

AGRICULTURE et CLIMAT

Un projet *Nature* Québec

VERS DES
FERMES
ZÉRO
CARBONE

Des pratiques agricoles ciblées pour la lutte aux changements climatiques

MODULE 1



Moi, je participe
au changement !

Comment citer ce document

Nature Québec, 2009. *Module 1, Des pratiques agricoles ciblées pour la lutte aux changements climatiques*. Document réalisé dans le cadre du projet Agriculture et climat : vers des fermes 0 carbone. 44 pages.

Rédaction

Jeanne Camirand, agr.
Christine Gingras, agr.

Révision scientifique

Introduction : Philippe Rochette et Jean-Éric Tremblay
Chapitre 1, Engrais verts : Ghislain Jutras
Chapitre 2, Haies brise-vent : André Vézina
Chapitre 3, Bandes riveraines : Huguette Martel
Chapitre 4, Agroforesterie : David Rivest

Relecture et révision linguistique

Mylène Bergeron
Axelle Dudouet
Héloïse Fernandez
Lise Roy

Mise en page

Jeanne Camirand

Graphisme

Bon Melon

Photographies dans le document

Agroforesterie : © Biopterre, © David Rivest
Haies brise-vent et bandes riveraines : © Véronique Gagnon
Engrais verts : © Ghislain Jutras

Merci à nos partenaires financiers, grâce à qui ce projet est rendu possible :

Fonds d'action québécois pour le développement durable
et son partenaire financier le gouvernement du Québec
Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec

Merci à nos partenaires de service pour leur précieux appui :

Équipe de coordination des Clubs-conseils en agroenvironnement
Les Éditions VertigO
Lucien Bordeleau, agronome expert-conseil de Biolistik ltée
Conseil de bassin de la rivière du Cap Rouge
Agrinova
Ron Tiffany de la commission Énergie de Nature Québec
Yvon Tremblay, professeur au Collège d'Alma

Nous tenons également à remercier les personnes suivantes pour leurs précieux conseils qui nous ont grandement aidés dans l'élaboration de ce document :

François Allard, Denis Angers, Carl Bérubé, Geneviève Bélanger, Gilles Bélanger, Alain Bourque, Jérôme-Antoine Brunelle, Martin Chantigny, Louis Drainville, Hugues Groleau, Richard Lauzier, Nancy Lease, Shanna Little, Ingrid Marini, Neil McLaughlin, Marc-André Ouellet, Jean-Pierre Pétrin, Philippe Rochette, Claude Roy, Florent Ruyet, Anne Vanasse.

ISBN 978-2-923567-87-7 (version PDF)

ISBN 978-2-923567-88-4 (version imprimée)

© Nature Québec, 2009

Module **1**

Des pratiques agricoles
ciblées pour la lutte
aux changements climatiques

Table des matières

INTRODUCTION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET RELATIONS AVEC LE SECTEUR AGRICOLE	1
Que sont les changements climatiques?	1
Que sont les gaz à effet de serre?	1
<i>Déséquilibre des concentrations des GES</i>	1
<i>Caractéristiques des GES</i>	1
Quels sont les impacts des changements climatiques?	2
Eau	2
Précipitation, sécheresse et climat extrême	3
Santé	3
Agriculture	3
Quels sont les enjeux liés aux changements climatiques?	4
Protocole de Kyoto	4
Urgence d’agir.....	4
Quels sont les GES du secteur agricole?	4
Dioxyde de carbone	5
<i>Sources d’émissions de dioxyde de carbone</i>	6
<i>Accumulation du carbone</i>	6
<i>Réduire les émissions de dioxyde de carbone et accumuler le carbone</i>	6
Protoxyde d’azote.....	6
<i>Azote utilisé par les plantes</i>	7
<i>Sources d’émissions de protoxyde d’azote</i>	7
<i>Réduire les émissions de protoxyde d’azote</i>	7
Méthane	8
<i>Sources d’émissions de méthane</i>	8
<i>Réduire les émissions de méthane</i>	8
LE RECYCLAGE ET L’APPORT D’AZOTE PAR LES ENGRAIS VERTS	9
1.1 Que sont les engrais verts?	9
1.1.1 Le choix d’un engrais vert	10
1.2 Les légumineuses en culture principale	10
1.3 Comment les engrais verts et les légumineuses réduisent les GES	10
1.3.1 Diminution des émissions directes de protoxyde d’azote lors de la culture de légumineuses	11
1.3.2 Diminution des émissions indirectes de protoxyde d’azote	11
1.3.2.1 <i>Captation de l’azote non utilisé par les cultures</i>	11
1.3.2.2 <i>Diminution de la dépendance à une industrie polluante</i>	12
1.3.3 Accumulation du carbone lors de l’enfouissement d’engrais verts.....	12
1.3.4 Cas fictif de réduction des émissions de GES.....	12
1.4 L’apport azoté des engrais verts	13
1.4.1 Banque d’azote et humus du sol.....	13
1.4.2 Activité microbienne et disponibilité des éléments minéraux	14
1.4.3 Exemple réel d’application au champ	15
1.5 Les avantages économiques à la ferme	15
1.6 Les autres bénéfices	16
1.7 Petit rappel	16

L'ACCUMULATION DU CARBONE PAR LES HAIES BRISE-VENT	17
2.1 Qu'est-ce qu'une haie brise-vent?.....	17
2.2 Comment les haies brise-vent réduisent les GES.....	17
2.3 Les avantages économiques à la ferme	18
2.4 Les autres bénéfiques	20
2.5 Petit rappel et programmes accessibles	20
LA PRODUCTION DE BIOMASSE ÉNERGÉTIQUE SUR DES BANDES RIVERAINES ÉLARGIES	21
3.1 Qu'est-ce qu'une bande riveraine?.....	21
3.2 Comment les bandes riveraines peuvent réduire les GES	22
3.2.1 Remplacer les énergies fossiles par de la biomasse renouvelable?.....	22
3.2.1.1 <i>Panic érigé</i>	23
3.2.1.2 <i>Miscanthus géant</i>	24
3.2.1.3 <i>Saule à croissance rapide et peuplier hybride</i>	24
3.2.2 Accumulation du carbone par les végétaux.....	25
3.2.2.1 <i>Accumulation du carbone par le panic érigé</i>	26
3.2.2.2 <i>Séquestration du carbone par les arbres à croissance rapide</i>	27
3.2.3 Comment estimer la séquestration du carbone?	27
3.2.4 Développement durable de cette pratique	27
3.3 Les avantages économiques à la ferme	28
3.4 Les autres bénéfiques	28
3.5 Petit rappel	29
L'AGROFORESTERIE DANS LA LUTTE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	31
4.1 Qu'est-ce que l'agroforesterie?	31
4.1.1 Quelques exemples de systèmes agroforestiers.....	31
4.1.1.1 <i>Bandes riveraines et haies brise-vent</i>	31
4.1.1.2 <i>Ligniculture en courte rotation</i>	32
4.1.1.3 <i>Produits forestiers non ligneux</i>	32
4.1.1.4 <i>Systèmes de cultures intercalaires</i>	32
4.1.1.5 <i>Systèmes sylvopastoraux</i>	33
4.2 Comment l'agroforesterie réduit les GES.....	33
4.3 Les avantages économiques à la ferme	33
4.4 Les autres bénéfiques	34
4.5 Petit rappel et ressources financières	35
BIBLIOGRAPHIE.....	37

Tables des figures et tableaux

Figure 1. Concentration atmosphérique des trois principaux gaz à effet de serre depuis 2000 ans	1
Figure 2. Principales sources d'émissions de GES du secteur agricole	5
Figure 3. Le dioxyde de carbone en milieu agricole	5
Figure 4. Le protoxyde d'azote en milieu agricole	7
Figure 5. Le méthane en milieu agricole	8

Tableau 1. Pouvoir de réchauffement global et temps de séjour des trois principaux gaz à effet de serre 2	
Tableau 2. Impact de l'implantation d'un engrais vert de trèfle rouge, ayant un rendement de 2,5 tonnes par hectare, sur le bilan des émissions de GES (kg CO ₂ e) pour une rotation blé-maïs-soya	13
Tableau 3. Augmentation de rendement pour différentes cultures protégées par des haies brise-vent.....	19

Introduction aux changements climatiques et relations avec le secteur agricole

Que sont les changements climatiques?

Les changements climatiques sont les modifications de l'atmosphère qui résultent de sa transformation chimique par les gaz à effet de serre (GES). Ces changements se manifestent aujourd'hui par l'élévation des températures globales moyennes et l'intensification des événements météorologiques extrêmes. Les impacts sur l'environnement sont multiples, importants et de plus en plus fréquents : sécheresses, fonte des glaciers et de la glace de mer, élévation du niveau des océans, et tempêtes tropicales. Ils affectent l'ensemble de la population mondiale et la biodiversité planétaire. Les activités humaines modernes sont les principales responsables des changements climatiques actuels et de leurs impacts sur l'environnement.

Que sont les gaz à effet de serre?

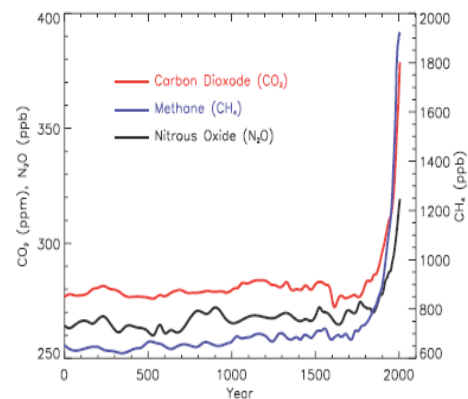
Les GES sont naturellement présents dans l'atmosphère. Ces gaz forment une couche autour de la Terre, qui lui permet de conserver sa chaleur : c'est l'effet de serre. En effet, le soleil réchauffe la Terre qui, par la suite, réémet une partie de sa chaleur vers l'espace. Les GES présents dans l'atmosphère emprisonnent une partie de cette chaleur, l'empêchant de retourner dans l'espace. Ce phénomène permet de conserver des températures moyennes de 15 °C sur notre planète. Sans cela, il y ferait environ - 18 °C, ce qui ne permettrait pas la vie telle que nous la connaissons (Environnement Canada, 2009).

Déséquilibre des concentrations des GES

La concentration des GES dans l'atmosphère a été presque constante pendant des milliers d'années, et a permis le développement de la vie telle qu'on la connaît. Cependant, cet équilibre est précaire. Les émissions actuelles de GES sont

supérieures à tout ce que la planète a connu depuis 650 000 ans (GIEC, 2007 : 15). Le développement des activités humaines modernes, dont le transport, l'industrie, la déforestation et l'agriculture, est responsable de l'émission massive de trois principaux GES : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O). La concentration de ces trois gaz a considérablement augmenté depuis l'ère industrielle : de 30 % pour le CO₂, de 150 % pour le CH₄ et de 16 % pour le N₂O (MDDEP, 2008).

Figure 1. Concentration atmosphérique des trois principaux gaz à effet de serre depuis 2000 ans



Source : IPCC, WG1 2007, p. 135

L'augmentation accélérée des concentrations de GES dans l'atmosphère amplifie le phénomène naturel d'effet de serre. Ce déséquilibre modifie les températures à la surface de la Terre et des océans, causant de nombreux impacts biologiques, chimiques et physiques.

Caractéristiques des GES

Les GES ne contribuent pas tous à l'effet de serre de façon équivalente. En effet, le pouvoir de réchauffement et la durée de vie de ces GES dans l'atmosphère sont différents.

Le potentiel de réchauffement global (PRG) correspond à la capacité du gaz à conserver la chaleur autour de la terre, en la renvoyant vers le sol. Le PRG des GES s'évalue en les comparant au PRG du CO₂, le gaz de référence.

Tableau 1. Pouvoir de réchauffement global et temps de séjour des trois principaux gaz à effet de serre

Gaz à effet de serre	Potentiel de réchauffement global	Temps de séjour dans l'atmosphère
Dioxyde de carbone CO ₂	1	50 à 200 ans
Méthane CH ₄	21	12 ans
Protoxyde d'azote N ₂ O	310	114 ans

Le temps de séjour dans l'atmosphère représente le temps de résidence moyen d'un GES. Cela signifie que les émissions de GES d'aujourd'hui contribueront aux changements climatiques pendant des dizaines, voire des centaines d'années.

CO₂ ÉQUIVALENT

Pour une meilleure comparaison de l'impact de chacun des GES, leur concentration est souvent exprimée sur une même base : le CO₂ équivalent (CO₂e dans ce texte). Le CO₂e est une mesure des GES, selon leur pouvoir de réchauffement global (PRG) par rapport au gaz de référence, le CO₂. Par exemple, le N₂O, pour une même quantité, réchauffe 310 fois plus l'atmosphère que le CO₂, donc 1 kg de N₂O émis correspond à 310 kg de CO₂e.

Quels sont les impacts des changements climatiques ?

Les changements climatiques sont bien réels. En effet, au cours du siècle dernier, un réchauffement moyen de la température à la surface de la terre de 0,74 °C a été observé, alors qu'il était prévu que la température

moyenne n'augmenterait que de 0,6 °C (GIEC, 2007 : 2). Les prévisions pour 2100 sont encore plus alarmantes, avec une augmentation prévue de la température moyenne de 2 à 4,5 °C (GIEC, 2007 : 12). Ce réchauffement climatique global aura des impacts sur les vents, les précipitations, la fonte des glaces, les conditions météorologiques locales, mais aussi sur les écosystèmes et les populations qui n'auront pas la capacité de s'adapter à la rapidité de ces nouvelles conditions climatiques.

L'augmentation des GES dans l'atmosphère a déjà provoqué des modifications du climat mesurables. On en observe déjà les impacts, avec des événements qui se produisent à une vitesse et une ampleur plus élevées que prévues. Les changements climatiques affectent de différentes façons l'environnement, la planète et les humains qui l'habitent.

Voici un aperçu, à divers niveaux, de ce qui est déjà observé, ainsi que les prévisions relatives aux changements climatiques.

Eau

Les changements climatiques sont déjà responsables de l'accélération de la fonte des glaces. Le rythme de cette fonte s'est accéléré depuis les 15 dernières années. De plus, la fonte massive des glaces augmente la masse d'eau, occasionnant une élévation du niveau de la mer. Ce phénomène s'amplifiera et le niveau de mer pourrait monter de 9 à 88 cm entre 1990 et 2100, soit près de 80 cm en 110 ans. Cette situation aura des conséquences néfastes sur les basses terres côtières où vit une très grande partie de la population mondiale.

Les ressources en eau potable seront aussi affectées. Les changements climatiques pourraient occasionner une baisse considérable du niveau d'eau des Grands Lacs, entre autres, en raison d'une plus grande évaporation causée par l'augmentation des températures. Les Grands Lacs, en plus d'être l'un des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent, sont un lieu de forte concentration de sites de production d'hydroélectricité, une voie importante pour la navigation commerciale et la plus importante source d'eau douce au monde. Aussi, la diminution de la quantité d'eau potable serait problématique et pourrait être une cause majeure de conflits entre les nations (Environnement Canada, 2002). La qualité de l'eau des lacs sera aussi à surveiller, car la prolifération des algues bleu-vert pourrait

s'intensifier dans le contexte des changements climatiques.

Précipitation, sécheresse et climat extrême

Les changements climatiques bouleversent déjà les patrons de précipitations. Ce bouleversement devrait se poursuivre, accompagné d'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes. En effet, cette tendance aux événements météorologiques extrêmes tels les sécheresses, les inondations, les canicules, les pluies fortes et abondantes, les tornades, suit les prévisions des modèles climatiques et des études connexes. Ces événements climatiques, souvent à l'origine de catastrophes, sont représentatifs de ce qui pourrait se produire plus fréquemment dans le futur (Environnement Canada, 2008).

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET LA MÉTÉO

Le réchauffement climatique annoncé est une tendance à long terme de l'augmentation des températures moyennes. Ces prévisions, annoncées par les scientifiques du climat, ne doivent pas être confondues avec les prévisions météorologiques quotidiennes, saisonnières ou annuelles.

En effet, la météo a toujours été variable et le sera toujours. Aussi, bien que les prévisions annoncent un réchauffement climatique et une augmentation des précipitations en hiver au Québec, le prochain hiver pourrait très bien être particulièrement froid et sec. Néanmoins, la probabilité de fréquence de ces conditions météorologiques risque de diminuer, dans le contexte des changements climatiques.

Au Québec, les prévisions indiquent une augmentation des précipitations pouvant aller jusqu'à 25 % au printemps et 32 % en hiver, d'ici 2050 (Bourque et Simonet, 2007). Malgré ces prévisions, il n'y a aucune certitude concernant le taux d'enneigement de nos hivers, car les précipitations pourraient aussi se produire sous forme de pluies.

Santé

La plupart des scientifiques reconnaissent maintenant que les changements climatiques auront de graves conséquences sur la santé humaine. Au Canada, plusieurs impacts sur la santé ont été identifiés dont l'augmentation des maladies respiratoires comme l'asthme, des

cancers de la peau, des malaises et des mortalités liées à des chaleurs intenses (Santé Canada, 2008). Aussi, une augmentation des maladies transmises par les insectes et les animaux est à prévoir. L'expansion du Virus du Nil Occidental (VNO), propagé par un maringouin, en est un bon exemple. En effet, les changements climatiques pourraient étendre le domaine vital de ce moustique au Canada, accentuant ainsi la transmission du VNO aux humains (SCP, 2008).

Agriculture

Concernant l'agriculture, les changements climatiques pourraient avoir des impacts autant négatifs que positifs. En général, une augmentation des températures moyennes et un allongement de la saison de croissance devraient occasionner un accroissement potentiel du rendement des cultures. De même, ces modifications devraient rendre possible la production de cultures adaptées à des températures plus élevées (Bélanger, 2002).

À l'inverse, la protection hivernale qu'offre la couverture neigeuse aux cultures pérennes pourrait être affectée par des hivers plus doux et moins enneigés. De plus, des automnes plus doux pourraient diminuer les conditions optimales à l'endurcissement et causer plus de dommages aux plantes fourragères (Bélanger, 2002).

Les risques d'invasion par les insectes ravageurs pourraient augmenter, et la répartition des espèces pourrait être modifiée au cours des prochaines années, à cause de conditions climatiques plus propices (Roy, 2002). Ainsi, des observations confirment que la chrysome des racines de l'ouest et la tordeuse orientale du pêcher, qui étaient présentes au Sud du Québec, progressent maintenant vers le Nord. De même, chez la mouche de la carotte, l'augmentation du nombre de générations durant la saison de croissance est déjà observée. En effet, elle est passée d'une à deux générations par année au Québec, et ce phénomène pourrait apparaître chez d'autres insectes¹. Dorénavant, la présence de certains insectes est observée sur une plus longue période, ce qui, par conséquent, implique que le dépistage devra débuter plus tôt en saison.

