

**Réduction des émissions de gaz à effet de  
serre : faisabilité de l'implantation d'une chaîne  
de gestion des lisiers au Québec**

**Rapport final**

Présenté au :

Ministère du Développement Durable,  
de l'Environnement et des Parcs



Projet # 140141

Version finale

Par :

Frédéric Pelletier, ing., M.Sc.  
Stéphane Godbout, ing., Ph.D. et agr.  
Sylvain Pigeon, ing., M.Sc.  
Jean-Yves Drolet, agr., M.Sc.

22 décembre 2005



L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) est une corporation de recherche à but non lucratif, constituée en mars 1998 par quatre membres fondateurs soit le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE).

### **Notre mission**

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités d'acquisition de connaissances, de recherche, de développement et de transfert visant à favoriser le développement durable de l'agriculture.

### **Pour en savoir plus**

[www.irda.qc.ca](http://www.irda.qc.ca)

### **Le rapport peut être cité comme suit :**

Pelletier, F., S. Godbout, S. Pigeon et J.-Y. Drolet. 2005. Réduction des émissions de gaz à effet de serre : faisabilité de l'implantation d'une chaîne de gestion des lisiers au Québec. Rapport final. Version finale. IRDA et BPR. 22 décembre 2005. 94 pages.

**Réduction des émissions de gaz à effet de  
serre : faisabilité de l'implantation d'une chaîne  
de gestion des lisiers au Québec**

**Rapport final**

Présenté au :

Ministère du Développement Durable,  
de l'Environnement et des Parcs  
Bureau des changements climatiques  
675, Boul. René-Lévesque Est  
Québec (QC) Canada G1R 5V7

Préparé par :

---

Frédéric Pelletier, ing., M.Sc.  
IRDA

---

Stéphane Godbout, ing., Ph.D. et agr.  
IRDA

---

Sylvain Pigeon, ing., M.Sc.  
BPR

---

Jean-Yves Drolet, agr., M.Sc.  
BPR

22 décembre 2005

### **Équipe de réalisation du projet :**

Responsable scientifique : Stéphane Godbout, IRDA  
Chargé de projet : Frédéric Pelletier, IRDA  
Collaborateurs : Sylvain Pigeon, BPR (chargé de projet)  
Jean-Yves Drolet, BPR  
Personnes ressources : François Boutin, FPPQ  
Denis Côté, IRDA  
Marc Deblois, MDDEP (chargé de projet)  
Michel Goulet, MDDEP  
Yvan Lajoie, MAPAQ  
Nancy Lease, MAPAQ (chargé de projet)  
Denis Naud, MAPAQ  
Francis Pouliot, CDPQ  
Pierre Vallée, MDDEP

### **Équipe de rédaction du rapport :**

Frédéric Pelletier, IRDA  
Stéphane Godbout, IRDA  
Sylvain Pigeon, BPR  
Jean-Yves Drolet, BPR

### **Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :**

Frédéric Pelletier  
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)  
2700, rue Einstein  
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8

Téléphone : (418) 528-9477  
Télécopieur : (418) 644-6855  
e-mail : frederic.pelletier@irda.qc.ca

## Résumé

Ce rapport présente les résultats obtenus dans le cadre du projet intitulé : « Réduction des émissions de gaz à effet de serre : faisabilité de l'implantation d'une chaîne de gestion des lisiers au Québec ». Le projet visait à étudier, dans le secteur porcin, des scénarios de chaînes de gestion des lisiers qui satisferaient aux objectifs de réduction des GES tout en étant viables sur les plans agronomiques, environnementaux, économiques et sociaux.

Dans le cadre du projet, une entreprise porcine de type naisseur-finisseeur comptant 200 truies en inventaire et produisant environ 4 000 porcs par année a été retenue. Dans le but de vérifier leur faisabilité, les sept chaînes de gestion suivantes ont été appliquées à cette entreprise :

- 1-a: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à proximité de la ferme;
- 1-b: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à 30 km de la ferme;
- 2-a: Séparation du lisier à la sortie du bâtiment avec épandage de la fraction liquide et exportation du solide vers un centre de traitement;
- 2-b: Système de collecte sélective des solides et liquides sous les lattes à l'intérieur du bâtiment avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide vers un centre de traitement;
- 3-a: Traitement aérobie partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide vers un centre de traitement;
- 3-b: Traitement anaérobie partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide vers un centre de traitement;
- 4: Traitement centralisé complet avec rejet au cours d'eau et récupération des éléments nutritifs et leur valorisation.

Certains éléments du bilan des émissions de GES, du bilan agronomique et des coûts permettant la comparaison des chaînes ont été évalués pour les sept chaînes de gestion des lisiers. Les impacts environnementaux tels que les émissions d'odeurs produites par la gestion du lisier et la concentration des principaux éléments fertilisants dans le lisier ont aussi été pris en compte.

