



**Commission sur l'avenir de l'agriculture
et de l'agroalimentaire québécois**

Les gaz à effet de serre et les changements climatiques

Rapport final



Mashteuiatsh, septembre 2007
P558001



**Commission sur l'avenir de l'agriculture
et de l'agroalimentaire québécois**

Les gaz à effet de serre et les changements climatiques

Rapport final



Groupe Conseil Nutshimit Inc.
Conseillers en environnement et aménagement du territoire
1738, rue Ouiatchouan, C.P. 100
Mashteuiatsh (Québec) G0W 2H0
Tél. : (418) 275-8041 Télécopie (418) 275-8335

Mashteuiatsh, septembre 2007
P558001

Table des matières

Table des matières	i
Liste des tableaux.....	ii
Liste des figures.....	ii
1. Mise en contexte et objectifs de l'étude	1
2. Démarche.....	3
3. L'effet de serre	5
4. Les gaz à effet de serre (GES).....	7
4.1 Sources et puits agricole de gaz à effet de serre	9
4.1.1 Le méthane	12
4.1.2 L'oxyde nitreux.....	13
4.1.3 Le dioxyde de carbone.....	14
5. Les changements climatiques	17
5.1 Les observations globales.....	17
5.1.1 Les changements du climat du Québec.....	18
5.2 Les prévisions globales	20
5.2.1 Les prévisions pour le Québec	21
6. Enjeux pour l'agriculture et l'agroalimentaire	25
7. Impacts et opportunités	29
8. Stratégies de réduction des émissions et d'atténuation du réchauffement.....	33
8.1 Réduction des émissions d'oxyde nitreux	33
8.2 Réduction des émissions de méthane	34
8.3 Réduction des émissions de dioxyde de carbone et séquestration du carbone	39
8.4 Réductions en agroalimentaire.....	41
9. Stratégies d'adaptation.....	43
10. Conclusion.....	49
11. Bibliographie.....	51

Liste des tableaux

Tableau 4.1.	Les gaz à effet de serre et leurs sources	7
Tableau 4.2.	Caractéristiques des principaux gaz à effet de serre d'origine anthropique..	8
Tableau 4.3.	Émissions en équivalents CO ₂ des principaux secteurs d'activité du Québec en 2003, présentées selon la méthodologie du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC).....	11
Tableau 4.4.	Émissions de GES du secteur agricole au Québec en 1990 et 2002.....	12
Tableau 5.1.	Prévisions de température et de précipitations pour le sud du Québec	22
Tableau 5.2.	Prévisions de température et de précipitations pour le centre du Québec..	22

Liste des figures

Figure 3.1.	Illustration de l'effet de serre	6
Figure 4.1.	Répartition des émissions de gaz à effet de serre par secteur au Québec en 2003.....	10
Figure 4.2.	Répartition des émissions par gaz au Québec en 2003.....	11
Figure 4.3.	Sources de méthane du secteur agricole au Québec	13
Figure 4.4.	Sources d'émissions d'oxyde nitreux du secteur agricole	14
Figure 4.5.	Sources et puits agricole de dioxyde de carbone	15
Figure 5.1.	Tendances des températures annuelles moyennes entre 1960 et 2003.....	20

1. Mise en contexte et objectifs de l'étude

La Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois (CAAQ) a reçu du gouvernement du Québec le mandat de dresser l'état de la situation sur les enjeux et les défis de l'agriculture et de l'agroalimentaire au Québec. Le mandat demande également à la Commission d'examiner l'efficacité des interventions publiques actuellement en place, d'établir un diagnostic et de formuler des recommandations sur les adaptations à faire. Tout au long de son mandat, la Commission doit prendre en compte les éléments suivants :

- les défis de la compétitivité et des revenus agricoles;
- les attentes sociétales;
- la mise en valeur des potentiels régionaux.

Le but est de présenter au gouvernement, au terme de l'exercice, une vision à jour de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Québec basée sur les résultats d'une consultation à l'échelle de la province. La CAAQ souhaite par ailleurs enrichir sa réflexion sur des problématiques particulières qui concernent les secteurs de l'agriculture et de l'agroalimentaire. La présente étude s'inscrit dans cette démarche d'acquisition d'information sur des problématiques et des enjeux particuliers, notamment, les changements climatiques.

Le réchauffement global et les changements climatiques observés et prévus affectent directement les systèmes de production agroalimentaires et les populations concernées. Les producteurs en voient déjà les effets, positifs ou négatifs et se posent des questions quant à leur capacité à limiter les risques et à s'adapter à ces changements.

L'enjeu des changements climatiques est donc de prime importance dans une perspective de durabilité des secteurs agricoles et agroalimentaires. C'est sur cet enjeu global que se penche la présente étude dont les objectifs sont :

- présenter la problématique dans son ensemble;
- discuter des sources et des moyens de réduction des émissions gaz à effet de serre;
- définir les enjeux et décrire les impacts prévisibles sur les secteurs agricole et agroalimentaire en ce qui concerne les stratégies de réduction des émissions;
- et enfin présenter des stratégies d'adaptation aux changements climatiques et au contexte dans lequel l'agriculture et l'agroalimentaire auront à évoluer.

2. Démarche

Une méthodologie conventionnelle a été utilisée pour documenter le sujet en titre. Une recherche documentaire à partir de livres de référence, ainsi que des recherches par mot clé à l'aide des moteurs de recherche usuels sur internet ont été utilisées comme méthode d'acquisition d'information. Une somme d'information pertinente a également été fournie par l'équipe de la Commission au début du mandat.

La démarche d'analyse et de synthèse a été orientée par le jugement professionnel et les discussions tenues lors de la rencontre de démarrage avec l'équipe de la Commission.

Dans le but de faciliter la lecture, les références sont indiquées numériquement dans le texte et réfèrent à la section bibliographie.

3. L'effet de serre

La source principale d'énergie sur la terre provient du soleil. Cette énergie arrive majoritairement sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde, de forte intensité. Une partie de cette énergie, environ le tiers, est réfléchiée par les couches supérieures de l'atmosphère et le reste atteint la surface terrestre.

La portion du rayonnement qui atteint la surface est absorbée en grande partie, convertie en chaleur et retournée dans l'atmosphère sous forme de rayonnement infrarouge (longueurs d'onde longues) (figure 3.1).

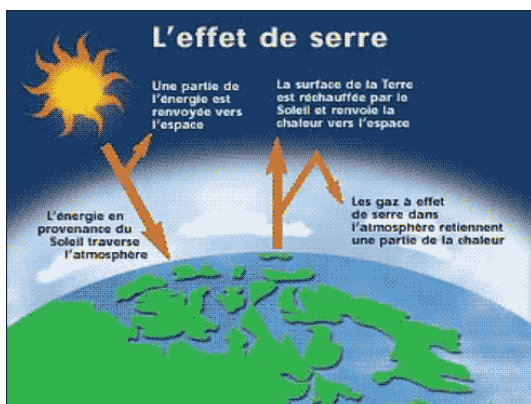
L'atmosphère terrestre, qui est composée en quasi-totalité d'azote et d'oxygène, contient une très faible proportion de gaz qui ont la particularité d'absorber le rayonnement infrarouge et donc d'emprisonner la chaleur émise par la surface terrestre.

Ces gaz dits à effet de serre (GES) sont généralement composés de trois atomes et plus. Ils retiennent autour de la moitié du rayonnement réémis par la surface.

La vapeur d'eau est le plus important de ces gaz, l'atmosphère en contient de 1 à 2 %. La vapeur d'eau a toutefois une faible influence sur la variation de l'intensité de l'effet de serre, sa concentration globale étant constante (l'influence humaine sur sa concentration est minimale et son temps de résidence est très court).

Les autres gaz à effet de serre d'origine naturelle sont le gaz carbonique, ou dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O) et l'ozone troposphérique (O_3). Ces gaz constituent moins de 1 % de l'atmosphère mais ils sont néanmoins extrêmement importants puisqu'ils sont responsables de l'effet de serre qui permet de maintenir une température avoisinant les 15°C à la surface de la terre. Sans cette contribution des gaz à effet de serre, la température moyenne serait de -18°C et l'eau ne pourrait se trouver sous forme liquide, la vie ne serait donc pas possible sur notre planète.

Figure 3.1. Illustration de l'effet de serre



Source : http://www.ecoconsommation.org/u_transport/serre.gif

L'effet de serre est un phénomène naturel causé par des gaz naturellement présents dans l'atmosphère. Ces gaz sont également émis par les activités humaines et à ces gaz s'en ajoutent d'autres d'origine uniquement anthropique (voir section 4). C'est l'ajout de ces gaz dans l'atmosphère qui contribue à l'amplification de l'effet de serre naturel par l'augmentation de la quantité globale de chaleur retenue dans l'atmosphère. On peut alors parler de réchauffement global¹.

Le terme forçage radiatif est employé pour désigner la contribution d'un facteur climatique (les gaz à effet de serre, les nuages, l'albédo, etc) à l'équilibre du bilan énergétique de la Terre. On peut attribuer une valeur de forçage radiatif à tout facteur qu'il soit d'origine naturelle ou anthropique. On exprime le forçage radiatif en termes de nombre de watts par mètre carré de surface. Certains facteurs pouvant avoir un effet de refroidissement (les aérosols atmosphériques comme les oxydes de soufre par exemple) la notion de forçage est utile pour en tenir compte dans le bilan. Cela permet de saisir que les changements climatiques ne sont pas qu'un réchauffement global mais plus précisément un ensemble de déséquilibres climatiques à l'échelle régionale¹.

On parlera alors des changements climatiques pour désigner les transformations du climat observables dans le temps, qu'elles soient d'origine anthropique ou naturelle.

4. Les gaz à effet de serre (GES)

Les gaz à effet de serre peuvent être d'origine naturelle et/ou anthropique.

Les principaux gaz contribuant à l'effet de serre ainsi que leurs sources sont décrits au tableau 4.1.