¹ Communication avec Michèle Roy, agronome-entomologiste du MAPAQ, 2009.

Les mauvaises herbes bénéficieront également de nouvelles conditions favorables provoquées par les changements climatiques, et donc sera observée l'expansion de leur aire de développement. De plus, selon certaines études, les mauvaises herbes auraient de meilleures capacités d'adaptation aux modifications du climat que les cultures (Ziska, Non daté).

L'adaptation de l'agriculture aux nouvelles conditions liées aux changements climatiques sera nécessaire. Bien sûr, beaucoup de défis attendent les producteurs, mais ceux-ci ont la possibilité de s'adapter aux changements climatiques en introduisant de nouvelles variétés de cultures ou de nouveaux types de productions, en assurant une meilleure protection des sols et de meilleures conditions hydriques. Plus vite les producteurs agricoles sauront s'adapter aux changements climatiques, plus ils en réduiront les impacts négatifs sur leur exploitation. En effet, les actions de lutte aux changements climatiques réalisables aujourd'hui restent plus avantageuses que les adaptations incontournables imposées par leurs impacts.

Quels sont les enjeux reliés aux changements climatiques?

Protocole de Kyoto

La lutte aux changements climatiques a pris de la force auprès de la communauté internationale lors de la signature du Protocole de Kyoto en 1997. À cette occasion, plusieurs pays se sont engagés à réduire, d'ici 2012, leurs émissions de GES de 5,2 % par rapport au niveau de 1990, année de référence.

Le Québec s'est fixé comme objectif de réduire de 6 % ses émissions de GES par rapport aux émissions de 1990, d'ici 2012. L'inventaire de 2006 indique que les émissions de GES du Québec s'élevaient à 84,7 millions de tonnes (Mt) de CO₂e, et représentaient 11,7 % des émissions canadiennes (MDDEP, 2008). Malgré une

diminution marquée des émissions depuis 2003, le Québec a encore beaucoup d'efforts à faire pour atteindre son objectif, car il n'a toujours pas réussi à descendre au niveau d'émission de 1990 (83,45 Mt de CO₂e), sachant qu'il doit ensuite réduire ce niveau de 6 %.

Urgence d'agir

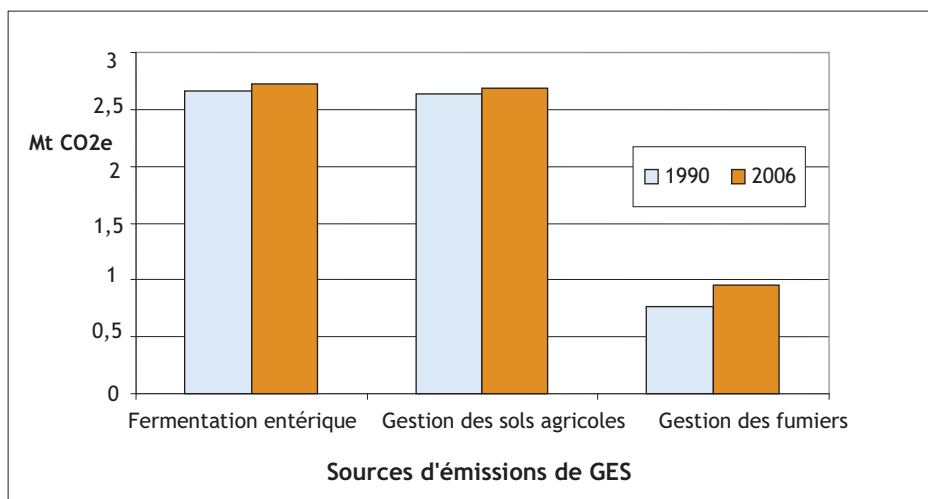
Les connaissances sur le climat ont beaucoup évolué grâce à l'avancement des recherches scientifiques. Avec les connaissances acquises depuis la signature du Protocole de Kyoto en 1997, les scientifiques du climat déclarent que les objectifs des pays devront être revus à la hausse. En effet, compte tenu des évolutions rapides des changements climatiques, il sera nécessaire d'exiger une réduction d'émissions de GES bien plus importante que 5,2 % d'ici 2012.

Afin d'éviter les pires impacts du réchauffement climatique, il faut à tout prix limiter l'augmentation moyenne de la température à 2 °C (IPCC WG II 2007). Un dépassement de ce 2 °C pourrait provoquer un grand dérèglement climatique de la planète, mais aussi de grandes crises humanitaires et politiques. Pour ce faire, il faut réduire par deux, voir par trois fois les émissions de GES (réduction de 50 à 85 %) d'ici 2050 par rapport à l'année de référence de 2000 (GIEC, 2007). Cet important objectif ne sera atteignable que si nous parvenons à repenser les activités humaines, dans le but de réduire les pratiques émettrices de GES et notre consommation d'énergies fossiles de manière radicale. Dans cette course contre la montre, tous les pays, tous les secteurs d'activités et toutes les populations sont concernés et doivent fournir leur part des efforts.

Quels sont les GES du secteur agricole?

En 2006, le secteur agricole était responsable de 7,5 % des émissions de GES du Québec, ce qui représente 6,4 Mt de CO₂e.

Figure 2. Principales sources d'émissions de GES du secteur agricole



Adaptation de MDDEP 2008, p. 7

La fermentation entérique (la digestion des ruminants), la gestion des sols et la gestion des lisiers sont les trois principales sources d'émissions de GES du secteur agricole.

Les émissions dues à la fermentation entérique ont augmenté de 1,9 % entre 1990 et 2006, représentant un total de 42,8 % de l'ensemble des émissions de GES du secteur agricole au Québec.

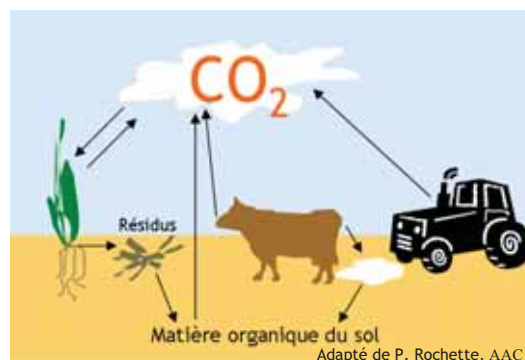
La gestion des sols et les pratiques culturales, qui comprennent l'utilisation des engrais azotés, ont connu une augmentation d'émissions de 1,3 % entre 1990 et 2006 pour atteindre 42,1 % de l'ensemble des émissions de GES du secteur agricole.

La gestion des fumiers, qui émet moins de GES que les éléments précédents, est la source ayant connu la plus forte augmentation depuis 1990, soit une hausse de 19,2 % représentant un total de 15,1 % des émissions totales de GES du secteur agricole en 2006 (MDDEP, 2006).

Dioxyde de carbone

Dans le contexte de la lutte aux changements climatiques, les activités de la ferme devraient être optimisées afin de limiter la transformation du carbone en CO₂ atmosphérique. Par ailleurs, le secteur agricole possède un bon potentiel pour capter le CO₂ atmosphérique et l'accumuler.

Figure 3. Le dioxyde de carbone en milieu agricole



Le dioxyde de carbone (CO₂) contient du carbone (C). Ce carbone prend différentes formes et circule entre les organismes vivants, la matière organique du sol, les océans, les gisements de combustibles fossiles et l'atmosphère. Ce transfert du carbone d'un système à l'autre se fait très rapidement dans le cas de la combustion des énergies fossiles. En effet, cette dernière émet du carbone sous forme de CO₂ dans l'atmosphère. À l'inverse, la formation de gisements de combustibles fossiles, à partir de matière organique, s'étale sur des millions d'années. Brûler des ressources de combustibles fossiles est facile, mais les recréer sur une échelle de temps perceptible pour l'être humain est pratiquement impossible.

**ACCUMULATION DU CARBONE :
UNE BONNE PRATIQUE POUR LA LUTTE
AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

La photosynthèse réalisée par les plantes, les arbustes et les arbres en croissance contribue à capter le dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique et à accumuler le carbone (C) dans leur biomasse. Planter des végétaux s'avère donc une bonne action pour lutter contre les changements climatiques. De plus, certaines pratiques agricoles favorisent l'accumulation de carbone organique dans le sol (COS), constituant principal de la matière organique du sol. Les océans et les forêts permettent également de capter et d'accumuler le carbone.

Sources d'émissions de dioxyde de carbone

Le milieu agricole émet du CO₂ principalement par :

- l'utilisation des combustibles fossiles (diesel, gaz naturel, mazout, propane, essence);
- la respiration des plantes et des animaux;
- la décomposition de la matière organique du sol par les microorganismes.

Accumulation du carbone

L'accumulation de carbone se fait principalement :

- lors la photosynthèse des plantes, des arbustes et des arbres. En effet, lors de leur croissance, ils captent le CO₂ et accumulent le carbone dans leur biomasse;
- lors de la restitution au sol de la matière organique. Cette restitution s'effectue lorsque les résidus de culture et les racines retournent au sol après la récolte, sous forme de matière organique. Cette dernière contribue ainsi à l'accumulation du carbone dans le sol;
- lors de l'application des fumiers. Ceux-ci augmentent la quantité de carbone dans les sols.

Réduire les émissions de dioxyde de carbone et accumuler le carbone

Le producteur agricole, sur son exploitation, peut réduire ses émissions de CO₂ de différentes façons. Ainsi, il peut, par exemple :

- réduire l'utilisation des combustibles fossiles. Pour cela, il peut faire une utilisation rationnelle des tracteurs : adapter la force du moteur aux travaux et à la machinerie à utiliser, éteindre le moteur lorsque le tracteur n'est pas utilisé... De même, le travail réduit du sol permet d'utiliser moins de combustibles fossiles sur l'exploitation agricole : utiliser une machinerie moins lourde et effectuer moins de passages;
- remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables. Ainsi, la valorisation de la biomasse, la géothermie et l'énergie solaire contribuent à la réduction des émissions de CO₂;
- intensifier les systèmes de cultures en évitant les sols nus et les jachères. En effet, les sols sans couverture végétale subissent une décomposition rapide de la matière organique, qui cause des émissions de CO₂.

Le producteur agricole, sur son exploitation, peut accumuler du carbone selon divers moyens concrets. Ainsi, il peut, par exemple :

- augmenter la superficie des cultures pérennes. Cela favorise l'accumulation de carbone dans le sol, principalement par la biomasse racinaire;
- introduire des haies brise-vent et des systèmes agroforestiers. Cette technique permet d'accumuler du carbone dans la biomasse des arbres, aussi longtemps que ce bois n'est pas brûlé ou décomposé.

Protoxyde d'azote

Le protoxyde d'azote (N₂O) est un GES très puissant et le secteur agricole en est le principal émetteur. Il est donc impératif de trouver des moyens pour réduire ces émissions.

Le N₂O est un composant du cycle de l'azote (N). Dans le secteur agricole, l'azote est présent dans le sol et les plantes. C'est dans l'atmosphère que l'on retrouve les plus grandes

quantités d'azote, principalement sous forme de N_2 , ce dernier n'étant pas un GES.

Azote utilisé par les plantes

Le soya, la luzerne, le trèfle et les autres légumineuses sont les seules plantes capables d'utiliser le N_2 atmosphérique comme source d'azote. Cette fixation biologique de l'azote est possible grâce à l'association des cellules racinaires de la plante avec certaines bactéries. Cette association permet de capter le N_2 , puis de le transformer en azote assimilable par la plante, azote qui sera ainsi fixé par la plante.

À l'exception des légumineuses, les plantes n'utilisent que l'azote disponible dans le sol. Différentes sources peuvent accroître la banque d'azote dans le sol, telles que la matière organique provenant de la dégradation de résidus végétaux et des fumiers, ainsi que l'application d'engrais de synthèse.

Sources d'émissions de protoxyde d'azote

L'activité des micro-organismes dégradant l'azote est la principale source d'émissions de N_2O dans le secteur agricole. Présents dans les sols et les fumiers, ces micro-organismes réalisent les processus de nitrification et de dénitrification de l'azote :

- lors de la nitrification, l'ammonium (NH_4^+) est converti en nitrate (NO_3^-);
- lors de la dénitrification, les nitrates (NO_3^-) sont convertis en azote atmosphérique (N_2).

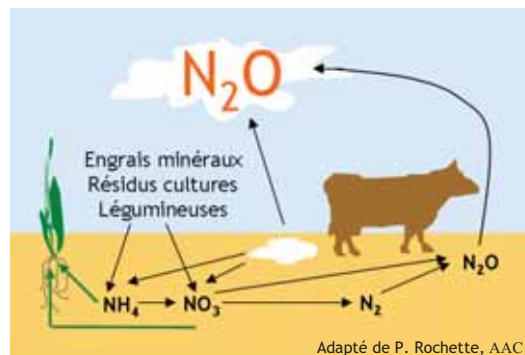
Le N_2O est un sous-produit de ces processus.

FACTEURS PROPICES AUX ÉMISSIONS DE N_2O

L'excès d'azote minéral provenant des engrais organiques et de synthèse.

Un milieu faible en oxygène, comme les sols compacts et mal drainés.

Figure 4. Le protoxyde d'azote en milieu agricole



Réduire les émissions de protoxyde d'azote

Depuis une vingtaine d'années, la concentration de N_2O dans l'atmosphère n'a cessé d'augmenter, à cause, en grande partie, de l'accroissement de l'épandage de fumiers et d'engrais.

Pour réduire les émissions de ce gaz, le mode de gestion de l'azote sur les terres agricoles devra se faire selon des pratiques environnementales. Ainsi, favoriser une bonne aération et un bon drainage du sol permet de réduire les émissions de N_2O . De même, minimiser l'utilisation des engrais synthétiques et des fumiers, en appliquant seulement ce qui correspond aux besoins réels des cultures, peut limiter les émissions de protoxyde d'azote. En effet, les excédents d'azote non exploités par les plantes sont disponibles pour les micro-organismes producteurs de N_2O .

Concrètement, pour réduire le N_2O , il est important d'épandre l'azote :

- en fonction des analyses de sols et des analyses de fumiers;
- en fonction des quantités recommandées pour chacune des cultures;
- au moment où les plantes en ont besoin;
- en bandes, là où la plante en a besoin.

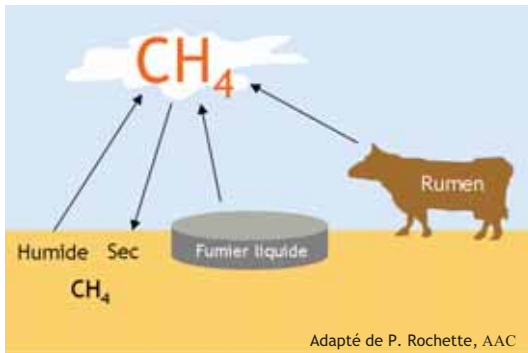
Cultiver des engrais verts permet de récupérer les surplus d'azote épandus, et ainsi d'éviter qu'ils ne soient transformés en N_2O par les micro-organismes. Une fois enfouis, ces végétaux rendront disponible une partie de l'azote qu'ils ont emmagasiné aux cultures suivantes, ce qui permettra ainsi de diminuer

l'apport d'engrais de synthèse pour les cultures suivantes.

Méthane

Le secteur agricole est l'un des principaux responsables des émissions de CH_4 sur la planète. Ce CH_4 provient de la dégradation de la matière végétale par des bactéries méthanogènes, dans un milieu pauvre en oxygène.

Figure 5. Le méthane en milieu agricole



Sources d'émissions de méthane

Les fumiers (surtout liquides), le système digestif des ruminants et les sols saturés en eau sont les principales sources de CH_4 en milieu agricole.

- La digestion des ruminants, ou la fermentation entérique, émet de grandes quantités de CH_4 . Ce milieu pauvre en oxygène est propice à l'action des bactéries méthanogènes.
- Selon les conditions d'oxygénation, le fumier peut produire du méthane. L'entreposage liquide, et même solide lorsque le fumier est entassé avec un centre compact et pauvre en oxygène, favorise l'action des micro-organismes producteurs de méthane.
- Les sols humides, compacts et mal drainés sont aussi propices à l'émission du CH_4 . En effet, la dégradation de la matière organique, dans ces conditions, sera opérée par les micro-organismes méthanogènes.

LES FLATULENCES DE VACHE, UN DANGER POUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES?

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les ruminants n'évacuent pas de façon importante le méthane par le rectum. En effet, il semble que 99 % du CH_4 émis par les ruminants soient rejetés par la gueule ou par les narines (après être passés par le sang et acheminés aux poumons) (Janzen, 2008).

Réduire les émissions de méthane

Le producteur agricole, sur son exploitation, peut réduire ses émissions de CH_4 par différents moyens. Il peut, par exemple :

- couvrir, de façon hermétique, les fosses à fumier. Cela permet d'emprisonner, puis de brûler le CH_4 émis par le fumier;
- implanter un digesteur anaérobie. Cette installation permet de maximiser la production de CH_4 , afin de le valoriser sous forme d'énergie (chaleur ou électricité);
- raccourcir le temps d'entreposage. Ceci est réalisable en épandant fréquemment, et en vidant complètement les réservoirs de stockage;
- alimenter les ruminants avec un fourrage de grande qualité. Cette pratique permet une meilleure assimilation de l'aliment et limite les émissions de CH_4 lors de la fermentation entérique.

1 Le recyclage et l'apport d'azote par les engrais verts

En plus d'être coûteux, les engrais et les pesticides (herbicides, fongicides et insecticides) de synthèse ont des impacts négatifs sur l'environnement. Au Canada, 15 à 20 % des émissions de protoxyde d'azote (N_2O) provenant des activités agricoles sont dues à l'utilisation d'engrais minéraux (Desjardins et Riznek, 2000, dans Gregorich et al., 2005). Certaines pratiques agricoles permettent de minimiser les impacts de l'agriculture sur l'environnement, tout en assurant la santé des sols. Par exemple, les rotations de cultures bien planifiées, incluant des engrais verts et des légumineuses, contribuent à la réduction des émissions des gaz à effet de serre (GES), notamment du N_2O . Cela peut se faire soit par la diminution des besoins en azote, soit par l'optimisation de son utilisation ou soit par la limitation de ses pertes. En effet, toute perte d'azote est un risque potentiel d'émission directe (au champ) ou indirecte (endroit où l'azote a ruisselé) de N_2O . Puisque le N_2O possède un potentiel de réchauffement global 310 fois supérieur à celui du CO_2 , les efforts pour réduire ces émissions ont assurément des retombées positives significatives!

