



# STRATEGIES DE REDUCTION DES GAZ A EFFET DE SERRE POUR LE SECTEUR DE LA PRODUCTION LAITIÈRE AU QUÉBEC

---

## GUIDE D'INFORMATION ET D'ACCOMPAGNEMENT DU CALCULATEUR DE GAZ A EFFET DE SERRE EN SECTEUR LAITIÈRE

Réalisé dans le cadre du projet *Outil d'aide à la décision : exploitation laitière et GES*

Septembre 2011





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

David Arseneau, Charles Bachand, Chaouki Benchaar, Robert Berthiaume, Martin Chantigny, Raymond L. Desjardins, Alain Fournier, Stéphane Godbout, Martine Labonté, Daniel Lefebvre, Daniel Massé, Philippe Rochette, Gaétan Tremblay, Marc Trudelle.

Ce projet a été réalisé dans le cadre du programme *Prime-Vert*, sous-volet 8.4, avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

**Nature Québec, La Coop fédérée, Fédération des producteurs de porcs du Québec, 2011 (septembre).**  
***Stratégies de réduction des gaz à effet de serre pour le secteur de la production laitière au Québec.*** Guide d'information et d'accompagnement du calculateur de gaz à effet de serre en secteur laitier. Réalisé dans le cadre du projet *Outil d'aide à la décision : exploitation laitière et GES*. 42 pages.

**Rédaction**

Jeanne Camirand

**Révision linguistique et graphisme**

Marie-Claude Chagnon

**Crédits photographiques (page couverture)**

© Linda Yolanda, istockphoto

© Guillaume Guitard

© Robert Kolhuber, istockphoto

ISBN 978-2-923731-35-3 (document imprimé)

ISBN 978-2-923731-36-0 (document PDF)

© Nature Québec, 2011

870, avenue De Salaberry, bureau 207, Québec (Québec) G1R 2T9

## Table des matières

### Introduction..... I

### I | Que sont les changements climatiques ?.....2

### 2 | Que sont les gaz à effet de serre ? .....3

- 2.1 | Les gaz à effet de serre d'origine agricole..... 4
- 2.2 | Bilan des émissions de GES d'origine agricole dans le monde..... 8
- 2.3 | Émissions de GES d'origine agricole au Canada ..... 9
- 2.4 | Émissions de GES d'origine agricole au Québec..... 9

### 3 | Émissions de GES en production laitière québécoise .....10

- 3.1 | La fermentation entérique, source de  $\text{CH}_4$ ..... 11
- 3.2 | L'entreposage des fumiers, source de  $\text{N}_2\text{O}$  et de  $\text{CH}_4$  ..... 12
- 3.3 | Les sols et l'épandage d'azote, sources de  $\text{N}_2\text{O}$  ..... 12

### 4 | Scénario 1 : augmenter la production de lait .....13

- 4.1 | Comment cela réduit-il les GES de mon entreprise ?..... 13
- 4.2 | Stratégie 1 : augmenter la qualité des fourrages ..... 14
- 4.3 | Stratégie 2 : ajouter des concentrés à la ration..... 15
- 4.4 | Réflexion ..... 16

### 5 | Scénario 2 : modifier le régime alimentaire ..... 17

- 5.1 | Comment cela réduit-il les GES de mon entreprise ?..... 17
- 5.2 | Stratégie 1 : augmenter la qualité des fourrages..... 18
- 5.3 | Stratégie 2 : ajouter des concentrés à la ration ..... 19
- 5.4 | Stratégie 3 : ajouter des gras à la ration .....20
- 5.5 | Réduction des pertes d'azote par une alimentation plus précise.....21
- 5.6 | Stratégies expérimentales.....23
- 5.7 | Réflexion .....23

### 6 | Scénario 3 : maximiser la durée de vie productive .....24

- 6.1 | Comment cela réduit-il les GES de mon entreprise ?.....24
- 6.2 | Stratégie 1 : diminuer le nombre d'animaux de remplacement .....24
- 6.3 | Stratégie 2 : contrôler les vêlages et les lactations.....25
- 6.4 | Stratégie 3 : diminuer le taux de réforme .....25

### 7 | Scénario 4 : augmenter l'usage des pâturages .....26

- 7.1 | Comment cela réduit-il les GES de mon entreprise ?.....26
- 7.2 | Stratégie : améliorer la qualité du pâturage....26
- 7.3 | Réflexion .....27

**8 | Scénario 5 : modifier la gestion des fumiers .....29**

- 8.1 | Comment cela réduit-il les GES  
de mon entreprise ? ..... 29
- 8.2 | Stratégie 1 : réduire la durée d'entreposage .. 29
- 8.3 | Stratégie 2 : vider la fosse suffisamment ..... 30
- 8.4 | Réflexion ..... 30

**9 | Scénario 6 : installer une couverture de  
fosse et brûler le méthane .....31**

- 9.1 | Comment cela réduit-il les GES  
de mon entreprise ? ..... 31
- 9.1 | Stratégie 1 : installer une couverture  
de fosse ..... 32
- 9.2 | Stratégie 2 : brûler le méthane ..... 33
- 9.3 | Réflexion ..... 34

**10 | Scénario 7 : installer un équipement de  
séparation mécanique des lisiers.....35**

- 10.1 | Comment cela réduit-il les GES  
de mon entreprise ? ..... 35
- 10.2 | Stratégie 1 : utiliser le séparateur-décanteur  
centrifuge..... 36
- 10.3 | Stratégie 2 : utiliser la collecte sélective ..... 36
- 10.4 | Réflexion ..... 37
- 10.5 | Avantages environnementaux et sociaux..... 37

**11 | Scénario 8 : modifier le mode d'épandage.....38**

- 11.1 | Comment cela réduit-il les GES  
de mon entreprise ? ..... 38
- 11.2 | Stratégie : incorporer les matières au sol ..... 38
- 11.3 | Réflexion ..... 39

**Conclusion .....40**

**Références .....41**

**Liste des tableaux**

- Tableau 1 — Émissions de GES au Canada et au Québec  
en 1990 et 2007 ..... 2
- Tableau 2 — Coût des toitures de fosses selon leurs  
caractéristiques ..... 32

**Liste des figures**

- Figure 1 — Cycle du carbone..... 5
- Figure 2 — Cycle de l'azote ..... 6
- Figure 3 — Cycle du méthane en milieu agricole..... 7
- Figure 4 — Part des émissions agricoles mondiales de  
GES autres que le CO<sub>2</sub> en 2005 ..... 8

# INTRODUCTION

Le secteur agricole peut participer activement à la lutte aux changements climatiques. En effet, bien que ce secteur émette des gaz à effet de serre (GES), il offre aussi un potentiel de réduction de ses émissions par l'adoption de certaines pratiques.

Le secteur laitier étant d'une importance majeure au Québec, son implication dans la lutte aux changements climatiques est fondamentale. Ce guide présente donc des stratégies de réduction des émissions de GES pour le secteur laitier spécifiquement. Le guide est divisé en 9 sections : une introduction aux changements climatiques, ainsi qu'aux GES en agriculture et pour le secteur laitier, suivie de 8 scénarios de réduction des GES spécifiques au secteur laitier. Ces scénarios font référence à des changements ou à des technologies pouvant être adoptés en entreprise laitière et engendrant une réduction du bilan des émissions de GES.

Basé sur des études scientifiques récentes, ce guide se veut un outil d'accompagnement du calculateur de GES et une aide à la prise de décision vers l'adoption de pratiques agricoles ayant le potentiel de réduire les GES de l'agriculture québécoise. Les scénarios présentés ici sont les mêmes que ceux retrouvés dans le calculateur, mais l'introduction aux changements climatiques est plus complète.



**En espérant que ce guide vous accompagne dans votre réflexion vers l'adoption de pratiques de réduction des émissions de GES du secteur laitier !**

# 1 | QUE SONT LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ?

Les changements climatiques sont causés par 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, 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 (Nature Québec, 2009).

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007), le réchauffement climatique est réel et l'activité humaine en est responsable. L'augmentation des températures moyennes doit être limitée à 2 °C, sans quoi le climat risque de s'emballer. Malgré cet avertissement, et bien que les changements climatiques soient déjà perceptibles, les émissions de GES des pays développés augmentent continuellement, année après année (tableau I).



**Le CO<sub>2</sub>e, c'est-à-dire CO<sub>2</sub> équivalent, est une mesure de la puissance des gaz à effet de serre qui permet de les ramener à une même unité de référence, selon leur potentiel de réchauffement global, par rapport au gaz de référence, le CO<sub>2</sub>. Les unités Mt de CO<sub>2</sub>e correspondent à des millions de tonnes (annexe I)**

**Tableau I —  
Émissions de GES aux États-Unis, au Canada et au Québec en 1990 et 2009**

ÉMISSIONS DE GES	ÉTATS-UNIS	CANADA	QUÉBEC
1990 (Mt CO <sub>2</sub> e)	5 320	590	83,67
2009 (Mt CO <sub>2</sub> e)	5618	690	82,7 <sup>1</sup>
Variation depuis 1990 (%)	+ 5,6	+ 16,9	- 1,2

*1 – Émissions de 2008 U.S.EPA, 2011; Environnement Canada, 2011; MDDEP, 2010.*



## 2 | 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).

La concentration des GES dans l'atmosphère a été presque constante pendant des milliers d'années. 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 (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O). La concentration de ces trois gaz a considérablement augmenté depuis l'ère industrielle, soit de 30 % pour le CO<sub>2</sub>, de 150 % pour le CH<sub>4</sub> et de 16 % pour le N<sub>2</sub>O (MDDEP, 2008).

Ainsi, en 1997, dans le cadre de la Convention-cadre des Nations-Unies, le protocole de Kyoto a réuni 172 pays afin de définir des engagements quantitatifs, juridiquement contraignants, pour limiter le réchauffement climatique (Futura-environnement, non daté). Signé en mars 2008 (sauf par les États-Unis), il est entré en vigueur en février 2005 et a pour objectif clair de réduire de 5,5 % les émissions mondiales de GES sur la période 2008-2012 par rapport au niveau de 1990 (Futura-environnement, non daté). Pour atteindre cet objectif, les états signataires peuvent utiliser des mécanismes dits de flexibilité, en complément de politiques et de mesures à mettre en place au niveau national. Tous les secteurs sont concernés par la réduction de GES.

En 2009, le sommet de Copenhague a de nouveau réuni de nombreux états (193) afin de définir un nouveau protocole pour l'après-Kyoto, qui serait appliqué pour la période 2013-2017 (ZeroCO<sub>2</sub>, non daté). Sur fond de crise économique mondiale, les négociations ont été difficiles et ce sommet n'a donc pas abouti à un consensus sur un accord contraignant. Seul un accord de principe concernant l'objectif de limiter à 2 °C le réchauffement climatique, et des déclarations d'intention, en ont découlé.

En 2009, le Québec s'est doté de nouveaux objectifs visant une réduction de 20 % des émissions de GES pour 2020, sur la base des émissions de 1990 (MDDEP, 2009). Cette cible sera variable selon les secteurs d'activités économiques.

## 2.1 | LES GAZ A EFFET DE SERRE D'ORIGINE AGRICOLE

Le secteur agricole émet trois principaux GES : le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et le méthane ( $\text{CH}_4$ ). Le secteur agricole est le principal responsable des émissions de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) sur la planète. Le secteur agricole émet des GES, mais il possède aussi la capacité de capter du carbone atmosphérique. Chaque geste permettant de réduire les émissions et d'accumuler du carbone est important et doit être considéré.

Avant de discuter des émissions de GES d'origine agricole au Canada et au Québec, voyons plus en détail les cycles des trois principaux GES.

- Dioxyde de carbone
- Protoxyde d'azote
- Méthane



**Comprendre comment les GES d'origine agricole sont émis constitue une première étape dans la recherche de solutions.**



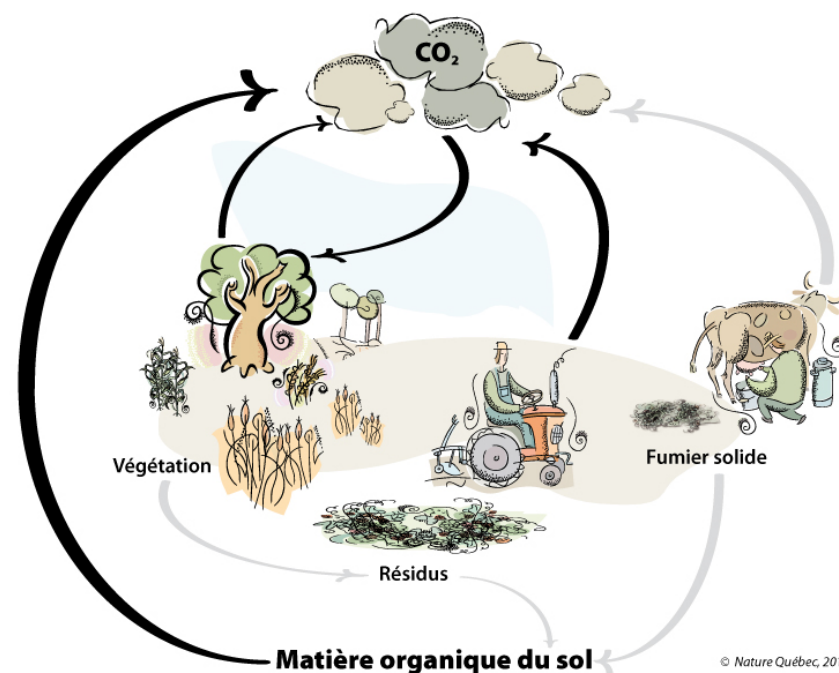
## 2.1.1 | CYCLES DES TROIS PRINCIPAUX GES D'ORIGINE AGRICOLE

### *Dioxyde de carbone*

Le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) 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 (figure I). La transformation du carbone en  $\text{CO}_2$  se fait très rapidement dans le cas de la combustion des énergies fossiles. À l'inverse, l'accumulation de carbone sous forme de gisements de combustibles fossiles, à partir de matière organique créée par la photosynthèse, s'étale sur des millions d'années. Ainsi, brûler des ressources de combustibles fossiles est rapide, mais les recréer sur une échelle de temps perceptible par l'être humain est pratiquement impossible.

Les principales sources agricoles de  $\text{CO}_2$  sont l'utilisation des combustibles fossiles, la respiration des plantes et des animaux, et la décomposition de la matière organique du sol par les micro-organismes.