Selon les résultats obtenus, la gestion conventionnelle du lisier avec épandage à proximité de la ferme (chaîne 1-a) émet près de 681 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année (t éq. CO<sub>2</sub> année<sup>-1</sup>). En comparaison, la chaîne de gestion conventionnelle avec épandage à 30 km de la ferme (chaîne 1-b) émet 696 t éq. CO<sub>2</sub> année<sup>-1</sup>, l'augmentation de 15 tonnes étant causée par le transport du lisier. La séparation du lisier de porc par centrifugation (chaîne 2-a) permet de réduire les émissions de GES de 17 t éq. CO<sub>2</sub> année<sup>-1</sup> tandis que la séparation du lisier de porc dans le bâtiment (chaîne 2-b) diminue les émissions de GES de 47 t éq. CO<sub>2</sub> année<sup>-1</sup> par rapport à la gestion conventionnelle du lisier (chaîne 1-a). Les performances des systèmes de séparation à la sortie du bâtiment après formation du lisier (mélange des fèces et de l'urine) et des systèmes de collecte sélective des fèces et de l'urine sous les lattes montrent des différences croissantes avec le scénario de gestion conventionnelle avec une augmentation du taux de capture des solides. De façon générale, la dynamique de l'émission de méthane en gestion liquide est déplacée par les systèmes de séparation vers une dynamique d'émission de protoxyde d'azote en raison de la production d'une

fraction solide plus susceptible d'émettre un tel composé. Une ferme équipée d'un système de traitement du lisier aérobie partiel (chaîne 3-a) émet 681 t éq. CO<sub>2</sub> année<sup>-1</sup> soit la même quantité que la gestion conventionnelle du lisier (chaîne 1-a).

Le traitement des lisiers par digestion anaérobie, à la ferme ou centralisé, constitue les chaînes pour lesquelles les émissions globales de GES sont les plus faibles. La récupération partielle ou totale du méthane généré au bâtiment ou à l'entreposage constitue l'élément déterminant de l'efficacité de cette chaîne. Une ferme munie d'un système de traitement anaérobie partiel (chaîne 3-b) émet 539 t éq. CO<sub>2</sub> année<sup>-1</sup>. La réduction des émissions de GES observée à la chaîne de gestion 3-b est le résultat de la substitution du propane utilisé pour le chauffage des bâtiments en hiver par une partie du biogaz produit (35 %). Le traitement de tout le lisier produit à la ferme dans un centre de traitement centralisé complet permet de réduire les émissions de GES à 374 t éq. CO<sub>2</sub> année<sup>-1</sup>, une réduction de 307 tonnes par rapport à la gestion conventionnelle du lisier. Dans ce cas, la réduction des émissions de GES est due, en grande partie, au fait que 80 % du biogaz produit est utilisé pour remplacer la consommation de combustible fossile pour générer de l'énergie thermique.

La présente étude a également montré que les émissions au champ, directes ou indirectes, représentent, pour tous les scénarios, au moins 40 % des émissions totales de GES, limitant l'impact de la modification des autres éléments du budget global de production de gaz. Il est à noter que ces émissions sont relativement constantes d'une chaîne de gestion à l'autre car une superficie en culture a été déterminée et maintenue pour toutes les chaînes de gestion.

Sur le plan économique, compte tenu de l'origine du développement des technologies de traitement qui est principalement la résorption des surplus en zone de concentration d'élevage, il n'existe pas de lien direct entre le coût d'une chaîne de gestion et son potentiel à réduire les émissions de GES. Par conséquent, ce ne sont pas nécessairement les scénarios les plus coûteux qui sont les plus efficaces pour réduire les GES.

Les coûts pour la gestion conventionnelle du lisier (chaîne 1-a) sont de l'ordre de 5,30 \$ par porc produit. Ces coûts sont essentiellement reliés à l'épandage des lisiers bruts ainsi qu'à l'achat et l'épandage des engrais minéraux azotés nécessaires à la fertilisation complémentaire. Pour l'entreprise devant transporter ses lisiers à une distance de 30 km pour les épandre (chaîne 1-b), les coûts globaux de cette chaîne augmentent ainsi de plus du double, passant à 11,20 \$ par porc produit. La filière de séparation du lisier par centrifugation (chaîne 2-a) entraîne des coûts de l'ordre de 18,00 \$ par porc produit. Dans ce dernier cas, les coûts globaux sont substantiellement plus élevés que la ferme conventionnelle qui épand ses lisiers à proximité et de plus de 60 % supérieurs au scénario de la ferme qui doit épandre ses lisiers à 30 km de ses installations d'élevage. La séparation du lisier de porc dans le bâtiment (chaîne 2-b) entraîne des coûts globaux de l'ordre de 10,10 \$ par porc produit, faisant de ce scénario le moins dispendieux par rapport à la gestion conventionnelle. Le traitement partiel aérobie (chaîne 3-a) représente des coûts de l'ordre de 18,80 \$ par porc produit tandis que le traitement partiel anaérobie (chaîne 3-b) entraîne des coûts de l'ordre de 15,90 \$ par porc produit. L'analyse économique de la chaîne de traitement anaérobie centralisé (chaîne 4) démontre que le coût global de ce scénario est le plus élevé de tous les scénarios étudiés à 27,90 \$ par porc produit. En comparaison avec la chaîne de gestion 1-a, sur une base de réduction des émissions de GES, la chaîne de traitement anaérobie partielle (chaîne 3-b) est la plus économique.

Finale­ment, l'efficacité des chaînes est relative et comparée à une ferme type qui sert de référence. Comme tout modèle, cette ferme de référence ne traduit pas nécessaire­ment la multitude des cas de figure qui pourraient servir de base pour l'analyse des GES dans différents contextes.  galement, il est de mise de mentionner que les technologies retenues pour l'élaboration des scénarios sont des technologies en développement au Québec. Elles ont été initialement conçues avec un souci davantage relié à la problématique des réductions de charge que d'efficacité reliée au GES.