Le protoxyde d'azote (N_2O) est un gaz qui a un pouvoir réchauffant global (PRG) de 310 fois celui du CO_2 . Il est émis lors de l'action des micro-organismes du sol responsables de la nitrification-dénitrification de l'azote, et ce, lorsqu'il y a un excès d'azote dans le sol et présence de conditions propices telles qu'un mauvais drainage ou une compaction du sol.

Les rotations de cultures bien planifiées possèdent également plusieurs autres avantages. Elles brisent le cycle de vie de plusieurs maladies et insectes, permettent de diversifier les moyens de lutte aux mauvaises herbes, augmentent la biodiversité du sol, alternent la répartition des racines dans le sol (profil racinaire), apportent divers types d'éléments nutritifs au sol et retirent les éléments minéraux du sol en proportions diverses.

1.1 Que sont les engrais verts?

Les engrais verts, connus également en tant que cultures de couverture, cultures pièges ou cultures intercalaires, ont pour rôle de couvrir le sol et de diminuer les érosions hydrique et éolienne. Ils ne sont pas destinés à être récoltés, mais plutôt à être enfouis dans le but de conserver ou d'améliorer la qualité du sol. De plus, les engrais verts ont la capacité d'absorber les éléments nutritifs, dont l'azote, laissés par une culture précédente et de les libérer à la culture suivante. Leur rapport carbone-azote (C/N) bas, donc riche en azote, permet une décomposition rapide afin que les éléments fertilisants soient disponibles à la culture subséquente (L'ABC, 2008).

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. Cet apport d'azote permet de réduire, et même d'éviter, l'épandage d'engrais minéraux ou de fumiers. Par contre, lorsqu'elles sont enfouies et dégradées, les légumineuses émettent du N_2O , tout comme le font les engrais minéraux. Malgré cela, leur action bienfaisante

sur la qualité du sol et la libération lente de l'azote contenu dans leur biomasse font en sorte que l'émission de N₂O pourrait être moindre que la valeur attribuée par défaut, soit d'environ 1 % de N₂O émis par kg de N (Janzen, 2008). Le même coefficient est attribué aux engrais minéraux et organiques, sans égard à leurs impacts différents sur le sol. De plus, l'azote fixé naturellement n'a pas à être fabriqué et transporté, ce qui réduit les émissions de GES par rapport aux engrais minéraux.

1.1.1

Le choix d'un engrais vert

Que ce soit en grandes cultures ou en maraîchage, plusieurs options sont à votre disposition. Cultivé en dérobée, en intercalaire ou en culture principale, un engrais vert s'adapte aux cultures et à leurs périodes de récolte. Avoine, moutarde, sarrasin, seigle d'automne : une multitude d'espèces végétales peuvent être cultivées comme engrais verts.

Il est primordial de choisir un engrais vert compatible avec les cultures principales de la rotation. Par exemple, il est déconseillé d'introduire un engrais vert de crucifères avant une culture maraîchère de la même famille, car cela pourrait augmenter les possibilités d'hernie des crucifères et attirer des prédateurs tels la mouche du chou ou les altises. En plus des risques phytosanitaires, il y a des considérations liées à la récolte (hauteur de l'engrais vert au moment du battage de céréales), au semis (résidus de culture trop abondants pour le semis) ou au sarclage (résidus de culture trop abondants pour le sarclage de la culture suivante).

Notons que dans le cas où l'objectif est de capter l'azote résiduel suite à une culture exigeante en fertilisants, l'utilisation des plantes non fixatrices d'azote est préférable. À l'inverse, dans le cas où l'objectif est d'ajouter de l'azote au système, l'utilisation des légumineuses peut être avantageuse.

On retrouve les propriétés d'une trentaine d'espèces utilisées comme engrais verts au tableau I du module « Engrais verts et cultures intercalaires » du guide du CPVQ (CPVQ, 2000). Ce guide présente des informations très pertinentes et concrètes permettant aux producteurs de faire des choix judicieux pour l'introduction d'engrais verts dans la rotation.

1.2

Les légumineuses en culture principale

En plus d'être utilisées comme engrais verts, les légumineuses peuvent également être cultivées en tant que culture principale. C'est le cas du soya et de la luzerne. Ayant la capacité de fixer l'azote atmosphérique, les légumineuses nécessitent moins d'azote minéral lorsqu'elles sont cultivées en culture principale et récoltées. Étant donné que le processus de fixation d'azote ne stimule pas la production de N₂O (Rochette et Janzen, 2005), il n'y a donc pas de risque plus élevé d'émissions de N₂O pendant la culture. La culture de légumineuses permet donc de réduire l'épandage d'engrais minéraux, diminuant non seulement les émissions de N₂O qui y sont reliées, mais également les émissions provenant du transport et de la fabrication de l'engrais.

1.3

Comment les engrais verts et les légumineuses réduisent les GES

L'introduction d'engrais verts dans la rotation réduit les émissions de GES de plusieurs façons. Premièrement, l'utilisation des légumineuses, fixatrices d'azote atmosphérique, permet de diminuer l'épandage d'engrais minéraux dont la fabrication et le transport émettent beaucoup de GES. De plus, lorsqu'elles sont utilisées comme culture principale les besoins annuels d'azote sont restreints et les émissions de N₂O atténuées. Les engrais verts peuvent également capter l'azote résiduel laissé par la culture principale, réduisant ainsi les risques d'émissions directes et indirectes de N₂O. Enfin, l'implantation d'engrais verts permet l'accumulation de carbone dans le sol, soit le captage et le stockage du carbone atmosphérique dans les sols par le biais de processus physiques et biologiques tels que la photosynthèse². En effet, certaines pratiques agricoles favorisent l'accumulation de carbone organique dans le sol (COS), constituant principal de la matière organique du sol.

² « Séquestration ». [En ligne]. Glossaire de GreenFacts. [<http://www.greenfacts.org/fr/glossaire/pgrs/seques-tration-carbone.htm>] Consulté le 6 mars 2009.

1.3.1 Diminution des émissions directes de protoxyde d'azote lors de la culture de légumineuses

Comparativement aux rotations de cultures, les monocultures fragilisent, à long terme, la structure du sol. Ceci a des effets néfastes sur le sol, dont une rétention insuffisante des éléments nutritifs et une faible infiltration de l'eau. De plus, le manque d'air provoqué par une structure déficiente du sol, un drainage inadéquat ou une forte compaction sont propices à la dénitrification de l'azote, principal processus biologique à l'origine du protoxyde d'azote.

La dénitrification est définie comme une « réduction par voie microbienne des nitrates du sol en nitrites, puis en composés ammoniacaux avec perte d'azote à l'état gazeux »³. Le protoxyde d'azote est donc un produit secondaire de ce processus. Les conditions propices à la production de N₂O en milieu agricole sont un sol laissé à nu, ayant un excès d'humidité, et compacté, avec un excès d'azote minéral.

Comme il a été mentionné plus haut, il est possible de réduire les GES grâce à la réduction d'utilisation des engrais de synthèse et à la réduction des pertes d'azote minéral. Les scientifiques du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) estiment que chaque kilogramme d'azote minéral épandu au champ produit 0,010 kg de N₂O-N⁴, soit 4,9 kg CO₂e (IPCC, 2006). Tel que vu précédemment, le N₂O a un potentiel de réchauffement global 310 fois supérieur à celui du CO₂.

La fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses ne produit pas de N₂O (Rochette et Janzen, 2005; GIEC, 2007); c'est plutôt leur enfouissement qui engendre des émissions. Le remplacement, dans une rotation, d'une culture exigeant une fertilisation azotée par une légumineuse, diminue donc les émissions de N₂O. Par exemple, dans une étude sur le

précédent cultural, Drury et al. (2008) ont conclu que cultiver en monoculture 1/3 de maïs, 1/3 de soja et 1/3 de blé d'hiver sur une terre, sans rotation, produit toujours plus de N₂O qu'effectuer une rotation de ces trois cultures sur une superficie équivalente. La rotation permet donc 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. Dans cette étude, la monoculture de maïs a émis 2,62 kg N₂O-N/ha (1,3 tonnes CO₂e), tandis que la rotation a émis 1,03 kg N₂O-N/ha (0,5 tonnes CO₂e). Les auteurs supposent que cela est dû, entre autres, au taux de fertilisation supérieur de la culture de maïs (170 kg N/ha). L'utilisation d'engrais minéraux serait donc moindre au bout d'une année de culture quand il y a des légumineuses dans la rotation.

Formule pour calculer l'émission de N₂O ainsi évitée :

$$\text{kg N minéral (non épandu)}^* \\ 0,01 \text{ kg N}_2\text{O-N/kg N} * 44/28 * 310 = \\ \text{kg CO}_2\text{e évité}$$

1.3.2 Diminution des émissions indirectes de protoxyde d'azote

1.3.2.1 Captation de l'azote non utilisé par les cultures

Les pertes d'azote minéral contribuent à 22 % des émissions indirectes de N₂O en agriculture (Gregorich et al., 2005). Cela signifie que l'azote minéral non utilisé, qui est lessivé et qui ruisselle hors du champ, peut se transformer en protoxyde d'azote ultérieurement. L'efficacité des engrais azotés est souvent de moins de 50 % en raison de la formulation de l'engrais, du taux de libération, des conditions climatiques, etc. (Vergé et al., 2007). En les semant pendant ou après une culture fertilisée, les engrais verts ont alors le potentiel de réduire ces émissions indirectes de GES. Ils captent l'azote en trop dans le système, puis libèrent lentement des minéraux, diminuant ainsi les risques de lessivage et de volatilisation de l'azote au champ. Selon Gregorich et al. (2005), il y a moins de pertes associées à l'azote d'origine organique que minérale.

³ « Dénitrification », [En ligne], Grand dictionnaire terminologique, [www.granddictionnaire.com] Consulté le 21 mai 2009.

⁴ Le N₂O-N est une expression du protoxyde d'azote, sur une base d'azote. Pour convertir le N₂O-N en N₂O, il faut le multiplier par 44/28, le ratio des masses moléculaires.

1.3.2.2

Diminution de la dépendance à une industrie polluante

Une autre source importante d'émissions indirectes de GES se situe en amont de l'utilisation d'azote minéral : au niveau de la fabrication et du transport des engrais azotés. Dans l'Ouest canadien, 70 % de l'énergie non renouvelable utilisée en agriculture est attribuable à la fabrication et au transport d'engrais, particulièrement l'azote (Lemke et al., 2007). L'hydrogène contenu dans l'engrais azoté provient du gaz naturel, indispensable à sa fabrication. Ainsi, chaque kilogramme d'engrais azoté non produit permet d'éviter l'émission de 3,7 kg CO₂e dus à la fabrication et au transport.

1.3.3

Accumulation du carbone lors de l'enfouissement d'engrais verts

Les engrais verts contribuent également à la lutte aux changements climatiques en augmentant la quantité de carbone dans le sol lorsqu'ils sont enfouis. Gregorich et al. (2001) ont déterminé qu'après 35 ans de rotation incluant des légumineuses, le sol contenait 20 tonnes de carbone de plus (73 tonnes CO₂e) par hectare qu'une monoculture de maïs. Meyer-Aurich et al. (2006), ayant réalisé une étude semblable, ont conclu qu'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. Hutchinson et al. (2007) aboutissent au même constat : inclure des légumineuses ou des plantes pérennes augmente la quantité de carbone du sol, car elles retournent une grande partie de leur biomasse au sol.

Dans cette revue de littérature, les résultats de deux études montrent d'ailleurs que l'ajout de fourrages dans la rotation, plus particulièrement de légumineuses, permet d'accumuler 1610 et 2750 kg CO₂e/ha. Enfouir la légumineuse apporte donc une bonne quantité de carbone au sol et réduit le bilan total des émissions de GES à la ferme.

1.3.4

Cas fictif de réduction des émissions de GES

Voici un exemple comparatif des émissions de GES engendrées par l'introduction d'un engrais vert de trèfle rouge (légumineuse) dans une

rotation de blé-maïs-soya. Les émissions totales incluent les émissions indirectes, c'est-à-dire le transport et la fabrication des engrais minéraux azotés. L'azote minéral ou organique engendre des émissions de protoxyde d'azote, mais l'enfouissement de la biomasse de l'engrais vert contrebalance cet effet en permettant une accumulation de carbone dans le sol.

Dans le cas présent, deux tonnes et demie de trèfle sont enfouies, ce qui équivaut à un apport d'environ 60 kilogrammes d'azote (32 kg N par tonne avec un coefficient de minéralisation pour l'azote de 0,5 à 0,7) (CPVQ, 2000). Cet apport diminue d'autant les besoins en azote minéral pour la culture du maïs l'année suivante.



© Ghislain Jutras

Tableau 2. Impact de l'implantation d'un engrais vert de trèfle rouge, ayant un rendement de 2,5 tonnes par hectare, sur le bilan des émissions de GES (kg CO₂e) pour une rotation blé-maïs-soya

Opération agricole	Impact sur le bilan GES (kg CO ₂ e)
Enfouissement de l'engrais vert	
Émissions de N ₂ O de l'engrais vert (60 kg N ¹)	292 ²
Accumulation de carbone	-200 ³
Passage de machinerie	
Enfouissement avec herse	16
Engrais minéral dans la culture de maïs, après l'engrais vert	
60 kg N non appliqué ¹	-292 ²
Émissions directes	-184
Émissions indirectes : Transport et fabrication de l'engrais minéral	
60 kg N non achetés ¹	-220
Émissions totales	-404

1- Correspond à l'apport azoté de l'engrais vert, de 60 kg N, qui a permis une réduction de l'engrais minéral d'une quantité équivalente.

2- Valeur calculée avec le coefficient de 1 % du GIEC.

3- Moyenne calculée selon les résultats de Meyer-Aurich, 2006.

L'impact de l'implantation de l'engrais vert dans la rotation est de -404 kg CO₂e, c'est-à-dire une réduction des émissions de GES, due à l'engrais vert. Ce dernier a permis de diminuer l'application d'engrais minéraux dans la culture de maïs et d'accumuler du carbone. Cet exemple de rotation nous permet d'estimer que, sur une superficie de 75 hectares, nous éviterions des émissions directes et indirectes de GES de l'ordre de 30 tonnes CO₂e (404 kg CO₂e/ha sur 75 ha).

1.4 L'apport azoté des engrais verts

1.4.1 Banque d'azote et humus du sol

L'apport azoté fourni par l'engrais vert, qui s'ajoute à la banque de minéraux du sol, doit être évalué avant de diminuer la quantité

d'azote minéral à fournir à une culture. L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) travaille présentement à l'identification d'indicateurs efficaces pour prédire la fertilisation azotée des sols, c'est-à-dire la quantité d'azote qui provient de la banque du sol (N'Dayegamiye, 2008). À ce jour, les chercheurs ont évalué que la quantité d'azote que le sol fournit aux cultures oscille entre 90 et 210 kg/ha. Cette richesse du sol en azote varie entre les champs et provient de l'historique des apports en engrais organiques (résidus de cultures, engrais verts, fumiers ou autres types de matériaux organiques). Selon l'IRDA, les précédents culturaux et la texture des sols seraient les deux principaux éléments qui déterminent la dose d'azote à fournir à la culture. Le prix de l'azote ne serait donc pas le principal déterminant.

Dans cette étude, l'IRDA a estimé que l'azote contenu dans le sol est une source fertilisante importante pour le maïs, contribuant de 12 à

75 % au prélèvement total d'azote de la culture. C'est pourquoi il est essentiel de régénérer cette banque d'azote du sol avec des apports en matière organique, à l'aide d'une rotation qui inclut des engrais verts, des résidus de culture ou des fumiers. L'IRDA travaille aussi à la détermination de doses optimales d'azote à appliquer pour la pomme de terre, suite à l'incorporation de différentes cultures de couverture ou de résidus de culture (N'Dayegamiye, 2008b). Ces résultats, prévus pour 2009, 2010 et 2012, permettront de formuler des recommandations concernant les meilleures cultures (engrais verts) à introduire dans la rotation, et concernant la dose optimale de fertilisant azoté prenant en compte l'apport azoté des engrais verts.



© Ghislain Jutras

Les engrais verts dans une rotation permettent d'apporter au sol de la matière organique qui, lors de sa décomposition, libérera des éléments nutritifs. Selon Brenda Frick, les engrais verts relâchent 60 % de leur azote la première année de décomposition, et 20 % la deuxième année (CABC, 2007a). Un autre 20 % serait emmagasiné dans le sol, c'est-à-dire sous forme organique dans l'humus du sol et dans les micro-organismes. La libération lente des minéraux laisse croire qu'il y a moins de pertes par lessivage et ruissellement avec les engrais verts qu'avec les fertilisants minéraux.

L'humus contenu dans le sol est essentiel à la croissance des plantes. C'est une réserve de matière organique stable. Il est à la base de la fertilité et de la conservation des sols⁵. C'est l'humus qui entrepose l'azote organique du sol et le libère lentement sous forme d'azote minéral pour le rendre disponible à la culture et aux micro-organismes. L'humus a aussi la capacité de retenir l'eau dans le sol, comme une éponge. Il se régénère grâce à l'apport de résidus végétaux et de fumiers. La perte d'humus, due à sa décomposition, peut aller jusqu'à 1000 kg/ha/an dans un sol cultivé, soit 1 tonne par an⁶! Ceci démontre l'importance d'apporter de la matière végétale au sol.

1.4.2 Activité microbienne et disponibilité des éléments minéraux

Le rapport C/N du sol est plus équilibré avec un apport de résidus d'engrais verts de légumineuses qu'avec seulement des résidus de céréales et, conséquemment, les micro-organismes du sol y sont plus actifs. L'activité des bactéries et des champignons est plus intense à des rapports C/N d'environ 35/1 plutôt qu'à 80/1. Ces organismes sont à la base du cycle des éléments nutritifs, comme la dégradation des débris végétaux, la nitrification, la dénitrification, etc. La vie microbienne permet aux éléments emmagasinés

⁵ « Humus », [En ligne], Grand dictionnaire terminologique, [http://granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index1024_1.asp] Consulté le 9 décembre 2008.

⁶ « Humus », [En ligne], Dictionnaire Larousse, [http://www.larousse.fr/ref/nom-commun-nom/humus_59009.htm] Consulté le 9 décembre 2008.

dans les tissus végétaux des engrais verts ou des résidus de redevenir disponibles pour d'autres plantes.