Tableau 4.1. Les gaz à effet de serre et leurs sources

Gaz	Sources naturelles	Sources anthropiques	Contribution anthropique à l'effet de serre
CO₂ Dioxyde de carbone	<ul style="list-style-type: none"> - respiration des animaux ; - une partie de la putréfaction ; - les incendies naturels ; - le réchauffement de l'océan de surface. 	<ul style="list-style-type: none"> - combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) ; - certaines industries (cimenteries, sidérurgie, alumineries) ; - déforestation, notamment en zone tropicale. 	Environ 55%
CH₄ Méthane	<ul style="list-style-type: none"> - gaz formé par la décomposition anaérobie de la matière organique ; <ul style="list-style-type: none"> o zones humides, (marécages, marais, etc) ; o termites. 	<ul style="list-style-type: none"> - combustion, notamment des brûlis en zone tropicale ; - élevage des ruminants ; - culture du riz ; - sites d'enfouissement ; - exploitations pétrolières et gazières ; - mines de charbon. 	15 %
N₂O Oxyde nitreux	<ul style="list-style-type: none"> - milieux humides. 	<ul style="list-style-type: none"> - engrais azotés ; - certains procédés chimiques. 	5 %
HFC, CFC halocarbures		<ul style="list-style-type: none"> - gaz de synthèse artificiels : <ul style="list-style-type: none"> o gaz réfrigérants; fuites et mise à la décharge des systèmes de climatisation ; o gaz propulseurs dans des bombes aérosols (les CFC sont aussi des gaz qui appauvrissent la couche d'ozone) ; o certains procédés industriels (fabrication de mousse plastique, de composants d'ordinateurs ou de téléphones portables). 	10 %
O₃ Ozone troposphérique	<ul style="list-style-type: none"> - ozone stratosphérique, formé naturellement à plus de 10 km d'altitude, bloque les rayons ultraviolets du soleil. 	<ul style="list-style-type: none"> - à basse altitude, l'ozone est formé par réaction photochimique entre les rayons solaires et les émissions de la combustion d'hydrocarbures (constitue une composante du brouillard photochimique des villes polluées, le smog). 	15 %

Source : <http://www.manicore.com/documentation/serre/gaz.html>

C'est le dioxyde de carbone qui représente donc le plus important des gaz à effet de serre d'origine anthropique en termes de contribution à ce dernier. D'un point de vue agricole, le méthane et l'oxyde nitreux sont les deux autres gaz les plus significatifs. Il existe aussi d'autres gaz dont l'origine est anthropique seulement mais qui ont une contribution globale minime. Les gaz à effet de serre n'ont pas tous la même capacité d'absorption des rayons infrarouges (pouvoir de réchauffement global, PRG) et ils ont donc des forçages radiatifs différents. Le PRG de chaque gaz peut être exprimé en termes de potentiel de réchauffement d'une quantité de ce gaz par rapport à la même quantité de CO₂ pendant 100 ans. De plus, les GES n'ont pas tous la même durée de vie dans l'atmosphère, ce qui influence également leur pouvoir de réchauffement. La concentration de ces gaz a augmenté depuis le début de l'ère industrielle et on attribue aux activités humaines cette augmentation (tableau 4.2).

Tableau 4.2. Caractéristiques des principaux gaz à effet de serre d'origine anthropique

Gaz	PRG 100 ans	Durée de vie (ans)	Concentration pré-industrielle	Concentration en 2005	Contribution au forçage radiatif global (Watt/m ²)
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1	100	280 ppm (parties par million)	380 ppm	+ 1,66
Méthane (CH ₄)	25	12	700 ppb (parties par milliard)	1 774 ppb	+ 0,48
Oxyde nitreux (N ₂ O)	298	114	270 ppb	319 ppb	+ 0,16
Chlorofluorocarbures (CFC)	> 10 000	1 à 1 700	0	-	+ 0,32
Hydrochlorofluorocarbures (HCFC)					
Halocarbures 1) Perfluorocarbures 2) Hydrofluorocarbures (HFC)	> 3 000	1 à 50 000	0	-	+ 0,017 (halocarbures et hexafluorure de soufre)
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	32 400	3 200	0	-	

Source : 1, 2

Le forçage radiatif global d'origine anthropique résulte de l'addition du forçage individuel de chacun des gaz à effet de serre et du forçage des autres facteurs ayant une influence positive sur la température (modification de l'albédo de la surface terrestre) de laquelle on soustrait le forçage des facteurs ayant un effet négatif sur la température (aérosols atmosphériques et leurs précurseurs). Le forçage résultant est de l'ordre de + 1,6 W/m² depuis le début de l'ère industrielle vers 1750² (on peut imaginer que cela équivaut à peu près à la chaleur produite par des petites ampoules de 1,5 Watt réparties sur chaque mètre carré de la surface de la terre).

Les aérosols sont des composés volatils et des poussières qui ont pour effet, lorsqu'ils flottent dans l'atmosphère, de bloquer le rayonnement solaire incident. On leur attribue donc un forçage radiatif négatif. Les particules de suie et le dioxyde de soufre, de même que les traînées de condensation des avions volant à haute altitude produisent également un effet de refroidissement de la température.

4.1 Sources et puits agricole de gaz à effet de serre

En vertu de sa participation aux accords internationaux, notamment la Convention cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques et le Protocole de Kyoto, le Canada est tenu de comptabiliser ses émissions de gaz à effet de serre par secteur d'activité. Chaque province le fait également sur son territoire. Les émissions sont également évaluées individuellement pour les six gaz ciblés par le Protocole de Kyoto (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, PFC, HFC).

Le secteur agricole est l'un des secteurs dont les émissions sont évaluées. De manière générale pour les pays industrialisés, les émissions de ce secteur n'excèdent pas 10 % des émissions globales du pays (2 % au Japon, 6 % en Allemagne et aux États-Unis, 7 % au Canada et au Royaume-Uni). Cette proportion peut toutefois être dépassée (17 % en France et en Australie). Ces données représentent les émissions en 2004 et il est intéressant de noter que dans plusieurs de ces pays, les émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole ont diminué depuis l'année de référence (1990), dans de faibles proportions toutefois. Les émissions du secteur agricole canadien ont toutefois augmenté de près de 20 % entre 1990 et 2004. Il est utile de spécifier par ailleurs que la méthodologie de comptabilisation des émissions du secteur agricole n'inclut pas les émissions associées à l'utilisation des énergies fossiles utilisées en agriculture. Dans les inventaires nationaux, ces émissions sont évaluées sous le thème des émissions liées aux combustibles fossiles.

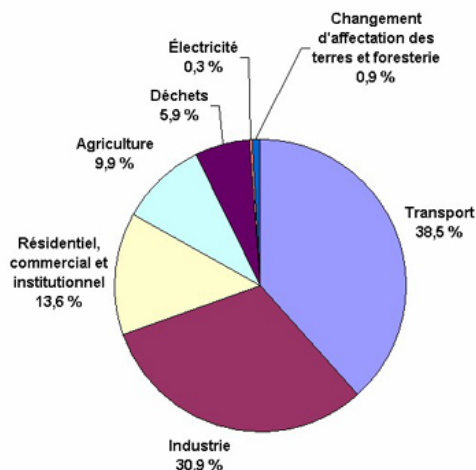
Quant aux émissions des industries de l'agroalimentaire, elles sont réparties dans les secteurs industriel et commercial.

Équivalent CO₂

Les émissions totales de gaz à effet de serre présentées par secteur d'activité dans les inventaires nationaux sont exprimées en équivalent de CO₂, ce qui signifie que les émissions des différents gaz sont converties à partir de leur valeur de PRG, c'est-à-dire l'équivalent en dioxyde de carbone de leur potentiel de réchauffement.

Au Québec, le secteur agricole contribue à environ 10 % des émissions totales (figure 4.1). Ces émissions n'incluent pas les émissions énergétiques résultant de l'utilisation des combustibles fossiles en agriculture, ni les émissions de CO₂ des sols. Ces dernières sont comptabilisées sous le thème changement d'affectation des terres et foresterie.

Figure 4.1. Répartition des émissions de gaz à effet de serre par secteur au Québec en 2003.



Source : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2002/index.htm>

En quantité, les émissions de gaz à effet de serre au Québec pour l'année 2003 s'élevaient à 91 millions de tonnes d'équivalent CO₂. Ce sont les émissions liées à l'utilisation de l'énergie qui constituent la plus grande part des émissions du Québec, on y inclut entre autres celles associées au transport (tableau 4.3).

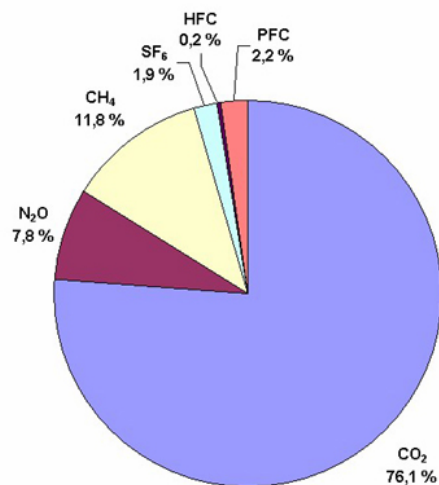
Tableau 4.3. Émissions en équivalents CO₂ des principaux secteurs d'activité du Québec en 2003, présentées selon la méthodologie du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC).

Émissions (Mt éq. CO ₂)	
Énergie	66,2
Procédés industriels	10,7
Utilisation de solvants et d'autres produits	0,1
Agriculture	8,5
Déchets	5,4
Total	90,9

Source : <http://www.menv.gouv.qc.ca/changements/ges/2003/index.htm#emission>

Une comptabilisation des émissions par gaz au Québec permet de constater que le dioxyde de carbone est celui dont les émissions sont les plus importantes, le méthane et l'oxyde nitreux viennent respectivement en deuxième et troisième place (figure 4.2).

Figure 4.2. Répartition des émissions par gaz au Québec en 2003



Source : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2002/index.htm>

Entre 1990 et 2003, les émissions de GES du secteur agricole québécois ont augmenté de 440 milles tonnes d'équivalent CO₂, soit 5,5 %. Le méthane et l'oxyde nitreux sont les responsables majeurs des émissions du secteur agricole⁴.

Rappelons que seulement les émissions provenant de la digestion des animaux (fermentation entérique), de la gestion des fumiers et de la gestion des sols sont comptabilisées pour le secteur agricole. Une évaluation pour le Canada a déterminé que l'agriculture était responsable de 1 % seulement des émissions de CO₂⁵. Les émissions du secteur agricole se répartissent ainsi pour le Québec (en équivalent CO₂, en 2002) :

- la gestion des sols : 43 %;
- la gestion du fumier : 31 %;
- la fermentation entérique : 26 %.

Les émissions de GES issues de la gestion des fumiers et de la gestion des sols ont augmenté au Québec entre 1990 et 2002. Celles provenant de la fermentation entérique ont quant à elles diminué, dû à une baisse du cheptel laitier. Au total, les émissions ont augmenté de 6,5 % entre 1990 et 2002 (tableau 4.4). À titre de comparaison, les émissions agricoles du Canada ont grimpé de 24 % entre 1990 et 2005 et toutes les catégories de sources ont affiché des hausses⁶.