## Table des matières

Résumé.....	i
Table des matières.....	iv
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures.....	viii
Liste des symboles.....	ix
1 Introduction.....	11
2 La production porcine au Québec.....	13
3 Les émissions de gaz à effet de serre en agriculture au Canada.....	15
4 Méthodologie.....	17
4.1 Entreprise porcine type.....	17
4.1.1 Description de la ferme, performances de l'élevage et caractéristiques du lisier.....	17
4.1.2 Cultures.....	20
4.1.3 Facteurs de pertes.....	22
4.1.4 Notion d'équilibre.....	22
4.2 Chaînes de gestion étudiées.....	23
4.2.1 1-a: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à proximité de la ferme.....	23
4.2.2 1-b: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à 30 km de la ferme.....	24
4.2.3 2-a: Séparation du lisier à la sortie du bâtiment avec épandage de la fraction liquide et exportation du solide.....	25
4.2.4 2-b: Système de collecte sélective des solides et liquides sous les lattes à l'intérieur du bâtiment avec épandage à proximité de la ferme de la fraction liquide et exportation de la fraction solide.....	28
4.2.5 3-a: Traitement aérobic partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide.....	31
4.2.6 3-b: Traitement anaérobic partiel à la ferme avec épandage à proximité de la ferme de la fraction liquide et exportation de la fraction solide.....	35
4.2.7 4: Traitement centralisé complet avec rejet au cours d'eau et récupération des éléments nutritifs et leur valorisation.....	39
4.3 Méthode de calcul des émissions de GES.....	43
4.3.1 Bâtiment porcin (bâtiment conventionnel et bâtiment équipé d'un système de collecte sélective des solides et des liquides sous les lattes).....	43
4.3.2 Fosse (entreposage de lisier brut et de la fraction liquide après séparation ou traitement).....	44
4.3.3 Compostage de la fraction solide.....	46
4.3.4 Sols.....	47
4.3.5 Énergie utilisée à la ferme.....	52
4.3.6 Combustion du diesel lors de l'épandage et du transport.....	52
4.3.7 Centre de compostage.....	56
4.3.8 Fabrication d'engrais minéraux.....	56

---

4.3.9	Traitement aérobie.....	56
4.4	Méthode de calcul de l'analyse économique.....	57
4.4.1	Immobilisations.....	57
4.4.2	Frais fixes.....	58
4.4.3	Frais variables.....	58
5	Résultats d'émissions de GES des chaînes de gestion.....	60
5.1	Définitions.....	60
5.2	Chaîne de gestion 1-a.....	62
5.3	Chaîne de gestion 1-b.....	64
5.4	Chaîne de gestion 2-a.....	66
5.5	Chaîne de gestion 2-b.....	68
5.6	Chaîne de gestion 3-a.....	71
5.7	Chaîne de gestion 3-b.....	73
5.8	Chaîne de gestion 4.....	75
5.9	Synthèse des émissions de GES.....	77
6	Résultats de l'analyse économique.....	80
7	Synthèse et discussion.....	83
7.1	Émissions de GES.....	83
7.2	Constat en zone de surplus.....	84
7.3	Considérations économiques.....	85
7.4	Les scénarios et les aspects sociaux.....	86
7.5	Résumé.....	86
8	Conclusion.....	89
9	Remerciements.....	90
10	Références.....	91

## Liste des tableaux

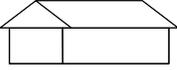
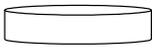
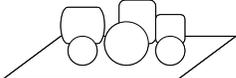
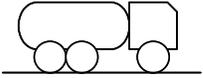
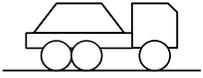
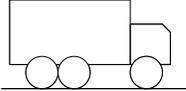
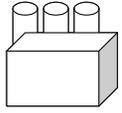
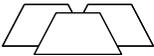
Tableau 1.	Taille moyenne des lieux d'élevage porcin selon le type d'élevage par région.....	14
Tableau 2.	Caractéristiques et performances de l'élevage porcin de la ferme type .....	18
Tableau 3.	Caractéristiques des lisiers produits par la ferme type.....	19
Tableau 4.	Fertilisants organiques totaux et disponibles produits par l'entreprise type .....	20
Tableau 5.	Quantité d'éléments fertilisants nécessaires pour combler les besoins des cultures.....	21
Tableau 6.	Facteurs de perte d'azote, de volume et de masse attribuables à la gestion des lisiers et de ses sous-produits.....	22
Tableau 7.	Taux de capture du décanteur centrifuge de la chaîne de gestion 2-a .....	27
Tableau 8.	Caractéristiques des fractions solide et liquide après séparation pour la chaîne de gestion 2-a.....	27
Tableau 9.	Masse et volume des fractions solide et liquide après séparation pour la chaîne de gestion 2-a.....	27
Tableau 10.	Bilan des éléments fertilisants de la chaîne de gestion 2-a.....	27
Tableau 11.	Taux de capture du système de collecte sélective des solides et liquides sous les lattes à l'intérieur du bâtiment de la chaîne de gestion 2-b.....	30
Tableau 12.	Caractéristiques des fractions solides et liquides après séparation dans la chaîne de gestion 2-b .....	30
Tableau 13.	Masse et volume des fractions liquides et solides après séparation dans la chaîne de gestion 2-b .....	30
Tableau 14.	Bilan des éléments fertilisants de la chaîne de gestion 2-b.....	30
Tableau 15.	Taux de capture aux différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 3-a .....	34
Tableau 16.	Caractéristiques des fractions solides et liquides après les différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 3-a.....	34
Tableau 17.	Masse et volume des fractions solides et liquides après traitement dans la chaîne de gestion 3-a.....	34
Tableau 18.	Bilan des éléments fertilisants de la chaîne de gestion 3-a.....	34
Tableau 19.	Taux de capture aux différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 3-b .....	38
Tableau 20.	Caractéristiques des fractions solides et liquides après les différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 3-b.....	38
Tableau 21.	Masse et volume des fractions liquides et solides après traitement dans la chaîne de gestion 3-b .....	38