**Figure I —  
Cycle du carbone en milieu agricole**



© Nature Québec, 2011

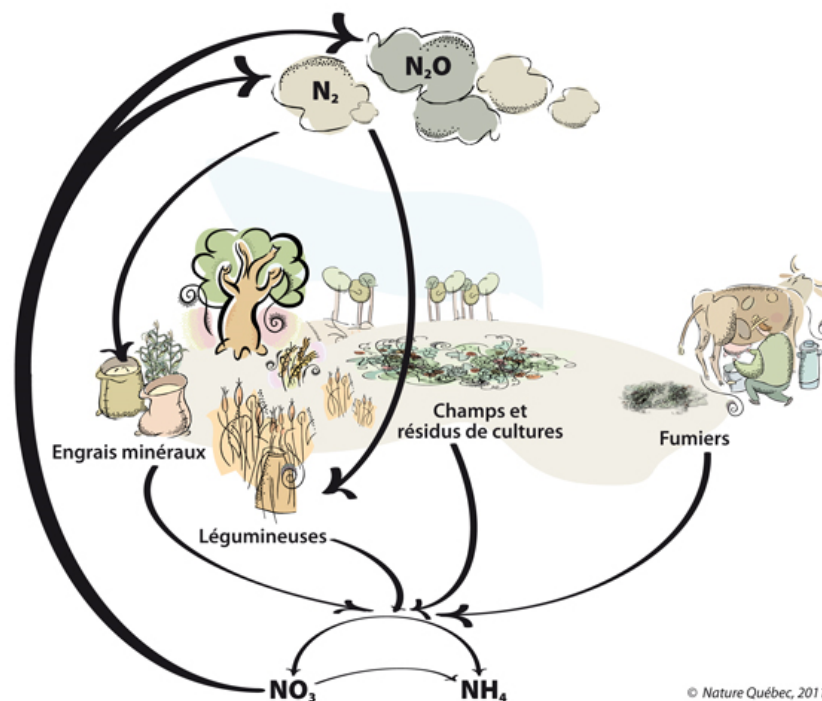
### Protoxyde d'azote

Le  $N_2O$  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 sa forme gazeuse, le  $N_2$  (cette molécule n'étant pas un GES).

6

Les micro-organismes réalisant la nitrification et la dénitrification de l'azote dans les sols et les fumiers sont responsables des émissions de  $N_2O$  en milieu agricole (figure 2). Ces émissions sont alors stimulées par l'épandage d'engrais minéraux azotés et d'engrais organiques, et par l'excès d'azote minéral provenant des engrais organiques et de synthèse dans un milieu faible en oxygène, tel que les sols compacts et mal drainés.

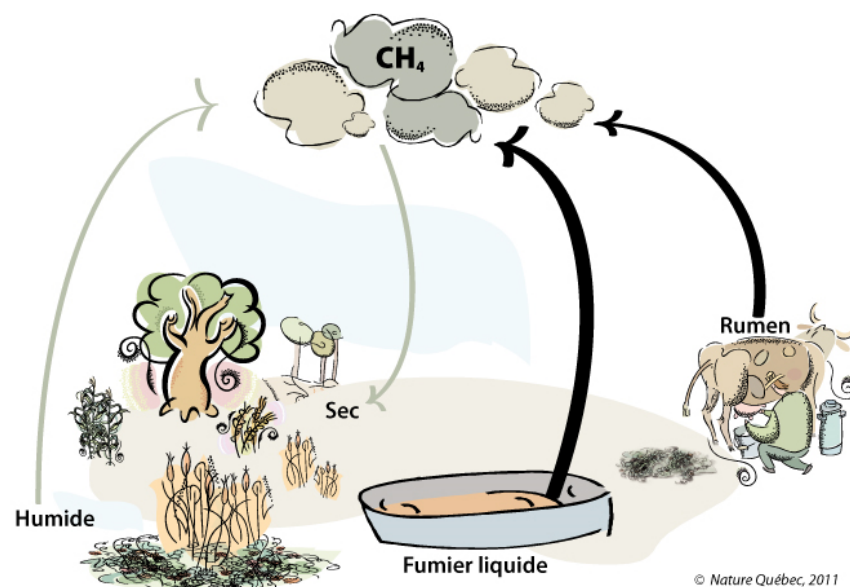
**Figure 2 —  
Cycle de l'azote en milieu agricole**



### Méthane

Le secteur agricole est l'un des principaux responsables des émissions de  $\text{CH}_4$  sur la planète. Ce  $\text{CH}_4$  provient de la dégradation de la matière végétale par des bactéries méthanogènes, dans un milieu pauvre en oxygène (figure 3). Les sources majeures d'émissions de  $\text{CH}_4$  en milieu agricole sont les fumiers gérés de façon liquide, la digestion des ruminants, ainsi que les sols humides, compacts et mal drainés, propices à l'émission de  $\text{CH}_4$ . Le méthane de la fermentation entérique correspond à 39 % des émissions du secteur agricole et à 3 % de toutes les émissions du Québec (MDDEP, 2010).

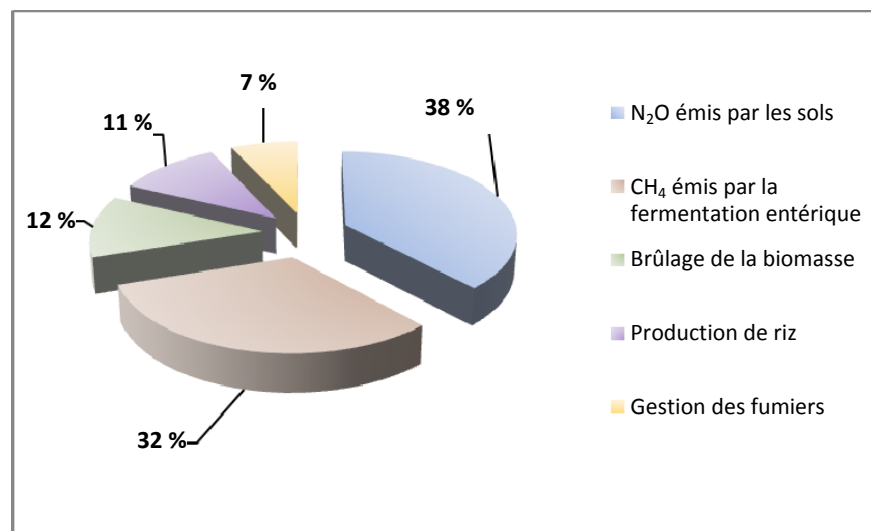
**Figure 3 —  
Cycle du méthane en milieu agricole**



## 2.2 | BILAN DES EMISSIONS DE GES D'ORIGINE AGRICOLE DANS LE MONDE

Au niveau mondial, les émissions agricoles de GES sont estimées entre 5 120 et 6 116 Mt CO<sub>2</sub>e/an, soit une contribution de 10 à 12 % des émissions anthropiques totales de GES (Smith *et al.*, 2007). Ainsi, l'agriculture contribue pour 47 % et 58 % des émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O respectivement (Smith *et al.*, 2007). Globalement, ces émissions ont augmenté de 17 % de 1990 à 2005, soit une augmentation moyenne annuelle de 58 Mt CO<sub>2</sub>e/an, les deux gaz ayant augmenté dans les mêmes proportions. Les activités responsables de 88 % de cette augmentation sont le brûlage de la biomasse (N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub>), la fermentation entérique (CH<sub>4</sub>) et les émissions des sols (N<sub>2</sub>O). En 2005, le total des émissions agricoles de ces deux GES se répartit de la manière illustrée par la figure 4.

**Figure 4 —  
Part des émissions agricoles mondiales de GES  
autres que le CO<sub>2</sub> en 2005**



*Adapté de Smith et al., 2007.*

## 2.3 | ÉMISSIONS DE GES D'ORIGINE AGRICOLE AU CANADA

Depuis 1990, le secteur agricole canadien a connu une importante expansion des industries du bétail (bœuf, porc et volaille), ainsi qu'une augmentation de l'application des engrais azotés de synthèse dans les Prairies.

Ces deux facteurs ont augmenté les émissions de GES de 11,2 Mt CO<sub>2</sub>e entre 1990 et 2007. Cette augmentation de 23,1 % du secteur agricole contribue pour 7,2 % à l'augmentation des émissions nationales de GES (Environnement Canada, 2009).

## 2.4 | ÉMISSIONS DE GES D'ORIGINE AGRICOLE AU QUÉBEC

En 2008, l'agriculture au Québec émettait 6,4 Mt CO<sub>2</sub>e, soit 7,7 % des émissions totales de GES du Québec (MDDEP, 2010). Selon l'inventaire québécois des émissions de GES des deux dernières années, on observe une réduction apparente de la proportion des émissions de GES d'origine agricole. Toutefois, il s'agit d'une proportion relative à l'ensemble des émissions de GES du Québec. Cette diminution est trompeuse, car elle est causée par l'importante augmentation des émissions provenant du secteur du transport. En réalité, l'analyse des valeurs absolues des émissions de GES d'origine agricole au Québec montre que ces émissions ont augmenté depuis 2003. Ainsi, de 1990 à 2008, au Québec, l'augmentation des émissions de GES d'origine agricole a été de 9,1 %.

Enfin, l'inventaire québécois des émissions de GES considère trois sources d'émissions d'origine agricole : la fermentation entérique, la gestion du fumier et la gestion des sols agricoles. Il ne considère donc pas les combustibles utilisés en agriculture, tant pour les bâtiments que pour la machinerie de la ferme. De plus, depuis 2003, il ne considère plus le changement d'affectation des terres pouvant survenir dans ce secteur (MDDEP, 2009).

### 3 | ÉMISSIONS DE GES EN PRODUCTION LAITIÈRE QUÉBÉCOISE

La production animale contribue largement aux émissions de GES de l'agriculture. En effet, 32 % des émissions de GES de l'agriculture est causée par l'élevage d'animaux domestiques (Kebreab *et al.*, 2006 ; Environnement Canada, 2009 ; MDDEP, 2009). Sur la planète, le méthane ( $\text{CH}_4$ ) des activités humaines est responsable de 20 % du réchauffement climatique, une grande partie provenant directement des animaux, par le biais de la fermentation entérique des ruminants et la gestion des fumiers (Lassey, 2007).

Selon l'inventaire québécois, en 2008, l'agriculture québécoise a émis au total 6,38 Mt  $\text{CO}_2\text{e}$ , dont 2,49 Mt (39 %) était produits par la fermentation entérique des ruminants (MDDEP, 2010).

Pour la même année, au Québec, la gestion des fumiers a engendré près de 1 Mt  $\text{CO}_2\text{e}$  (0,95 %) (MDDEP, 2010). Cela signifie que 15 % des GES émis par le secteur agricole proviennent de la gestion des fumiers.

Pour 2020, le Québec s'est engagé à réduire ses émissions de 20 % sous le niveau de 1990. Les efforts pour y parvenir doivent dès maintenant être déployés, car bien que les émissions totales de 2008 soit légèrement inférieures à celles de 1990 (82,69 Mt  $\text{CO}_2\text{e}$  en 2008 et 83,67 Mt  $\text{CO}_2\text{e}$  en 1990), ce n'est pas le cas pour le secteur agricole, lequel est encore loin des objectifs visés.



**Dans ces conditions, le secteur agricole, le secteur laitier notamment, a le potentiel de réduire ses émissions de GES, ce par l'adoption de diverses stratégies.**



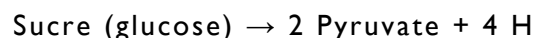
### 3.1 | LA FERMENTATION ENTERIQUE, SOURCE DE CH<sub>4</sub>

Les ruminants ingèrent des fourrages riches en cellulose et en hémicellulose, des glucides complexes que les monogastriques ne peuvent digérer. Les aliments donnés aux bovins laitiers contiennent entre 70 et 75 % de glucides qu'ils doivent dégrader et assimiler pour en retirer l'énergie. C'est la flore microbienne de leur rumen qui leur permet de valoriser ces aliments. Ces micro-organismes sécrètent des enzymes qui dégradent la matière végétale et libèrent des glucides simples (Chouinard, 2002). Ces glucides sont utilisés à nouveau par les micro-organismes, qui les fermentent et relâchent des acides gras volatils (AGV), des gaz (CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>) et de l'eau (Chouinard, 2002). De ces réactions provient le CH<sub>4</sub> qu'on associe à tort aux flatulences de vaches, alors qu'il est évacué à 99 % par la bouche et les narines après avoir circulé dans le sang jusqu'aux poumons (AAC, 2008a).

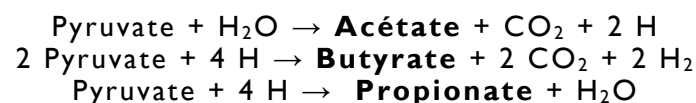
Les trois principaux AGV produits par les micro-organismes sont :

- l'acétate (65 %) ;
- le propionate (20 %) ;
- le butyrate (10 %).

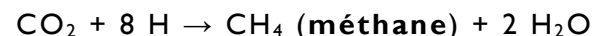
Tout d'abord, le sucre est digéré et transformé en pyruvate.



Ce sont ces molécules de pyruvate qui subissent la fermentation par les bactéries du rumen, dans des conditions anaérobiques (en absence d'oxygène). Selon les micro-organismes impliqués, le pyruvate produira les 3 différents AGV :



Les molécules à droite des réactions chimiques décrites ci-dessus s'associeront pour produire du CH<sub>4</sub> :



La réaction chimique qui donne du propionate ne produit pas d'ions H, elle en capte. De ce fait, elle ne contribue pas à former du CH<sub>4</sub>, contrairement à la réaction chimique menant au butyrate et à l'acétate. Certaines stratégies alimentaires favorisent la voie menant à la production du propionate, au détriment de l'acétate et du butyrate.

L'animal assimile ces AGV par le sang. Les pertes de CO<sub>2</sub> n'équivalent pas à des pertes d'énergie, tandis que les pertes de CH<sub>4</sub> le sont. Un kilogramme de méthane contient 55,65 mégajoules. Les pertes sous forme de CH<sub>4</sub> représentent en général 10 % de l'énergie digestible ingérée. Chaque molécule de carbone perdue sous forme de CH<sub>4</sub> en est une qui aurait pu être assimilée pour produire plus de lait ou de viande !