Tableau 4.4. Émissions de GES du secteur agricole au Québec en 1990 et 2002

Catégories des sources	Émissions (Mt éq. CO ₂)		Variation des émissions 1990-2002		Part du secteur en 2002
	1990	2002	Mt éq. CO ₂	%	%
Agriculture	8,21	8,74	0,53	6,5 %	9,9 %
Fermentation entérique	2,50	2,27	-0,23	-9,1 %	2,6 %
Gestion du fumier	2,45	2,69	0,25	10,1 %	3,0 %
Gestion des sols agricoles	3,27	3,78	0,51	15,6 %	4,3 %

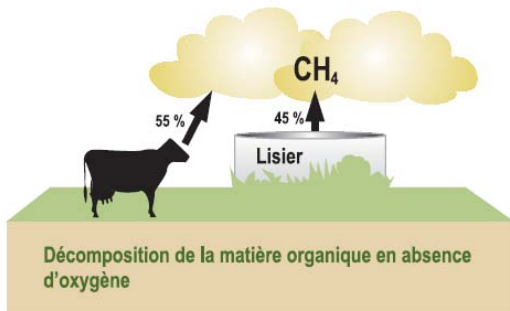
Source : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2002/index.htm>

Les prochaines sections décrivent plus en détail les sources anthropiques de chacun des gaz à effet de serre reliées à l'agriculture.

4.1.1 Le méthane

L'efficacité du méthane pour capter le rayonnement infrarouge équivaut à 25 fois celle du CO₂. Le méthane d'origine agricole sous les latitudes tempérées comme le Québec provient de deux sources principales, soit la digestion des animaux d'élevage et la gestion des fumiers. La répartition des émissions de méthane en fonction de ces sources est illustrée à la figure 4.3.

Figure 4.3. Sources de méthane du secteur agricole au Québec



Source : http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/PAGES_SourcesAgricoles_GES.pdf

À l'échelle du Canada, les émissions de méthane produites par les ruminants d'élevage équivalent à 25 % des émissions anthropiques totales de ce gaz (la moyenne pour les pays de l'OCDE était de 29 % en 1997⁷).

4.1.2 L'oxyde nitreux

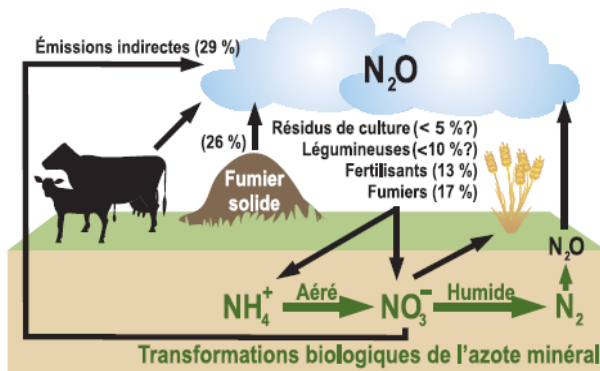
Le N₂O d'origine agricole provient de la gestion des sols (apport d'engrais naturels ou artificiels) et de la gestion des fumiers. Les activités agricoles produisent plus de la moitié (50 % à 80 %) de tout le N₂O émis par les activités humaines au Canada⁵. Cette contribution aux émissions nationales varie de 10 % à 99 % parmi les pays de l'OCDE⁷.

L'oxyde nitreux d'origine agricole est issu des processus biologiques qui transforment l'azote minéral (figure 4.4) :

- la nitrification qui transforme l'azote ammoniacal (NH₄⁺) en nitrate (NO₃⁻) et ;
- la dénitrification qui réduit le nitrate en azote moléculaire (N₂).

Par unité d'azote transformé, la dénitrification produit environ 10 % plus de N₂O que la nitrification.

Figure 4.4. Sources d'émissions d'oxyde nitreux du secteur agricole



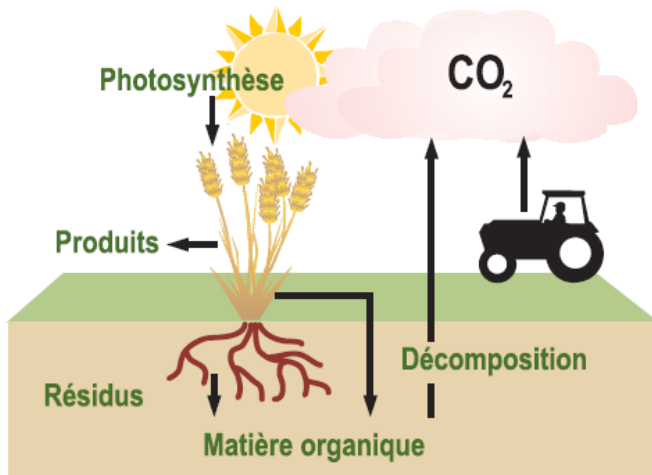
Source : http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/PAGES_SourcesAgricoles_GES.pdf

4.1.3 Le dioxyde de carbone

Selon une étude réalisée sous l'égide d'Agriculture et agroalimentaire Canada (AAC), les activités de production agricole n'ont qu'une faible contribution aux émissions de dioxyde de carbone totales du Canada. Cela s'explique par la consommation énergétique des fermes, considérée relativement faible par rapport aux autres activités consommatrices d'énergie fossile⁵.

Les surfaces agricoles, tout comme les forêts, jouent cependant un rôle très important dans le cycle du carbone en absorbant le CO_2 atmosphérique. Ce dernier passe par les plantes pour se fixer dans le sol qui constitue un important réservoir de carbone (figure 4.5).

Figure 4.5. Sources et puits agricole de dioxyde de carbone



Source : http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/PAGES_SourcesAgricoles_GES.pdf

Les sols peuvent toutefois contribuer aux émissions de gaz carbonique par le biais des pratiques agricoles qui libèrent le carbone séquestré. Les méthodes qui favorisent à l'inverse la séquestration du carbone dans le sol contribuent à l'équilibre entre les émissions et l'absorption du carbone atmosphérique. Ces méthodes sont discutées à la section 8.3.

5. Les changements climatiques

5.1 Les observations globales

À la lumière du dernier rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) paru en 2007, l'homme a une influence certaine sur l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ces gaz sont, il est utile de le rappeler, le principal facteur de forçage radiatif positif sur le climat. Or, les concentrations des trois gaz à effet de serre majeurs (CO₂, CH₄, N₂O) augmentent de façon constante et se retrouvent à des niveaux jamais excédés depuis les cinq dernières périodes interglaciaires (incluant la présente), soit depuis 650 000 ans².

Heureusement, le carbone ajouté dans l'atmosphère par l'émission du gaz carbonique, principal gaz à effet de serre, est en grande partie absorbé par les océans et la biosphère terrestre. Environ 50 % du CO₂ émis depuis 1980 a ainsi été absorbé via différents processus océaniques et terrestres. Certains de ces processus peuvent d'ailleurs être exploités en agriculture pour contribuer à l'effort de réduction des concentrations atmosphériques de CO₂.

Comme spécifié à la section 4, le forçage radiatif induit par les gaz à effet de serre d'origine anthropique est positif et on y associe une augmentation de la température globale de la planète de l'ordre de 0,74 °C entre 1906 et 2005 (par rapport à la moyenne 1960-1990). L'augmentation de la température globale s'effectue à un rythme accéléré depuis les 25 dernières années (+0,18 °C par décennie)¹³. De plus :

- les onze années les plus chaudes en cent ans ont été observées entre 1993 et 2005, 1998 et 2005 ayant été les plus chaudes à l'échelle de la planète;
- le réchauffement de l'atmosphère a permis une augmentation de l'humidité dans l'air;
- le niveau de la mer a augmenté de 3,1 mm par année entre 1993 et 2003, une accélération par rapport à la moyenne, cette hausse s'explique en grande partie par l'expansion thermique des océans et par la fonte des calottes polaires et des glaciers continentaux;
- les précipitations ont significativement augmenté de façon globale sur l'est de l'Amérique du Nord (des différences régionales sont possibles);

- la fréquence des précipitations intenses a augmenté sur la plupart des régions;
- les vagues de chaleur et les sécheresses ont augmenté sous les latitudes tropicales.

5.1.1 Les changements du climat du Québec

Malgré une répartition inégale des stations climatologiques sur le territoire du Québec, le suivi des paramètres ainsi que la disponibilité d'études spécifiques permettent de dégager certaines tendances du climat, en tenant compte de différences régionales. Les principaux constats pour le Québec méridional (sud du 50^e parallèle) issus des études menées par le consortium Ouranos sont les suivants⁸ (pour la période de 1960 à 2003, sauf indication contraire) :

- plusieurs régions ont connu un réchauffement notable au cours des quatre dernières décennies;
- un réchauffement plus marqué des températures moyennes annuelles, entre 0,5 °C et 1,2 °C dans l'ouest et le centre (figure 5.1);
- un réchauffement non-significatif et inférieur à 0,5 °C dans l'est, ce réchauffement s'est toutefois manifesté principalement à partir de 1990 (figure 5.1);

En hiver :

- une diminution moyenne de 5,5 % du cumul annuel des degrés-jours de chauffe, dans l'ouest et le centre;
- le réchauffement est plus marqué la nuit que le jour et les saisons qui se sont davantage réchauffées sont l'hiver et l'été, ces tendances sont également plus marquées dans l'ouest que dans l'est de la province;
- une diminution de la longueur de la saison de gel dans l'ouest, le sud et le centre;
- une augmentation du nombre de jours de gel – dégel dans l'ouest, le sud et le centre;
- une diminution de la durée des vagues de froid à l'exception des stations de la Côte-Nord;

Degré-jour

Un degré-jour est une unité qui exprime la différence algébrique (en °C) entre la température moyenne quotidienne et une température de référence.

Un **degré-jour de chauffe** est compté pour chaque degré de température quotidienne moyenne se trouvant en-dessous de 18 °C. Par exemple, pour une journée où la température moyenne est de 15,6 °C, le nombre de degré-jour de chauffe équivaut à $18 - 15,6 : 2,4$ degrés-jour de chauffe. Les degrés-jours de chauffe permettent d'évaluer la consommation de combustible en fonction des besoins de chauffage.

Un **degré-jour de croissance** est compté pour chaque degré de température quotidienne moyenne se trouvant au-dessus de la température de référence de croissance des végétaux qui est de 5 °C. Au cours d'une saison, on enregistre normalement entre 2 000 et 2 400 unités de degrés-jours de croissance pour le sud du Québec, environ 1 800 entre Trois-Rivières et Québec et 1 400 pour Val-d'Or et Roberval.