Tableau 22. Bilan des éléments fertilisants de la chaîne de gestion 3-b.....	38
Tableau 23. Taux de capture aux différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 4.....	42
Tableau 24. Caractéristiques des fractions solides et liquides après les différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 4.....	42
Tableau 25. Bilan des éléments fertilisants de la chaîne de gestion 4.....	42
Tableau 26. Émissions de CH <sub>4</sub> par les porcs à l'engraissement retrouvées dans la littérature.....	44
Tableau 27. Émissions de CH <sub>4</sub> au bâtiment.....	44
Tableau 28. Émissions de CH <sub>4</sub> au cours de l'entreposage du lisier brut en fosse étanche.....	45
Tableau 29. Production de GES à partir de la source d'énergie utilisée à la ferme.....	52
Tableau 30. Consommation de diesel lors de l'épandage (lisier brut, fraction liquide, compost et engrais minéral).....	55
Tableau 31. Consommation de diesel pour le transport sur de longues distances (lisier brut, fraction liquide, compost et engrais minéral).....	55
Tableau 32. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 1-a.....	63
Tableau 33. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 1-b.....	65
Tableau 34. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 2-a.....	67
Tableau 35. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 2-b.....	70
Tableau 36. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 3-a.....	72
Tableau 37. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 3-b.....	74
Tableau 38. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 4.....	76
Tableau 39. Émissions totales annuelles de GES pour les différentes chaînes de gestion.....	79
Tableau 40. Coûts des chaînes de gestion des lisiers.....	82
Tableau 41. Tableau synthèse: Émissions de GES et coûts de la réduction pour les différentes chaînes de gestion.....	88

## Liste des figures

Figure 1.	Répartition des entreprises porcines au Québec selon le type d'exploitation .....	13
Figure 2.	Répartition sectorielle des émissions de GES au Canada en 2002 .....	15
Figure 3.	Émissions de GES au Canada par gaz en 2002.....	15
Figure 4.	Émissions de GES de la production porcine au Québec par rapport au secteur agricole québécois et au total des émissions québécoises et canadiennes .....	16
Figure 5.	Chaîne de gestion 1-a: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à proximité de la ferme .....	23
Figure 6.	Chaîne de gestion 1-b: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à une distance de 30 km de la ferme.....	24
Figure 7.	Chaîne de gestion 2-a: Séparation du lisier à la sortie du bâtiment avec épandage de la fraction liquide et exportation du solide .....	25
Figure 8.	Chaîne de gestion 2-b: Système de collecte sélective des solides et liquides sous les lattes à l'intérieur du bâtiment avec épandage à proximité de la ferme de la fraction liquide et exportation de la fraction solide .....	28
Figure 9.	Chaîne de gestion 3-a: Traitement aérobie partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide .....	32
Figure 10.	Chaîne de gestion 3-b: Traitement anaérobie partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide à proximité de la ferme et exportation de la fraction solide .....	36
Figure 11.	Chaîne de gestion 4: Traitement centralisé complet avec rejet au milieu naturel et récupération et valorisation des éléments nutritifs .....	40

## Liste des symboles

Symbole	Signification
	Bâtiment porcin conventionnel sous gestion liquide du lisier
	Bâtiment porcin avec système de collecte sélective des solides et liquides sous les lattes
	Fosse d'entreposage du lisier brut ou de la fraction liquide du lisier après séparation
	Épandage de lisier brut ou de la fraction liquide du lisier après séparation
	Épandage d'engrais chimique
	Transport sur de longues distances du lisier brut ou de la fraction liquide du lisier après séparation
	Transport sur de longues distances de la fraction solide du lisier après séparation
	Transport des sous-produits de la fraction solide du lisier suite au traitement ou transport des engrais chimiques de l'usine à la ferme
	Usine de fabrication d'engrais chimique
	Compostage et transformation en un sous-produit de la fraction solide du lisier après séparation
	Valorisation sur des terres agricoles des sous-produits de la fraction solide du lisier après séparation
	Rejet au cours d'eau de la fraction liquide après traitement complet



## 1 Introduction

Ce rapport présente les résultats obtenus dans le cadre du projet intitulé : « Réduction des émissions de gaz à effet de serre : faisabilité de l'implantation d'une chaîne de gestion des lisiers au Québec ».

Le projet visait à étudier, dans le secteur porcin, des scénarios de chaînes de gestion des lisiers qui satisfont des objectifs de réduction des GES tout en étant viables sur les plans agronomiques, environnementaux, économiques et sociaux.

