

DES PRATIQUES AGRICOLES EFFICACES, UN IMPACT BÉNÉFIQUE SUR LE CLIMAT

Une série de cinq outils publiés en novembre 2012 par Nature Québec, dans le cadre du projet *Favoriser l'adoption de pratiques de gestion bénéfiques pouvant réduire le bilan de GES de cinq secteurs agricoles au Québec*, financé par le Programme de lutte contre les gaz à effet de serre en agriculture (PLEGSA). En ligne : <http://www.naturequebec.org/agriculture-et-climat>

OUTIL 1 LES RUMINANTS



■ Ruminants et gaz à effet de serre • 1

■ Viser une alimentation plus digestible • 2

- Améliorer la qualité des fourrages
- Valoriser davantage les pâturages
- Diminuer l'apport de protéines brutes
- Ajouter des lipides
- Ajouter des concentrés

■ Mieux gérer les fumiers • 6

- Améliorer l'entreposage et la vidange
- Épandre plus efficacement
- Traiter les déjections animales

■ Améliorer la gestion du troupeau • 10

- Contrôler l'âge au premier vêlage
- Optimiser la durée de vie productive et le taux de remplacement

■ Améliorer l'efficacité énergétique • 11

■ Comment réduire les émissions de GES sur une ferme laitière ou bovine ? • 12

OUTIL 2 LES VOLAILLES



■ Volailles et gaz à effet de serre • 1

■ Mieux gérer les aliments • 3

■ Gérer le cheptel : diminuer la mortalité • 5

■ Gérer les déjections : minimiser les pertes • 5

■ Utiliser les énergies renouvelables • 6

■ Améliorer l'efficacité énergétique • 7

■ Comment réduire les émissions de GES sur une ferme avicole ? • 8

OUTIL 3

LE MARAÎCHER



■ Cultures maraîchères et gaz à effet de serre • 1

■ Augmenter la matière organique des sols • 3

- Assurer une rotation des cultures
- Fertiliser dans le but de favoriser l'apport de matière organique

■ Réduire les intrants • 5

- Utiliser des engrais verts
- Utiliser des produits chaulants

■ Réduire l'utilisation de produits phytosanitaires • 7

- Assurer une rotation des cultures
- Procéder à une lutte intégrée
- Utiliser des paillis
- Procéder à un désherbage mécanique

■ Réduire le travail du sol • 9

- Utiliser des planches permanentes

■ Améliorer l'efficacité énergétique en serre • 10

- Déployer des écrans thermiques
- Utiliser des sols chauffés et des matelas chauffants
- Améliorer l'éclairage
- Chauffer à la biomasse
- Enrichir les serres au carbone

■ Comment réduire les émissions de GES sur une ferme maraîchère? • 12

OUTIL 4

LES GRANDES CULTURES



■ Grandes cultures et gaz à effet de serre • 1

■ Augmenter la séquestration de carbone • 2

- Adopter la rotation des cultures
- Cultiver des engrais verts
- Utiliser les résidus de culture et des paillis
- Opter pour l'agroforesterie

■ Réduire les doses d'engrais minéraux • 5

- Utiliser les engrais verts
- Optimiser les engrais de ferme
- Exploiter les matières résiduelles fertilisantes
- Adopter de bonnes pratiques

■ Réduire l'utilisation des produits phytosanitaires • 8

■ Réduire le travail du sol • 9

■ Augmenter l'efficacité énergétique et utiliser les énergies renouvelables • 10

- Raisonner le séchage et l'entreposage des grains et des récoltes
- Adopter de bons comportements pour l'utilisation de la machinerie

■ Comment réduire les émissions de GES sur une ferme de grandes cultures? • 12

OUTIL 5

L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE



■ Agriculture biologique et gaz à effet de serre • 1

- Une approche fertile
- Une appellation contrôlée

■ Gérer les sols, les cultures et les élevages • 2

- Pratiquer la rotation des cultures
- Valoriser les pâturages
- Fertiliser naturellement

■ Opter pour l'agroforesterie • 5

■ Gérer les organismes nuisibles • 6

■ Être efficace • 6

- Refuser les OGM
- Produire pour nourrir la planète
- Développer une vision à long terme

■ Comment réduire les émissions de GES en s'inspirant de l'agriculture biologique? • 8

LES RUMINANTS

DES PRATIQUES AGRICOLES EFFICACES,
UN IMPACT BÉNÉFIQUE SUR LE CLIMAT

RUMINANTS ET GAZ À EFFET DE SERRE

Au Québec, avec une production de plus de 3 milliards de litres de lait par année, le secteur laitier est d'une importance capitale. En 2010, la valeur de cette production dépassait les 2 milliards de dollars, représentant 32 % de l'ensemble des recettes de l'agriculture québécoise^[38]. À l'échelle canadienne, 37 % des revenus du secteur laitier proviennent du Québec. Ainsi, le Québec est la plus importante province productrice de lait au pays^[76]. De même, la production de bovins de boucherie est la troisième production animale en importance au Québec. Le secteur du veau québécois s'avère particulièrement important, représentant à lui seul 82 % de la production nationale^[37].

Le CO₂e (dioxyde de carbone équivalent) est une expression servant à comparer les potentiels de réchauffement des différents GES, par rapport au gaz de référence, le CO₂.

1 t CO₂e = 1 voiture roulant pendant 9 000 km (aller-retour Halifax-Vancouver).

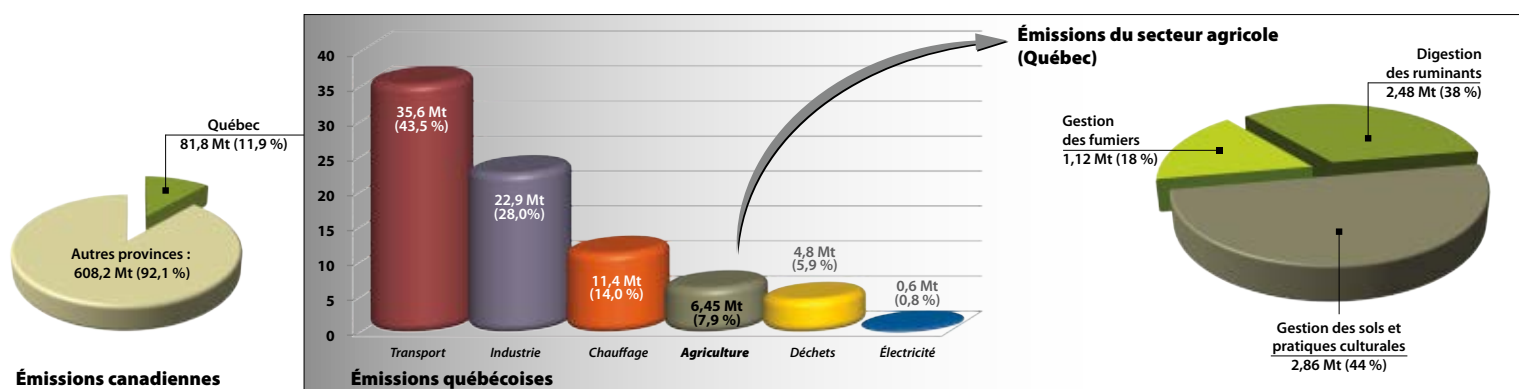


© Justin Chabot

Comme illustré par la **figure 1.1**, en 2009, le secteur agricole québécois a émis 6,45 Mt CO₂e, soit 7,9 % des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) du Québec^[59]. La digestion des ruminants, source importante de méthane (CH₄), la gestion du fumier, source de CH₄ et de protoxyde d'azote (N₂O), ainsi que la gestion des sols et les pratiques culturales sont les principales activités responsables des émissions du secteur agricole.

La production animale contribue donc largement aux émissions de GES en agriculture. Entre 1990 et 2009, les émissions du secteur agricole canadien ont augmenté de 19 %, une part de cette augmentation étant attribuable à l'accroissement notable (23 %) des populations de bovins dans le secteur laitier et de boucherie^[35]. Cette situation est d'autant plus vraie au Québec, étant donné l'importance de l'élevage des ruminants dans la province. Or, le secteur de l'agriculture possède un bon potentiel de réduction des émissions de GES et d'accumulation du carbone^[36]. Diverses stratégies peuvent rendre les élevages de ruminants plus efficaces, donc réduire les pertes de nutriments et d'énergie à la ferme, permettant de réduire les émissions de GES. Ces stratégies, présentées dans ce document, concernent l'alimentation et la gestion du troupeau, la gestion des déjections et l'efficacité énergétique à la ferme.

Figure 1.1
Source des émissions de GES du secteur agricole québécois en 2009 (en Mt CO₂e)^[59]



VISER UNE ALIMENTATION PLUS DIGESTIBLE



Offrir des aliments plus digestibles permet de réduire la quantité d'aliments consommés par kilogramme de lait produit. L'efficacité de la conversion des aliments est améliorée, ce qui réduit les émissions de méthane par kilogramme de lait produit.

Une vache laitière en lactation émet 400 grammes de méthane (CH_4) par jour, soit plus de 3 t CO_2e par année ^{[1][23]}, ce qui équivaut aux émissions d'une voiture moyenne parcourant 20 000 km^[1]. Ces émissions, provenant de la fermentation entérique, peuvent être réduites par une alimentation plus adaptée aux besoins de l'animal, donc plus digeste.

La production de CH_4 est directement proportionnelle à la quantité d'aliments ingérés par l'animal. Offrir des aliments plus digestibles permet de réduire la quantité d'aliments consommés par kilogramme de lait produit. L'efficacité de la conversion des aliments étant améliorée, les émissions de CH_4 par kilogramme de lait produit sont réduites. Du même coup, la production du troupeau est améliorée et les émissions de GES réduites.

De plus, les pertes d'azote dans l'alimentation engendrent des émissions indirectes de N_2O et d'ammoniac (NH_3) lorsque l'azote en excès se retrouve à la fosse. Les pertes peuvent être minimisées en favorisant une prise alimentaire mieux adaptée aux besoins de l'animal.



© Dave Bérubé



AMÉLIORER LA QUALITÉ DES FOURRAGES

Offrir aux animaux des fourrages de qualité s'avère une méthode simple et efficace pour réduire les émissions de CH₄ produites lors de la fermentation entérique.

Plus le fourrage est digestible, plus l'énergie qu'il contient est disponible pour l'animal, ce qui permet de réduire les émissions de CH₄ jusqu'à 25 %^[14]. De même, offrir des fourrages ensilés permet de réduire les émissions de CH₄. En effet, lors du processus de fermentation des fourrages, une prédigestion s'effectue et la quantité de fibres est légèrement diminuée^[12]. Les fourrages deviennent donc plus digestibles, ce qui entraîne une diminution des émissions de CH₄^{[12][61]}. Augmenter la qualité des fourrages s'avère donc bénéfique pour la productivité de l'entreprise, la santé des vaches laitières et le portefeuille du producteur. La qualité des fourrages constitue d'ailleurs un indice de rentabilité de l'entreprise agricole^[65].

Le document *Les plantes fourragères*^[33] est un outil pertinent afin de choisir les bonnes espèces végétales pour l'alimentation des animaux et peut aider le producteur à améliorer la gestion de ses fourrages à moindre coût. Un outil d'évaluation de la valorisation des fourrages, développé par le département des sciences animales de l'Université Laval, est aussi disponible sur le site d'Agri-Réseau^[28].

VALORISER DAVANTAGE LES PÂTURAGES

De 25 à 40 % du CO₂ en excès dans l'atmosphère provient de la dégradation des sols et de leur matière organique. De nombreux rapports scientifiques indiquent que les sols cultivés ont perdu entre 30 et 75 % de leur matière organique au cours du 20^e siècle^[45]. De plus, la production de céréales et de grains destinés à l'alimentation animale requiert énormément d'intrants, entraînant des coûts monétaires et environnementaux. **Il est essentiel de trouver une solution de remplacement durable à la culture des grains servant à produire des protéines animales, d'où l'importance de valoriser et de bien gérer le pâturage en production laitière et bovine. Il est alors possible de maintenir la productivité, tout en réduisant les émissions de GES.**

Sur une ferme bovine, introduire une période de pâturage durant l'été pourrait réduire les émissions de GES de 14 %, ce qui équivaut à 78 t CO₂e pour une ferme de 55 vaches^[74]. Les pâturages permettent tout d'abord l'accumulation du carbone dans le sol, soit 1,8 t CO₂e par hectare chaque année pour les 30 premières années d'une terre restaurée en pâturage^[7]. S'il est bien géré, le pâturage offre aussi un fourrage de haute qualité aux animaux, contenant moins de fibres et plus de sucres, donc plus d'énergie que les fourrages entreposés. Lorsqu'ils contiennent des légumineuses, les pâturages permettent aussi de diminuer les apports en engrais azotés, ce qui réduit les pertes d'azote sous forme de N₂O et de NH₃. L'utilisation accrue des pâturages permet également de réduire les besoins en machinerie pour les récoltes, les semis et l'épandage du fumier, diminuant l'utilisation de combustibles fossiles et les émissions de N₂O provenant des sols. De même, la diminution du volume de fumier entreposé permet de réduire les émissions de CH₄ provenant de la fosse.

Outre la réduction des émissions de GES, les pâturages offrent une multitude d'avantages aux producteurs :

- Amélioration de la santé et du bien-être général du troupeau : meilleure locomotion, abrasion des onglons (moins de tailles nécessaires), meilleure résistance aux maladies^[81].
- Amélioration de la qualité nutritionnelle du lait par une diminution des gras saturés au profit de gras insaturés (oméga-3, acides linoléiques conjugués, etc.)^[29].
- Diminution des besoins en main-d'œuvre et en machinerie pour la production des fourrages, l'épandage des fumiers (combustibles fossiles) et l'alimentation, diminuant les coûts de production totaux^{[67][81]}.
- Diminution de l'espace nécessaire pour l'entreposage du fumier et des fourrages.
- Limitation jusqu'à 80 % des pertes de phosphore par érosion et lessivage, diminuant ainsi l'eutrophisation des cours d'eau^{[51][74]}.
- Couverture permanente du sol, réduisant l'érosion jusqu'à 87 % et améliorant la qualité de l'eau des cours d'eau avoisinants^[74].
- Réduction de la volatilisation du NH₃ de 25 %^[74].
- Préservation de la biodiversité de la microfaune du sol, des espèces animales et végétales et la diversité des écosystèmes à l'échelle des paysages^[67].

En somme, en faisant interagir ces différents éléments, il est possible de réduire la mécanisation du travail. L'utilisation des pâturages permet au producteur de devenir moins dépendant des ressources extérieures à la ferme (comme le pétrole, les fertilisants et les pesticides), en tirant profit des éléments vivants de la ferme (les animaux, les plantes fourragères, etc.). Le producteur s'adapte ainsi au contexte des changements climatiques.

BIEN GÉRER LE PÂTURAGE

Envoyer les animaux au pâturage a un impact sur les émissions de GES, mais c'est surtout la bonne gestion du pâturage qui permet de réduire ces émissions de façon significative. De plus, la mise en pâturage permet de maintenir la productivité des animaux, d'améliorer leur bien-être et leur santé.

Au Québec, les animaux peuvent être envoyés au pâturage dès que la portance du sol le permet. La compaction du sol, causant des conditions anaérobiques favorables aux émissions de N₂O, est ainsi évitée^[53]. Il est suggéré d'attendre que l'herbe soit d'une hauteur de 15 à 25 cm avant d'envoyer les animaux paître. Au printemps, une hauteur de 10 cm est tolérée, car l'herbe pousse plus vite, tandis qu'en plein été il est préférable de se fier à la règle de l'herbe « entre les yeux et les narines »^[50]. Il est suggéré de retirer les animaux dès que l'herbe est de moins de 6 cm. Il est idéal de laisser reposer le pâturage pour une période de 20 à 40 jours, en fonction de la saison. Cette méthode permet d'éviter le surpâturage et d'offrir aux animaux un fourrage consommé au bon stade de croissance ; en effet, plus les plantes sont mures, plus leurs valeurs nutritives diminuent, et plus les émissions de CH₄ des animaux sont elles aussi augmentées^[77]. Avec un fourrage de bonne qualité, la production de CH₄ peut être réduite jusqu'à 20 %^[58].



AJOUTER DES LÉGUMINEUSES

Au pâturage, une bonne prise alimentaire est primordiale afin d'éviter une diminution de productivité. Le passage de la nourriture dans le rumen se fait plus rapidement et la prise alimentaire est augmentée lorsque le fourrage contient plus de légumineuses que de graminées.

Par exemple, une association de graminées et de trèfle blanc permet d'augmenter l'ingestion de 1 à 2 kg de matière sèche par vache par jour, en comparaison avec un pâturage constitué uniquement de graminées. De fait, les légumineuses, en raison de leur plus faible teneur en fibres, réduisent la production de CH₄ entérique. L'ajout de légumineuses à la ration alimentaire permet donc non seulement de maintenir une prise alimentaire élevée, mais aussi de réduire du même coup les émissions de CH₄. Remplacer les graminées par un mélange de luzerne et de graminées dans une proportion 70:30 permettrait de diminuer la production de CH₄ de 10 %, comparativement à un pâturage composé uniquement de graminées^[58]. Remplacer la fléole des prés par de la luzerne pourrait même réduire les émissions de CH₄ jusqu'à 20 %^[12].

De plus, l'ajout de légumineuses au pâturage permet de réduire les besoins en engrais azotés, en raison de la capacité des légumineuses à fixer l'azote atmosphérique. Par conséquent, l'ajout de légumineuses réduit aussi les émissions de GES associées à la production et au transport des engrais minéraux^[67]. Un apport en trèfle blanc permettrait de produire entre 35 et 70 kg d'azote de plus par hectare que la quantité générée par les graminées, en fonction de la proportion de trèfle implantée^[30].

Par contre, il faut faire attention à ne pas excéder les besoins des bovins dans la ration, afin d'éviter l'excrétion des excès d'azote dans l'urine, cet azote pouvant ensuite être volatilisé ou dégradé^[18]. Ainsi, il est important de ne pas introduire plus de 50 % de trèfle dans la ration afin d'éviter la météorisation au champ et les excès d'azote. Il demeure donc important de bien sélectionner les espèces cultivées, pour qu'au moment de la récolte leur valeur nutritive soit optimale.

Le stade de maturité des plantes a aussi un impact sur la qualité des fourrages. Récolter la luzerne au stade végétatif au lieu du stade de mi-floraison peut permettre de réduire les émissions de CH₄ de 15 %^[12].

Le choix des espèces de plantes à offrir en pâturage aux animaux dépend du mode de gestion de chaque entreprise. Il est suggéré de consulter le guide *Les plantes fourragères*^[33], qui comprend un chapitre complet sur la gestion des pâturages, afin de bien choisir les espèces en fonction des besoins du troupeau.

Pour plus de détails, consultez l'outil **5, L'agriculture biologique**, section **Gérer les sols, les cultures et les élevages**, sous-section **Valoriser les pâturages** (**page 3**).

AUTRES FACTEURS À CONSIDÉRER

- Assurer un accès facile à l'eau, afin de réduire les déplacements inutiles des animaux lors de la paissance.
- Prévoir un coin d'ombre pour les animaux est important : s'ils peuvent se reposer entre deux séances de broutage, les animaux augmenteront leur prise alimentaire. Les arbres sont d'ailleurs un couvert idéal pour protéger les animaux du soleil et constituent à la fois un puits de carbone et une protection contre les vents.
- Afin d'empêcher une réduction de la productivité des animaux, le producteur doit toujours garder en tête qu'une alimentation complémentaire au pâturage (grains et minéraux) est essentielle.



© CCDMD, Le Québec en images, Christian Lauzon



DIMINUER L'APPORT DE PROTÉINES BRUTES

Environ 75 % de l'azote consommé par les vaches est perdu par les déjections, principalement par l'urine. Ces pertes peuvent être transformées en NH₃, un gaz volatil à la base de pluies acides, de smog et d'odeurs, et, de manière indirecte, en N₂O (environ 2,1 kg de CO₂e par kilogramme d'azote)^[42]. Le fumier engendre également des émissions indirectes de N₂O liées à la volatilisation de l'azote lors de l'épandage. *Réduire ces pertes de N₂O est possible en améliorant l'efficacité de l'utilisation de l'azote alimentaire par une réduction du pourcentage de protéines brutes de la ration.* Afin de combler les besoins en azote de vaches hautement productives, une ration contenant 17 % de protéines brutes est suffisante. Comme le démontre le **tableau 1.1**, une teneur de 16,5% serait optimale pour réduire les pertes d'azote dans les déjections, tout en maintenant la teneur en protéines du lait^[63]. Dans le cas présent, la réduction de la quantité d'azote trouvée dans les déjections permettrait à une ferme de 55 vaches en lactation de diminuer ses émissions de CO₂e de 2 tonnes par année.

ÉQUILIBRER LES ACIDES AMINÉS LIMITANTS

Dans la ration typique offerte aux vaches, deux acides aminés sont limitants : la lysine et la méthionine. En réduisant la teneur en protéines de la ration, le ratio lysine:méthionine risque d'être affecté, ainsi que la production laitière et la teneur en protéines du lait produit. *En équilibrant la ration en acides aminés limitants, il est possible de diminuer la teneur en protéines brutes de la ration, tout en maintenant la production des composantes du lait, voire l'améliorer pour les vaches en début de lactation.* Cette pratique, sans impact sur les coûts alimentaires, permet même d'obtenir un revenu supplémentaire par vache, pouvant atteindre 0,85 \$ par vache par jour^[48].

AJOUTER DES LIPIDES

En fonction de la quantité, de la source et de la forme d'acides gras apportés, l'ajout de lipides dans la ration des ruminants a un effet très variable sur la réduction des émissions de CH₄. Ainsi, les lipides permettent la réduction des émissions de CH₄ de différentes façons, en fonction de leur nature : ils peuvent réduire la fermentation des matières organiques dans le rumen, ou avoir un effet toxique sur les bactéries et protozoaires méthanogènes^[54]. En moyenne, un apport de 1 % de gras permet de réduire de 3,8 % les émissions de CH₄ de l'animal.

Tableau 1.1
Excrétion d'azote en fonction de l'apport en protéines brutes^[63]

Protéines brutes (%)	Apport en azote (g/jour)	Efficacité N (% N lait/apport N)	Total N déjections (g/jour)
16,5	605	30,8	376
17,9	641	27,5	410

Afin de réduire les émissions totales de GES à la ferme, il est important de choisir une source de gras facilement disponible et qui n'ait pas été importée. Par exemple, il est préférable d'éviter l'utilisation de l'huile de noix de coco et de palme, et de privilégier l'utilisation d'huile de lin, de canola ou de tournesol. Un ajout de l'ordre de 3,7 % de matières grasses dans la ration permettrait de réduire de 13 % les émissions de CH₄ causées par la fermentation entérique^[9]. Afin d'éviter une trop grande diminution de la prise alimentaire et de maximiser la réduction de CH₄, il est suggéré de ne pas excéder 6 à 7 % de matières grasses dans la ration et d'utiliser des graines extrudées au lieu de l'huile brute ou des grains entiers^{[10][11]}.

L'ajout de graines de lin à la ration des ruminants a non seulement un effet sur la réduction des émissions de CH₄, mais offre aussi des bienfaits pour la santé humaine. Les graines de lin comptent parmi les graines oléagineuses les plus riches en acide gras oméga-3. L'inclusion d'huile de graines de lin dans l'alimentation des bovins permet d'améliorer la valeur nutritive du lait en modifiant le profil en acides gras^{[43][66]}.

AJOUTER DES CONCENTRÉS

Les aliments concentrés et les grains riches en amidon, comme le maïs ou l'orge, ont fait l'objet de plusieurs études et sont reconnus pour diminuer les émissions de CH₄ chez les animaux. Ces aliments riches en hydrates de carbone et pauvres en fibres sont facilement digérés et assimilés, réduisant la production de CH₄ dans le rumen^[23]. Une proportion de concentrés dépassant 50 % de la ration peut toutefois affecter négativement la production de matières grasses dans le lait, en plus de présenter des risques pour la santé de l'animal (acidose)^[11]. De plus, la production de ces concentrés peut engendrer l'émission de GES par l'augmentation de l'utilisation de combustibles fossiles, de pesticides et d'engrais^{[11][13]}. Il est essentiel d'adopter une approche globale de la régie de cultures et de production lors du choix de cette pratique afin de réduire le bilan global d'émissions de GES.



MIEUX GÉRER LES FUMIERS



Au Québec, la gestion des fumiers est la cause de l'émission de GES de plus de 1 Mt CO₂e par année^[59]. Sur les fermes bovines, près de 25 % de la quantité totale de fumier est géré de façon liquide^[60]. Au Canada, entre 20 et 30 % du CH₄ et du N₂O émis par le secteur agricole proviennent des bâtiments d'élevage et des structures d'entreposage, toutes productions confondues^[73]. Sur une ferme laitière de 55 vaches, le producteur doit gérer en moyenne 2 tonnes de fumier par jour, sans compter la présence d'eau ou de litière dans les déjections^[34]. Avoir à gérer près de 1000 tonnes de fumier par année rend évidente

l'importance d'une gestion bien planifiée, permettant de valoriser les déjections au champ et de diminuer les émissions de GES qui y sont associées.

Sur une ferme laitière de 70 vaches, le producteur devra gérer en moyenne 2,6 t de fumier par jour, sans compter la présence d'eau ou de litière dans les déjections.

Le CH₄ est le principal gaz émis par les fumiers gérés de façon liquide. Il est produit lors de la décomposition du fumier par des micro-organismes, dans un milieu sans oxygène. La fosse à lisier est donc un milieu idéal pour la production de ce gaz. La quantité de CH₄ émise dépendra toutefois de plusieurs facteurs : le volume de lisier entreposé, le type d'animal qui le produit, son alimentation, le type de litière utilisée, la température et la durée de l'entreposage^[42]. Au Québec, la fosse à lisier d'une ferme laitière de 55 vaches en lactation peut émettre près de 7 tonnes de CH₄ par année, équivalant à 141 t CO₂e^[42].

Pour sa part, le N₂O est produit lorsque l'azote minéral contenu dans les déjections animales est transformé biologiquement par les processus de nitrification et de dénitrification. Il est produit surtout lorsque le fumier est entreposé de façon solide ou lors du compostage^[73]. La façon de gérer le fumier aura donc un grand impact sur les quantités de N₂O produites.

Pour plus de détails, consultez l'outil **4, Les grandes cultures**, section **Réduire les doses d'engrais minéraux**, sous-sections Optimiser les engrais de ferme (**page 5**), Exploiter les matières résiduelles fertilisantes : Les composts (**page 6**) et Adopter de bonnes pratiques (**page 7**), de même que l'outil **5, L'agriculture biologique**, section **Gérer les sols, les cultures et les élevages**, sous-section Valoriser les pâturages (**page 3**).



© CCDMD, Le Québec en images, Denis Chabot



AMÉLIORER L'ENTREPOSAGE ET LA VIDANGE

INSTALLER UNE COUVERTURE DE FOSSE

Les couvertures de fosses à lisier, qu'elles soient étanches à l'air ou non, offrent plusieurs avantages. Elles permettent de réduire les odeurs, l'infiltration d'eau de pluie et la volatilisation de l'azote sous forme de NH_3 .

Quoique le NH_3 ne soit pas considéré comme un GES, la volatilisation de l'azote engendre l'émission indirecte de N_2O , comptabilisée dans le bilan de GES à la ferme. Les toitures permettent de réduire ces pertes d'azote de 10 à 20 %, et jusqu'à 90 % en été^{[69][70]}. Pour une ferme de 55 vaches en lactation, l'ajout d'une couverture permet de réduire les émissions totales de GES provenant de la fosse d'environ 33 t CO_2e par année, ce qui constitue une réduction d'environ 23 %^[42].

En diminuant l'accumulation d'eau de pluie, les toitures permettent de réduire le volume des lisiers, augmentant ainsi la capacité d'entreposage et la concentration des éléments fertilisants de 15 à 30 %^[69]. La réduction du volume de lisier permet aussi d'économiser des coûts d'épandage et de transport, tout en diminuant l'utilisation de combustibles fossiles. Par exemple, pour un épandage de lisier provenant d'une fosse de 30 m de diamètre située à 10 km de la ferme, dans une région qui reçoit annuellement 900 mm de précipitations, l'économie pourrait être de 3 480 \$ par année^[71]. La couverture de cette fosse permettrait de réduire le volume du lisier de plus de 600 m³, réduisant les besoins en carburant diesel d'environ 1000 litres, ce qui correspond à une réduction de 2,6 t CO_2e par année^[4]. Évidemment, les conditions climatiques de la région influenceront les volumes de réduction. De plus, cette réduction dépendra du type de toiture, de son étanchéité et de son niveau d'efficacité.

La réduction des odeurs permet de réduire les distances séparatrices nécessaires entre la fosse à lisier et les activités non agricoles, tout en améliorant la cohabitation en milieu rural. Avec une fosse étanche (jusqu'à 100 % de réduction), les odeurs sont mieux contrôlées qu'avec une fosse non étanche (50 % de réduction)^[70].

L'installation d'une toiture requiert toutefois une réflexion judicieuse, étant donné les coûts considérables associés à leur construction. Il est important de choisir un type de toiture qui convienne aux installations déjà en place et aux buts recherchés (diminution des odeurs, brûlage du gaz, empêcher l'infiltration d'eau de pluie, etc.). Le **tableau 1.2** résume les caractéristiques de certaines toitures utilisées au Québec.

BRÛLER LE MÉTHANE À LA TORCHÈRE

L'installation d'une torchère sur une fosse à lisier pourvue d'une toiture étanche permet de transformer le CH_4 en CO_2 , réduisant les émissions de GES jusqu'à 90 %^[42]. Au Québec, des travaux sont en cours afin d'améliorer l'étanchéité des fosses et de capter le CH_4 en plus grande quantité, et ainsi de justifier les coûts reliés à l'installation d'une torchère (environ 25 000 \$)^[40]. Il faut aussi s'assurer que la quantité de GES émise lors de la combustion de la flamme pilote soit moins élevée que la quantité de CH_4 brûlée^[21].

VIDANGER COMPLÈTEMENT LA FOSSE

En vidant complètement la fosse, la prolifération des micro-organismes méthanogènes restants est limitée, rendant la production de CH_4 nulle lorsque la fosse est vide et ralentissant sa production lorsqu'elle commence à se remplir. Réduire la hauteur de lisier résiduel de 120 cm à 30 cm peut diminuer les émissions de 40 % en moyenne^[57]. Selon Massé et collaborateurs^[57], pour une ferme de 40 vaches laitières qui gère son fumier de manière liquide, les émissions se verraient réduites de 22 t CO_2e si la hauteur du lisier était maintenue à 30 cm.

Tableau 1.2
Caractéristiques de différents types de toitures^{[8][68][69][70]}

Types de toiture	Coûts (\$/m ³)	Durée	Avantages	Inconvénients
Demi-fermes, bois et bardeaux	70	Long terme	■ Facile à construire ■ Peu d'entretien	■ Ventilation essentielle pour éviter la corrosion
Fermes triangulaires et tôles	70	Long terme	■ Peu d'entretien	■ Utilisation restreinte à de petites fosses (20 à 25 m de diamètre) ■ Tôle sujette à la corrosion
Dalle de béton	105	50 ans	■ Aucun entretien	■ Coût très élevé ■ Installation par une compagnie spécialisée
Toitures gonflables (étanches)	50-55	—	■ Peu d'entretien ■ Installation simple (par le détaillant)	■ Sensible aux intempéries
Bâches flottantes (étanches)	110	15 ans	■ Installation simple (par le détaillant) ■ Résistante aux intempéries	■ Plus dispendieuse que la bâche gonflable



ÉPANDRE PLUS EFFICACEMENT

Pour les agriculteurs, conserver les nutriments contenus dans les fumiers pour les cultures est une priorité. Lors de l'épandage, l'azote contenu dans les fumiers est partiellement volatilisé et engendre l'émission de GES. Généralement, toute perte d'azote est compensée par l'apport d'engrais chimique, ce qui peut être évité à l'aide de bonnes pratiques permettant de réduire ces pertes. L'azote est volatilisé principalement sous forme de NH_3 , un des gaz responsables des odeurs du fumier à l'épandage. En se déposant sur les terres avoisinantes, ce NH_3 se transforme en N_2O , causant des émissions indirectes de GES par les fumiers. Le NH_3 , quoiqu'il ne soit pas un GES, a des impacts environnementaux importants, tels que l'acidification des écosystèmes aquatiques, la formation de smog et le déséquilibre des milieux naturels. *L'application des différentes pratiques décrites ci-dessous permet aux producteurs de faire des économies, de réduire considérablement les odeurs associées à l'épandage, tout en réduisant leurs émissions de GES.*

DÉPOSER LE LISIER PRÈS DU SOL

Afin de réduire la volatilisation de l'azote, la surface de contact entre le fumier et l'atmosphère doit être minimisée. L'idéal est d'utiliser un équipement qui ne pulvérise pas le lisier en fines gouttelettes, mais qui permet de le déposer près du sol. Les rampes basses d'épandage permettent de réduire de 25 % la dérive des lisiers, en comparaison avec l'aéroaspiration basse^[26]. Selon le *Règlement des exploitations agricoles*, une rampe basse est un équipement d'épandage des fumiers liquides dont le point de sortie du fumier est situé à un maximum de 1 m du sol et qui projette le fumier à moins de 2 m de distance avant d'atteindre le sol^[44]. La rampe basse permet donc de réduire les émissions indirectes de N_2O de près de 8 %^[42] et d'obtenir un épandage plus égal pour de meilleurs rendements. Pour une ferme de 55 vaches en lactation, cela représente une réduction de 1,7 t CO_2e par année par rapport à l'aéroaspiration basse^[41].

INCORPORER LES LISIERS RAPIDEMENT

Une autre méthode pour minimiser la volatilisation de l'azote consiste à réduire le temps d'exposition du fumier à l'air. Un lisier laissé à la surface du sol perdra en moyenne 50 % de son azote ammoniacal (NH_4^+) dans les quatre premières heures suivant son application^[64]. Si le lisier est incorporé dans les 24 premières heures suivant l'épandage, les émissions indirectes de N_2O sont réduites d'environ 10 %, comparativement à un épandage sans incorporation. Encore mieux, lors de l'épandage, l'incorporation simultanée du lisier réduit les émissions indirectes de N_2O de 20 %, ce qui représente une réduction des émissions de GES deux fois plus importantes en l'espace de quelques heures^[42]. Il est donc important de procéder à l'incorporation immédiatement après l'épandage, l'idéal étant d'effectuer l'épandage et l'incorporation au même moment. Ceci peut être effectué à l'aide de dispositifs installés sur l'épandeur, tels que les pendillards. Cette pratique permet de limiter les pertes d'azotes à moins de 5 %^[80]. De plus, une incorporation dans les dix premiers centimètres du sol permet d'éviter les pertes par ruissellement et lessivage des nutriments, et ainsi d'optimiser la croissance des plantes.

APPLIQUER DE BONNES PRATIQUES

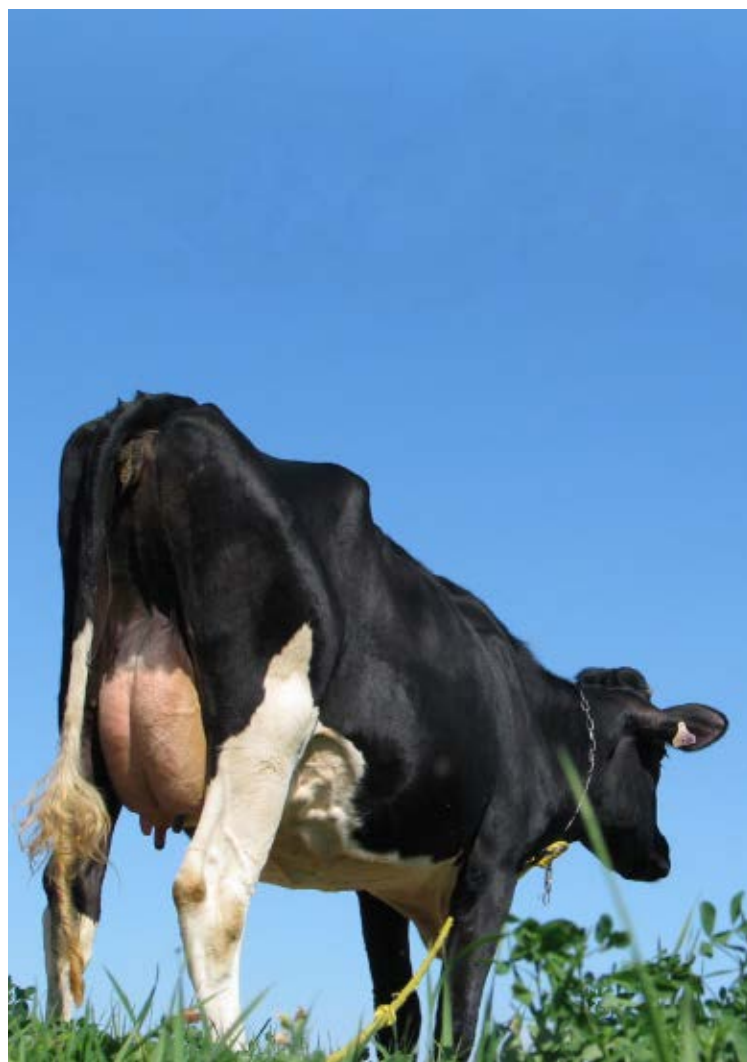
La volatilisation de l'azote et les émissions de N_2O peuvent aussi être diminuées par d'autres méthodes de gestion, simples à appliquer et économiques pour le producteur^{[26][43][57][71][72]}.

Pour un épandage optimal :

- Calibrer l'épandeur.
- Brasser le lisier et le faire analyser avant d'épandre.
- Ajuster les doses de fumier en fonction des besoins des plantes. Les excès d'azote dans le sol sont ainsi évités, diminuant le risque de dénitrification (émissions de N_2O).
- Épandre fréquemment afin de fractionner les apports d'azote. Cela permet de réduire la quantité de lisier dans la fosse, diminuant ainsi les émissions de méthane.

Épandre au bon moment :

- Épandre par temps frais, le soir ou le matin. Évitez les températures élevées, lesquelles favorisent la volatilisation du NH_3 .
- Épandre lorsque le sol est sec, dans la mesure du possible. Un sol compacté ayant une teneur saturée en eau favorise la volatilisation de l'azote, la dénitrification de l'azote et le ruissellement.