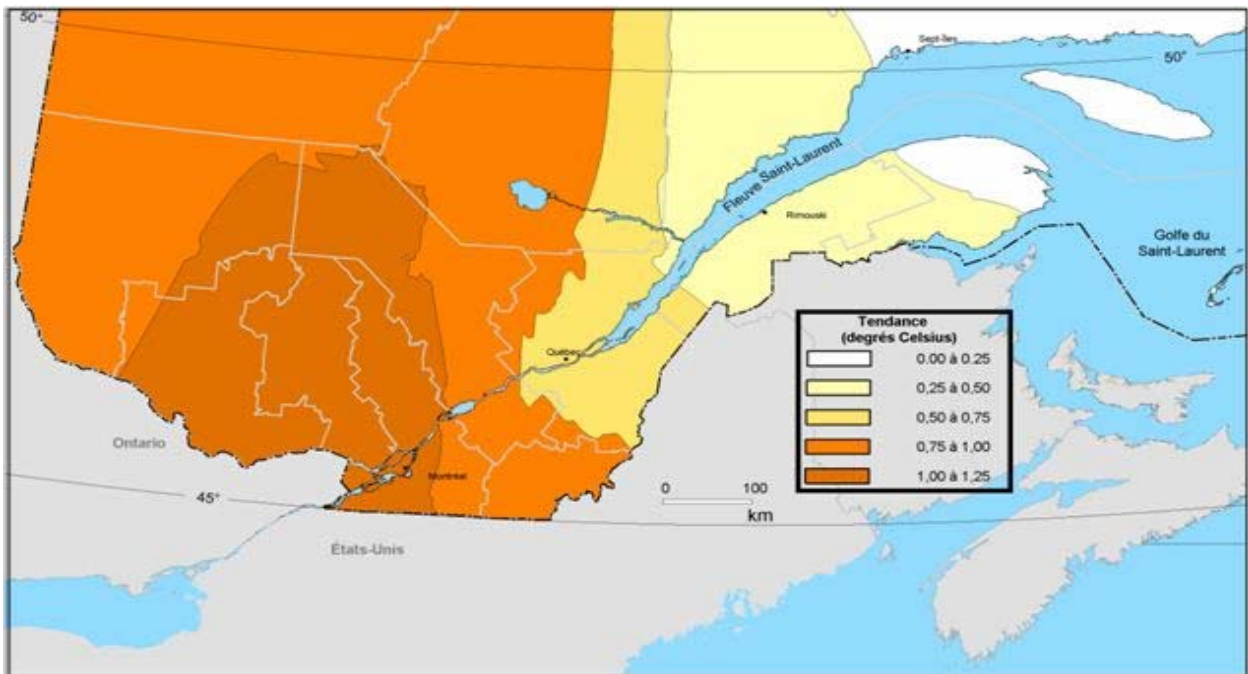
Un **degré-jour de réfrigération ou de climatisation** est compté pour chaque degré se trouvant au-dessus de la température de base qui est de 18 °C et la température quotidienne moyenne. Cette forme de degré-jour est utilisée pour mesurer les besoins en énergie nécessaires au conditionnement ou au refroidissement de l'air lorsque les températures excèdent 18 °C.

Sources : www.meteo.org/ ; www.meteo-media.com

En été :

- une augmentation du cumul annuel de degrés-jours de croissance dans toutes les régions (entre 4 % et 20 % pour l'ouest et le centre);
- une augmentation du cumul annuel des degrés-jours de climatisation, principalement dans le sud et le centre;
- une diminution de l'écart diurne à plusieurs stations du sud et de l'est;
- une augmentation des 10^e et 90^e percentiles des températures minimales dans la plupart des régions.

Figure 5.1. Tendances des températures annuelles moyennes entre 1960 et 2003.



Source : Ouranos

5.2 Les prévisions globales

Selon les prévisions des modèles de dernière génération ayant servi à étayer le dernier rapport du GIEC, il est prévu, à l'échelle du globe :

- une augmentation de la température de 0,2 °C par décennie d'ici 2030;
- une augmentation de la température moyenne globale de l'ordre de 1,8 à 4 °C d'ici 2100 (par rapport à la moyenne 1980-2000);
- une hausse des températures moyennes et maximales et une augmentation du nombre de jours de canicule sur l'ensemble des continents avec des variations régionales;
- une augmentation des températures minimales et une diminution du nombre de jours de froid intense sur l'ensemble des continents de même qu'une réduction de la durée de la couverture neigeuse et de son étendue dans l'hémisphère nord;
- une augmentation de la fréquence des précipitations intenses au cours du 21^e siècle.

Le réchauffement global est par ailleurs lié à des phénomènes qui auront des impacts sur les écosystèmes et sur les activités humaines¹² :

- élévation du niveau de la mer, déjà observée et qui se poursuivra (entre 18 et 59 cm d'élévation supplémentaire en 2100) affectant les régions côtières, les populations et les industries présentes dans ces régions;
- augmentation des inondations dues aux fortes précipitations dans certaines régions;
- augmentation des épisodes de sécheresse dans d'autres régions;
- changements dans le régime thermique des lacs et des rivières (réchauffement, évaporation) affectant les ressources en eau en quantité et en qualité;
- avancement des événements printaniers (migration des oiseaux, débourrement des bourgeons);
- étendue vers le nord et en altitude des aires de distribution des espèces animales et végétales;
- selon les régions et les espèces cultivées, augmentation des rendements agricoles aux latitudes moyennes et élevées avec un réchauffement local de l'ordre de 1 à 3 °C;
- augmentation des dommages matériels et des effets sur la santé dus aux événements extrêmes.

5.2.1 Les prévisions pour le Québec

Selon les résultats issus de modèles climatiques permettant de faire des prévisions régionales, les températures moyennes et les précipitations totales pour le Québec devraient augmenter à toutes les saisons et sur l'ensemble du territoire⁹. Des différences saisonnières et régionales doivent toutefois être considérées compte tenu de la variabilité même du climat mais aussi parce que les modèles comportent une marge d'incertitude qui s'amplifie avec l'horizon temporel des prévisions. Les tableaux 5.1 et 5.2 résument l'évolution des températures et des précipitations prévues pour le sud et le centre du Québec (où se retrouve le gros de la production agricole). Les prévisions sont calculées en référence à la moyenne des années 1960-1990.

Tableau 5.1. Prévisions de température et de précipitations pour le sud du Québec

Saison	Moyenne 1960-1990	Horizon 2020	Horizon 2050	Horizon 2080
<u>Hiver</u>				
T (°C)	-7,5 à -11	+1 à +3,5	+2 à +5,5	+4 à +8,5
Précipitations (mm)	270-330	-5 à +15 %	-0 à +25 %	-0 à +45 %
<u>Printemps</u>				
T (°C)	+3,5 à +6	+0 à +3,5	+2 à +5,5	+2,5 à +6
Précipitations (mm)	240-280	-5 à +15 %	+0 à +25 %	+0 à +40 %
<u>Été</u>				
T (°C)	+18 à +20	+1,5 à +2,5	+2 à +4	+2,5 à +6
Précipitations (mm)	280-350	-20 à +10 %	-25 à +15 %	-25 à +20 %
<u>Automne</u>				
T (°C)	+6,5 à +9	+0,5 à +2	+2 à 4,5	+2,5 à +6
Précipitations (mm)	270-330	-10 à +10 %	-10 à +15 %	-5 à +15 %

Source : Ouranos

Tableau 5.2. Prévisions de température et de précipitations pour le centre du Québec

Saison	Moyenne 1960-1990	Horizon 2020	Horizon 2050	Horizon 2080
<u>Hiver</u>				
T (°C)	-11 à -21	+1,5 à +4	+2,5 à +6,5	+4 à +10
Précipitations (mm)	130-325	+0 à +20 %	+0 à +30 %	+0 à +50 %
<u>Printemps</u>				
T (°C)	+3 à -7	+1 à +3,5	+1,5 à +6	+2,5 à +7
Précipitations (mm)	125-300	+0 à +20 %	+5 à +25 %	+5 à +50 %
<u>Été</u>				
T (°C)	+10 à +17	+1,5 à +2,5	+2 à +4	+2,5 à +6
Précipitations (mm)	230-310	-5 à +10 %	-10 à +15 %	-10 à +15 %
<u>Automne</u>				
T (°C)	-1 à +6	+1 à +2	+1,5 à 4	+2 à +6
Précipitations (mm)	215-300	-5 à +15 %	0 à +20 %	-0 à +25 %

Source : Ouranos

Les températures augmenteront donc davantage en hiver et en été, mais les températures printanières et automnales augmenteront également. En général, les précipitations augmenteront mais elles risquent de diminuer en été pour les régions les plus au sud.

En termes agroclimatiques, les conditions suivantes sont prévues pour le Québec⁹ :

- augmentation importante des indices thermiques et de la durée de la saison de croissance pour le maïs, le soya, les céréales du printemps et les plantes fourragères pour le sud et l'est du Québec;
- augmentation moyenne de 29 % des unités thermiques maïs (UTM) pour l'ensemble du territoire agricole du Québec¹³;
- dernier gel printanier survenant de 12 à 20 jours plus tôt et premier gel automnal retardé de 15 à 18 jours¹³.

6. Enjeux pour l'agriculture et l'agroalimentaire

Comme secteurs, en partie responsable des émissions de gaz à effet de serre, l'agriculture et l'agroalimentaire peuvent contribuer à l'effort collectif demandé pour répondre aux objectifs du Protocole de Kyoto, auquel le Canada est lié et pour lequel le Québec s'est engagé à des actions.

D'autre part, le secteur de la production agricole est directement dépendant des conditions climatiques. À cet égard, les filières de production et de transformation sont soumises à des situations qui occasionnent divers impacts ou qui à l'inverse peuvent se traduire par des opportunités de développement, il en sera question à la section 7.

Les enjeux pour les secteurs de la production et de la transformation agricole en ce qui a trait aux changements climatiques peuvent être considérés sur les plans socioéconomique et environnemental. Ainsi, au chapitre des moyens à adopter pour réduire les émissions et atténuer le réchauffement global, les intervenants des secteurs concernés feront face à des choix de stratégie qui affecteront leurs façons de faire et impliqueront des investissements qu'ils auront à assumer ou que les politiques pourront soutenir financièrement.

Dans le contexte québécois, les principaux enjeux sont:

- Les méthodes culturales et d'élevage, la gestion des intrants, la gestion des sols et la gestion de l'eau en agriculture et agroalimentaire sont des enjeux majeurs liés aux changements climatiques. En raison de la nature de leurs activités et des méthodes qu'elles emploient, la production et toute l'industrie agroalimentaire participent à la source du problème d'une part et d'autre part, en modifiant leurs pratiques, elles sont appelés à participer aux solutions qui permettront de lutter contre le réchauffement.
- Dans le contexte de la mise en œuvre du Protocole de Kyoto, l'agriculture est appelée à devenir un acteur de premier plan au chapitre de la production de biocarburants (voir l'encadré plus bas) et également à participer au marché des crédits d'émission par des projets de séquestration du carbone.
- L'utilisation de l'énergie et de certaines technologies émettrices de gaz à effet de serre (séchage, cuisson, réfrigération) dans le secteur de la transformation, et surtout le transport des produits agricoles le long de la chaîne de distribution ont un impact sur le climat et sont aussi des éléments qui influencent la rentabilité des entreprises dans un contexte de mondialisation des marchés. Ces questions interpellent par ailleurs les consommateurs qui sont de plus en plus soucieux de consommer des produits locaux pour diverses raisons, dont la lutte aux changements climatiques.