**Réduire les émissions de CH<sub>4</sub> signifie obtenir une meilleure efficacité alimentaire, soit un meilleur gain par aliment.**

### 3.2 | L'ENTREPOSAGE DES FUMIERS, SOURCE DE N<sub>2</sub>O ET DE CH<sub>4</sub>

Le CH<sub>4</sub> est le principal gaz émis par le fumier géré de façon liquide. La quantité émise dépend du volume de lisier entreposé, du type d'animal, de son alimentation, du type de litière, de la température et de la durée de l'entreposage (IPCC, 2006).

Au bâtiment et à l'entreposage, des émissions directes de N<sub>2</sub>O ont aussi lieu. En effet, s'il y a de l'oxygène, l'azote contenu dans les déjections subira la nitrification, c'est-à-dire l'oxydation de l'ammoniac en nitrates. Par la suite, la dénitrification causera la transformation des nitrates en N<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>O. De là des pertes sous forme de N<sub>2</sub>O, un GES très puissant (IPCC, 2006).

12

De plus, les pertes d'azote par volatilisation, lessivage et ruissellement engendreront des émissions indirectes de N<sub>2</sub>O. Durant la manutention, l'entreposage ou le traitement des déjections, une partie de l'azote sera volatilisé. Ces pertes, bien qu'elles ne se fassent pas sous forme de N<sub>2</sub>O, pourront éventuellement subir des transformations et être converties en ce GES puissant. Cela peut se produire à l'extérieur du système agricole évalué, mais les émissions en résultant y seront tout de même attribuées.

### 3.3 | LES SOLS ET L'EPANDAGE DE FUMIERS, SOURCES DE N<sub>2</sub>O

Les déjections animales contiennent de l'azote, lequel est sujet à des pertes. Lors de l'épandage, l'azote présent dans le fumier a plusieurs occasions de s'échapper du système, soit par volatilisation ou par ruissellement et lessivage. L'azote se volatilise sous forme d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et d'oxydes (NO<sub>x</sub>) et se dépose dans les sols sous forme de NH<sub>4</sub> et NO<sub>3</sub>. Ces deux formes sont sujettes à la production de N<sub>2</sub>O.

Plus le lisier est en contact avec l'air, plus il y a de risques de volatilisation de l'azote. Par exemple, un lisier laissé à la surface du sol (non enfoui) perd en moyenne 50 % de son azote ammoniacal dans les 4 heures suivant l'épandage. L'azote ammoniacal équivaut à environ 70 % de l'azote total du lisier de bovin laitier (CRAAQ, 2010). Ainsi, les pertes d'azote total par volatilisation d'un lisier non incorporé peuvent équivaloir à autant que 30 % de l'azote total.

De plus, même si ce n'est pas un GES, l'ammoniac provenant des lisiers est un gaz non-négligeable. Il contribue au smog, acidifie l'environnement, nuit à de nombreuses espèces et détruit les structures construites par l'homme (Rochette, 2008).

Dans certains cas, les pertes en azote des fumiers sont compensées par l'ajout d'engrais chimiques, une industrie qui engendre 3,7 kg CO<sub>2</sub>e par kg N fabriqué et transporté (SCCC, 2001), en plus des émissions directes et indirectes de N<sub>2</sub>O dues à l'épandage de ces engrais. La valeur de la perte d'azote du lisier de porcs par volatilisation correspond chaque année au Québec à une perte d'environ 10 millions de dollars (PAGES, non daté-a). Il est donc avantageux d'optimiser l'épandage afin de conserver le plus d'azote possible.

## 4 | SCÉNARIO 1 : AUGMENTER LA PRODUCTION DE LAIT

### 4.1 | COMMENT CELA REDUIT-IL LES GES DE MON ENTREPRISE ?

Augmenter la production de lait par unité animale peut diminuer l'intensité des émissions de gaz à effet de serre (GES) des fermes laitières. C'est-à-dire que les émissions totales n'augmenteront pas, alors que la production de lait augmentera : les kilogrammes de CO<sub>2</sub>e émis par kilogramme de lait diminueront donc.

Deux stratégies permettent d'atteindre cet objectif :

- 1 | Augmenter la qualité des fourrages.
- 2 | Ajouter des concentrés à la ration.



## 4.2 | STRATEGIE 1 : AUGMENTER LA QUALITE DES FOURRAGES

La qualité des fourrages donnés aux animaux influence à la fois la production de lait et le méthane produit par la fermentation entérique. Améliorer la qualité des fourrages est une méthode simple de réduction du  $\text{CH}_4$  provenant de la fermentation entérique, sans augmentation des autres sources de GES à la ferme. En sélectionnant des espèces végétales digestibles, adaptées au climat et répondant aux besoins alimentaires des animaux, et en les récoltant au bon stade de croissance, il est possible d'améliorer la qualité de l'alimentation.

La qualité des fourrages dépend de plusieurs facteurs : digestibilité, concentration des fibres ADF et NDF, énergie disponible, matières grasses, protéines, etc. Les fibres ADF (« acid detergent fiber » ou fibre au détergent acide) comprennent la cellulose et la lignine. Les fibres NDF (« neutral detergent fiber » ou fibre au détergent neutre) comprennent non seulement la fraction ADF, mais aussi l'hémicellulose.

Plus les aliments sont digestibles, plus l'animal va en ingérer. La prise alimentaire est directement liée au  $\text{CH}_4$  : plus d'aliments signifient plus de fermentation. Cependant, si ces deux paramètres (digestibilité et prise alimentaire) sont améliorés, le rendement de la production (lait ou viande) pourra augmenter. Par conséquent, la quantité de  $\text{CH}_4$  par quantité ou kg de produit diminue par rapport à une situation où l'on ne donnerait pas un fourrage de bonne qualité aux vaches.

Il existe des documents pertinents et complets sur le sujet, permettant de connaître les pratiques agronomiques qui mènent à un fourrage de qualité. Si l'amélioration de la qualité des fourrages constitue un enjeu important pour l'entreprise agricole, il est intéressant de consulter le document *Les plantes fourragères* (CRAAQ, 2005).



**En plus de réduire les GES, cette pratique pourrait s'avérer bénéfique en regard de la productivité de l'entreprise, et en regard du portefeuille du producteur.**

### 4.3 | STRATEGIE 2 : AJOUTER DES CONCENTRES A LA RATION

Augmenter la proportion de concentrés dans la ration donnée aux vaches laitières peut réduire les émissions de méthane entérique.

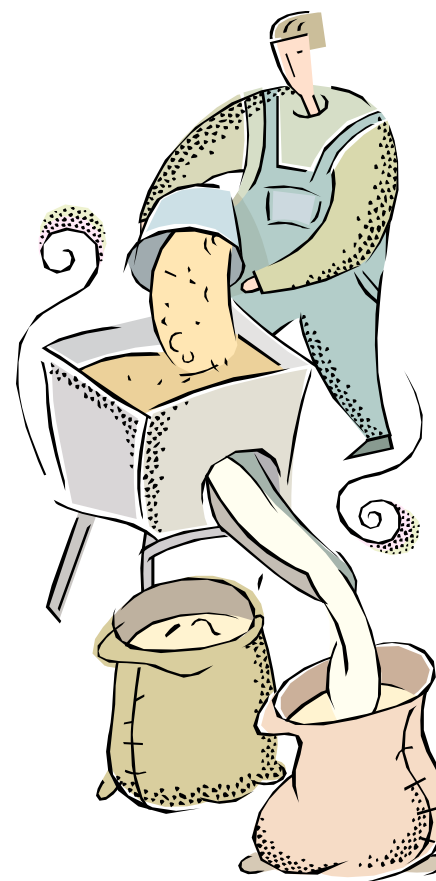
Les aliments concentrés et les grains riches en amidon ont fait l'objet de plusieurs études. En général, elles concluent que, chez l'animal, l'ajout d'aliments concentrés riches en amidon (maïs, orge) permet de réduire la production de  $\text{CH}_4$  dans le rumen. Les rations riches en amidon sont plus facilement digérées dans le rumen, la concentration totale de fibres NDF y étant plus faible.

La digestion de ces concentrés résulte en une diminution de la proportion d'acétate et en une augmentation du propionate dans le liquide ruminal, ce qui engendre une réduction de la production de  $\text{CH}_4$  dans le rumen (Beauchemin *et al.*, 2008a ; Chouinard, 2002). De plus, l'amidon, étant plus facile à digérer que les fibres de celluloses et passant alors plus rapidement dans le rumen, subit moins de fermentation. En conséquence, le  $\text{CH}_4$  émis diminue.

Notons qu'en production laitière, contrairement à la production de viande, la teneur en matière grasse du lait est négativement affectée si les concentrés représentent plus de la moitié de la ration (Beauchemin *et al.*, 2008a).

Selon le présent protocole, pour les vaches laitières, le facteur de conversion en  $\text{CH}_4$  (coefficient  $Y_m$  ou « yield methane », c'est-à-dire production de méthane) est par défaut de 6,5 %. Il peut varier de 6 à 7,5 %, selon les aliments donnés aux animaux.

Il est à noter que la production de céréales, comme le maïs ou l'orge, génère des émissions de GES ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) qui peuvent annuler les réductions attendues de méthane entérique ( $\text{CH}_4$ ). Il serait judicieux de produire un bilan global des émissions avant d'apporter des changements dans les pratiques liées à l'alimentation.



## 4.4 | REFLEXION

Avant toute modification à la gestion des cultures ou à l'importation d'aliments, la stratégie à adopter doit faire l'objet d'une analyse. En effet, les aliments priorisés ont aussi des effets indirects sur les GES produits à la ferme. Ainsi, avant de choisir d'ajouter des concentrés à la ration des ruminants, il est nécessaire de considérer plusieurs éléments, dont les risques pour la santé de l'animal (acidose) et l'impact de la production de ces concentrés sur le bilan global de GES de la ferme.

Pour comprendre l'impact complet des activités de l'entreprise et développer une vision globale des émissions des GES à la ferme, il faut tenir compte de la production des aliments (superficies nécessaire, engrais, machinerie, transformation...). Cette production peut signifier une augmentation de l'utilisation de combustibles fossiles et d'intrants, tels les pesticides et les engrais. L'ajout de concentrés, tels les céréales, peut aussi augmenter le bilan global de GES émis à la ferme (Beauchemin *et al.*, 2008a; Boadi *et al.*, 2004).

Heureusement, il est possible de produire des grains en minimisant les impacts négatifs sur l'atmosphère. Une ferme produisant des grains de manière à conserver une empreinte environnementale minimale (grains adaptés au climat, peu d'intrants chimiques, culture sur billons ou diminution des passages de machinerie) peut réduire son bilan total de GES. Lorsqu'un producteur décide d'apporter une modification en vue de réduire les GES de son entreprise, l'analyse du cycle de vie doit être réalisée afin de vérifier si la modification a bien des effets positifs.



**Cette vision globale ne sera pas révélée par le calculateur, lequel se concentre sur le bilan de la ferme. Seule une analyse globale peut contribuer à prendre des décisions plus éclairées.**



### Exemple

Pour bien comprendre ce qu'apporte ce gain de productivité au niveau des GES, prenons l'exemple des fermes laitières du Québec. Entre 1980 et 2009, la production moyenne de lait est passée de 4 010 à 7 775 litres de lait par vache. Cela a permis une réduction du cheptel québécois de 700 000 à 366 000 têtes pour la même période (Labonté, 2010). Donc, pour une production équivalente de lait, le Québec élève près de la moitié moins de vaches. Par conséquent, les GES provenant de la fermentation entérique et de la gestion des fumiers ont été réduits.



## 5 | SCÉNARIO 2 : MODIFIER LE RÉGIME ALIMENTAIRE

### 5.1 | COMMENT CELA REDUIT-IL LES GES DE MON ENTREPRISE ?

Certaines modifications au régime alimentaire des bovins peuvent contribuer à la réduction du méthane de la fermentation entérique et du  $N_2O$  issu de l'excrétion d'azote en trop dans la ration. La production de méthane dépend de la digestion des fibres contenues dans les aliments. Cette digestion peut être influencée par la ration donnée.

Trois stratégies relatives au  $CH_4$  sont présentées dans le cadre de ce scénario.

- 1 | Le producteur agricole peut viser une augmentation de la qualité des aliments de façon à ce que moins d'aliments soient nécessaires pour parvenir à la même production de lait.
- 2 | Des aliments concentrés, facilement digestibles, peuvent aussi fournir une part de l'énergie nécessaire à l'animal.
- 3 | Ajouter des matières grasses à l'alimentation des animaux constitue aussi un moyen de réduire le méthane de la fermentation entérique.

Ensuite, ce scénario présente une quatrième stratégie, permettant de réduire les émissions de  $N_2O$ .

- 4 | Fournir une alimentation plus précise ayant pour but de limiter l'excrétion d'azote en excès dans le fumier.



**Cette stratégie est la même que celle présentée en 4.2**

## 5.2 | STRATEGIE 1 : AUGMENTER LA QUALITE DES FOURRAGES

La qualité des fourrages donnés aux animaux influence à la fois la production de lait et le méthane produit par la fermentation entérique. Améliorer la qualité des fourrages est une méthode simple de réduction du  $\text{CH}_4$  provenant de la fermentation entérique, sans augmentation des autres sources de GES à la ferme. En sélectionnant des espèces végétales digestibles, adaptées au climat et répondant aux besoins alimentaires des animaux, et en les récoltant au bon stade de croissance, il est possible d'améliorer la qualité de l'alimentation.

La qualité des fourrages dépend de plusieurs facteurs : digestibilité, concentration des fibres ADF et NDF, énergie disponible, matières grasses, protéines, etc. Les fibres ADF (« acid detergent fiber » ou fibre au détergent acide) comprennent la cellulose et la lignine. Les fibres NDF (« neutral detergent fiber » ou fibre au détergent neutre) comprennent non seulement la fraction ADF, mais aussi l'hémicellulose.

Plus les aliments sont digestibles, plus l'animal va en ingérer. La prise alimentaire est directement liée au  $\text{CH}_4$  : plus d'aliments signifient plus de fermentation. Cependant, si ces deux paramètres (digestibilité et prise alimentaire) sont améliorés, le rendement de la production (lait ou viande) pourra augmenter. Par conséquent, la quantité de  $\text{CH}_4$  par quantité ou kg de produit diminue par rapport à une situation où l'on ne donnerait pas un fourrage de bonne qualité aux vaches.