© CCDMD, Le Québec en images, Geneviève Witty-Deschamps

TRAITER LES DÉJECTIONS ANIMALES

COMPOSTER ET ENTREPOSER SOUS FORME SOLIDE

Au Canada, si la totalité du fumier entreposé sous forme liquide et solide était compostée, il serait possible d'enregistrer une réduction des émissions de GES de 700 000 t CO₂e par année^[64]. La figure 1.2 présente les émissions respectives en CH₄ et en N₂O des différents modes de gestion du fumier et du lisier. La gestion solide et le compostage sont les deux modes d'entreposage qui émettent le moins de GES. Indirectement, le compostage permet de réduire les émissions de N₂O en réduisant les besoins en intrants chimiques, comme les fertilisants. Le transport lié à l'épandage est aussi réduit, puisque le compostage permet de réduire la masse et le volume du fumier de 40 à 60 %^{[19][55]}. De plus, le compost permet d'accumuler des quantités considérables de carbone dans le sol. Pour chaque tonne de compost humide appliquée au sol, 50 kg de carbone sont accumulés^[78]. L'application de compost stimule la croissance des plantes et de la biomasse, favorisant en retour l'accumulation de carbone dans le sol et diminuant la concentration de CO₂ atmosphérique^[52].

Il est toutefois important de bien choisir son système de compostage afin d'éviter les pertes d'azote par volatilisation. En effet, plus le fumier est brassé durant le compostage, plus les émissions de N₂O seront accrues, jusqu'à 10 fois plus que sans brassage^[42]. Le compost permet de réduire les émissions totales de GES à condition de limiter le brassage de l'andain. En limitant le brassage du fumier, la qualité du compost risque de diminuer. Pour éviter cette diminution de qualité, il est important de mélanger la matière organique de façon uniforme avant le compostage et de s'assurer de maintenir une teneur en eau optimale. De même, afin d'éviter les conditions anaérobiques dans l'andain, il est possible de le recouvrir pour empêcher l'infiltration d'eau. À cet égard, consultez les différentes méthodes de gestion du compostage présentées dans un document en ligne préparé par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario^[55].

Il est important de ne pas confondre le compostage et l'entreposage du fumier solide en tas. Laisser le fumier en tas et le laisser simplement se décomposer ne permet pas d'obtenir un compost de valeur et risque d'augmenter les émissions de GES. Une bonne compréhension du procédé biologique de la décomposition de la matière organique permet de bien gérer le compost et de se donner ainsi toutes les chances d'obtenir une matière fertilisante intéressante, en plus de réduire les émissions de GES à la ferme.

TIRER PROFIT DE LA MÉTHANISATION

La méthanisation consiste en la dégradation de la matière organique par des micro-organismes vivants, en absence d'oxygène. Ce procédé de fermentation de la matière organique se fait dans un biodigérateur (ou bioréacteur) étanche à l'air et l'eau, et sans oxygène. En plus du lisier, il est possible de mélanger plusieurs produits pour les valoriser : fumiers, rejets de balle ronde, lactosérum et huiles recyclées^[31]. De la méthanisation découlent deux produits : le biogaz et le digestat, un effluent qui ressemble au lisier et qui peut être valorisé au champ. Ce sous-produit réduit les odeurs de plus de 90 % et contient entre 75 et 95 % moins d'agents pathogènes que le fumier ou le lisier^[20]. Autre avantage du processus de digestion anaérobie : tout l'azote du lisier demeure dans le digestat, où il est transformé en une forme minérale

plus facilement utilisable par les plantes^[31]. La matière organique plus stable (moins biodégradable) est conservée lors de la fermentation et peut contribuer à augmenter l'humus du sol^[27]. Le biogaz peut être valorisé pour la production d'énergie électrique et de chaleur^[31]. Pour produire de l'énergie, il doit être brûlé ; il sert alors de combustible pour alimenter un cogénérateur. L'électricité produite alimente la ferme et la chaleur peut chauffer les bâtiments. Selon Camirand^[17], pour une ferme de 100 vaches en lactation, incluant la relève, le potentiel énergétique par jour est de 450 kWh pour la production d'électricité et de 560 kWh pour la production de chaleur, soit assez d'énergie pour fournir 5 maisons en électricité, ou l'équivalent de 100 litres de propane pour le chauffage. En matière de réduction de GES, des études dans le secteur porcin ont démontré que ce procédé permettait de réduire de 20 à 30 % les émissions de méthane de la fosse. Puisqu'une part importante du volume des déjections du secteur laitier est gérée sous forme liquide, ce procédé pourrait potentiellement améliorer de façon significative le bilan des émissions de GES des fermes.

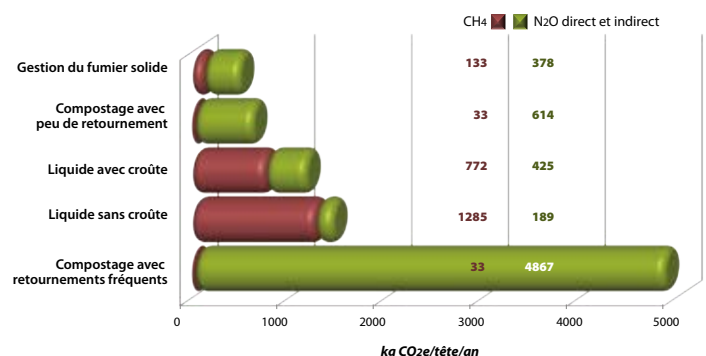
UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE À SURVEILLER : LA BIOFILTRATION

La biofiltration est une pratique permettant de réduire les émissions de méthane (et autres gaz) associées à l'entreposage des lisiers, par filtration de l'air ou des effluents liquides. Son principe repose sur l'utilisation d'un matériel filtrant (compost, tourbe, copeaux de bois, etc.) à travers duquel passe l'air contaminé, ou la fraction liquide des lisiers. Les micro-organismes présents dans le matériel filtrant vont dégrader les contaminants qui y circulent en les oxydant. Le CH₄ sera dégradé en eau et en CO₂, un gaz 21 fois moins réchauffant pour la planète que le CH₄ lui-même.

Une unité de biofiltration a été développée par Agriculture et Agroalimentaire Canada, permettant de traiter les émanations provenant de la fosse à lisier. En filtrant l'air du milieu, ce système permet de dégrader entre 83 et 92 % du méthane utilisé et de diminuer les odeurs de plus de 90 %^[75]. Des travaux de recherche, visant l'optimisation de ce système, sont en cours^[56]. D'autres systèmes, toutefois plus dispendieux, permettent aussi de traiter de façon simultanée l'air et les effluents liquides. Le procédé BIOSOR, développé par le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) en est un exemple.

Figure 1.2

Émissions de CO₂e en fonction du système de gestion du fumier^{[2][42]}



Améliorer la productivité permet de réduire le nombre de têtes par entreprise, réduisant les émissions de CH₄ de 5 à 20 %^[11]. En 1998, l'industrie laitière du Canada a produit environ 74 millions d'hectolitres de lait, alors que 10 ans plus tard, en 2008, elle en a produit presque 76 millions avec 17 % d'animaux en moins^[25]. En améliorant la productivité, les émissions (en kilogramme) de CO₂e par kilogramme de produit seront donc réduites. Cet objectif peut être atteint en améliorant la régie alimentaire, en sélectionnant des animaux ayant une meilleure génétique, en maximisant la vie productive et en réduisant le nombre d'animaux de remplacement. Améliorer la productivité des animaux assure des gains économiques substantiels au producteur.

CONTRÔLER L'ÂGE AU PREMIER VÊLAGE

Afin de minimiser les coûts d'élevage, de réduire le besoin en génisses et de maximiser le profit à vie d'un animal, il est préférable que l'âge au premier vêlage (APV) soit de 24 mois ou moins^[49].

Les coûts d'élevage d'une génisse jusqu'à ses 24 mois s'élèvent à 2 500 \$^[16]. Pour chaque mois supplémentaire sans production, il en coûte 75 \$ par vache^[49]. Pour un troupeau de 55 vaches, avec un taux de remplacement de 30 %, abaisser l'APV de 30 à 24 mois réduit le cheptel de 8 animaux et permet l'économie d'environ 10 000 \$ par année^[16]. Lors du premier vêlage, il est toutefois primordial que l'animal ait atteint un poids optimal. Ce poids varie selon la race des vaches : il est de 640 kg pour la vache Holstein et de 550 kg pour la Ayrshire^[49].

En matière d'émissions de GES, la diminution de l'âge au premier vêlage permettra de diminuer le nombre d'animaux de remplacement et, par conséquent, de diminuer les émissions de GES pour la même quantité de lait produit. L'exemple précédent démontrait qu'une ferme de 55 vaches en lactation avec un taux de remplacement de 30 % réduisant son APV de 30 à 24 mois aurait besoin de 8 génisses en moins^{[16][41]}. Ceci correspond à une réduction en CO₂e de 34 tonnes par année^[2]

Tableau 1.3
Causes de réforme involontaire et pistes de solutions^{[47][79]}

Causes de réforme involontaire	Pistes de solution
Problèmes de pieds et de membres	Revoir le confort à l'étable
Mammites	Revoir le système et la méthode de traite
Haut comptage cellulaire	Revoir les conditions d'hygiène
Problèmes de reproduction	Identifier les causes sous-jacentes Garder les vaches encore productives avant la réforme
Problèmes métaboliques	Revoir le programme d'alimentation durant la période entourant le vêlage

OPTIMISER LA DURÉE DE VIE PRODUCTIVE ET LE TAUX DE REMPLACEMENT

Les vaches canadiennes sont reconnues mondialement pour la qualité de leur génétique, particulièrement pour les attributs favorisant la longévité et la rentabilité. Pourtant, l'âge moyen au dernier vêlage a diminué d'une année complète depuis le milieu des années 1970^[47]. Une vache devient rentable à partir de sa troisième lactation. En effet, les vaches primipares ne produisent que 70 % du lait d'une vache mature de 6 ans d'âge^[15]. Au Québec, ce sont tout de même plus de 45 % des vaches qui sont réformées avant d'avoir atteint la troisième lactation^[47]. Dans les faits, un taux de remplacement trop élevé et différentes raisons de santé (problèmes de reproduction, mammites, problèmes locomoteurs, etc.) obligent le producteur à se débarrasser de vaches qui autrement seraient encore très productives^[16]. Identifier les causes principales de réforme involontaire permet au producteur d'améliorer sa régie en fonction de ces problèmes (voir le [tableau 1.3](#)). En visant un taux de remplacement de 25 %, le producteur peut d'ailleurs porter plus d'attention à ses vaches, lesquelles sont un gage de productivité, et diminuer les coûts associés à la maintenance du troupeau^[79].

Comme pour l'âge au premier vêlage, la réduction du taux de remplacement permet de diminuer les émissions de GES par quantité de lait produit. Dans l'exemple précédent, le producteur diminuait l'APV à 24 mois, ce qui réduisait ses émissions de 34 t CO₂e par année. En abaissant son taux de remplacement à 25 %, il aurait besoin de 5 génisses en moins, ce qui réduirait encore ses émissions annuelles de GES de 22 t CO₂e^[2]. En tout, réduire l'APV à 24 mois et viser un taux de remplacement de 25 % lui permettrait donc de réduire les émissions de GES de sa ferme de 56 tonnes par année. La production laitière et les revenus seraient maintenus, avec 13 génisses en moins à nourrir.

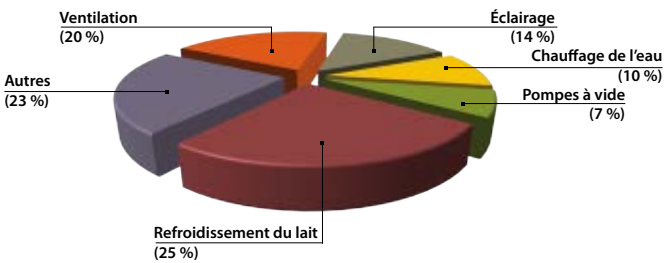


AMÉLIORER L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Sur les fermes laitières québécoises, l'électricité est la source la plus importante de consommation d'énergie, suivie par le diesel et l'essence. Comme le démontre la **figure 1.3**, quatre postes de consommation sont responsables de près de 90 % de cette consommation d'énergie électrique : le système de lactation, le chauffage, la ventilation et l'éclairage. En améliorant l'efficacité énergétique de ces différents postes, le producteur réduit sa facture d'électricité et ses émissions de GES. Pour chaque kilowattheure non consommé, les émissions de CO₂e sont réduites de 50 g. Par exemple, seulement en nettoyant les ventilateurs de l'étable, le producteur peut économiser 2542 kWh par année, ce qui correspond à 127 kg de CO₂e^[6]. Le **tableau 1.4** présente les meilleurs équipements et pratiques en efficacité énergétique pour les producteurs laitiers.

Tableau 1.4
*Équipements et pratiques en efficacité énergétique
(potentiel de réduction des GES par ferme et par an évalué pour une ferme de 55 vaches en lactation)*

Figure 1.3
Postes de consommation d'énergie sur les fermes laitières du Québec^[6]



Le facteur de conversion en CO₂e préconisé pour l'électricité est de 50 g CO₂e/kWh, une valeur suggérée par l'UQAM qui inclut le cycle de vie d'un kilowattheure en tenant compte des émissions générées par la construction des barrages hydroélectriques et des inondations, et les émissions liées aux réservoirs hydroélectriques, qui sont de plus de 10 Mt CO₂e par année^[62].

Système énergétique	Équipement	Potentiel	Coûts	Retour sur investissement	Autres avantages
Lactation	Prérefroidisseur (échangeur à plaques). Permet de prérefroidir le lait avant son entrée dans le réservoir à lait, afin de diminuer la charge de refroidissement du réservoir ^[6]	↓ 0,14 t CO ₂ e	Entre 2000 et 8000 \$ + 1000 \$ (installation)	11 ans	■ Réduit la charge microbienne du lait ■ Moins d'agitation : effet positif sur les molécules de gras ■ Admissible au programme <i>Produits efficaces</i> d'Hydro-Québec
	Pompe à vitesse variable. Un régulateur de vitesse permet au moteur du système de lactation de fonctionner à un régime adapté, particulièrement durant la lactation où les besoins en vacuum sont variables ^[5]	↓ 0,28 t CO ₂ e	4000 à 5000 \$	10 ans	■ Allonge la durée de vie du moteur
Chauffage	Récupérateur de chaleur. Permet de récupérer la chaleur produite par le lait sortant du pis ou par le refroidisseur à lait pour refroidir l'eau qui servira notamment au nettoyage ^[32]	↓ 0,56 t CO ₂ e	Entre 2500 et 4000 \$	En fonction de la production de lait	■ —
Ventilation	Ventilateur à haut rendement énergétique. Le ventilateur doit être bien adapté au débit d'air (pi ³ /minute) requis ^{[6][46]}	↓ 0,12 t CO ₂ e	Variable selon l'entreprise	2 ans après remise	■ Admissible au programme <i>Produits efficaces</i> d'Hydro-Québec
	Nettoyage des ventilateurs. Le nettoyage régulier est une méthode simple et peu coûteuse pour éviter les pertes d'énergie à la ferme ^{[5][6]}	↓ 0,13 t CO ₂ e	0 \$	—	■ Réalisable immédiatement
Éclairage	Fluorescents. Ces appareils sont 4 fois plus efficaces que les ampoules incandescentes et jusqu'à 30 % plus efficaces que les tubes fluorescents T12 ^{[6][24]}	↓ 0,15 t CO ₂ e	46 \$/l'unité	2,5 ans	■ Meilleure longévité que les ampoules incandescentes ■ Admissible au programme <i>Produits efficaces</i> d'Hydro-Québec



COMMENT RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE GES SUR UNE FERME LAITIÈRE OU BOVINE ?

POTENTIEL DE RÉDUCTION ÉVALUÉ POUR UNE FERME DE 55 VACHES EN LACTATION

Stratégie	Pratique suggérée	Potentiel de réduction des GES	Exemple de réduction
Améliorer l'alimentation des ruminants	Réduire du taux de protéines brutes à 16,5 % dans l'alimentation ^[63]	↓ 26 kg CO ₂ e par vache et par an	↓ 1,4 t CO ₂ e
	Ajouter 3,7 % de matières grasses à la ration, sous forme d'huile de lin, de canola ou de tournesol ^{[9][11]}	↓ 13 % du méthane de la fermentation entérique	↓ 21,45 t CO ₂ e
	Augmenter la qualité des fourrages par l'ajout de légumineuses ^[12]	↓ Jusqu'à 20 % du méthane de la fermentation entérique	↓ 33 t CO ₂ e
	Augmenter la qualité des fourrages par une récolte au bon stade ^[12]	↓ 15 % du méthane de la fermentation entérique	↓ 24,75 t CO ₂ e
	Mettre les animaux au pâturage durant l'été ^{[42][74]}	↓ 14 % des GES totaux de la ferme	↓ 77 t CO ₂ e
Mieux gérer les fumiers	Installer une couverture sur la fosse à lisier ^{[4][42]}	↓ 0,6 t CO ₂ e par vache et par an ↓ diesel : environ 2,6 t CO ₂ e par ferme et par an	↓ 35,6 t CO ₂ e
	Vidanger complètement la fosse, le plus souvent possible ^[57]	↓ 43 % du méthane de la fosse	↓ 30,25 t CO ₂ e
	Utiliser des rampes d'épandage ^[41]	↓ 8 % des émissions indirectes de N ₂ O	↓ 2 t CO ₂ e
	Incorporer des fumiers au sol simultanément à l'épandage ^[41]	↓ 20 % des émissions indirectes de N ₂ O	↓ 6 t CO ₂ e
	Entreposer les fumiers sous forme solide plutôt que liquide ^[42]	↓ 53 % des émissions de CO ₂ e provenant du fumier	↓ 32 t CO ₂ e
	Composter les fumiers plutôt que les gérer sous forme liquide ^[42]	↓ 92 % des émissions de CO ₂ e provenant du fumier	↓ 55 t CO ₂ e
	Soumettre les lisiers au procédé de méthanisation ^{[17][42][65]}	↓ Besoins en source d'énergie extérieure grâce à la production d'énergie (kWh) ↓ Méthane et protoxyde d'azote (non chiffrée)	↓ 10 t CO ₂ e
Améliorer la gestion du troupeau	Ramener l'âge au premier vêlage à 24 mois ^{[2][16][41]}	↓ Émissions de CO ₂ e par kilogramme de lait produit	↓ 34 t CO ₂ e
	Viser un taux de remplacement de 25 % ^{[2][16][41]}	↓ Émissions de CO ₂ e par kilogramme de lait produit	↓ 22 t CO ₂ e
Améliorer l'efficacité énergétique	(Se référer au tableau 4)		

Cet outil fait partie d'une série de 5 outils publiés dans le cadre du projet *Favoriser l'adoption de pratiques de gestion bénéfiques pouvant réduire le bilan de GES de cinq secteurs agricoles au Québec*
<http://www.naturequebec.org/agriculture-et-climat>

© Nature Québec, novembre 2012



Agriculture et Agroalimentaire Canada

Agriculture and Agri-Food Canada

Programme de lutte contre les gaz à effet de serre en agriculture (PLEGSA)



Nature Québec
sensible à tous les milieux



© Guillaume Guitard

Rédaction : Jérémie Vallée, Jeanne Camirand, Geneviève Arsenault-Labrecque
Édition, graphisme et illustrations : Marie-Claude Chagnon
ISBN 978-2-923731-88-9 (imprimé) et 978-2-923731-89-6 (PDF)

LES RUMINANTS

RÉFÉRENCES

DES PRATIQUES AGRICOLES EFFICACES, UN IMPACT BÉNÉFIQUE SUR LE CLIMAT

- [1] AAC (Agriculture et Agroalimentaire Canada), 2011. « Réduire les émissions de méthane produites par le bétail ». [En ligne, dernière modification le 3 mai 2011, consulté le 4 juin 2012].
<http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1305058576718&lang=fra>
- [2] AAC (Agriculture et Agroalimentaire Canada), 2008. « HOLOS, un outil pour estimer et réduire les GES émis par les fermes, méthodologie et algorithmes pour la version 1.1.x ». 187 p.
<http://publications.gc.ca/site/eng/342705/publication.html>
- [3] AAC (Agriculture et Agroalimentaire Canada), 2004. « Gestion de l'azote des fumiers : comment réduire les pertes ? ». 6 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
http://www.soilcc.ca/ggmp_fact_sheets/pdf/QU_Vol-N-Rochette.pdf
- [4] AAE (Agence de l'efficacité énergétique), 2009. « Facteurs d'émission et de conversion : calcul des émissions de GES ». 1 p. [En ligne, consulté le 8 mars 2012].
www.aee.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/facteurs_emission.pdf
- [5] AGECO, 2006. *Documentation des innovations technologiques visant l'efficacité énergétique et l'utilisation de sources d'énergies alternatives*. Rapport n° 2 réalisé pour l'Union des producteurs agricoles du Québec (UPA). 100 p. [En ligne, consulté le 20 février 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Documentation%20Innovation%20technologique_%20Efficaciteenergetique_%20Rapport%20Final%20VoletII_%20FINAL_%202011%202007.pdf
- [6] AGRINOVA et AGECO, 2010. *Analyse de rentabilité de la réalisation d'audits énergétiques dans le secteur agricole*. Rapport présenté à l'Union des producteurs agricoles du Québec (UPA). 91 p. [En ligne, consulté le 22 février 2012].
http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/agroalimentaire_agricole/EtudeFaisabiliteAuditsEnergAlaFerme_RapportFinal.pdf
- [7] ARROUAYS, D., J. BASLESIDENT, J.C. GERMON et coll., 2002. *Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?* Expertise scientifique collective. Rapport de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA). 332 p. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/dossiers_scientifiques/changement_climatique/en_savoir_plus/ouvrages/stockage_carbone_sols_agricoles_france
- [8] BARRINGTON, S., 1997. « Les fumiers de bovins laitiers : une ressource qui se gère ». *Symposium sur les bovins laitiers*, organisé par le Conseil des productions animales (CPAQ), p. 193-128. [En ligne, consulté le 5 juin 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/Documents/bov49.pdf>
- [9] BEAUCHEMIN, K. A., S.M. MCGINN, C. BENCHAAR and L. HOLTSHAUSEN, 2009a. "Crushed Sunflower, Flax, or Canola Seeds in Lactating Dairy Cow Diets: Effects on Methane Production, Rumen Fermentation, and Milk Production". *Journal of Dairy Science*, vol. 92 (5), p. 2118-2127. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(09\)70526-0/fulltext](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(09)70526-0/fulltext)

- [10] BEAUCHEMIN, K.A., T.A. MCCALLISTER et S.M. MCGINN, 2009b. "Dietary Mitigation of Enteric Methane from Cattle. Perspectives in Agriculture". *Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, vol. 4 (35), p. 1-18.
- [11] BEAUCHEMIN, K.A., M. KREUZER, F. O'MARA and T.A. MCCALLISTER, 2008. "Nutritional Management for Enteric Methane Abatement: a Review". *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 48 (1-2), p. 21-27.
- [12] BENCHAAR, C., C. POMAR and J. CHIQUETTE, 2001. "Evaluation of Dietary Strategies to Reduce Methane Production in Ruminants: a Modeling Approach". *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 81 (4), p. 563-574. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://pubs.aic.ca/doi/pdf/10.4141/A00-119>
- [13] BOADI, D.A., C. BENCHAAR, J. CHIQUETTE and D. MASSÉ, 2004. "Mitigation Strategies to Reduce Enteric Methane Emissions from Dairy Cows: Update Review". *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 84, p. 319-335. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://classes.uleth.ca/200901/biol4500a/Readings/Beauchemin1.pdf>
- [14] BOADI, D.A. and K.M. WITTENBERG, 2002. "Methane Production from Dairy and Beef Heifers Fed Forages Differing in Nutrient Density Using the Sulfur Hexafluoride (SF₆) Tracer Gas Technique". *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 82, p. 201-206. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
[http://www1.foragebeef.ca/\\$foragebeef/frgebeef.nsf/all/ccf758/\\$FILE/GHGmethaneproduction.pdf](http://www1.foragebeef.ca/$foragebeef/frgebeef.nsf/all/ccf758/$FILE/GHGmethaneproduction.pdf)
- [15] BRISSON, J., 2006a. « Bien gérer le remplacement des vaches dans l'étable : nés pour faire de l'argent ». Fiche technique du programme d'analyse des troupeaux laitiers du Québec (PATLQ). *Le producteur de lait québécois*, p. 15-16. [En ligne, consulté le 31 mai 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/PATLQ_2006-02_nees%20pour%20faire%20argent.pdf
- [16] BRISSON, J., 2006b. « Le remplacement stratégique des vaches dans le troupeau ». 30^e symposium sur les bovins laitiers du CRAAQ. 19 p. [En ligne, consulté le 31 mai 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/Brisson_Jean_collbov06.pdf
- [17] CAMIRAND, E., 2007. « Principes du biogaz ». Présentation dans le cadre de la *Journée sur la méthanisation des engrais de ferme*, Programme d'atténuation des gaz à effet de serre (PAGES). 10 p. [En ligne, consulté le 31 mai 2012].
http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/PAGES_Méthanisation_Camirand_Eric.pdf
- [18] CASTILLO, A.R., E. KEBREAB and D.E. BEEVERFRANCE, 2001. "The Effect of Protein Supplementation on Nitrogen Utilization in Lactating Dairy Cows Fed Grass Silage Diets". *Journal of Animal Science*, vol. 79, p. 247-253. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://jas.fass.org/content/79/1/247.full.pdf>

[19] CCA (Canadian Cattlemen's Association), 2003. "Manure Management and its Impact on Greenhouse Gas Emissions". *Greenhouse Gas Mitigation: A Beef Sector Report*. 2 p. [En ligne, consulté le 15 février 2012]. http://www.cattle.ca/media/file/original/495_manure_management_and_its_impact_on_greenhouse_gas.pdf

[20] CDAQ (Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec), 2007. « Journée sur la méthanisation des engrais à la ferme : compte rendu de la journée ». Organisée dans le cadre du Programme d'atténuation des gaz à effet de serre (PAGES). 10 p. [En ligne, consulté le 23 mars 2012]. http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/PAGES_Rapport%20final-Journ%E9e%20m%E9thanisation.pdf

[21] CHAREST, C., 2008. « Compte rendu FERTIOR : visite de toitures étanches de fosses à lisier ». 3 p. [En ligne, consulté le 5 juin 2012]. http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Compte_rendu_visite_toitures_flottantes.pdf

[22] CHASE, L.E., 2010. "How Much Gas do Cows Produce?" Cornell University, Department of Animal Science. 9 p. [En ligne, consulté le 26 avril 2012]. <http://www.ansci.cornell.edu/cnconf/2010proceedings/CNC2010.20.Chase.pdf>

[23] CHOUINARD, Y., 2002. « Production et émissions du méthane et du gaz carbonique par les ruminants ». 65^e congrès de l'Ordre des agronomes du Québec. 10 p. [En ligne, consulté le 23 mars 2012]. <http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/chouinard.pdf>

[24] CLARK, S. et H. HOUSE, 2010. « Diminuer la consommation d'énergie dans les fermes laitières ». Fiche technique du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. 8 p. [En ligne, consulté le 23 mars 2012]. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/10-068.pdf>

[25] CCL (Commission canadienne du lait), 2009. « La production ». [En ligne, consulté le 15 février 2012]. <http://www.cdc-ccl.gc.ca/CDC/index-fra.php?id=3801>

[26] CLUBS-CONSEILS EN AGROENVIRONNEMENT, 2005. « Équipements d'épandage et gestion des lisiers ». 8 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012]. http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/PAGES_Chantier_epandage.pdf

[27] COGENOR (Coopérative de gestion des effluents organiques de Lanaudière), 2006. *Digestion anaérobie et méthanisation* (Technologies LIPP). Rapport final. 16 p. [En ligne, consulté le 19 juin 2012]. http://www.traitement.qc.ca/Publications/Compte_rendu_LIPP_Allemagne.pdf

[28] COULOMBE, M-C., D. PELLERIN et E. CHARBONNEAU, 2012. « Outil d'évaluation de la valorisation des fourrages ». Département des sciences animales, Université Laval. [En ligne, consulté 23 mars 2012]. <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/navigation.aspx?id=82508>

[29] COUVREUR, S., C. HURTAUD, C. LOPEZ *et al.*, 2006. "The Linear Relationship Between the Proportion of Fresh Grass in the Cow Diet and Milk Fat Characteristics and Butter Properties". *Journal of Dairy Science*, vol. 89 (6), p. 1956-1969.

[30] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2010. *Guide de référence en fertilisation*. 2^e édition. Québec, Commission chimie et fertilité des sols du CRAAQ, 473 p.

[31] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2008a. « La biométhanisation à la ferme ». 14 p. [En ligne, consulté le 15 février 2012]. <http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC033.pdf>

[32] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2008b. *L'efficacité énergétique dans le secteur laitier*. Fiche pratique, 6 p. [En ligne, consulté le 5 juin 2012]. <http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Laitieres-pages.pdf>

[33] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2005. « Les plantes fourragères ». Québec, CRAAQ, 244 p.

[34] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2003. « Charges fertilisantes des effluents d'élevage : valeurs références pour la période transitoire ». 2 p. [En ligne, consulté le 15 février 2012]. <http://pub.craaq.qc.ca/Transit/4-Laitiere.pdf>

[35] ENVIRONNEMENT CANADA, 2011. *National Inventory Report 1990–2009: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada*. 747 p. [En ligne, consulté le 19 juin 2012]. <http://www.ec.gc.ca/Publications/default.asp?lang=En&xml=A07097EF-8EE1-4FF0-9AFB-6C392078D1A9>

[36] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2009. *Review of Evidence on Drylands Pastoral Systems and Climate Change. Implications and Opportunities for Mitigation and Adaptation*. Law and Discussion Paper 8, 50 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012]. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i1135e/i1135e00.pdf>

[37] FPBQ (Fédération des producteurs de bovins du Québec), 2011. « Portrait global ». [En ligne, consulté le 4 juin 2012]. <http://www.bovin.qc.ca/fr/la-production/portrait-global/coup-doeil.php>

[38] FPLQ (Fédération des producteurs de lait du Québec), 2011. « Les faits saillants laitiers québécois 2010 ». Compilation AGECO [En ligne, consulté le 4 juin 2012]. <http://www.groupeageco.ca/fr/statistiques/index.html>

[39] GASSER, M-O., D. NAUD et D. POULIN, 2010. « Guide technique balisant l'épandage des lisiers pailleux par aérosperion basse ». 8 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012]. http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Guide_aerosperion.pdf

[40] GEORGIEFF, E et H. BERNARD, 2009. « Démonstration de torchère : brûlage de biogaz provenant d'une fosse à lisier de porc couverte ». Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 4 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012]. http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Torchere_stockage_etanche.pdf



RÉFÉRENCES (SUITE)

- [41] GES LAITIER, 2011. « Outils de calcul des GES ». Fichier Excel en préparation (forme bêta). [Note : Les calculs du logiciel sont réalisés à partir de la référence GIEC, 2006].
- [42] GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2006. « Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ». *Volume 4 : Agriculture, foresterie et autres affectations des terres*. [En ligne, consulté le 26 mars 2012].
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/vol4.html>
- [43] GLASSER, F., A. FERLAY and Y. CHILLIARD, 2008. "Oilseed Lipid Supplements and Fatty Acid Composition of Cow Milk: a Metaanalysis". *Journal of Dairy Science*, vol. 91 (12), p. 4687-4703.
- [44] GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2012. « Épandage des matières fertilisantes ». Dans Québec, *Règlement sur les exploitations agricoles : c. Q-2, r. 26*, à jour le 1^{er} mai 2012. [Québec], Éditeur officiel du Québec, art. 32.
- [45] GRAIN, 2011. « Alimentation et changement climatique : le lien oublié ». Série *À contre-courant*. Centre d'agriculture biologique du Québec (CABQ). [En ligne, consulté le 23 février 2012].
<http://www.grain.org/fr/article/entries/4363-alimentation-et-changement-climatique-le-lien-oublie>
- [46] HYDRO-QUÉBEC, 2007. « Équipement agricole : ventilateurs. La ventilation : confort et économie ». 6 p. [En ligne, consulté le 26 mars 2012].
<http://www.hydroquebec.com/affaires/efficacite/doc/produits-efficaces/ventilateurs-depliant-technique.pdf>
- [47] LEFEBVRE, D., 2007. « Vos vaches sont-elles le temps d'être payantes ? ». *Valacta, le savoir laitier à votre portée*, p. 2-3. [En ligne, consulté le 6 mars 2012].
http://www.valacta.com/SiteCollectionDocuments/savoir-laitier/valacta_savoir%20laitier_2-1_2007-03_issn_1496-273X.pdf
- [48] LEFEBVRE, D., 2006. « Réduction de la protéine totale des rations laitières en équilibrant pour les acides aminés ». Fiche Trans-Info, Forum technologique Novalait 6, 2 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/P2006-01%20-%20DLefebvre.pdf>
- [49] LEFEBVRE, D., 2004. « Suivi de la croissance : de nouvelles courbes pour les génisses d'aujourd'hui ». *Le producteur de lait québécois*, p. 17-19 [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/PATLQ_2004-04a.pdf
- [50] LEFEBVRE, D., J. BRISSON et B. GOSSELIN, 2002. « Pour une production laitière supérieure : un vêlage à 24 mois au poids optimal ». *Le producteur de lait québécois*, p. 24-27. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/Documents/PATLQ_2002-05a.pdf
- [51] LE GALL, A. et J.M. GUERNION, 2004. *Associations graminées trèfle blanc*. Collection Synthèse. Paris, Institut de l'élevage publications, 64 p.
- [52] LOU, X.F. and J. NAIR, 2009. "The Impact of Landfilling and Composting on Greenhouse Gas Emissions: A Review". *Bioresource technology*, vol. 100 (16), p. 3792-3798.
- [53] LUO, J., C.A.M. DE KLEIN, S.F. LEDGARD and S. SAGGAR, 2010. "Management Options to Reduce Nitrous Oxide Emissions from Intensively Grazed Pastures: A Review". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 136 (3-4), p. 282-291.
- [54] MARTIN, C., D.P. MORGAVI and M. DOREAU, 2010. "Methane Mitigation in Ruminants: from Microbe to the Farm-Scale". *Animal*, vol. 4 (3), p. 351-365. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FANM%2FANM4_03%2F51751731109990620a.pdf&code=59c92b12081f41b7b38b329bcd41b762
- [55] MARTIN, H., 2005. « Introduction au compostage agricole ». Fiche technique du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario (MAAO). 9 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
<http://www.omafr.gov.on.ca/french/engineer/facts/05-024.pdf>
- [56] MASSÉ, D., 2012 (janvier). Communications personnelles, Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- [57] MASSÉ, D.I., L. MASSÉ, S. CLAVEAU et al., 2008. "Methane Emissions from Manure Storages". *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, vol. 51 (5), p. 1775-1781.
- [58] MCCAUGHEY, W.P., K. WITTENBERG and D. CORRIGAN, 1999. "Impact of Pasture Type on Methane Production by Lactating Beef Cows". *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 79, p. 221-226. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
[http://www1.foragebeef.ca/\\$foragebeef/frgebeef.nsf/e5ae854df3230ce787256a3300724e1d/30242e114ec84f8487257162006b48b0/\\$FILE/ccbpasturetype.pdf](http://www1.foragebeef.ca/$foragebeef/frgebeef.nsf/e5ae854df3230ce787256a3300724e1d/30242e114ec84f8487257162006b48b0/$FILE/ccbpasturetype.pdf)
- [59] MDDEP (ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs), 2011. *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2009 et leur évolution depuis 1990*. Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère. 20 p. [En ligne, consulté le 24 janvier 2012].
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2009/inventaire1990-2009.pdf>
- [60] MDDEP (ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs), 2003. « Synthèse des informations environnementales disponibles en matière agricole au Québec ». 143 p. [En ligne, consulté le 24 janvier 2012].
http://www.mddep.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/synthese-info/synthese-info-enviro-agricole.pdf
- [61] MOSS, A.R., J.P. JOUANY and J. NEWBOLD, 2000. "Methane Production by Ruminants: its Contribution to Global Warming". *Annals of Zootechnology*, vol. 49 (2000), p. 231-253. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://www.bashaar.org.il/files/125122005103109.pdf>
- [62] NATURE QUÉBEC, 2010. *Analyse de la contribution du secteur agricole à la réduction des émissions de gaz à effet de serre*. Rapport final présenté au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 142 p.