- Comme pour toute problématique importante, la sensibilisation et l'éducation sont des enjeux qu'il convient de souligner. Puisque des divergences existent sur les moyens de lutter contre le réchauffement, le traitement de ces questions doit se faire sur des bases de connaissances scientifiques transmises de façon objective aux principaux intéressés.
- Pour être cohérente avec le processus international que constitue la Convention sur les changements climatiques et le Protocole de Kyoto, la mise en œuvre de la lutte au réchauffement et l'adaptation sont à inscrire dans un agenda de mise en œuvre d'une agriculture et d'une industrie agroalimentaire durables. Dans cet esprit, les décisions quant aux actions à entreprendre devront se prendre selon un mode de gestion participative où l'équité tient une place d'importance équivalente aux autres dimensions du développement.

La production de biocarburants

Les producteurs agricoles sont directement interpellés par la production de biocarburants comme premier maillon de la chaîne. Les biocarburants agricoles sont fabriqués à partir de sucres ou d'amidon (l'éthanol fait à partir du maïs ou autres céréales, de canne à sucre, de betterave) ou à partir d'huile végétale (oléagineux pour la production de biodiésel). Or, il convient de préciser quelques éléments de ce dossier d'actualité.

La production de biocarburants fait vraisemblablement partie des stratégies politiques des états pour le soutien aux agriculteurs industriels, pour la lutte à la pollution atmosphérique et pour la diminution de la dépendance énergétique envers les pays producteurs de pétrole, à l'exemple des États-Unis avec leur politique de soutien qui vise à augmenter le niveau d'éthanol dans l'offre de carburant à 15 % d'ici 2017 (le niveau était à 2,7 % en 2006)¹.

Dans le cadre de leur stratégie de lutte aux changements climatiques, le Canada et le Québec se sont également donnés des objectifs de contenu en éthanol de 5 % à atteindre au cours des prochaines années. Le Canada vient d'ailleurs d'annoncer un programme d'appui (l'Initiative des marchés de biocarburants pour les producteurs, IMBP), pour soutenir la production de biocarburants au Québec¹⁷.

Au chapitre des émissions de gaz à effet de serre cependant, ces politiques auront peu d'impacts en raison de l'important usage de machinerie et de fertilisants pour la production des biocarburants, en particulier lorsque le maïs est utilisé comme matière première.

La production de biocarburants (suite)

Le problème avec la production de maïs pour produire de l'éthanol est que cette production exige d'énormes quantités de matière première (2,5 kg de maïs pour un litre d'éthanol) et que ce litre d'éthanol ne contient que 85 % de l'énergie d'un litre d'essence. À quantité égale, un véhicule roulera ainsi 15 % moins loin avec de l'éthanol qu'avec de l'essence.

Une étude récente démontre que sur une période de 30 ans, l'afforestation (plantation d'arbres sur des terres marginales) ou la conversion de terres cultivées en prairies permettent de séquestrer d'avantage de carbone que les réductions d'émissions résultant de l'usage des biocarburants produits sur une superficie équivalente¹⁰.

À titre d'exemple : la conversion de maïs en éthanol résulte en très faibles quantités d'émissions évitées (0,5 tC/ha/an) ou même, selon certaines estimations, en émissions supplémentaires. En comparaison, la conversion de biomasse ligneuse en biodiesel évite l'émission de 1,6 à 2,2 tC/ha/an et la conversion de terre cultivée en prairie ou en forêt (aux États-Unis) évite l'émission de 1,0 à 3,2 tC/ha/an¹⁰.

La production des biocarburants risque par ailleurs de monopoliser une importante proportion des terres arables (10 % de substitution de carburants fossiles nécessiterait 43 % des surfaces actuellement cultivables aux États-Unis)¹⁰. Par ailleurs, la demande pour la matière première a un effet de hausse sur les prix des denrées alimentaires de base servant à l'alimentation animale et humaine (aux États-Unis, le prix du maïs a augmenté de 75 % depuis 2006 et le prix est en hausse en 2007 sur le marché international)¹¹.

En termes de développement durable donc, la production de biocarburants devrait se faire dans le cadre d'une stratégie globale incluant des mesures complémentaires comme l'efficacité énergétique des véhicules, la décroissance du parc automobile, la réduction des déplacements motorisés, et la recherche de substituts aux céréales et oléagineux alimentaires comme matière première (ex : cellulose ligneuse, résidus, fumiers). L'utilisation des terres agricoles et de l'eau à des fins de production énergétique au détriment de la production destinée à l'autosuffisance alimentaire, comme cela s'observe au Mexique ou au Brésil, soulève par ailleurs une question éthique qu'il convient de considérer même dans le contexte québécois^{1, 11}.

7. Impacts et opportunités

Il est important de souligner qu'il existe un lien entre les changements climatiques, le risque de subir un impact négatif (ou de développer une opportunité) en réaction aux changements climatiques et la résilience d'un système ou des individus. Un impact négatif est habituellement subi par un système en fonction, tout d'abord, de son degré d'exposition aux changements du climat, en fonction ensuite de la sensibilité du système à ces changements et enfin selon sa capacité de résilience (la capacité de se rétablir suite à un événement qui affecte l'état d'équilibre)⁹.

La résilience

En agriculture, la résilience face aux changements climatiques se mesure en fonction de l'organisation et du degré de préparation des entreprises individuelles et elle dépend également de l'importance de l'aide pouvant être fournie par l'État par le biais des programmes de soutien et d'assurances. Des stratégies peuvent être mises en œuvre pour engager et mieux préparer le milieu à un avenir climatique changeant à long terme, il en sera question aux sections 8 et 9.

À plus court terme, en fonction des conditions agroclimatiques prévues pour le Québec, les impacts et les opportunités touchant l'agriculture sont les suivants :

Augmentation des températures estivales :

- stress accru pour les cultures horticoles (fruits et légumes) sensibles aux températures trop chaudes et au déficit hydrique⁹;
- diminution de la consommation alimentaire, de la productivité et de la performance reproductive des animaux d'élevage⁹ (à divers degrés selon les conditions d'élevage en vigueur : bâtiments bien ventilés, arbres procurant de l'ombre, etc.) ;
- mortalité chez les animaux élevés dans des conditions de confinement où les besoins en aération sont importants (ex : les mortalités de volaille en 2002)⁹;
- augmentation possible des dommages causés par les agents pathogènes, les ravageurs, les mauvaises herbes s'adaptant aux nouvelles conditions climatiques ou encore due à l'arrivée d'organismes qui étendent leur aire de répartition en provenance

des régions situées plus au sud⁹; les pratiques agronomiques ont cependant un grand rôle à jouer dans la vulnérabilité des cultures ou des animaux à ces agents qui agissent en combinaison avec le climat (ex : les monocultures sur de grandes étendues sont plus vulnérables);

Augmentation de la saison de croissance :

- augmentation possible, selon les conditions d'humidité disponible dans le sol, de 21 % à 115 % des rendements du maïs et du soya en 2070, pour le sud⁹;
- augmentation du nombre de récoltes de plantes fourragères¹³;
- l'augmentation des rendements et des récoltes ne tient cependant pas compte des risques de dommages causés par les ravageurs à la faveur du réchauffement;
- possibilité d'utiliser des cultivars plus tardifs et plus productifs et de nouvelles espèces dans des régions où cela n'est pas encore faisable¹³;

Diminution des précipitations :

- un déficit en humidité du sol pourrait survenir advenant un taux d'évaporation supérieur aux précipitations estivales; les années où cela se produirait, le rendement du maïs et d'autres cultures pourraient être réduits significativement^{9, 13};
- d'un autre côté, des excès d'apport en eau résultants de conditions plus humides que la normale et faisant de toute façon partie de la variabilité du climat sont aussi dommageables pour les cultures, des pluies abondantes et intenses provoquent, en effet, un ruissellement et une érosion des sols et peuvent affecter la qualité de l'eau, ces impacts peuvent être atténués ou exacerbés selon le mode de gestion des sols adopté par les entreprises;

Réchauffement en hiver :

- le réchauffement observé en hiver se traduit par une diminution des besoins en chauffage des bâtiments⁸. Le réchauffement devrait, selon les prévisions, se poursuivre et ainsi contribuer à réduire significativement les **besoins de chauffage**, ce qui a un impact nettement positif sur les coûts énergétiques des productions en serre, les élevages de porc et de volaille et autres types de productions ayant des besoins de chauffage. Il faut toutefois noter que ces effets positifs sont aussi affectés

par de nombreux autres facteurs non-climatiques tels la vigueur de l'économie, la technologie, les comportements ou façons de faire⁸;

- avec des hivers moins rudes, de meilleurs gains de poids sont prévus pour les **bovins** élevés à l'extérieur⁹ ;
- l'endurcissement des **espèces pérennes** sera moins optimal pour la survie hivernale en raison d'automnes plus doux¹³ ;
- les plantes pérennes comme la **luzerne** risquent d'être affectées par un couvert de neige moins épais, les plantes seront moins protégées des froids et de la glace et subiront les effets des gels-dégels plus fréquents¹³ ;
- les **arbres fruitiers** seront avantagés par des gels automnaux plus tardifs, les arbres ayant eu le temps de préparer leur état de dormance en fonction de la photopériode. Des dégels prolongés en hiver pourraient toutefois affecter la survie en provoquant le débourrement hâtif des bourgeons¹³ ;
- les régions qui actuellement sont considérées trop froides pour permettre la culture de certains arbres fruitiers pourraient se réchauffer d'ici la moitié du siècle et accueillir des espèces plus fragiles¹³.

Les tendances climatiques prévues demeurent imprécises quant à la fréquence et à l'intensité des événements climatiques extrêmes comme les sécheresses, les vagues de froid, le verglas et autres. La difficulté de prévoir ce type d'événement à long terme à une échelle spatiale réduite contribue à entretenir les risques d'impacts négatifs pour l'industrie agricole qui devra continuer à s'adapter afin de minimiser les pertes potentielles.

8. Stratégies de réduction des émissions et d'atténuation du réchauffement

Dans une perspective de stabiliser les concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère à des niveaux qui permettent aux écosystèmes de se maintenir, tel que le spécifie l'objectif premier de la Convention cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques, les secteurs agricole et agroalimentaire sont appelés à diminuer leurs émissions de gaz à effet de serre. Plusieurs moyens ont été identifiés et certains peuvent être mis en œuvre dans le cadre de stratégies de développement durable, permettant à long terme de répondre à des objectifs environnementaux et socioéconomiques.

Le potentiel de réduction des émissions en agriculture

L'Union européenne a évalué un potentiel de réduction de ses émissions agricoles de gaz à effet de serre de l'ordre de 31 millions de tonnes de CO₂-équivalent par année, soit 7,4 % des émissions de GES agricoles (ce potentiel correspond en gros à l'objectif de réduction visé par le Protocole de Kyoto). Les mesures techniques visant la réduction des GES sont les suivantes: des mesures d'incitation à l'utilisation d'engrais plus efficaces et la réduction des quantités utilisées; le compostage et les améliorations susceptibles d'être apportées aux systèmes de digestion anaérobie (par exemple pour la production de biogaz), en vue du traitement des sous-produits et déchets biodégradables; la production de biomasse, le labour de conservation et l'agriculture biologique¹⁸.