Il existe des documents pertinents et complets sur le sujet, permettant de connaître les pratiques agronomiques qui mènent à un fourrage de qualité. Si l'amélioration de la qualité des fourrages est un enjeu important pour votre entreprise agricole, il est intéressant de consulter le document *Les plantes fourragères* (CRAAQ, 2005).



**En plus de réduire les GES, cette pratique pourrait s'avérer bénéfique en regard de la productivité de l'entreprise, et en regard du portefeuille du producteur.**

**Cette stratégie est la même que celle présentée en 4.2**

## 5.3 | STRATEGIE 2 : AJOUTER DES CONCENTRES A LA RATION

Augmenter la proportion de concentrés dans la ration donnée aux vaches laitières peut réduire les émissions de méthane entérique.

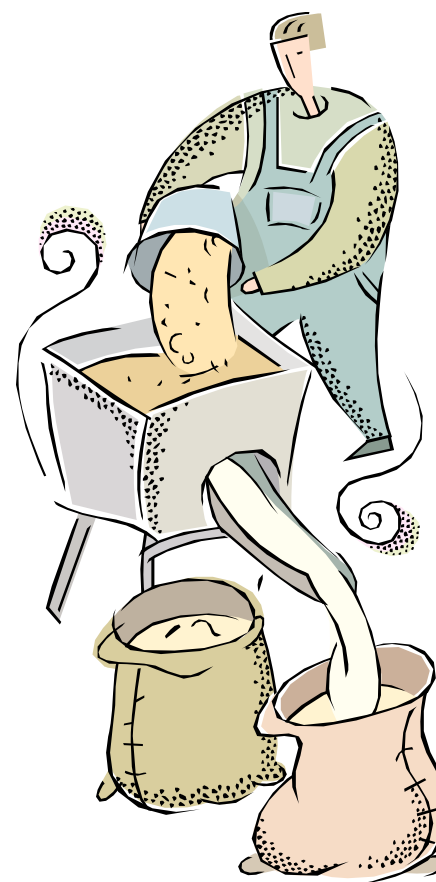
Les aliments concentrés et les grains riches en amidon ont fait l'objet de plusieurs études. En général, elles concluent que, chez l'animal, l'ajout d'aliments concentrés riches en amidon (maïs, orge) permet de réduire la production de  $\text{CH}_4$  dans le rumen. Les rations riches en amidon sont plus facilement digérées dans le rumen, la concentration totale de fibres NDF y étant plus faible.

La digestion de ces concentrés résulte en une diminution de la proportion d'acétate et une augmentation du propionate dans le liquide ruminal, ce qui engendre une réduction de la production de  $\text{CH}_4$  dans le rumen (Beauchemin *et al.*, 2008a ; Chouinard, 2002). De plus, l'amidon, étant plus facile à digérer que les fibres de celluloses et passant alors plus rapidement dans le rumen, subit moins de fermentation. En conséquence, le  $\text{CH}_4$  émis diminue.

Notons qu'en production laitière, contrairement à la production de viande, la teneur en matière grasse du lait est négativement affectée si les concentrés représentent plus de la moitié de la ration (Beauchemin *et al.*, 2008a).

Selon le présent protocole, pour les vaches laitières, le facteur de conversion en  $\text{CH}_4$  (coefficient  $Y_m$  ou « yield methane », c'est-à-dire production de méthane) est par défaut de 6,5 %. Il peut varier de 6 à 7,5 %, selon les aliments donnés aux animaux.

Il est à noter que la production de céréales, comme le maïs ou l'orge, génère des émissions de GES ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) qui peuvent annuler les réductions escomptées de méthane entérique ( $\text{CH}_4$ ). Il serait judicieux de produire un bilan global des émissions avant d'apporter des changements dans les pratiques liées à l'alimentation.



**Cette stratégie n'a pas été décrite précédemment.**

## 5.4 | STRATEGIE 3 : AJOUTER DES GRAS A LA RATION

L'ajout de matières grasses à la ration peut aider à diminuer la production de CH<sub>4</sub> par les ruminants. Il existe des matières grasses « enrobées », donc inertes à la biohydrogénation (réduction chimique de leurs composants par les micro-organismes). Ces gras-là ont peu d'impact sur la production de méthane dans le rumen. D'autres matières grasses sont dites « non protégées », c'est-à-dire qu'elles réagissent avec les micro-organismes du rumen, et ce de plusieurs façons (Beauchemin et al., 2009; Chouinard, 2002).

Ces matières grasses non protégées :

- Fournissent une part de l'énergie nécessaire, remplaçant une partie des glucides fermentescibles.
- Empêchent une partie des bactéries qui dégradent la cellulose de s'attacher aux aliments.
- Sont parfois toxiques pour les protozoaires et les bactéries méthanogènes.
- Peuvent devenir des capteurs d'ions H<sup>+</sup> libres.
- Modifient la flore du rumen, favorisant la voie de l'acide propionique.

Le pourcentage d'énergie brute des aliments convertie en méthane (Y<sub>m</sub>) est de 6,5 % par défaut, mais il diminue de 5 % pour chaque 1 % de gras ajouté provenant de graines oléagineuses.

Les sources de gras sont diverses : huile de noix de coco, canola, soya, tournesol, lin, palme (et ses dérivés raffinés). Certaines plantes oléagineuses (soya, lin, canola), qui ont un effet similaire aux huiles importées, peuvent être cultivées au Québec, avec une empreinte écologique réduite. Ces gras n'ont pas tous les mêmes caractéristiques. Le document *Les bovins laitiers*, publié par le CRAAQ (2008b), contient une section sur les lipides où on retrouve un tableau sur la teneur en énergie et le profil en acides gras de différentes sources de lipides. Ainsi, selon ce document, les huiles de canola, de lin, de soya et de tournesol contiennent toutes 5,65 kilocalories/kg.

Plusieurs de ces grains doivent toutefois être traités (par chaleur ou mécaniquement) avant d'être ajoutés à la ration. Les graines qui ne sont pas détruites durant la mastication, comme le lin et le canola, doivent être broyées ou extrudées. Des études menées sur les graines broyées de tournesol, de lin et de canola montrent que, lorsqu'introduites de façon judicieuse dans la ration, ces graines diminuent le CH<sub>4</sub> de la fermentation d'environ 10 à 26 % (Beauchemin et al., 2009). Plus d'information concernant ces grains est aussi disponible via le site du CRAAQ. Par exemple, on y trouve le document suivant : *Lin oléagineux*, 2006. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 12 pages. <http://www.craaq.qc.ca/Publications?p=32&l=fr&IdDoc=1744>.

L'effet des matières grasses sur la production de lait peut être schématisé en trois phases, soit ascendante, plateau et descendante. Avec l'ajout de matières grasses, la production augmente d'abord, puis se stabilise. Finalement, si trop de matières grasses sont ajoutées, elles nuisent à la production de lait en raison de leur impact négatif sur la fermentation ruminale.

Par ailleurs, plusieurs facteurs influencent l'efficacité des gras : la quantité, la source, la forme du gras (liquide, en poudre...) et le type d'alimentation de l'animal. Il est recommandé que la teneur en matières grasses de la ration totale ne dépasse pas 6 à 7 % de la teneur en matières sèches, sans quoi la prise alimentaire pourrait diminuer, ce qui entraînerait une baisse de rendement (Lefebvre, 2001 ; Beauchemin et al., 2008a). Notons que l'ajout de gras végétal à la ration occasionne généralement une baisse du gras du lait (Jenkins and Klein, 2009).

Les acides gras donnés aux animaux ne doivent donc pas tous provenir de lipides non protégés en raison de la réduction de la digestion des fibres qu'ils entraînent. Selon les experts, le gras apporté dans la ration d'une vache laitière devrait être constitué d'un maximum de 1/3 du gras (huile végétale, ou sous-produits riches en gras végétal), sous forme non protégée (non inerte) au rumen, de 1/3 de gras contenu normalement dans les fourrages et les concentrés à faible teneur en gras, et finalement, d'un maximum de 1/3 de gras sous forme protégée (inerte) au rumen (NRC, 2001).

La quantité d'acides gras non protégés qui peut être ajoutée à la ration sans nuire aux animaux peut être calculée à partir de deux données : les acides gras insaturés du supplément lipidique (AGI) et les fibres au détergent acide (ADF) (CRAAQ, 2008b; 869). Ces proportions devraient être déterminées avec l'aide d'un spécialiste en nutrition animale.

## 5.5 | RÉDUCTION DES PERTES D'AZOTE PAR UNE ALIMENTATION PLUS PRÉCISE

L'efficacité de la ferme laitière se mesure aussi en fonction de son contrôle des pertes d'azote. Ainsi, les efforts pour gérer les surplus de nutriments sur la ferme laitière peuvent augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'azote alimentaire (ILFA, 2008). En effet, une partie importante de l'azote consommé par les animaux est rejeté dans les déjections. Plus il y a d'azote retenu dans le lait, moins il y a de pertes dans les déjections et plus efficace est l'utilisation de l'azote consommé. De plus, la réduction des rejets d'azote constitue un gain pour l'éleveur au niveau environnemental et économique. Premièrement, l'éleveur n'a pas à payer pour de l'azote gaspillé. Deuxièmement, les émissions de GES de l'entreprise sont ainsi réduites. Rappelons que l'azote perdu se transforme en  $N_2O$ , un gaz à effet de serre (GES) puissant. Ainsi, chaque kilogramme d'azote contenu dans les fumiers engendre une émission directe de 4,9 kg de  $CO_2e$  sous forme de  $N_2O$ . Le fumier engendre également des émissions indirectes de  $N_2O$ , liées aux pertes d'azote qui surviennent suite à l'épandage.

### 5.5.1 | RÉDUIRE L'APPORT DE PROTÉINES BRUTES

Selon le guide sur les bovins laitiers du CRAAQ (2008), une ration contenant 16,5 à 17 % de protéines brutes suffirait à combler les besoins de vaches hautement productives (CRAAQ, 2008b). De 25 à 30 % de l'azote ingéré par les bovins laitiers se retrouvent dans le lait (CRAAQ, 2008b). Par conséquent, environ 75 % de l'azote consommé est perdu par les déjections, principalement via l'urine. Pour l'éleveur, il est possible d'agir sur ces pertes d'azote en gérant mieux les quantités de protéines des rations données aux animaux. Il est possible d'estimer l'efficacité de conversion de l'azote alimentaire en azote du lait en comparant les apports d'azote de l'alimentation à ceux de l'urée du lait (ILFA, 2008).

22

En réduisant les quantités de protéines brutes de l'alimentation par un meilleur équilibre des rations, il est possible de réduire les pertes d'azote dans l'urine. Ces pertes sont rapidement transformées en  $\text{NH}_3$ , un gaz volatil à la base des pluies acides et des odeurs. Il est donc vraiment intéressant de les réduire afin de diminuer l'impact environnemental du  $\text{NH}_3$ .

### 5.5.2 | FOURNIR DES ACIDES AMINÉS LIMITANTS

Il peut aussi être avantageux de fournir aux vaches laitières des acides aminés limitants, tels la lysine et la méthionine, car ils permettent de réduire le niveau de protéines brutes des rations. Ajouter ces additifs pour équilibrer les rations en acides aminés et fournir ceux qui sont en quantité limitée dans la ration de base aide à combler plus précisément les besoins en protéine des animaux.

### 5.5.3 | AVANTAGES

La réduction des pertes d'azote entraîne également une réduction des mauvaises odeurs, un gain non négligeable pour le bon voisinage. De plus, il s'agit d'un gain énergétique pour les vaches, car éliminer l'azote excédentaire nécessite une dépense de 7 kcal/kg d'azote, ce qui peut engendrer une perte de poids chez l'animal. Éliminer l'azote en trop dans les rations peut aussi avoir un impact sur la santé des bovins. En effet, les excès d'azote dans le rumen, sous forme de  $\text{NH}_3$ , sont transférés dans le sang et rejetés rapidement par les reins, le  $\text{NH}_3$  étant hautement toxique pour l'animal. Finalement, une utilisation plus efficace de l'azote alimentaire a pour effet de réduire le coût d'alimentation et le bilan financier de l'entreprise. Le conseiller en alimentation saura guider l'éleveur dans l'équilibre protéique des rations de son troupeau.



## 5.6 | STRATEGIES EXPERIMENTALES

Plusieurs autres méthodes visant la réduction du  $\text{CH}_4$  provenant de la fermentation entérique sont étudiées, dont les ionophores (réduction de 0-10 %), les saponines (0-10 %), les levures (0-5 %), les enzymes (0-10 %), les tannins (0-15 %), les huiles essentielles (0-20 %), etc. (Beauchemin, 2008 ; Schils, 2007 ; Chouinard, 2002 ; Bachand, 2007). À titre d'exemple, l'utilisation des tannins présents dans certaines plantes permettrait de réduire la production entérique de  $\text{CH}_4$ , mais il reste à déterminer les sources de tannins et les niveaux à ajouter aux rations. Également, l'ajout des ionophores, tel le monensin, utilisé pour augmenter la production de lait ou de viande et l'efficacité alimentaire, ainsi que pour contrôler le ballonnement et réduire l'acétonémie des vaches laitières, pourrait aussi réduire le  $\text{CH}_4$  entérique (Duffield et coll. 2008). Cependant, l'effet à long terme est incertain. La réduction de  $\text{CH}_4$  est parfois perceptible que pour quelques semaines, et il semble que les bactéries et protozoaires du rumen s'adaptent aux ionophores (Moss et coll., 2000 ; Beauchemin et coll., 2008). De plus, la pression du public visant à diminuer ou à bannir l'usage des antibiotiques comme facteurs de croissance dans l'alimentation des animaux d'élevage pourrait affecter l'intérêt des agriculteurs à fournir des ionophores à leurs animaux comme stratégie pour réduire la production de  $\text{CH}_4$ . En Europe, par exemple, ils sont interdits depuis 2006.

En ce qui concerne plusieurs de ces additifs, nous ignorons s'ils réduisent véritablement les émissions globales de GES. D'un côté, ils possèdent un potentiel de réduction du  $\text{CH}_4$  de la fermentation entérique, mais, de l'autre, leur production

pourrait nécessiter l'émission de plus de GES et être ainsi moins bénéfique pour l'environnement. Dans presque tous les cas, il est nécessaire de poursuivre les recherches afin d'évaluer les impacts à long terme de l'utilisation de ces additifs en alimentation animale. La fermentation entérique constitue une source d'émission de GES significative en production bovine et laitière. Cependant, d'autres facteurs doivent être pris en compte pour faire un choix qui aura de réels impacts positifs sur le bilan des GES à la ferme. Ainsi, l'énergie de chauffage et de séchage des grains, le mode de gestion des fumiers, les passages de machinerie, la fabrication des fertilisants et des pesticides, etc., contribuent également aux émissions totales de GES engendrés par la production animale.