Les objectifs spécifiques du projet étaient les suivants :

- Inventorier les systèmes de gestion des lisiers adaptables au Québec dans le secteur porcin et estimer la production de GES (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) à chaque maillon de la chaîne de chacun de ces systèmes;
- Analyser différents scénarios d'optimisation du contrôle des émissions de GES pour les systèmes répertoriés et identifier un nombre limité de scénarios présentant un potentiel d'application intéressant;
- Évaluer la faisabilité des scénarios retenus, notamment les contraintes techniques, économiques ou sociales liées à l'implantation et au déploiement de ces technologies dans le contexte particulier des régions à forte concentration d'élevage du Québec;

Dans le cadre du projet, les sept chaînes de gestion des lisiers suivantes ont été retenues :

- 1-a: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à proximité de la ferme;
- 1-b: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à 30 km de la ferme;
- 2-a: Séparation du lisier à la sortie du bâtiment avec épandage de la fraction liquide et exportation du solide vers un centre de traitement;
- 2-b: Système de collecte sélective des solides et liquides sous les lattes à l'intérieur du bâtiment avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide vers un centre de traitement;
- 3-a: Traitement aérobie partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide vers un centre de traitement;
- 3-b: Traitement anaérobie partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide vers un centre de traitement;
- 4: Traitement centralisé complet avec rejet au cours d'eau et récupération des éléments nutritifs et leur valorisation.

Le bilan des émissions de GES, le bilan agronomique et une étude économique ont été réalisés sur les sept chaînes de gestion des lisiers.

Les impacts environnementaux tels que les émissions d'ammoniac et d'odeurs produites par la gestion du lisier et la concentration des principaux éléments fertilisants (azote et phosphore) dans le lisier ont été aussi pris en compte.

Dans un premier temps, le rapport présente une description sommaire de la production porcine au Québec, une vue d'ensemble des émissions de gaz à effet de serre en agriculture au Canada et au Québec et la contribution de la production porcine à ces émissions. Le rapport contient toute la méthodologie retenue soit, la description de la ferme porcine type, les chaînes de gestion étudiées, la méthode de calcul des émissions de GES et la méthode de calcul de l'analyse économique. Les résultats d'émissions de GES ainsi que les résultats de l'analyse économique sont présentés pour chaque chaîne. Une synthèse regroupant et analysant tous les principaux résultats est présentée à la fin du rapport.

## 2 La production porcine au Québec

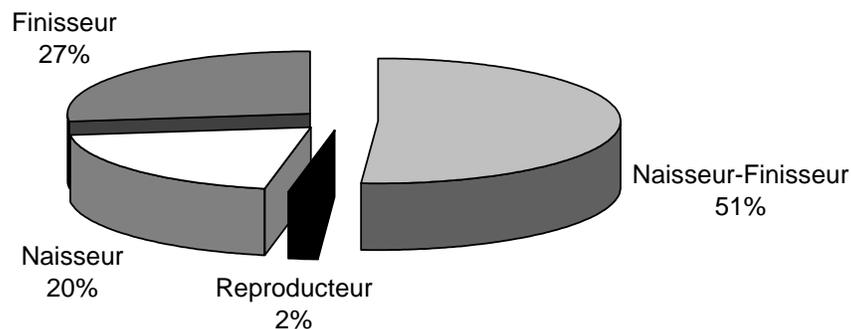
Au Québec en 2001, 2 743 entreprises déclaraient élever ou produire des porcs (BAPE, 2003) et au cours des dernières années, le volume de production annuelle s'est accru, passant de 5 701 364 têtes en 1997, à 7 512 675 de têtes en 2002 (FPPQ, 2004a).

Selon les données de recensement de 2001, 74 % des entreprises porcines québécoises sont concentrées dans trois régions administratives : Chaudière-Appalaches, Montérégie et Centre-du-Québec. Ces trois régions comptent 77 % du cheptel porcine québécois. La Montérégie demeure la région la plus importante en production porcine avec 33 % du cheptel. Elle est suivie par Chaudière-Appalaches (29 %) et par Centre-du-Québec (14 %) (BAPE, 2003).

Au Québec, il existe différents types de producteurs répartis principalement selon les quatre catégories suivantes :

- les reproducteurs produisent les animaux destinés à la reproduction (races pures et hybrides);
- les naisseurs possèdent un troupeau de truies donnant naissance (maternité) à des porcelets destinés à l'engraissement;
- les finisseurs engraisent les porcelets jusqu'au poids du marché;
- les naisseurs-finisieurs intègrent la production porcine, de la naissance des porcelets jusqu'au poids du marché.

Par ailleurs, certains producteurs gèrent aussi des pouponnières. Ils s'occupent de porcelets après sevrage pendant environ 50 jours avant de les transférer chez un finisseur (FPPQ, 2004a). La répartition des entreprises porcines au Québec selon le type d'exploitation, en 2002, est présentée à la figure 1.



Source: FPPQ (2004a)

**Figure 1. Répartition des entreprises porcines au Québec selon le type d'exploitation**

En moyenne, les fermes porcines québécoises possèdent 200 truies et comptent 1000 porcs à l'engraissement (FPPQ, 2004a). Le tableau 1 tiré du rapport du BAPE (2003) montre la taille moyenne des lieux d'élevage porcine selon le type de producteurs par région administrative.