RÉFÉRENCES (SUITE)

- [63] OLMOS COLMENERO, J.J. et G.A. BRODERICK, 2006. "Effect of Dietary Crude Protein Concentration on Milk Production and Nitrogen Utilization in Lactating Dairy Cows". *Journal of Dairy Science*, vol. 89, p. 1704-1712. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://naldc.nal.usda.gov/download/2081/PDF>
- [64] PATTEY, E., M.K. TRZCINSKI et R.L. DESJARDINS, 2005. « Quantification de la réduction des émissions de gaz à effet de serre produites par le compostage de fumier de bovins de boucherie et de bovins laitiers ». *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 72 (2005), p. 173-187. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
http://oacc.info/Docs/Pathey%20et%20al_Quantifying%20reduction%20GHG%20withcomposting_NturCycAgro_2005_f.pdf
- [65] PELLETIER, C., 2005. « Que vaut la qualité des fourrages ? ». [En ligne, consulté le 9 mars 2012].
<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/bassaintlaurent/Infofourrage/Information/Pages/QualiteFourrage.aspx>
- [66] PETIT, H.V., 2010. "Review: Feed Intake, Milk Production and Milk Composition of Dairy Cows Fed Flaxseed". *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 90, p. 115-127. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://www.ameriflax.com/UserFiles/Image/Formaldehyde.pdf>
- [67] PEYRAUD, J.-L., 2010. « Le pâturage des vaches laitières : comment tirer parti d'un fourrage équilibré pour assurer de bonnes performances dans des systèmes économes en intrants ». 34^e *Symposium sur les bovins laitiers*. 21 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/Peyraud_JL_AR.pdf
- [68] PIGEON, S., 2007. « Évaluer la rentabilité de sa toiture sur la fosse à lisier : c'est payant ! ». *Porc Québec*, p. 34-38. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/porc/documents/Environnement_toiture-fosse.pdf
- [69] PIGEON, S., 2007. *Plan des interventions agroenvironnementales de la FPPQ : les couvertures sur les fosses à lisier*. Fiche technique n° 4, mise à jour. 6 p. [En ligne, consulté le 9 juin 2010].
http://www.leporcduquebec.com/upa_porcs_files/federations/pdf/centre_de_doc/couvertures_fosses.pdf
- [70] POULIOT, F., 2002. *Plan des interventions agroenvironnementales de la FPPQ : les toitures sur les fosses à lisiers, réduction des odeurs et des volumes*. Fiche technique n° 4, 6 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/porc/Documents/F400-02%202002-10%20Toiture.pdf>
- [71] RICHARD, S. et S. PIGEON, 2004. *Plan des interventions agroenvironnementales de la FPPQ : évaluation des rampes d'épandages*. Fiche technique n° 5a, 8 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Rampes_basses.pdf
- [72] ROCHETTE, P., 2008. « Gestion des engrais minéraux et organiques : volatilisation de l'ammoniac ». *Colloque en agroenvironnement du CRAAQ et de l'IRDA*, 7 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Rochette_Philippe_AR.pdf
- [73] ROCHETTE, P., 2005. « L'entreposage des fumiers : une source appréciable de GES. Bovins du Québec ». 2 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/bovinsboucherie/documents/fumiers%20GES.pdf>
- [74] ROTZ, C.A., K.J. SODER, R.H. SKINNER *et al.*, 2009. "Grazing Can Reduce the Environmental Impact of Dairy Production Systems". *Forage and Grazinglands*. 10 p. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://www.caes.uga.edu/commodities/fieldcrops/forages/events/PBDSummit/rotz%202009%20Grazing%20Can%20Reduce%20the%20Environmental%20Impact%20of%20dairy%20production%20systems.pdf>
- [75] SOUSSI-GOUNNI, A., D. MASSÉ et S. BARRINGTON, 2006. « La biofiltration, une solution aux gaz à effet de serre émis par les fosses à lisiers ? ». *Porc Québec*, p. 36-38. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/porc/documents/Recherche-biofiltration.pdf>
- [76] STATISTIQUES CANADA, 2011. « Tableau : Recettes monétaires agricoles provenant de l'industrie laitière au Canada ». [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
<http://www.infolait.gc.ca/pdf/farmcashdairy.pdf>
- [77] TYRCHNIEWICZ CONSULTING, 2006. *The Science of Greenhouse Gas Emissions and Grazing Management Strategies: an Investigative/Awareness Report*. 23 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
http://www.jpccs.on.ca/biodiversity/ghg/pdf/discussion_paper.pdf
- [78] USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2012. "Composting". 17 p. [En ligne, consulté le 26 mars 2012].
<http://www.epa.gov/climatechange/wywd/waste/downloads/Composting.pdf>
- [79] VALACTA, 2009. « Évolution de la production laitière québécoise 2008. Ajouter de la valeur à la ferme ». *Le producteur de lait québécois*, numéro spécial, 73 p. [En ligne, consulté le 19 mars 2011]. http://www.valacta.com/SiteCollectionDocuments/evolution-de-la-production-laiti%C3%A8re-qu%C3%A9becois%202008-el-2008-montage_complet_sans%20pub_2009-05-22_corr.pdf
- [80] VANASSE, A., 2004. « Le programme d'atténuation des gaz à effet de serre en milieu agricole : leadership de l'agriculture dans la réduction des GES ». Programme d'atténuation des gaz à effet de serre (PAGES). 4 p. [En ligne, consulté le 19 mars 2011]. http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/PAGES_TCN_mars04.pdf
- [81] VIGNOLA, J.-L. et A. FOURNIER, 2007. « Le pâturage intensif, j'y crois, j'y vois ! ». Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 4 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012] <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/Le%20p%C3%A2turage%20intensif%20-%20Vaches%20laiti%C3%A8res%20Final.pdf>



© www.photo-libre.fr



LES VOLAILLES

DES PRATIQUES AGRICOLES EFFICACES,
UN IMPACT BÉNÉFIQUE SUR LE CLIMAT

VOLAILLES ET GAZ À EFFET DE SERRE

Depuis les dix dernières années, la consommation de viande de volaille s'est accentuée et occupe maintenant la part de marché qu'occupaient autrefois le porc et le bœuf^[47]. Sur les marchés internationaux, une tendance similaire se dessine. Depuis quelques années, cette tendance semble particulièrement forte en Asie, en Amérique latine et en Afrique du Nord^[21]. La hausse du niveau de vie dans plusieurs pays, la croissance démographique et l'urbanisation des sociétés sont les principales causes de la hausse de demande en produits de volaille. Or, pour combler cette demande grandissante, la production devra augmenter au même rythme, tout en faisant face à de nombreux défis environnementaux.

Le CO₂e (dioxyde de carbone équivalent) est une expression servant à comparer les potentiels de réchauffement des différents GES, par rapport au gaz de référence, le CO₂.

1 tonne de CO₂e = 1 voiture roulant pendant 9 000 km (aller-retour Halifax-Vancouver).

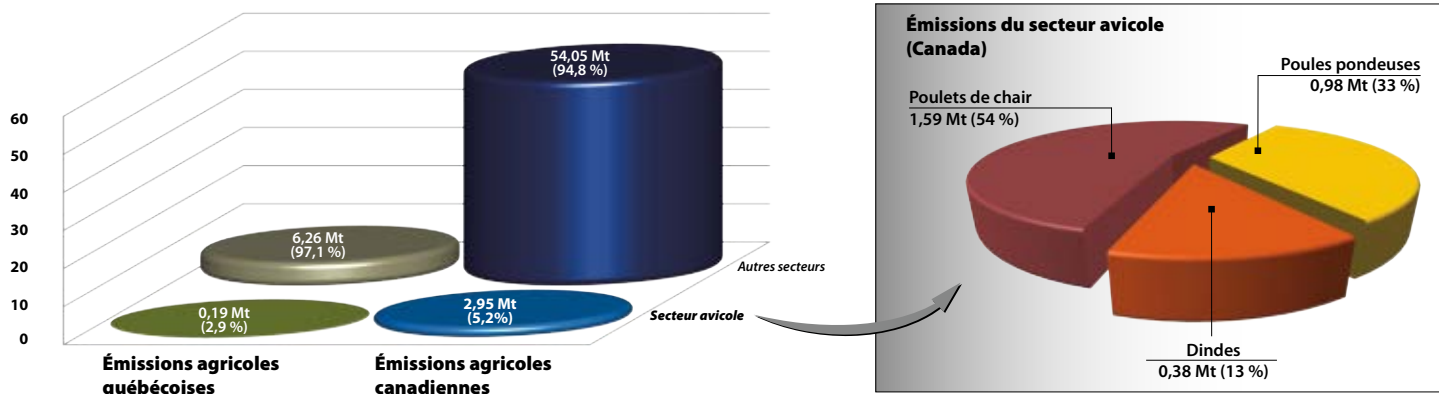


© David Stephenson

Comme le démontre la **figure 2.1**, au Québec, en 2009, 2,9 % des émissions de CO₂e de l'agriculture provenaient du secteur avicole^[29]. Depuis 2006, les émissions de GES du secteur avicole québécois ont diminué de 0,6 %, tandis que les émissions de GES du secteur agricole québécois ont diminué de 1,1 %^{[29][36]}. Au Canada, en 2006, ce sont 5,2 % des émissions de CO₂e de l'agriculture qui provenaient du secteur avicole^{[20][53]}. Les émissions canadiennes ont été principalement engendrées par l'élevage de poulet de chair, de poules pondeuses et de dindes.

Aujourd'hui, le secteur avicole québécois compte donc parmi les secteurs agricoles les plus importants, avec des ventes à la ferme de plus de 700 M\$ en 2008^[33]. Ce secteur comprend la production de viande de volaille et la production d'œufs de consommation ou d'incubation. En 30 ans, la durée de production d'un poulet de 1,5 kg est passée de 90 jours à moins de 40 jours^[31]. Au cours des dernières années tout particulièrement, la filière avicole a travaillé à l'amélioration de plusieurs aspects de la production, ceci afin d'augmenter son efficacité. Les percées sont attribuables à l'inclusion de vitamines et de minéraux dans l'alimentation, à l'ajout de suppléments en acides aminés, à l'amélioration de la digestibilité

Figure 2.1
Source des émissions de GES du secteur avicole canadien en 2006
(en Mt CO₂e)



des aliments, à l'ajout d'additifs alimentaires enzymatiques, à la détermination de la ration idéale en protéines, et plus encore... Ces changements permettent de produire plus vite avec moins de ressources, un gage d'efficacité. Mais, aujourd'hui, l'efficacité d'une ferme se mesure aussi par l'évaluation des impacts qu'elle engendre au niveau de l'eau, du sol et de l'air. Ainsi, l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre (GES) s'inscrit maintenant dans une démarche globale d'amélioration de l'efficacité de chaque ferme.

Au Canada, comme le montre la **figure 2.2**, les principaux GES produits par le secteur avicole sont le protoxyde d'azote (N_2O), le dioxyde de carbone (CO_2) et le méthane (CH_4). Les principales sources d'émission de N_2O d'une ferme avicole sont la fabrication et l'utilisation des fertilisants commerciaux, l'utilisation des engrais de ferme et la dénitrification de l'azote dans le sol^{[50][53]}. En effet, lors du processus de nitrification-dénitrification, qui peut survenir lors de l'entreposage et lors de l'épandage, l'azote contenu dans les fumiers de volaille peut se transformer en N_2O , un GES 310 fois plus puissant que le CO_2 . Pour leur part, les émissions de CO_2 proviennent essentiellement de l'énergie fossile utilisée pour les travaux au champ, le chauffage, l'électricité, les engrais de synthèse et les produits phytosanitaires^[53]. Quant aux émissions de méthane, elles proviennent dans une proportion de 67 % de l'élevage de poules pondeuses, lesquelles produisent un lisier semi-liquide fortement émetteur de CH_4 ^[53]. Une grande proportion du CH_4 provient de l'emmagasiner du fumier (poulets et volailles lourdes de chair) ou du lisier (poules pondeuses et canards)^[53]. Par ailleurs, entre 1992 et 2010, la gestion des déjections dans la production québécoise d'œufs de consommation est passée d'un mode majoritairement liquide (92 %) à un mode majoritairement solide ou sec (63 %), ce qui a permis de diminuer les émissions de CH_4 ^[43].

L'ammoniac (NH_3), bien qu'il ne soit pas un GES, est un gaz qui participe aux émissions indirectes de N_2O des fermes avicoles. Il s'agit d'un sous-produit de la dégradation microbienne de l'azote contenu dans les fumiers. En production avicole, l'azote perdu vient des protéines alimentaires non digérées et de l'acide urique contenu dans la fraction solide des excréments^[52]. Cet azote peut se volatiliser

sous forme de NH_3 et, éventuellement, se dépose de nouveau sur des sols, pour finalement engendrer des émissions de N_2O . Le N_2O engendré par la volatilisation du NH_3 représente près de 3 % des émissions totales de GES du secteur avicole canadien, soit l'équivalent de 76 000 t CO_2e ^{[14][26][53]}.

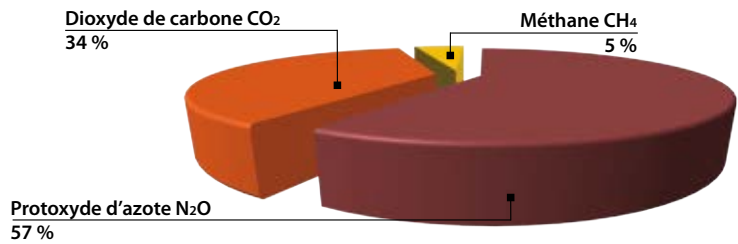
À l'heure des changements climatiques, la croissance de la production mondiale de produits de volaille doit se faire en minimisant les impacts sur le climat. Outre les émissions de GES, les producteurs avicoles devront se préoccuper de la dégradation des terres, ainsi que de la protection de la biodiversité et des ressources hydriques. De plus, certaines inquiétudes exprimées par la population, telles que l'innocuité des aliments, la sécurité alimentaire et le bien-être animal, devront impérativement être prises en compte. Les pratiques qui permettent d'améliorer l'efficacité des entreprises avicoles et de réduire leurs émissions de GES représentent donc des occasions à ne pas laisser passer. Les producteurs ont tout avantage à mettre en œuvre des actions afin d'améliorer l'efficacité alimentaire de leurs animaux et de maximiser l'utilisation d'énergie au bâtiment. Réduire les pertes de nutriments et réduire les pertes d'énergie assurent un double gain : pour le portefeuille et pour l'avenir de la planète.

La nitrification et la dénitrification sont des processus de transformation de l'azote qui surviennent naturellement dans les sols agricoles, par l'activité de certaines bactéries. La nitrification est le processus par lequel l'azote ammoniacal (NH_4^+) présent dans le sol est transformé en nitrate (NO_3^-). La dénitrification transforme le NO_3^- en azote moléculaire (N_2), processus au cours duquel des formes intermédiaires peuvent être émises, tel le protoxyde d'azote (N_2O), un GES.



© CCDMD, Le Québec en images, Éveline Côté

Figure 2.2
Principaux GES produits par le secteur avicole canadien



DONNER DES ALIMENTS PROVENANT DE CULTURES PEU EXIGEANTES EN AZOTE

La ration alimentaire des volailles émet des GES en fonction des ingrédients qui la composent et de la quantité d'azote nécessaire pour la produire. Les émissions de GES surviennent principalement de deux manières. Dans un premier temps, les cultures exigeantes en azote reçoivent des fertilisants synthétiques, dont la production et le transport génèrent des émissions importantes, équivalant à 2,8 kg de CO₂e par kilogramme d'azote^[41]. Dans un second temps, le sol qui contient une quantité excédentaire d'azote peut émettre du N₂O. Une solution possible de réduction des émissions de N₂O consiste à choisir des cultures qui offrent un fort rendement et une haute valeur nutritive, mais qui demandent peu d'engrais azotés^[53]. Les ingrédients composant les rations sont sélectionnés par les minotiers selon plusieurs critères, tels la disponibilité, le prix et la qualité des nutriments. Comme le démontre le [tableau 2.1](#), les cultures engendrent donc des émissions de GES variables selon l'énergie qu'elles fournissent aux volailles. Favoriser une ration alimentaire élaborée à partir de cultures nécessitant peu d'azote assure donc une certaine performance environnementale, tout en comblant les besoins nutritifs des volailles. De plus, la production et l'application de pesticides utilisant une grande quantité d'énergie, favoriser des cultures qui nécessitent peu ou pas de produits phytosanitaires diminue conséquemment les émissions de GES^[7].

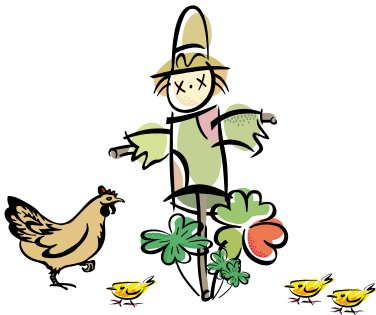


Tableau 2.1
Émissions de GES des principales cultures destinées à l'alimentation des volailles^{[40][41]}

Culture	Émissions de GES de la culture (kg CO ₂ e/kg grain)	Énergie métabolisable (MJ/kg)	Émissions de GES des aliments (mg CO ₂ e/MJ disponible)
Maïs	0,31	3 350	93,7
Blé	0,20	3 120	63,4
Orge	0,22	2 640	83,9
Pois secs	0,15	2 570	60,3
Soya	0,42	3 300	127,7

RÉDUIRE LE GASPILLAGE DES ALIMENTS

Les stratégies alimentaires visant à minimiser le gaspillage permettent aussi de maximiser l'utilisation de l'azote et d'éviter que cet azote se retrouve dans la litière ou dans la fosse d'entreposage, causant ainsi des émissions de N₂O. De plus, l'aliment gaspillé engendre des émissions tout au long de son cycle de production. Ces émissions ne sont pas négligeables et représentent 218 g CO₂e/kg de moulée de poulet à chair gaspillée^{[41][34]}.

Il est donc important d'adapter la **hauteur des mangeoires** en fonction de l'âge et de l'espèce de la volaille. Le haut de la mangeoire doit se trouver au niveau de la base du cou de l'animal, ce qui permet d'éviter que les animaux marchent sur les mangeoires. Cela améliore aussi l'accessibilité des aliments et optimise le temps passé à la mangeoire. De même, les mangeoires ne doivent pas être trop pleines afin d'éviter le gaspillage^{[22][46]}. Cette pratique bénéfique semble déjà faire l'unanimité au Québec.

La **taille et la forme de la moulée** donnée aux volailles revêtent aussi une grande importance afin de minimiser le gaspillage des aliments. Une moulée granulée plutôt qu'en farine permet de diminuer le gaspillage, la préhension étant plus facile et plus efficace. De plus, les granules ne permettent pas aux volailles de sélectionner un aliment en particulier, ce qui améliore la palatabilité et la digestibilité, favorisant la prise alimentaire et la croissance^[9]. Toutefois, il est également important de considérer la provenance de la moulée. Si la moulée est fabriquée à la ferme, avec des ingrédients achetés ou produits localement, l'économie d'énergie peut compenser les pertes de moulée^[23].



AMÉLIORER L'EFFICACITÉ DES ALIMENTS

La digestibilité de l'alimentation représente la part de l'énergie brute qui a été assimilée par l'organisme^[26]. Le reste de l'énergie sera inévitablement excrété sous forme de matières fécales. En production avicole, de 50 à 70 % de l'azote et de 60 à 80 % du phosphore ingéré se retrouvent dans les déjections^[51]. **Augmenter la digestibilité** des aliments améliore l'efficacité de l'élevage et réduit les émissions de GES. La digestibilité, la consommation d'aliments et la croissance des volailles sont interdépendantes. Une faible digestibilité entraînera une diminution de la consommation et une réduction significative de la croissance.

La **forme de l'aliment** influence également sa digestibilité. Un aliment sous forme de granule améliore le taux de conversion alimentaire et diminue l'effort que doit faire l'animal pour se nourrir, comparativement à un aliment sous forme de farine. D'autre part, la production de granules implique un traitement par la chaleur, lequel améliore la digestibilité en désactivant les facteurs non nutritifs et en augmentant la gélatinisation de l'amidon^{[9][22]}.

La **taille et la texture des particules** constituant la ration sont aussi des facteurs importants à considérer. Trop petites, les particules peuvent causer des problèmes de digestion et de santé. En effet, des particules à dominance grossière permettent d'améliorer la digestibilité dans une moulée à base de blé et de soya^[30]. De plus, l'utilisation de granules de texture plutôt ferme affecterait positivement le développement du tractus gastro-intestinal, permettant d'augmenter l'efficacité des enzymes intestinales^[42]. Lorsque la conversion alimentaire est améliorée, une quantité moins grande de moulée est nécessaire afin d'assurer la croissance des volailles. L'amélioration de la digestibilité des aliments réduit donc le taux d'excrétion des solides volatils. Les solides volatils sont le matériau organique du fumier qui engendre les émissions de GES. Ces solides influencent le facteur d'émissions du CH₄. Par exemple, une amélioration de 5 % de la digestibilité alimentaire diminue de 25 % les émissions de CH₄ provenant des fientes^{[20][26]}.

En utilisant des **acides aminés de synthèse**, il est possible d'adapter le profil d'acides aminés limitant (lysine, méthionine et la thréonine) aux besoins de l'animal. De plus, la digestibilité de ces acides aminés synthétiques est de 100 %, ce qui permet de formuler des régimes pauvres en protéines brutes et de l'équilibrer avec les acides aminés de synthèse^[37]. Des études ont démontré que la réduction des protéines brutes de 21 à 18 % couplée à l'ajout de suppléments d'acides aminés de synthèse n'a eu aucun effet négatif sur la croissance des volailles. Cette réduction a aussi permis de diminuer de 10 à 27 % les rejets d'azote pour les poulets à griller, et de 30 à 35 % pour les poules pondeuses^{[11][17]}.

De la même façon, une diminution de 1 % de la **teneur en protéines alimentaires** permet de réduire de 10 % l'excrétion d'azote pour les poules et de réduire de 5 à 10 % l'excrétion d'azote pour les poulets de chair, dindes et autres volailles de chair^[38]. Pour un élevage de 20 000 poulets de chair sur litière, la diminution de 1 % de la teneur en protéines alimentaires permet d'éviter l'excrétion de 360 kg de N, soit 4,5 t CO₂e par année^[26]. D'autre part, l'utilisation de régimes moins riches en protéines permet de réduire les émissions de NH₃^[38].

L'**alimentation en phases** permet d'atteindre un bon équilibre entre les besoins énergétiques, les besoins en acides aminés et les besoins en minéraux, et ce tout au long de la croissance de l'animal. En effet, en apportant strictement la bonne quantité d'éléments nutritifs, la ration contient ce qui est nécessaire au métabolisme de l'animal, ce qui limite les excès, donc les hautes teneurs en azote et phosphore des effluents^[37]. Par exemple, dans le cas des poules pondeuses, ce sont les niveaux protéiques, le calcium et le phosphore, qui doivent être ajustés aux différents stades de production^[37]. L'alimentation en phase a également le potentiel de réduire les quantités totales d'azote excrétées par les volailles. En utilisant une alimentation en phase, il a été démontré que la quantité d'azote excrétée par les volailles pouvait diminuer de 3,9 % par rapport à une formulation standard^[44].



© Shutterstock.com, koko-tewan



GÉRER LE CHEPTTEL : DIMINUER LA MORTALITÉ

Les volailles sont vulnérables à diverses maladies. Puisque la quasi-majorité des élevages ont cours dans des milieux confinés, la propagation de la maladie peut se faire rapidement et les risques de contagion sont souvent amplifiés. Les maladies les plus fréquentes sont de nature virale, bactérienne, fongique et parasitaire. Afin d'éviter les émissions inutiles de GES, la production de viande ou d'œuf par unité de nourriture devrait être la plus élevée possible. Pour atteindre cet objectif, il est primordial que les animaux soient en bonne santé. Ainsi, plusieurs aspects de la production doivent être surveillés, tels que la densité animale, les équipements de ferme et l'entretien des installations^[50]. Le transport et l'abattage sont également responsables d'une partie de la mortalité du cheptel avicole. Lors du transport, les animaux ne sont pas protégés des intempéries (chaleur, froid). Ainsi, au Canada, près de 1 % des poulets à griller meurent dans le transport vers l'abattoir^[15]. La viande détournée par les condamnations postabattage est quant à elle transformée en sous-produits de volaille et commercialisée dans la nourriture pour animaux domestiques.



© Sxc.hu, Jon Ng



GÉRER LES DÉJECTIONS : MINIMISER LES PERTES

AU BÂTIMENT

Assécher les déjections, mécaniquement ou par étalage à l'air, réduit l'humidité et inhibe les réactions chimiques dans les fumiers, donc réduit les émissions de GES^[25]. Le séchage des déjections est surtout intéressant pour les déjections de poules pondeuses, qui possèdent un taux d'humidité de 90%^[10]. En effet, selon une étude récente, la gestion liquide des déjections de poules pondeuses émet davantage d'émissions de GES que la gestion solide, tandis que la gestion sèche diminue les émissions de plus de 50%^[43]. Au Québec, il existe deux technologies pour assécher les déjections : le séchage par ventilateur relié à des panneaux solaires et le séchage par air chaud récupéré dans le poulailler. L'utilisation des panneaux solaires à des fins de séchage fait passer l'humidité des effluents de 75 à 25%^[4]. L'assèchement du fumier possède plusieurs autres avantages, tel la réduction du volume de fumier à gérer, ce qui diminue les coûts de transport. Aussi, le séchage du fumier permet de conserver son contenu en azote, et de réduire les odeurs, ce qui améliore l'environnement de travail et la qualité de vie, de même que le confort des animaux^[4].

AU CHAMP

Les émissions de GES causées par l'application des fumiers sont principalement attribuables aux émissions directes et indirectes de N_2O . Les émissions directes proviennent du cycle naturel de nitrification-dénitrification qui se produit dans les sols, tandis que les émissions indirectes sont issues des pertes d'azote engendrées par volatilisation, ruissellement et lessivage. Pour réduire ces émissions, il existe de nombreux moyens éprouvés^{[18][24]}:

- Analyser les sols et les fumiers afin de connaître la bonne quantité à épandre.
- Fractionner les applications selon le stade de croissance des plantes afin de diminuer les excès d'azote dans le sol.
- Appliquer les fumiers lorsque le sol présente une faible saturation en eau afin de diminuer les risques de dénitrification.
- Améliorer la porosité des sols par de bonnes pratiques culturales, viser une augmentation de la matière organique, une diminution de la compaction, etc.
- Améliorer la capacité de drainage des sols mal égouttés.

Les facteurs qui influencent la volatilisation ammoniacale varient selon la gestion des matières fertilisantes. En effet, sous gestion liquide, les principaux facteurs qui influencent la volatilisation sont une température élevée, les conditions basiques de la solution du sol, le vent et l'humidité^[5]. Sous gestion solide, les émissions dépendent presque exclusivement de la quantité d'azote ammoniacal contenu dans les fumiers^[6]. La meilleure stratégie pour réduire la volatilisation

est l'incorporation immédiate des fumiers dans le sol. Ainsi, dans certaines conditions, il est possible d'éviter complètement les pertes d'azote par volatilisation du NH_3 ^[39]. Cela peut représenter une valeur fertilisante de près de 7 kg d'azote par tonne de fumier de volaille, et des émissions évitées de 108 g de N_2O ^{[18][26]}.



UTILISER LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Au Québec, les besoins en chauffage pour les bâtiments avicoles sont très importants en période hivernale. La principale source d'énergie utilisée pour le chauffage est le propane, qui représente près de 50 % des besoins énergétiques des fermes avicoles^[3]. Il est possible de diminuer les émissions de GES en remplaçant le propane, qui émet 1,54 kg CO₂e pour chaque litre brûlé, par des sources d'énergies renouvelables peu ou pas émettrices, telles que la biométhanisation ou la biomasse.

Pour le chauffage des bâtiments avicoles, l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques s'avère une solution de remplacement intéressante aux combustibles fossiles. En effet, la biomasse présente un bilan pratiquement neutre au niveau de la quantité de CO₂ émis dans l'atmosphère, puisque la production et la transformation requièrent peu d'énergie. Contrairement aux combustibles fossiles, le cycle de captage du CO₂e par la biomasse se fait sur une plus courte période. Diverses sources d'approvisionnement comme les résidus de scieries, les résidus d'abattoirs, les résidus de centres de tri ou les résidus agricoles peuvent devenir des sources d'énergie intéressantes. Plusieurs espèces végétales ont également le potentiel de servir de biomasse énergétique : le panic érigé, le miscanthus géant, le saule à croissance rapide et le peuplier hybride.

La biométhanisation, ou digestion anaérobie, est la dégradation de la matière organique par des micro-organismes vivants dans des conditions anoxiques. Le procédé de fermentation de la matière organique se fait dans un biodigester étanche à l'air et à l'eau. La digestion anaérobie est un moyen efficace de valoriser la capacité des micro-organismes à produire du CH₄ avec les fumiers de ferme, ou avec certains résidus organiques, et de diminuer du même coup les émissions de GES produits par la ferme. Ainsi, les émissions de CH₄ de la fosse peuvent être réduites de 90 %^[26]. Le processus de biométhanisation produit un biogaz et un digestat, liquide sans odeur et à teneur réduite en pathogène, qui ressemble au lisier et peut être valorisé au champ. Les déjections avicoles sont des substrats intéressants pour la biométhanisation, qui ont un rendement en biogaz supérieur à celui des lisiers de bovins et de porcins^[12]. En concentration suffisante, le biogaz peut ensuite être transformé en chaleur ou en électricité. De cette façon, le biogaz pourrait remplacer le propane et l'électricité utilisés sur une ferme avicole^[49]. Cela peut représenter près de 96 t CO₂e évitées pour une ferme typique de 46 000 poulets à griller^{[2][27][28]}.



© Shutterstock.com, Branislav Pudar



AMÉLIORER L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

La consommation d'énergie entraîne des émissions de GES qui varient selon le type d'énergie consommé. En réduisant la consommation d'énergie de la ferme, il est donc possible de réduire les émissions de GES. L'efficacité énergétique vise à réduire le gaspillage de l'énergie à la source, à maximiser l'utilisation de l'énergie, tout en conservant la même capacité de production. Le [tableau 2.2](#) présente les mesures d'efficacité énergétique les plus intéressantes pour une entreprise avicole.

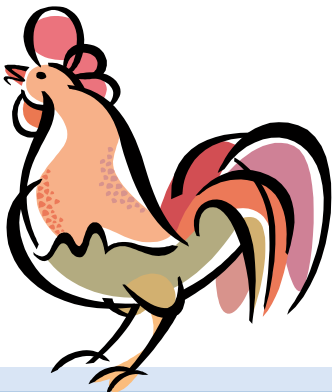


Tableau 2.2
Équipements et pratiques en efficacité énergétique
(potentiel de réduction des GES par ferme et par an)

Système énergétique	Équipement	Potentiel	Coûts	Retour sur investissement
Chauffage	 Tubes chauffants infrarouges. Système de lampes radiantes dirigées vers les volailles, qui réchauffent davantage les surfaces et les volailles plutôt que l'air ^[32] . Réduction de 10 à 30 % de l'énergie pour le chauffage ^[27] .	↓ 7 tCO ₂ e (ferme typique de 30 000 poulets à griller, avec système à air pulsé)	n. d.	n. d.
	 Murs solaires. Murs qui préchauffent l'air à l'aide de l'énergie solaire avant de la distribuer à l'intérieur du bâtiment ^{[8][16]} .	↓ 1,59 tCO ₂ e (poulailler de 19 500 poulets à griller)	10 000 à 12 000 \$	4 à 5 ans
	 Systèmes d'échangeurs et de récupérateurs de chaleur. Utilise la chaleur de l'air vicié du bâtiment pour préchauffer l'air extérieur avant d'effectuer le changement d'air ^{[35][45]} .	↓ 13,52 t CO ₂ e (poulailler de 5 000 volailles)	6 500 \$	3 ans
Ventilation	 Ventilateurs écoénergétiques. Réduction des coûts de ventilation de 20% ^[27]	↓ 660 kg CO ₂ e (ferme typique de 30 000 poulets à griller)	Environ 110 \$ de plus qu'un ventilateur conventionnel ^[27]	2 ans
Éclairage	 Fluorescents T8. Fluorescents possédant une excellente efficacité ^[32] .	↓ 0,35 tCO ₂ e (remplacement de lampes incandescentes, poulailler de 6 500 volailles)	2 000 \$	< 3 ans
	 Détecteurs à cellules photo-électriques. Dispositif permettant d'ajuster l'éclairage en fonction de l'intensité lumineuse naturelle des locaux ^[32] .	↓ 0,17 tCO ₂ e (poulailler de 6 500 volailles)	1 000 \$	< 3 ans
Gestion des fumiers	 Toitures de fosse. Élément qui empêche les précipitations de s'accumuler à l'intérieur de la fosse ^[2] .	↓ 1 tCO ₂ e (poulailler de 24 000 volailles)	Variable	Variable selon la distance d'épandage



COMMENT RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE GES SUR UNE FERME AVICOLE ?

POTENTIEL DE RÉDUCTION ÉVALUÉ POUR UNE FERME TYPE

- Une ferme typique en production de **poulet de chair** possède un poulailler d'une capacité de 30 000 poulets à griller sur litière en gestion solide. La ferme effectue une moyenne de 6,5 cycles par an.
- Une ferme typique en production d'**œufs de consommation** possède un poulailler d'une capacité de 22 000 poules en cages et gère les déjections sous forme solide. La ferme effectue un cycle par an.

Stratégie	Pratique suggérée	Potentiel de réduction des GES	Exemple de réduction
Gérer les aliments	Réduire le gaspillage de la moulée en ajustant la hauteur des mangeoires, ainsi que la taille et la forme des moulées ^{[41][34]}	↓ 218 g CO ₂ e par kilogramme de moulée	■ n. d.
	Fournir une moulée granulée et d'une taille de particules idéale ^{[20][26]}	↓ 5 % du facteur d'émission du CH ₄ issu du fumier pour chaque pourcentage d'amélioration de la digestibilité	■ 0,7 t CO ₂ e par an (poulet de chair) ■ 500 kg CO ₂ e par an (poules pondeuses)
	Réduire la teneur en protéines brutes des moulées ^{[11][26]}	↓ 0,22 kg CO ₂ e par poulet de chair ↓ 0,66 kg CO ₂ e par poule pondeuse	■ 6,6 t CO ₂ e par an (poulet de chair) ■ 14,5 t CO ₂ e par an (poule pondeuse)
	Ajuster l'alimentation des volailles en plusieurs phases, selon le stade de croissance ^{[26][44]}	↓ 0,18 kg CO ₂ e par poulet de chair	■ 5,3 t CO ₂ e par an
Gérer le cheptel : diminuer la mortalité	Améliorer la régie d'élevage afin de diminuer la mortalité ^{[11][26][40][41]}	↓ 3,3 kg CO ₂ e par poulet de chair ↓ 5,1 kg CO ₂ e par poule pondeuse	■ 1 t CO ₂ e par an (réduction de 1 % du taux de mortalité, poulet de chair) ■ 1,1 t CO ₂ e par an (réduction de 1 % de taux de mortalité, poule pondeuse)
Gérer les déjections : minimiser les pertes	Gérer les déjections sous forme sèche plutôt que sous forme liquide ^[43]	↓ 1,65 CO ₂ e par poule pondeuse	■ 36,3 t CO ₂ e par an
	Incorporer les fumiers au sol rapidement lors de l'épandage ^{[18][19][26][48]}	↓ 33,5 kg CO ₂ e par tonne de fumier de volaille	■ 15,1 t CO ₂ e par an (poulet de chair) ■ 11,5 t CO ₂ e par an (poule pondeuse)
Améliorer l'efficacité énergétique	(Se référer au tableau 4)		

Cet outil fait partie d'une série de 5 outils publiés dans le cadre du projet *Favoriser l'adoption de pratiques de gestion bénéfiques pouvant réduire le bilan de GES de cinq secteurs agricoles au Québec* <http://www.naturequebec.org/agriculture-et-climat>

© Nature Québec, novembre 2012



Agriculture et Agroalimentaire Canada

Agriculture and Agri-Food Canada

Programme de lutte contre les gaz à effet de serre en agriculture (PLEGSA)



Nature Québec
sensible à tous les milieux



DES PRATIQUES AGRICOLES EFFICACES, UN IMPACT BÉNÉFIQUE SUR LE CLIMAT

[1] AARD (Alberta Agriculture and Rural Development), 2011. *Poultry Mortality Composting*. 36 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].
[http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$Department/deptdocs.nsf/all/agdex6117/\\$FILE/450_29-1.pdf](http://www1.agric.gov.ab.ca/$Department/deptdocs.nsf/all/agdex6117/$FILE/450_29-1.pdf)

[2] AEE (Agence de l'efficacité énergétique), 2009. « Facteurs d'émission et de conversion : calcul des émissions de GES ». 1 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].
http://www.aee.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/facteurs_emission.pdf

[3] AGECO, 2006a. *Profil de consommation d'énergie à la ferme dans six des principaux secteurs de production agricole du Québec*. Rapport n° 1 présenté à l'Union des producteurs agricoles du Québec (UPA). 86 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Profil%20de%20consommation%20d'energie%20C3%A0%20la%20ferme%20RapportFinal%20Volet1%20.pdf>

[4] AGECO, 2006b. *Documentation des innovations technologiques visant à l'efficacité énergétique et l'utilisation des énergies alternatives durables en agriculture*. Rapport n° 2 réalisé pour l'Union des producteurs agricoles du Québec (UPA). 100 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Documentation%20Innovation%20technologique_%20Efficaciteenergetique_%20Rapport%20Final%20VoletII_%20FINAL_%2021%2011%202007.pdf

[5] AROGO, J., P.W. WESTERMAN, A.J. HEBER *et al.*, 2002. "Ammonia Emissions from Animal Feeding Operations". National Center for Manure and Animal Waste Management White Papers, p. 41-88. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
http://www.agrienvarchive.ca/bioenergy/download/arogo_nh3_emissions_NC.pdf

[6] AROGO, J., P.W. WESTERMAN, A.J. HEBER *et al.*, 2001. "Ammonia in Animal Production: A Review". Presented to 2001 ASAE Annual International Meeting Sacramento Convention Center Sacramento, California, USA July 30–August 1, 51 p.

[7] AUDSLEY, E., K. STACEY, D.J. PARSONS and A.G. WILLIAMS, 2009. *Estimation of the Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Pesticides Manufacture and Use*. Cranfield University, Bedford. 20 p. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/3913/1/Estimation_of_the_greenhouse_gas_emissions_from_agricultural_pesticide_manufacture_and_use-2009.pdf

[8] BARRINGTON, S. et S. CORDEAU, 2009. « Les murs solaires, une technologie dans le vent ». *Le Coopérateur agricole*. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].
<http://www.lacoop.coop/coopereur/articles/2009/12/p45.asp>

[9] BEHNKE, K.C. and R.S. BEYER, 2002. "Effect of Feeding Processing on Broiler Performance". VIII International Seminar on Poultry Production and Pathology. 21 p. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
http://nmfeed.com/Files/Posts/Portal1/processing_1.pdf

[10] BERNARD, C., C. CÔTÉ, D. CÔTÉ et coll., 2003. « Commission sur le développement durable de la production porcine au Québec ». Mémoire de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. 41 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].
http://www.irda.qc.ca/_documents/_publications/5/29_fr.pdf

[11] BLAIR, R., J.P. JACOB, S. IBRAHIM and P. WANG, 1999. "A Quantitative Assessment of Reduced Protein Diets and Supplements to Improve Nitrogen Utilization". *The Journal of Applied Poultry Research*, vol. 8 (1), p. 25–47. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://japr.fass.org/content/8/1/25.full.pdf+html>

[12] BRODEUR, C. et C. DUROUX, 2008. *Audit énergétique sommaire en aviculture*. Fiche technique du CRAAQ. 11 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012]. <http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC034.pdf>

[13] BRODEUR, C., D. CROWLEY, X. DESMEULES et coll., 2008. *La biométhanisation à la ferme*. CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec). 14 p. [En ligne, consulté le 21 juin 2012].
<http://www.craaq.qc.ca/data/documents/evc033.pdf>

[14] CAREW, R., 2010. "Ammonia Emissions from Livestock Industries in Canada: Feasibility of Abatement Strategies", *Environmental Pollution*, vol. 158, p. 2618-2626.

[15] CCPAF (Coalition canadienne pour la protection des animaux de ferme), non daté. « La vérité sur nos aliments : le poulet à griller ». 3 p. [En ligne, consulté le 21 juin 2012].
http://www.humanefood.ca/french%20pdf%20files/chicken-fr_revision_fin.pdf

[16] CORDEAU, S., 2010. *The Performance of a Solar Air Pre-Heater System for the Ventilation of Two Commercial Poultry Barns*. Thesis submitted to McGill University for the degree of Master of Science. 149 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].
<http://webpages.mcgill.ca/staff/deptshare/FAES/066-Bioresource/Theses/theses/394SebastienCordeau2010/394SebastienCordeau2010.pdf>

[17] CORZO, A., C.A. FRITTS, M.T. KIDD and B.J. KERR, 2005. "Response of Broiler Chicks to Essential and Non-Essential Amino Acid Supplementation of Low Crude Protein Diets". *Animal Feed Science and Technology*, vol. 118 (3-4), p. 319-327. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].

<http://naldc.nal.usda.gov/download/38558/PDF>

[18] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2010. *Guide de référence en fertilisation*, 2^e édition. Québec, Commission chimie et fertilité des sols du CRAAQ. 473 p.

[19] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2003. « Charges fertilisantes des effluents d'élevage : valeurs références en production volaille (poulets et dindons) ». 2 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

<http://pub.craaq.qc.ca/Transit/7-Volaille.pdf>

[20] ENVIRONNEMENT CANADA, 2012. *Rapport d'inventaire national 1990-2010 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada*. 511 p. [En ligne, consulté le 29 juin 2012].