Pour bénéficier de l'action des engrais verts, leur implantation doit être suivie d'une culture qui saura exploiter les éléments nutritifs libérés. Le moment d'enfouissement des engrais verts est crucial pour la disponibilité des éléments nutritifs, car il influence la dégradation future dans le sol. L'ABC du conseiller agricole suggère de les enfouir à l'automne quand la température se situe à 10 °C ou moins, ou d'attendre le printemps suivant. Toutefois, il ne faut pas oublier les bonnes pratiques environnementales, qui conseillent de ne pas labourer un sol mouillé. L'azote fixé ou capté qui se volatilise la saison suivante est perdu pour la production végétale. Cela confirme également la nécessité d'implanter une culture exigeante en azote après celle de légumineuses.

1.4.3

Exemple réel d'application au champ

Le Dura-Club, situé à Bedford, a développé une méthode pour calculer l'apport azoté des engrais verts. Durant l'été 2008, les conseillers de ce club ont suivi des agriculteurs qui effectuaient des rotations de cultures avec engrais verts⁷. Selon leurs observations, certains engrais verts s'établissent bien sans fumier. Cela est avantageux pour un producteur qui importe du fumier et qui voudrait cesser de le faire. Par exemple, le trèfle rouge en intercalaire dans une culture de blé fournit un apport de 26-36 kg N/ha à la culture suivante. De plus, les cultures intercalaires ne nécessitent pas de travail de sol supplémentaire.

Les résidus de battage de la culture principale peuvent également devenir un engrais vert. Par exemple, un producteur du Dura-Club a échappé des semences d'avoine lors de sa récolte. L'avoine qui a poussé a produit 2250 kg/ha et, selon leurs estimations, cela a fourni 34-47 kg N/ha lorsque le producteur l'a enfoui au printemps. En tenant compte de ces apports en azote et en les incluant dans le PAEF⁸, il est possible de diminuer les doses d'engrais minéraux. Cet azote, qui aurait pu être perdu, a

été capté et les émissions de protoxyde d'azote évitées. Les émissions évitées sont difficilement quantifiables, mais cette pratique est intéressante en termes de recherche d'efficacité à la ferme.

Dans un article publié dans *Le Bulletin des agriculteurs* en mars 2003, M. André Brunelle affirmait qu'un engrais vert peut récupérer de 27 à 54 kg N/ha de la culture précédente pour les remettre à la culture suivante. Ces valeurs peuvent varier selon les conditions (espèce utilisée, rendement, qualité de sol...).

L'enfouissement de l'engrais vert doit être fait à un moment favorable afin d'optimiser l'utilisation des nutriments apportés par celui-ci. Aussi faut-il déterminer le moment d'enfouissement selon la rotation.

1.5

Les avantages économiques à la ferme

Diminuer les pertes d'azote s'avère une solution à la fois écologique et économique. Le prix de l'engrais azoté est actuellement très élevé, soit d'environ 900 \$ pour une tonne d'urée (46-0-0)⁹. Les engrais verts, en remplacement de l'engrais azoté, représentent des économies intéressantes pour le producteur.

La valeur des minéraux contenus dans un engrais vert ayant une biomasse de 2 tonnes/ha était estimée à 100 \$ l'hectare en 2000 (CPVQ, 2000). Toutefois, c'est la disponibilité des éléments nutritifs contenus dans la plante qui déterminera l'économie réelle en fertilisants. Cette disponibilité varie selon le taux de minéralisation, spécifique à chaque élément (voir tableau 3 du module 6 du CPVQ (2000)); elle influe donc sur la quantité d'éléments nutritifs à apporter à la culture suivante et, par conséquent, sur les coûts en fertilisants minéraux. Il est alors possible d'évaluer, au cas par cas, l'apport de minéraux ainsi que l'économie réelle en fertilisants sur une ferme.

Dans l'article du *Bulletin des agriculteurs* dont nous avons parlé précédemment, les bénéfices nets des engrais verts étaient évalués entre 10 \$

⁷ Communication téléphonique avec Florent Ruyet, agronome au Dura-Club, le 13 janvier 2009.

⁸ Plan agroenvironnemental de fertilisation (PAEF).

⁹ Communication par courriel avec un administrateur de la COOP Profid'Or de Joliette, le 30 avril 2009.

et 65 \$ l'hectare pour un rendement entre 2 et 4 tonnes de matière sèche par hectare. Ces valeurs tenaient compte du passage de la machinerie nécessaire à l'implantation de l'engrais vert, de l'achat de semences et de l'augmentation du rendement de la culture principale. L'économie directe en fertilisants due à l'enfouissement de l'engrais vert serait de 40 \$ l'hectare pour un rendement de 2 tonnes/ha et 80 \$ pour un rendement de 4 tonnes/ha. Ces valeurs sont reliées à cet exemple particulier, il ne faut donc pas s'attendre à obtenir les mêmes résultats dans un contexte différent. Cependant, il est clair que les engrais verts engendrent des bénéfices économiques tangibles.

L'amélioration des propriétés physiques du sol par les engrais verts permet aussi d'augmenter le rendement, par exemple de 350 kg d'orge/ha (CRAAQ, 2004). Selon cet article, l'avantage économique d'un engrais vert en culture de couverture semé après la récolte de céréale est de 29 \$/ha lorsque la fertilisation est ajustée selon les apports en minéraux attribuables aux engrais verts.

Il y a donc un double avantage économique à les cultiver : la diminution des coûts de fertilisants minéraux et l'augmentation des rendements. Les engrais verts ont plus d'un tour dans leur sac!

1.6 Les autres bénéfices

Les engrais verts offrent aussi l'avantage de diminuer les érosions éolienne et hydrique du sol, car ils le retiennent jusqu'à la saison suivante. L'érosion est une perte directe de terre arable, donc d'éléments nutritifs, et a des conséquences tant sur la ferme que dans le milieu environnant. 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 l'érosion du sol (MAAARO, Non daté). Les engrais verts sont des alliés à la productivité de l'entreprise et à la pérennité du sol!

1.7 Petit rappel

Calcul d'évitement direct (par la diminution de l'épandage total sur une année) :

$$\begin{aligned} & \text{kg N minéral (non épandu) *} \\ & 0,01 \text{ kg N}_2\text{O-N/kg N * 44/28 * 310 =} \\ & \text{kg CO}_2\text{e évité} \end{aligned}$$

Calcul d'évitement des émissions dues au transport et fabrication :

$$\begin{aligned} & \text{kg N minéral (non épandu) *} \\ & 3,7 \text{ kg CO}_2\text{e/kg N = kg CO}_2\text{e évitées} \end{aligned}$$

Calcul d'accumulation du carbone :

Évaluer au cas par cas, selon la plante et son rendement en biomasse.

Bénéfices des engrais verts :

- Amélioration des propriétés du sol;
- Augmentation du rendement des cultures;
- Captage de l'azote résiduel après une culture;
- Diminution de l'érosion éolienne et hydrique;
- Évitement des émissions de GES dues à la fabrication et au transport des engrais;
- Diminution des besoins en azote durant l'assolement en légumineuses.

2 L'accumulation du carbone par les haies brise-vent

2.1 Qu'est-ce qu'une haie brise-vent?

Une haie brise-vent consiste en un alignement d'arbres ou d'arbustes dont le rôle est de protéger les cultures, les sols, les bâtiments, les animaux d'élevage ou les routes, des méfaits du vent. Les principaux facteurs qui influent sur son efficacité sont la porosité, la hauteur et l'orientation de la haie (Vézina, 2004a). Une haie brise-vent protège sur une distance de dix à vingt fois sa hauteur. Idéalement, son orientation doit être perpendiculaire aux vents dominants.

La porosité, définie par le pourcentage de vides apparents, est le critère le plus utilisé pour évaluer l'efficacité de la haie. La protection des cultures et des sols requiert une haie brise-vent d'une porosité de 40 % en été et de 70 % en hiver. Une rangée d'arbres feuillus, espacés de trois mètres, permet généralement d'atteindre cet objectif. Toutefois, si l'on insère des arbustes dans la haie brise-vent, un espacement de quatre mètres entre eux est alors conseillé. Pour la protection des bâtiments, une porosité d'au moins 50 % durant toute l'année est optimale. Pour y parvenir, deux à trois rangées d'arbres, espacés de trois mètres, incluant une rangée d'arbres à feuilles persistantes, doivent être plantées. La haie doit être localisée à une distance de 30 mètres des bâtiments, ce qui permet une réduction appréciable des odeurs et laisse de l'espace pour l'accumulation de neige (Vézina, 2004b).

Le choix des végétaux est une étape cruciale dans la planification de la haie. Plusieurs documents peuvent vous y aider. Par exemple, les clubs-conseils en agroenvironnement (CCAÉ) ont publié une fiche qui présente une importante variété d'arbres et d'arbustes indigènes, et permettant de sélectionner les espèces selon le type de sol et le climat à la ferme, et aussi de créer un paysage coloré en

fonction de l'évolution des saisons (CCAÉ, 2006). De plus, des experts de l'Institut de technologie agroalimentaire (ITA) du campus de La Pocatière ont rédigé et produit un guide pour la planification et l'implantation d'une haie brise-vent, disponible en ligne (Vézina et al., 2007) (www.wbvecan.ca/francais/document.html). Ce document comporte des sections sur les avantages, les critères d'efficacité, la planification, l'implantation, l'entretien et les coûts des haies brise-vent.

De nombreux bénéfices découlent de l'installation de haies brise-vent, dont la réduction de la vitesse du vent, ce qui affaiblit ainsi son pouvoir érosif sur les sols organiques et sur les sols sableux.

En outre, les haies brise-vent amoindrissent les odeurs émanant des installations d'élevage (Choinière, 2004) et contribuent au bien-être des animaux d'élevage en les protégeant des vents froids et du soleil.

De plus, des haies brise-vent installées en bordure des cours d'eau peuvent réduire l'érosion hydrique et la température du cours d'eau, tout en filtrant les éléments polluants provenant des champs. L'implantation d'arbres et d'arbustes en haies contribue également à augmenter la biodiversité, en plus d'embellir les paysages et de stocker du carbone atmosphérique.

2.2 Comment les haies brise-vent réduisent les GES

Les arbres sont les poumons de la terre, c'est bien connu! Ils captent le CO₂ pour produire de la biomasse (fibres de cellulose et d'hémicellulose) et émettent de l'oxygène. En captant le CO₂, l'un des principaux GES, les arbres s'avèrent être des alliés dans la lutte aux changements climatiques. La plantation de végétaux est donc un moyen éprouvé pour

réduire les impacts des changements climatiques.

Les arbres peuvent accumuler une grande quantité de carbone dans leur biomasse. Par exemple, une haie de trois rangées d'un kilomètre de long immobiliserait 300 tonnes de carbone en 40 ans (MAPAQ, 2005). La quantité de CO₂ séquestrée par les végétaux est inhérente à la biomasse produite, cette dernière variant en fonction des espèces et de leur rapidité de croissance.

Dans un document récent, Agriculture et Agroalimentaire Canada présente les résultats d'une évaluation de la séquestration du carbone (Hernandez et al., 2008). Ainsi, une haie brise-vent modèle, couvrant une superficie de 1,5 ha, composée de peupliers hybrides pour deux tiers et de frênes de Pennsylvanie pour un tiers, séquestrerait 31 tonnes de CO₂/ha/an. Le modèle sur lequel nous nous basons pour mesurer le captage de carbone est le suivant (Hernandez et al., 2008).

$$\text{CO}_2\text{e (kg/ha)} =$$
$$[(\text{Biomasse totale (m}^3\text{/ha)} * \text{Densité anhydre du bois (kg sec/m}^3\text{))} * \text{Carbone/Matière sèche}^{10} \text{ (kg/kg)}] * \text{CO}_2\text{/Carbone}^{11} \text{ (kg/kg)}] + \text{C dans litière et bois mort}^{12} \text{ (kg/ha)}$$

Notez que m³ signifie mètres cube dans l'équation précédente.

2.3 Les avantages économiques à la ferme

En considérant les coûts variables (approvisionnements et opérations culturales) et les coûts fixes, l'implantation d'une haie brise-vent composée d'une rangée d'arbres à croissance rapide, d'une rangée de conifères et d'une rangée de feuillus, exigerait un investissement de 4 547 \$/km (CRAAQ, 2008a).

Des haies comportant une ou deux rangées sont proportionnellement moins coûteuses.

Même si elle représente des coûts importants pour les producteurs, l'implantation de haies apporte néanmoins des bénéfices économiques appréciables. Par exemple, elles peuvent réduire de 10 % les coûts de chauffage des serres et des bâtiments d'élevage, tout en diminuant les coûts de déneigement des chemins privés et publics.

D'ailleurs, au cours des dernières années, plusieurs fiches informatives, publiées entre autres sur Agri-Réseau, documentaient les bénéfices des haies brise-vent.

En créant un microclimat favorable, les haies brise-vent augmentent les rendements des cultures. Ces augmentations varient selon les cultures et selon les années (voir le tableau 3).

¹⁰ Contenu de carbone dans la masse anhydre : 50 %

¹¹ 1 kg carbone : 3,67 kg CO₂

¹² Contenu de carbone dans la litière : 15 % du carbone dans la biomasse totale

Tableau 3. Augmentation de rendement pour différentes cultures protégées par des haies brise-vent

Cultures	Pays ou province	Augmentation de rendement (%)	Distance protégée (H)	Type de haies brise-vent	Auteurs
Blé de printemps	États-Unis	8,9	9	artificiel	Frank et Willis, 1978
Fèves de soya	Ontario	12	9	naturel	Baldwin et Johnston, 1984
Fraises	Écosse	21-77	6	artificiel	Waister, 1972
Maïs	Ontario	10	10	naturel	Baldwin et Johnston, 1984
Pommes de terre	Ontario	6	10	naturel	Baldwin, 1985
Tomates	États-Unis	11-16	-	artificiel	Rosenberg et al., 1967

Le Syndicat des producteurs de porcs de la Mauricie a publié un document concernant les haies brise-vent autour des bâtiments. Ce document conclut que les bénéfices économiques pour le producteur sont palpables sur une période de 10 à 20 ans, selon les modèles de haies étudiés (SPPM, 2007). Les réductions de coûts de chauffage et de déneigement sont les principales sources d'économie pour le producteur. De plus, les émissions de GES dues au déneigement et au chauffage (mazout, carburant ou gaz naturel) sont moindres. Par exemple, brûler du gaz naturel pour fournir un kilowattheure d'énergie produit 180 grammes de CO₂ (AEE, 2009).

Concernant les haies brise-vent protégeant les cultures, le délai pour rentabiliser l'investissement est principalement lié à la rapidité de croissance des végétaux et au pourcentage d'augmentation du rendement anticipé.

Prenons l'exemple d'une culture de maïs-grain qui produit en moyenne 8,12 tonnes/ha au Québec (ISQ, 2008). En supposant une augmentation de rendement de 10 % sur 10 fois la hauteur (H) de la haie, l'augmentation pourrait être de 0,812 tonne/ha ou 812 kg/ha. Une haie de 15 mètres de haut et de 1 kilomètre de long protège 15 ha de maïs-grain (1000 m * 15 m * 10 H / 10 000 m² /ha). L'augmentation de rendement par la haie serait alors de 12 180 kg (812 kg/ha * 15 ha), ce qui équivaut à 479 boisseaux. Pour un boisseau vendable 4 \$, le bénéfice généré par la haie serait de 1 918 \$.

Le producteur a donc intérêt à ce que la haie croisse le plus rapidement possible, car la protection des cultures est tributaire de la hauteur des arbres. Pour y parvenir, il devra choisir des espèces bien adaptées aux conditions du site et assurer un entretien adéquat.

Selon une étude de Hernandez et ses collègues (2008), les haies brise-vent sont également rentables pour des entreprises céréalières, même en considérant les coûts de plantation et d'entretien, ainsi que les pertes de superficie.

Un simulateur économique, valide pour l'est du Canada, est disponible sur le site www.wbvecan.ca. Il permet aux conseillers agricoles d'évaluer les retombées économiques des haies brise-vent et des bandes riveraines pour différents besoins de protection. Il estime aussi l'accumulation du carbone par la haie brise-vent. Cet outil prend aussi en compte des revenus potentiels en bois, en biomasse ou en petits fruits que les haies brise-vent peuvent générer.

Finalement, si un producteur possède des terres marginales et peu fertiles, le fait de les reboiser peut diminuer le bilan des émissions de GES à la ferme et engendrer des bénéfices économiques. Ainsi, choisir des feuillus nobles, des espèces à croissance rapide utilisées en courte rotation ou des arbres producteurs de noix, de fruits ou de bois de qualité, peut s'avérer être une option intéressante. Ce sujet sera discuté au chapitre sur l'agroforesterie (4.).

2.4 Les autres bénéfiques

Les haies brise-vent procurent d'autres bénéfiques : protection des cultures contre les microblessures causées par les particules de sol, protection du sol contre l'érosion éolienne, diminution des odeurs, ombrage pour les animaux, utilisation plus efficace de l'eau par la culture principale, etc.

En plus d'héberger une faune variée, il est possible d'y cultiver des champignons ou des espèces forestières non ligneuses, qui diversifient les activités agricoles.

La société peut également bénéficier de l'implantation de haies brise-vent par l'embellissement des paysages agricoles, la protection de la biodiversité, la réduction de la pollution diffuse et la conservation des sols et de l'eau. Au Canada, plusieurs études en cours tentent d'évaluer les retombées monétaires de ces biens et services environnementaux.

2.5 Petit rappel et programmes accessibles

Calcul de séquestration du CO₂e :

$$\text{CO}_2\text{e (kg/ha)} = \left[(\text{Biomasse totale (m}^3\text{/ha)} * \text{Densité anhydre du bois (kg sec/m}^3)) * \text{Carbone/Matière}^{13} \text{ sèche (kg/kg)} \right] * \text{CO}_2\text{/Carbone}^{14} \text{ (kg/kg)} + \text{C dans litière et bois mort}^{15} \text{ (kg/ha)}$$

Notez que m³ signifie mètres cube dans l'équation précédente.

Bénéfices :

- Protection contre l'érosion éolienne et réduction des microblessures des plantes;
- Augmentation du rendement de grandes cultures de 10 à 20 %;

- Réduction des odeurs;
- Accumulation de neige, protection contre les gels;
- Réduction des coûts de chauffage et de déneigement;
- Augmentation des aires d'ombrage pour les animaux;
- Embellissement du paysage;
- Séquestration du CO₂ atmosphérique.

Programme de soutien

Le volet 10.1 du programme Prime vert du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) offre des subventions pour l'implantation de haies brise-vent dans des bassins versants désignés. L'aide maximale est de 50 000 \$ et couvre jusqu'à 90 % des coûts admissibles.