8.1 Réduction des émissions d'oxyde nitreux

En termes d'équivalents de CO₂, l'oxyde nitreux est le principal contribuant des émissions de gaz à effet de serre agricoles dans l'Est du Canada, ce qui s'explique par les quantités importantes d'engrais azoté et de fumier épandus sur les sols¹⁴.

Une étude sur les moyens de réduire les émissions par la gestion des fertilisants au Québec et en Ontario estime le potentiel de réduction entre 100 000 et 800 000 tonnes d'équivalent CO₂, ce qui équivaut à environ 10 % seulement des émissions totales des sols pour les deux provinces en 2003¹⁴. Il est important de noter que les moyens étudiés sont efficaces s'ils sont adoptés par l'ensemble des producteurs.

Les pratiques agricoles qui permettent de diminuer le N₂O produit dans les sols agricoles ont comme objectif de réduire les volumes d'azote dénitrifié. En appliquant ces méthodes, on évite l'accumulation de nitrates libres et le développement de conditions anaérobies qui favorisent les émissions de N₂O.

Gestion des engrais et des fumiers :

Les pratiques suggérées pour réduire les émissions de N₂O consistent principalement à :

- synchroniser la disponibilité des nitrates avec les besoins nutritifs des plantes⁵ en ;
 - o évitant les doses excessives d'engrais et de fumiers (analyses de sol, guides de fertilisation, précédents culturaux) ;
 - o les appliquant au moment opportun (au printemps plutôt qu'en automne) ;
 - o fractionnant les épandages (semis et postlevée plutôt qu'une application unique) ;
 - o localisant (en bandes plutôt qu'à la volée) leur application;
- semer des cultures de couverture après les récoltes;
- réduire le risque de développement de conditions anaérobies dans le sol par un drainage adéquat et une gestion efficace de l'irrigation;
- appliquer du fumier solide provoque moins d'émissions de N₂O que l'application de fumier liquide ou d'engrais de synthèse (près de trois fois moins)¹⁴;
- effectuer des rotations incluant la luzerne ou une autre légumineuse produit moins d'émissions que des cultures annuelles fertilisées¹⁴;
- le labour d'automne produit davantage d'émissions que de laisser les résidus sur place.

8.2 Réduction des émissions de méthane

Les émissions de méthane provenant principalement de la fermentation entérique et dans une mesure presque équivalente de la gestion des fumiers, les mesures porteront donc sur ces deux sources.

Fermentation entérique :

- augmenter la productivité des animaux (améliorer la digestibilité des aliments, améliorer le coefficient de conversion) ;

- des moyens comme la modification génétique, l'usage d'additifs alimentaires comme la phytase et les probiotiques, la modification des rations sont en usage dans plusieurs pays de l'OCDE¹⁵;
- l'augmentation de la taille des animaux pour améliorer leur taux de conversion est obtenue par des hormones de croissance, des anabolisants et autres produits biotechnologiques qui ont cependant des répercussions négatives sur la santé et qui sont controversées sur le plan éthique, d'autres façons comme la sélection de variétés de fourrages et de bétail locales (exemple du Portugal)¹⁵.

Gestion des fumiers :

- Selon des résultats de recherche, le potentiel méthanogène (voir encadré plus bas) des systèmes de gestion des fumiers de bovins, en climat tempéré, est maximum en bassin de fermentation anaérobique (90 %), modéré pour la gestion en purin liquide (35 %) et faible (0,5 à 15 %) pour les méthodes comme le stockage solide, les parcs à sec, les prairies parcours, l'épandage quotidien et les digesteurs anaérobies¹⁵.

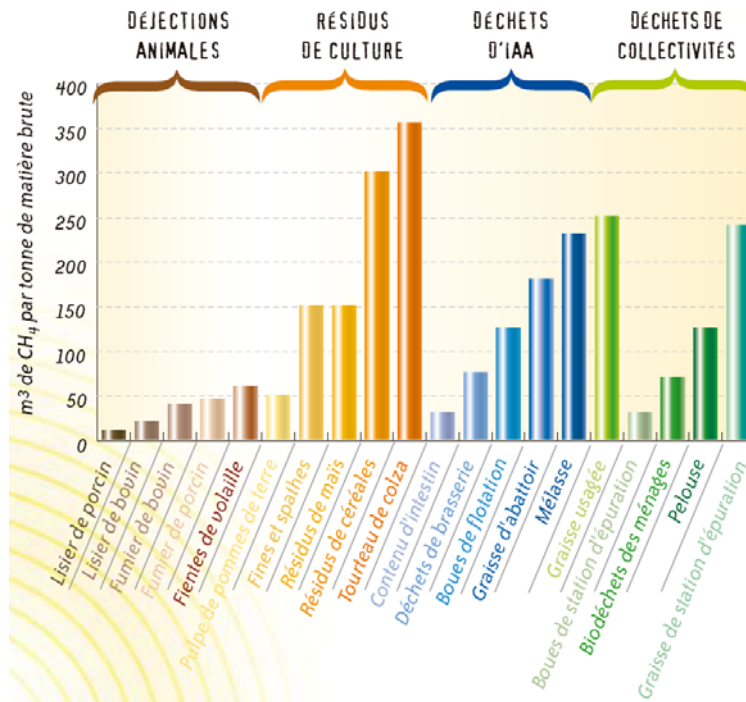
Le potentiel méthanogène et la production de biogaz

Le potentiel méthanogène est la quantité de méthane (en mètres cubes de CH₄ par tonne de biomasse) que peut produire de la matière organique traitée par digestion anaérobie.

Les pourcentages énumérés ci-haut correspondent cependant au taux d'émission de méthane exprimé en proportion du potentiel méthanogène du fumier de bovins en fonction des divers modes de gestion. Il est intéressant de constater que les émissions maximales (associées au fumier de bovin) sont produites par stockage en bassins de fermentation, ce qui peut s'avérer un avantage pour la récupération des biogaz.

En fait, si à prime abord le potentiel méthanogène est un indicateur du volume de méthane pouvant être émis par la fermentation de la matière organique, il peut, d'un autre côté, servir à évaluer le potentiel de production de biogaz pouvant être exploité comme source d'énergie. Dans cette optique, d'autres matières produites par les secteurs agricole et agroalimentaire possèdent des potentiels méthanogènes intéressants pour la production énergétique (soit pour la combustion directe, soit en cogénération ou soit pour générer de l'électricité seulement).

La figure suivante compare le potentiel méthanogène de divers substrats.



Source : http://trame.asso.fr/maj/_files/upload/documents/16pmethanisation.pdf

Le potentiel méthanogène et la production de biogaz (suite)

Les systèmes de récupération des biogaz et de production d'énergie (digesteurs) sont généralement installés à la ferme. À ce chapitre, l'Allemagne est un leader avec près de 4 000 systèmes à l'échelle de la ferme installés en 2005. Ces systèmes génèrent près de un demi-milliard de dollars de ventes d'électricité chaque année, des revenus qui vont directement aux agriculteurs. Le Canada en est à ses débuts avec une dizaine de systèmes installés. La première usine de production commerciale de biogaz au Canada, installée en Alberta au coût de 7 millions de dollars utilise le fumier provenant du parc d'engraissement de 36 000 têtes de bovins. L'usine génère suffisamment de biogaz pour produire de façon continue 800 kilowatts (soit assez pour chauffer et éclairer 750 foyers) mais elle n'est rentable qu'à un prix de 0,15 \$ le kilowattheure.

Une journée sur ce thème tenue en janvier 2007 révélait, sur la base de plusieurs projets, les données suivantes^{19, 20} :

- au niveau des coûts, l'investissement est de l'ordre de 2 500 à 5 000 \$/kW;
- le coût de production est de 0,075 – 0,11 \$/kWh;
- au niveau des bénéfices, la vente de l'électricité n'est pas rentable au Québec avec un prix offert par Hydro-Québec de 0,035 à 0,068 \$/kWh (en Ontario, le prix est de 0,11 à 0,145 \$/kWh);
- par contre, d'autres avantages économiques, sociaux et environnementaux sont possibles :
 - o autonomie énergétique de la ferme (électricité et chaleur) ;
 - o redevances pour la prise en charge des déchets si le système traite les déchets avec les déjections animales ;
 - o possibilité de crédits de carbone par la réduction des achats d'intrants énergétiques ;
 - o réduction des odeurs ;
 - o réduction des pathogènes dans le fumier ;
 - o réduction des émissions de CH₄ et N₂O des sites d'entreposage et lors de l'application ;
 - o réduction des pathogènes dans les eaux de surface et souterraines.

Cette avenue de valorisation aurait avantage à être développée au Québec, où deux projets de vitrine technologique sont en cours. Le Québec offre d'ailleurs de l'aide financière via différents programmes.

Le principal obstacle à l'expansion de tels systèmes au Québec, à l'inverse de la situation en Europe, est le bas prix de l'énergie. Des interventions politiques seraient nécessaires pour que le seuil de rentabilité soit atteint pour de l'énergie verte grâce à un prix estimé autour de 0,13 à 0,22 \$/kWh¹⁹.

La réduction des émissions de méthane des fumiers vise donc à réduire la décomposition anaérobie de ces derniers, les méthodes suivantes sont proposées :

- séparation des phases liquide et solide du lisier avant l'entreposage⁵;
- réduire la durée de l'entreposage par des épandages plus fréquents⁵;
- composter les fumiers (décomposition aérobie)¹⁵;
- de façon surprenante, la réduction des émissions de CH₄ à partir des lisiers consisterait plutôt à en produire par la fermentation et la production de biogaz à l'aide de bioréacteurs (tel que décrit dans l'encadré qui précède). L'utilisation de ce combustible émet tout de même du CO₂, qui a toutefois un impact moindre que le méthane. Cette solution permet par ailleurs des économies d'énergie à la ferme^{5, 15}.

Les crédits d'émissions pour le biogaz

Le Conseil canadien du porc a examiné les possibilités pour les producteurs de vendre des réductions d'émissions de gaz à effet de serre. En attendant le cadre réglementaire canadien sur un système national d'échanges de crédits d'émissions, le seul marché du carbone accessible est le *Chicago Climate Exchange (CCX)*. Le CCX fonctionne comme une bourse où les entreprises qui produisent des GES et qui cherchent à réduire les risques économiques de l'application de cadres réglementaires à venir concernant les émissions de GES, peuvent se faire créditer des réductions d'émissions acquises via des projets de réductions réelles des émissions²⁴.

Il semble que le stockage du méthane et la production d'énergie à partir de systèmes d'entreposage des fumiers soient les seules pratiques actuellement acceptées par le CCX pour réduire les GES dans le secteur de l'élevage.