<http://www.ec.gc.ca/publications/default.asp?lang=Fr&xml=A91164E0-7CEB-4D61-841C-BEA8BAA223F9>

[21] FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), 2009. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture : le point sur l'élevage*. 186 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

<http://www.fao.org/docrep/012/i0680f/i0680f.pdf>

[22] FERKETT, P.R., E. VAN HEUGTEN, T.A. VAN KEMPEN and R. ANGEL, 2002. "Nutritional Strategies to Reduce Environmental Emissions from Non-Ruminants". *Journal of Animal Science*, vol. 80 (E-2), p. 168-182. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].

http://jas.fass.org/content/80/E-Suppl_2/E168

[23] FPOCQ (Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec), 2012. Communication personnelle, Longueuil, Québec.

[24] FPPQ (Fédération des producteurs de porcs du Québec), 2009. *Exploitation porcine et gaz à effet de serre*. 20 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

http://www.agrireseau.qc.ca/porc/documents/Exploitation_porcine_GES.pdf

[25] GERBER, P., C. OPIO AND H. STEINFELD, 2007. *Poultry Production and the Environment: a Review*. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 27 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

http://www.fao.org/ag/againfo/home/events/bangkok2007/docs/part2/2_2.pdf

[26] GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2006. « Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ». *Volume 4 : Agriculture, foresterie et autres affectations des terres*. [En ligne, consulté le 26 mars 2012].

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/vol4.html>

[27] GILBERT, D., S. DOSTIE et D. CROWLEY, 2010. *Analyse de rentabilité de la réalisation d'audits énergétiques dans le secteur agricole*. AGRINOVA ET AGECO, Rapport présenté à l'Union des producteurs agricoles du Québec (UPA), 91 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/EtudeFaisabiliteAuditsEnergieAlaFerme_RapportFinal.pdf

[28] LANGLOIS, P., 2008. *Rouler sans pétrole*. Québec, Éditions Multimondes, 312 p.

[29] LECLERC, N., 2011. Communication personnelle, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). [N.D.A. Les inventaires nationaux de GES sont réalisés à l'aide de la méthodologie du GIEC. L'inventaire québécois d'émission des GES considère seulement trois sources d'émissions d'origine agricole : la fermentation entérique, la gestion du fumier et la gestion des sols agricoles, et ce, tous secteurs agricoles confondus. Dès lors, les données sectorielles peuvent difficilement être obtenues autrement qu'en consultant les personnes qui comptabilisent les données. L'entrevue personnelle permet donc d'obtenir des données et de les relier à un secteur en particulier.]

[30] LENTLE, R.G., V. RAVINDRAN, G. RAVINDRAN and D.V. THOMAS, 2006. "Influence of Feed Particle Size on the Efficiency of Broiler Chickens Fed Wheat-Based Diets". *The Journal of Poultry Science*, vol. 43 (2), p. 135-142. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].

<http://ps.fass.org/content/86/12/2615.full.pdf+html>

[31] LE POULET DU QUÉBEC BIEN ÉLEVÉ, 2012. « L'élevage ». [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

www.lepoulet.qc.ca/info-poulet/-propos-de-nous/lelevage

[32] MAAARO (ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario), 2007. « Améliorer l'environnement du poulailler et réduire notre dépendance à l'énergie : production avicole ». [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

http://www.omafr.gov.on.ca/french/engineer/facts/prof_poult.htm

[33] MAPAQ (ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec), 2010. « Données sectorielles. Statistiques 2005-2008 ». [En ligne, consulté le 21 juin 2012].

<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/md/statistiques/donneessectorielles/pages/donneessectorielles.aspx>

[34] MAPAQ (ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec), 2006. *Estimation de la consommation de grains par tête ou unité animale pour les principales productions animales du Québec*. Direction des politiques sur la gestion des risques et Direction des études économiques et d'appui aux filières. 61 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

http://www.agrireseau.qc.ca/porc/documents/MAPAQ_07-02-07_.pdf



RÉFÉRENCES (SUITE)

[35] MARTIN, D.-Y., F. LÉVEILLÉE et D. ZEGAN, 2008. « Le POLYMAIR : pour réduire les coûts de chauffage et améliorer la qualité de l'air dans les bâtiments agricoles ». Fiche technique de l'IRDA : *Réduire les émissions d'odeurs, de gaz à effet de serre, d'ammoniac et de bioaérosols*. 2 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/148.pdf

[36] MDDEP (ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec), 2011. *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2009 et leur évolution depuis 1990*. Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère. 20 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2009/inventaire1990-2009.pdf>

[N.D.A. Dans ce rapport, il existe un écart entre les données du secteur agricole présentées dans les tableaux 5.3 et 6.1. Cet écart est attribuable à l'utilisation de deux méthodologies de calcul des émissions de GES différentes : dans un cas la méthodologie du GIEC et dans l'autre cas, la méthodologie canadienne de comptabilisation des émissions par secteur économique. Dans nos analyses, nous avons retenu les données obtenues par la méthodologie du GIEC, mondialement reconnue et adoptée.]

[37] MEDAD (ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables), 2007. *Guide technique portant sur l'application des meilleures techniques disponibles pour la protection de l'environnement dans le secteur de l'élevage de volailles*. 58 p.

[38] MIGNON-GRASTEAU, S., M. BOURBLANC, B. CARRÉ et coll., 2010. « La réduction des rejets avicoles et porcins », *INRA Productions animales*, vol. 23 (5), p. 415-426. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
http://www.inra.fr/internet/Produits/PA/IMG/pdf/Prod_Anim_2010_23_5_04.pdf?PHPSESSID=6d791572b7a49abeed9e0878aba0e813

[39] NDEGWA, P.M., A.N. HRISTOV, J. AROGO and R.E. Sheffield, 2008. "A Review of Ammonia Emission Mitigation Techniques for Concentrated Animal Feeding Operations". *Biosystems Engineering*, vol. 100 (4), p. 453-469. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].

http://www.ag.iastate.edu/wastemgmt/Mitigation_Conference_proceedings/CD_proceedings/Invited_Papers/Ndegwa_Emissions_Techniques.pdf

[40] NRC (National Research Council), 1994. *Nutrient Requirements for Poultry*. 9th ed, Washington, DC.

[41] NRCAN (Natural Resources Canada), 2011. "GHGenius 4,00C, A Model for Life Cycle Assessment of Transportation Fuels". [En ligne, consulté le 11 juin 2012]. <http://www.ghgenius.ca/>

[42] PARSONS, A.S., N.P. BUCHANA, K.P. BLEMINGS et al., 2006. "Effect of Corn Particle Size and Pellet Texture on Broiler Performance in the Growing Phase". *The Journal of Applied Poultry Research*, vol. 15 (2), p. 245-255. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].

<http://japr.fass.org/content/15/2/245.full.pdf+html>

[43] PELLETIER, F., S. FOURNEL, S. GODBOUT et L. POTVIN, 2012. « Gestion des fumiers en production d'œufs de consommation : émissions de gaz et d'odeur au poulailler et à l'entreposage ». Fiche technique de l'IRDA : *Réduire les émissions d'odeurs, de gaz à effet de serre, d'ammoniac et de bioaérosols*. 2 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/418.pdf

[44] POPE, T., L.N. LOUPE, P.B. PILLAI and J.L. EMMERT, 2004. "Growth Performance and Nitrogen Excretion of Broilers Using a Phase-Feeding Approach from Twenty-One to Sixty-Three Days of Age". *Poultry Science*, vol. 83 (4), p. 676-682. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].

<http://ps.fass.org/content/83/4/676.full.pdf>

[45] POULIN, D., 2012. Communication personnelle. IRDA (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement), Québec, Canada.

[46] PROUDFOOT, F.G. et R.M.G. HAMILTON, 1991 *L'élevage du poulet et du dindon à griller*. Agriculture Canada. 67 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012]. <http://publications.gc.ca/collections/Collection/A63-1860-1991F.pdf>

[47] ROBITAILLE, J., 2012. « La consommation de viande, évolution et perspectives de croissance ». *Bioclips+*, vol. 12 (1). 12 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Bioclips/BIOCLIPS+Consommationviandes_mars2012.pdf

[48] SEYDOUX, S., D. CÔTÉ, M. GRENIER et M.-O. GASSER, 2006. « Caractérisation des volumes et des concentrations en éléments fertilisants des effluents d'élevage de poulettes et de poules pondeuses ». Extraits du rapport de recherche à l'intention de l'IRDA (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement). 17 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Sommaire%20Rapport_fumier_volaille.pdf



© CCDMD, Le Québec en images, Virginie Landry



RÉFÉRENCES (SUITE)

[49] SINGH, K., K. LEE, J. WORLEY *et al.*, 2010. "Anaerobic Digestion of Poultry Litter: A Review". *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 26 (2), p. 677-688.

[50] SONESSON, U., C. CEDERBERG and M. BERLUNG, 2009. "Greenhouse Gas Emissions in Chicken Production: Decision Support for Climate Certification" *Klimatmärkning för mat* (Climat Labelling for food)". 22 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].
<http://www.klimatmarkningen.se/wp-content/uploads/2009/12/2009-6-chicken.pdf>

[51] TESSIER, M., 2002. « L'analyse des fumiers et lisiers : un outil essentiel ». Agriculture et Agroalimentaire Canada. 6 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].
http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/Doc_Analyse_Fumiers.pdf

[52] USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2001. *Emissions from Animal Feeding Operations*. Emission Standards Division Office of Air Quality Planning and Standards Research. 414 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].

<http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch09/draft/draftanimalfeed.pdf>

[53] VERGÉ, X.P.C., J.A. DYER, R.L. DESJARDINS and D. WORTH, 2009. "Long-Term Trends in Greenhouse Gas Emissions from the Canadian Poultry Industry". *Journal of Applied Poultry Research*, vol. 18 (2), p. 210-222. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].

<http://japr.fass.org/content/18/2/210.full.pdf+html>



© CCDMD, Le Québec en images, Pierre-Rock Archambault



LE MARAÎCHER

DES PRATIQUES AGRICOLES EFFICACES,
UN IMPACT BÉNÉFIQUE SUR LE CLIMAT

CULTURES MARAÎCHÈRES ET GAZ À EFFET DE SERRE

La multitude de cultures maraîchères (légumes de pleins champs, légumes en sous tunnel ou en serre) et la diversité de taille des entreprises agricoles font du secteur maraîcher québécois un secteur diversifié. Par les superficies cultivées, le maïs sucré, la laitue, l'oignon sec, la carotte et le chou sont les productions maraîchères les plus importantes au Québec^[56]. Ainsi, les cultures de légumes recouvrent 31 705 ha, voire 50 914 ha en tenant compte de la culture de pommes de terre^{[36][72]}. Au Québec, en 2004, la superficie moyenne des entreprises maraîchères était de 15 ha^[56] et, en 2009, 1 469 producteurs de légumes ont été recensés^[42]. En 2011, la serriculture (culture en serre) québécoise spécialisée en production



© Shutterstock.com

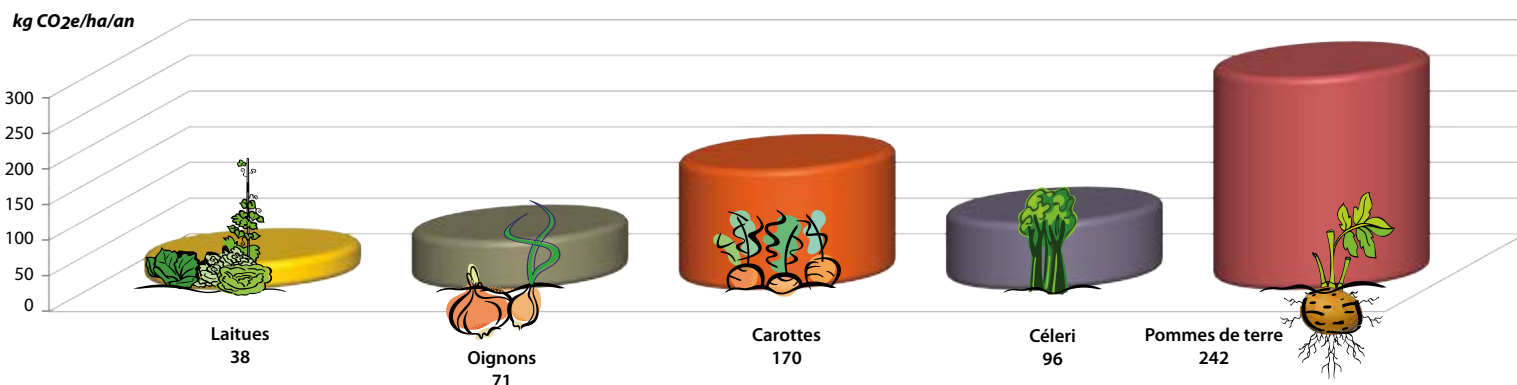
de fruits et légumes s'étendait sur plus de 83,8 ha (838 000 m²), représentant ainsi 7 % des superficies canadiennes en serriculture^[71], la production de tomates occupant la plus grande part (70 %) de ces superficies

Dans le secteur maraîcher en général, les principales pratiques émettrices de GES sont les passages de la machinerie et l'utilisation d'engrais azotés synthétiques. En effet, sur les fermes maraîchères, c'est la machinerie agricole qui consomme le plus d'énergie (47,7 % en 1997)^[16]. Cette consommation de combustibles est une source d'émission de GES, soit 2,79 kg CO₂e par litre de diesel^[2]. Par ailleurs, le secteur maraîcher a recours à de grandes quantités d'intrants, que ce soit des engrais chimiques, des amendements et des pesticides, ce qui représentait une dépense de 334 M\$ en 2005^[9]. Comme l'illustre la **figure 3.1**, la fabrication et l'utilisation de ces intrants sont des sources importantes d'émissions de GES. En effet, les sols en production maraîchère sont souvent compactés et pauvres en matière organique^[32]. Normalement, cette matière organique, en plus d'être à la base de la santé du sol, permet au secteur agricole d'agir comme acteur dans la lutte aux changements climatiques en accumulant du carbone atmosphérique dans les sols. Or, la

Le CO₂e (dioxyde de carbone équivalent) est une expression servant à comparer les potentiels de réchauffement des différents GES, par rapport au gaz de référence, le CO₂.

1 t CO₂e = 1 voiture roulant pendant 9 000 km (aller-retour Halifax-Vancouver).

Figure 3.1
Émissions annuelles de GES en lien avec l'application d'herbicides pour certaines cultures du secteur maraîcher (en kg CO₂e/ha/an)^{[71][63]}



spécialisation des cultures, le passage de la machinerie agricole et le manque de rotation entraînent une diminution de la matière organique et, par conséquent, une dégradation de la structure du sol^[67]. Sans apport d'engrais organiques ou de résidus de culture au sol, le bilan humique est souvent négatif, ce qui signifie des pertes annuelles de carbone par les sols^[67].

Réduire la dépendance des fermes maraîchères aux intrants est possible et assure divers gains à l'entreprise. L'adoption de bonnes pratiques du travail du sol et de gestion des cultures (rotation, cultures de couverture et utilisation réduite des produits phytosanitaires) peut aussi aider les fermes maraîchères à réduire leurs impacts sur les changements climatiques. En effet, plusieurs pratiques s'accompagnent de nombreux effets positifs, comme la réduction du ruissellement et de l'érosion des sols, l'augmentation de la biodiversité en milieu agricole, une gestion facilitée des ennemis de culture, l'amélioration de la santé des sols et de la qualité de l'eau^[38].

Quant au secteur serricole plus spécifiquement, la vente des produits serricoles canadiens (fruits et légumes) a connu une croissance de 5,5 % entre 2010 et 2011, pour atteindre des revenus de 1,1 G\$^[71]. Pour ces entreprises serricoles, compte tenu de la rigueur du climat québécois, les dépenses énergétiques associées au chauffage sont importantes. Ainsi, 93 % des producteurs chauffent leurs serres^[3]. De fait, les dépenses totales des entreprises serricoles en combustible s'élevaient à plus de 10 M\$ en 2011^[71]. Principalement constituée de combustibles fossiles, l'énergie destinée à des fins de chauffage émet une quantité non négligeable de gaz à effet de serre (GES). Ainsi, assurer l'efficacité énergétique des serres relativement au chauffage, de même qu'à l'éclairage et à la ventilation, représente une stratégie essentielle afin de diminuer l'impact du secteur maraîcher serricole sur les émissions de GES.

Dans le contexte où la concentration en GES dans l'atmosphère augmente, où le prix des énergies fossiles fluctue, où la détérioration de l'environnement se poursuit à un rythme inquiétant et où la dégradation des écosystèmes affecte la santé humaine, la transition de l'agriculture industrielle moderne vers une agriculture productive respectant l'environnement devient un impératif. Du geste simple aux solutions les plus complexes de régie agricole, chaque action contribue à bâtir une agriculture durable et un environnement sain.



© CCDMD, Le Québec en images, Sarah Donikian



© Fotolia sur Microsoft.com



AUGMENTER LA MATIÈRE ORGANIQUE DES SOLS

La perte de matière organique a été identifiée comme une cause majeure de dégradation des terres^{[1][75]}. La préservation de cette matière est donc primordiale pour assurer la pérennité d'une ressource aussi précieuse que les sols agricoles.

Dans les sols agricoles, les principaux apports de matière organique proviennent de la biomasse racinaire, des résidus de culture et des amendements (fumiers, compost). La matière organique est un élément important en culture maraîchère, car elle améliore la fertilité des sols, en plus d'accumuler du carbone. La matière organique contient de nombreux éléments nutritifs essentiels à la croissance des cultures, comme l'azote et le phosphore. Grâce aux micro-organismes présents dans le sol, la matière organique est minéralisée, c'est-à-dire transformée en éléments minéraux de base directement disponibles pour les plantes. Un sol comportant plus de 5 % de matière organique peut fournir de 60 à 120 kg d'azote aux cultures^[60]. Depuis, longtemps, la matière organique est reconnue pour améliorer la structure du sol en favorisant la stabilisation des agrégats du sol. Par la présence de matière organique, le sol acquiert une meilleure porosité et améliore sa capacité à emmagasiner l'eau, condition gagnante pour un sol productif et en santé.

La capacité des sols à accumuler du carbone par le biais de la matière organique stable est un facteur important dans la lutte aux changements climatiques^[31]. Depuis le début de l'agriculture sédentaire, la majorité des sols agricoles ont perdu entre 25 et 75 % de leur contenu en matière organique originelle^[46]. Au Québec, 78 % des superficies agricoles subissent de fortes pertes en carbone organique, soit plus de 90 kg de carbone organique par hectare, et ce par année^[26]. En restituant de la matière organique aux sols, il est estimé que cela pourrait réduire de 50 à 100 ppm la concentration de carbone atmosphérique (qui est actuellement de 393 ppm), ce d'ici les 100 prochaines années^{[46][62]}.

ASSURER UNE ROTATION DES CULTURES

La rotation des cultures consiste à alterner les cultures de champs au fil des ans, de façon à ce qu'elles se succèdent dans un ordre planifié^[59]. Les rotations de culture permettent notamment^{[21][61]} de :

- Maximiser l'utilisation de la réserve nutritive du sol par les racines.
- Briser le cycle des maladies.
- Stimuler l'activité biologique des sols.
- Contribuer au maintien de la matière organique.
- Favoriser le développement d'une bonne structure des sols.
- Fixer l'azote atmosphérique de manière symbiotique (si des légumineuses sont utilisées).
- Faciliter la gestion des épandages d'engrais de ferme.

De plus, l'introduction de plusieurs espèces végétales dans un système de rotation des cultures permet une meilleure gestion des risques de résistance aux produits phytosanitaires, tout en permettant une augmentation substantielle des rendements, sans accroître la facture d'intrants^{[64][69][74][78]}. Par exemple, en comparaison avec la culture de pommes de terre en continu, la culture de pomme de terre en rotation incluant des engrais verts a permis d'augmenter de 40 % le rendement commercialisable de la pomme de terre^[61].



© Sxc.hu, Christa Richert



UTILISER DES ENGRAIS VERTS ET DES CULTURES DE COUVERTURE

Les engrais verts (cultures de couverture, cultures pièges ou cultures intercalaires) ont pour rôle de couvrir le sol, de le nourrir et de diminuer l'érosion hydrique et éolienne. Ils ne sont pas destinés à être récoltés, mais plutôt à être enfouis ou laissés sur le sol dans le but de le conserver ou d'en améliorer la qualité.

Les engrais verts proviennent de différentes familles botaniques : graminées (avoine, seigle), crucifères (moutarde, radis), légumineuses (trèfles, vesces), etc. Les légumineuses se distinguent des autres engrais verts par le fait qu'elles ont la capacité, grâce à une association symbiotique avec la bactérie *Rhizobium*, de fixer l'azote atmosphérique, l'incorporant ainsi au sol. En production maraîchère, l'orge, l'avoine, le sarrasin et la moutarde blanche sont généralement les espèces les plus utilisées^[32]. Étonnamment, le secteur maraîcher québécois utilise encore très peu les engrais verts en rotation de culture^[32]. Il existe donc un potentiel intéressant de réduction des émissions de GES des fermes maraîchères par l'intégration des engrais verts à la rotation des cultures.

Pour plus de détails, consultez l'outil **4, Les grandes cultures**, section **Augmenter la séquestration du carbone**, sous-section **Cultiver des engrais verts (page 4)** et l'outil **5, L'agriculture biologique**, section **Gérer les sols, les cultures et les élevages**, sous-section **Fertiliser naturellement : Cultiver des engrais verts et des légumineuses (page 4)**.

Dans une rotation, les engrais verts permettent d'apporter de la matière organique au sol, laquelle, lors de sa minéralisation, libérera des éléments nutritifs. De plus, une partie de la matière organique évolue vers des composés stables (humus) et permet l'accumulation du carbone dans les sols. Dans un sol minéral, de nombreux facteurs influencent l'apport de matière organique par les engrais verts : le type de sol, les conditions climatiques, le travail du sol et le rendement en biomasse des engrais verts^[22]. À titre d'exemple, un engrais vert d'avoine implanté à l'automne aurait le potentiel d'accumuler du carbone pour l'équivalent de 300 kg CO₂e^{[22][43]}. De plus, les engrais verts diminuent l'érosion éolienne et hydrique que subissent les sols, car ils les couvrent et les retiennent par leurs racines. Or, les sols en culture maraîchère sont particulièrement vulnérables à l'érosion éolienne^{[53][58]}. L'ensablement des cours d'eau ou le dépôt de sol en bas de pente, deux raisons pouvant retarder la levée des plantes, sont des exemples d'effets néfastes de cette érosion du sol^[55]. Ainsi, l'orge peut être planté comme culture intercalaire en même temps que la culture principale. La culture d'orge est ensuite détruite lorsqu'elle atteint une hauteur de 10 à 15 cm^[53].



© CCDMD, Le Québec en images, Régis Fournier

FERTILISER DANS LE BUT DE FAVORISER L'APPORT DE MATIÈRE ORGANIQUE

Les amendements organiques améliorent la fertilité du sol, favorisent l'activité biologique et fournissent une part non négligeable de matière organique au sol et d'éléments minéraux aux plantes. Divers amendements organiques peuvent être utilisés en production maraîchère, dont les fumiers bien décomposés et les composts. Les composts sont généralement très riches en composés humiques stables, alors que les fumiers contiennent des quantités variables de matière organique, selon leur composition et leur maturité^[22]. Pour une quantité équivalente, les composts et les fumiers bien décomposés apporteront plus de matière organique que les fumiers jeunes et peu décomposés.

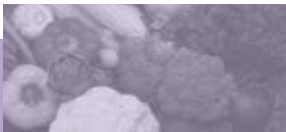
Les engrais organiques sont essentiellement des sources de carbone issues des végétaux. Au Québec, la teneur en matière organique des sols maraîchers varie selon les régions. Un échantillonnage effectué par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) ainsi que par la compagnie Agri-Direct, entre 1995 et 2011 a montré que les sols maraîchers québécois possédaient une teneur en matière organique variant de 3,8 % (Montérégie-Ouest) à 6,7 % (Saguenay-Lac-Saint-Jean), pour une moyenne de 4,9 %^[32]. Certains échantillons de sols se sont même classés sous la barre des 2 % de matière organique. Comme le démontre le **tableau 3.1**, à chaque pourcentage de matière organique correspond une capacité spécifique d'accumulation du carbone.



© CCDMD, Le Québec en images, Sophie Leclerc

Tableau 3.1
Capacité d'accumulation du carbone selon le pourcentage de matière organique

Pourcentage de matière organique d'un sol minéral typique (%)	Capacité d'accumulation du carbone (t CO ₂ e/ha), en fonction d'une profondeur de culture de 17 cm (équivalent à la profondeur de travail de sol)
2	95
3	143
4	191
5	238
6	286



Une meilleure gestion des engrais de fermes et des fertilisants synthétiques permet d'améliorer l'efficacité de la ferme, génère des économies et réduit également les émissions de GES associées aux pertes de nutriments. En effet, l'équilibre nutritif du sol est un élément à maîtriser pour assurer de bons rendements tout en limitant les risques de pollution (eau, air, sol). Sommairement, il consiste à établir une balance entre les prélèvements ou les pertes (récolte, érosion, lessivage, volatilisation) et les apports (minéralisation, fixation symbiotique, engrais et déposition atmosphérique par la pluie). Il existe de nombreux moyens afin de maintenir l'équilibre nutritif des sols tout en minimisant le recours aux fertilisants synthétiques, lesquels génèrent des émissions de GES importantes lors de leur production et de leur transport.

Récemment, la consommation mondiale d'engrais azotés synthétiques a dépassé le cap des 100 millions de tonnes d'azote^{[28][30]}.



© CCDMD, Le Québec en images, Catherine Viens



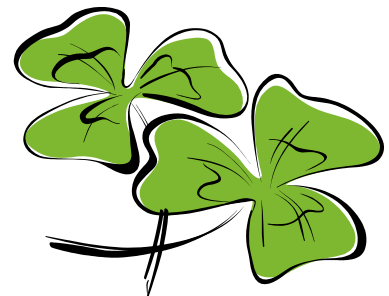
UTILISER DES ENGRAIS VERTS

La fertilité des sols peut être maintenue ou améliorée par des engrais organiques, des composts et des légumineuses. L'azote apporté par les cultures de légumineuses est une meilleure source en termes de respect des écosystèmes, de consommation d'énergie et de sécurité alimentaire que les sources synthétiques d'azote^[24]. L'apport d'azote par les légumineuses permet de réduire l'épandage d'engrais minéraux ou de fumiers. Rappelons que la fabrication et le transport d'engrais synthétiques émettent beaucoup de GES, soit 3,7 kg CO₂e pour chaque kilogramme d'engrais azoté^[70]. De plus, les engrais verts peuvent capter l'azote résiduel laissé par la culture

principale, et ainsi en minimiser la perte. Par conséquent, cet azote est maintenu dans le système agricole et les émissions indirectes de protoxyde d'azote (N₂O) qui auraient été associées à sa perte sont évitées. Les engrais verts améliorent donc la qualité des sols, notamment leur structure. Par exemple, l'ajout d'engrais verts à la culture de pomme de terre permet d'augmenter la productivité de cette culture de près de 40%, les engrais verts stimulant la croissance et l'absorption de l'azote par les pommes de terre^[61]. Par ailleurs, les engrais verts ont permis de conserver 39% plus d'azote résiduel que la culture de pomme de terre en continu^[61]. Il y aurait d'ailleurs moins de pertes associées à l'azote d'origine organique qu'à celui d'origine minérale^[37]. Donc un engrais vert se dégradant causerait moins de pertes de N₂O qu'un engrais minéral.

Les engrais verts présentent aussi des avantages économiques et écologiques pour les agriculteurs. Par exemple, l'utilisation d'un engrais vert en culture de couverture, semé après la récolte de céréale, représenterait une économie de 29 \$/ha lorsque la fertilisation est ajustée en fonction des apports en minéraux^[23]. En effectuant la mise à jour de la valeur économique des éléments fertilisants, les engrais verts généreraient un bénéfice de près de 70 \$/ha^{[22][40]}. De plus, l'amélioration des propriétés physiques du sol par les engrais verts permet aussi d'augmenter de 3 à 10% le rendement de la culture suivante^[23].

Pour plus de détails, consultez l'outil **4, Les grandes cultures**, section **Augmenter la séquestration du carbone**, sous-section Cultiver des engrais verts (**page 4**); et l'outil **5, L'agriculture biologique**, section **Gérer les sols, les cultures et les élevages**, sous-section Fertiliser naturellement: Cultiver des engrais verts et des légumineuses (**page 4**).



UTILISER DES PRODUITS CHAULANTS

Les produits chaulants sont utilisés pour corriger l'acidité des sols agricoles. Il existe une multitude de produits pouvant être utilisés pour neutraliser le pH des sols, dont les pierres à chaux naturelles, les cendres de bois, les poussières des fours à cimenterie, les boues de chaux, la chaux hydratée^[22]. Les cendres de bois récupérées dans les scieries et les papeteries et se substituant à la pierre à chaux naturelle constituent une option économique et intéressante, car elles émettent moins de GES lors de leur fabrication que la pierre à chaux naturelle. En effet, pour obtenir une pierre à chaux suffisamment fine, un broyage mécanique énergivore est nécessaire. Lorsque le broyage est réalisé à l'aide de pétrole, il émet 1,3 t CO₂e par tonne de pierre à chaux^[47]. De plus, la réaction entre les cendres de bois et le sol ne dégage pas de CO₂ comparativement à la pierre à chaux. En effet, lorsque les pierres à chaux sont appliquées au sol, les carbonates qu'elles contiennent réagissent chimiquement à l'acidité du sol et libèrent du CO₂. Inversement, les cendres de bois ne dégagent pas de CO₂, car l'alcalinité des cendres implique des hydroxydes plutôt que des carbonates. Les émissions ainsi évitées sont estimées à 0,45 t de CO₂e par tonne de chaux^[39].

Pour plus de détails, consultez l'outil **4, Les grandes cultures**, section **Réduire les doses d'engrais minéraux**, sous-section Exploiter les matières résiduelles fertilisantes : les cendres de bois (**page 6**).



© CCDMD, Le Québec en images, Gilbert Fontaine



© CCDMD, Le Québec en images, Martin Guérin



RÉDUIRE L'UTILISATION DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES

Au Québec, les sols sous-cultures maraîchères sont fortement soumises à l'utilisation des produits phytosanitaires. Les pesticides sont largement utilisés pour protéger les cultures des insectes, des mauvaises herbes, des acariens, des champignons, des parasites, etc. Les quantités appliquées sont de 2 à 12 fois plus élevées que pour les grandes cultures^[44]. Des concentrations élevées de pesticides ont été retrouvées dans des cours d'eau qui drainent des zones de cultures maraîchères au Québec. Au total, 36 pesticides et produits de dégradation ont été identifiés dans les cours d'eau, et ce à des concentrations dépassant même les critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique^[36].

L'analyse du cycle de vie des pesticides montre que leur utilisation émet de fortes quantités de GES. En effet, la production et l'utilisation d'un kilogramme de matière active de pesticide (tous pesticides confondus) génère en moyenne 25,5 kg CO₂e^[7]. Dans une production comme le céleri, cela peut représenter 92 kg CO₂e à l'hectare, uniquement pour les herbicides^{[7][63]}.

Outre la réduction des émissions de GES, la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires procure des bénéfices importants pour l'environnement et la société, tels que la protection de la biodiversité et de la santé des agriculteurs.

ASSURER UNE ROTATION DES CULTURES

Une rotation bien planifiée favorise la lutte contre les ennemis des cultures. Les études démontrent clairement que la rotation des cultures est une méthode efficace pour contrer les effets néfastes des insectes ravageurs^{[8][10][65]}. Par exemple, près de la rivière Bécancour, une expérience a démontré que le nombre de doryphores capturés était moins élevé dans le bloc de pommes de terre qui suivait une culture de céréales en rotation^[10]. Pour améliorer le système de rotation et tenter de réduire le doryphore de la pomme de terre, il est suggéré d'allonger la période sans pommes de terre dans la rotation^[10]. La rotation de culture permet aussi d'obtenir des résultats probants pour les cultures maraîchères en sols organiques. En effet, une rotation de culture de trois ans (carottes-oignons-orge) a permis de diminuer la quantité de mauvaises herbes et de nématodes, et d'augmenter les rendements de la culture des carottes de 35 à 50 %^[52]. Une autre recherche a montré qu'une rotation (1:1) de la pomme de terre avec le millet perlé équivalait, en terme d'efficacité, à la fumigation du sol pratiquée par certains producteurs^[8]. La rotation de cultures fait partie des stratégies permettant de lutter contre les mauvaises herbes et de réduire l'utilisation d'herbicides^[51].

En diminuant la pression des ravageurs et des mauvaises herbes sur les cultures, l'utilisation de produits phytosanitaires peut être réduite, ainsi que les émissions de GES associées à leur fabrication et leur transport.



PROCÉDER À UNE LUTTE INTÉGRÉE

La lutte intégrée est définie comme : « l'application rationnelle d'une combinaison de mesures biologiques, biotechnologiques, chimiques, physiques, culturelles ou faisant intervenir la sélection des végétaux, dans laquelle l'emploi de produits chimiques phytopharmaceutiques est limité au strict nécessaire pour maintenir la présence des organismes nuisibles en dessous du seuil à partir duquel apparaissent des dommages ou une perte économiquement inacceptables »^[17]. **La lutte intégrée utilise le dépistage des ravageurs et des maladies afin de déterminer si des traitements phytosanitaires sont nécessaires.**

Le dépistage renseigne donc sur le niveau d'infestation d'une culture et justifie, ou non, l'application de pesticides. Ainsi, la lutte intégrée peut diminuer le recours à l'application de produits phytosanitaires et, par conséquent, les émissions de GES causées par la fabrication et le transport de ces produits. Au Québec, la lutte biologique est principalement utilisée en serriculture. En 2000, elle a été utilisée sur 76 % de la surface cultivée de légumes de serre, seule ou combinée avec la lutte chimique conventionnelle^[49]. Dans la culture de la carotte et du poivron, certains prédateurs et parasites des pucerons (coccinelles, chrysopes, *amphidoletes*) réduisent la pression qu'exercent ces derniers sur les cultures^[66]. De plus, pour la culture de l'oignon, la libération de mouches stériles, qui consiste à dissiper des millions de mouches mâles stériles lors de la période de l'accouplement, permet de limiter les populations de mouches de l'oignon^[66]. La lutte intégrée inclut également de nombreuses pratiques de gestion des cultures et de moyens de prévention. Par exemple, dans la culture des carottes, ces moyens sont^[66] :

- Éviter de cultiver des carottes dans les zones considérées à risque ou à proximité du panais et des carottes sauvages.
- Éviter de cultiver aux endroits où une infestation a été observée l'année précédente.
- Récolter les champs à risque élevé au mois de septembre afin de réduire les pertes.
- Intégrer une rotation de culture diversifiée.
- Réaliser des semis uniformes et aérés.
- Effectuer un bon contrôle des mauvaises herbes.
- Conserver un bon espacement entre les rangs, selon les cultures.

Pour plus de détails, consultez l'outil **5, L'agriculture biologique**, section **Gérer les organismes nuisibles** (page 6).



© CCDMD, Le Québec en images, Frédéric Arseanault

UTILISER DES PAILLIS

Les paillis plastiques sont des pellicules de polyéthylène qui permettent le contrôle des mauvaises herbes, la conservation de l'eau dans le sol, ainsi que l'augmentation de la température du sol^[80], donc la réduction de l'utilisation des herbicides. Comme le démontre le [tableau 3.2](#), la fabrication, le transport et la gestion « post-consommation » du plastique sont des procédés qui utilisent de grandes quantités d'énergie et génèrent d'importantes émissions de GES. Depuis plusieurs années, le paillis biodégradable à base de maïs constitue une solution de remplacement intéressante au paillis de plastique conventionnel. Sa performance équivaut à celle d'un paillis plastique. Toutefois, son coût est généralement plus élevé^[76] et le paillis biodégradable est moins résistant aux déchirures, ce qui nécessite une attention particulière lors de son installation.

Pour plus de détails, consultez l'outil [5, L'agriculture biologique](#), section **Fertiliser naturellement**, sous-section Appliquer la technique du paillis (page 4).



© CCDMD, Le Québec en images, Denis Chabot

Tableau 3.2
Émissions de GES selon le cycle de vie du polyéthylène basse densité^{[5][27]}

Préconsommation		Post-consommation	
Type de plastique	Émissions (t CO ₂ e/t plastique)	Type de gestion	Émissions (t CO ₂ e/t plastique)
Plastique neuf	1,9	Enfouissement	0,004
Plastique recyclé à 100 %	0,02	Incinération sans production d'électricité	3,08
Plastique recyclé à 100 %	0,02	Incinération avec production électrique	2,98

PROCÉDER À UN DÉSHERBAGE MÉCANIQUE

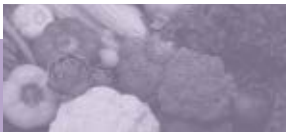
Le désherbage mécanique est un moyen efficace pour lutter contre les mauvaises herbes. Initialement utilisé pour pallier la pénurie d'herbicides efficaces et homologués dans plusieurs cultures maraîchères, le désherbage mécanique est maintenant un incontournable qui s'insère dans une stratégie globale de lutte intégrée^[11]. Par exemple, entre 1982 et 1993, les producteurs d'oignons et de carottes produisant en sols organiques ont dû augmenter le nombre d'applications d'herbicides et dépendent du sarclage mécanique ou manuel pour maintenir des niveaux d'infestation acceptables^[11]. Ainsi, l'utilisation du sarclage mécanique procure plusieurs avantages^{[13][21]}:

- Diminution des coûts de production.
- Diminution de l'utilisation des herbicides.
- Prévention du développement de la résistance aux herbicides.
- Augmentation de l'efficacité de la régie phytosanitaire.
- Ameublissement du sol.

L'emploi d'équipement de sarclage émet des GES reliés à la consommation de carburant. Toutefois, ces émissions sont balancées par les émissions qu'aurait engendrées le passage d'un pulvérisateur de pesticides, ainsi que la fabrication et le transport de ces pesticides. Par exemple, dans le cas d'une culture de carotte de 1 hectare, un sarclage mécanique (lequel permet de ne pas appliquer d'herbicides) éviterait l'émission de 32 kg CO₂e^{[7][50][63]}.



© CCDMD, Le Québec en images, Séléna Bergeron



RÉDUIRE LE TRAVAIL DU SOL

UTILISER DES PLANCHES PERMANENTES

L'utilisation de planches permanentes est une technique où les passages de la machinerie se font toujours aux mêmes endroits, année après année. Outre la gestion raisonnée de la compaction, cette méthode offre plusieurs avantages en termes d'émission de GES, tels qu'énumérés au [tableau 3.3](#). Diminuer la compaction est un objectif crucial pour obtenir de bons rendements et limiter les émissions de N₂O. En effet, pour la culture de pommes de terre, la surface compactée par les machineries représente environ le sixième de la superficie de culture et génère près de 68% des émissions de N₂O^[73]. Ainsi, l'utilisation des planches permanentes réduit les émissions de N₂O de 20 à 50% par rapport à un système de culture conventionnel où le passage de la machinerie se fait de manière aléatoire^[77].