Le ministère des Ressources naturelles et de la Faune produit des arbres qu'il distribue gratuitement par l'entremise du MAPAQ. Il est recommandé de s'adresser à l'un des centres de services agricoles du MAPAQ, avant la fin d'octobre, pour obtenir des plants prêts à être plantés au printemps. Toutefois, il peut être nécessaire de compléter le lot avec l'achat d'arbres et arbustes chez des pépiniéristes privés. Pour planifier la plantation de haies brise-vent, vous pouvez consulter le MAPAQ, votre club-conseil en agroenvironnement ainsi que les sites Internet mentionnés ci-haut.



© Véronique Gagnon

¹³ Contenu de carbone dans la masse anhydre : 50 %

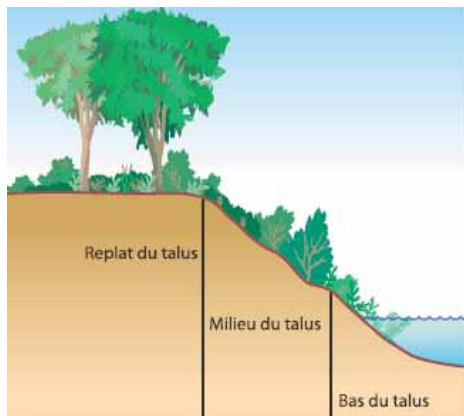
¹⁴ 1 kg carbone : 3,67 kg CO₂

¹⁵ Contenu de carbone dans la litière : 15 % du carbone dans la biomasse totale

3 La production de biomasse énergétique sur des bandes riveraines élargies

3.1 Qu'est-ce qu'une bande riveraine?

La bande riveraine est une zone de végétation en bordure des cours d'eau. Elle sert de zone tampon entre le champ et le cours d'eau. Elle assure le maintien de la qualité de l'eau et des services écologiques engendrés par les cours d'eau. La végétation permanente qui la compose (arbres, arbustes ou herbacées) diminue le ruissellement qui, dans certains cas, transporte des particules de sol, des résidus de pesticides et des fertilisants vers les cours d'eau. La bande riveraine est habituellement constituée de trois zones : une zone humide près du cours d'eau, une zone de transition et une zone de hautes terres (CCSE, 2004).



FIHOQ, 2008

La largeur de la bande riveraine peut varier de 3 à 20 mètres selon les caractéristiques du terrain et les cultures (REA, 2009; MAPAQ, 2006). Les bandes riveraines sont nécessaires à la protection des cours d'eau et sont régies par la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* (Gouvernement du Québec, 2009a). Le *Règlement sur les exploitations agricoles* (REA) met en œuvre les principes de cette politique en obligeant le maintien d'une bande riveraine de 3 mètres de

largeur ou d'un minimum de 1 mètre en haut du talus, si ce dernier se trouve à moins de 3 mètres de la ligne des hautes eaux (Gouvernement du Québec, 2009b). Selon le REA, il est interdit d'appliquer des matières fertilisantes dans cette zone.

Les graminées, qui forment généralement un épais tapis de racines superficielles, sont particulièrement efficaces pour filtrer les nutriments sortant des champs agricoles. Quant aux arbustes et aux arbres d'une bande riveraine, ils permettent de stabiliser le sol et de régulariser la température du cours d'eau. Il a été démontré qu'en enlevant la végétation le long d'un cours d'eau, la température de celui-ci augmentait de 2 à 10 °C (CCSE, 2004). Les bandes riveraines peuvent également agir comme haies brise-vent (CPVQ, 2000).

Pour être efficace, la bande riveraine doit être accompagnée de pratiques agricoles qui visent la conservation des sols. Idéalement, l'eau en provenance du champ devrait passer à travers la bande riveraine de façon uniforme pour éviter la création de chemins préférentiels. D'autres précautions s'imposent au champ, particulièrement concernant l'utilisation des pesticides et des herbicides. En effet, l'usage d'herbicides dans les cultures principales peut nuire à la croissance des végétaux de la bande riveraine. Il faut donc s'assurer d'employer des herbicides qui n'affecteront pas la bande riveraine.

Certaines herbacées, tel le panic érigé (*Panicum virgatum* L.) et le miscanthus (*Miscanthus giganteus*), gagnent de l'intérêt auprès des agriculteurs pour la restauration des bandes riveraines. De 2002 à 2007, des essais sur six différents cultivars de panic érigé ont été conduits au Québec (CRAAQ, 2008b). Ces expériences ont permis de connaître le rendement du panic érigé dans différentes régions du Québec, d'identifier les mauvaises herbes problématiques et de faciliter le choix d'un cultivar adapté aux conditions de la ferme.

Le miscanthus est également l'objet d'essais au Québec depuis 2007, et semble notamment dévoiler certains atouts pour la production de biomasse.

Ces deux graminées, le panic érigé et le miscanthus, produisent une quantité de biomasse importante sur des sols marginaux avec peu d'intrants. Elles possèdent des systèmes racinaires étendus et denses qui retiennent bien le sol. Toutefois, elles ont besoin de chaleur pour produire un maximum de biomasse, ce qui explique la variabilité des rendements dans les différentes régions du Québec.

Les arbres à croissance rapide, tels le saule et le peuplier, maintiennent et stabilisent bien le sol. Utilisés pour revégétaliser les berges, ils peuvent également être employés comme biomasse énergétique.

3.2 Comment les bandes riveraines peuvent réduire les GES

Les plantes pérennes (herbacées ou arbustives) peuvent nous aider à réduire les gaz à effet de serre (GES) de deux façons. Premièrement, la production de biomasse énergétique pourrait remplacer d'autres sources d'énergie fossile tel le mazout. En effet, la biomasse des plantes pérennes a un potentiel énergétique intéressant. La production d'énergie s'additionne alors à l'utilité initiale des bandes riveraines. Deuxièmement, les plantes pérennes des bandes riveraines accumulent le CO₂ atmosphérique dans le sol, agissant ainsi comme un puits de carbone.

3.2.1 Remplacer les énergies fossiles par de la biomasse renouvelable?

Le colloque « Biocarburants ou bioénergies? De l'énergie par et pour notre monde! », tenu à l'automne 2008, a mis en évidence le potentiel énergétique des cultures pérennes. L'utilisation de cette ressource énergétique permettrait d'éviter l'émission d'importantes quantités de CO₂ engendrées par l'utilisation de combustibles fossiles. Les émissions de CO₂ provenant des combustibles fossiles remettent en circulation du carbone qui était séquestré dans les profondeurs de la terre, ce qui augmente la

quantité de CO₂ atmosphérique. À l'opposé, la combustion de biomasse végétale émet seulement la quantité de CO₂ qui a été captée par la plante durant sa croissance.

Ainsi, l'utilisation de la biomasse végétale à des fins énergétiques présentera un bilan presque neutre au niveau de la quantité de CO₂ atmosphérique émis, à condition que la production et la transformation de la plante requièrent peu d'énergie (Samson, 2008). De plus, les plantes constituent une source d'énergie renouvelable, contrairement aux combustibles fossiles. Ces éléments font de la combustion de biomasse une pratique plus durable que celle des combustibles fossiles.

Présentement, les usines de granulation utilisent presque exclusivement des résidus forestiers, mais la compagnie québécoise Energex procède à des essais sur d'autres matières premières et agricoles (CRAAQ, 2008c). De même, il est possible qu'une usine de granules, Bio-Combustible International (<http://www.bio-combustible.com/>), voit le jour en Montérégie en 2010.

À la ferme, un système de chauffage permettant la combustion de ces granules contribuerait à réduire considérablement les GES. Il existe des fours et des chaudières adaptés à ce produit dans les secteurs industriel et institutionnel, mais leur utilisation dans le secteur résidentiel demeure peu répandue. Les perspectives de développement semblent être dirigées vers le chauffage des serres. De plus, leur efficacité reste à démontrer.

La compagnie d'équipements de chauffage Agrisource (www.agrisource.net) effectue présentement des essais sur l'utilisation de granules de panic érigé. Ils affirment pouvoir chauffer tout type de bâtiments avec des fours commercialisés valant entre 4 750 \$ et 24 000 \$¹⁶. Une autre compagnie, SBI Fabricant de poêles international inc. (www.sbi-international.com), développe un four qui utilisera de la biomasse autre que le bois¹⁷.

Des bandes riveraines élargies, sur lesquelles la biomasse des plantes pérennes est récoltée,

¹⁶ Communication personnelle, Jean-Pierre Pétrin, Agrisource, le 26 mars 2009.

¹⁷ Communication personnelle, SBI Fabricant de poêles international inc., le 30 mars 2009.

pourraient être utilisées à des fins énergétiques. En effet, plusieurs espèces végétales cultivées en bandes riveraines ont le potentiel de servir de biomasse énergétique. Ce chapitre présente quatre plantes qui suscitent beaucoup d'intérêt: le panic érigé, le miscanthus géant, le peuplier hybride et le saule à croissance rapide. Toutefois, le choix de l'espèce dépend, entre autres, des conditions hydriques et du type de sol du champ concerné ainsi que des conditions climatiques.

3.2.1.1 *Panic érigé*

Le Resource Efficient Agricultural Production Canada (REAP-Canada) étudie les possibilités d'utiliser la biomasse en remplacement des énergies fossiles. Selon ces chercheurs, une plante employée comme biomasse énergétique devra posséder les aptitudes suivantes¹⁸ :

- capter l'énergie solaire efficacement;
- ne pas influencer le coût des cultures alimentaires;
- avoir une bonne conversion énergétique;
- nécessiter peu d'énergie fossile pour sa production;
- requérir peu d'intrants, tels que les fertilisants et pesticides, pour sa croissance.

Le panic érigé, une plante indigène d'Amérique du Nord semble répondre à ces exigences.

Cette graminée vivace, convertit l'énergie solaire de manière très efficace : environ 160 GJ/ha comparativement à 110 pour le maïs et 45 pour le soya (Samson, 2008). Le panic érigé, de cycle photosynthétique C4, produit environ 8 à 12 tonnes de matière sèche par hectare de biomasse au sud-ouest du Québec (CRAAQ, 2008c) et peut vivre pendant plus de 12 ans. Ayant un rendement maximal de 33 à 66 % pendant les deux premières années, la plante n'atteint son plein rendement qu'à la troisième année (McLaughlin et al., 2005). Il est très intéressant de cultiver le panic érigé en bandes riveraines car il possède une bonne capacité d'adaptation aux terres marginales et y exploite efficacement les nutriments. Cette plante exige

peu de fertilisants. Plusieurs méthodes d'optimisation de la culture de panic érigé ont été déterminées dans les dernières années. Ainsi, le moment de la récolte et la dose de semis sont d'une grande importance. Des recommandations sont disponibles dans un guide produit par REAP-Canada à l'intention des producteurs du Sud-Ouest québécois et de l'Ontario (REAP-Canada, Non daté).

En plus d'être un combustible efficace sous forme de granules, le panic érigé peut servir de litière pour les animaux, de matériel pour la fabrication de papier et d'isolant. De plus, la biomasse peut être transformée pour produire de l'éthanol cellulosique (CRAAQ, 2008c). Cependant, la granulation de la biomasse de panic érigé présente un meilleur bilan énergétique. Les granules de panic érigé ont une très bonne valeur calorifique, de 18 à 19 GJ/tonne, la plus haute valeur calorifique des biomasses étant celle du bois avec 20 GJ/tonne (CRAAQ, 2008c).

En outre, la conversion du panic érigé en granules n'utilise que 10 GJ par hectare. Donc, sur les 160 GJ captés du soleil, le gain d'énergie net est élevé (150 GJ). En comparaison, le gain d'énergie net par hectare pour la production d'éthanol-maïs est d'environ 15 GJ (Samson, 2008). De plus, la production d'éthanol-maïs émet plus de 75 kg CO₂e par GJ, tandis que la production de granules de panic érigé en émet moins de 10 kg CO₂e par GJ (Samson et al., 2008). Bio-Combustible International affirme que le ratio énergétique du chauffage avec des granules de panic érigé est de 1 : 14¹⁹.

Selon les calculs de Roger Samson du REAP-Canada (Samson, 2008), un hectare de panic érigé utilisé pour la production de granules permet d'éviter des émissions de 12,3 tonnes d'équivalent CO₂ qui, autrement, auraient été émises par l'utilisation de combustibles fossiles. De plus, le bilan énergétique du chauffage à partir de ces granules est remarquable : à partir d'une unité d'énergie fossile, le panic érigé peut produire 14 unités d'énergie thermique.

Ainsi, grâce au rendement énergétique du panic érigé, utiliser un chauffage issu de sa biomasse permet une réduction de GES allant jusqu'à 90 % par rapport aux combustibles fossiles (CRAAQ, 2008c).

¹⁸ *Grass Biofuel Pellets*. [En ligne]. REAP-Canada, [www.reap-canada.com/bio_and_climate_3_2.htm] Consulté le 9 janvier 2009.

¹⁹ Communication personnelle, Ingrid Marini, Bio-Combustible International, le 24 mars 2009.

3.2.1.2

Miscanthus géant

Le miscanthus géant est sous les projecteurs depuis 2007. Cette graminée produit des graines stériles, et se reproduit donc uniquement par rhizomes. Facile à circonscrire, le miscanthus présente peu de risques de propagation non contrôlée (Groleau, 2008). Les données concernant le miscanthus proviennent essentiellement d'Europe.

Les différents avantages de cette plante doivent être démontrés pour les conditions climatiques québécoises. Son rendement est impressionnant, de 13 à 40 tonnes à l'hectare selon le climat, et sa durée de vie dépasse 20 ans. La photosynthèse de cette plante se réalise même à une température de 5 °C.

Cette plante nécessite peu de fertilisants, et uniquement pendant les trois premières années de son implantation. La fertilisation doit d'ailleurs être localisée, c'est-à-dire près du plant, pour permettre une bonne croissance initiale et diminuer les pertes d'éléments nutritifs. Après son implantation, le miscanthus géant peut être récolté pendant 17 à 20 ans sans autres travaux agricoles nécessaires. Sa composition en fibres, semblable à celle du bois sans écorce, permet diverses utilisations dont l'exploitation de la biomasse énergétique.

De plus, sa capacité de production d'éthanol cellulosique semble prometteuse. Le rendement potentiel est de 11 250 litres d'éthanol/ha, comparativement à 3950 litres/ha pour le panic érigé, selon des études menées en Illinois (Levac, 2008). Cependant, cela pourrait être moindre avec nos conditions climatiques. En comparaison, le maïs permet de produire 3600 litres d'éthanol/ha (CRAAQ, 2008d), mais il nécessite beaucoup plus d'intrants et de travaux agricoles.

Au Bas-Saint-Laurent, le Club Agri-Tech 2000 est le premier regroupement de producteurs à expérimenter le miscanthus géant. Les résultats devraient être connus au cours des prochaines années. Toutefois, même si le miscanthus se révèle être une culture énergétique d'intérêt pour cette région, il peut en être autrement pour d'autres régions du Québec.

Le miscanthus et le panic érigé ne sont pas les seules herbacées pouvant être converties en bioénergie. En effet, actuellement, des recherches sur le millet perlé et le sorgho sont

en cours. Pour obtenir plus de détails, nous vous suggérons de communiquer avec votre Centre de services agricoles.

3.2.1.3

Saule à croissance rapide et peuplier hybride

Les arbres à croissance rapide et tolérants aux inondations, comme le saule et le peuplier, offrent bien des avantages pour la bande riveraine. Depuis 2003, des essais sur le peuplier hybride ont été conduits dans le sud du Québec, par la Fiducie de recherche sur la forêt des Cantons-de-l'Est (FRFCE)²⁰ et l'UQÀM (Fortier et al., 2008). Le modèle de bande riveraine recommandé par ces experts est d'une largeur de 5 à 6 mètres, comprenant trois rangées de peupliers, en plus d'une rangée de saules sur la berge. Des herbacées peuvent aussi être semées entre les peupliers et le champ agricole afin de réduire le ruissellement. Le schéma suivant illustre ce modèle de bande riveraine.



Adapté de Schultz, 1997

Plusieurs variétés de peupliers existent, et de nombreux peupliers hybrides ont été développés. Ces espèces pompent l'eau du sol très efficacement, à un taux de 100 litres/jour pour un arbre âgé de cinq ans, et absorbent rapidement les nutriments contenus dans le sol.

De plus, leurs racines sont profondes, de plus de 3 mètres après seulement quatre ans. En Montérégie et en Estrie, certains peupliers ont atteint plus de 10 mètres de hauteur et 14 centimètres de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) après seulement cinq années de croissance. Pour éviter la compétition entre les arbres et la culture principale, il est possible d'ensemencer une bande de graminées entre les

²⁰ Fiducie de recherche sur la forêt des Cantons-de-l'Est.

peupliers et la culture. Un cernage racinaire²¹ peut aussi être effectué afin de limiter l'expansion des racines qui se rendraient trop près du champ.

Les saules à croissance rapide peuvent produire 16 tonnes de matière sèche/ha/an, et certains peupliers hybrides jusqu'à 18 tonnes/ha/an (Labrecque et al., 2005). La récolte des arbres dans la bande riveraine peut se faire aux 5 à 10 ans pour le peuplier hybride; la biomasse ainsi récoltée peut servir de biomasse énergétique. Pour la production de bois d'œuvre, les arbres doivent être âgés entre 10 et 20 ans.

Il semblerait que le saule possède un meilleur potentiel énergétique que le peuplier, étant donnée son aptitude à produire des rejets de souches, après une taille drastique (CRAAQ, 2008c). Cette essence s'adapte à des sols au drainage modéré à imparfait, ainsi qu'à un pH se situant entre 5,5 et 7,5. La culture de saule se régénère pendant 15 à 25 ans avant qu'il ne faille la renouveler. Le saule peut être récolté en tiges ou en ballots tous les 3 ou 4 ans (De Beats et al., 2007). Une fois broyé et séché, il peut servir à la combustion directe. Le séchage de la biomasse de saule doit correspondre aux caractéristiques du four utilisé. En effet, les systèmes de combustions tolèrent différents taux d'humidité de la biomasse, allant jusqu'à 60 %.

La biomasse de saule est également d'un grand intérêt pour la cogénération. Ce système de combustion produit simultanément de l'électricité et de la chaleur²². La cogénération du saule a un très bon ratio énergétique, de 1 : 11, ceci signifie qu'avec 1 unité d'énergie utilisée en intrant, 11 unités d'énergie sont produites. (Ruark et al., 2006). En comparaison, le ratio de l'éthanol-maïs et de 1 : 1,3.