L'amélioration de l'efficacité des systèmes de production de biogaz au Québec pourrait donc offrir des opportunités pour la vente de crédits d'émissions auprès du CCX par les producteurs de porcs entre autres.

8.3 Réduction des émissions de dioxyde de carbone et séquestration du carbone

Le dioxyde de carbone est émis des sols agricoles lorsque la matière organique se décompose, principalement lorsque les sols sont mal drainés. Les mesures de réduction et de séquestration visent donc à incorporer la matière organique au sol sans qu'elle se décompose. Les méthodes qui permettent de réaliser cet objectif sont les suivantes :

- le travail réduit du sol est généralement associé à une plus faible décomposition de la matière organique, toutefois, l'efficacité de cette pratique varie en fonction du type de sol et du climat⁵, on a observé que le travail réduit permet d'augmenter la teneur en carbone des sols de 10 % à 30 % de plus qu'avec les méthodes de labour conventionnelles¹⁵;
- le semis direct;
- le retour au sol des résidus de cultures (paillis);
- une meilleure gestion des pâturages et des prairies;
- des choix de cultures (maïs-grain vs maïs-ensilage) moins exigeantes;
- l'augmentation des cultures pérennes dans les rotations;
- les cultures de couverture;
- la plantation de haies brise-vent;
- la naturalisation de terres agricoles marginales;
- l'utilisation des résidus de cultures pour la fabrication de biens durables (comme des panneaux à base de paille fabriqués dans l'ouest du Canada).

Les crédits d'émissions

Avec l'entrée en vigueur prochaine (2008) du cadre réglementaire sur les polluants atmosphériques du Canada, les producteurs pourraient avoir l'opportunité de participer à des projets de réduction des émissions de GES en vendant des crédits d'émission à des investisseurs privés. Il est d'intérêt alors d'évaluer les coûts de tels projets (administration, quantification, vérification, certification) et les bénéfices prévus. De tels projets pourront être mis en place par un producteur seul ou par un regroupement. Selon les résultats d'une étude canadienne, des projets axés sur la réduction des émissions d'oxyde nitreux seulement et un prix de 10 \$/t d'équivalent CO₂, seraient rentable à partir de 50 000 hectares¹⁴. Ces résultats indiquent qu'un regroupement de producteurs serait avantageux et que la bonification des projets avec des réductions des émissions de méthane (production de biogaz) et la séquestration du carbone dans le sol permettraient d'améliorer la rentabilité de tels projets. Le prix par tonne d'équivalent CO₂ devrait normalement être plus élevé pour favoriser la participation des producteurs.

Le stockage du carbone

D'après les estimations fournies par les experts, le potentiel de stockage dans les sols agricoles de l'Union européenne (UE) des Quinze s'élève à 60-70 millions de tonnes de CO₂ par année durant la première période d'engagement de Kyoto (2008-2012), ce qui équivaut à 1,5-1,7 % des émissions anthropiques de CO₂ de l'UE. Ce volume représenterait 19-21 % de la réduction totale de 337 millions de tonnes de CO₂ par année à laquelle l'UE s'est engagée pour cette période. Le carbone peut être séquestré soit par une réduction de la perturbation des sols, soit par une augmentation de l'apport de carbone dans le sol. En même temps, il est important de maintenir les stocks existants de carbone et de ralentir les pertes de carbone des sols au moyen de meilleures pratiques de gestion¹⁸.

Des études réalisées au Canada à partir d'une modélisation simplifiée du carbone du sol font état d'un potentiel de séquestration du carbone en 2010 de 10 kg/ha, soit autour de 0,6 millions de tonnes de C par année pour les sols du Canada, seulement avec l'abandon du labour (l'étude a toutefois été réalisée avec les données des sols de l'Ouest canadien)²².

D'autres résultats font plutôt état de potentiels de 0,54 à 1,34 tonne de CO₂/ha/année selon la zone pédologique²³. Ces résultats divergents montrent que l'état des connaissances dans le domaine de la séquestration du carbone dans les sols des climats tempérés est encore embryonnaire et des études sont en cours dans les centres de recherche en agronomie pour améliorer ces connaissances.

Il est important de noter finalement que plusieurs des moyens proposés pour la réduction de l'un ou l'autre des gaz à effet de serre d'origine agricole peuvent avoir un effet de réduction de l'un ou des autres. À l'inverse, certaines méthodes pourraient résulter en émissions additionnelles d'autres GES.

8.4 Réductions en agroalimentaire

En agroalimentaire (transformation des aliments et boissons) les gaz à effet de serre sont produits principalement par des procédés utilisant les énergies fossiles (83 % des émissions), alors que la décomposition des résidus organiques en émet 12 % et que les fuites de gaz réfrigérant complètent le bilan avec 5 %¹⁶.

Les stratégies proposées incluent¹⁶ :

- l'amélioration de l'efficacité énergétique des procédés (récupération de chaleur, utilisation rationnelle) et la conversion lorsque possible vers des sources moins émettrices de GES;
- entretien et modernisation des équipements de réfrigération;
- au chapitre des transports des produits, la rationalisation et l'utilisation des modes de transport intermodaux pourraient se traduire par d'intéressantes réductions des émissions.

9. Stratégies d'adaptation

La section 7 décrivait certains impacts et opportunités se présentant, à court terme, à la lumière des changements climatiques prévus. À moyen terme et long terme, les entreprises agricoles devraient viser la réduction de leur vulnérabilité afin d'atténuer les risques potentiels et les impacts des changements climatiques. Il est intéressant de constater que des stratégies de réduction des émissions ou d'atténuation des effets du réchauffement peuvent contribuer, par la même occasion, à l'adaptation aux changements climatiques.

L'adaptation

L'adaptation est la réaction des systèmes naturels ou anthropiques suite à une fluctuation climatique passée ou prévue ou à son effet afin d'en atténuer les inconvénients ou d'en exploiter les avantages⁹.

C'est dans un contexte de développement durable que la Convention sur les changements climatiques a été négociée et signée par la majorité des pays de la planète. Des synergies sont donc préconisées entre les stratégies de développement durable qui impliquent des choix de société, et les stratégies d'atténuation du réchauffement, de réduction des émissions de GES et d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques¹. Des avantages peuvent souvent être retirés sur les plans économiques, sociaux et environnementaux par la synergie des stratégies.

Les mesures pouvant être mises en œuvre à l'échelle des entreprises se répartissent généralement parmi les stratégies suivantes :

- la gestion des sols :
 - o laisser les résidus au champ (séquestration du carbone);
- la gestion des fumiers et des fertilisants :
 - o réévaluer ou étendre certaines méthodes d'application des engrais et fumiers dans un contexte de précipitations plus fréquentes;
- la gestion de l'eau :
 - o installer des systèmes d'irrigation de micro-irrigation comme cela se fait déjà dans certaines cultures horticoles;

- les pratiques d'élevage, culturelles et agroenvironnementales en général⁹ :
 - o adapter les dates de semis et de récoltes en fonction de l'évolution de la saison de croissance;
 - o choisir des cultivars adaptés à des conditions plus chaudes (pour les cultures à implanter en région plus froides actuellement);
 - o opter pour la diversification de l'assolement plutôt que la spécialisation (avantages agronomiques et environnementaux et diminution des risques économiques);
 - o établir des bandes riveraines;
 - o favoriser l'établissement de cultures de couverture pour bénéficier de l'allongement de la saison de croissance et ainsi protéger le sol de l'érosion (avec l'augmentation des précipitations);
 - o favoriser l'agroforesterie au Québec, cette approche a un potentiel de développement certain puisqu'elle peut rendre de nombreux services sur les plans environnemental, économique et social.

À l'échelle institutionnelle (aux différents niveaux d'administration publique), certaines politiques en place ou à élaborer peuvent avoir un effet sur la capacité d'adaptation du milieu agricole aux changements climatiques. Plusieurs mesures se rapportent également aux stratégies susnommées.

- Le reboisement de terres marginales est une stratégie qui permettrait la séquestration du CO₂ dans la matière ligneuse en croissance. Selon une étude américaine, des plantations sur les terres marginales des États-Unis pourraient permettre la séquestration de 300 millions de tonnes par année de CO₂. Ces terres pourraient aussi être ensemencées en graminées vivaces dont certaines peuvent transférer jusqu'à 2,5 tonnes de carbone par hectare dans le sol par année¹. Une stratégie de cet ordre, favorisée par une politique d'appui aux producteurs, devrait cependant être considérée dans une perspective de développement régional durable et être évaluée de concert avec les communautés et les intervenants concernés, qui peuvent avoir des vues différentes quant aux avenues de valorisation de ces terres (plusieurs projets de plantation d'arbres ou de graminées existent aux États-Unis et en Europe)¹⁵.

L'agroforesterie

Selon un groupe de travail qui s'est récemment penché sur la question de l'agroforesterie au Québec, il a été convenu d'en élaborer la définition conceptuelle suivante adaptée au contexte québécois²¹ :

L'agroforesterie est 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. Les systèmes agroforestiers comprennent notamment :

- les haies brise-vent;
- les bandes riveraines agroforestières;
- les cultures intercalaires;
- les cultures sous couverts arborés;
- la production de biomasse avec des espèces à croissance rapide.

Il faut noter que ces systèmes, pour être qualifiés comme tel, doivent répondre aux critères qui définissent l'agroforesterie, c'est-à-dire :

- **l'intention** (mise en place intentionnelle et gestion d'une combinaison de cultures ou d'élevage avec des arbres et/ou des arbustes pour en tirer des produits et des bénéfices);
- **l'intégration** (intégration des composantes productives du système entre elles et intégration des objectifs économiques, sociaux et environnementaux);
- **l'interaction** (utilisation des interactions biophysiques des composantes pour tirer des bénéfices aux plans écologique et économique).

Les pratiques agroforestières développées au Québec jusqu'à maintenant consistent essentiellement aux haies brise-vent et aux bandes riveraines agroforestières, dont la mise en place est soutenue dans le cadre du programme « Prime-vert » et du programme de « Mise en valeur de la biodiversité des cours d'eau en milieu agricole » respectivement. Dans le cas des projets de bandes riveraines, il s'agit de projets réalisés en partenariat avec des organismes de gestion intégrée de l'eau par bassin versant et dont les objectifs sont multiples.

Il va de soi que les pratiques agroforestières allient les avantages de la séquestration du carbone avec d'autres bénéfices environnementaux comme la protection des sols et de la qualité de l'eau, le maintien de la biodiversité et l'atténuation des effets des changements

L'agroforesterie (suite)

climatiques entre autres. Ces avantages, auxquels s'intègrent ceux de nature économique, culturelle et sociale (par exemple : diversification des revenus agricoles, mise en production de terres marginales, création d'emploi, occupation du territoire, embellissement du paysage, mise en valeur de connaissances traditionnelles...) peuvent être considérés, dans un contexte d'agriculture durable, comme des services fournis à l'échelle de la ferme, de la localité, de la région ou même de la nation.