© CCDMD, Le Québec en images, Nathalie Brunelle

Tableau 3.3
Exemple de réduction des émissions de GES provenant de l'implantation d'un système de culture basé sur des planches permanentes^{[18][45][73][80]}

Zones de champs	Effet	Impact	Conséquence sur les GES
Allées non cultivées	↑ Compaction (augmente la portance des sols)	Permet de hâter le travail au champ le printemps	Négligeable (théorique)
		Facilite l'implantation des cultures et le sarclage mécanique	Négligeable (théorique)
		↓ Oxygénation du sol	↑ Émissions de N ₂ O du sol
Planches cultivées	↓ Compaction (augmente la porosité du sol)	↑ Rendement des légumes racines (4 à 15%)	↓ Émissions de GES par kilogramme de produits (pratique)
		↓ Énergie nécessaire au travail du sol (15 à 50%)	↓ Émissions de CO ₂ issus des combustibles fossiles (pratique)
		↑ Oxygénation du sol	↓ Émissions de N ₂ O du sol
		↑ Capacité de ressuyage des sols	↓ Émissions de N ₂ O du sol (théorique)
		↑ Efficacité des engrais	↓ Émissions de N ₂ O du sol (théorique)



DÉPLOYER DES ÉCRANS THERMIQUES

Les écrans thermiques sont composés de divers matériaux posés au-dessus des plantations, déployés le soir au coucher du soleil et repliés le matin au lever du soleil. Ces écrans conservent la chaleur dans la serre durant la nuit en réfléchissant la chaleur dégagée par les plantes et les objets.

Les écrans thermiques permettent à la fois une économie de coûts de chauffage et un apport d'ombrage. Ils possèdent un fort potentiel de réduction de la consommation énergétique de la ferme^[15]. En période froide, les écrans thermiques limitent le volume d'air à chauffer grâce à leur effet de faux plafond. Ils sont particulièrement efficaces pour les serres dont la hauteur sous les chéneaux est importante^[68]. En été, en apportant de l'ombre, les écrans thermiques protègent les cultures d'une chaleur trop intense. Aussi, les écrans thermiques permettent de réduire les variations de température, quelle que soit la saison et quelle que soit la force du vent à l'extérieur. En effet, dans une serre sans écran thermique, plus l'intensité du vent extérieur est importante, plus les pertes de chaleur sont élevées.

De manière générale, les écrans thermiques assurent une économie d'énergie de l'ordre de 25 %^[19]. Dans le cas d'une serre de 2 000 m², l'installation d'écrans thermiques a permis l'économie de plus de 27 000 litres d'huile par an^[12], soit des émissions de GES évitées d'environ 74 t CO₂e par an^[74].



© CCDMD, Le Québec en images, Denis Chabot

UTILISER DES SOLS CHAUFFÉS ET DES MATELAS CHAUFFANTS

L'optimisation de l'efficacité du chauffage en serriculture peut également passer par l'emploi de planchers chauffants, de tapis chauffants ou de nouveaux matelas capillaires chauffants, lesquels intègrent des tuyaux d'irrigation racinaire et de chauffage.

Ces technologies sont relativement récentes et diminuent les coûts de chauffage de manière variable, selon le type de production. Par exemple, pour une culture de poivrons, des matelas chauffants ont permis la réduction de 15 % de la quantité totale d'énergie sans éclairage artificiel, et de 22 % avec éclairage artificiel. Combinée à un éclairage par lampes au sodium à haute pression, avec température ambiante chaude, la réduction de la consommation d'énergie atteint 50 % par rapport à un chauffage au gaz uniquement^[4].

AMÉLIORER L'ÉCLAIRAGE

Les diodes électroluminescentes (DEL) sont maintenant utilisées dans plusieurs dispositifs électroniques (télévisions, ordinateurs, écrans) et aussi comme source d'éclairage. Le principal avantage des DEL est le rendement lumineux, c'est-à-dire qu'ils transforment une très grande partie de l'énergie électrique en longueurs d'onde qui se situent dans le visible.

Ainsi, les DEL procurent un haut rendement lumineux et diminuent les pertes de chaleur comparativement aux autres types d'éclairage (lumières à incandescence, à haute pression au sodium [HPS], halogènes, etc.). L'utilisation des DEL en production serricole pourrait donc s'avérer une solution d'avenir comme source d'éclairage artificiel. En effet, une étude a démontré que leur usage en production de transplants de poivrons permettait d'améliorer le rendement de 6 % tout en diminuant la facture d'énergie (diminution de plus de 2,5 fois la quantité d'électricité nécessaire à l'éclairage, en comparaison avec un système de lumière à HPS)^[20]. Bien que les applications réelles des DEL comme source d'éclairage en serriculture soient encore au stade expérimental, Serres du Saint-Laurent inc. expérimente actuellement ce système dans des conditions de production réelle^[48].



CHAUFFER À LA BIOMASSE

La biomasse, utilisée comme source d'énergie pour la combustion réfère à l'ensemble des matières organiques non fossiles provenant de sources biologiques (végétales, animales, fongiques, microbiennes) (FAO, 2012). Remplaçant des énergies fossiles, la biomasse constitue une source d'énergie renouvelable et bon marché^[14].

Pour le chauffage des serres, la biomasse provient principalement de sources agricoles ou forestières et peut remplacer les combustibles fossiles, de plus en plus onéreux sur les plans financier et écologique. Présentement, la biomasse est la troisième source d'énergie la plus utilisée pour les serres québécoises, après le gaz naturel et le mazout. Le mazout léger et le gaz naturel combinent environ 60 % des besoins énergétiques^[14]. D'un point de vue économique, la transition vers un système utilisant de la biomasse est rentable, puisque le retour sur l'investissement se situe entre 4 et 5 ans^[14]. Sur le plan des émissions de GES, la biomasse est considérée comme une source d'énergie au cycle presque nul, car le carbone émis lors de la combustion équivaut à la quantité de carbone accumulée par la biomasse lors de sa croissance. Ce cycle court du carbone n'est donc pas considéré comme un élément participant à l'augmentation de la concentration de CO₂ atmosphérique^[35]. Comme démontré à la figure 3.2, dans une serre typique de 2000 m², le remplacement des énergies fossiles par la biomasse réduit considérablement l'empreinte carbone des serres.

Au moment de la combustion, les émissions brutes à la cheminée reliées à la combustion de la biomasse ne sont pas considérées comme nulles. Toutefois, le carbone émis lors de la combustion est accumulé de nouveau par la biomasse en croissance. Ainsi, la « dette en carbone » représente la durée au cours de laquelle le carbone n'a pas été totalement réaccumulé dans la biomasse. Le choix de la matière première (copeaux, résidus de scierie, bûche, etc.), le type de combustible fossile remplacé et l'efficacité de la chaudière sont des facteurs qui influenceront la « dette en carbone », cette dernière variant de quelques années à plusieurs décennies.

Les émissions de GES calculées à la figure 3.2 proviennent uniquement des pouvoirs calorifiques inférieurs (PCI) des combustibles, c'est-à-dire des émissions engendrées lors de leur combustion. Or, ces émissions ne constituent qu'une partie des émissions qu'engendrent les énergies non renouvelables. En effet, avant même de pouvoir être consommé, chaque combustible nécessite de l'énergie afin d'être récolté ou extrait, transformé, raffiné, transporté, entreposé, etc. Ainsi, le rapport entre l'énergie extraite du combustible et l'énergie investie pour les diverses opérations varie de 35:1 à 14:1 pour la biomasse et de 5:1 à 3:1 pour les combustibles fossiles comme le mazout et l'essence^{[6][34][41][57]}. Autrement dit, sur le plan énergétique, la biomasse détient un net avantage sur les énergies non renouvelables.

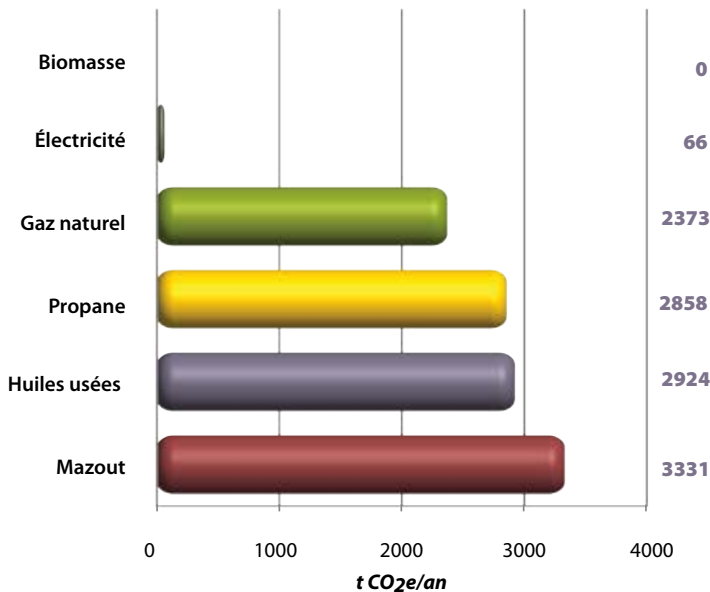


ENRICHIIR LES SERRES AU CARBONE

L'enrichissement carboné est une pratique qui consiste à augmenter la concentration de CO₂ à l'intérieur des serres afin de stimuler la croissance des végétaux.

Actuellement, la concentration moyenne de l'air en CO₂ est d'environ 393 ppm^[62]. En théorie, c'est la concentration qui devrait être retrouvée dans une serre bien ventilée. Or, la réalité est tout autre, et la concentration mesurée dans une serre peut varier grandement. Durant la période d'obscurité, lors de la respiration des plantes, la concentration de CO₂ va normalement grimper, pour ensuite descendre lors de la période de clarté grâce à la photosynthèse. À titre d'exemple, la concentration peut atteindre 600 ppm durant une nuit fraîche sans vent et redescendre à aussi peu que 200 ppm au cours d'une journée ensoleillée^[79]. La technique de l'enrichissement carboné permet de rehausser la concentration en CO₂ jusqu'à une teneur optimale qui varie selon le type de plante, le stade de croissance, la température, la ventilation, l'intensité lumineuse, la rentabilité de culture, etc.^[54]. De manière générale, il existe deux façons d'enrichir l'air ambiant des serres : par l'entremise de CO₂ liquide ou par la combustion de combustibles fossiles comme le propane et le gaz naturel. Du point de vue des émissions de GES, utiliser les combustibles fossiles pour enrichir l'air des serres lorsque ces combustibles sont aussi utilisés comme source de chauffage demeure intéressant. En effet, l'enrichissement carboné à partir des gaz de combustion des systèmes de chauffage permet d'utiliser une ressource, le CO₂, qui aurait été autrement rejetée dans l'atmosphère. Ainsi, dans une serre moyenne de 3800 m² cultivant la tomate, l'enrichissement carboné permet d'éviter l'émission de près de 7 t CO₂ par année^{[25][54]}.

Figure 3.2
Émissions de GES selon le type de combustible utilisé pour le chauffage d'une serre typique^{[12][2]}



COMMENT RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE GES SUR UNE FERME MARAÎCHÈRE ?

POTENTIEL DE RÉDUCTION ÉVALUÉ POUR UNE FERME TYPE

La ferme typique en production maraîchère cultive 15 hectares en cultures maraîchères et 3 hectares en engrais verts.

Stratégie	Pratique suggérée	Potentiel de réduction des GES	Exemple de réduction
Augmenter la matière organique du sol	Planter des engrais verts afin de favoriser l'augmentation de la matière organique des sols ^{[22][43]}	↓ 300 kg de CO ₂ e par hectare d'avoine	↓ 0,9t de CO ₂ e
	Fertiliser les cultures avec des engrais riches en matière organique ^[22]	↓ 300 kg CO ₂ e par an par tonne de compost ↓ 80 kg CO ₂ e par an par tonne de fumier peu décomposé ↓ 265 kg CO ₂ e par an par tonne de fumier bien décomposé	↓ Variable
Réduire les intrants	Planter des engrais verts afin de diminuer la fertilisation de l'année suivante ^{[23][70]}	↓ 50 kg de CO ₂ e par tonne de matière sèche (engrais verts)	↓ Peut représenter l'équivalent de 300 kg CO ₂ e
	Remplacer la pierre à chaux naturelle par des cendres de bois ^[39]	↓ 1,75 t CO ₂ e par tonne de chaux remplacée	↓ Variable
Réduire les produits phytosanitaires	Réduire les traitements de pesticide dans les champs par des rotations de culture, de la lutte intégrée, du désherbage mécanique ^{[7][50][63]}	↓ 25,5 kg CO ₂ e par kilogramme de matière active	↓ 480 kg CO ₂ e (pour une culture de carotte)



© CCDMD, Le Québec en images, Sarah Donikian

Cet outil fait partie d'une série de 5 outils publiés dans le cadre du projet *Favoriser l'adoption de pratiques de gestion bénéfiques pouvant réduire le bilan de GES de cinq secteurs agricoles au Québec* <http://www.naturequebec.org/agriculture-et-climat>

© Nature Québec, novembre 2012



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Programme de lutte contre les gaz à effet de
serre en agriculture (PLEGSA)



Nature Québec
sensible à tous les milieux



DES PRATIQUES AGRICOLES EFFICACES, UN IMPACT BÉNÉFIQUE SUR LE CLIMAT

[1] ACTON, D. F. et L. J. GREGORICH (éditeurs), 1995. *La santé de nos sols : vers une agriculture durable au Canada*. Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques. Direction générale de la recherche, Agriculture et agroalimentaire Canada, Ottawa. Publication 1906/F. 138 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
http://sis.agr.gc.ca/siscan/publications/manuals/1995-1906/Sante_de_nos_sols.pdf

[2] AEE (Agence de l'efficacité énergétique), 2009. « Facteurs d'émission et de conversion : calcul des émissions de GES ». 1 p. [En ligne, consulté le 22 mars 2012].
http://www.aee.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/facteurs_emission.pdf

[3] AGECO, 2007. *Portrait et priorités du secteur maraîcher québécois*. Rapport final présenté à la Fédération des producteurs maraîchers du Québec (FPMQ). 39 p.
http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/Portrait_secteurmaraicher.pdf

[4] AGECO, 2006. *Innovations technologiques visant l'efficacité énergétique et l'utilisation de sources d'énergies alternatives*. Rapport 2 réalisé pour l'Union des producteurs agricoles (UPA), 100 p. [En ligne, consulté le 20 février 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Documentation%20Innovation%20technologique_%20Efficaciteenergetique_%20Rapport%20Final%20VoletI_%20FINAL_%2021%2011%202007.pdf

[5] AKIYAME, M., T. TSUGE and Y. DOI, 2003. "Environmental Life Cycle Comparison of Polyhydroxyalkanoates Produced from Renewable Carbon Resources by Bacterial Fermentation". *Polymer Degradation and Stability*, vol. 80, p. 183-194.

[6] ARB (Air Resource Board), 2009. *Detailed California-Modified GREET Pathway for Ultra Low Sulfur Diesel (ULSD) from Average Crude Refined in California*. Stationary Source Division. Preliminary draft version. 48 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/011209lcfs_ulsd.pdf

[7] AUDSLEY, E., K. STACEY, D.J. PARSONS and A.G. WILLIAMS, 2009. *Estimation of the Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Pesticide Manufacture and Use*. Cranfield University, Bedford. 20 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/3913/1/Estimation_of_the_greenhouse_gas_emissions_from_agricultural_pesticide_manufacture_and_use-2009.pdf

[8] BÉLAIR, G. et M.F. CLÉMENT, 2004. « Le millet perlé et les nématodes ». *ZOOM pomme de terre*, mars 2004, p. 15-20. [En ligne, consulté le 15 juin 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/documents/MilletPerlePPlus.pdf>

[9] BÉLANGER G., 2008. *L'industrie des intrants agricoles en chiffres, édition 2007*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 15 p.
<http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs1764253>

[10] BÉLANGER, B., 2003. « La lutte au doryphore de la pomme de terre et la rotation en blocs ». *Agrosol* 14 (1), p. 47-53. [En ligne, consulté le 20 février 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/pdt/documents/LysterRotationBloc.pdf>

[11] BENOÎT, D.L., 2004. *Impact du désherbage mécanique sur les patrons d'émergence des mauvaises herbes*. 27 p. [En ligne, consulté le 15 juin 2012].
http://www.organiccentre.ca/DOCs/ResearchPapers/res_impact_desherbage.pdf

[12] BOUDREAU, J.M., 2006. *La situation du chauffage en serre au Québec*. Présentation de l'Institut de technologie agroalimentaire (ITA). 23 diapositives. [En ligne, consulté le 15 juin 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Jean-MarcBoudreau.pdf>

[13] BOWMAN, G. (editor), 2002. *Steel in the Field: A Farmer's Guide to Weed Tools*. Sustainable Agriculture Network. 128 p. [En ligne, consulté le 15 juin 2012].
<http://www.sare.org/publications/steel/steel.pdf>

[14] CADOTTE, G., 2011. *Survol de l'utilisation de la biomasse pour le chauffage de serre*. Présentation du CIDES (Centre d'information et de développement expérimental en serriculture). 27 diapositives. [En ligne, consulté le 8 juin 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/15h%20Gilles%20Cadotte.pdf>

[15] CADOTTE, G., M. GIROUARD et G. PROULX-GOBEIL, 2011. « Démonstration des économies d'énergie liées à l'installation d'écrans thermiques en serriculture et effet du vent sur le besoin de chauffe ». *La Maîtrise de l'énergie*, été 2011, p. 21-23.

[16] CAEEDAC (Canadian Agricultural Energy End-Use Data and Analysis Centre), 2000. *Direct Energy Use in Agriculture and the Food Sector, Separation by Farm Type and Location*. A Report to Natural Resources Canada (NRCan). Final Report. 49 p. [En ligne, consulté le 8 juin 2012].
<http://www.usask.ca/agriculture/caedac/pubs/Food.pdf>

[17] CEE (Communauté économique européenne), 1991. « Directive 91/414/CEE du Conseil, du 15 juillet 1991, concernant la mise en marché des produits phytopharmaceutiques », *Journal officiel* L 230, p. 0001-0032. [En ligne, consulté le 8 juin 2012].
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0414:fr:HTML>

[18] CHAMEN, W.C.T., G.D. VERMEULEN, D.J. CAMPBELL and C. SOMMER, 1992. "Reduction of Traffic-Induced Soil Compaction: a Synthesis", *Soil and Tillage Research*, vol. 24, p. 303-318.

[19] CIDES (Centre d'information et de développement expérimental en serriculture), 2010. *Démonstration des économies d'énergie liées à l'installation d'écrans thermiques en serriculture*. 133 p. [En ligne, consulté le 8 juin 2012].
http://www.cides.qc.ca/rapports/ingenierie/Rapport_ecrans_thermiques_Version_Finale.pdf

[20] CIDES (Centre d'information et de développement expérimental en serriculture), 2009. *Essais d'éclairage d'appoint DEL versus HPS pour la production de transplants de poivron*. 135 p. [En ligne, consulté le 8 juin 2012]. <http://www.cides.qc.ca/rapports/ingenierie/Rapport-DEL-HPS-Final-2009.pdf>

[21] CPVQ (Conseil des productions végétales du Québec), 2000. *Guide des pratiques de conservation en grandes cultures*. 500 p. [En ligne, consulté le 24 août 2012]. <http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Le%20semis%20direct.pdf>

[22] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2010. *Guide de référence en fertilisation*. 2^e édition. Québec, Commission chimie et de fertilité des sols du CRAAQ. 473 p.

[23] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2004. *Avantages économiques des engrais verts*. AGDEX 537/810. 4 p. [En ligne, consulté le 25 avril 2012]. <http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Engrais%20verts.PDF>

[24] CREWS, T. E. and M. B. PEOPLES, 2004. "Legume Versus Fertilizer Sources of Nitrogen: Ecological Tradeoffs and Human Needs". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 102 (3), p. 279-297.

[25] DUGAL, A., S. YELLE et A. Gosselin, 1990. « Influence de l'enrichissement carboné et son mode de distribution sur l'évolution des échanges gazeux de la tomate de serre ». *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 70, p. 345-356. [En ligne, consulté le 8 juin 2012]. <http://pubs.aic.ca/doi/pdfplus/10.4141/cjps90-041>

[26] ELLERS, W., R. MACKAY, L. GRAHAM et A. LEFEBVRE (éditeurs), 2010. *L'agriculture écologiquement durable au Canada. Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, Agriculture et Agroalimentaire Canada*. Rapport no 3, 252 p. [En ligne, consulté le 15 juin 2012]. http://www4.agr.gc.ca/resources/prod/doc/prog/pdf/asca-aedc_rep2010_fra.pdf

[27] EPA (United States Environmental Protection Agency), 2010. "Plastics". *EPA's Waste Reduction Model (WARM)*. 9 p. [En ligne, consulté le 8 juin 2012]. <http://www.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/plastics-chapter10-28-10.pdf>

[28] ERISMAN, J.W., M.A. SUTTON, J. GALLOWAY *et al.*, 2008. "How a Century of Ammonia Synthesis Changed the World". *Nature Geoscience*, vol. 1 (10), p. 636-639.

[29] FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation de l'agriculture), 2012. « Bioénergies, opinions de la FAO sur la bioénergie ». [En ligne, consulté le 5 septembre 2012]. <http://www.fao.org/bioenergy/47280/fr/>

[30] FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation de l'agriculture), 2012. « Ressources > Engrais ». [En ligne, consulté le 15 juin 2012]. http://faostat3.fao.org/home/index_fr.html?locale=fr#VISUALIZE_BY_DOMAIN

[31] FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), 2009. *Permettre à l'agriculture de contribuer à l'atténuation de changement climatique*. 13 p. [En ligne, consulté le 5 septembre 2012]. <http://unfccc.int/resource/docs/2008/smsn/igo/036.pdf>

[32] FPMQ (Fédération des producteurs maraîchers du Québec) et CDAQ (Conseil pour le développement de l'agriculture au Québec), 2006. *Inventaire des problématiques environnementales spécifiques au secteur maraîcher québécois*. Rapport final. 80 p. [En ligne, consulté le 15 juin 2012]. http://www.caaaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/Memoires%20nationales%20Montreal/06-M-Federation_producteurs_maraichers_Qc_Annexe3.pdf

[33] FRICK, B. et E. JOHNSON, non daté. « La rotation des cultures en agriculture biologique ». Série *À contre-courant*. Centre d'agriculture biologique du Canada. [En ligne, consulté le 19 avril 2012]. http://www.organicagcentre.ca/Extension/ext_weed_rotations_f.asp

[34] GAUTAM, S., R. PULKKI, C. SHAHI and M. LEITCH, 2010. "Economic and Energy Efficiency of Salvaging Biomass from Wildfire Burnt Areas for Bioenergy Production in Northwestern Ontario: A Case Study". *Biomass and Bioenergy*, vol. 34, p. 1562-1572.

[35] GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2006. « Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ». Volume 4: *Agriculture, foresterie et autres affectations des terres*. [En ligne, consulté le 26 mars 2012]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/vol4.html>

[36] GIROUX, I. et J. FORTIN, 2010. *Pesticides dans l'eau de surface d'une zone maraîchère : ruisseau Gibeault-Delisle dans les « terres noires » du bassin versant de la rivière Châteauguay de 2005 à 2007*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement et Université Laval, Département des sols et de génie agroalimentaire, 28 p. [En ligne, consulté le 15 juin 2012]. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/pesticides/maraichere/pesticides-eau-maraicher.pdf

[37] GREGORICH, E.G., P. ROCHETTE, A.J. VANDENBYGAART and D.A. ANGERS, 2005. "Greenhouse Gas Contributions of Agricultural Soils and Potential Mitigation Practices in Eastern Canada". *Soil and Tillage Research*, vol. 83, p. 53-72.

[38] GRIFFON, M., 2010. *Pour des agricultures écologiquement intensives*. France, Édition de l'Aube, 112 p.

[39] HÉBERT, M. et B. BRETON, 2008. « Recyclage agricole des cendres de bois au Québec. État de la situation, impacts et bonnes pratiques agro-environnementales ». *Agrosolutions. Ressources*, vol. 19 (2), p.18-33. [En ligne, consulté le 8 mai 2012]. http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/174.pdf http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/174.pdf

[40] HOUDE, W., 2012. Communication personnelle. William Houde ltée, agro-fouritures, Saint-Simon, Québec.



RÉFÉRENCES (SUITE)

- [41] IES (Institute for Environmental Sustainability), 2008. "Description and Detailed Energy and GHG Balance of Individual Pathways". *Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context WELL-to-TANK Report Version 3.0* November 2008, Appendix 2, European Commission Joint Research Centre. 51 p. [En ligne, consulté le 15 juin 2012]. <http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTT%20App%202%20v30%20181108.pdf>
- [42] ISQ (Institut de la statistique du Québec), 2011. *Profil sectoriel de l'industrie bioalimentaire du Québec, édition 2010*. ISQ et ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 128 p. [En ligne, consulté le 15 juin 2012]. http://www.stat.gouv.qc.ca/publications/ind_bioalimentaire/pdf/profil_bio_2010.pdf
- [43] JOBIN, P. et Y. DOUVILLE, non daté. *Engrais verts et cultures intercalaires*. CDA (Centre de développement d'agrobiologie). 19 p. [En ligne, consulté le 15 mai 2012]. http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Engvert_couleur_basse.pdf
- [44] KARASIRA, S. et E. GRIGNON, 2011. «Élaboration du plan d'action pour le projet pilote en Montérégie Ouest visant à réduire l'impact et l'utilisation des pesticides dans les zones intensives de production légumière». *Les journées horticoles. Terres noires*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 30 p. [En ligne, consulté le 15 juin 2012]. http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/Monteregie-Ouest/Journees_horticoles_2011/8_decembre_2011/Cahier_conference_Terres_%20noires_JHR2011.pdf
- [45] LA FRANCE, D., M. LEBLANC, P.A. GILBERT et coll., 2012. *Mise au point d'un système de travail minimum du sol avec planches permanentes en culture maraîchère biologique projet*. Projet 08-BIO-41. Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité (CETAB+), 17 p. [En ligne, consulté le 15 juin 2012]. <http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Rapport%20final%20-%20planches%20permanentes%20-%2008-BIO-41.pdf>
- [46] LAL, R., 2010. "Depletion and Restoration of Carbon in the Pedosphere". *Pedologist*, p. 19-32. [En ligne, consulté le 27 août 2012]. http://pedology.ac.affrc.go.jp/special/SI53_3/sepPDF/002_LAL.pdf
- [47] LAL, R., 2004. "Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security". *Science*, vol. 304, p. 1623-1627. [En ligne, consulté le 27 août 2012]. http://epsc413.wustl.edu/Lal2004_Science.pdf
- [48] LALIBERTÉ, J.F. et G. CADOTTE, 2011. «Comment l'éclairage à diodes électroluminescentes peut-il venir en aide aux producteurs en serre». *Écho-serre*, vol. 2 (5), 2011. [En ligne, consulté le 18 juin 2012]. <http://www.agrireseau.qc.ca/legumesdeserre/documents/%C3%89choSerreVol2No5.pdf>
- [49] LAMBERT, L., 2000. *Situation de la lutte biologique et intégrée au Québec*. Colloque sur la lutte intégrée en serre produire, fleurir et nourrir avec la lutte biologique et intégrée en serre. Organisé par le CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec). 10 p. [En ligne, consulté le 18 juin 2012]. <http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-serre/documents/Liette%20situation%20lbio%20quebec%20coll%202000%20Agrir%C3%A9seau.pdf>
- [50] LAZARUS, W.F., 2009. *Machinery Costs Estimates*. University of Minnesota, 13 p. [En ligne, consulté le 18 juin 2012]. <http://www.extension.umn.edu/distribution/businessmanagement/df6696.pdf>
- [51] LÉGÈRE, A., 2001. *Grandeurs et misères malherbologiques associées aux pratiques culturales de conservation*. Colloque en agroenvironnement L'agriculture et l'environnement en harmonie. IRDA-CRAAQ. p. 1-8.
- [52] Leroux, G.D., D.L. Benoît et S. BANVILLE, 1996. "Effect of Crop Rotations on Weed Control, Bidens Cernua and Erigeron Canadensis Populations, and Carrot Yields in Organic Soils". *Crop Protection*, vol. 15 (2), p. 171-178.
- [53] MAAARO (ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario), 2008. «Mesures d'urgence pour réduire l'érosion éolienne». *Carnet horticole*. [En ligne, consulté le 19 juin 2012]. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/hort/news/hortmatt/2008/05hrt08a1.htm>
- [54] MAAARO (ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario), 2002. «Le gaz carbonique dans les serres». Fiche technique. [En ligne, consulté le 19 juin 2012]. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/00-078.htm>
- [55] MAAARO (ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario), 1989. «L'érosion du sol : causes et effets». Fiche technique. [En ligne, consulté le 19 juin 2012]. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/89-064.htm>
- [56] MAPAQ (ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec), 2005. *L'horticulture en bref... au Québec, Portrait statistique 2004*. Direction des études économiques et d'appui aux filières. 47 p. [En ligne, consulté le 18 juin 2012]. <http://www.agrireseau.qc.ca/legumeschamp/documents/Horticultureenbrefleg2004.pdf>
- [57] MCKECHNIE, J., S. COLOMBO, J. CHEN and W. MAB, 2010. "Forest Bioenergy or Forest Carbon? Assessing Trade-Offs in Greenhouse Gas Mitigation with Wood-Based Fuels". *Environmental Science and Technology*, vol. 45 (2), p. 789-795.
- [58] MIRZA, C. and R.W. IRWIN, 1964. "Determination of Subsidence of an Organic Soil in Southern Ontario". *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 44 (2), p. 248-253. [En ligne, consulté le 27 août 2012]. <http://pubs.aic.ca/doi/pdf/10.4141/cjss64-035>
- [59] NAULT, J., 1998. *Plan agro-environnemental de fertilisation (PEAF II : l'élaboration d'un PAEF (815-PAF-02))*. Centre collégial de formation à distance. Collège de Rosemont, Montréal. 162 p.



RÉFÉRENCES (SUITE)

- [60] N'DAYEGAMIYE, A., 2007. « Le travail du sol : une importante régie agricole ». *Le producteur de lait québécois*, octobre 2007, p. 39-42. [En ligne, consulté le 27 août 2012].
http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/129.pdf
- [61] N'DAYEGAMIYE, A., J. NYIRANEZA, M. LAVERDIÈRE et coll., 2010. *Bénéfices des engrais verts d'été et d'automne pour la production de pomme de terre*. Rapport de recherche 2007-2009. 34 p. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/241.pdf
- [62] NOAA (National Office of Oceanic and Atmospheric Research), 2012. "Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, Recent Global CO₂". [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>
- [63] OMAFRA (Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2011. "Publication 75: Guide to Weed Control 2012-2013. Chapter 13: Vegetable Crops". [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://www.omafr.gov.on.ca/english/crops/pub75/chapter13.htm>
- [64] OMAFRA (Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2009. *Agronomy Guide for Field Crops*. Publication 811. [En ligne, consulté le 24 octobre 2012].
www.omafr.gov.on.ca/english/crops/pub811/p811toc.html
- [65] OTRYSKO, B. et F. PAGÉ, 2001. « Effets d'apports de bois rameaux fragmentés (BRF) et d'un compost combinés à des rotations avec des engrais verts sur les rendements en pomme de terre et l'incidence de la gale ». *Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). Agrosol*, vol. 12 (2) p. 108-117. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
http://www.irda.qc.ca/_documents/_publications/1/36_fr.pdf
- [66] PRISME (Le Consortium), 2012. « Fiches techniques sur les insectes, nématodes et limaces ». [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://www.prisme.ca/insectesf.asp>
- [67] QUENUM, M., M. GIROUX et R. ROYER, 2004. « Étude sur le bilan humique des sols dans des systèmes culturaux sous prairies et sous cultures commerciales selon les modes de fertilisation ». *Agrosol*, vol. 15 (2), p. 57-71. [En ligne, consulté le 18 juin 2012].
http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/67.pdf
- [68] RÉSEAU RÉAGRI, 2006. *Isolation des productions chauffées*. 6 p. [En ligne, consulté le 5 septembre 2012].
<http://www.cra-lorraine.fr/fichiers/energie-isolationserrebatiment.pdf>
- [69] RIEDELL, W., T. SCHUMACHER, S. CLAY et al., 1998. "Corn and Soil Fertility Responses to Crop Rotation with low, medium, or high Inputs". *Crop Science*, vol. 38 (2), p. 427-433.
- [70] SCCC (Soil Conservation Council of Canada), 2001. *Global Warming and Agriculture: Fossil Fuel Use*, vol. 1 (3), 2 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
<http://soilcc.ca/downloads/factsheets/Factsheet%203%20-fossil%20fuel.pdf>
- [71] STATISTIQUE CANADA, 2011. *Les industries des cultures de serre, des gazonnières et des pépinières*. 34 p. [En ligne, consulté le 18 juin 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-arbresdenoel/documents/22-202-x2011000-fra.pdf>
- [72] STATISTIQUE CANADA, 2009. « Section 2. Une vision agricole de sept recensements, Canada et provinces : années de recensement 1976 à 2006 ». [En ligne, consulté le 18 juin 2012].
<http://www.statcan.gc.ca/pub/95-632-x/2007000/t/4129742-fra.htm#24>
- [73] SCHILLING, R., H. STEINDL, F. BEESE et al., 1998. "Soil Compaction and Fertilization Effects on Nitrous Oxide and Methane Fluxes in Potato Fields". *Soil Science Society of America Journal*, vol. 62 (6), p. 1587-1595.
- [74] SINGER, J.W., and W.J. COX, 1998. "Corn Growth and Yield under Different Crop Rotation, Tillage, and Management Systems". *Crop Science*, vol. 38 (4), p. 996-1003.
- [75] TABI, M., L. TARDIF, D. CARRIER et coll., 1990. *Inventaire des problèmes de dégradation des sols du Québec*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agroalimentaire, 71 p. [En ligne, consulté le 18 juin 2012].
http://www.irda.qc.ca/_ftbFiles/documents%20sur%20les%20sols/RAP_SYNT.pdf
- [76] URBAIN, L., 2010. « Place au paillis biodégradable ! ». [En ligne, consulté le 18 juin 2012].
<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/chaudiereappalaches/journalvisionagricole/2009octobre/Pages/paillis.aspx>
- [77] VERMEULEN, G.D. and J. MOSQUERA, 2009. "Soil, Crop and Emission Responses to Seasonal-Controlled Traffic in Organic Vegetable Farming on Loam Soil". *Soil and Tillage Research*, vol. 102 (1), p. 126-134.
- [78] VYN, T.J., J.G. FABER, K.J. JANOVICEK, et E.G. BEAUCHAMP, 2000. "Cover Crop Effects on Nitrogen Availability to Corn Following Wheat". *Agronomy Journal*, vol. 92 (5), p. 915-924.
- [79] WACQUANT, C., 1995. *Maîtrise de la conduite climatique tomate sous serre et abris en sol*. CTIFL, France, 127 p.
- [80] WEILL, A. et J. DUVAL, 2009. *Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée*. Préparé par Bio-Action. Équiterre. [En ligne, consulté le 18 juin 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/references/9/MARAI_table_des_materieres.pdf



© Sxc.hu, Christa Richert

LES GRANDES CULTURES

DES PRATIQUES AGRICOLES EFFICACES,
UN IMPACT BÉNÉFIQUE SUR LE CLIMAT

GRANDES CULTURES ET GAZ À EFFET DE SERRE

Au Québec, 880 000 ha du territoire sont cultivés, dont 717 000 ha en céréales^[18]. Depuis plusieurs années, le maïs-grain, cultivé sur 357 000 ha, domine les céréales, tandis le soya, cultivé sur 300 000 ha, domine les oléagineux et protéagineux^[60]. Les entreprises québécoises spécialisées en production de céréales et d'oléagineux se caractérisent par une grande diversité de leurs pratiques culturales^[1].

En 2009, l'agriculture était responsable de l'émission de 6,45 Mt CO₂e, soit 7,9% des émissions de gaz à effet de serre (GES) du Québec^[42]. Parmi celles-ci, 2,86 Mt CO₂e étaient émises par la gestion des sols agricoles (soit 44%), ce secteur ayant connu une augmentation de ses émissions de 9% depuis 1990^[42].

Le CO₂e (dioxyde de carbone équivalent) est une expression servant à comparer les potentiels de réchauffement des différents GES, par rapport au gaz de référence, le CO₂.

1 tonne de CO₂e = 1 voiture roulant pendant 9 000 km (aller-retour Halifax-Vancouver).

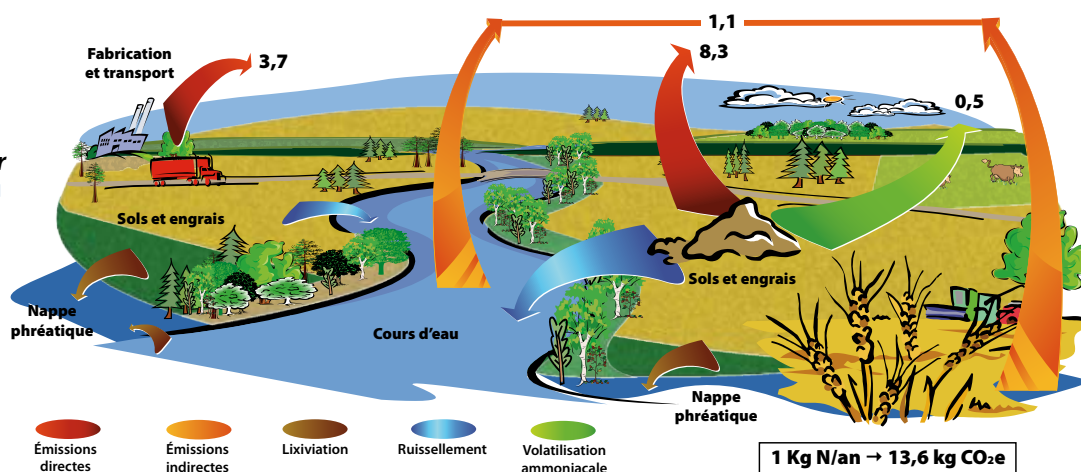


© Shutterstock.com

Par ailleurs, si l'ensemble du secteur agricole offre un potentiel intéressant de réduction des émissions de GES et d'accumulation du carbone dans les sols et la biomasse végétale, les productions en grandes cultures jouent un rôle particulièrement important dans l'actualisation de ce potentiel. En effet, une bonne gestion des sols et des rotations appropriées peuvent contribuer à capter le carbone atmosphérique dans la biomasse et dans les sols, donc diminuer les émissions de GES du secteur agricole tout en offrant à l'agriculteur de nombreux avantages : amélioration de la structure et de la fertilité des sols, diminution de l'érosion, etc.