Les racines du saule peuvent atteindre 1 à 3 mètres de profondeur alors que celles du

peuplier s'enfoncent jusqu'à 3 ou 4 mètres²³. Elles retiennent bien le sol et peuvent capter les éléments minéraux en profondeur. Toutefois, la croissance du saule et du peuplier près des champs agricoles nécessite une attention particulière pour la protection des drains. Le cernage racinaire avec une sous-soleuse peut être une solution²⁴.

Les marchés pour la transformation du saule en énergie sont encore en développement. La compagnie Agro Énergie de Saint-Roch de l'Acadie croit au potentiel du saule comme énergie propre et renouvelable, c'est pourquoi elle cultive et offre des services d'implantation de culture de saule à croissance rapide. Selon Francis Allard d'Agro Énergie, le développement de la filière des cultures énergétiques doit passer par une stratégie régionale visant à revitaliser l'économie de la région en occupant des terres moins rentables : bandes riveraines, terres en friches ou sols pauvres.

3.2.2 Accumulation du carbone par les végétaux

La seconde contribution des plantes pérennes dans les bandes riveraines pour la réduction des GES est l'accumulation du carbone (Liebig et al., 2005).

Les données disponibles sur ce sujet font souvent état de l'accumulation du carbone dans le sol par les herbacées annuelles, et dans la biomasse aérienne et racinaire dans le cas des arbres.

Les plantes pérennes ont le potentiel de séquestrer du carbone dans le sol, comparativement aux cultures annuelles (Lemus et al., 2005). Sous cultures pérennes, le sol est peu travaillé. Par conséquent, il subit une moins forte minéralisation de sa matière organique que s'il était exploité sous cultures annuelles. Les biomasses racinaire et aérienne des plantes pérennes se renouvellent, permettant l'accumulation de matière organique dans le sol. Ces phénomènes

²¹ Le cernage racinaire consiste en la maîtrise mécanique, par exemple à l'aide d'une sous-soleuse, des racines des arbres pour les empêcher de pousser vers l'allée cultivée.

²² « Cogénération ». [En ligne]. Ressources naturelles Canada, [www.retscreen.net/fr/g_combine.php] Consulté le 6 mars 2009.

²³ « Saules, peupliers, aulnes etc. » *Encyclopédie Valais*. [En ligne]. [www.vs.ch/encyclo/navig.asp?mnu=know&idRubrique=1694&idLangue=1] Consulté le 13 mars 2007.

²⁴ « Sous-solage ». [En ligne]. Glossaire d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, [sis.agr.gc.ca/siscan/glossary/subsoiling.html] Consulté le 1^{er} avril 2009.

permettent au carbone contenu dans la biomasse d'avoir le temps de s'accumuler dans le sol, avant d'être oxydé ou décomposé par les micro-organismes du sol.

3.2.2.1

Accumulation du carbone par le panic érigé

L'accumulation du carbone se produit sur toute la profondeur de sol que les racines peuvent atteindre, car, en se régénérant, elles libèrent du carbone dans le sol. Dans le cas du panic érigé, les racines peuvent atteindre jusqu'à 2,5 mètres de profondeur. D'ailleurs, Liebig et ses collègues (2005) ont mesuré l'accumulation du carbone dans des sols, sous cultures de panic érigé et sous cultures annuelles (soit du blé, soit du maïs), sur une profondeur de 1,20 mètre. Dans le cas du panic érigé, les résultats ont montré une accumulation supplémentaire de 56 tonnes CO₂e/ha dans le sol. La séquestration était plus importante entre 30 et 60 centimètres dans le sol, profondeur où la matière organique est moins sujette à la minéralisation. Étant donné que les sites sur lesquels le carbone a été mesuré étaient cultivés en panic érigé depuis 5 à 19 ans, il est difficile de connaître précisément l'accumulation annuelle de carbone. Pour une estimation de l'accumulation annuelle, on peut se référer aux travaux de M. Samson de REAP-Canada, qui a estimé une accumulation de 12 à 20 tonnes de CO₂e/ha/an par le panic érigé (Samson, 2007).

Par ailleurs, une étude de McLaughlin et al. (2005) ayant pour but d'estimer l'accumulation du carbone pour l'est des États-Unis, a révélé des résultats différents, soit une accumulation²⁵ de 1,94 tonne CO₂e/ha/an pour une période de 30 ans. La profondeur de sol considérée dans cette estimation était de 30 centimètres, là où se développe 75 % de la biomasse racinaire du panic érigé.

Certaines recherches démontrent que l'apport de fumier dans une culture augmente l'accumulation du carbone dans le sol. Ce fumier contient de l'azote qui permet de maintenir constant le rendement du panic érigé.

Avec l'ajout de fumier, Lee et al. (2007) ont mesuré une quantité de carbone organique du sol (COS) de 4 tonnes de carbone/ha/an, soit 14,7 tonnes CO₂e. En comparaison, avec l'utilisation d'un fertilisant minéral, la valeur du COS était de 2,4 tonnes/ha/an, soit 8,8 tonnes CO₂e. Un apport de fumier, qui comble les besoins de la plante, permet la production d'une biomasse plus élevée et, par conséquent, une meilleure séquestration du carbone. Les auteurs suggèrent aussi que la libération plus lente des éléments minéraux du fumier (par rapport aux fertilisants minéraux) aide le panic érigé à mieux s'établir, car la compétition avec les mauvaises herbes y serait réduite.

Suite au traité international de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, le Canada doit déclarer ses émissions de GES. Un système (CanAG-MARS) a donc été développé afin de calculer ces émissions. En se basant sur ce système, VandenBygaart et al. (sous presse) ont estimé que la valeur de carbone séquestré par le passage de cultures annuelles à pérennes est de 2,7-2,8 tonnes CO₂e/ha/an, sur une période de 20 ans.

On voit que le panic érigé permet de capter du carbone dans le sol, mais, comme le démontrent les études citées, cette accumulation de carbone varie selon les conditions, d'où la nécessité d'estimer cette valeur au cas par cas.



© Véronique Gagnon

²⁵ Cette modélisation a été réalisée à partir de données réelles prises au Texas, où le sol sous panic érigé a gagné de 1,2 à 1,6 tonne carbone/ha/an. McLaughlin, S.B., Adams Kszos, L. 2005. *Development of switchgrass (Panicum virgatum) as a bioenergy feedstock in the United States*. Biomass and Bioenergy. 28 (6): 515-535.

3.2.2.2

Séquestration du carbone par les arbres à croissance rapide

Les arbres en croissance séquestrent le CO₂ pour l'introduire dans leur biomasse sous forme de carbone. La croissance des arbres varie selon l'essence, le type de sol et le climat.

Selon Agro Énergie, les plantations de saule ont la capacité d'absorber entre 20 et 40 tonnes de CO₂ par hectare annuellement²⁶. Une partie du carbone capté par les arbres reste donc au sol, même lors de la récolte de la biomasse aérienne, et enrichit ainsi la matière organique du sol.

3.2.3

Comment estimer la séquestration du carbone?

Compte tenu de la variation des résultats des études présentées, il est impossible d'utiliser une seule valeur de séquestration du carbone applicable à toutes les conditions. En effet, selon le type de sol, le drainage, le climat, les apports de fertilisants organiques, la biomasse aérienne et racinaire produite, la séquestration du carbone dans le sol varie. Afin d'obtenir un résultat basé sur des facteurs admis par la communauté scientifique, nous utilisons HOLOS, le calculateur de GES d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, pour estimer la séquestration du carbone par les plantes pérennes.

Avec HOLOS, le passage d'une culture de maïs-grain à une culture pérenne de graminées diminue les émissions de GES de 4,5 tonnes CO₂e par hectare. Sur ces 4,5 tonnes, 3 tonnes de CO₂e sont séquestrées dans le sol par la plante et 1,5 tonne CO₂e est due à la réduction de la fertilisation, du travail du sol, etc.

La quantité de CO₂e captée par le saule ou le peuplier pourrait être calculée d'après l'équation présentée à la section 3.5 de ce chapitre.

3.2.4

Développement durable de cette pratique

Dans le contexte actuel où le prix du pétrole fluctue, les agriculteurs souhaitent être indépendants face à cette source d'énergie non renouvelable. La production d'énergie à partir de biomasse a un potentiel prometteur, mais elle doit respecter certains critères. Il serait inapproprié d'utiliser les meilleures terres du Québec pour répondre à notre insatiable soif d'énergie. Pour cette raison, les terres marginales et les bandes riveraines dégradées devraient être favorisées pour la production de biomasse énergétique, tout en respectant les normes environnementales qui s'y appliquent et la biodiversité de ces milieux. Puisqu'il est interdit de fertiliser dans la zone riveraine de 3 mètres, certains producteurs élargissent leurs bandes riveraines jusqu'à 9 ou 10 mètres, facilitant ainsi le passage de la machinerie nécessaire à l'entretien et à la récolte des plantes. Les caractéristiques des plantes mentionnées ci-haut nous permettent de les cultiver sur des terres en friches, des terres marginales et en bandes riveraines

Il est aussi primordial que le développement des cultures énergétiques se base sur des cultures diversifiées et adaptées aux conditions du territoire québécois (sol, climat, productions alimentaires). La biodiversité ne doit pas être mise en danger au profit d'une filière énergétique de masse, à base de monocultures, que ce soit en champs ou en bandes riveraines. Les bioénergies peuvent contribuer au développement régional, mais doivent être développées sans nuire à la conservation de la nature.

Au Québec, ces cultures ont le potentiel d'améliorer la rentabilité d'entreprises agricoles, là où les cultures conventionnelles ne sont pas assez rentables. Néanmoins, afin que

²⁶ Agro Énergie. [En ligne]. [<http://www.agroenergie.ca/environnement.html>] Consulté le 15 février 2009.

les cultures énergétiques contribuent à la réduction significative de GES et à un développement durable, elles doivent être produites, transformées et utilisées localement. Actuellement, aucune analyse ne permet de connaître la distance maximale que la ressource peut voyager tout en permettant un bilan de CO₂ positif. Il est évident qu'en restant dans un petit rayon géographique, celui d'une région par exemple, le cycle de production-transformation génèrera moins de CO₂ dû au transport qu'en parcourant de grandes distances. De plus, le développement de la filière de biomasse énergétique peut contribuer à la vitalité économique de la région et impliquer la communauté dans son propre développement.

3.3 Les avantages économiques à la ferme

Pour une bande riveraine de 3 mètres de chaque côté d'un cours d'eau, nécessitant des passages de machinerie pour son établissement et son entretien, le coût total est estimé à 88,56 \$ par kilomètre de cours d'eau (CRAAQ, 2007). L'implantation d'une bande riveraine est coûteuse, mais sa rentabilité pourrait être assurée par la production de biomasse énergétique. De plus, des aides financières sont disponibles par le biais du programme Prime-Vert, pour l'implantation de bandes riveraines, arbustives et arborescentes.

Dans un éventuel marché de granules de panic érigé, les producteurs pourraient être gagnants. Présentement, les estimations concernant la paille de panic érigé, pour 2009 et 2010, fluctuent entre 80 et 85 \$ la tonne²⁷. Selon Dufort et al. (2008), le coût de production du panic érigé se situe entre 40 et 64 \$/tonne, pour 8 récoltes pendant dix ans de production. Idéalement, pour être rentable, le producteur devrait vendre sa récolte entre 73 et 90 \$ la tonne à l'usine (CRAAQ, 2008c). Si le rendement du panic érigé est de 8,5 tonnes/ha, le bénéfice peut atteindre de 179 - 383 \$ l'hectare par année.

Pour la culture du saule ou du peuplier, le chauffage aux copeaux peut réduire la consommation d'énergies fossiles, tel le

mazout. Différentes entreprises comme Agrisource et SBI Fabricant de poêles international inc. offrent des fours à granules de tailles résidentielle ou agricole, et proposent même des formats pour les acériculteurs²⁸.

3.4 Les autres bénéfiques

Le principal rôle de la bande riveraine est de capter les nutriments lessivés et l'eau qui ruissellent du champ. Les bandes riveraines boisées peuvent capter jusqu'à 45 kg d'azote/ha/an (CCSE, 2004). À l'échelle d'un bassin versant, d'autres polluants, dont ceux issus des secteurs résidentiel et industriel, peuvent être captés par la bande riveraine. Il est donc important de revégétaliser les bassins versants dans leur ensemble pour protéger la qualité de l'eau.

L'apport excessif d'azote et de phosphore dans un cours d'eau a des conséquences néfastes sur sa qualité, et nuit ainsi aux multiples biens et services rendus par les cours d'eau. Avec la prolifération des algues bleues dans un grand nombre de lacs du Québec, plusieurs régions ont dû faire face à une perte significative d'activités récréatives et à des problèmes d'approvisionnement en eau potable sur leur territoire. En filtrant les sédiments et les nutriments provenant des champs, la bande riveraine peut contribuer à conserver une eau propre et propice à maintenir la vie.

Les paramètres hydriques influencés par la bande riveraine sont nombreux : vitesse du courant, température de l'eau, quantité de sédiments ou de matières en suspension, concentration des minéraux dissous, espèces de poissons présentes, etc.

La présence d'une bande riveraine arbustive ou arborescente procure de l'ombre au cours d'eau, ce qui en diminue la température et assure un bon niveau d'oxygène dissous. Cette eau fraîche et oxygénée favorise le retour des truites et autres salmonidés. D'ailleurs, dans le cadre du programme Mise en valeur de la biodiversité des cours d'eau en milieu agricole de la Fondation de la faune du Québec (FFQ), dix bassins versants ont procédé à des

²⁷ Communication personnelle, Bio-Combustible International inc. et Energex.

²⁸ Communication personnelle, Ingrid Marini, Bio-Combustible, le 6 mars 2009

aménagements pour améliorer la qualité de leurs cours d'eau, dont le bassin de la rivière Niagarettte. Cette rivière, était considérée comme polluée il n'y a pas si longtemps. Dans une partie de la rivière, l'omble de fontaine était même absent alors que cette espèce vit habituellement dans ce bassin (FFQ, Non daté). La restauration des bandes riveraines et des berges de la rivière Niagarettte a débuté en 2005. Ainsi, en 2007, 2800 arbres ont été plantés sur des parcelles adjacentes au cours d'eau (Laquerre, 2007).

À ce jour, la restauration des berges de cette rivière a permis d'améliorer la qualité de l'eau de l'habitat de l'omble de fontaine, lui permettant ainsi de réintégrer son milieu de vie.

Les bandes riveraines protègent également la faune et la flore qui les habitent, assurant ainsi le maintien de la biodiversité. La végétation surplombant le cours d'eau est d'ailleurs une source de nourriture pour plusieurs espèces aquatiques (CCSE, 2004).

Certaines pratiques agricoles suscitent des controverses. Or, l'implantation de bandes riveraines peut contribuer à une meilleure acceptation des activités agricoles intensives par les citoyens. Ceux-ci reconnaissent dans ce geste un effort pour préserver l'environnement.

3.5 Petit rappel

Calcul de séquestration :

Pour les herbacées, il est possible d'évaluer la séquestration du carbone à l'aide du logiciel d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, HOLOS, disponible en ligne [<http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1226606460726&lang=eng>].

Pour les arbres, la formule suivante permet de calculer la séquestration du carbone :

$$\text{CO}_2\text{e (kg/ha)} = [(\text{Biomasse totale (m}^3\text{/ha)} * \text{Densité anhydre du bois (kg sec/m}^3\text{))} * \text{Carbone/Matière sèche}^{29} \text{ (kg/kg)}] * \text{CO}_2\text{/Carbone}^{30} \text{ (kg/kg)}] + \text{C dans litière et bois mort}^{31} \text{ (kg/ha)}$$

Notez que m³ signifie mètres cube dans l'équation précédente.

Bénéfices des bandes riveraines :

- Stabilisation des berges;
- Filtration des éléments nutritifs et des résidus de pesticides sortant des champs agricoles;
- Ralentissement du déplacement des particules du sol;
- Diminution de la température des cours d'eau;
- Embellissement du paysage;
- Meilleure acceptabilité sociale de l'agriculture;
- Séquestration du carbone;
- Potentiel de production de biomasse énergétique qui pourrait remplacer l'énergie fossile.

Programme de soutien

Le programme Prime-Vert du MAPAQ subventionne des projets de bandes riveraines grâce au volet 10.1, volet finançant l'implantation de bandes riveraines dans les bassins versants prioritaires. L'aide financière peut atteindre 50 000 \$ par ferme, pour des bandes riveraines qui diminuent l'impact des activités agricoles en matière de pollution diffuse.

²⁹ Contenu de carbone dans la masse anhydre : 50 %

³⁰ 1 kg carbone : 3,67 kg CO₂

³¹ Contenu de carbone dans la litière : 15 % du carbone dans la biomasse totale

4 L'agroforesterie dans la lutte aux changements climatiques

4.1 Qu'est-ce que l'agroforesterie?

L'agroforesterie est définie comme « un système intégré de gestion des ressources du territoire rural qui repose sur l'association intentionnelle 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. » (De Baets et al., 2007b). Les trois « i » aident d'ailleurs à comprendre les caractéristiques des systèmes agroforestiers :

- Intentionnel : Les végétaux, les cultures ou les animaux sont combinés intentionnellement;
- Intégré : Dans un même système, il y a une intégration des objectifs productifs et environnementaux ainsi qu'une intégration des productions;
- Interactif : Les interactions biophysiques entre les composantes du système sont utilisées afin de fournir divers produits et de créer parallèlement divers bénéfices environnementaux.

Plusieurs pratiques combinent des végétaux et des cultures : les systèmes sylvopastoraux, la ligniculture en courte rotation, l'apisylviculture, les haies brise-vent, les cultures sous couvert forestier, les cultures intercalaires et l'aquaforesterie.

Le document de De Baets et al. (2007b) brosse d'ailleurs un portrait très clair de l'agroforesterie au Québec et des ressources existantes pour soutenir son développement.

4.1.1 Quelques exemples de systèmes agroforestiers

4.1.1.1 Bandes riveraines et haies brise-vent

La gestion de bandes riveraines et celle de haies brise-vent représentent les deux formes d'agroforesterie les plus pratiquées au Québec. Depuis plus de 20 ans, de 300 à 500 kilomètres de haies brise-vent ont été plantées annuellement. Les bandes riveraines arborées sont un peu moins populaires, toutefois la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* encourage le maintien ou l'aménagement (avec des plantes herbacées, des arbustes et des arbres) de bandes riveraines d'au moins trois mètres. Il existe aussi des mesures incitatives en faveur de cette pratique (voir sections 4.3 et 4.5). Les comités de bassins versants favorisent aussi l'implantation de bandes riveraines arborées pour la revégétalisation des berges et l'amélioration de la qualité de l'eau.