## 5.7 | REFLEXION

Dans un souci de réduire réellement les GES, il faut analyser l'impact complet de l'ajout des matières grasses à l'alimentation des bovins. D'où vient cette matière ? Quelle énergie a été utilisée pour la produire ? Quelles émissions de GES ont été engendrées par la production, l'extraction, le raffinage, le transport ? Ces émissions sont-elles supérieures ou inférieures à la réduction d'émission de GES qu'engendre l'utilisation de ce produit ? Ainsi, l'ajout d'un aliment à la ration doit être analysé, et ses impacts tant économiques qu'environnementaux doivent être évalués, en plus des considérations reliées à la santé des animaux.

## 6 | SCÉNARIO 3 : MAXIMISER LA DURÉE DE VIE PRODUCTIVE

### 6.1 | COMMENT CELA REDUIT-IL LES GES DE MON ENTREPRISE ?

Sélectionner des animaux dotés d'une meilleure génétique et garder moins d'animaux de remplacement réduit les émissions de GES du troupeau. En effet, améliorer la génétique, et par conséquent la productivité du troupeau, est un gage de succès pour la réduction des GES en termes d'intensité d'émissions (GES émis par unité de produit). Ainsi, si chaque produit est conçu à partir de moins d'aliments, de moins de superficies de cultures et de moins d'animaux de remplacements, les émissions de GES associées à la production sont réduites. Les émissions de GES d'une vache et de sa relève sont estimées à 8,5 tonnes de CO<sub>2</sub>e par année (Bachand, 2007). Au Québec, en termes d'intensité d'émissions, il est donc estimé que la production d'un kilogramme de lait génère des émissions moyennes de 0,97 kg CO<sub>2</sub>e (Vergé, 2007). Selon le calculateur concerné par ce guide, une ferme moyenne québécoise émettrait environ 1,01 kg CO<sub>2</sub>e / kg de lait.

Pour profiter de la productivité des animaux, plusieurs pratiques peuvent être adoptées concurremment par l'entreprise laitière :

- 1 | Diminuer le nombre d'animaux de remplacement.
- 2 | Assurer un poids optimal au vêlage, un premier vêlage à 24 mois (ou moins), et trois lactations par vache en moyenne.
- 3 | Viser un taux de réforme de 25 %.

### 6.2 | STRATEGIE 1 : DIMINUER LE NOMBRE D'ANIMAUX DE REMPLACEMENT

La diminution du nombre d'animaux de remplacement et la réduction de la période sèche permettent aussi de réduire les émissions de GES provenant du secteur de la production laitière. La réduction du nombre d'animaux de relève résulte en une importante diminution des GES émis par la fermentation entérique, ainsi que par les différentes activités inhérentes à la production d'alimentation, aux soins apportés aux animaux et à la gestion des engrais organiques. La réduction de la période sèche à un niveau acceptable de santé animale peut permettre de produire plus d'unités de lait par année, pour des soins similaires à la vache laitière.



## 6.3 | STRATEGIE 2 : CONTROLER LES VELAGES ET LES LACTATIONS

La régie d'élevage des génisses a un impact sur la productivité de l'entreprise et, par conséquent, sur ses émissions de GES. Lors du premier vêlage, il est primordial que l'animal ait atteint un poids optimal. Ce poids optimal, visé à 24 mois, varie selon la race des vaches : il est de 640 kg pour la Holstein et de 550 kg pour la Ayrshire (Lefebvre, 2004).

L'âge au premier vêlage (APV) constitue aussi un indice de productivité de la ferme laitière. L'APV idéal est de 24 mois ou moins, et toute tendance vers cet objectif a pour effet de réduire le besoin en génisses (Gosselin, 2005). Les génisses en trop sont une surcharge de travail et engendrent des coûts : temps, fourrages, soins...

Diminuer l'APV fait donc diminuer les charges variables encourues par l'entreprise. Le Programme d'analyse des troupeaux laitiers du Québec (PATLQ, maintenant Valacta) estime que « retarder le vêlage au-delà de 24 mois occasionne un coût supplémentaire d'environ 75 \$ par mois de retard, par génisse » (Lefebvre, 2004). Un bon suivi de croissance permet donc aux éleveurs de réaliser des gains et de maximiser la vie productive des bêtes.

## 6.4 | STRATEGIE 3 : DIMINUER LE TAUX DE REFORME

Les vaches québécoises offrent un excellent potentiel de production et sont reconnues pour la qualité de leur patrimoine génétique. Pourtant, alors que la production par vache a presque doublé depuis 1980, l'âge au dernier vêlage est passé de 50 à 38 mois depuis 1970 (Labonté, 2010 ; Valacta, 2007). Selon plusieurs experts, le potentiel de ces animaux n'est pas pleinement exploité.

Ainsi, la production de lait d'une vache doit compenser pour les coûts que le producteur a dû déboursier pour la mener à sa première lactation, soit 2500 \$, et pour sa durée de vie. Les vaches en seconde lactation produisent 25 % plus de lait qu'une vache primipare, et celles en troisième lactation en produisent encore 10 % de plus (Gosselin, 2005). Si les vaches sont réformées avant la 3<sup>e</sup> lactation, l'entreprise fait moins d'argent avec ces animaux et doit investir dans des sujets de remplacement, qui ne seront peut-être pas pleinement exploités non plus.

Donc, c'est à partir de la 3<sup>e</sup> lactation qu'une vache devient payante. Pourtant, près de la moitié des animaux sont réformés avant ce stade (Valacta, 2007). Cela signifie que les producteurs se privent des meilleures années de production de la moitié de leurs vaches. Il serait donc souhaitable que la hausse de la productivité par vache ne se traduise pas automatiquement par une réforme précoce. L'idéal est de viser un taux de réforme de 25 %, jusqu'à un maximum de 30 %. Au Québec, en 2008, le taux de réforme moyen était de 32,6 %, avec un écart de 31,7 à 34,7 %, ce qui est bien au-dessus de l'objectif de 25 % (Valacta, 2009).

## 7 | SCÉNARIO 4 : AUGMENTER L'USAGE DES PÂTURAGES

### 7.1 | COMMENT CELA REDUIT-IL LES GES DE MON ENTREPRISE ?

Pour plusieurs raisons, l'utilisation de pâturages constitue une solution intéressante de lutte aux changements climatiques. En plus de permettre l'accumulation de carbone au sol, les pâturages réduisent les besoins en machinerie pour les récoltes, les semis, l'épandage des fumiers, l'entreposage des fourrages, ainsi que la quantité de fumier à entreposer. Les pâturages réduisent aussi les besoins d'entreposage du lisier, ce qui réduit le CH<sub>4</sub> émis par la fosse. Par exemple, pour une ferme de 50 vaches en lactation, si les animaux sont au pâturage pendant 5 mois, plutôt qu'à l'étable, le méthane de la fosse diminue d'environ 30 %.

L'usage des pâturages est principalement favorisé par l'amélioration de la qualité du pâturage.

### 7.2 | STRATEGIE : AMELIORER LA QUALITE DU PATURAGE

À la ferme, il est possible d'optimiser la qualité du pâturage de manière à réduire le plus possible le CH<sub>4</sub> provenant de la fermentation entérique, ainsi que les autres GES. En effet, tout comme avec les fourrages, une meilleure qualité du pâturage permettrait une réduction des pertes d'énergie sous forme de CH<sub>4</sub>. La teneur en fibres des pâturages de qualité étant plus faible, elle rend ces pâturages plus digestes. La qualité du

pâturage améliore aussi la productivité du troupeau (Beauchemin *et al.*, 2008a). La santé du troupeau et la qualité du lait peuvent même en être bonifiées (Vignola et Fournier, 2007).

Un pâturage en rotation de 28 jours assure une bonne qualité d'herbage aux animaux et une couverture permanente du sol (Vignola et Fournier, 2007). Cette biomasse permet aussi d'accumuler du carbone au sol, ayant ainsi un impact positif sur le bilan global de GES de l'entreprise agricole. Le calculateur de bilan humique du sol produit par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) peut être utilisé afin d'évaluer l'accumulation du carbone par différentes pratiques culturales.

Le changement d'alimentation (aliments entreposés versus herbe fraîche) nécessite une transition d'une bonne semaine afin de permettre aux microbes du rumen de s'adapter à la nouvelle ration. La transition consiste à sortir les animaux pour une partie de la journée seulement, par exemple en avant-midi.

D'autres défis attendent les agriculteurs qui souhaitent faire paître les animaux (OMAFRA, 2003):

- Aménagement de clôtures et de points d'eaux ;

- Préparer un chemin solide pour acheminer les animaux aux aires de paissance afin d'éviter le piétin d'étable.
- Réserver une période d'acclimatation aux pâturages riches en protéines pour éviter le ballonnement des animaux.
- Permettre à la flore ruminale de s'habituer au nouveau fourrage.
- Ajuster la ration servie à l'étable en fonction de la quantité et de la composition du fourrage ingéré au pâturage.



**La transition vers le pâturage est une pratique qui s'adresse à des éleveurs méticuleux ayant un bon sens de l'observation, ce afin de profiter au maximum du pâturage et ne pas l'épuiser avant la fin de la saison de paissance, laquelle se termine généralement vers le milieu d'octobre (Fournier, 2011).**

## 7.3 | REFLEXION

Il est complexe d'évaluer les impacts environnementaux d'un système d'élevage avec pâturage pour le comparer avec un système de production en confinement (Rotz *et al.*, 2009). L'étude de Rotz *et al.* (2009) a comparé quatre systèmes de production, allant du confinement total au pâturage à l'année, et leurs conclusions sont les suivantes :

- Convertir des cultures annuelles en pâturages améliore la qualité de l'eau.
- Convertir toutes les cultures annuelles en pâturages réduit l'érosion de 87 % et les pertes de phosphore sédimentaire de 80 %.
- Faire paître les animaux réduit la volatilisation de l'ammoniac d'environ 25 %.
- Faire paître les animaux diminue les émissions de CH<sub>4</sub>, la quantité de fumier entreposé se trouvant réduite.
- Convertir des cultures annuelles en pâturages réduit le nombre de passages de la machinerie, l'utilisation de combustibles fossiles et l'utilisation de pesticides.
- Introduire une période de pâturage diminue de 14 % les GES totaux.



### Exemple

L'accumulation de carbone par les plantes pérennes n'est pas incluse dans ce présent bilan d'émissions de GES. Toutefois, il est estimé que 1 hectare de maïs fourrager converti en foin avec légumineuses permet de passer d'un bilan d'émission de 700 kg CO<sub>2</sub>e à un bilan négatif de -1,5 t CO<sub>2</sub>e (AAC, 2008b). De plus, le caractère permanent des prairies et des pâturages possède l'avantage de réduire les pertes de sédiments et l'érosion. La qualité des cours d'eau avoisinants en est améliorée (Rotz *et al.*, 2009).



## 8 | SCÉNARIO 5 : MODIFIER LA GESTION DES FUMIERS

### 8.1 | COMMENT CELA REDUIT-IL LES GES DE MON ENTREPRISE ?

La quantité de lisier entreposée et la durée d'entreposage ont un impact sur le bilan annuel de méthane. Il est possible de contrôler ces paramètres de façon à réduire la production de méthane par la fosse.



### 8.2 | STRATEGIE 1 : REDUIRE LA DUREE D'ENTREPOSAGE

Le méthane produit par la fosse à lisier est proportionnel à la quantité de solides volatils (SV) qui s'y trouvent. Les SV sont constitués de la partie organique non digérée, excrétée dans les déjections animales et potentiellement disponible pour la conversion en méthane. Lorsque du lisier est retiré de la fosse pour être épandu, la quantité de SV dans la fosse diminue. Donc, plus la fosse est vidée souvent, moins il y aura d'émissions de GES produites par celle-ci.

Au Québec, la température a également un impact sur les émissions de  $\text{CH}_4$  de la fosse, puisqu'elle influence l'activité des micro-organismes méthanogènes. Dans le calcul des émissions de méthane produites par la fosse, la température moyenne par mois permet de trouver la fraction des SV consommés par les micro-organismes durant ce mois, et permet ainsi de prévoir les émissions de  $\text{CH}_4$ . Par conséquent, vider la fosse en juin et juillet a plus d'impact sur la réduction des GES qu'en octobre ou en mai. En effet, la température du fumier étant inférieure à  $10^\circ\text{C}$  de la fin de l'automne au début du printemps, les émissions de  $\text{CH}_4$  sont faibles. Aussi, vider la fosse pour que le fumier séjourne moins de 150 jours dans la fosse aurait un impact bénéfique sur la réduction du  $\text{CH}_4$  (Massé et al., 2003).

### 8.3 | STRATEGIE 2 : VIDER LA FOSSE SUFFISAMMENT

L'épandage fréquent de lisier minimise donc les émissions de la fosse puisqu'en réduisant la période d'entreposage on diminue la quantité de lisier qui fermente (Massé *et al.*, 2008 ; PAGES, non daté-b).

Finalement, il est bénéfique de vidanger totalement la fosse au début de l'été. Lorsque la fosse n'est pas complètement vidée, le lisier restant devient une source importante d'inoculum, c'est-à-dire d'un amas de microorganismes méthanogènes actifs, prêts à produire rapidement du  $\text{CH}_4$  (Massé *et al.*, 2008). Les basses températures (10 °C et moins) ralentissent la production de  $\text{CH}_4$ . Toutefois, dès que la température monte, s'il y a du lisier dans la fosse, les microorganismes produisent du  $\text{CH}_4$ . Au printemps, par exemple, si la fosse est vide, la production de  $\text{CH}_4$  sera nulle et, lorsque du lisier y sera entreposé, elle débutera plus lentement. Le pourcentage de vidange de la fosse qui est à inscrire dans le calculateur influencera donc les émissions de méthane.