Le secteur des grandes cultures engendre divers types de GES. Le dioxyde de carbone (CO₂) est émis par l'utilisation des combustibles fossiles (diesel, mazout, essence, etc.), la respiration des plantes et la décomposition de la matière organique du sol par les micro-organismes. Le protoxyde d'azote (N₂O) est un gaz émis lors des processus de nitrification-dénitrification. Comme illustré par la [figure 4.1](#), il est émis par l'excès d'azote minéral contenu dans le sol et est favorisé par un milieu faible en oxygène, comme les sols compactés et mal drainés. Quant au méthane (CH₄), il est émis en faible quantité par les sols humides, compacts et mal drainés.

Figure 4.1
Moyenne annuelle des émissions de GES (en kg CO₂e) émis par la fabrication, le transport et l'utilisation de 1 kg d'azote (N) sous forme d'engrais minéral. Estimé pour l'est du Canada, 2006-2008^{[1][28][56][58]}



Au Québec, en 2006, 88 000 t d'azote sous forme d'engrais minéral ont été épandues.



AUGMENTER LA SÉQUESTRATION DE CARBONE

Le secteur agricole possède un bon potentiel de captage du CO₂ atmosphérique dans la biomasse des plantes et dans le sol, réduisant d'autant la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. Certaines pratiques agricoles favorisent l'accumulation de carbone organique dans le sol. Ce carbone est le constituant principal de la matière organique du sol, laquelle joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des sols agricoles et représente un indicateur important de leur qualité.

Les pratiques qui permettent d'améliorer l'efficacité des entreprises en grandes cultures tout en réduisant les pertes de nutriments ou d'énergie sont aussi, bien souvent, des stratégies de réduction des émissions de GES. L'adoption de certaines de ces pratiques (ex : s'assurer de la bonne pression des pneus des tracteurs) peut permettre des économies et des réductions de GES immédiates, alors que d'autres pratiques (ex. : insertion d'une légumineuse dans la rotation, adoption de la lutte intégrée, etc.) nécessitent un réaménagement de la régie culturale. Cette planification peut être réalisée sur quelques années, avec l'aide d'un conseiller agricole.

Certaines pratiques rendent également les entreprises agricoles plus aptes à s'adapter aux changements climatiques, un enjeu de taille aujourd'hui. En effet, des sols plus fertiles et une dépendance réduite de la ferme aux ressources non renouvelables la rendent moins vulnérable aux changements climatiques. La réduction des émissions de GES est donc une occasion à ne pas laisser passer! Ce document présente différentes pratiques culturales qui permettent d'atteindre cet objectif.

Avant la 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^[3]. La mise en culture de ces sols a conduit à une perte de 20 à 30 % des stocks de carbone^[3]. Or, les deux principales causes de cette perte de carbone du sol sont l'érosion et l'inévitable minéralisation de la matière organique, l'érosion à elle seule pouvant provoquer une perte du sol de 1 à 10 t par hectare par an^[22]. **Le secteur agricole québécois dispose du potentiel nécessaire pour rehausser la matière organique des sols.** Des études menées au Québec et dans l'est du Canada confirment que l'adoption de pratiques de conservation des sols augmenterait les stocks de carbone dans ces sols^[3].



© CCDMD, Le Québec en images, Denis Chabot



ADOPTER LA ROTATION DES CULTURES

La rotation des cultures brise le cycle de vie de plusieurs maladies et insectes, permet de diversifier les moyens de lutte aux mauvaises herbes, augmente la biodiversité dans le sol, assure la répartition des racines dans le sol, apporte divers types d'éléments nutritifs au sol et retire les éléments minéraux du sol en proportions diverses^[12]. Bien planifiée, la rotation de culture offre donc de nombreux avantages.

La rotation de cultures permet également une augmentation moyenne des rendements par rapport à la monoculture^{[39][46][53][59][67]}. Les cultures en rotation génèrent également une augmentation du captage de carbone dans la matière organique du sol^[55]. Selon l'étude de Clark et collaborateurs^[15], au bout de huit ans, le carbone organique du sol était 23 % plus élevé dans un champ où une rotation de culture sur 4 ans en régie biologique avait été établie, en comparaison avec un plan de rotation sur 2 ans et l'application de pratiques conventionnelles.

La rotation peut aussi réduire les émissions de N₂O. En effet, la monoculture de maïs produit 60 % plus de N₂O que la rotation de culture de maïs-blé d'automne^[54]. De plus, le remplacement d'une culture exigeante en azote par une légumineuse diminuera l'utilisation d'engrais minéraux et les pertes d'azote. Par exemple, cultiver en monoculture 1/3 de maïs, 1/3 de soja et 1/3 de blé d'automne sans rotation produit plus de N₂O qu'effectuer une rotation de ces trois cultures sur une superficie équivalente. La rotation de cultures permet d'utiliser au maximum les éléments provenant de la décomposition de la matière organique du sol, tout en évitant de perdre l'azote sous forme de N₂O. L'utilisation d'engrais minéraux est donc moindre au bout d'une année de culture quand des légumineuses entrent dans la rotation.



CULTIVER DES ENGRAIS VERTS

Un engrais vert (ou culture de couverture) est une plante (ou un mélange de plantes) semée après ou pendant la croissance de la culture principale. Son objectif principal est de couvrir le sol et de le protéger contre l'érosion. Cette plante ne sera pas récoltée, mais plutôt retournée au sol dans le but d'en conserver ou d'en améliorer la qualité. Dans une rotation, l'engrais vert peut être :

- Une culture intercalaire semée entre les rangs, après le semis de la récolte principale, pendant sa saison de croissance ou peu avant sa récolte.
- Une culture en dérobée, semée après la récolte de la culture principale^[41].

Les cultures intercalaires désignent des plantes poussant dans le même champ que la culture vouée à la récolte, entre les rangs, et ce, au même moment, afin de favoriser une interaction bénéfique des plantes entre elles. Il s'agit, par exemple, d'une légumineuse cultivée avec du maïs^[11]. Cette technique s'avère efficace pour supprimer les mauvaises herbes, certaines cultures intercalaires produisant des substances dotées d'un effet allélopathique, lequel réduit la croissance des mauvaises herbes^[19]. Cette technique permet de mieux utiliser l'espace en production et d'assurer une couverture constante du sol, même après la récolte^[36]. Pour les céréales de printemps, le trèfle rouge demeure la culture intercalaire la plus populaire, le trèfle étant peu dispendieux, nuisant peu à la céréale et possédant une croissance relativement importante à l'automne, à la suite de la récolte de la céréale^[36]. Pour les céréales d'automne, le trèfle rouge, le trèfle incarnat et la vesce velue sont les espèces les plus appropriées^[36]. Enfin, pour les cultures de maïs (grains et ensilage), il est aussi possible d'utiliser des cultures intercalaires (trèfles, ray-grass, etc.), soit en semant l'intercalaire à la mi-saison (de la fin juin au début juillet), ou en début de saison, lors du semis^[36].

Plusieurs types d'engrais verts peuvent être utilisés : graminées, crucifères, légumineuses, etc. L'introduction d'engrais verts tels que les légumineuses ou les plantes pérennes augmente la quantité de carbone du sol, ces plantes retournant leur biomasse au sol^[34]. Ainsi inclus dans la rotation, les engrais verts deviennent une source de carbone. Par exemple, comparativement à une monoculture de maïs, après 35 ans de rotation incluant des légumineuses, le sol peut contenir 20 t de carbone de plus (73 t CO₂e) par hectare^[29]. De même, intégrer du trèfle rouge permet d'accumuler 470 kg CO₂e/ha dans une rotation de maïs-orge, et 150 kg CO₂e/ha dans une rotation maïs-blé^[45]. Selon ces deux études, l'ajout de fourrages (plus particulièrement de légumineuses) dans la rotation permet d'accumuler des quantités importantes (respectivement 1610 et 2750 kg CO₂e/ha) de CO₂e dans le sol^[12]. Enfouir la légumineuse apporte donc une bonne quantité de carbone au sol et réduit le bilan total des émissions de GES à la ferme.

Les légumineuses sont des engrais verts particulièrement intéressants, puisque, grâce à leur association avec la bactérie *Rhizobium*, elles ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique. Cet apport d'azote permet de réduire, voire d'éviter, l'épandage d'engrais minéraux ou de fumiers. L'azote ainsi fixé naturellement réduit les émissions de GES par rapport à l'utilisation d'engrais minéraux, ces derniers devant

être fabriqués et transportés. En effet, chaque kilogramme d'engrais azoté non produit permet d'éviter l'émission de 3,7 kg CO₂e générés lors de la fabrication et du transport^[12].

En plus de permettre la séquestration de carbone dans les sols, les engrais verts présentent un double avantage économique pour le producteur : diminution des coûts de fertilisants minéraux (grâce à la fixation ou au recyclage de l'azote) et augmentation des rendements (par l'amélioration des propriétés physiques du sol)^[6].

Ainsi, inclure des engrais verts dans la rotation des cultures représente un moyen efficace d'augmenter la séquestration de carbone dans le sol, tout en diminuant les besoins en apport d'engrais synthétiques lorsqu'il s'agit de légumineuses. Lorsque les engrais verts sont utilisés comme culture principale, les besoins en azote sont restreints et les émissions de N₂O atténuées.

Pour plus de détails, consultez l'outil **3, Le maraîcher**, section **Assurer une rotation des cultures**, sous-section **Utiliser des engrais verts et des cultures de couverture** (page 4), et l'outil **5, L'agriculture biologique**, section **Gérer les sols, les cultures et les élevages**, sous-section **Fertiliser naturellement : Utiliser des engrais verts et des légumineuses** (page 4).

UTILISER LES RÉSIDUS DE CULTURE ET DES PAILLIS

Une bonne gestion des résidus de récolte offre divers avantages : diminution de l'érosion du sol, augmentation de la biomasse microbienne, amélioration des conditions d'humidité du sol et du lit de semence grâce à l'ajout de matière organique^[17]. **Laisser les résidus de cultures au sol est une technique particulièrement bénéfique pour le travail réduit.** En effet, les résidus de cultures apportent des quantités non négligeables de matière organique aux sols^[27]. Les résidus ne doivent pas être déchiquetés, mais dispersés uniformément sur la surface du champ^[27]. Cette technique culturale permet de recycler les éléments minéraux, d'éviter les pertes d'azote par lessivage et d'économiser en engrais coûteux^[65].

Les effets positifs de l'usage des résidus de cultures pour séquestrer du carbone ont été mondialement estimés à environ 732 Mt CO₂ par an^[37]. En général, il existe un rapport direct entre la matière organique présente dans les quinze premiers centimètres du sol et la quantité de résidus de culture appliquée^[22]. Des cultures de rotation qui laissent d'importantes quantités des résidus peuvent même maintenir des bilans positifs de matière organique dans les sols cultivés^[48].

De plus, épandre des résidus de culture sous forme de paillis de foin ou de paille sur le sol, après la récolte, ajoute au sol de la matière organique, donc du carbone, tout en réduisant l'érosion et en ralentissant la décomposition de la matière organique. Cette solution peut être utile dans le cas des cultures pour lesquelles il est difficile d'établir une culture de couverture^[14].

OPTER POUR L'AGROFORESTERIE

L'agriculture et la foresterie sont les principaux, sinon les seuls secteurs, qui ont le potentiel d'accumuler le carbone de l'atmosphère. **L'agroforesterie est un système basé sur l'association d'arbres ou d'arbustes à des cultures ou à des élevages, et dont l'interaction permet de générer des bénéfices économiques, environnementaux et sociaux.** L'agroforesterie est l'une des solutions permettant de diminuer les émissions de GES en grandes cultures.

IMPLANTER DES ARBRES EN INTERCALAIRE

Cette forme d'agroforesterie est un exemple de système de cultures intercalaires et combine les cultures agricoles et la production d'arbres. Grâce à la croissance des arbres qui accumulent le CO₂ dans leur biomasse, ces systèmes permettent de séquestrer du carbone, tout en produisant des essences nobles, susceptibles d'être vendues par la suite. Ces systèmes offrent d'autres avantages : amélioration de la fertilité des sols, de la biodiversité et du paysage, création d'habitats et de microclimats favorables aux cultures, conservation de la qualité de l'eau, réduction des odeurs et des poussières, etc.

La quantité de carbone fixée dépend, entre autres, des variétés d'arbres utilisés. Par exemple, 1,5 ha d'une combinaison de frêne rouge et de peuplier hybride permet de capter 47 t CO₂e par an^[33].

PLANTER DES HAIES BRISE-VENT

Une haie brise-vent consiste en un alignement d'arbres ou d'arbustes dont le rôle principal est de protéger les cultures, les sols, les bâtiments, les animaux et les routes, des méfaits du vent. Or, parallèlement à cette fonction, les haies brise-vent sont également des puits de carbone efficace. En effet, par leur croissance, les arbres et arbustes qui composent la haie captent le CO₂ atmosphérique pour l'emmagasiner dans leur biomasse. La quantité de CO₂ séquestrée par les végétaux dépend de la biomasse produite, et cette dernière varie en fonction des espèces et de leur vitesse de croissance.

À titre indicatif, une haie de 3 rangées d'arbres de 1 km de long immobiliserait 1100 t CO₂e en 40 ans^[40], soit une moyenne de 9 t CO₂e par rangée par année. Les haies brise-vent offrent aussi d'autres bénéfices : protection des sols contre l'érosion éolienne, diminution des odeurs, ombrage pour le bétail, augmentation des rendements (par exemple : gain de 8 à 9 % pour le blé de printemps^[25], 12 % pour les fèves de soya^[5], 10 % pour le maïs^[5]), réduction des coûts de chauffage des bâtiments et des coûts de déneigement des chemins, embellissement du paysage, etc.^[12].

Les haies brise-vent sont rentables pour les entreprises céréalères, même en considérant les coûts de plantation et d'entretien, ainsi que les pertes en superficies de cultures^[33]. Un simulateur économique, valide pour l'est du Canada, disponible sur le site www.wbvecan.ca, permet aux conseillers agricoles d'évaluer les retombées économiques des haies brise-vent et des bandes riveraines. Ce simulateur indique également l'accumulation de carbone par les haies brise-vent.

Pour plus de détails, consultez l'outil **5, L'agriculture biologique**, section **Opter pour l'agroforesterie** (page 5).



RÉDUIRE LES DOSES D'ENGRAIS MINÉRAUX

La fabrication et le transport des engrais minéraux représentent une source importante d'émissions de GES. Or, comme chaque kilogramme d'engrais azoté non produit permet d'éviter l'émission de 3,7 kg CO₂e^[58], il est évident que réduire l'épandage d'engrais minéraux est une solution efficace pour réduire les émissions de GES à la ferme. Ainsi, en planifiant la fertilisation des cultures, il est possible de réduire ses émissions de GES.

UTILISER LES ENGRAIS VERTS

L'utilisation des engrais verts constitue une très bonne méthode pour réduire les doses d'engrais à épandre.

*Pour plus de détails, consultez dans ce document la section **Augmenter la séquestration du carbone**, sous-section Cultiver des engrais verts (page 4).*

OPTIMISER LES ENGRAIS DE FERME

Les fumiers et les lisiers sont des éléments clés de la fertilité des sols. Ces engrais de ferme sont constitués de la portion non digérée des aliments consommés par les animaux, donc de plus de 70% de minéraux contenus dans les aliments ingérés par les animaux^[63]. Le recyclage efficace des minéraux à la ferme permet à la fois de réduire les pertes environnementales et les coûts d'achat d'engrais minéraux, ce qui diminue d'autant les émissions de GES.

Il est possible de réduire les émissions de GES au niveau de l'entreposage et l'épandage des fumiers et lisiers.

*Pour plus de détails, consultez l'outil **1, Les ruminants**, section **Mieux gérer les fumiers** (page 6).*



© CCDMD, Le Québec en images, Denis Chabot



EXPLOITER LES MATIÈRES RÉSIDUELLES FERTILISANTES

Puisque le bilan total d'émission de GES doit inclure les émissions liées au transport des matières résiduelles fertilisantes (MRF), l'utilisation de la biomasse résiduelle fertilisante permet de diminuer les doses d'engrais minéraux à épandre, lesquels ne sont généralement pas de source locale, donc de diminuer les émissions de GES. Les MRF sont utilisées comme amendement organique ou comme apport de minéraux pour les sols sur lesquels ils sont épandus. L'utilisation de ces matières permet aussi et surtout d'éviter leur enfouissement, lequel génère des émissions de GES sous forme de CH₄. En 2007, environ 1 Mt de MRF a été épandu sur les sols agricoles du Québec, comparativement à 30 Mt de fumiers et de lisiers^[43]. En 2010, une quantité équivalente a également été épandue sur 2,2% du territoire agricole québécois^[32]. Les apports minéraux varient selon la nature de la MRF sélectionnée, tandis que le recyclage agricole des MRF s'effectue sous la supervision d'un agronome et en respectant un ensemble de normes et de règlements. *Il existe plusieurs types de MRF. Les biosolides papetiers et les biosolides municipaux, ou boues, sont les MRF les plus utilisées en agriculture, suivies des composts commerciaux et des cendres de bois^[32].*

LES BIOSOLIDES (OU BOUES D'ÉPURATION TRAITÉES)

Les biosolides sont des sous-produits du traitement des eaux usées provenant des municipalités et des usines papetières et agroalimentaires^[32]. Composés d'eau, de matière organique et de nutriments (azote et phosphore), ces biosolides doivent répondre à des critères de qualité pour que leur épandage soit autorisé. Tout comme les fumiers, les biosolides agissent en synergie avec les engrais minéraux^[17] et l'agriculteur doit tenir compte des caractéristiques des boues dans le calcul des quantités à épandre. Les nutriments apportés par les boues permettent donc de diminuer les apports d'engrais synthétiques, limitant d'autant l'émission de GES. Dans un projet réalisé en Mauricie, les biosolides papetiers épandus permettaient l'apport de 21,4 g d'azote par kilogramme de biosolide épandu. Les résultats de ce projet ont montré une augmentation des rendements pour le maïs-grain et pour le haricot sec, lorsque les applications étaient supérieures à 30 tonnes humides par hectare^[26]. Ainsi, c'est par la substitution de cette quantité d'azote issue des boues que l'agriculteur peut limiter son besoin en engrais synthétique et diminuer ses émissions de GES.



LES COMPOSTS

Le compostage est la biodégradation de la matière organique en une forme plus stable, les composés humiques. Le résultat obtenu est un produit riche en carbone, contenant peu d'agents pathogènes, et dont la masse et le volume sont considérablement réduits en raison du retrait de l'humidité^[13]. Les composts permettent d'augmenter la fertilité des sols. Leur utilisation comme matière fertilisante sur les terres agricoles du Québec est soumise à des exigences précises de qualité, selon leur concentration en métaux et en agents pathogènes, et selon leur degré de maturité. Aujourd'hui, 9 % des composts produits au Québec sont épandus sur des terres agricoles^[61].

Les **composts commerciaux** proviennent d'usines de compostage de résidus divers, dont les résidus putrescibles de collecte sélective (feuilles, gazon, résidus de cuisine), les boues et les résidus de bois^[32]. Quant aux composts de **fumier**, ils proviennent des fermes d'élevage. Le choix du type d'entreposage des déjections influence directement le niveau de GES émis. Une étude a montré que le compost en aération passive émet moins de N_2O et CH_4 que le fumier en tas, lui-même émettant moins de GES que le fumier liquide^[50]. Le compostage avec aération passive consiste à fournir de l'air au compost grâce à des tuyaux perforés directement enfouis dans l'andain et ouverts aux extrémités^[47]. Cette façon de faire élimine la nécessité de retourner l'andain et réduit les émissions de N_2O . Dans l'ensemble du Canada, l'utilisation du compost permettrait une réduction importante des émissions de GES : une réduction de 700 000 t CO_2e par an résulterait du compostage de tout le fumier de bovins qui est actuellement entreposé sous forme de lisier.

Pour plus de détails, consultez l'outil **1, Les ruminants**, section **Mieux gérer les fumiers**, sous-section *Traiter les déjections animales* (**page 9**); et l'outil **5, L'agriculture biologique**, section **Gérer les sols, les cultures et les élevages**, sous-section *Fertiliser naturellement : Entreposer et composter les fumiers* (**page 4**).



© Stockvault.net

LES CENDRES DE BOIS

Les cendres de bois représentent 60 % des amendements calcaïques et magnésiens épandus en terre agricole en 2010^[32]. Les cendres de bois ont toujours été utilisées pour fertiliser les sols, mais cette pratique s'est perdue vers les années 1930, à la suite de l'arrivée de produits alternatifs (chaux agricole, engrais). Depuis une quinzaine d'années, un regain d'intérêt se manifeste envers la valorisation des cendres pour la fertilisation, cette valorisation étant considérée comme une activité de recyclage. En effet, les cendres de bois figurent parmi les engrais les plus efficaces et les moins dispendieux pouvant être utilisés. Elles permettent de corriger l'acidité du sol et d'atteindre rapidement le pH cible en vue d'atteindre de bons rendements des cultures. Elles servent également de fertilisation sur la base des besoins en phosphore et potassium^[31]. Comme les cendres de bois sont dépourvues d'azote, elles sont particulièrement appropriées dans les systèmes biologiques, où l'apport en azote dépend des cultures de légumineuses^[31].

Actuellement, les cendres de bois sont une ressource largement disponible au Québec. Deux-tiers d'entre elles proviennent des fabriques de pâtes et papier et un tiers des usines de cogénération d'énergie et des scieries^[31]. En effet, 300 000 t de cendres sont produites par an et, en 2007, la moitié était recyclée en matière fertilisante, dont 80 000 t pour usages agricoles sur 250 fermes^[31].

En se substituant à la chaux agricole et aux engrais, les cendres permettent de réduire les émissions de GES. En effet, la chaux agricole est issue du broyage fin de la chaux des carrières, un broyage qui consomme une grande quantité d'énergie. Si cette énergie provient du pétrole, le broyage d'une tonne de chaux émet 1,3 t CO_2e ^[31]. De plus, la chaux agricole utilisée au Canada engendre une réaction chimique qui libère du CO_2 : 1 t de chaux agricole émet 0,45 t CO_2e au niveau du sol, alors que l'épandage de cendre n'en émet pas^[31]. Ainsi, l'épandage d'une dose normale de cendres, soit 8 t/ha, évite la consommation de 5 t de chaux agricole, évitant l'émission de 2,3 t CO_2e /ha^[31]. En plus de réduire les émissions de GES, les cendres sont un système de fertilisation peu coûteux (de 0 à 17 \$/tonne, livraison incluse, en moyenne), qui peut donc représenter d'importantes économies pour un agriculteur.

L'utilisation de cendres de bois offre d'autres avantages : augmentation des rendements par rapport à l'utilisation de la chaux agricole, structuration des sols, correction de leur acidité, cette acidité étant considérée comme une forme de dégradation des sols^[31], disponibilité plus rapide pour les racines des plantes déjà établies, réduction de la phytotoxicité résiduelle liée aux herbicides dans le sol pour la culture suivante, etc. Afin d'optimiser tous ces avantages, les sols doivent au préalable être analysés et les doses agronomiques prescrites doivent être respectées. D'autant plus que la qualité des cendres varie d'une usine à l'autre, selon le type de bois brûlé, le mode de combustion et l'ajout d'eau. Depuis les années 1990, des critères et des normes d'utilisation ont d'ailleurs été établis et révisés par le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP).

Pour plus de détails, consultez l'outil **3, Le maraîcher**, section **Réduire les intrants**, sous-section *Utiliser des produits chaulants* (**page 6**).



ADOPTER DE BONNES PRATIQUES

Plusieurs bonnes pratiques concernant l'épandage d'engrais peuvent être adoptées afin d'optimiser l'efficacité des engrais et ainsi réduire les émissions des GES :

- Limiter les doses aux quantités recommandées par le *Guide de référence en fertilisation*^[17].
- Respecter la portance du champ afin d'éviter les dommages à la structure du sol. Dans les cultures de maïs, le compactage créé par les travaux au printemps engendre des émissions de N₂O beaucoup plus importantes (jusqu'à 3 fois plus) que dans les parcelles n'ayant pas subi de compactage^[55].
- Limiter la volatilisation, donc les pertes d'azote, lors de l'épandage des fumiers et lisiers. Pour cela :
 - Utiliser un équipement qui ne pulvérise pas le lisier en fines gouttelettes, mais qui permette de le déposer près du sol. Les rampes d'épandage permettent de réduire de 25 % la dérive des lisiers, en comparaison avec l'aéroaspersion basse^[66]. Elles permettent donc de réduire les émissions indirectes de N₂O de près de 8 %^[28] et d'obtenir un épandage plus égal pour de meilleurs rendements.

- Réduire le temps d'exposition du fumier à l'air en incorporant les lisiers le plus tôt possible et près de la surface^[55]. Un lisier laissé à la surface du sol perdra en moyenne 50% de son azote ammoniacal dans les quatre premières heures suivant son application^[57]. Si le lisier est incorporé dans les 24 premières heures suivant l'épandage, les émissions indirectes de N₂O sont réduites d'environ 10%, comparativement à un épandage sans incorporation. Encore mieux, lorsque le lisier est incorporé simultanément à l'épandage, les émissions indirectes de N₂O sont réduites de 20%.
- Incorporer au bon moment. Par exemple, l'épandage de lisier de porc durant l'automne peut s'avérer moins dommageable en matière d'émissions de N₂O que l'épandage de la même dose au printemps^[55].

Pour plus de détails, consultez l'outil **1, Les ruminants**, section **Mieux gérer les fumiers (page 6)**.



© SXC.hu, Fernando Weberrich



RÉDUIRE L'UTILISATION DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES

Le secteur des productions végétales agricoles consomme 79,1 % des pesticides vendus au Québec, soit 2 591 t d'ingrédients actifs^[62]. Au niveau mondial, la production des pesticides émet jusqu'à 140 Mt CO₂e par an de GES^[7]. Depuis 1992, la quantité d'ingrédients actifs vendus a diminué de 8,5 % au Québec, tandis qu'elle a continué d'augmenter de 23,6 % au Canada^[30]. Or, réduire les quantités de pesticides épandus permettrait de réduire les émissions de GES du secteur agricole. En effet, l'analyse de cycle de vie des pesticides démontre que leur utilisation émet de fortes quantités de GES, puisque la production et l'utilisation d'un kilogramme de pesticide (tous pesticides confondus) génèrent en moyenne 25,5 kg CO₂e^[4]. Pour limiter cela, plusieurs techniques culturales existent, dont la lutte intégrée et la lutte biologique.



© CCDMD, Le Québec en images, Jean-Guy Béliveau

La **lutte intégrée**, ou gestion intégrée des ennemis des cultures contre les ravageurs, est un système qui associe différentes formes de lutte biologique, mécanique, culturale et chimique, tout en minimisant l'usage des pesticides de synthèse. Par exemple, le sarclage mécanique permet de réduire en moyenne de 50 % l'usage des herbicides^[16]. En diminuant les quantités de pesticides épandus, la lutte intégrée permet de réduire les émissions de GES, puisque pour chaque litre de pesticide non pulvérisé, ce sont autant de produits phytosanitaires qui n'ont pas besoin d'être produits ni transportés, chacune de ces étapes étant émettrice de GES.

La **lutte biologique** consiste à utiliser un ennemi naturel, un auxiliaire de culture, pour contrôler la population de ravageurs dans les champs. Ces auxiliaires de culture sont des organismes vivants, utiles à l'agriculture par leur action régulatrice des populations d'organismes nuisibles. Par exemple, il existe de nombreux ennemis naturels des pucerons du soya (coccinelles, larves de mouches, punaises, champignons, etc.). Différentes études réalisées en cages ou au champ ont montré que l'impact des ennemis naturels pouvait réduire l'utilisation des insecticides de 25 à 43 %^[35]. Ainsi, l'un des plus importants ravageurs des cultures du Québec est la pyrale du maïs, un papillon dont les chenilles dévorent les épis de maïs^[38]. Il est possible de lutter de manière biologique contre ce ravageur grâce à de minuscules guêpes, les trichogrammes^[38]. En effet, des essais menés au Québec ont montré l'effet plus que positif des trichogrammes sur le maïs^[38]. Par ailleurs, selon le type de ravageur rencontré sur l'exploitation, il peut être intéressant pour le producteur de discuter avec son conseiller agricole afin que ce dernier puisse suggérer des auxiliaires spécifiques permettant de réduire les épandages de produits phytosanitaires.

Les avantages de la lutte biologique sont nombreux: réduction de l'utilisation de pesticides, diminution des effets sur les organismes non ciblés, augmentation de la biodiversité, diminution du risque pour la santé humaine, amélioration de l'acceptabilité sociale, augmentation du potentiel de création d'emploi, absence de phytotoxicité, réduction du besoin en machinerie, augmentation de la valeur ajoutée des produits par une possible certification biologique, etc.^[38]

Pour plus de détails, consultez l'outil **3, Le maraîcher**, section **Réduire l'utilisation des produits phytosanitaires**, sous-sections **Procéder à une lutte intégrée** (page 4) et **Procéder à un désherbage mécanique** (page 8) ; et l'outil **5, L'agriculture biologique**, section **Gérer les organismes nuisibles** (page 6).

Par ailleurs, la **rotation de cultures**, en brisant le cycle de vie de plusieurs maladies et insectes, demeure une très bonne méthode pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires. Cette technique est d'ailleurs largement utilisée en lutte biologique.

Pour plus de détails, consultez dans ce document la section **Augmenter la séquestration du carbone**, sous-section **Adopter la rotation des cultures** (page 3).



RÉDUIRE LE TRAVAIL DU SOL

La consommation de carburant, donc l'émission de GES, est directement reliée au nombre d'opérations culturales et au rendement énergétique de la machinerie utilisée. En effet, pour chaque litre de carburant utilisé, environ 2,73 kg CO₂e s'échappent dans l'atmosphère^[9]. Ainsi, la réduction du nombre de passages dans les champs et l'amélioration de l'efficacité énergétique de la machinerie permettent de diminuer cette consommation de carburant, donc les émissions de GES qui lui sont associées.

Le **travail réduit** du sol consiste à effectuer un travail moins en profondeur et moins intensif que le labour traditionnel. Il s'agit d'une pratique agricole de conservation, reconnue comme bénéfique pour le bilan carbone parce qu'elle provoque une humification plus efficace (positionnement, vie microbienne, etc.) des matières organiques fraîches et un taux de minéralisation ralenti, du fait de l'exposition limitée à l'oxygène et au brassage^[55]. Toutefois, au Québec, il semblerait que la rotation de cultures ait plus d'impacts sur le potentiel de séquestration des GES que le semis direct^[45]. En plus de la réduction des émissions de GES, le travail réduit du sol offre d'autres bénéfices^{[37][44][64][68][69][71]} : gain de temps pour l'agriculteur, diminution de la compaction du sol et de l'érosion, augmentation du taux de matière organique du sol, meilleure rétention de l'humidité, diminution des besoins en fertilisants, gains économiques...

La **culture sur billon** est une autre forme de travail réduit du sol, qui consiste à semer la culture sur des rangs buttés (billons) et à laisser les résidus de culture au sol à l'automne pour éviter l'érosion. C'est une méthode de conservation des sols qui offre de nombreux avantages : protection du sol contre l'érosion par le vent et par l'eau, grâce à la couverture de résidus et au relief accidenté créé par les billons, amélioration de la structure et de la fertilité du sol, économie d'énergie et de temps, meilleur drainage et réchauffement plus rapide des semis, etc. ^[16]. De plus, la culture sur billon permet de réduire de 50 % l'application d'herbicides grâce à une application en bande^[10].

Le **semis direct**, ou culture sans labour, est une solution à double tranchant. En effet, il permet de réduire des deux tiers les besoins en carburant^[1] puisque la machinerie utilisée consomme 40 % moins de carburant que pour un labour traditionnel avec charrue. En moyenne, les pratiques conventionnelles consomment près de 33 litres de carburant par hectare, alors que le semis direct n'en requiert que 8^[1]. Malgré les bénéfices offerts par cette pratique, certains inconvénients sont à prendre en considération, comme les impacts sur l'environnement : monocultures qui entraînent une perte de biodiversité, dissémination incontrôlée des OGM, utilisation accrue des herbicides, perte d'adaptabilité relativement aux maladies, dépendance de l'agriculteur aux entreprises produisant des OGM, etc.^{[70][21][49]}. Pourtant, l'agriculture sans labour peut très bien être pratiquée sans variétés dépendantes aux herbicides^[23]. En effet, si le problème des mauvaises herbes est abordé par le biais d'une rotation judicieuse des cultures et d'une gestion des cultures de couverture, les variétés résistantes aux herbicides ne procurent pas d'avantages supplémentaires par rapport aux autres variétés^[23].

Le **tableau 4.1** permet de comparer les données pour le travail conventionnel du sol et les trois techniques de travail réduit discutées précédemment.



© CCDMD, Le Québec en images, CRIFA

Tableau 4.1
Tableau comparatif entre travail conventionnel et travail réduit du sol^{[18][9][16]}

	Pratique conventionnelle	Travail réduit du sol	Billons	Semis direct
Quantité de carburant pour semer du maïs (l/ha)	32,6	22,8	14,5	8
Émissions de CO ₂ e pour semer du maïs (kg de CO ₂ e/ha)	89	62	40	22
Coût de production relatif moyen	100 %	93 %	88 %	87 %



AUGMENTER L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET UTILISER LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

En grandes cultures, la moitié de l'énergie consommée par les entreprises provient du diesel et 15 % proviennent de l'électricité^[1]. L'énergie utilisée sert essentiellement aux travaux dans les champs et au séchage des grains^[1]. Or, la consommation d'énergie entraîne des émissions de GES qui varient selon le type d'énergie. L'efficacité énergétique vise à réduire le gaspillage de l'énergie à la source, donc à maximiser l'utilisation de l'énergie tout en conservant la même capacité de production. En réduisant la consommation d'énergie de la ferme, il est possible de réduire les émissions de GES.



© Sxc.hu

RAISONNER LE SÉCHAGE ET L'ENTREPOSAGE DES GRAINS ET DES RÉCOLTES

Le *séchage des grains* est un poste important de consommation d'énergie dans le secteur des grandes cultures. Ceci est particulièrement vrai dans le secteur du maïs-grain. Pour le séchage des grains, les producteurs utilisent généralement le propane^[1]. Dans le secteur du maïs-grain, le séchage requiert 39 litres de propane et 16 kWh pour chaque tonne de céréales traitée^[18]. Dans le secteur du maïs-grain, l'entreposage consomme près de 7 kWh d'électricité, pour la ventilation, par tonne de céréales^[18]. Il est donc important d'éviter le séchage à outrance des grains, car chaque point de teneur en eau enlevé en trop augmente les coûts en énergie de 6 %. Afin de limiter la consommation d'énergie pour le séchage, il est conseillé de semer des variétés plus hâtives, qui sèchent plus vite au champ, de retarder le moment de la récolte, d'optimiser le nettoyage des grains avant l'entreposage et de bien calibrer les appareils de mesure de l'humidité. Enfin, il est conseillé d'entreposer le maïs destiné à l'alimentation animale à environ 14 % d'humidité^[24].

Le *séchage au crib* du maïs-grain est une alternative intéressante qui permet également de réduire les émissions de GES en utilisant l'énergie du vent et du soleil. En effet, le séchage au crib permet de diminuer la quantité émise de GES : le séchage au propane engendre 539,4 kg CO₂e/ha contre 68,6 kg CO₂e/ha pour le séchage au crib^[51]. Cette technique exploite le vent et le soleil pour sécher le maïs-grain, lequel est placé dans des structures métalliques ou exposées aux vents dominants. Cette pratique améliore la qualité du grain et valorise les rafles. La construction d'un crib coûte approximativement entre 150 \$/pied linéaire (crib en bois) et 200 \$/pied linéaire (crib en métal), sachant qu'un pied linéaire permet de sécher entre 0,8 et 1 tonne de maïs^[18]. Le séchage par le crib permet une économie de carburant de 140 \$/ha par an^[51]. Toutefois, le séchage du maïs en crib nécessite des équipements spécialisés pour la récolte et l'entreposage des épis.



ADOPTER DE BONNS COMPORTEMENTS POUR L'UTILISATION DE LA MACHINERIE

De nombreux comportements relatifs au fonctionnement et à l'entretien de la machinerie permettent de limiter le gaspillage de carburant, donc de réduire les coûts et les émissions de GES qui y sont associés.

Les pneus des tracteurs et autres machineries devraient être gonflés à la pression recommandée. À noter que gonfler les pneus à la plus faible pression recommandée améliore la traction, réduit l'usure des pneus et réduit le compactage du sol, ce qui peut permettre une économie de carburant allant de 5 à 26%^[10]. Les pneus à carcasse radiale plutôt qu'à carcasse diagonale améliorent la traction, donc réduisent la consommation de carburant de 6 à 9%^[10]. De même, pour réduire la consommation de carburant, il serait important de remplacer les pneus des roues motrices dès que ces pneus sont usés.

La puissance des tracteurs devrait être adaptée aux équipements utilisés : il convient d'éviter de tirer de petites charges avec un gros tracteur, et inversement. Le bloc de masse devrait être utilisé seulement lorsque les besoins en traction et les conditions du sol

l'exigent. Un bloc de masse bien utilisé permet des économies de carburant de 5 à 8%^[10]. Le chauffe-moteur devrait être allumé pendant un maximum de 2 heures avant l'utilisation. Au besoin, un minuteur électronique permet de contrôler ce paramètre, donc de réduire la consommation d'électricité. Il est plus économique de couper le moteur d'un tracteur que de le laisser tourner au ralenti lorsqu'il est inutilisé pendant quelques minutes.

L'inspection et l'entretien de la machinerie devraient être réalisés selon les conseils des manuels d'instruction : inspection des systèmes d'injection, changements d'huile et des filtres, aiguisage des couteaux de la faucheuse, nettoyage, lubrification, ajustement des tensions des courroies, etc. Les équipements aratoires devraient être bien ajustés, en fonction de chaque saison. Une charrue mal ajustée requiert jusqu'à 20% de puissance en plus^[10].

Pour plus de détails, consultez l'outil **5, L'agriculture biologique**, section **Être efficace** (page 6).



© Sxc.hu, Patrick Hajzler



COMMENT RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE GES SUR UNE FERME DE GRANDES CULTURES ?

POTENTIEL DE RÉDUCTION ÉVALUÉ POUR UNE FERME TYPE

La ferme typique en grandes cultures cultive en moyenne 55 hectares en maïs-grain, 47 hectares en soya et 24 hectares en céréales (avoine, blé, orge) pour un total d'environ 125 hectares en culture^[8].