© Bioterre

4.1.1.2

Ligniculture en courte rotation

La ligniculture en courte rotation (LCR) désigne la production d'un maximum de biomasse, de saule ou de peuplier, à des fins diverses dont la production d'énergie, la fabrication de panneaux de particules ou la transformation en granules. Ces arbres croissent rapidement et sont récoltés tous les trois à quatre ans (De Baets et al., 2007b). Bien que les trois « i » ne s'appliquent pas totalement à cette pratique, car ils s'appliquent à la croissance de végétaux ligneux seulement, elle s'avère néanmoins intéressante pour la mise en valeur de terres agricoles abandonnées au Québec.

En effet, les saules à croissance rapide peuvent produire 16 tonnes de matière sèche par année, tandis que certains peupliers hybrides génèrent jusqu'à 18 tonnes de matière sèche annuellement (Labrecque et al., 2005). Malgré leurs rendements similaires, le saule possède un meilleur potentiel énergétique que le peuplier grâce à son aptitude à produire des rejets de souches suite à une taille drastique (CRAAQ, 2008c). Étant donné la sensibilité de certains cultivars de saule aux maladies fongiques et à certains insectes, Labrecque et al. (2005) souligne l'importance de planter une diversité d'espèces afin d'augmenter la résistance aux infestations.



© Bioterre

4.1.1.3

Produits forestiers non ligneux

Les cultures de produits forestiers non ligneux (PFNL) sous couvert forestier permettent une diversification des entreprises agricoles. Selon la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), « Les PFNL sont des produits d'origine biologique, autres que le bois, dérivés des forêts, d'autres terres boisées et d'arbres hors forêts. » (FAO, 2003).

Pratiquée par plus de 400 acériculteurs au Québec, la production de ginseng sous couvert forestier en est un bon exemple. Moins courante, la culture des champignons offre toutefois un potentiel économique très intéressant. Au Québec, la valeur ajoutée moyenne de ces cultures est estimée à 5 000 \$ l'hectare (De Baets et al., 2007b).



© David Rivest

4.1.1.4

Systèmes de cultures intercalaires

Les systèmes de cultures intercalaires (SCI) combinent les cultures agricoles et la production d'arbres. Peu répandus au Québec, ils offrent pourtant bien des avantages.

En effet, la combinaison des arbres et des cultures permet de séquestrer du carbone et de produire des essences nobles, laissant un héritage substantiel aux générations futures. De plus, la fertilité des sols est améliorée, de même que la biodiversité et le paysage.

Ces cultures pourraient aussi combler une partie du déficit de bois auquel l'industrie québécoise du sciage et du déroulage fait face. En 2003, cette industrie a importé 38 % des billes de bois nécessaires à sa production (Rivest et Olivier, 2007).

4.1.1.5

Systèmes sylvopastoraux

Les systèmes sylvopastoraux combinent la production d'arbres et l'élevage de bétail, en intégrant des arbres aux pâturages. Les arbres procurent non seulement de l'ombre aux animaux, mais peuvent être vendus comme bois d'œuvre. Actuellement, au Québec, les élevages de cerfs de Virginie, de cerfs rouges, de sangliers et de wapitis bénéficient de ce système agroforestier.

Les systèmes agroforestiers sont nombreux et peuvent être introduits dans plusieurs types d'entreprises agricoles. Leur vocation multifonctionnelle permet une diversification socio-économique pouvant générer des retombées pour le secteur public et des bénéfices pour le secteur privé (De Baets et al., 2007b).

Une liste des ressources du domaine de l'agroforesterie est présentée à la fin de ce chapitre. Les personnes intéressées par ce sujet pourront les consulter pour approfondir leurs connaissances.



© Biopterre

4.2

Comment l'agroforesterie réduit les GES

Comme on l'a vu précédemment, les arbres en croissance accumulent le CO₂ pour l'introduire dans leur biomasse. La croissance des arbres varie selon l'essence, le type de sol et le climat. Il est possible de calculer la séquestration du carbone en utilisant le modèle suivant (Hernandez et al., 2008) :

$$\text{CO}_2\text{e (kg/ha)} = [(\text{Biomasse totale (m}^3\text{/ha)} * \text{Densité anhydre du bois (kg sec/m}^3\text{)}) * \text{Carbone/Matière sèche}^{32} \text{ (kg/kg)}] * \text{CO}_2\text{/Carbone}^{33} \text{ (kg/kg)} + \text{C dans litière et bois mort}^{34} \text{ (kg/ha)}$$

Notez que m³ signifie mètres cube dans l'équation précédente.

Selon Hernandez (2008), 1,5 ha couvert de frêne rouge et de peuplier hybride, permet de capter 47 tonnes CO₂/an. Le captage de carbone par les arbres est calculé d'après la biomasse totale, dont environ 20 % est racinaire (Hernandez et al., 2008).

Le logiciel produit par l'ITA de La Pocatière (www.wbvecan.ca/francais/coutspdf.html) permet de calculer l'accumulation du carbone pour les plantations d'arbres. De multiples essences d'arbres peuvent y être incluses, ainsi que les facteurs de croissance correspondant aux conditions climatiques québécoises.

4.3

Les avantages économiques à la ferme

Différents avantages économiques sont reliés aux systèmes agroforestiers. Un bref aperçu du marché de ces produits permet d'en constater l'énorme potentiel économique.

Les haies brise-vent sont des systèmes agroforestiers généralement rentables, puisqu'elles favorisent l'augmentation du rendement de la culture principale, en créant un microclimat favorable (André Vézina, notes de cours).

Pour les PNFL, le site Internet de Biopterre³⁵ expose et évalue le potentiel commercial de plusieurs de ces produits. Par exemple, on y décrit les usages possibles des chanterelles, de la chicouté, de l'amélanchier, etc. L'UPA de la Gaspésie-Les-Îles a également publié une trentaine de fiches sur divers PFNL, présentant

³² Contenu de carbone dans la matière sèche : 50 %

³³ 1 kg carbone : 3,67 kg CO₂

³⁴ Contenu de carbone dans la litière : 15 % du carbone dans la biomasse totale

³⁵ <http://www.cepaf.ca/index.php?id=1>

leurs propriétés, leurs marchés, leurs méthodes de cueillette, leurs domestications et leurs habitats privilégiés (UPA, Non daté). On y apprend que les chanterelles peuvent d'ailleurs se vendre de 10 à 15 \$ le kilogramme (UPA, 2008).

La valeur actuelle nette (VAN) des SCI a été bien documentée par Rivest et Olivier (2007). La VAN correspond à la valeur actualisée (donc ramenée à aujourd'hui) de toutes les entrées et sorties d'argent anticipées d'un projet ou d'un système de production³⁶. Puisque les arbres cultivés dans ce système seront vendus dans le futur, l'estimation de la valeur économique se base sur deux hypothèses : le taux d'intérêt et le taux de croissance de l'arbre (IC). Ces deux paramètres pouvant varier dans le temps, il est donc important de ne pas considérer les résultats comme une certitude, mais plutôt comme un potentiel de valeur de ces arbres. Les VAN présentées dans le document synthèse de Rivest et Olivier (2007) varient de 495 \$ à 19 518 \$ l'hectare, selon les espèces en production. Le système le plus rentable comportait des arbres espacés de 12,2 m en rotation de 67 ans, avec un cernage racinaire, et une rotation de maïs, de blé et de fourrages.

Plusieurs facteurs contribuent au succès et à la rentabilité du SCI (Rivest et Olivier, 2007) :

- Faible taux d'intérêt;
- Sites permettant une croissance élevée;
- Travaux sylvicoles et espacements favorisant la production de bois de qualité;
- Choix de cultures agricoles rentables;
- Opérations culturales facilitant la cohabitation des végétaux;
- Vente de bois lorsque le prix du marché est élevé;
- Mesures financières récompensant les externalités positives du système.

Les externalités positives représentent l'impact environnemental, social ou économique, positif d'activités générant des avantages qui ne sont

pas reçus exclusivement par la personne, le groupe ou l'entreprise exerçant ces activités³⁷.

Puisqu'il existe une très grande diversité de systèmes agroforestiers, il est impossible de dresser une liste exhaustive des avantages économiques de chacun d'eux. De plus, les conditions spécifiques à chaque situation influencent ces bénéfices économiques. Les organismes présentés à la fin de ce document peuvent vous aider à estimer la valeur des systèmes agroforestiers.

4.4 Les autres bénéfices

Les biens et services environnementaux attribuables à l'agroforesterie sont multiples et difficilement quantifiables. Néanmoins, il est intéressant de leur allouer une valeur pour en comprendre l'ampleur et favoriser leur essor. Biopterre travaille présentement à quantifier les coûts et bénéfices environnementaux, ainsi que les retombées publiques des haies brise-vent et des bandes riveraines, les deux formes d'agroforesterie les plus pratiquées.

Ainsi, les dix biens et services reliés aux haies brise-vent et aux bandes riveraines sur lesquels Biopterre travaille, sont les suivants (De Baets et al., 2007a) :

- la conservation des populations et des espèces vulnérables;
- la création d'habitats;
- la protection du paysage;
- la conservation de milieux propices aux activités récréatives;
- la conservation de la biodiversité des milieux humides et aquatiques;
- la conservation de la qualité de l'eau;
- la création de microclimats favorables (diminution des coûts de déneigement, augmentation de la sécurité routière, diminution du nettoyage des fossés agricoles);
- la réduction des odeurs et des poussières;
- la séquestration du carbone.

³⁶ Communication personnelle avec David Rivest du Groupe interdisciplinaire de recherche en agroforesterie (GIRAF), le 11 février 2009.

³⁷ *Externalité positive*. [En ligne]. Grand dictionnaire terminologique. [www.granddictionnaire.com]

Il existe une multitude d'autres bénéfices reliés à la production de PFNL : diversification des activités d'une région, création d'une industrie agrotouristique, stabilisation des berges, assainissement de l'air et conservation des sols.

4.5 Petit rappel et ressources financières

Ressources techniques

Une liste des organismes œuvrant en agroforesterie et pouvant assister techniquement l'implantation de pratiques agroforestières est présentée ci-dessous (De Baets et al., 2007b).

- Activa Environnement inc. - Étude de marché et de faisabilité, planification stratégique de développement
- Biopterre - Produits forestiers non ligneux, bioénergie, haies brise-vent et bandes riveraines
- Clubs-conseils en agroenvironnement - Haies brise-vent, systèmes riverains
- ÉCONOVA - Gestion écosystémique
- MAPAQ - Haies brise-vent, systèmes riverains
- MRNF - Aménagement, lois, mise en valeur des forêts
- Mycoflor inc. - Culture de champignons et de ginseng
- RESAM - Défense des intérêts des groupements forestiers, développement durable régional

Programmes de subventions :

Programmes agricoles

- Prime-Vert - volet 10, MAPAQ

Programmes forestiers (accessibles aux producteurs possédant un plan d'aménagement forestier (PAF) et au moins 4 hectares de superficie forestière) :

- Programme d'aide à la mise en valeur des forêts privées, MRNF;
- Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier, volet II, MRNF;

- Le MRNF distribue des plants pour la plantation de haies brise-vent et de bandes riveraines arbustives, lorsqu'il prévoit des surplus. Il faut s'adresser à un centre de service agricole pour connaître la disponibilité de ces plants.

Les sites Internet des organismes suivants fournissent des informations utiles concernant le potentiel de financement :

FAQDD : www.faqdd.qc.ca

Fondation de la faune du Québec : www.fondationdelafaune.qc.ca/

Financement agricole Canada : www.fcc-fac.ca/fr/index.asp

D'autres ressources financières sont accessibles. Afin d'en savoir plus, vous pouvez contacter le MAPAQ ou votre conseiller agricole.

Bibliographie

AGENCE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (AEE). 2009. *Facteurs d'émission et de conversion. Calcul des émissions de GES*. [En ligne].

[www.aee.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/facteurs_emission.pdf].

AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA. 2003. *Le réchauffement du globe et l'agriculture, Les meilleures techniques de gestion*. Soil Conservation Council of Canada, Vol. 2, No. 2. [En ligne].

[<http://www.soilcc.ca/resources.htm>]

BÉLANGER, G. et A. BOOTSMA. 2002. *Impact des changements climatiques sur l'agriculture au Québec*. 65^e congrès de l'Ordre des agronomes du Québec.

BENOIT, D.L., E. ABEL, E. JOBIN, M. LEBLANC et G. LEROUX. 2008. *Engrais verts et faux semis : Influence sur la levée des mauvaises herbes en production maraîchère*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Université Laval. Centre de recherche agroalimentaire de Mirabel, IRDA. 5 p. [En ligne].

[<http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/texte%20engrais%20verts%20faux%20semis%20Diane.pdf>]

BOURQUE, A. et G. SIMONET. 2007. Chapitre 5 : *Québec, Vivre avec les changements climatiques au Canada: édition 2007*. LEMMEN, Donald., Fiona. WARREN, Elisabeth. BUSH, Jacinthe. LACROIX., Ressources naturelles Canada (RNCAN). 171-226.

CENTRE D'AGRICULTURE BIOLOGIQUE DU CANADA (CABC). 2007a. *Choisir les engrais verts comme source d'azote écoénergétique*. [En ligne].

[http://www.organicagcentre.ca/NewspaperArticles/na_manures_efficient_bf_f.asp]

CENTRE D'AGRICULTURE BIOLOGIQUE DU CANADA. 2007b. *Des micro-organismes montrent les bienfaits des engrais verts*. [En ligne].

[http://www.oacc.info/NewspaperArticles/na_microbes_manure_f.asp]

BIOPTERRE. *Les produits forestiers non ligneux. Description et potentiel commercial*. [En ligne].

[<http://www.cepaf.ca/index.php?id=16>]

CENTRE DE CONSERVATION DE SOLS ET DE L'EAU DE L'EST DU CANADA. 2004. *Les bandes riveraines et la qualité de l'eau : une revue de littérature*. [En ligne].

[<http://www.ccse-swcc.nb.ca/publications/francais/bandes.pdf>]

CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC. 2004. *Avantages économiques des engrais verts*. AGDEX 537/810. [En ligne].

[<http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Engrais%20verts.PDF>]

CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC. 2007. *Bande riveraine enherbée. Frais d'implantation*. 3 p. (AGDEX 570/821)

CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC. 2008a. *Brise-vents naturels. Frais d'implantation*. 6 p. (AGDEX 573/821).

CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC. 2008b. *Compilation des essais de panic érigé réalisés au Québec*. 202 p. [En ligne].

[http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EV_C026.pdf]

CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC. 2003. *Guide de référence en fertilisation*, 1^{re} édition. 294 p.

CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC. 2008c. *La production de biocombustibles solides à partir de biomasse résiduelle ou de cultures énergétiques*. 16 p. [En ligne].

[http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EV_C032.pdf]

CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC. 2008d. *La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales*. 15 p. [En ligne]. [<http://www.agrireseau.qc.ca/navigation.aspx?r=%E9thanol>]

CHOINIÈRE, D. 2004. *L'influence des haies brise-vent naturelles sur les odeurs, rapport final présenté au Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec* (CDAQ). Saint-Hyacinthe. CONSUMAJ Experts Conseils. 65 p.

CLUBS-CONSEILS EN GROENVIRONNEMENT. 2006. *Une haie pour protéger la bande riveraine. Programme d'atténuation des gaz à effet de serre*. [En ligne]. [www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Haie_bande_riveraine.pdf].

CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC. 2000. *Guide des pratiques de conservation en grandes cultures* « Entente auxiliaire Canada-Québec pour un environnement durable en agriculture ». Document en 7 modules et 34 feuillets réalisé en partenariat : CPVQ, FPCCQ, MAPAQ, MENV et AAC. 520 p.

DE BAETS, N., GARIÉPY, S. et A. VÉZINA. 2007a. *L'agroforesterie et les biens et services environnementaux : l'intérêt pour le producteur agricole et la société*. [En ligne]. [http://www.cepaf.ca/medias/public/ldv_4a40c6fb25c8e_agroforest_version_integrale.pdf]

DE BAETS, N., S. GARIÉPY et A. VÉZINA. 2007b. *Le portrait de l'agroforesterie au Québec*. Gouvernement du Canada. 88 p.

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. 88: 163-174.

DUFORT, P., L. ROBERT et G. BEAUREGARD. 2008. *Budget foin de panic érigé en semis pour 2008*. Adapté par R. Mongeau.

ELLERT, B.H. and H.H. JANZEN. 2008. *Nitrous oxide, carbon dioxide and methane emissions from irrigated cropping systems as influenced by legumes, manure and fertilizer*. Canadian Journal of Soil Science. 88: 207-217.

ENVIRONNEMENT CANADA. 2009. *L'effet de serre*. [En ligne]. [<http://www.ec.gc.ca/cc/default.asp?lang=Fr&n=1384E981-1>]

ENVIRONNEMENT CANADA. 2002. *Les changements climatiques transforment les grands lacs*. [En ligne]. [<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/climat/impact/index-fra.php>]

ENVIRONNEMENT CANADA. 2008. *Questions fréquemment posées au sujet de la science du changement climatique - Mise à jour 2008*. [En ligne]. [<http://environnement-canada.ca/scitech/default.asp?lang=Fr&n=2A953C90-1&offset=5&toc=show#E.5>]

FÉDÉRATION INTERDISCIPLINAIRE DE L'HORTICULTURE ORNEMENTALE DU QUÉBEC (FIHOQ). 2008. *Je protège mon héritage...végétalise ma bande riveraine!* [En ligne]. [<http://www.fihq.qc.ca/DEPLIANTVegetalisation.pdf>]

FONDATION DE LA FAUNE DU QUÉBEC (FFQ). Non daté. *Programme de mise en valeur de la biodiversité des cours d'eau en milieu agricole*. [En ligne]. [http://www.fondationdelafaune.qc.ca/documents/File/1_niagarette.pdf]

FORTIER, J., TRUAUX, B. et D. GAGNON. 2008. *Peuplier hybride en zone riveraine. Améliorer l'agroenvironnement tout en produisant du bois*. Agriculture et Agroalimentaire Canada. 12 p. [En ligne]. [<http://www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/Peuplier%20Hybride-fr5.pdf>]

GOVERNEMENT DU QUÉBEC. 2009a. *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*. [En ligne]. [www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R17_3.HTM]

GOVERNEMENT DU QUÉBEC. *Règlement sur les exploitations agricoles*. 2009b. [En ligne]. [http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R11_1.htm]

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. 81: 21-31.