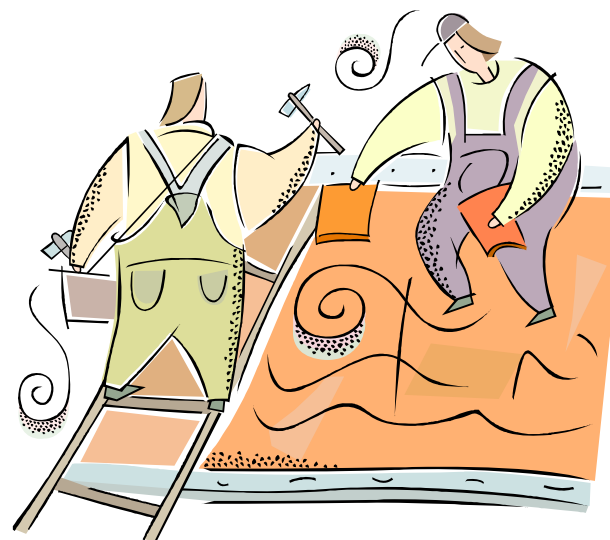
### 8.4 | REFLEXION

Le  $\text{CH}_4$  est le principal gaz émis par le fumier liquide lors de la fermentation de la matière organique par des microorganismes anaérobies. Ce gaz est 21 fois plus réchauffant que le  $\text{CO}_2$ . La quantité de méthane émise dépend essentiellement du volume de lisier entreposé, du type d'animal qui le produit, de son alimentation, du type de litière utilisée, de la température et de la durée de l'entreposage. Les gestions solide et liquide émettent des quantités différentes de  $\text{CH}_4$ , le fumier solide étant beaucoup plus oxygéné. Les fumiers solides, contenant de la paille, émettent davantage de  $\text{N}_2\text{O}$  que les lisiers (Schils, 2007). Par contre, les fumiers bien oxygénés n'engendrent pas de  $\text{CH}_4$ . En équivalent  $\text{CO}_2$ , les fumiers solides émettent moins de GES. Par conséquent, si la gestion du fumier est déjà réalisée sous forme solide, il peut être intéressant de la maintenir ainsi.

## 9 | SCÉNARIO 6 : INSTALLER UNE COUVERTURE DE FOSSE ET BRÛLER LE MÉTHANE

### 9.1 | COMMENT CELA REDUIT-IL LES GES DE MON ENTREPRISE ?

Avec les toitures étanches au gaz, le  $\text{CH}_4$  produit par la fermentation du lisier peut être brûlé avec une torchère ou servir à produire de l'énergie (chauffage ou méthanisation). Le  $\text{CH}_4$  est un GES qui est émis par les fumiers lorsqu'ils sont entreposés en condition anaérobie (sans oxygène), comme le sont les lisiers. C'est la fermentation de la matière organique par les bactéries méthanotrophes qui produit le  $\text{CH}_4$ . Pour empêcher les émissions de  $\text{CH}_4$ , ce dernier doit être capté sous une toiture étanche, et brûlé. L'énergie peut ensuite être utilisée sous forme de chaleur ou d'électricité. Si le  $\text{CH}_4$  est simplement brûlé, il est transformé en  $\text{CO}_2$ , un gaz 21 fois moins réchauffant pour la planète que le  $\text{CH}_4$ . Ce  $\text{CO}_2$  relâché dans l'atmosphère n'est pas comptabilisé dans le bilan des GES de la ferme, car il est considéré comme équivalant à la quantité de  $\text{CO}_2$  absorbé par les plantes ayant servi d'aliments ou de litière durant la croissance des animaux. Ainsi, le brûlage du méthane réduit de près de 90 % les émissions de GES de la fosse (IPCC, 1996).



## 9.1 | STRATEGIE 1 : INSTALLER UNE COUVERTURE DE FOSSE

Il existe plusieurs types de toitures pour fosses, il est donc possible d'en choisir une qui réponde spécifiquement aux besoins du producteur. Les toitures peuvent être étanches au gaz et à l'eau, ou simplement empêcher l'eau d'entrer. Elles peuvent également être composées de divers matériaux, souples ou rigides, et leurs coûts varient.

Pour bénéficier d'un aperçu des toitures existantes, plusieurs documents sont disponibles sur Agri-réseau et sur le site de la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ). Les prix des toitures varient selon leurs caractéristiques. Voici, en résumé, les coûts par superficie de couverture.

**Tableau 2-  
Coût des toitures de fosses  
selon leurs caractéristiques**

TYPE DE COUVERTURE	COÛTS (\$/M <sup>2</sup> )
Dalle de béton	105
Toiture gonflable (étanches)	50 - 55
Bâche flottante (étanche)	50 - 75

*FPPQ, 2007; Larouche, 2011*

Les toitures gonflables, étanches, sont les plus avantageuses au niveau des coûts d'investissement. Elles demandent peu d'entretien et s'installent facilement. Par contre, elles sont sensibles au verglas et aux précipitations de neige lors de forts vents (FPPQ, 2007). Ce sont toutefois les bâches flottantes qui sont les plus utilisées actuellement. Elles sont étanches, demandent peu d'entretien, résistent à l'accumulation de neige et de pluie, et l'eau qui s'accumule au-dessus n'est pas contaminée (FPPQ, 2007).

## 9.2 | STRATEGIE 2 : BRULER LE METHANE

Lorsqu'une fosse est recouverte d'une toiture étanche, le méthane est emprisonné et peut être brûlé. La combustion du  $\text{CH}_4$  produit du  $\text{CO}_2$ .

Pour brûler le méthane, une torchère d'au moins 4 mètres de haut doit être installée, selon les normes de la CSA (Canadian Standard Association). Le fonctionnement de la torchère est simple : le brûleur est allumé par une veilleuse au propane, actionnée par une étincelle qui se génère avec la pression du méthane sur une valve du réservoir (MAPAQ, 2009)

La veilleuse au propane ne fonctionne que lorsque la pression du méthane permet de le brûler. La quantité de propane brûlé en une année est négligeable par rapport aux émissions de méthane que la technologie permet d'éviter (Georgieff et Bernard, 2009). Le système coûte environ 25 000 \$, mais peut être couvert en partie par le programme Prime-Vert du MAPAQ. Cette technologie est récente et certaines entreprises ont commencé à commercialiser ce produit.



## 9.3 | REFLEXION

Les couvertures de fosse présentent de nombreux avantages.

### *Réduction de la volatilisation de l'azote*

Couvrir la fosse fait partie des pratiques permettant de conserver l'azote sur la ferme. En effet, les toitures réduisent les pertes annuelles d'azote ammoniacal ( $\text{NH}_3$ ) par volatilisation de 10 à 20 %, et jusqu'à 90 % en été (FPPQ, 2007 ; Pouliot, 2002). Bien que l'ammoniac ne soit pas un GES, il cause des pluies acides, contribue à la formation d'aérosols et à la perte de biodiversité dans les milieux sensibles. De plus, l'azote qui se volatilise engendre des émissions indirectes de  $\text{N}_2\text{O}$ , c'est-à-dire ailleurs qu'à la ferme d'origine, lorsqu'il se redépose au sol. Ces émissions font tout de même partie du bilan de GES de la ferme.

### *Réduction des mauvaises odeurs*

Les toitures offrent aussi l'avantage de diminuer les odeurs émanant des fosses de 50 % pour une toiture avec ouverture, et de 100 % pour une toiture hermétique (Pouliot, 2002). La réduction des odeurs a l'avantage de contribuer au bon voisinage.

### *Réduction du transport d'eau de pluie*

Les toitures non étanches au gaz, quoique ne permettant pas de diminuer les émissions de  $\text{CH}_4$ , permettent tout de même une réduction des GES. En effet, elles empêchent l'eau de s'accumuler dans la fosse. Le transport routier du lisier vers les superficies d'épandage est donc réduit. L'économie peut être importante dans une situation où le producteur doit exporter son lisier. Par exemple, pour un épandage de lisier provenant d'une fosse de 33 m de diamètre, à 10 km de la ferme, dans une région qui reçoit annuellement 700 mm de pluie, l'économie peut être de 3 480 \$ par année (Pouliot, 2002). Ce sont près de 500 000 litres d'eau qui s'accumulent dans la fosse de 30 mètres de diamètre chaque année. En 5 ou 6 ans, vous aurez donc économisé en transport l'équivalent d'une piscine olympique !



## 10 | SCÉNARIO 7 : INSTALLER UN ÉQUIPEMENT DE SÉPARATION MÉCANIQUE DES LISIERS

### 10.1 | COMMENT CELA REDUIT-IL LES GES DE MON ENTREPRISE ?

La séparation du lisier réduit la production de méthane du lisier, la séparation isolant la majeure partie de la matière organique fermentescible dans la fraction solide oxygénée. Le taux de capture des solides par le système de séparation influence la quantité de solides volatils (SV) restants dans la fraction liquide, ces solides pouvant produire du méthane. La séparation a également une influence sur la quantité d'azote disponible lors de l'épandage, qui elle cause des émissions de  $N_2O$ . La séparation réduit le volume à exporter, ce qui diminue la quantité de carburant utilisé pour le transport routier et les émissions de GES associées à ce transport. Cette réduction d'émissions, reliée au transport, apparaîtra dans l'onglet du calculateur portant sur le bilan énergétique de la ferme.

Depuis avril 2010, les producteurs doivent rendre un bilan de phosphore (P) à l'équilibre, par conséquent posséder les superficies nécessaires à l'épandage de leur fumier ou de leur lisier, tout en respectant la charge en phosphore (Règlement sur les exploitations agricoles, Québec, 2009). La production intensive d'animaux d'élevage engendre des quantités de lisier qu'il faut gérer, ce qui peut s'avérer complexe, principalement dans les régions en surplus de phosphore. Les surplus de P auxquels font face certains agriculteurs ont mené à la

recherche de solutions, dont la séparation des fractions solide et liquide du lisier. En empêchant la dissolution du P des fèces dans l'urine, la séparation solide-liquide du lisier concentre le P dans une partie solide, ce qui facilite son exportation vers des terres moins chargées. La partie liquide, moins concentrée en P, peut alors être valorisée sur les terres situées à proximité.

Plusieurs technologies existent pour réaliser la séparation du lisier :

- 1 | le séparateur décanteur-centrifuge (Martin et Léveillé, 2006)
- 2 | les technologies de collecte sélective, dont les courroies sous lattes, le gratte en « V » et le filet (Godbout et Turgeon, 2006).

## 10.2 | STRATEGIE 1 : UTILISER LE SEPARATEUR-DECANTEUR CENTRIFUGE

Le séparateur-décanteur centrifuge est un appareil qui peut être installé dans un bâtiment de ferme et qui traite de 1,2 à 2,5 m<sup>3</sup> de lisier par heure. Le lisier y est séparé en deux fractions : liquide (FL) et solide (FS). Le P est concentré dans la partie solide du lisier (75-90 % du P) et la masse est réduite (32 % de matière sèche minimum), facilitant le transport à des fins d'exportation. La FS peut ensuite être conditionnée, ce qui améliore ses qualités physiques, conserve les nutriments et réduit les pathogènes, les odeurs et la masse volumique (Martin *et al.*, 2008 ; Martin *et al.*, 2007). La FL est, quant à elle, faible en phosphore et riche en azote. La FL peut plus facilement être épandue sur les terres riches en P et apporter une partie des minéraux essentiels aux plantes, voire combler les besoins d'azote (Martin *et al.*, 2008).

Selon la FPPQ (2009), la séparation centrifuge réduit de 50 % les émissions de CH<sub>4</sub> à l'entreposage. Ceci est dû au fait que la matière organique est concentrée principalement dans la fraction solide, laquelle est exportée (Hamel *et al.*, 2004). L'entreposage de la fraction liquide subit une moins grande fermentation par les micro-organismes méthanogènes, qui ne peuvent vivre sans carbone organique.

## 10.3 | STRATEGIE 2 : UTILISER LA COLLECTE SELECTIVE

La collecte sélective des FL et FS des lisiers est possible dans les bâtiments équipés à cette fin. Au Québec, l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et le Centre de développement du porc du Québec (CDPQ) ont étudié divers systèmes de gestion sous lattes du lisier, dont la gratte en « V », la gratte conventionnelle, le filet et le convoyeur à courroie (Lemay, 2006 ; Godbout, 2004 ; Hamel *et al.*, 2004).

Tous les systèmes testés ont permis d'obtenir une FS ayant une teneur en matière sèche (30 %) et un contenu en phosphore (90 %) se rapprochant des résultats d'un séparateur-décanteur centrifuge (Godbout, 2006). Ces types de gestion sous lattes, visant toute la séparation du lisier, permettraient de réduire de 20 % le CH<sub>4</sub> émis au bâtiment, et de 80 % celui émis à l'entreposage (FPPQ, 2009).

## 10.4 | REFLEXION

Passant d'une situation initiale où le producteur exportait tout son lisier par rapport à l'exportation d'un volume réduit de lisier (la FS), les GES émis lors du transport de cette matière sont moindres. Les distances parcourues par le lisier avant l'implantation de la technologie influencent la réduction de GES, tout comme la distance que parcourra la FS à la suite de la séparation. Même si les émissions de GES du transport ne sont pas comptabilisées dans le présent projet, vous pouvez en tenir compte dans votre prise de décision. L'analyse des coûts associés au transport pourrait également être réalisée, et la rentabilité de la technologie pour votre entreprise devrait être vérifiée.

## 10.5 | AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX

Le plus grand avantage que pourra amener la séparation du lisier est le respect des dépôts maximum de P sur les terres agricoles. Le P favorise la prolifération des algues et des plantes aquatiques dans les plans d'eau (FAPAQ, 2002). Maintenir une concentration inférieure à 0,03 mg P-total/l dans l'eau permettrait de prévenir l'eutrophisation des rivières. Entre 1989 et 1995, le phosphore a dépassé ce critère pour 14 des 19 bassins versants échantillonnés dans différentes régions du Québec (FAPAQ, 2002). Toutefois, le défi de trouver des sols qui ne soient pas saturés en phosphore à une distance acceptable du lieu de production des fumiers demeure important.

Un autre avantage, démontré par les différentes recherches sur les systèmes de séparation, est la réduction des odeurs au bâtiment et lors de l'épandage (Lemay, 2006 ; Hamel et al., 2004 ; Godbout, 2004).

## 11 | SCÉNARIO 8 : MODIFIER LE MODE D'ÉPANDAGE

### 11.1 | COMMENT CELA REDUIT-IL LES GES DE MON ENTREPRISE ?

Dans un désir d'augmenter l'efficacité du recyclage des nutriments et de réduire les émissions de GES à la ferme, l'utilisation optimale de l'azote organique est primordiale.