**Tableau 1. Taille moyenne des lieux d'élevage porcin selon le type d'élevage par région**

Région administrative <sup>[a]</sup>	Lieux d'élevage porcin						
	Taille moyenne (UA) <sup>[b]</sup>	Type "naisseur"		Type "finisseur"		Type "naisseur-finisseur"	
		Proportion (%)	Taille moyenne (UA)	Proportion (%)	Taille moyenne (UA)	Proportion (%)	Taille moyenne (UA)
Toutes les régions	208	25,0	94	41,0	276	34,0	248
Abitibi-Témiscamingue	62	37,5	63	25,0	230	37,5	16
Bas-Saint-Laurent	222	14,0	332	48,8	358	37,2	336
Capitale-Nationale	227	22,0	58	28,8	356	49,2	302
Centre-du-Québec	215	23,2	94	41,8	278	35,0	267
Chaudière-Appalaches	163	22,5	85	36,3	217	41,2	228
Estrie	218	17,0	115	34,8	275	48,2	277
Lanaudière	190	38,8	71	40,8	308	20,4	241
Laurentides	168	25,9	23	44,4	210	29,6	192
Mauricie	214	31,4	143	47,7	291	20,9	296
Montérégie Est	218	27,2	99	45,6	305	27,3	245
Montérégie Ouest	290	17,7	122	57,0	398	25,3	324
Saguenay-Lac-Saint-Jean, Côte-Nord et Nord-du-Québec	113	20,0	42	40,0	129	40,0	263

<sup>[a]</sup> La région de l'Outaouais a volontairement été retirée du tableau en raison d'un manque de données.

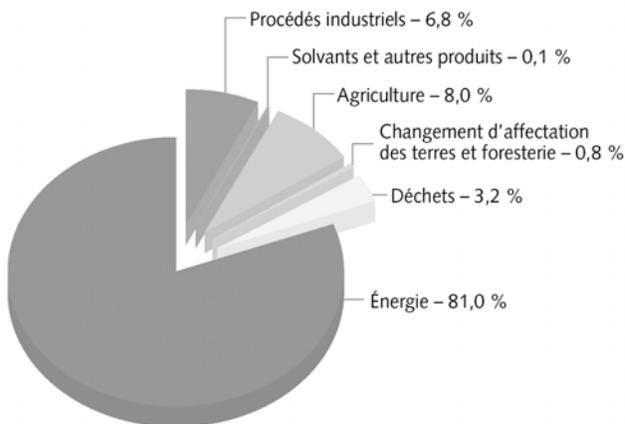
<sup>[b]</sup> UA = Unité animale (1 unité animale équivaut à 5 porcs à l'engraissement ou 25 porcelets ou 4 truies et les porcelets non sevrés).

Source: BPR Groupe-conseil et GREPA (2000) cité dans BAPE (2003)

### 3 Les émissions de gaz à effet de serre en agriculture au Canada

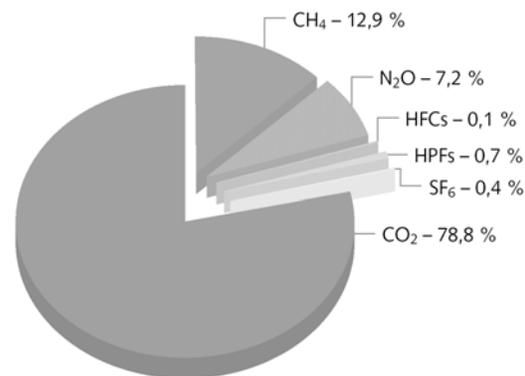
Selon le dernier inventaire canadien des GES, en 2002, les Canadiens ont rejeté environ 731 mégatonnes d'équivalent en CO<sub>2</sub> (Mt éq. CO<sub>2</sub>) de GES dans l'atmosphère, une augmentation de 2,1 % par rapport aux 716 Mt enregistrées en 2001 (Matin et al., 2004). Environ 74 % des émissions totales de GES en 2002 sont attribuables à l'utilisation des combustibles fossiles. Huit (8) autres pour cent proviennent de sources fugitives, ce qui permet de conclure que plus de 81 % des émissions provenaient du secteur de l'énergie. Une ventilation sectorielle du total des émissions canadiennes pour 2002 est présentée à la figure 2.

Par rapport à l'ensemble des GES, le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) constituait la part la plus importante part des émissions de 2002, soit 78,8 % (environ 576 Mt), tandis que le méthane (CH<sub>4</sub>) représentait 12,9 % (94 Mt). Le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) représentait 7,2 % (53 Mt), les HPF, 0,7 % (5 Mt), le résiduel étant des émissions de SF<sub>6</sub> et de HFC (figure 3).



Source : Matin et al. (2004)

**Figure 2. Répartition sectorielle des émissions de GES au Canada en 2002**



Source : Matin et al. (2004)

