers la valorisation de la séquestration du carbone dans les sols agricoles au Québec (Première partie). Note de recherche. Institut de recherche en économie contemporaine. 35 p. <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/4452976>; consulté le 25 janvier 2023
- <https://agriculture.canada.ca/fr/environnement/gaz-effet-serre>; consulté le 27 octobre 2022
- https://www.cdpq.ca/getmedia/fbb180c3-1764-4cde-9654-070dc57d6986/Tableau_Synthese_PALCCA_Porc_v3_NP.pdf.aspx; consulté le 12 janvier 2023
- <https://agriclimat.ca/wp-content/uploads/2019/08/8-GES-production-bovine.pdf><https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2449525>; consulté le 27 octobre 2022

Rédaction : Marie-Christine Gauvreau (Fertior) et André Vézina
Révision : MAPAQ, MELCCFP, Emmanuelle Boulfroy (CERFO) et Nathan de Baets

Le contenu de ce document n'engage que ses auteurs et représente l'information disponible en date de la parution.

De plus, il ne se substitue ni à la réglementation en vigueur ni à la documentation technique des organisations impliquées dans les marchés du carbone.

Ce projet a été financé par l'entremise du **Programme services-conseils**, mis en œuvre en vertu du Partenariat canadien pour l'agriculture, selon une entente conclue entre les gouvernements du Canada et du Québec.



 PARTENARIAT
 CANADIEN pour
 L'AGRICULTURE