- 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. 83: 53-72.
- GROLEAU, H. 2008. *Le Miscanthus giganteus, une culture d'avenir*. 71e congrès de l'Ordre des agronomes du Québec. [En ligne]. [http://www.oaq.qc.ca/pdf/Congres08/9-HGROLEAU_ppt_couleur.pdf]
- GRUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (GIEC). 2007. *Bilan des changements climatiques : Rapport de synthèse*. [En ligne]. [<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/climat/impact/index-fra.php>]
- GRUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (GIEC). *Résumé à l'intention des décideurs. Changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR et H.L. MILLER (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK et New York, NY, USA. 2007.
- HERNANDEZ, M. CHARLAND, P., NOLET, J. et M. ARÈS. 2008. *Potentiel de séquestration du carbone par des pratiques agroforestières dans le bassin versant de la rivière L'Ornière au Québec*. Programme d'atténuation des gaz à effet de serre pour le secteur agricole canadien. Agriculture et Agroalimentaire Canada. 58 p. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/Sequestration_Carbon_Agrofor_2007-Fr.pdf]
- HUTCHINSON, J.J., C.A. CAMPBELL and R.L. DESJARDINS. 2007. *Some perspectives on carbon sequestration in agriculture*. Agriculture and Forest Meteorology. 142: 288-302.
- INSTITUT DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC (ISQ). 2008. *Superficie des grandes cultures, rendement à l'hectare et production, par région administrative*. Québec. [En ligne]. [www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/culture/am110008.htm].
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of working group II to the fourth assessment report*. PARRY, M.L., O.F. CANZIANI, J.P. PALUTIKOF, P.J. VAN DER LINDEN and C.E. HANSON. (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, UK. 976 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006. *Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC/OECD/IEA/IGES, Vol. 4, Agriculture, Forestry and Other-Land Use. [En ligne]. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf]
- JANZEN, H. HENRY. 2008. *Une agriculture efficace pour un air plus sain : une analyse scientifique des liens entre les pratiques agricoles et les gaz à effet de serre au Canada*. Agriculture et Agroalimentaire Canada. 166 p.
- L'ABC DU CONSEILLER AGRICOLE. 2008. *Engrais vert*, section 4 : « Procédures et outils de travail du conseiller en agroenvironnement », sous-section 4.3_10 : « Engrais vert ». [En ligne]. [<http://www.abcdconseiller.qc.ca/default.aspx?ID=208>]
- LABRECQUE, M. and T. I. TEODORESCU. 2005. *Field performance and biomass production of 12 willow and poplar clones in short-rotation coppice in southern Quebec (Canada)*. Biomass and Bioenergy. 29: 1-9.
- LAQUERRE, S. 2007. *Gestion par bassins versants*. Mémoire présenté pour le Syndicat de base de l'UPA de Portneuf-Ouest. [En ligne]. [http://www.caaaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/MEMOIRE/03-06-P_Syndicat%20de%20base%20UPA%20Portneuf-Ouest.pdf]
- LE BULLETIN DES AGRICULTEURS. *Engrais verts = billets verts!*. 2003. [En ligne]. [<http://www.lebulletin.com/abonnement2/030315/030315k.cfm>]
- LE COURRIER DE SAINT-HYACINTHE. *Le panic érigé, un potentiel intéressant*. [En ligne]. [<http://www.lecourrier.qc.ca/nouvelle/2503/>]
- LEE, D.K., V.N. OWENS and J.J. DOOLITTLE. 2007. *Switchgrass and soil carbon sequestration response to ammonium nitrate, manure, and harvest frequency on conservation reserve program land*. Agronomy Journal. 99: 462-468.

LEMELIN, D. 2007. *La bande riveraine*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. [En ligne]. [\[http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/La_bande_riveraine_Donald_Lemelin.pdf\]](http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/La_bande_riveraine_Donald_Lemelin.pdf)

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*. 99: 1719-1725.

LEMUS, R and R. LAL. 2005. *Bioenergy Crops and carbon sequestration*. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 24: 1-21.

LEVAC, L. 2008. *Un carburant d'avenir*. *Le Bulletin des agriculteurs*. [En ligne]. [\[http://www.lebulletin.com/abonnement2/0805/0805h.cfm\]](http://www.lebulletin.com/abonnement2/0805/0805h.cfm)

LIEBIG, M.A., H.A. JOHNSON, J.D. HANSON and A.B. FRANK. 2005. *Soil carbon under switchgrass stands and cultivated cropland*. *Biomass and Bioenergy*. 28: 347-354.

MCLAUGHLIN, S.B. and L. ADAMS KSZOS. 2005. *Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States*. *Biomass and Bioenergy*. 28 (6): 515-535.

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*. 117: 119-127.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION ET DES AFFAIRES RURALES DE L'ONTARIO (MAAARO). Non daté. *L'érosion du sol - Causes et Effets*. [En ligne]. [\[http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/89-064.htm\]](http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/89-064.htm)

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC, MRC DE LAC-ST-JEAN-EST et MRC DE MARIA-CHAPDELAINE. 2006. *Aménagement des bandes riveraines de protection dans les bleuetières*. [En ligne]. [\[http://www.agrireseau.qc.ca/petitsfruits/documents/Bleuetiere_bandes_riveraines_4_schemas.pdf\]](http://www.agrireseau.qc.ca/petitsfruits/documents/Bleuetiere_bandes_riveraines_4_schemas.pdf)

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC et INSTITUT DE TECHNOLOGIE AGROALIMENTAIRE. 2005. *Écrans brise-odeurs*. Fiche d'information. 1 p. (05-0132).

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC. *Les haies brise-vent : un investissement profitable*. La page du MAPAQ. [En ligne]. [\[www.mapaq.gouv.qc.ca/NR/rdonlyres/D40B9E48-1552-4A75-86F4-0A1DD5774961/0/48840_MAPAQTCN_0911V3.pdf\]](http://www.mapaq.gouv.qc.ca/NR/rdonlyres/D40B9E48-1552-4A75-86F4-0A1DD5774961/0/48840_MAPAQTCN_0911V3.pdf).

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC. *Prime vert*. [En ligne]. [\[www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/md/Programmes/primevert.htm\]](http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/md/Programmes/primevert.htm).

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (MDDEP). 2008. *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2006 et leur évolution depuis 1990*. Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère. 15 p.

N'DAYEGAMIYE, A., M. GIROUX, M.O. GASSER, C. LANDRY, S.P. GUERTIN et L. DABIO TAMINI. 2008. *Indicateurs efficaces pour prédire la fertilité azotée des sols. Optimiser l'utilisation des fertilisants et des amendements*. IRDA. Fiche synthèse. [En ligne]. [\[http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/154.pdf\]](http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/154.pdf)

N'DAYEGAMIYE, A., M.O. GASSER, J. NYIRANEZA, L. DABIO TAMINI et A. DRAPEAU. 2008b. *Engrais verts d'été et d'automne pour la culture de pomme de terre : avantages agronomiques et environnementaux. Optimiser l'utilisation des fertilisants et des amendements*. IRDA. Fiche synthèse. [En ligne]. [\[http://irda.qc.ca/_documents/_Results/151.pdf\]](http://irda.qc.ca/_documents/_Results/151.pdf)

NATION UNIES. 1992. *Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*. 25 p. [En ligne]. [\[http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convf_r.pdf\]](http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convf_r.pdf)

OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE. *Le grand dictionnaire terminologique*. [En ligne]. [\[http://granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index1024_1.asp\]](http://granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index1024_1.asp)

- ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE (FAO). 2003. *Que sont les PFNL?* [En ligne]. [www.fao.org/forestry/6388/fr/]
- REAP-CANADA. *Grass Biofuel Pellets*. [En ligne]. [http://www.reap-canada.com/bio_and_climate_3_2.htm]
- REAP-CANADA. Non daté. *Le panic érigé dans l'est de l'Ontario : Un guide pour les producteurs*. 9 p. [En ligne]. [http://www.reap-canada.com/online_library/media/21%20Le%20panic.pdf]
- RIVEST, D. et A. OLIVIER. 2007. *Cultures intercalaires avec arbres feuillus : quel potentiel pour le Québec?*. The Forestry Chronicle. 83 :4
- ROCHETTE, P., D.A. ANGERS, G. BÉLANGER, M.H. CHANTIGNY, D. PRÉVOST and G. LÉVESQUE. 2004. *Emissions of N₂O from alfalfa and soybean crops in Eastern Canada*. Soil Science Society of America Journal. 68: 493-506.
- ROY, M. *L'impact des changements climatiques sur l'entomofaune agricole, Direction des services technologies*. MAPAQ. Agri-Réseau. [En ligne]. [<http://www.agrireseau.qc.ca/lab/documents/Insectes%20et%20changements%20climatiques.pdf>]
- RUARK, G., S. JOSIAH, D. RIEMENSCHNEIDER and T.VOLK. SAMSON, R. 2008. *Analyse des biocarburants de remplacement : Efficacité et coûts de l'atténuation des gaz à effet de serre*. Mémoire de REAP-Canada à l'intention du Comité permanent de l'agriculture et de l'agroalimentaire de la Chambre des communes. REAP-Canada. [En ligne]. [www.reap-canada.com/online_library/ghg_offsets_policy/2-REAP_Canada_Feb_26_2008%20FR_2_.pdf]
- SAMSON, R. 2007. *La bioénergie - opportunités croissantes pour le secteur agricole*. REAP-Canada. Présentation PowerPoint.
- SAMSON, R. 2008. *Les options bioénergétiques pour le Québec*. REAP-Canada. [En ligne]. [[http://www.reap-canada.com/online_library/grass_pellets/4-Les%20options%20bioénergétiques%20pour%20le%20québec%20\(samson%202008\).pdf](http://www.reap-canada.com/online_library/grass_pellets/4-Les%20options%20bioénergétiques%20pour%20le%20québec%20(samson%202008).pdf)]
- SANTÉ CANADA. 2008. *Santé de l'environnement et du milieu de travail, Compréhension des impacts des changements climatiques sur la santé*. [En ligne]. [<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/climat/impact/index-fra.php>]
- SCHULTZ, R.C., P.H. WRAY, J.P. COLLETTI, T.M. ISENHART, C.A. RODRIGUES and A. KUEHL. 1997. *Buffer Strip Design, Establishment, and Maintenance*. ISU Department of Forestry. [En ligne]. [[http://www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/\(Schultz%201997\)%20Buffer%20Strip%20Design,Establishment,%20and%20Maintenance.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/(Schultz%201997)%20Buffer%20Strip%20Design,Establishment,%20and%20Maintenance.pdf)]
- SOCIÉTÉ CANADIENNE DE PÉDIATRIE (SCP). 2008. *Le virus du Nil occidental dans le contexte des changements climatiques*. [En ligne]. [<http://www.cps.ca/francais/enonces/ID/NilVirus08.htm>]
- SOIL CONSERVATION COUNCIL OF CANADA. 2001. *Fossil Fuel*. In: Global Warming and Agriculture - Facts Sheets Series, with the participation of Agriculture and Agri-Food Canada. Vol. 1, No. 3. [En ligne]. [<http://www.soilcc.ca/resources.htm>]
- SOIL CONSERVATION COUNCIL OF CANADA. 2001. *Global Warming and Agriculture: Methane*. (AAFC, 1:5), Agriculture and Agri-Food Canada. Vol. 1: 5. [En ligne]. [<http://www.soilcc.ca/resources.htm>]
- SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR and H.L. MILLER. 2007. (eds). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York, NY, USA. 996 p.
- SYNDICAT DES PRODUCTEURS DE PORCS DE LA MAURICIE. 2007. *Analyse des coûts et bénéfices reliés à l'aménagement de haies brise-vent autour des bâtiments d'élevage porcin*. 6 p.
- UNION DES PRODUCTEURS AGRICOLES. 2008. *Chanterelle comestible ou girolle*. Fiches techniques. Produits forestiers non ligneux en Gaspésie. [En ligne]. [www.gaspesielesiles.upa.qc.ca/fhtm/pfnl/ChanterelleUPA_2008.pdf]

UNION DES PRODUCTEURS AGRICOLES (UPA).
Non daté. *Les produits forestiers non ligneux*.
[En ligne].
[\[www.gaspesielesiles.upa.qc.ca/fhtm/fproduits_forestiers_upa.htm\]](http://www.gaspesielesiles.upa.qc.ca/fhtm/fproduits_forestiers_upa.htm)

USDA. Agricultural Outlook Forum - Prospering in Rural America. 2006. *Perennial crops for bio-fuels and conservation*, 1-17. [En ligne].
[\[http://www.unl.edu/nac/research/2006ruarkbiofuels.pdf\]](http://www.unl.edu/nac/research/2006ruarkbiofuels.pdf)

VANDENBYGAART, A.J., B.G. MCCONKEY, D.A. ANGERS, W. SMITH, H. DE GOOIJER, M. BENTHAM and T. MARTIN. *Soil carbon change factors for the Canadian agriculture national greenhouse gas inventory*. Canadian Journal of Soil Science. sous presse.

VERGÉ, X.P.C., C. DE KIMPE, and R.L. DESJARDINS. 2007. *Agricultural productions, greenhouse gas emissions and mitigation potential*. Agricultural and Forest Meteorology. 142: 255-269.

VÉZINA, A. 2004a. *Critères qui influencent l'efficacité d'une haie brise-vent*. Institut de technologie agroalimentaire, campus de La Pocatière. [En ligne].
[\[www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/efficacite.pdf\]](http://www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/efficacite.pdf).

VÉZINA, A. 2004b. *Planification de la haie*. Institut de technologie agroalimentaire, campus de La Pocatière. [En ligne].
[\[www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/planification.pdf\]](http://www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/planification.pdf).

VÉZINA, A., P. DESBIENS et N. NADEAU. 2007. *Choix et arrangement des végétaux en haies brise-vent et en bandes riveraines*. Institut de technologie agroalimentaire, campus de La Pocatière. [En ligne].
[\[www.wbvecan.ca/francais/images/vegetaux.pdf\]](http://www.wbvecan.ca/francais/images/vegetaux.pdf)

ZISKA, L.H. Non daté. *Climate change impact on weeds*. Non daté. [En ligne].
[\[www.climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/II.1Weeds.pdf\]](http://www.climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/II.1Weeds.pdf)

AGRICULTURE et CLIMAT

Un projet *Nature Québec*

VERS DES FERMES ZÉRO CARBONE

Le projet *Agriculture et climat : vers des fermes 0 carbone* de Nature Québec vise à faire participer le secteur agricole québécois à la lutte aux changements climatiques par l'adoption de pratiques qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre (GES) et/ou favorisent l'accumulation du carbone. Ce projet est financé en grande partie par le Fonds d'Action Québécois pour le Développement Durable, et complété par le programme Prime-Vert du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

Agriculture et climat : vers des fermes 0 carbone est un projet qui se répartit en trois volets, soit l'information/sensibilisation, les formations et l'accompagnement à la ferme. Principalement destiné aux producteurs et intervenants du secteur agricole, le volet information/sensibilisation se présente sous forme de modules d'information et de fiches synthèses sur des pratiques agricoles ciblées. Par ailleurs, une partie de ce volet, à savoir la publication de capsules d'information portant sur différents thèmes dans le webzine Franc Vert, est destinée au grand public.

Les modules d'information produits dans ce projet abordent les thèmes suivants :

- les pratiques culturales permettant de réduire les gaz à effet de serre à la ferme;
- les pratiques permettant d'accumuler le carbone dans les sols agricoles;
- les stratégies d'élevage pour diminuer l'impact des productions animales sur les changements climatiques;
- les méthodes de gestion et de traitement des fumiers pour réduire les GES;
- l'utilisation des énergies renouvelables et l'efficacité énergétique à la ferme.

Les formations, destinées aux producteurs agricoles et aux intervenants agricoles, apportent des pistes de réflexion sur des pratiques ciblées pour la lutte aux changements climatiques. Ces formations sont offertes dans cinq régions du Québec.

Finalement, l'impact réel du projet réside dans l'accompagnement à la ferme des producteurs désirant implanter des pratiques de réduction de GES et d'accumulation de carbone sur leur entreprise. Trente producteurs agricoles sont actuellement accompagnés dans le cadre de ce projet. Cette action permet de proposer aux agriculteurs des pratiques adaptées à leurs productions, et d'évaluer les émissions de GES sur la ferme en début et en fin de projet afin de constater l'impact de l'adoption de ces pratiques sur le bilan d'émission de GES de la ferme.



NATURE QUÉBEC EN BREF

Nature Québec est un organisme national à but non lucratif qui regroupe 5 000 sympathisants, dont plus d'une centaine d'organismes affiliés issus des régions du Québec. Travaillant au maintien de la diversité des espèces et des écosystèmes, Nature Québec souscrit depuis 1981 aux objectifs de la Stratégie mondiale de conservation de l'Union mondiale pour la nature (UICN), soit :

- maintenir les processus écologiques essentiels à la vie;
- préserver la diversité biologique;
- favoriser l'utilisation durable des espèces, des écosystèmes et des ressources.

Nature Québec contribue à l'avancement des sciences environnementales par la production de mémoires, d'analyses et de rapports sur lesquels il fonde ses interventions publiques. Il réfléchit aux perturbations que subit la nature lors de l'aménagement du territoire agricole et forestier, de la gestion du Saint-Laurent et lors de la réalisation de projets de développement urbain, routier, industriel et énergétique. À ces fins, Nature Québec a constitué des commissions autour de grands thèmes intégrateurs qui interviennent dans les domaines de l'agriculture, des aires protégées, de la biodiversité, de l'eau, de l'énergie et de la forêt. Prônant le consensus et la vie démocratique, les commissions sont animées par un important réseau de bénévoles et de collaborateurs détenteurs d'une expertise de terrain irremplaçable, ainsi que d'universitaires et de chercheurs spécialisés dans les domaines de la biologie, de la foresterie, de l'agronomie et des sciences de l'environnement. De plus, Nature Québec sensibilise la population à la protection de l'environnement par la publication du webzine FrancVert (www.francvert.org).

Nature Québec

870, avenue De Salaberry, bureau 270

Québec (Québec) G1R 2T9

tél. (418) 648-2104 • Téléc. (418) 648-0991

www.naturequebec.org • conservons@naturequebec.org





Nature Québec
Commission Agriculture
870, avenue De Salaberry, bureau 207
Québec (Québec) G1R 2T9
conservons@naturequebec.org

Nos partenaires



FONDS D'ACTION
QUÉBÉCOIS POUR LE
DÉVELOPPEMENT DURABLE

Partenaire financier

Québec 

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec 



Clubs conseils
en agroenvironnement



BIOLISTIK Ltée



Les Éditions en environnement
[VertigO]



Collège
d'Alma



AGRINOVA
AGRICULTURE DURABLE ET ÉCARTONNÉE



CBRCR
Conseil de la Recherche
en Agroenvironnement