La teneur en azote des déjections animales influence les émissions au champ. Cette teneur est déterminée à partir de données concernant l'alimentation animale, le gain de poids, les produits (lait, fétus), l'urée dans le lait et les pertes d'azote au lieu d'élevage.

À travers toutes les étapes de gestion du lisier, l'azote présent dispose de plusieurs occasions de s'échapper, surtout sous forme d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). Une partie des pertes d'azote est retransformée en protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), un gaz 310 fois plus réchauffant que le  $\text{CO}_2$ . Toutefois, le producteur peut améliorer ses pratiques de manière à diminuer ces pertes. Lors de l'épandage, entre autres, l'incorporation rapide du lisier permet de conserver une grande partie de l'azote, au bénéfice des plantes, de la planète... et du portefeuille de l'agriculteur.

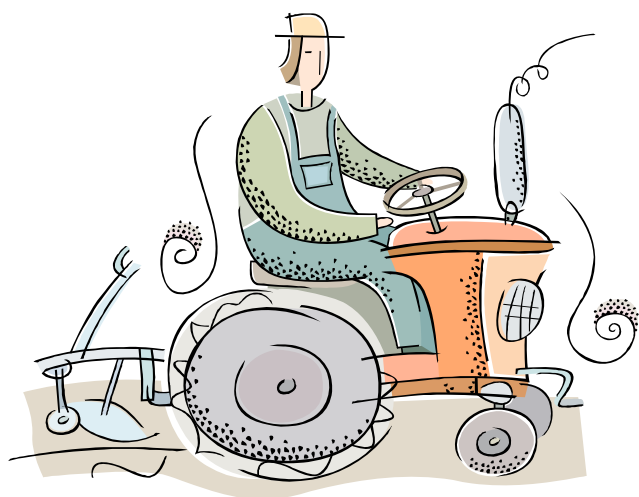
### 11.2 | STRATEGIE : INCORPORER LES MATIERES AU SOL

Les équipements utilisés pour l'épandage des lisiers ont un impact sur la volatilisation de l'azote. Plus le lisier est en contact avec l'air, plus la volatilisation est importante. L'aéro-aspiration basse fractionne le lisier en fines gouttelettes, ce qui favorise la perte d'azote ammoniacal dans l'atmosphère (FPPQ, 2005). Les rampes d'épandage permettent toutefois d'éviter cet inconvénient. Réduire la dérive permet de mieux conserver l'azote au champ et ainsi de réduire les risques d'émissions indirectes de  $\text{N}_2\text{O}$ .

L'incorporation rapide des matières fertilisantes, ainsi qu'une machinerie permettant un épandage plus près du sol, sont des éléments réduisant les émissions de  $\text{N}_2\text{O}$ . En effet, dans les 10 heures suivant l'épandage, le lisier laissé en surface peut perdre jusqu'à 50 % de l'azote ammoniacal qu'il contient (Rochette, 2008). Ces pertes sont souvent compensées par l'achat de fertilisants. En travaillant immédiatement le sol, ou en incorporant le lisier, il est possible de limiter les pertes d'ammoniac à moins de 5 % (Vanasse, 2004). L'incorporation réduit aussi les risques de ruissellement des fertilisants. Quant au risque de pertes souterraines, l'idéal est d'incorporer le lisier en évitant de placer l'azote sous les racines, donc de l'incorporer dans les premiers 5 à 10 cm du sol (Vanasse, 2004).



**Il est important de respecter les doses recommandées de fertilisants pour qu'il n'y ait pas d'excès d'azote au sol, lequel serait facilement disponible pour les micro-organismes dénitrificateurs responsables des émissions de  $N_2O$ .**



### 11.3 | REFLEXION

Voici donc quelques trucs pratiques à connaître afin de diminuer la volatilisation de l'azote (Gasser et al., 2008 ; PAGES, 2005 ; FPPQ, 2004) :

- Incorporer rapidement le lisier.
- Calibrer l'épandeur.
- Brasser le lisier et le faire analyser avant d'épandre.
- Ajuster les doses de fumiers aux besoins des plantes.
- Épandre le lisier sur un sol sec, dans la mesure du possible.
- Appliquer le lisier en bandes.
- Diminuer la hauteur de l'épandage.
- Planter une culture intermédiaire à l'automne ou une culture intercalaire pour immobiliser temporairement l'azote. Ces cultures peuvent capter de 40 à 100 kg N par hectare, un azote qui sera rendu disponible l'année suivante plutôt que d'être perdu (Rochette et al., 2004).
- Épandre par temps frais, le soir ou le matin. La température élevée favorise la volatilisation du  $NH_3$ .
- Valoriser le mieux possible les fumiers, pour qu'il soit utilisé par les plantes.
- Diminuer la fertilisation d'engrais azotés en conséquence des apports d'azote sous forme d'engrais organiques.

## CONCLUSION

Comme vous pouvez le constater, plusieurs solutions s'offrent aux éleveurs laitiers qui souhaitent réduire les émissions de GES de leur ferme. Ces stratégies peuvent être simples et rentables, comme le fait d'augmenter la vie productive des vaches, ou s'appuyer sur des technologies qui demanderont plus d'investissement à l'entreprise, comme la séparation de phase ou le captage de biogaz. Certaines de ces technologies peuvent être financées par des programmes de subventions, un élément important à vérifier.

40

Plusieurs pratiques ont le potentiel de réduire les GES à la ferme, mais il faut bien évaluer l'ensemble des impacts avant de prendre la décision de les implanter ou non. Les modifications sur la ferme doivent faire l'objet d'une réflexion et d'une analyse. Il est important que l'agriculteur soit accompagné dans sa démarche par des experts, tant pour l'évaluation des coûts que pour celle des divers impacts sociaux et environnementaux provoqués par un changement sur la ferme.

Les stratégies présentées sont reliées directement à la production laitière, mais il existe également tout un éventail de pratiques que les agriculteurs peuvent adopter pour réduire les GES et augmenter l'accumulation du carbone sur leur ferme, telles que la plantation de haies brise-vent et la culture d'engrais verts.



**Nous vous souhaitons donc une bonne réflexion et vous remercions de contribuer à la lutte aux changements climatiques !**



## RÉFÉRENCES

AAC, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2008a. *Une agriculture efficace pour un air plus sain : une analyse scientifique des liens entre les pratiques agricoles et les gaz à effet de serre*, Ottawa, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 166 p.

AAC, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2008b. « Outils, HOLOS ». [En ligne]. <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1226606460726&lang=fra> (consulté le 9 juin 2010).

AGRIBIONET. Non daté. Alimentation des bovins, viande et lait. [En ligne]. <http://www.agribionet.org/client/page1.asp?page=2357&clef=19&clef2=11> (consulté le 6 mai 2011)

ALBERTA, Government of Alberta Environment, 2010 (january). *Quantification protocol for emission reductions from dairy cattle, Version 1.0. Specified Gas Emitters Regulation*. Edmonton, Alberta. 48 p.

BACHAND, C., 2007. « La vache laitière et ses gaz à effet de serre ». [En ligne]. [http://www.mapaq.gouv.qc.ca/NR/rdonlyres/E3512BB0-5F27-46C5-95CB-66AEDFC8D468/0/GTA320404\\_GESBL\\_charles\\_bachand\\_SI.pdf](http://www.mapaq.gouv.qc.ca/NR/rdonlyres/E3512BB0-5F27-46C5-95CB-66AEDFC8D468/0/GTA320404_GESBL_charles_bachand_SI.pdf) (consulté le 9 juin 2010).

BEAUCHEMIN, K.A. et al., 2008a. “Nutritional management for enteric methane abatement: A review”, *Australian Journal of Experimental Agriculture*, n° 48, p. 21-27.

BEAUCHEMIN, K., MCGINN, S.M., and C. GRAINGER. 2008b. “Reducing methane emissions from dairy cows”. 10<sup>th</sup> Annual Intermountain Nutrition Conference, Utah State University, Salt Lake City, UT, USA, January 29–30, 2008, p. 237–249.

BEAUCHEMIN, K.A. et S.M. MCGINN, 2006. “Methane emissions from beef cattle: Effects of fumaric acid, essential oil, and canola oil”, *Journal of Animal Science*, n° 84 (6), p. 1489-1496.

BEAUCHEMIN, K.A., MCGINN, S.M., and C. GRAINGER. 2008. Reducing Methane Emissions from Dairy Cows. WCDS Advances in Dairy Technology (2008) Volume 20: 79-93.

BEAUCHEMIN, K.A., T.A. McALLISTER et S. M. MCGINN, 2009. “Dietary mitigation of enteric methane from cattle”, *Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, n° 4, p. 35.

BÉLANGER, G. et A. BOOTSMA. 2002. *Impact des changements climatiques sur l'agriculture au Québec*. 65<sup>e</sup> congrès de l'Ordre des agronomes du Québec. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Belanger.pdf> (consulté le 6 mai 2011).

BENCHAAAR, C., C. POMAR et J. CHIQUETTE, 2001. “Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modelling approach”, *Canadian Journal of Animal Science*, n° 81, p. 563–574.

BOADI, D. A. and K.M. WITTENBERG, 2002. “Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer gas technique”, *Canadian Journal of Animal Science*, n° 82, p. 201–206.

BOADI, D. et al., 2004. “Mitigation strategies to reduce methane emissions from dairy cows: Update review”, *Canadian Journal of Animal Science*, n° 84, p. 319-335.

CASTILLO, A.R., E. KEBREAB, D.E. BEEVER, J.H. BARBI et al., 2001. “The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets”. *Journal of Animal Science*, n° 79, p. 247-253.

CHANTIGNY, M. et al., 2006. « Que devient l'azote du lisier après l'épandage ? » (deuxième partie), Fédération des producteurs de porcs du Québec, 4 p., sur le site de AgriRéseau [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/porc/documents/Azote\\_apres\\_epandage.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/porc/documents/Azote_apres_epandage.pdf) (consulté le 9 juin 2010).

CHOUINARD, Y., 2002. « Production et émissions du méthane et du gaz carbonique par les ruminants », 65<sup>e</sup> congrès de l'Ordre des agronomes du Québec, 10 p., sur le site de AgriRéseau. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/chouinard.pdf> (consulté le 9 juin 2010).

CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2010. Guide de référence en fertilisation. 2<sup>e</sup> édition. 473 p.

CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2005. *Les plantes fourragères*, Québec, 244 p.

CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2008a. « La biométhanisation à la ferme », 18 p. [En ligne]. <http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC033.pdf> (consulté le 16 novembre 2009).

CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec), 2008b. *Les bovins laitiers*. 1462 p.

ENVIRONNEMENT CANADA, 2011. « Rapport d'inventaire national 1990-2009 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada, Sommaire ». 21 p. [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/Publications/A07097EF-8EE1-4FF0-9AFB-6C392078D1A9%5CRapportDInventaireNational19902009SourcesEtPuitsDeGazAEffetDeSerreAuCanadaSommaire.pdf> (consulté le 9 juin 2010).

FAPAQ (Société de la faune et des parcs du Québec), 2002. *Rapport sur les impacts de la production porcine sur la faune et ses habitats*, Québec, FAPAQ, Vice-présidence au développement et à l'aménagement de la faune, 72 p.

FOURNIER, A. 2011 (14 janvier). Communication personnelle. Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec.

FPPQ (Fédération des producteurs de porcs du Québec), 2004 (avril). Plan des interventions agroenvironnementales. *Évaluation des rampes d'épandage*. 8 p. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Rampes\\_basses.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Rampes_basses.pdf) (consulté le 6 mai 2011).

FPPQ (Fédération des producteurs de porcs du Québec), 2005 (mars). Plan des interventions agroenvironnementales. *Rampes d'épandage*. 6 p. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/6-2-4\\_Fiche\\_Rampe.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/6-2-4_Fiche_Rampe.pdf) (consulté le 6 mai 2011).

FPPQ (Fédération des producteurs de porcs du Québec), 2007. « Plan des interventions agroenvironnementales : les couvertures sur les fosses à lisier », Fiche technique n° 4, 6 p. [En ligne]. [http://www.leporcduquebec.qc.ca/fr/fppq/pdf/couvertures\\_fosses.pdf](http://www.leporcduquebec.qc.ca/fr/fppq/pdf/couvertures_fosses.pdf) (consulté le 9 juin 2010).

FPPQ (Fédération des producteurs de porcs du Québec), 2009. *Exploitation porcine et gaz à effet de serre*. [En ligne]. <http://www.leporcduquebec.qc.ca/fr/fppq/publication.pdf> (consulté le 6 mai 2011).

FUTURA-ENVIRONNEMENT, non daté. « Protocole de Kyoto ». [En ligne]. [http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/developpement-durable-2/d/protocole-de-kyoto\\_3540/](http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/developpement-durable-2/d/protocole-de-kyoto_3540/) (consulté le 9 juin 2010).

GASSER, M. O. ET R. CARRIER. *Les rampes d'épandage pour lisiers pailleux*. 2008. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). 8 p. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Rampes\\_feuillet\\_technique\\_final.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Rampes_feuillet_technique_final.pdf) (consulté le 6 mai 2011).

GEORGIEFF, É. et H. BERNARD. 2009. *Démonstration de torchères. Brûlage de biogaz provenant d'une fosse à lisier de porc couverte*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/navigation.aspx?r=demonstration\\_torchere](http://www.agrireseau.qc.ca/navigation.aspx?r=demonstration_torchere) (consulté le 6 mai 2011).

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2007. *Bilan des changements climatiques : rapport de synthèse*. [En ligne]. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewhsemt/> (consulté le 6 mai 2011).

GODBOUT, S., 2004 (19 octobre). *Réduire les rejets dans l'environnement : quatre systèmes de gestion sous les lattes à l'étude*, colloque sur la production porcine, Saint-Hyacinthe, organisé par le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 8 p. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/porc/documents/Godbout\\_Stephane.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/porc/documents/Godbout_Stephane.pdf) (consulté le 6 mai 2011).

GODBOUT, S. ET M. J. TURGEON, 2006 (juin). Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Centre de développement du porc du Québec (CDPQ), Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ). *Séparation des lisiers de porcs au bâtiment. Trois technologies à l'épreuve*. Porc Québec. 4 p.