Des études sont encore nécessaires pour préciser les potentiels de séquestration de carbone des divers systèmes agroforestiers en développement au Québec, afin que les producteurs puissent en tirer profit par le biais d'un programme de crédits d'émission.

Enfin, les systèmes agroforestiers peuvent être considérés comme des avenues intéressantes pour la revitalisation des milieux ruraux en permettant la pratique d'une agriculture multifonctionnelle qui produit autre chose que des denrées alimentaires. Leur développement devrait donc être encouragé par tous les niveaux d'intervenants concernés en commençant par la valorisation des avantages et la réduction des contraintes (reconnaissance institutionnelle, manque d'incitatifs financiers, marchés à développer, manques de connaissances, besoin de coordination entre forêt et agriculture, besoin de formation entre autres). Le portrait de l'agroforesterie du Québec présente plusieurs recommandations en vue de développer cette avenue²¹.

Un exemple de ce type de mise en valeur intégrée du milieu rural existe à Val-d'Espoir en Gaspésie (Centre d'interprétation et de formation agro-écologique (C.I.F.A.) et production végétale biologique).

- Réévaluer les normes d'entreposage des fumiers, les dates limites d'épandage, les choix d'espèces assurables, en considérant les changements du climat, fera partie des stratégies politiques qui permettront aux producteurs de garder une marge de manœuvre pour l'adaptation de leurs pratiques^{9, 15}.
- Des instruments économiques sont à évaluer pour inciter ou obliger les intervenants à réduire les émissions de gaz à effet de serre d'une part et pour encourager les choix des consommateurs pour des produits issus de méthodes qui sont bénéfiques pour le climat d'autre part;
 - o droits, redevances, taxes sur l'environnement (taxes sur les engrais (exemple de l'Italie)¹⁵,

- subventions aux pratiques qui visent la réduction des engrais¹⁵.
- Il y aurait lieu de réviser les modèles qui permettent, en fonction des variables climatiques, de prévoir les épidémies de ravageurs via le Réseau d'avertissement phytosanitaire. Les stratégies d'intervention pourraient aussi être revues et adaptées à un mode climatique plus chaud⁹.
- La gestion de l'eau par bassin versant est en voie d'implantation de manière volontaire sur un ensemble de bassins du Québec. Les changements climatiques imposeront des réalités différentes selon les régions et il est donc tout à fait pertinent d'étendre l'approche de gestion par bassin qui permet la prise en compte des situations locales via un processus de gouvernance participative. Une meilleure utilisation de l'eau et une plus grande attention portée à sa qualité devrait normalement en résulter⁹.
- L'implantation d'éoliennes, dans un contexte de développement de cette filière énergétique renouvelable au Québec, peut constituer un moyen de diversification des sources de revenus des producteurs. Les politiques allant dans ce sens doivent bien sûr être évaluées à l'aune de l'acceptabilité sociale et environnementale autant que pour l'aspect des besoins énergétiques.

10. Conclusion

Les changements climatiques en cours affectent déjà les écosystèmes naturels de la planète de même que l'ensemble des systèmes humanisés comprenant bien sûr les systèmes de production agricole. Les uns et les autres étant d'ailleurs reliés par un ensemble d'interactions, les répercussions des changements climatiques se font sentir sur les activités humaines qui en dépendent.

Les changements climatiques prévus au Québec influenceront la façon de pratiquer l'agriculture dans l'avenir. Les intervenants des secteurs de la production agricole et de l'agroalimentaire sont interpellés pour réduire leur vulnérabilité aux risques et s'adapter aux conditions changeantes, ce que plusieurs font depuis longtemps d'ailleurs. Plusieurs moyens sont déjà à leur disposition ou sont en développement à la faveur de la recherche fondamentale et appliquée. Ces mêmes acteurs sont, par ailleurs, appelés à participer aux efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre, en raison d'une participation à hauteur de 10 % au total des émissions, mais aussi parce que les mesures proposées permettent la plupart du temps une synergie avec des stratégies de mise en œuvre de la durabilité dans ces secteurs et qu'ils peuvent en tirer des avantages aux plans économique et environnemental.

Il a été démontré qu'à l'échelle de la ferme et des regroupements entre producteurs, plusieurs opportunités se présentent en vue d'une diversification des sources de revenus (production de biogaz et d'électricité, crédits d'émissions pour des projets de biogaz et de séquestration de carbone, agroforesterie et synergie entre ces avenues).

Des incertitudes subsistent toutefois en ce qui concerne plusieurs aspects de la mise en œuvre des stratégies de réduction et d'adaptation, notamment au chapitre du calcul des coûts et des bénéfices pour les entreprises. Les zones d'incertitudes et parfois même les contradictions pourront être éclaircies par la recherche dans les domaines concernés alors que les appréhensions des producteurs, des intervenants et de la société en général devront être considérées par le biais de la sensibilisation et par la consultation autour des enjeux.

Il sera donc important que les décideurs tiennent compte de l'ensemble des enjeux et de leurs interrelations afin de mettre en place des politiques cohérentes avec les objectifs de réduction des gaz à effet de serre mais aussi avec la mise en œuvre de la durabilité en agriculture et agroalimentaire. Cela implique nécessairement des solutions qui soient socialement acceptables et qui garantissent l'équité entre les acteurs concernés et surtout la viabilité des entreprises agricoles et des milieux ruraux.

11. Bibliographie

- 1 : Villeneuve, C. et F. Richard. Vivre les changements climatiques. Réagir pour l'avenir. Éditions MultiMondes. *À paraître, septembre 2007.*
- 2 : IPCC. 2007. Working Group 1 : The physical basis of climate change. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- 3 : IPCC, données sur les émissions de GES des pays de l'Annexe 1. Site internet : http://unfccc.int/ghg_emissions_data/items/3954.php (page consultée le 14 août 2007)
- 4 : MDDEP. 2006. Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2003 et évolution depuis 1990. Édition janvier 2006. Site internet : <http://www.menv.gouv.qc.ca/changements/ges/2003/index.htm#emission> (page consultée le 15 août 2007)
- 5 : Rochette, P. Les sources agricoles de gaz à effet de serre (GES) au Canada. Programme d'atténuation des GES. Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec. 4 p.
- 6 : Environnement Canada. Inventaire canadien des gaz à effet de serre pour 2005. Résumé des tendances. Site internet : http://www.ec.gc.ca/pdb/ghg/inventory_report/2005/2005summary_f.cfm (page consultée le 14 août 2007)
- 7 : OCDE. 2002. Pratiques agricoles réduisant les émissions de gaz à effet de serre : tour d'horizon et résultats de l'enquête. Groupe de travail mixte du comité des politiques d'environnement et du comité de l'agriculture. 70 p.
- 8 : Ouranos. 2006. Rapport no. 4. Homogénéisation des séries de température du Québec méridional et analyse de l'évolution du climat à l'aide d'indicateurs. Projet MENV-7. 154 p.
- 9 : Ouranos. *En préparation.* Sensibilités et adaptation du Québec aux changements climatiques – Version préfinale. 110 p.
- 10 : Righelato, R. et D.V. Spracklen. 2007. Carbon mitigation by biofuels or by saving and

restoring forests ?. Science. Vol. 317. 17 août 2007

- 11 : AFP. 2007. Biocarburants ou eau : il faut choisir. Cyberpresse. 16 août 2007. Site internet :
<http://www.cyberpresse.ca/article/20070816/CPMONDE/70816068/6108/CPENVI/RONNEMENT> (page consultée le 16 août 2007)
- 12 : IPCC. 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Summary for Policymakers. 23 p.
- 13 : Bélanger, G. et A. Bertrand. L'agriculture et le climat futur : opportunités et défis. FrancVert. Automne 2005. vol. 2, no. 3. Site internet :
<http://www.francvert.org/pages/23dossierlagricultureetleclimatfutur.asp#> (page consultée le 20 août 2007)
- 14 : Duke, C. 2006. The potential for agricultural greenhouse gas emission reductions in the temperate region of Canada through nutrient management planning. Soil Resource Group, OMAFRA. A BIOCAP Research Integration Program. Synthesis Paper. 54 p.
- 15 : OCDE. 2002. Groupe de travail mixte du Comité des politiques d'environnement et du Comité de l'agriculture. Pratiques agricoles réduisant les émissions de gaz à effet de serre : tour d'horizon et résultats de l'enquête. 70 p.
- 16 : Maxime, D., M. Marcotte, Y. Arcand. Indicateurs de performance environnementale pour les industries des aliments et boissons : cadre de développement. Dans : LE DÉVELOPPEMENT DURABLE: QUELS PROGRÈS, QUELS OUTILS, QUELLE FORMATION? Sous la direction de Claude Villeneuve. 6 COLLECTION ACTES. Les publications de l'IEPF. Chicoutimi, 9 au 11 mai 2005
- 17 : AAC. Communiqué : le nouveau gouvernement du Canada investit près de un million de dollars dans le nouveau secteur des biocarburants au Québec. 21 août 2007. site internet : http://www.agr.gc.ca/cb/index_f.php?s1=n&s2=2007&page=n70821 (page consultée le 22 août 2007)
- 18 : Commission européenne. Direction générale de l'agriculture. 2003. L'agriculture et l'environnement. Site internet :
http://ec.europa.eu/agriculture/publi/fact/envir/2003_fr.pdf (page consultée le 4 septembre 2007)

- 19 : UPA et collaborateurs. 2007. Journée sur la méthanisation des engrais de ferme. 26 janvier 2007. Dans le cadre du Programme d'atténuation des gaz à effet de serre. Compte rendu de la journée. Site internet : http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/PAGES_Rapport%20final-Journ%C3%A9e%20m%C3%A9thanisation.pdf (page consultée le 4 septembre 2007)
- 20 : Crolla, A et al. La digestion anaérobie : biogaz et les impacts environnementaux. Université de Guelph, campus d'Alfred. Site internet : http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/PAGES_M%C3%A9thanisation_Crolla_Anna.pdf (page consultée le 4 septembre 2007)
- 21 : Gouvernement du Canada. 2007. Le portrait de l'agroforesterie au Québec. AAC. CEPAF. 88 p.
- 22 : AAC. Évaluation des changements influant sur les réserves de carbone dans le sol. Site internet : http://www.agr.gc.ca/nlwis-snite/index_f.cfm?s1=pub&s2=ha_sa&page=24 (page consultée le 5 septembre 2007)
- 23 : Union des cultivateurs franco-ontariens. 2003. Puits de carbone agricoles – ce que les experts en pensent. Site internet : <http://www.lavoieagricole.ca/content/fullnews.cfm?newsid=2394> (page consultée le 5 septembre 2007)
- 24 : Conseil canadien du porc. 2006. Les crédits de carbone et l'état actuel du système canadien de compensation des GES. Bulletin sur les crédits de carbone – Juillet 2006. 4 p.