**Figure 3. Émissions de GES au Canada par gaz en 2002**

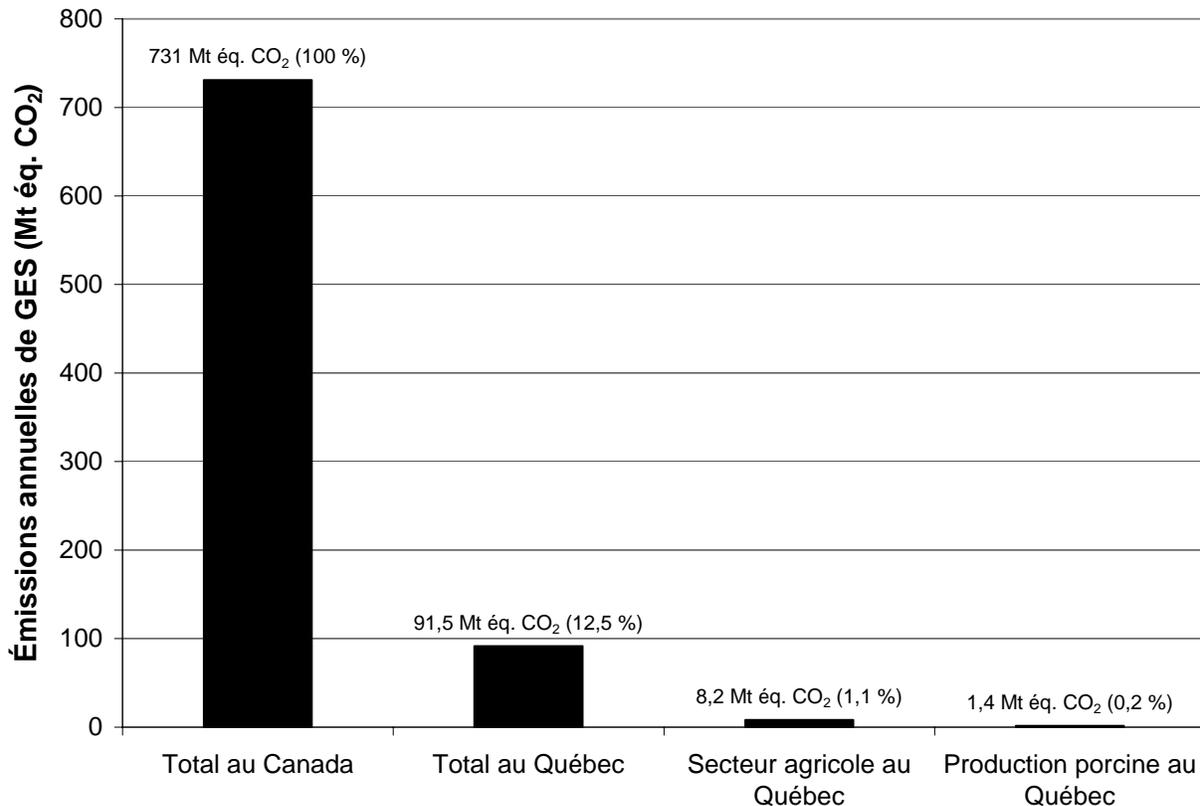
Les émissions agricoles représentaient 8,1 % (ou 59 Mt) des émissions canadiennes de 2002, une baisse de 0,8 % par rapport à 1990. La totalité de ces émissions provient de sources non énergétiques; le N<sub>2</sub>O représentait environ 60 % des émissions du secteur et le CH<sub>4</sub>, près de 40 %. Pour leur part, les sols agricoles représentent une source d'absorption nette de CO<sub>2</sub> estimée à 0,5 Mt en 2002. Les activités émettant des GES dans le secteur agricole sont la fermentation entérique des animaux domestiques, la gestion du fumier, l'épandage d'engrais et les pratiques culturales qui provoquent les émissions de GES ou leur séquestration dans les sols.

En 2002, la fermentation entérique des animaux domestiques (processus digestifs générant du CH<sub>4</sub>) et la gestion du fumier (qui rejette du CH<sub>4</sub> et du N<sub>2</sub>O) étaient responsables de presque 49 % des émissions totales de GES du secteur agricole. L'exploitation des sols et les pratiques aratoires contribuant aux émissions de N<sub>2</sub>O (en raison des méthodes d'épandage d'engrais) représentaient environ 51 % des émissions totales de GES du secteur agricole. Il faut toutefois noter qu'en raison de l'adoption du travail minimum du sol et du semis direct ainsi que de la réduction de la

fréquence des mises en jachère, les sols agricoles ont absorbé 0,5 Mt d'équivalent CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.

En 2002, les émissions de GES au Québec étaient de 91,5 Mt éq. CO<sub>2</sub>. L'agriculture y représente 9 % des émissions soit environ 8,2 Mt éq. CO<sub>2</sub> (Matin et al., 2004). Selon Houle et al. (2002), les sols agricoles constituent la principale source de ces émissions avec une contribution de 42,5 %. Suivent la gestion du fumier avec 31,0 % et la fermentation entérique avec 26,5 %. Entre 1990 et 2000, les émissions dues à la gestion des sols agricoles ont augmenté de 9 %, celles dues à la gestion du fumier ont augmenté de 5,7 % tandis que les émissions générées par le bétail ont diminué de 11 % en raison de la réduction du cheptel de vaches laitières.

Selon les estimations réalisées à l'aide des méthodes présentées dans Matin et al. (2004), les émissions de GES de la production porcine au Québec sont de 1,4 Mt éq. CO<sub>2</sub> soit, 17,3 % du total des émissions de GES en agriculture au Québec. À l'échelle canadienne, les émissions de GES de la production porcine québécoise représentent 2,4 % des émissions associées à l'agriculture et 0,2 % du total des émissions canadiennes (figure 4).



**Figure 4. Émissions de GES de la production porcine au Québec par rapport au secteur agricole québécois et au total des émissions québécoises et canadiennes**

## **4 Méthodologie**

### **4.1 Entreprise porcine type**

#### **4.1.1 Description de la ferme, performances de l'élevage et caractéristiques du lisier**

L'entreprise porcine type retenue pour fin de calcul dans ce projet est inspirée de l'AGDEX 440/821g (CRÉAQ, 1999a), soit une entreprise porcine de type naisseur-finiisseur située dans la région de la Montérégie possédant 200 truies en inventaire et produisant environ 4 000 porcs par année. Les trois stades de production (maternité, pouponnière et engraissement) sont regroupés sur un seul site. Le sevrage des porcelets se fait après 21 jours, l'élevage est conduit en bande aux trois semaines et en tout-plein/tout-vide par chambre. Les caractéristiques et les performances de l'élevage sont regroupées au tableau 2.