GOSSELIN, B., 2005 (octobre). L'impact économique d'une bonne gestion de l'élevage. *Le producteur de lait québécois*. p. 18. [En ligne].

[http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/PATLQ\\_2005-10\\_gestion%20elevege.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/PATLQ_2005-10_gestion%20elevege.pdf) (consulté le 6 mai 2011).

HAMEL, D. et al., 2004 (octobre). *Séparation liquide-solide des déjections : un système de grappe prometteur*, Fédération des producteurs de porcs du Québec, Porc Québec, 7 p. [En ligne]. [http://www.cdpqinc.qc.ca/Champs\\_dactivite/05Technique\\_delevege/references/Environnement-syst%20de%20gratte%20prometteur.pdf](http://www.cdpqinc.qc.ca/Champs_dactivite/05Technique_delevege/references/Environnement-syst%20de%20gratte%20prometteur.pdf) (consulté le 9 juin 2010).

ILFA (Institut laitier et fourrager de l'Atlantique), 2008. *Certification du protocole et de la calculatrice à l'effet des gaz à effet de serre pour laitière canadienne*. Document de travail scientifique préparé par. Rob Janzen Agriculture et Agroalimentaire Canada. 42 p. [En ligne]. [http://www.adfiresearch.org/GHG/Appendix\\_B-f.pdf](http://www.adfiresearch.org/GHG/Appendix_B-f.pdf) (consulté le 6 mai 2011).

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1996. "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". [En ligne]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gli/invsg6c.html> (consulté le 15 novembre 2009).

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. Dong, H. et al., 87 p. [En ligne]. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_10\\_Ch10\\_Livestock.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf) (consulté le 9 juin 2010).

Jenkins, T.C. and C.M. Klein. 2009 (February 10-11). "Managing Milk Fat Depression: Interactions of Ionophores, Fat Supplements, and other Risk Factors". Proceedings 20th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium.

KEBREAB, E. et al., 2006. "Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review", *Canadian Journal of Animal Science*, n° 86, p. 135-158.

LABONTÉ, M., 2010 (26 février). Communication personnelle, Fédération des producteurs de lait du Québec.

LAROCHE, P. 2011 (28 mars). Communication personnelle, Agri-Ventes Brome.

LASSEY, K. R., 2007. "Livestock methane emission: From the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle", *Agricultural and Forest Meteorology*, n° 142, p. 120-132.

LEFEBVRE, D., 2004 (avril). « Suivi de la croissance de nouvelles courbes pour les génisses d'aujourd'hui ». Programme d'analyse des troupeaux laitiers du Québec (PATLQ). *Le producteur de lait québécois*. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/PATLQ\\_2004-04a.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/PATLQ_2004-04a.pdf) (consulté le 6 mai 2011).

LEFEBVRE, D., 2001. *Quoi de neuf dans le nouveau NRC ?* Conférence donnée dans le cadre du Symposium sur les bovins laitiers tenue à St-Hyacinthe le 17 octobre 2001, sous le thème « Des défis ? Des solutions ! ». p. 60-69. [http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/Documents/2001\\_Daniel\\_Lefebvre.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/Documents/2001_Daniel_Lefebvre.pdf) (consulté le 6 mai 2011).

MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec), 2009. *Moins de gaz à effet de serre grâce à une torchère !* [En ligne].

<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Regions/chaudiereappalaches/journalvisionagricole/2009fevrier/torchere.htm> (consulté le 6 mai 2011).

MARTIN, D. Y. et F. LÉVEILLÉE, 2006 (octobre). Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). *Évaluation des performances d'un séparateur-décanteur centrifuge pour la séparation du lisier de porcs. Description et rendement de l'équipement* (1<sup>er</sup> article de 3). Porc Québec. 3 p.

MARTIN, D. Y., LANDRY, C. et F. LÉVEILLÉE, 2007 (juin). Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). *Évaluation des performances d'un séparateur-décanteur centrifuge pour la séparation du lisier de porcs. Valorisation des sous-produits*. (2<sup>e</sup> article de 3). Porc Québec. 5 p.

MARTIN, D.Y., C. LANDRY et F. LÉVEILLÉE, 2008. « Intérêt agronomique d'un séparateur décanteur-centrifuge pour la séparation des lisiers de porc », Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), 2 p., sur le site de AgriRéseau [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Centrif\\_FT140127-2-Fa.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Centrif_FT140127-2-Fa.pdf) (consulté le 9 juin 2010).

MASSÉ, D.I., F. CROTEAU, N.K. PATNI et L. MASSE. 2003. "Methane emissions from dairy cow and swine manure slurries stored at 10°C". *Canadian Biosystems Engineering*, vol. 45: 6.1-6.6.

MASSÉ, D.I. et al., 2008. "Methane emissions from manure storages", *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, vol. 51, n° 5, p. 1775-1781.

McCAUGHEY, W.P., K. WITTENBERG et D. CORRIGAN, 1999. "Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows", *Canadian Journal of Animal Science*, n° 79, p. 221-226.

MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec), 2005. *Capacité de support des activités agricoles par les rivières : le cas du phosphore total*. 36 p.

MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec), 2009. « Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2007 et leur évolution depuis 1990 », Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère, 17 p. [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2007/inventaire2007.pdf> (consulté le 9 juin 2010).

MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec), 2010. « Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2008 et leur évolution depuis 1990 », Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère, 18 p. [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2008/inventaire1990-2008.pdf> (consulté le 17 décembre 2010).

MDDEP (ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec), 2009. « Communiqué de presse. Cible de réduction des émissions de GES Avec une cible de -20 % pour 2020, le Québec est un leader dans la lutte aux changements climatiques ». [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/infuseur/communiqu.asp?no=1591> (consulté le 29 juillet 2010).

MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec), 2002. *Le Québec en action !* [En ligne]. [http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/plan\\_action/index.htm](http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/plan_action/index.htm) (consulté le 17 décembre 2010).

MERTENS, D.R., 2010. "NDF and DMI – Has anything changed?" Conference, Innovation and Research, LLC. Cornell University, Departement of Animal Science. [En ligne] <http://www.ansci.cornell.edu/cnconf/2010proceedings/CNC2010.18.Mertens.pdf> (consulté le 6 mai 2011).

MOSS, A. R., J.P. JOUANY et J. NEWBOLD, 2000. "Methane production by ruminants: its contribution to global warming", *Annales de Zootechnie*, n° 49, p. 231-253.

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 p. [En ligne]. [http://www.naturequebec.org/ressources/fichiers/Agriculture/Fermes0carbone\\_2009/Module1/CA09-12\\_Module1\\_PratiquesGES.pdf](http://www.naturequebec.org/ressources/fichiers/Agriculture/Fermes0carbone_2009/Module1/CA09-12_Module1_PratiquesGES.pdf) (consulté le 6 mai 2011).

NRC (National Research Council), 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition*. Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition. 408 p.

OMAFRA, (Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2003. *La culture des pâturages*, publication 19-f,

PAGES (Programme d'atténuation des gaz à effet de serre), 2005. *Équipements d'épandage et gestion des lisiers : caractérisation de 75 chantiers, saison 2004*. Clubs-conseils en agroenvironnement. 8 p. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Brochure\\_ClubsConseils.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Brochure_ClubsConseils.pdf)

PAGES (Programme d'atténuation des gaz à effet de serre), non daté-a. « Gestion de l'azote des fumiers : comment réduire les pertes ? », 6 p., sur le site de Soil Conservation Council of Canada. [En ligne]. [http://www.soilcc.ca/ggmp\\_fact\\_sheets/pdf/QU\\_Vol-N-Rochette.pdf](http://www.soilcc.ca/ggmp_fact_sheets/pdf/QU_Vol-N-Rochette.pdf) (consulté le 9 juin 2010)

PAGES (Programme d'atténuation des gaz à effet de serre), non daté-b. « Les pratiques agricoles et les gaz à effet de serre (GES) », 2 p., sur le site de Soil Conservation Council of Canada. [En ligne]. [http://www.soilcc.ca/ggmp\\_fact\\_sheets/pdf/QU\\_BPG.pdf](http://www.soilcc.ca/ggmp_fact_sheets/pdf/QU_BPG.pdf) (consulté le 9 juin 2010)

PELLETIER, C., 2005 (5 janvier). « Que vaut la qualité des fourrages ? », sur le site du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. [En ligne]. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Regions/bassaintlaurent/Infofourrage/Information/Qualit%C3%A9Fourrage/> (consulté le 9 juin 2010).

PELLETIER, F. et al., 2005 (22 décembre). *Réduction des émissions de gaz à effet de serre : faisabilité de l'implantation d'une chaîne de gestion des lisiers au Québec*, IRDA et BPR, 94 p.

PHETTEPLACE, H.W., D.E. JOHNSON et A.F. SEIDI, 2001. "Greenhouse gas emissions from simulated beef and dairy livestock systems in the United States", *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, n° 90, p. 99-102.



POULIOT, F. et al., 2002. « Les toitures sur les fosses à lisier : réduction des odeurs et des volumes », Fédération des producteurs de porcs du Québec, 6 p., sur le site de AgriRéseau. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/toitures.pdf> (consulté le 9 juin 2010).

QUÉBEC, 2009 (27 mai). « Règlement sur les exploitations agricoles (REA) : Loi sur la qualité de l'environnement », Publications du Québec. [En ligne] [http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q\\_2/Q2R11\\_1.htm](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R11_1.htm) (consulté le 9 juin 2010).

ROCHETTE, P. et al., 2004. « Gestion de l'azote des fumiers : comment réduire les pertes ? », Programme d'atténuation des gaz à effet de serre. 6 p., sur le site de AgriRéseau. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/D%C3%A9pliantGES6p.pdf> (consulté le 9 juin 2010).

ROCHETTE, P., 2008. « Gestion des engrais minéraux et organiques : volatilisation de l'ammoniac ». Colloque en agroenvironnement, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, sur le site de AgriRéseau. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Rochette\\_Philippe\\_AR.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Rochette_Philippe_AR.pdf) (consulté le 9 juin 2010).

ROGNER, H.-H. et al., 2007. "Introduction. In Climate Change 2007: Mitigation". Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 22 p. [En ligne]. <http://www.ipcc-wg3.de/publications/assessment-reports/ar4/.files-ar4/Chapter01.pdf> (consulté le 9 juin 2010).

ROTZ, C.A. et al., 2009 (16<sup>th</sup> September). "Grazing can reduce the environmental impact of dairy production systems", *Forage and Grazinglands*, 10 p.

ROY, M., 2002. *L'impact des changements climatiques sur l'entomofaune agricole*. MAPAQ, Direction des services technologies. Sur le site de Agri-Réseau. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/lab/documents/Insectes%20et%20changements%20climatiques.pdf> (consulté le 6 mai 2011).

Roy, M., 2009. Conversation téléphonique, MAPAQ.

SCCC (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, n° 3. [En ligne]. <http://www.soilcc.ca/resources.htm> (consulté le 9 juin 2010).

SCHILS, R.L.M. et al., 2007. "A review of farm level modelling approaches for mitigating greenhouse gas emissions from ruminant livestock systems", *Livestock Science*, n° 112, p. 240–251.

SMITH, P. et al., 2007. "Agriculture. In Climate Change 2007: Mitigation". Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [En ligne]. [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/ch8s8-3.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch8s8-3.html) (consulté le 9 juin 2010).

UNIVERSITÉ LAVAL, non daté. « Les grands cycles biogéochimiques et les changements climatiques ». [En ligne]. <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/cycles.biogeochemiques.html> (consulté le 9 juin 2010).

U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2001. "Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 - 2009", Washington, DC, U.S.A, 459 p. [En ligne]. [http://epa.gov/climatechange/emissions/downloads/11/US-GHG-Inventory-2011-Complete\\_Report.pdf](http://epa.gov/climatechange/emissions/downloads/11/US-GHG-Inventory-2011-Complete_Report.pdf) (consulté le 9 juin 2010).

VALACTA, 2009. « Évolution de la production laitière québécoise 2008. Ajouter de la valeur à la ferme. » *Le producteur de lait québécois*, numéro spécial, 73 p. [En ligne]. [http://www.valacta.com/francais/docs/evolution\\_laitiere\\_08/el-2008\\_montage\\_complet\\_sans%20pub\\_2009-05-22\\_corr.pdf](http://www.valacta.com/francais/docs/evolution_laitiere_08/el-2008_montage_complet_sans%20pub_2009-05-22_corr.pdf) (consulté le 6 mai 2011).

VALACTA, 2007 (mars). « Vos vaches ont-elles le temps d'être payantes ? », *Le savoir laitier à votre portée*, vol. 2, n° 1. [En ligne]. [http://www.valacta.com/francais/docs/nouvelles/valacta\\_savoir%20laitier\\_2-1\\_2007-03\\_issn\\_1496-273X.pdf](http://www.valacta.com/francais/docs/nouvelles/valacta_savoir%20laitier_2-1_2007-03_issn_1496-273X.pdf) (consulté le 9 juin 2010).

VANASSE, A., 2004 Programme d'atténuation des gaz à effet de serre (PAGES). *Leadership de l'agriculture dans la réduction des GES*. 4 p. [En ligne]. [http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/GESencart\\_mars04.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/GESencart_mars04.pdf) (consulté le 6 mai 2011).

VAN DORLAND, H.A. et al., 2007. "Effect of supplementation of fresh and ensiled clovers to ryegrass on nitrogen loss and methane emission of dairy cows", *Livestock Science*, n° 111, vol. 57–69.

VERGÉ, X.P.C. et al., 2007. "Greenhouse gas emissions from the Canadian dairy industry in 2001", *Agricultural Systems*, n° 94, p. 683–693.

VIGNOLA, J.-L et A FOURNIER, 2007. « Le pâturage intensif, j'y crois, j'y vois ! ». Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, sur le site de AgriRéseau. [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/Le%20p%C3%A2turage%20intensif%20-%20Vaches%20laiti%C3%A8res%20Final.pdf> (consulté le 9 juin 2010).

ZEROCO2, non daté. « Conclusion : Sommet de Copenhague ». [En ligne]. <http://www.zeroco2.com/blog/2010/01/04/conclusion-sommet-de-copenhague/> (consulté le 9 juin 2010).

ZISKA, L.H., non daté. "Climate change impact on weeds". Non daté. [En ligne]. [www.climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/III.1Weeds.pdf](http://www.climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/III.1Weeds.pdf) (consulté le 6 mai 2011).