Stratégie	Pratique suggérée	Potentiel de réduction des GES	Exemple de réduction pour la ferme type
Adopter la rotation des cultures	Remplacer la monoculture de maïs par une rotation de culture diversifiée ^[45]	↓ 0,518 t CO ₂ e /ha	↓ 28,49 t CO ₂ e
Cultiver avec des engrais verts	Planter des engrais verts comme précédents culturaux ou en cultures intercalaires ^[17]	↑ 106 kg CO ₂ e accumulés dans le sol par tonne de matière sèche enfouie	↑ 5,1 t CO ₂ e accumulés dans le sol (pour 24 ha en engrais verts en dérobée avec 2 t de matière sèche/ha)
Opter pour l'agroforesterie	Planter des arbres sur la ferme ^[40]	↑ 9 t CO ₂ e/km/rangée d'arbre accumulés dans le sol (moyenne sur 40 ans)	Variable
Exploiter les matières résiduelles fertilisantes	Épandre des amendements riches en matière organique ^[50]	↓ 300 kg CO ₂ e par an par tonne de compost ↓ 80 kg CO ₂ e par an par tonne de fumier peu décomposé ↓ 265 kg CO ₂ e par an par tonne de fumier bien décomposé	Variable
	Substituer des cendres de bois aux pierres à chaux naturelles ^[31]	↓ 1,75 t CO ₂ e par tonne de cendres de bois	Variable
Réduire l'utilisation des produits phytosanitaires	Inclure les luttes biologique et intégrée à la régie de culture ^{[4][16][35][52]}	↓ 25 à 43 % de l'utilisation des insecticides (lutte biologique contre le puceron du soya) ↓ 50 % de l'usage des herbicides (sarclage mécanique)	↓ 11,8 à 20,4 kg CO ₂ e ↓ 940 kg CO ₂ e
Réduire le travail du sol	Favoriser le travail réduit ^{[18][9]}	↓ 27 kg CO ₂ e/ha (semis de maïs par travail réduit) ↓ 49 kg de CO ₂ e/ha (semis de maïs par culture sur billons)	↓ 1,5 t CO ₂ e ↓ 2,7 t CO ₂ e
Augmenter l'efficacité énergétique et utiliser les énergies renouvelables	Sécher le maïs à l'aide d'un crib plutôt que grâce au propane ^[51]	↓ 470 kg CO ₂ e /ha	↓ 25,9 t CO ₂ e

Cet outil fait partie d'une série de 5 outils publiés dans le cadre du projet *Favoriser l'adoption de pratiques de gestion bénéfiques pouvant réduire le bilan de GES de cinq secteurs agricoles au Québec* <http://www.naturequebec.org/agriculture-et-climat>

© Nature Québec, novembre 2012



Agriculture et Agroalimentaire Canada

Agriculture and Agri-Food Canada

Programme de lutte contre les gaz à effet de serre en agriculture (PLEGSA)



Nature Québec
sensible à tous les milieux



© Jean-Pierre Goulet

Rédaction : Jérémie Vallée, Jeanne Camirand, Axelle Dudouet
Édition, graphisme et illustrations : Marie-Claude Chagnon
ISBN 978-2-923731-94-0 (imprimé) et 978-2-923731-95-7 (PDF)

DES PRATIQUES AGRICOLES EFFICACES, UN IMPACT BÉNÉFIQUE SUR LE CLIMAT

[1] AFEQ (Association des fabricants d'engrais du Québec), 2007. Mémoire déposé à la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois. 18 p. [En ligne, consulté le 26 octobre 2012].
http://www.apnc-pacn.com/MediaTask/dump/memoire_AFEQ_CAAAQ_VF.pdf

[2] AGEQ, 2006. *Profil de consommation d'énergie à la ferme dans six des principaux secteurs de production agricole du Québec*. Rapport no 1 présenté à l'UPA, 86 p. [En ligne, consulté le 23 avril 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Profil%20de%20consommation%20d'energie%20C3%A0%20la%20ferme_%20RapportFinal%20Volet1%20.pdf

[3] ANGERS, D., 2002. « Rôle des sols agricoles dans la séquestration du CO₂ atmosphérique ». 65^e congrès de l'Ordre des agronomes du Québec: *Changements climatiques: comprendre pour mieux agir!* 5 p. [En ligne, consulté le 28 mai 2012].
<http://www.c-ciarn.uoguelph.ca/c-ciarnfrench/documents/angers.pdf>

[4] AUDSLEY, E., K. STACEY, D.J. PARSONS and A.G. WILLIAMS, 2009. *Estimation of the Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Pesticide Manufacture and Use*. Cranfield University, Bedford. 20 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/3913/1/Estimation_of_the_greenhouse_gas_emissions_from_agricultural_pesticide_manufacture_and_use_2009.pdf

[5] BALDWIN, C.S. and E.F. JOHNSTON, 1984. *Windbreaks on the Farm*. Publication no 527. Publication of Ontario Ministry of Agriculture and Food, Ridgetown, Ontario, Canada 20 p.

[6] BEAUREGARD, G., V. VILLARD et A. BRUNELLE, 2004. *Avantages économiques des engrais verts*. CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec). AGDEX 537/810. 4 p. [En ligne, consulté le 25 avril 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Engrais%20verts.pdf>

[7] BELLARBY, J., B. FOREID, A. HASTINGS and P. SMITH, 2008. *Comment l'agriculture peut contribuer à la lutte aux changements climatiques*. Traduction en français du rapport de Greenpeace International Cool Farming: Climate Impacts of Agriculture and Mitigation Potential. 10 p. [En ligne, consulté le 30 mai 2012].
<http://www.greenpeace.org/canada/Global/canada/report/2008/1/agriculture-contribution-changements-climatiques-resume-fr.pdf>

[8] BELLEAU, L., 2011. *Étude sur les coûts de production des céréales, du maïs-grain et des oléagineux en 2009 au Québec*. CECPA (Centre d'études sur les coûts de production en agriculture). 112 p. [En ligne, consulté le 15 mai 2012].
http://www.cecpa.qc.ca/fileadmin/cent_docu/etud/etud_cout_prod/etud_completees/cmo/cprod_cmo_2009.pdf

[9] BÉRUBÉ, C., O. MÉNARD, N. LEASE et L. THÉBERGE, 2006. *Coupez la facture de carburant et respirez mieux*. Document produit dans le cadre du programme d'atténuation des GES (PAGES). 4 p. [En ligne, consulté le 24 avril 2012].
[http://www.agrireseau.qc.ca/pdt/documents/PAGES_carburant\[1\].pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/pdt/documents/PAGES_carburant[1].pdf)

[10] BRODEUR, C., D. CROWLEY, X. DESMEULES et C. DUROX, 2008. *Audit énergétique sommaire en grandes cultures*. CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec). 12 p. [En ligne, consulté le 25 avril 2012].
<http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC037.pdf>

[11] CABQ (Centre d'agriculture biologique du Canada), non daté. « Questions sur la production: section sur le sol et les cultures. Rotation des cultures ». [En ligne, consulté le 15 mai 2012].
http://www.organicagcentre.ca/productionquestions/soils_rotation_f.asp

[12] CAMIRAND, J. et C. GINGRAS, 2009. Module 1. *Des pratiques agricoles ciblées pour la lutte aux changements climatiques*. Nature Québec. Document réalisé dans le cadre du projet Agriculture et climat: vers des fermes zéro carbone. 44 p. [En ligne, consulté le 8 mai 2012].
http://www.naturequebec.org/fichiers/Agriculture/Fermes0carbone_2009/Module1/CA09-12_Module1_PratiquesGES.pdf

[13] CCA (Canadian Cattlemen's Association), 2003. "Manure Management and its Impact on Greenhouse Gas Emissions". *Greenhouse Gas Mitigation: A Beef Sector Report*. 2 p. [En ligne, consulté le 15 mai 2012].
http://www.cattle.ca/media/file/original/495_manure_management_and_its_impact_on_greenhouse_gas.pdf

[14] CCSE-SWCC (Centre de conservation des sols et de l'eau de l'est du Canada), non daté. « Sensibilisation au changement climatique en agriculture. BPG: bonnes pratiques de gestion ». [En ligne, consulté le 15 mai 2012].
<http://www.ccse-swcc.nb.ca/climat/index.cfm?bpg=4andlg=fr>

[15] CLARK, M. S., K.M. SCOW, C. SHENNAN and W.R. HORWATH, 1998. "Changes in Soil Chemical Properties Resulting from Organic and Low-Input Farming Practices". *Agronomy Journal*, vol. 90 (5), p. 662-671. [En ligne, consulté le 21 juin 2012].
http://faculty.berea.edu/clarks/documents/agronomy_journal_90.pdf

[16] CPVQ (Conseil des productions végétales du Québec), 2000. *Guide des pratiques de conservation en grandes cultures*, 500 p.

[17] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2010. *Guide de référence en fertilisation*. 2^e édition. Commission chimie et de fertilité des sols du CRAAQ. 473 p.

[18] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2008. *L'efficacité énergétique dans le secteur des grandes cultures*. Fiche pratique, 6 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Grandes-cultures-pages.pdf>

[19] DOUVILLE, Y., 2002. *Prévention des mauvaises herbes : grandes cultures*. Technaflora et Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec. 24 p. [En ligne, consulté le 15 mai 2012].
[http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/slv09-108\[1\].pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/slv09-108[1].pdf)

[20] DRURY, C.F., X.M. YANG, W.D. REYNOLDS and N.B. MCLAUGHLIN, 2008. "Nitrous Oxide and Carbon Dioxide Emissions from Monoculture and Rotational Cropping of Corn, Soybean and Winter Wheat". *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 88, p. 163-174. [En ligne, consulté le 29 mai 2012].
<http://pubs.aic.ca/doi/pdf/10.4141/CJSS06015>

[21] DUNFIELD, K.E. and J.J. GERMIDA, 2004. "Impact of Genetically Modified Crops on Soil and Plant Associated Microbial Communities". *Journal of Environmental Quality*, vol. 33, p. 806-815. [En ligne, consulté le 24 août 2012].
<https://www.agronomy.org/publications/jeq/articles/33/3/0806>

[22] FAO (Organisations des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), 2002. *La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres*. Rapport sur les ressources en sols du monde 96. Rapport basé sur le travail de Michel Robert, Institut national de recherche agronomique (Paris, France). 59 p. [En ligne, consulté le 5 juillet 2012].
<ftp://ftp-sop.inria.fr/modemic/campillo/carbone/sequestration.pdf>

[23] FAO (Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture), non daté. *Agriculture sans labour : questions fréquentes*. 8 p. [En ligne, consulté le 26 avril 2012].
<http://www.fao.org/ag/ca/doc/Y3783f.pdf>
<http://www.fao.org/ag/ca/doc/Y3783f.pdf>

[24] FORTIN, S., 2002. « Le séchage et la qualité du maïs ». *Bulletin technique* 5.02. CEROM (Centre de recherche public sur les grains inc.) 6 p. [En ligne, consulté le 22 juin 2012].
<http://www.cerom.qc.ca/documentations/B502.pdf>

[25] FRANK, A. B. and W.O. WILLIS, 1978. "Effect of Winter and Summer Windbreaks on Soil Water Gain and Spring Wheat Yield". *Soil Science Society of America Journal*, vol. 42, p. 950-953.

[26] GAGNON, B., non daté. *Utilisation en grandes cultures de biosolides et résidus alcalins de papétières*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Québec. Présentation PowerPoint, 24 diapositives. [En ligne, consulté le 5 juin 2012].
http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/Monteregrie-Ouest/Journee_grandes_cultures_2011/6_decembre_2011/Perspectives_en_grandes_cultures/10h45_Utilisation_en_grandes_cultures_B_Gagnon.pdf

[27] GASSER, M.A., M. BOLINDER, S. MARTEL et D. POULIN, 2010. *Aspects agroenvironnementaux liés aux cultures dédiées et au prélèvement des résidus de culture*. CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec). Forum Énergie et Agriculture 2010, p. 25 à 27. [En ligne, consulté le 15 mai 2012].
http://www.craaq.qc.ca/UserFiles/file/Evenements/COLLREN10/Gasser_Resume.pdf

[28] GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2006. « Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ». Volume 4 : *Agriculture, foresterie et autres affectations des terres*. [En ligne, consulté le 26 mars 2012].
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/vol4.html>

[29] GREGORICH, E.G., C.F. DRURY and J.A. BALDOCK, 2001. "Changes in Soil Carbon Under Long-Term Maize Monoculture and Legume-Based Rotation". *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 81 (1), p. 21-31. [En ligne, consulté le 24 août 2012].
<http://pubs.aic.ca/doi/pdf/10.4141/S00-041>

[30] GREENPEACE, 2007. « Pesticides et OGM au Québec : 2003 l'année de la fin du mythe des OGM ? ». [En ligne, consulté le 29 mai 2012].
<http://www.greenpeace.org/canada/fr/actualites/pesticides-ogm-qc/>

[31] HÉBERT, M. et B. BRETON, 2008. « Recyclage agricole des cendres de bois au Québec. État de la situation, impacts et bonnes pratiques agro-environnementales ». *Agrosolutions. Ressources*, vol. 19 (2), p. 18-33 [En ligne, consulté le 8 mai 2012].
http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/174.pdf
http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/174.pdf

[32] HÉBERT, M. et B. CHAKER, 2011. *Bilan 2010 du recyclage des matières résiduelles fertilisantes*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs., direction des matières résiduelles et des lieux contaminés. 34 p. [En ligne, consulté le 9 mai 2012].
http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/bilan2010.pdf

[33] HERNANDEZ, M., P. CHARLAND, J. NOLET et M. ARÈS, 2008. *Potentiel de séquestration du carbone par des pratiques agroforestières dans le bassin versant de la rivière de L'Ornière au Québec*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, programme d'atténuation des gaz à effet de serre pour le secteur agricole canadien. 58 p. [En ligne, consulté le 8 mai 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/Sequestration_Carbon_Agrofor_2007-Fr.pdf

[34] HUTCHINSON, J.J., C.A. CAMPBELL and R.L. DESJARDINS, 2007. "Some Perspectives on Carbon Sequestration in Agriculture". *Agriculture and Forest Meteorology*, vol. 142 (2-4), p. 288-302.

[35] JEAN, C., 2010. *Lutte intégrée contre le puceron du soya*. FPCCQ (Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec). 20 p. [En ligne, consulté le 28 mai 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Brochure_finale_soyapdf.pdf

[36] Jobin, P. et Y. DOUVILLE, non daté. *Engrais verts et cultures intercalaires*. CDA (Centre de développement d'agrobiologie). 19 p. [En ligne, consulté le 15 mai 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Engvert_couleur_basse.pdf

[37] LAL, R., 1997. "Residue Management, Conservation Tillage and Soil Restoration for Mitigating Greenhouse Effect by CO₂-Enrichment". *Soil and Tillage Research*, vol. 43, p. 81-107.



RÉFÉRENCES (SUITE)

- [38] LAMBERT, N, 2010. « Lutte biologique aux ravageurs : applicabilité au Québec ». Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.), Université de Sherbrooke (Québec, Canada). 87 p. [En ligne, consulté le 8 mai 2012]
http://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2010/Lambert_N__12-07-2010_.pdf
- [39] MANNERING, J.V. and D.R. GRIFFITH, 1981 "Value of Crop Rotation Under Various Tillage Systems". Agronomy Guide, Cooperative Extensions Service, Purdue University, West Lafayette, IN. [En ligne, consulté le 6 juillet 2012].
<http://www.extension.purdue.edu/extmedia/AY/AY-230.html>
- [40] MAPAQ (ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation), 2005. Écrans brise-odeurs. Fiche d'information. 2 p. [En ligne, consulté le 8 mai 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/fiche_ecrans.pdf
- [41] MARTIN, S., N. MALENFANT, J.J. HOORMAN et O. MÉNARD, non daté. *Cultures de couverture : les pratiques agricoles de conservation. Habiter le sol par les racines*. Action Semis Direct. 16 p. [En ligne, consulté le 26 avril 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Cultures%20de%20couverture_2011.pdf
- [42] MDDEP (ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs), 2011. *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2009 et leur évolution depuis 1990*. Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère. 20 p. [En ligne, consulté le 23 avril 2012].
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2009/inventaire1990-2009.pdf>
- [43] MDDEP (ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs), non daté. « Matières résiduelles fertilisantes (MRF). La valorisation des matières résiduelles fertilisantes : des résidus mis à profit ». [En ligne, consulté le 8 mai 2012].
http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/valorisation.htm
- [44] MEYER-AURICH, A.J., K. DEEN and A.W. WEERSINK. 2006. "Impact of Tillage and Rotation on Yield and Economic Performance in Corn-based Cropping Systems". *Agronomy Journal*, vol. 98 (5), p. 1204-1212.
- [45] MEYER-AURICH, A., A. WEERSINK, K. JANOVICEK and B. DEEN, 2006. "Cost Efficient Rotation and Tillage Options to Sequester Carbon and Mitigate GHG Emissions from Agriculture in Eastern Canada". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 117, p. 119-127. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
<http://www.uoguelph.ca/plant/research/agronomy/publications/pdf/Meyers%20et%20al%20AEE.pdf>
- [46] MEYER-AURICH, A., K. JANOVICEK, W. DEEN and A. WEERSINK, 2006. "Impact of Tillage and Rotation on Yield and Economic Performance in Corn-Based Cropping Systems". *Agronomy Journal*, vol. 98 (5), p. 1204-1212. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
<http://www.plant.uoguelph.ca/research/agronomy/publications/pdf/Meyers%20et%20al%20AJ.pdf>
- [47] MISRA, R.V., R.N. ROY et H. HIRAOA, 2005. *Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole*. Document de travail sur les terres et les eaux. FAO (Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture) 51 p. [En ligne, consulté le 22 juin 2012].
ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lwdp2_f.pdf
- [48] N'DAYEGAMIYE, A. et M.F. CLÉMENT, 2009. « Le bilan de la matière organique comme outil prévisionnel ». MAPAQ. *Le producteur de lait québécois*, décembre 2009-janvier 2010, p. 18-21. [En ligne, consulté le 29 mai 2012].
<http://www.lait.org/fichiers/revues/PLQ-2009-12/culture.pdf>
- [49] O'CALLAGHAN, M., T.R. GLARE, E.P.J. BURGESS and L.A. MALONE, 2005. "Effects of Plants Genetically Modified for Insect Resistance on Nontarget Organisms". *Annual Review of Entomology*, vol. 50, p. 271-292.
- [50] PATTEY, E., M.K. TRZCINSKI et R.L. DESJARDINS, 2005. « Quantification de la réduction des émissions de GES obtenue par le compostage du fumier de bovins laitiers et de bovins de boucherie ». *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 72 (2005), p. 173-187. [En ligne, consulté le 9 mai 2012].
http://oacc.info/DOCs/Patthey%20et%20al_Quantifying%20reduction%20GHG%20withcomposting_NturCycAgro_2005_f.pdf
- [51] PERRAULT, H., 2006. *Le retour du crib*. Document produit dans le cadre du programme d'atténuation des gaz à effet de serre (PAGES). 2 p. [En ligne, Consulté le 25 avril 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/feuillelet_crib.pdf
- [52] PRADHAN, A., D. S. SHRESTHA, A. MCALORN *et al.*, 2011. "Energy Life-Cycle Assessment of Soybean Biodiesel Revisited". *Transactions of the ASABE*, vol. 54 (3), p. 1031-1039. [En ligne, Consulté le 23 août 2012].
<http://www.usda.gov/oce/reports/energy/EnergyLifeCycleSoybeanBiodiesel6-11.pdf>
- [53] RIEDELL, W., T.S. CHUMACHER, S. CLAY *et al.*, 1998. "Corn and Soil Fertility Responses to Crop Rotation with Low, Medium, or High Inputs". *Crop Science*, vol. 38, p. 427-433.
- [54] ROBERT, L., 2008. « Diversifier nos cultures : profit à court terme ou rentabilité à long terme ? ». Colloque en agroenvironnement : *Le respect de l'environnement : tout simplement l'essentiel!* CRAAQ et IRDA. 9 p. [En ligne, consulté le 28 mai 2012].
http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Robert_Louis_AR.pdf
- [55] ROBERT, L., non daté. *Réduire les GES au champ*. MAPAQ Chaudière-Appalaches. 12 p. [En ligne, consulté le 4 mai 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/documents/R%C3%A9duire%20les%20GES%20au%20champ.pdf>
- [56] ROCHETTE, P., D.E. WORTH, R.L. LEMKE *et al.*, 2008. "Estimation of N₂O Emissions from Agricultural Soils in Canada I. Development of a Country-Specific Methodology". *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 88 (5), p. 641-654.
<http://pubs.aic.ca/doi/pdf/10.4141/CJSS07025>



RÉFÉRENCES (SUITE)

- [57] ROCHETTE, P., M. CHANTIGNY, D. ANGERS et A. VANASSE, 2004. *Gestion de l'azote des fumiers : comment réduire les pertes ?* Document produit dans le cadre du programme d'atténuation des gaz à effet de serre (PAGES). 6 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012]
http://www.soilcc.ca/ggmp_fact_sheets/pdf/QU_Vol-N-Rochette.pdf
- [58] SCCC (Soil Conservation Council of Canada), 2001. *Global Warming and Agriculture: Fossil Fuel Use*, vol. 1 (3), 2 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
<http://soilcc.ca/downloads/factsheets/Factsheet%203%20-fossil%20fuel.pdf>
- [59] SINGER, J.W. and W.J. COX, 1998. "Corn Growth and Yield Under Different Crop Rotation, Tillage, and Management Systems". *Crop Science*, vol. 38 (4), p. 996-1003.
- [60] STATISTIQUE CANADA, 2011. «Tableau 001-0010: estimation de la superficie, du rendement, de la production et du prix moyen à la ferme des principales grandes cultures, en unités métriques». [En ligne, consulté le 23 avril 2012].
<http://www5.statcan.gc.ca/cansim/pick-choisir?lang=fra&dp2=33&did=0010010>
- [61] TAILLEFER, S., 2010. *Les matières organiques*. Fiches informatives. Recyc-Québec. 15 p. [En ligne, consulté le 10 mai 2012].
<http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/Fiche-compost.pdf>
- [62] TELLIER, S., 2006. *Les pesticides en milieu agricole : état de la situation environnementale et initiatives prometteuses*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, direction des politiques en milieu terrestre, service des pesticides, 90 p. [En ligne, consulté le 29 mai 2012].
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/pesticides/etat-env/etat-env.pdf>
- [63] TESSIER, M., 2005. *Quelques notions de fertilisation*. CDAQ (Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec). 50 p. [En ligne, consulté le 8 mai 2012].
http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/Doc_QuelquesNotionsFinal.pdf
- [64] URI, N.D., J.D. ATWOOD and J. SANABRIA, 1999. "The Environmental Benefits and Costs of Conservation Tillage". *Environmental Geology*, vol. 38 (2), p. 111-125.
- [65] VANDAELE, D., A. LEBRETON et B. FARACO, 2010. *Agriculture et gaz à effet de serre : état des lieux et perspectives*. Fondation Nicolas-Hulot pour la nature et l'homme et Réseau Action Climat France. 69 p. [En ligne, consulté le 29 mai 2012].
<http://www.fondation-nicolas-hulot.org/sites/default/files/pdf/publications/agriculture-et-gaz-a-effet-de-serre.pdf>
- [66] VINCENT, M., S. FLIBOTTE et H. PERRAULT, 2005. *Équipements d'épandage et gestion des lisiers*. Clubs conseils en agroenvironnement. Document produit dans le cadre du programme d'atténuation des gaz à effet de serre (PAGES). 8 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/PAGES_Chantier_epandage.pdf
- [67] VYN, T.J., J.G. FABER, K.J. JANOVICEK and E.G. BEAUCHEMIN, 2000. "Cover Crop Effects on Nitrogen Availability to Corn Following Wheat". *Agronomy Journal*, vol. 92 (5), p. 915-924. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
<https://www.agronomy.org/publications/aj/articles/92/5/915>
- [68] WEERSINK, A., M. WALKER, C. SWANTON and J.E. SHAW, 1992. "Costs of Conventional and Conservation Tillage Systems". *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 47, p. 328-334.
- [69] WEST, T.O. and G. MARLAND, 2002. "A Synthesis of Carbon Sequestration, Carbon Emissions, and net Carbon Flux in Agriculture: Comparing Tillage Practices in the United States". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 91 (1-3), p. 217-232.
- [70] WOLFENBARGER, L.L. and P.R. PHIFER, 2000. "The Ecological Risks and Benefits of Genetically Engineered Plants". *Science*, vol. 290, p. 2088-2093.
- [71] ZENTNER, R.P., D.D. Wall, C.N. NAGY et al., 2002. "Economics of Crop Diversification and Soil Tillage Opportunities in the Canadian Prairies". *Agronomy Journal*, vol. 94 (2), p. 216-230.



© CCDMD, Le Québec in images, Yvan Gingras

L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE

DES PRATIQUES AGRICOLES EFFICACES,
UN IMPACT BÉNÉFIQUE SUR LE CLIMAT

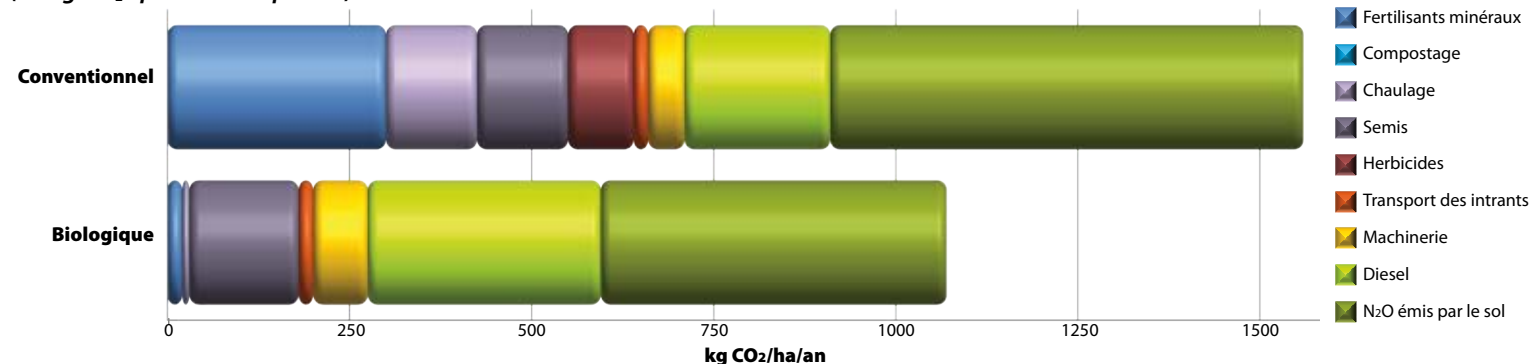
AGRICULTURE BIOLOGIQUE ET GAZ À EFFET DE SERRE

L'agriculture biologique se définit comme « *un système de production qui soutient la qualité des sols, des écosystèmes et des personnes. Elle s'appuie sur des processus écologiques, la biodiversité et sur des cycles adaptés aux conditions locales plutôt que sur l'utilisation d'intrants synthétiques ayant des effets négatifs. L'agriculture biologique allie les traditions, l'innovation et la science en faveur de l'environnement et promeut des relations justes et une bonne qualité de vie pour tous les travailleurs.* »^[24].

UNE APPROCHE FERTILE

Au siècle dernier, l'industrialisation de l'agriculture fondée sur l'utilisation d'engrais synthétiques a négligé l'importance de la matière organique pour l'agriculture, ce qui a entraîné d'énormes pertes de matière organique des sols cultivés et des prairies, de l'ordre de 30 à 75 % au niveau mondial^[17]. Entre 25 et 40 % du dioxyde de carbone (CO₂) présentement en excès dans l'atmosphère provient de la dégradation des sols et de la matière organique relâchée au cours du siècle dernier^[17].

Figure 5.1
Sources et niveaux des émissions de GES du secteur biologique, en comparaison avec le secteur agricole conventionnel (en kg CO₂e par hectare par an)^[42]



© Shutterstock.com

Sur Terre, deux milliards d'hectares, soit 38 % des terres cultivables, sont dégradés de façon significative, causant un dysfonctionnement des écosystèmes agricoles, une diminution des rendements, l'abandon des terres et la déforestation^[27]. Mais, contrairement au carbone provenant des combustibles fossiles, le carbone provenant des sols a le potentiel d'être « recapté » par l'adoption de pratiques culturales appropriées. De bonnes pratiques culturales comme la rotation des cultures, le travail réduit, l'agroforesterie et des apports en matière organique peuvent permettre d'accumuler jusqu'à 10 fois plus de carbone que dans une ferme n'utilisant pas ces pratiques^[40]. En régie biologique, le potentiel annuel d'accumulation de carbone est de 100 kg à 2 t par hectare de plus qu'en régie conventionnelle^{[21][35]}. De plus, comme démontré à la figure 5.1, le secteur agricole conventionnel émet jusqu'à 40 % plus de GES que le secteur agricole en régie biologique.

Le CO₂e (dioxyde de carbone équivalent) est une expression servant à comparer les potentiels de réchauffement des différents GES, par rapport au gaz de référence, le CO₂.

1 t CO₂e = 1 voiture roulant pendant 9 000 km (aller-retour Halifax-Vancouver).

Les pratiques biologiques présentent des avantages marqués^{[27][35][48]}, notamment au niveau des sols : augmentation de l'humus stable du sol (donc du carbone accumulé dans le sol), meilleure stabilité et fertilité du sol, diminution de la dégradation des sols, recyclage naturel des éléments et meilleure rétention de l'eau par le sol. Plusieurs de ces bénéfices sont liés à des pratiques de mitigation des GES (atténuation des effets) et d'adaptation du système agricole aux changements climatiques. De plus, plusieurs des pratiques citées protègent la qualité de l'eau grâce à la réduction des apports en phosphore et augmentent la biodiversité des systèmes agricoles, donc leur résilience^{[27][35][48]}.

Plusieurs pratiques de l'agriculture biologique peuvent être adoptées par tous les agriculteurs, qui en verront certainement des avantages pour leur entreprise. Il existe toute une gamme de pratiques agricoles et il est utile de s'inspirer des meilleures pour rendre le système plus durable.

UNE APPELLATION CONTRÔLÉE

L'agriculture biologique vise généralement à améliorer plusieurs aspects du système agricole, dont le sol, la biodiversité, etc. Ce faisant, elle offre de multiples avantages environnementaux, notamment un fort potentiel à mitiger les émissions de gaz à effet de serre (GES) et à séquestrer du carbone. Certaines pratiques reconnues comme avantageuses par rapport à l'agriculture conventionnelle^{[27][48]} sont obligatoires pour obtenir l'appellation « biologique » :



- Culture de légumineuses dans la rotation (engrais verts) pour fixer l'azote.
- Culture de plantes diversifiées génétiquement.
- Plantes couvre-sol évitant de laisser le sol à nu.
- Épandage de fumier ou de compost, aucune utilisation de fertilisants synthétiques.
- Intégration de plantes pérennes et de l'agroforesterie.
- Implantation et amélioration de prairies et pâturages afin de nourrir les animaux.

Depuis le 1^{er} janvier 2012, les entreprises québécoises produisant des produits agricoles et alimentaires biologiques doivent se conformer à un référentiel de certification inclus dans la Norme nationale du Canada sur l'agriculture biologique, publiée par l'Office des normes générales du Canada^[36].

En 2010, au niveau mondial, 37 millions d'hectares ou 0,9% des terres agricoles étaient en régie biologique^[53]. La même année, au Québec, 41 384 hectares étaient en régie biologique, ce qui représente environ 1,2% du territoire agricole actuel^{[71][47]}. De plus, les superficies destinées à la régie biologique sont en nette progression, soit une augmentation de 24% entre 2006 et 2010^{[71][8]}. Cette augmentation est notamment due à la demande des consommateurs, lesquels perçoivent de mieux en mieux les bienfaits de ce type d'agriculture.

GÉRER LES SOLS, LES CULTURES ET LES ÉLEVAGES

PRATIQUER LA ROTATION DES CULTURES

« La fertilité et l'activité biologique du sol doivent être maintenues et augmentées [...] par la rotation des cultures, qui doit être aussi variée que possible et inclure notamment des engrais verts, des légumineuses, des cultures dérobées ou des plantes à enracinement profond. »^[36]

Dans un système d'agriculture biologique, les rotations sont un élément-clé de la production, au cœur de la régie agricole. Les rotations sont la première ligne de défense contre les différents ennemis des cultures, soit les insectes, les maladies et les mauvaises herbes. Elles favorisent aussi l'accroissement de l'activité des micro-organismes du sol et la disponibilité des nutriments pour les plantes. Selon les estimations, une rotation de culture permet d'augmenter les rendements de 10 à 15 %, comparativement à une monoculture^[16]. Une rotation des cultures bien planifiée, incluant des engrais verts et des légumineuses, peut aider à réduire les émissions de GES, notamment le protoxyde d'azote (N₂O). Différentes études ont montré qu'une rotation établie depuis au moins six ans permettait de réduire les émissions de GES de la ferme d'environ 18 %^[35].



© CCDMD, Le Québec en images, Jean-Pierre Goulet

VALORISER LES PÂTURAGES

« Les herbivores doivent avoir accès aux pâturages pendant la saison de pâturage. La densité d'élevage d'animaux au pâturage doit être assez faible pour prévenir la dégradation du sol et le surpâturage. »^[36]

Les élevages modernes, non biologiques, sont parfois dissociés de la terre, ce qui a des répercussions importantes pour les agriculteurs qui doivent alors importer et entreposer les aliments, épandre les déjections dans les champs avec la machinerie, etc. Cela rend ces agriculteurs davantage dépendants des combustibles fossiles et, parfois, des produits d'autres entreprises sur lesquels s'appuie leur production. **Or, de nombreux systèmes d'élevage biologiques choisissent de s'appuyer sur les pâturages, qui permettent notamment au cycle de production des herbivores d'avoir lieu en un seul endroit, dans un même agroécosystème. Une partie du travail de la ferme est donc fait par les animaux, sur une grande période de l'année.**

Les sols en pâturage ou en prairie, donc cultivés à l'aide de plantes pérennes pendant plusieurs années, sont moins sensibles à l'érosion et accumulent davantage de matière organique. Une période de pâturage dans la rotation de cultures permet donc de maintenir, voire d'améliorer la fertilité du sol. Les pâturages permettent également d'accumuler du carbone dans le sol, soit 1,8 t CO₂e à l'hectare chaque année pour les 30 premières années d'une terre restaurée en pâturage^[1]. Par exemple, introduire une période de pâturage durant l'été sur une ferme bovine permettrait de réduire les émissions de GES de 14%, ce qui équivaut à 120 tonnes de CO₂e pour une ferme de 85 vaches^[43]. De nombreux avantages pour la santé des animaux sont également observés : meilleure locomotion, meilleure abrasion des onglons (moins de tailles nécessaires), meilleure résistance aux maladies^[50].

Pour plus de détails, consultez l'outil **1, Les ruminants**, section **Viser une alimentation plus digestible**, sous-section **Valoriser davantage les pâturages (page 3)**.



© CCDMD, Le Québec en images, Martin Guérin



FERTILISER NATURELLEMENT

« Le programme de gestion de la fertilité du sol et des nutriments culturaux a pour objectif principal d'établir et de maintenir la fertilité du sol par des pratiques qui préservent ou augmentent la teneur en humus du sol, favorisent un approvisionnement optimal en nutriments et un équilibre optimal entre eux, et stimulent l'activité biologique du sol. »^[36]

RÉDUIRE L'UTILISATION DES ENGRAIS DE SYNTHÈSE

En agriculture, les émissions de N₂O sont étroitement liées à la quantité d'azote minéral disponible dans le sol. Il est estimé qu'environ 1,6 % de l'azote contenu dans les engrais minéraux appliqués est réémis dans l'atmosphère sous forme de N₂O^[34]. Au total, entre 15 et 20 % du N₂O d'origine agricole provient de l'utilisation d'engrais minéraux^{[18][32]}. Avant même leur entrée aux champs, les engrais minéraux causent d'importantes émissions de GES, engendrées par leur transport et leur fabrication. La fabrication d'un kilogramme d'azote (N) émet environ 3,7 kg de CO₂e^[45]. Sur une terre cultivée de 200 ha, si 50 kg N/ha étaient appliqués, cela entraînerait l'émission de plus de 37 tonnes de CO₂e. Au Canada, l'utilisation d'engrais azoté représente 70 % de l'énergie non renouvelable utilisée à la ferme^{[23][30]}. En agriculture conventionnelle, il y aurait de 35 à 65 % moins de pertes d'azote (éventuellement transformé en N₂O) si les fertilisants synthétiques étaient interdits^[48].

En plus de diminuer les risques d'émissions de N₂O et les risques de pollution générale, réduire l'utilisation de fertilisants synthétiques renforce l'autonomie des agriculteurs^[22]. En effet, les produits synthétiques sont fabriqués à partir d'énergies fossiles, des énergies non renouvelables qui se raréfient et dont le prix fluctue. L'agriculture doit elle aussi sortir de la dépendance pétrolière et, en ce sens, l'utilisation de fertilisants renouvelables, produits localement, constitue un choix plus durable.

Que l'agriculteur soit sous régie biologique ou sous régie conventionnelle, le coût énergétique et les dommages environnementaux liés à l'utilisation d'engrais synthétiques peuvent être réduits par l'utilisation d'engrais verts, tout particulièrement les légumineuses.



© CCDMD, Le Québec en images, Clothilde Brillant

CULTIVER DES ENGRAIS VERTS ET DES LÉGUMINEUSES

Les engrais verts, qu'ils soient utilisés en culture à la dérobée ou en intercalaires, ont pour rôle de couvrir le sol et de le protéger contre l'érosion éolienne et hydrique. N'étant pas destinés à être récoltés, ils sont enfouis dans le sol, avec pour but de le conserver ou d'en améliorer la qualité.

L'incorporation d'engrais verts dans les rotations de culture permet de réduire considérablement les émissions de GES, et ce de plusieurs façons. D'abord, ils réduisent les besoins en engrais minéraux de synthèse, lorsqu'il s'agit de légumineuses. Puisqu'ils sont enfouis dans le sol et non récoltés, les engrais verts représentent une source d'azote qui permet de réduire les besoins en engrais synthétiques azotés. Les engrais verts ont aussi la capacité d'absorber les éléments nutritifs, dont l'azote, laissés par la culture précédente et de les libérer pour la culture suivante. Puisque leur rapport carbone-azote est bas, ils se décomposent rapidement, rendant les éléments fertilisants qu'ils ont emmagasinés disponibles pour la culture principale^[28]. De plus, le potentiel de production d'azote des légumineuses est nettement supérieur à celui de la production industrielle d'engrais azotés. Le potentiel mondial de production d'azote des légumineuses utilisées en culture intercalaire ou hors saison (sans entrer en compétition avec la culture principale) est de 140 Mt par année, contre 90 à 100 Mt pour la production industrielle^[35]. Finalement, d'un point de vue économique, l'utilisation d'engrais verts comme source d'éléments nutritifs est très rentable : avec une biomasse de 2 tonnes par hectare, la valeur en éléments nutritifs d'un engrais vert est en moyenne de 100 \$/ha, alors que le coût d'implantation dépasse rarement 50 \$/ha^[44].

De plus, les engrais verts permettant de capter l'azote résiduel de la culture précédente, des pertes indirectes de N_2O sont évitées. En effet, l'azote se trouvant en excès dans les sols est lessivé ou ruisselle hors du champ, pouvant causer ultérieurement des émissions indirectes de N_2O . Les engrais verts, lorsqu'ils sont plantés pendant ou après une culture, ont la capacité de capter cet azote résiduel et ainsi d'aller chercher entre 40 et 100 kg d'azote par hectare^[41]. Une fois l'engrais vert enfoui dans le sol, l'azote qu'il contient est libéré lentement et devient disponible pour la culture suivante. Les pertes associées à l'azote d'origine végétale sont moindres que celles associées à l'azote d'origine animale^[18].

Finalement, cette biomasse permet l'accumulation de carbone dans le sol lors de son enfouissement, ce qui augmente la matière organique du sol. L'enfouissement de 1 tonne de matière sèche d'un engrais vert au stade végétatif (biomasse aérienne et racinaire) ajoute 30 kg de carbone au sol, ce qui correspond à l'accumulation de 106 kg CO_2e et favorise aussi l'activité biologique des sols et la formation d'humus^{[11][44]}. Contrairement à une monoculture, une rotation de cultures incluant des engrais verts engendre une meilleure structure du sol par l'action des racines et la décomposition des tissus végétaux^[44]. Ceci permet donc d'améliorer le drainage et de réduire la compaction du sol. Or, dans un sol compacté, le processus de dénitrification, transformant l'azote disponible en N_2O , est favorisé, ce qui rend l'azote non disponible pour les plantes^[34].

Les engrais verts contribuent également à la lutte phytosanitaire en faisant compétition aux mauvaises herbes, en brisant les cycles des ravageurs et des maladies de cultures, et en créant des habitats pour les organismes bénéfiques comme les abeilles ou les guêpes parasites^[44].

Pour plus de détails, consultez l'outil **3, Le maraîcher**, section **Augmenter la matière organique des sols**, sous-section *Assurer une rotation des cultures : Utiliser des engrais verts et des cultures de couverture* (**page 4**), et section **Réduire les intrants**, sous-section *Utiliser des engrais verts* (**page 5**) ; et l'outil **4, Les grandes cultures**, section **Augmenter la séquestration du carbone**, sous-section *Cultiver des engrais verts* (**page 4**).

APPLIQUER LA TECHNIQUE DU PAILLIS

Les paillis sont très efficaces pour réchauffer la terre et favoriser une levée rapide des plants. Toutefois, leur utilisation présente certains désavantages^[6].

- Augmentation du ruissellement entre les rangs (érosion entre les rangs et risque de contamination des cours d'eau voisins).
- Augmentation de maladies liées au paillis végétal (dans certains cas).
- Augmentation des coûts de main-d'œuvre pour l'installation.

Différents types de paillis peuvent être utilisés : les paillis conventionnels (de plastique) ou les paillis biodégradables (de papier ou de végétaux vivants). Les paillis de plastique demeurent relativement populaires chez les producteurs biologiques, mais les paillis biodégradables ou de végétaux vivants constituent d'excellentes alternatives aux paillis de plastique conventionnels. Les paillis naturels ont l'avantage de se dégrader et d'être plus faciles à gérer par la suite. Ce ne sont pas des dérivés du pétrole !

Une autre solution peut être d'utiliser un paillis mixte, lequel permet d'implanter une culture de couverture entre les rangs et un paillis sur le rang, ou encore de faucher la culture de couverture et de laisser les résidus sur le plastique afin de le protéger^[6]. Il est aussi possible semer dans des zones où la terre se réchauffe plus rapidement, de faire la culture sur billons, d'utiliser des mini-tunnels flottants et de cultiver des variétés de plantes mieux adaptées au climat.

Pour plus de détails, consultez l'outil **3, Le maraîcher**, section **Réduire l'utilisation de produits phytosanitaires**, sous-section *Utiliser des paillis* (**page 4**).



© CCDMD, Le Québec en images, Denis Chabot

ENTREPOSER ET COMPOSTER LE FUMIER

« L'exploitant doit utiliser, dans la mesure où elles sont disponibles, les déjections animales produites dans sa propre exploitation biologique. »^[36]

Les fumiers et lisiers sont un élément clé de la fertilité des sols. Au Canada, si la totalité du fumier entreposé sous forme liquide et solide était compostée, il serait possible d'enregistrer une réduction des émissions de GES de 700 000 t CO₂e par année^[37]. Indirectement, le compostage permet de réduire les émissions de N₂O en réduisant les besoins en intrants synthétiques tels les fertilisants. Le transport est aussi réduit, puisque le compostage permet de réduire la masse et le volume du fumier à transporter de 40 à 50 %^{[9][10]}. L'application de compost stimule la croissance des plantes et l'augmentation de la biomasse, et permet aussi d'accumuler des quantités considérables de carbone dans le sol. Selon les estimés, pour chaque tonne de compost humide appliquée au sol, 50 kg de carbone sont accumulés^{[31][49]}.

En priorisant l'utilisation des déjections animales provenant de sa propre exploitation, donc le recyclage des minéraux de sa ferme, l'agriculteur réduit les pertes environnementales et les coûts d'achats d'engrais minéraux ou d'importation de fumier.

Pour plus de détails, consultez l'outil **1, Les ruminants**, section **Mieux gérer les fumiers**, sous-section Traiter les déjections animales (page 9) ; et l'outil **4, Les grandes cultures**, section **Réduire les doses d'engrais minéraux**, sous-section Exploiter les matières résiduelles fertilisantes : les composts (page 6).



© Wikipedia Commons, Paul Dickson



OPTER POUR L'AGROFORESTERIE

« L'exploitant doit choisir et appliquer des pratiques culturelles et des méthodes de travail du sol qui préservent ou améliorent l'état physique, chimique et biologique du sol [...] »^[36]

L'agriculture biologique est un système qui favorise l'accumulation du carbone au sol par la formation de l'humus, lequel constitue la base de la fertilité du sol sur lequel la production repose. Si la rotation de cultures et les engrais verts permettent de capter du carbone atmosphérique et de l'intégrer dans la matière organique du sol, maintenir ou planter des arbres sur la ferme demeure une stratégie de base pour capter du carbone.

L'association de la plantation d'arbres aux cultures ou au pâturage s'intègre très bien dans un système d'agriculture biologique. Les arbres peuvent y jouer plusieurs rôles : protéger les cultures et les bâtiments, offrir de l'ombre aux animaux, fournir du bois de chauffage ou du bois noble, héberger des pollinisateurs et des ennemis naturels des ravageurs de culture, etc. Il s'agit d'un allié de taille pour les agriculteurs. Au niveau de l'accumulation de carbone sur une ferme, le potentiel d'accumulation de carbone des arbres est appréciable, soit de 400 à 800 tonnes de CO₂e sur 40 ans pour une rangée d'arbres de 1 km^{[12][26]}.

Il existe plusieurs formes d'agroforesterie, dont les arbres en cultures intercalaires et les haies brise-vent.

Pour plus de détails, consultez l'outil **4, Les grandes cultures**, section **Augmenter la séquestration du carbone**, sous-section Opter pour l'agroforesterie (page 4).

En plus de la réduction des émissions de GES sur la ferme, l'agroforesterie procure de nombreux avantages à l'entreprise agricole^[12]:

- Augmentation de la biodiversité floristique et faunique.
- Diminution de l'érosion éolienne et hydrique.
- Amélioration de la fertilité des sols.
- Amélioration du régime hydrique des sols.
- Atténuation de la pollution atmosphérique, sonore et olfactive.
- Diminution des coûts de chauffage des bâtiments.
- Diminution des coûts de déneigement.
- Purification de l'eau de surface et souterraine.



© CCDMD, Le Québec en images, Jean-Pierre Goulet

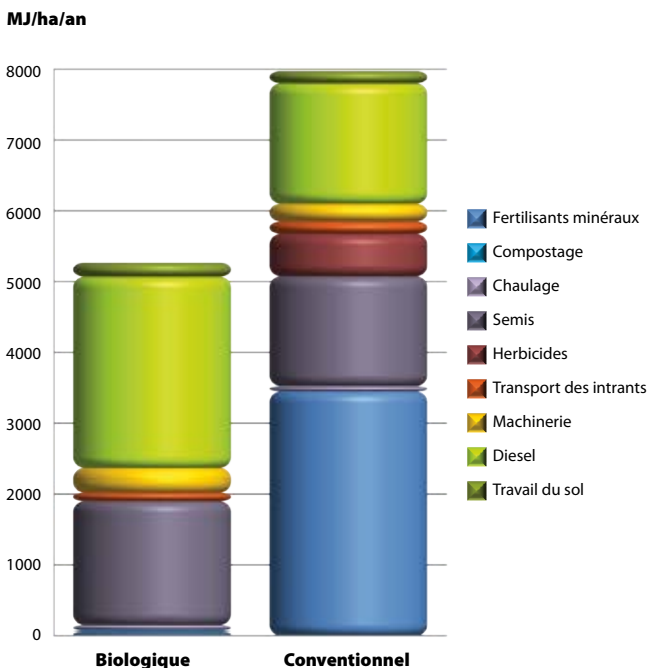
« La lutte contre les organismes nuisibles, les maladies et les mauvaises herbes doit être axée sur des pratiques de gestion biologique visant à améliorer la santé des plantes et à réduire les pertes attribuables aux mauvaises herbes, aux maladies et aux organismes nuisibles. Les pratiques de gestion biologique comprennent les pratiques culturales (p. ex. les rotations, l'établissement d'un écosystème équilibré et l'utilisation de variétés résistantes) et les méthodes mécaniques (p. ex. les mesures sanitaires, le travail du sol, les pièges, les paillis et le pâturage). »^[36]

Les principes qui guident l'agriculture biologique visent avant tout à prévenir les infestations en favorisant la santé du système agricole, donc en diminuant l'usage des pesticides. Chaque fois qu'un pesticide est épandu dans un champ, cela cause non seulement des impacts directs sur l'environnement (contamination de cours d'eau, impacts sur la faune et flore non visée, dérive), mais aussi des impacts en amont de l'épandage. En effet, la fabrication de ces produits est énergivore et nécessite l'utilisation de combustibles fossiles, ce qui émet des GES. Par exemple, la production et l'utilisation d'un kilogramme de matière active de pesticide (tous pesticides confondus) génèrent en moyenne 25,5 kg CO₂e^[2].

Diverses méthodes de lutte intégrée ou de lutte biologique peuvent aider les agriculteurs biologiques à ne pas utiliser de produits phytosanitaires.

Pour plus de détails, consultez l'outil **3, Le maraîcher**, section **Réduire l'utilisation des produits phytosanitaires**, sous-section Procéder à une lutte intégrée (page 4) et Procéder à un désherbage mécanique ; et l'outil **4, Les grandes cultures**, section **Réduire l'utilisation des produits phytosanitaires** (page 8).

Figure 5.2
Comparaison des différents postes de consommation d'énergie à la ferme entre les systèmes d'agriculture biologique et conventionnelle (en MJ par hectare par an)^[42]



La figure 5.2 compare les différents postes de consommation d'énergie à la ferme dans les systèmes d'agriculture biologique et d'agriculture conventionnelle.

Une démarche au cœur de l'agriculture biologique !

Les systèmes d'agriculture biologique ont tendance à être plus efficaces au niveau énergétique (nombre de produits par unité d'énergie) que les systèmes conventionnels. Cette différence est principalement due à l'utilisation des engrais synthétique en agriculture conventionnelle. Ces engrais émettent énormément de GES lors de leur fabrication, de leur transport et de leur application^[42].

La consommation d'énergie entraîne des émissions de GES qui varient selon le type d'énergie utilisée. L'efficacité énergétique vise à réduire le gaspillage de l'énergie à la source et à maximiser l'utilisation de l'énergie tout en conservant la même capacité de production. En réduisant la consommation d'énergie de la ferme, il est donc possible de réduire les émissions de GES.

La consommation de carburant en régie biologique est plus importante qu'en régie conventionnelle, c'est pourquoi de nombreux comportements relatifs au fonctionnement et à l'entretien de la machinerie permettent de limiter le gaspillage de carburant, donc de réduire les coûts et les émissions de GES.

Pour plus de détails, consultez l'outil **4, Les grandes cultures**, section **Augmenter l'efficacité énergétique et utiliser les énergies renouvelables**, sous-section Adopter de bons comportements pour l'utilisation de la machinerie (page 11).

REFUSER LES OGM

« Les cultivars, les semences, les inoculants pour semence, les germoplasmes, les greffons, les porte-greffons ou autre matériel de reproduction obtenu par génie génétique sont interdits. »^[36]

Une agriculture sans OGM...

Les fabricants d'organismes génétiquement modifiés (OGM) promettaient l'atteinte de rendements plus élevés, et ce avec moins d'intrants. Cela laissait entendre que les OGM pourraient être des alliés de la lutte aux changements climatiques. Qu'en est-il ?

En 20 ans de mise au point, une grande partie des OGM ont été développés pour être tolérants ou pour produire des pesticides. Ce mode d'agriculture est donc devenu dépendant des herbicides et des insecticides, causant de la résistance chez les plantes et les insectes. Par exemple, l'augmentation de la résistance au glyphosate risque de désavantager les cultivars résistants aux herbicides, entraînant une augmentation de l'utilisation d'herbicides dans les champs. Au cours des treize dernières années, les agriculteurs cultivant des OGM ont utilisé 144 millions de kilogrammes de



pesticides de plus que les agriculteurs dit « conventionnels »^[3]. En augmentant les émissions de GES, en raison de la fabrication et de l'utilisation accrue de pesticides, ces cultivars risquent d'accentuer les impacts de ce type d'agriculture sur les changements climatiques^{[42][55]}.

L'augmentation de productivité promise par l'adoption des OGM aurait dû entraîner une réduction indirecte de la quantité de GES émis par rapport au rendement produit. En effet, si pour une même surface cultivée et pour un même type de travail du sol (donc pour un même niveau d'émissions de GES), les cultures d'OGM produisaient plus que les cultures conventionnelles, alors les émissions de GES par unité de production seraient réduites. Or, à ce jour, les OGM ne rencontrent pas ces rendements^[46].

PRODUIRE POUR NOURRIR LA PLANÈTE

Et la productivité du bio ?

L'agriculture biologique peut-elle être aussi productive que l'agriculture conventionnelle ? Peut-elle nourrir la planète ? La réponse n'est pas simple, mais plusieurs études portant sur le sujet apportent des arguments en faveur de l'agriculture biologique^{[35][48]}.

Le peu de fonds disponibles pour la recherche et le développement de l'agriculture biologique explique parfois que ses rendements soient plus faibles. Par exemple, en Europe, seulement 1 % des fonds est orienté vers l'agriculture biologique^{[27][48]}. De plus, les cultures en régie biologique souffrent souvent d'une carence en azote^[39]. Mais les engrais verts et les engrais de ferme peuvent fournir la quantité d'azote manquante pour assurer la croissance de la culture et combler l'écart entre les rendements^[42], de sorte que, généralement, l'agriculture biologique obtient des

rendements équivalents ou supérieurs à ceux de l'agriculture conventionnelle. Voici quelques données sur les rendements de l'agriculture biologique et son potentiel en regard de la problématique des changements climatiques :

- Selon plusieurs études, les rendements du maïs et soya en régie conventionnelle ou biologique ne sont pas statistiquement différents^{[13][14][19]}.
- Une augmentation de rendements de 31 % en conditions de sécheresse a été observée pour le maïs biologique en comparaison avec le maïs conventionnel^[42]. Pour le maïs modifié génétiquement « tolérant au stress hydrique », une augmentation de rendement de 13,3 % avait été notée, soit moins que la moitié de l'augmentation des rendements de l'agriculture biologique^[42].
- Selon une étude menée en Pennsylvanie entre 1981 et 2011, les cultures biologiques de soya et de maïs tolèrent une plus grande quantité de mauvaises herbes que les cultures conventionnelles, tout en produisant un rendement équivalent^[42]. Relativement à l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère, qui menace d'accroître la compétition entre les mauvaises herbes et les cultures^[55] et qui risque donc de réduire les rendements, l'agriculture biologique offre un meilleur potentiel d'adaptation.

- L'agriculture biologique a le potentiel de restaurer la fertilité des terres dégradées par des pratiques telles que l'ajout de composts, la culture de légumineuses, etc. À l'échelle mondiale, cela pourrait augmenter la production agricole.
- Quant aux animaux d'élevage biologiques, leur densité plus faible par superficie soulève des questions quant aux émissions de GES qu'ils engendrent. Les raisons de cette densité réduite sont multiples : réduction de la pression sur les cultures, des pertes de nutriments dans l'eau, de la perte de biodiversité sur le territoire, et augmentation du bien-être animal. Dans cette situation, il serait donc pertinent d'estimer les émissions de GES par hectare plutôt que par produit^[35].

L'agriculture biologique offre donc des avantages indéniables par rapport à l'agriculture industrielle, dont un fort potentiel de mitigation des émissions de GES et une capacité à rendre le système agricole plus résilient. Toutefois, bien d'autres impacts devraient être inclus dans cette réflexion quant au potentiel spécifique de ces systèmes (biologique et conventionnel) à réduire leur impact et à s'adapter réellement aux changements climatiques.

DÉVELOPPER UNE VISION À LONG TERME

De nombreux services rendus aux écosystèmes

L'agriculture biologique intensifie les fonctions écologiques du milieu. Pour une même superficie, elle permet une production de nourriture plus sécuritaire^{[35][48]}.

Plusieurs objectifs de l'agriculture biologique visant la lutte aux changements climatiques permettent aussi une meilleure adaptation à ces changements : une plus grande biodiversité, le maintien de la fertilité du sol, le recyclage des éléments nutritifs et l'augmentation de la matière organique du sol.

En effet, la préservation et l'amélioration de la fertilité du sol en agriculture biologique

permettent de conserver une teneur élevée en humus, ce qui structure le sol, le rendant plus résistant aux différentes intempéries. Le sol retient alors une plus grande quantité d'eau et est moins sujet à la création d'une croûte de battance lors des fortes précipitations^[53]. La croissance des plants est donc moins affectée par des conditions climatiques extrêmes causant des stress hydriques ou l'inondation des sols. De plus, un sol bien structuré et riche en humus requiert moins d'éléments nutritifs, réduisant les besoins en fertilisants synthétiques.

Par son utilisation de fumier et d'engrais verts pour nourrir le sol, l'agriculture biologique favorise l'indépendance de la ferme. Elle permet de réduire la dépendance de la ferme aux intrants synthétiques et aux combustibles fossiles, la protégeant donc contre le choc des prix ou la pénurie de ressources naturelles^[20].

Ces exemples illustrent la grande capacité d'adaptation de l'agriculture biologique en regard des changements climatiques, un atout de taille à considérer !



COMMENT RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE GES EN S'INSPIRANT DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE ?

Stratégie	Pratique suggérée	Potentiel de réduction des GES	Résilience aux changements climatiques
Gérer les sols, les cultures et les élevages	Pratiquer la rotation des cultures	↓ 18 % des émissions globales de la ferme ^[33]	■ Influence l'accumulation de la matière organique dans les sols^[52]. ■ Diminue la pression des mauvaises herbes, des insectes et des maladies. ■ Favorise des interactions biologiques positives entre les cultures^[51].
	Gérer les pâturages	↓ 14 % des émissions totales de la ferme ^[43]	■ Favorise l'accumulation du carbone dans le sol plus que toute autre pratique. ■ Diminue la vulnérabilité de l'agroécosystème lorsqu'une espèce disparaît ou à la suite d'une sécheresse^[15].
Fertiliser naturellement	Utiliser des engrais verts et des légumineuses	↑ 106 kg CO ₂ e accumulés par tonne de matière sèche d'engrais verts ^[11]	■ Diminue l'érosion éolienne et hydrique du sol. ■ Améliore la structure du sol. ■ Brise le cycle des ravageurs et des maladies. ■ Compétitionne les plantes adventices. ■ Améliore la biodiversité du sol et du système agricole^{[4][29]}.
	Assurer un apport en matière organique	↑ 183 kg CO ₂ e accumulés par tonne de compost humide appliquée au sol ^[49]	■ Favorise la structure du sol. ■ Augmente la capacité de rétention en eau. ■ Diminue la pression des mauvaises herbes et des maladies. ■ Augmente la résistance à l'érosion hydrique et éolienne. ■ Diminue les risques de création d'une croûte de battance lors des pluies intenses. ■ Augmente la réserve en nutriments à court et moyen terme^[51].
Opter pour l'agroforesterie	Planter des haies brise-vent et des cultures intercalaires	↓ 400 à 800 tonnes de CO ₂ e sur 40 ans par rangée d'arbres de 1 km ^{[12][26]}	■ Augmente la biodiversité floristique et faunique. ■ Diminue l'érosion éolienne et hydrique. ■ Améliore la fertilité des sols. ■ Améliore le régime hydrologique des sols. ■ Atténue la pollution atmosphérique, sonore et olfactive^[12].
Gérer les organismes nuisibles	Réduire l'usage des pesticides	↓ 25,5 kg CO ₂ e par kilogramme de matière active non épanchée ^[2]	■ Augmente la biodiversité des écosystèmes et leur résilience^{[25][38]}

Cet outil fait partie d'une série de 5 outils publiés dans le cadre du projet *Favoriser l'adoption de pratiques de gestion bénéfiques pouvant réduire le bilan de GES de cinq secteurs agricoles au Québec*
<http://www.naturequebec.org/agriculture-et-climat>

© Nature Québec, novembre 2012



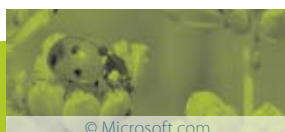
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Agriculture and Agri-Food Canada

Programme de lutte contre les gaz à effet de serre en agriculture (PLEGSA)



Nature Québec
sensible à tous les milieux



L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE

RÉFÉRENCES

DES PRATIQUES AGRICOLES EFFICACES, UN IMPACT BÉNÉFIQUE SUR LE CLIMAT

[1] ARROUAYS, D., J. BALESDENT, J.C. GERMON et coll., 2002. *Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?* Expertise scientifique collective. Rapport de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), 332 p. [En ligne, consulté le 3 juillet 2012]. http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/dossiers_scientifiques/changement_climatique/en_savoir_plus/ouvrages/stockage_carbone_sols_agricoles_france

[2] AUDSLEY, E., K. STACEY, D.J. PARSONS and A.G. WILLIAMS, 2009. *Estimation of the Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Pesticide Manufacture and Use*. Cranfield University, Bedford. 20 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012]. https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/3913/1/Estimation_of_the_greenhouse_gas_emissions_from_agricultural_pesticide_manufacture_and_use-2009.pdf

[3] ATI (Les Amis de la Terre International), 2010. « Les cultures OGM ne peuvent contrer le changement climatique ». [En ligne, consulté le 27 août 2012]. <http://www.foei.org/fr/media/archive/2010/les-cultures-ogm-ne-peuvent-contrer-le-changement-climatique>

[4] BISSON, M. et L. ROBERT, 2010. « Les engrais verts », dans *Essais et démonstrations en grandes cultures, Chaudière-Appalaches*. Rapport 2010. MAPAQ (ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec) et IRDA (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement), p. 14-19. [En ligne, consulté le 9 mai 2012]. <http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/documents/Rapport%20IRDA%202010.pdf>

[5] BULLOCK, D. G., 1992. "Crop Rotation". *Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. 11 (4), p. 309-326.

[6] CABC (Centre d'agriculture biologique du Canada), 2011. « De l'usage des paillis de plastique en agriculture biologique ». [En ligne, consulté le 27 août 2012]. http://oacc.info/NewspaperArticles/na_plastic_mulch_re_f.asp

[7] CARTV (Conseil des appellations réservées et des termes valorisants), 2011. *Statistiques 2010. Usage de l'appellation biologique au Québec*. 12 p. [En ligne, consulté le 10 avril 2012]. http://cartv.gouv.qc.ca/sites/documents/Statistiques_bio_2010web.pdf

[8] CARTV (Conseil des appellations réservées et des termes valorisants), 2007. *Statistiques 2006. Appellation « biologique » au Québec*. 10 p. [En ligne, consulté le 10 avril 2012]. http://cartv.gouv.qc.ca/sites/documents/file/rapports/CAAQ_Statistiques_2006.pdf

[9] CCA (Canadian Cattlemen's Association), 2003. "Manure Management and its Impact on Greenhouse Gas Emissions". *Greenhouse Gas Mitigation: A Beef Sector Report*. 2 p. [En ligne, consulté le 3 juillet 2012]. http://www.cattle.ca/media/file/original/495_manure_management_and_its_impact_on_greenhouse_gas.pdf

[10] CPVQ (Conseil des productions végétales), 2000. « Démonstration technologique d'un système de compostage en continu des fumiers de bovins laitiers ». 5 p. [En ligne, consulté le 23 octobre 2012]. <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/VU035.pdf>

[11] CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2010. *Guide de référence en fertilisation*, 2^e édition. Québec, Commission chimie et fertilité des sols du CRAAQ, 473 p.

[12] DE BAETS, N., S. GARIÉPY et A. VÉZINA, 2007. *Le portrait de l'agroforesterie au Québec*. Gouvernement du Canada. 88 p. [En ligne, consulté le 27 avril 2012]. http://www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/agroforest_version_integrale.pdf

[13] DELATE, K., M. DUFFY, C. CHASE et al., 2003. "An Economic Comparison of Organic and Conventional Grain Crops in a Long-Term Agroecological Research (LTAR) site in IOWA". *American Journal of Alternative Agriculture*, vol. 18 (2), p. 59-69. [En ligne, consulté le 27 août 2012]. <http://extension.agron.iastate.edu/organicag/researchreports/orgeconomics.pdf>

[14] DOBBS, T. and J.D. SMOLIK, 1996. "Productivity and Profitability of Conventional and Alternative Farming Systems: A Long-Term on-Farm Paired Comparison". *Journal of Sustainable Agriculture*, vol. 9 (1), p. 63-77.

[15] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2009. *Review of Evidence on Drylands Pastoral Systems and Climate Change: Implications and Opportunities for Mitigation and Adaptation*. Law and Discussion Paper 8, 50 p. [En ligne, consulté le 9 juin 2012]. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i1135e/i1135e00.pdf>

[16] FRICK, B. et E. JOHNSON, non daté. « La rotation des cultures en agriculture biologique ». Centre d'agriculture biologique du Canada (CABC). [En ligne, consulté le 19 avril 2012]. http://www.organicagcentre.ca/Extension/ext_weed_rotations_f.asp

[17] GRAIN, 2011. « Alimentation et changement climatique: le lien oublié ». Série *À contre-courant*. [En ligne, consulté le 23 février 2012]. <http://www.grain.org/fr/article/entries/4363-alimentation-et-changement-climatique-le-lien-oublie>

- [18] GREGORICH, E.G., P. ROCHETTE, A.J. VANDENBYGAART and D.A. ANGERS. 2005. "Greenhouse Gas Contributions of Agricultural Soils and Potential Mitigation Practices in Eastern Canada". *Soil and Tillage Research*, vol. 83, p. 53-72.
- [19] HANSON, J.C., E. LICHTENBERG and S.E. PETERS, 1997. "Organic Versus Conventional Grain Production in the Mid-Atlantic: An economic and Farming System Overview". *American Journal of Alternative Agriculture*, vol. 12 (1), p. 2-9.
- [20] HARDER, S. 2010. « Réussir de mieux en mieux à réduire les émissions de GES ». Centre d'agriculture biologique du Canada (CABC). [En ligne, consulté le 28 juin 2012].
http://www.organicagcentre.ca/NewspaperArticles/na_ghg_energy_sh_f.asp
- [21] HEPPELRY, P., D. DOUBS Jr. and R. SEIDEL, 2006. *The Rodale Farming Systems Trial, 1981 to 2005: Long-Term Analysis of Organic and Conventional Maize and Soybean Cropping Systems. Long-Term Field Experiments in Organic Farming*. ISOFAR Scientific Series 1. Verlag Dr Köster, Berlin, Germany. p. 15-32.
- [22] HEINBERG, R. and M. BOMFORD, 2009. *The Food and Agriculture Transition*. Sebastopol, CA: Post-Carbon Institute and The Soil Association.
- [23] HOEPPNER, J.W., M.H. ENTZ, B.G. MCCONKEY *et al.*, 2006. "Energy Use and Efficiency in Two Canadian Organic and Conventional Crop Production Systems". *Renewable Agriculture and Food Systems*, vol. 21, p. 60-67.
- [24] IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements), 2009. "Definition of Organic Agriculture". [En ligne, consulté le 28 juin 2012].
http://www.ifoam.org/growing_organic/definitions/doa/index.html
- [25] ISENRING, R., 2010. *Les pesticides et la perte de biodiversité. Comment l'usage intensif des pesticides affecte la faune et la flore sauvage et la diversité des espèces*. Pesticide Action Network Europe, 28 p. [En ligne, consulté le 21 juin 2012].
http://www.pan-europe.info/Resources/Briefings/Pesticides_and_the_loss_of_biodiversity_FR.pdf
- [26] ITA (Institut de technologie alimentaire), 2010. *Outils de simulation des impacts économiques de pratiques agroforestières, logiciel*. ITA de la Pocatière [En ligne, consulté le 21 juin 2012].
<http://www.wbvecan.ca/francais/index.html>
- [27] JORDAN, R., A. MULLER and A. OUDÈS, 2009. *High sequestration, Low emission, Food Secure Farming Organic Agriculture: a Guide to Climate Change & Food Security*. Belgique, International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), 22 p.
- [28] L'ABC DU CONSEILLER AGRICOLE, 2008. Section 4 : « Procédures et outils de travail du conseiller en agroenvironnement », sous-section 4.3.10 : « Engrais vert ». [En ligne, consulté le 27 avril 2012].
<http://www.abcdconseiller.qc.ca/default.aspx?ID=208>
- [29] LEBLONC, N., 2009. « Les engrais verts : pour qui ? Pourquoi ? » Présentation dans le cadre du projet *Agriculture et climat : vers des fermes 0 carbone* de Nature Québec. 28 p. [En ligne, consulté le 21 juin 2012].
http://www.naturequebec.org/fileadmin/fichiers/Agriculture/Fermes0carbone_2009/Module1/PPT09_Engraisvert_NLeblond.pdf
- [30] LEMKE, R.L., Z. ZHONG, C.A. CAMPBELL and R. ZENTNER, 2007. "Can Pulse Crops Play a Role in Mitigating Greenhouse Gases from North American Agriculture". *Agronomy Journal*, vol. 99, p. 1719-1725. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
<https://www.agronomy.org/publications/aj/articles/99/6/1719?highlight=>
- [31] LOU, X.F. and J. NAIR, 2009. "The Impact of Landfilling and Composting on Greenhouse Gas Emissions: A review". *Bioresource Technology*, vol. 100 (16), p. 3792-3798.
- [32] MACRAE, R.J., D. LYNCH and R.C. MARTIN, 2010. "Improvement Energy Efficiency and GHG Mitigation Potentials in Canadian Organic Farming Systems". *Journal of Sustainable Agriculture*, vol. 34 (5), p. 549-580.
- [33] NEMECEK, T., O. HUGUENIN-ELIE, D. DUBOIS et G. GAILLARD, 2005. *Ökobilanzierung von Anbausystemen im Schweizerischen Acker- und Futterbau. Schriftenreihe der FAL 58*. FAL Reckenholz, Zürich, cité dans Niggli *et al.*, 2009^[35].
- [34] NIGGLI, U., H. SMCHID and A. FLIESSBACH, 2008. *Organic Farming and Climate Change*. International Trade Centre (UNCTAD/WTO), Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, Switzerland. 38 p. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
<https://www.fibl-shop.org/shop/pdf/mb-1500-climate-change.pdf>
- [35] NIGGLI, U., A. FLIESSBACH, P. HEPPELRY and N. SCIALABBA, 2009. *Low Greenhouse Gas Agriculture: Mitigation and adaptation potential of sustainable farming systems*. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL). 26 p. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
<http://orgprints.org/15690/1/niggli-et-al-2009-lowgreenhouse.pdf>
- [36] ONGC (Office des normes générales du Canada), 2011. *Systèmes de production biologique. Principes généraux et normes de gestion. Norme nationale du Canada*. 53 p. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
<http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/ongc-cgsb/programme-program/normes-standards/internet/bio-org/documents/032-0310-2008-fra.pdf>



RÉFÉRENCES (SUITE)

- [37] PATTEY, E., M.K. TRZCINSKI et R.L. DESJARDINS, 2005. « Quantification de la réduction des émissions de gaz à effet de serre produites par le compostage de fumier de bovins de boucherie et de bovins laitiers ». *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 72, p. 173-187. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
http://www.organicagcentre.ca/Docs/Patthey%20et%20al_Quantifying%20reduction%20GHG%20withcomposting_NturCycAgro_2005_f.pdf
- [38] PETERSON, G., C.R. ALLEN and C.S. Holling, 1998. "Ecological Resilience, Biodiversity, and Scale". *Ecosystems*, vol. 1 (1), p. 6-18. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1003&context=nfwrstaff&sei-redir=1&referer=http%3A%2F%2Fwww.google.ca%2Furl%3Fsa%3D%26rct%3D%26q%3D%26ecological%2520resilience%252C%2520biodiversity%252C%2520and%2520scale%26source%3Dweb%26cd%3D%26ved%3D0CDIQFjAB%26url%3Dhttp%253A%252F%252Fdigitalcommons.unl.edu%252Fcgi%252Fviewcontent.cgi%253Farticle%253D1003%2526context%253Dnfwstaff%26ei%3DOMU7UJCzIYzCOAHRjoHIAQ%26usq%3DAFQjCNF3SPHsVPBibLPx6uET4pyE4_tgvQ%3Fsearch=%22ecological%20resilience%2C%20biodiversity%2C%20scale%22
- [39] PIMENTEL, D., P. HEPPELY, J. HANSON et al., 2005. "Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems". *BioScience*, vol. 55 (7), p. 573-582. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
<http://coolfoodscountdown.files.wordpress.com/2009/11/pimental-environmental-energetic-and-economic-comparisons-of-organic-and-conventional-farming-systems.pdf>
- [40] PRETTY, J.N., A.S. BALL, L. XIAOYUN and N.H. RAVINDRANATH, 2002. "The Role of Sustainable Agriculture and Renewable-Resource Management in Reducing Greenhouse-gas Emissions and Increasing Sinks in China and India". *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 360 (1797), p. 1741-1761. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/360/1797/1741.full.pdf+html?sid=344b333c-f9a7-44f0-884c-f81b41b7c252>
- [41] ROCHETTE, P., M. CHANTIGNY, D. Angers et A. VANASSE, 2004. *Gestion de l'azote des fumiers : comment réduire les pertes ?* Document produit dans le cadre du programme d'atténuation des gaz à effet de serre (PAGES). 6 p. [En ligne, consulté le 4 juin 2012].
http://www.soilcc.ca/ggmp_fact_sheets/pdf/QU_Vol-N-Rochette.pdf
- [42] RODALE INSTITUTE, 2011. *The Farming Systems Trial Celebrating 30 years*. 13 p. [En ligne, consulté le 17 avril 2012].
<http://www.rodaleinstitute.org/files/FSTbookletFINAL.pdf>
- [43] ROTZ, C.A., K.J. SODER, R.H. SKINNER et al., 2009. "Grazing Can Reduce the Environmental Impact of Dairy Production Systems". *Forage and Grazinglands*. 10 p. [En ligne, consulté le 19 juin 2012].
<http://www.caes.uga.edu/commodities/fieldcrops/forages/events/PBDSummit/rotz%202009%20Grazing%20Can%20Reduce%20the%20Environmental%20Impact%20of%20dairy%20production%20systems.pdf>
- [44] ROY, J., 2011. « Mon engrais vert : un incontournable ! ». Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. [En ligne, consulté le 20 avril 2012].
<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/chaudiereappalaches/journalvisionagri cole/2008decembre/Pages/engraivert.aspx>
- [45] SCCC (Soil Conservation Council of Canada), 2001. *Global Warming and Agriculture: Fossil Fuel Use*, vol. 1 (3), 2 p. [En ligne, consulté le 8 juin 2012].
<http://soilcc.ca/downloads/factsheets/Factsheet%203%20-fossil%20fuel.pdf>
- [46] SHERMAN, D.G., 2009. *Failure to Yield. Evaluating the Performance of Genetically Engineered Crops*. Union of Concerned Scientists. 44 p. [En ligne, consulté le 3 juillet 2012].
http://www.ucsusa.org/assets/documents/food_and_agriculture/failure-to-yeild.pdf
- [47] STATISTIQUE CANADA, 2012. « Données sur les exploitations et les exploitant agricoles de 2011 ». [En ligne, consulté le 3 juillet 2012].
<http://www29.statcan.gc.ca/ceag-web/fra/community-agriculture-profile-profil-agricole.action?geold=240000000&selectedVarlds=86>
- [48] UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development), 2010. Trade and Environment Review 2009/2010. *Promoting Poles of Clean Growth to Foster the Transition to a More Sustainable Economy*. 230 p. [En ligne, consulté le 9 janvier 2012].
http://www.unctad.org/en/docs/ditcted20092_en.pdf
- [49] USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2012. *Composting*. WARM version 12, 17 p. [En ligne, consulté le 26 mars 2012].
<http://www.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/Composting.pdf>
- [50] VIGNOLA, J.L. et A. FOURNIER, 2007. *Le pâturage intensif, j'y crois, j'y vois !* Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 4 p. [En ligne, consulté le 23 août 2012].
<http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/Le%20p%20C3%A2turation%20intensif%20-%20Vaches%20laiti%C3%A8res%20Final.pdf>
- [51] WEIL, R.R. and F. MAGDOFF, 2004. "Significance of Soil Organic Matter to Soil Quality and Health". Chapter 1 of *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida. p. 1-43.



RÉFÉRENCES (SUITE)

[52] WEST, T.O. and W.M. POST, 2002. "Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation". *Soil Science Society of America Journal*, vol. 66 (6), p. 1930-1946. [En ligne, consulté le 23 août 2012]. <https://www.soils.org/publications/sssaj/articles/66/6/1930?highlight=>

[53] WILLER, H. and K. LUKAS, 2012. "Global Data on Organic Agriculture and Survey Background". Part 1 of *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2012*. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), Bonn. [En ligne, consulté le 25 juillet 2012]. <http://www.organic-world.net/fileadmin/documents/yearbook/2012/fibl-ifoam-survey-data-2010-global-data.pdf>

[54] ZEIGER, M. and N. FOHRER, 2009. "Impact of Organic Farming Systems on Runoff Formation Processes – A long-term Sequential Rainfall Experiment". *Soil and Tillage Research*, vol. 102 (1), p. 45-54.

[55] ZISKA, L.H., 2010. "Elevated Carbon Dioxide alters Chemical Management of Canada Thistle in no-till Soybean". *Field Crops Research*, vol. 119 (2-3), p. 299-303.



© Microsoft.com