Dans le cadre du projet, les caractéristiques du lisier ont été tirées d'un projet de caractérisation du lisier réalisé en Chaudière-Appalache (Seydoux et al., 2004). Les caractéristiques des lisiers produits sont présentées au tableau 3.

L'entreprise possède une fosse d'entreposage conventionnelle en béton permettant d'entreposer tous les lisiers produits à la ferme durant une période de 300 jours. La fosse a un diamètre de 33,10 m (108,5 pieds) et une profondeur de 4,88 m (16 pieds). La fosse ne possède pas de toiture.

**Tableau 2. Caractéristiques et performances de l'élevage porcin de la ferme type**

<b>Maternité</b>		
Nombre de truies en inventaire	200	truies
Masse moyenne des truies	200	kg
Productivité par truie inventaire	20,6	porcelets sevrés par truie par année
Nombre de mise-bas par truie	2,3	mise-bas par truie par année
Nombre de verrats	4	verrats
Masse moyenne des verrats	200	kg
<b>Pouponnière</b>		
Nombre de porcelets entrés en pouponnière	4 124	porcelets par année
Masse des porcelets entrés en pouponnière	6,5	kg
Masse des porcelets à la sortie	20	kg
Masse moyenne des porcelets	13,25	kg
Taux de conversion alimentaire	1,7	kg de moulée/kg de gain de poids vif
Gain moyen quotidien	386	g/jour
Âge des porcelets au sevrage	21	jours
Âge à la sortie de la pouponnière	56	jours
Taux de mortalité	3	%
Nombre de places en pouponnière	400	places
<b>Engraissement</b>		
Nombre de porcs entrés en engraissement	4 000	porcs par année
Poids des porcs entrés en engraissement	20	kg
Poids des porcs à la sortie	107	kg
Masse moyenne des porcs	65	kg
Taux de rotation de l'élevage	3,1	rotation/année
Taux de conversion alimentaire	2,94	kg de moulée / kg de gain de poids vif
Taux de mortalité	1,93	%
Nombre de porcs à la sortie	3 923	porcs/année
Nombre de places en engraissement	1 300	places

**Tableau 3. Caractéristiques des lisiers produits par la ferme type**

	Volume <sup>[a-b]</sup>		M.S. <sup>[c]</sup>		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	Mn	Ca	Mg	M.O. <sup>[d]</sup>	C/N
	m <sup>3</sup> tête <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup>	%	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	
Maternité	8,76	1 752	2,68	26,80	2,88	1,95	1,47	0,008	0,050	0,013	1,163	0,354	18,43	3,2
Pouponnière	0,078	317	2,32	23,20	2,60	1,59	2,12	0,037	0,296	0,016	0,783	0,318	14,04	2,7
Engraissement	0,64	2 535	3,46	34,60	3,45	1,82	2,06	0,026	0,045	0,017	0,822	0,410	24,84	3,6
Verrats	5,8	23	2,68	26,80	2,88	1,95	1,47	0,008	0,050	0,013	1,163	0,354	18,43	3,2
Analyses de lisier incluant les précipitations		4 627	3,08	30,8	3,17	1,85	1,84	0,02	0,06	0,02	0,95	0,38	21,64	3,41
Production annuelle totale de la ferme type (m <sup>3</sup> ou kg)		4 627	142 650	14 683	8 580	8 504	92	297	71	4 397	1 769	100 147		

<sup>[a]</sup> Les volumes de lisier produits par les animaux en maternité, pouponnière et engraissement proviennent de CRAAQ (2003a).

<sup>[b]</sup> Les volumes de lisier produits par les verrats proviennent de CRÉAQ (1999b).

<sup>[c]</sup> M.S. = Matière sèche.

<sup>[d]</sup> M.O. = Matière organique.

### 4.1.2 Cultures

L'entreprise dispose, en propriété, en location ou en entente d'épandage, et à proximité de la ferme, d'une superficie totale de 143 ha, dont 71,4 ha de maïs-grain, 35,7 ha de soya et 35,7 ha d'orge. Sur la base du phosphore, cette superficie est suffisante pour épandre tout le lisier produit à la ferme.

Les coefficients d'efficacité des éléments fertilisants (N et K<sub>2</sub>O) et les facteurs de perte causée par la volatilisation et la date d'épandage pour le lisier brut ou la fraction liquide du lisier après séparation et le compost sont présentés au tableau 4. Le lisier est épandu par rampe en pré-semis et il est incorporé au sol moins de 48 heures après son épandage. Les coefficients d'efficacité et les facteurs de perte proviennent du Guide de référence en fertilisation (CRAAQ, 2003b). Les coefficients du lisier de porc ont été utilisés pour les calculs lors de l'épandage de lisier brut et également lors de l'épandage de la fraction liquide du lisier après séparation ou traitement partiel à la ferme. L'arrière-effet du lisier pour l'azote a été considéré à 5 % de l'azote appliqué. Par ailleurs, faute de coefficients spécifiques, les coefficients d'efficacité du compost produit avec la fraction solide du lisier de porc sont ceux du fumier de bovin. Donc, dans le cas du compost, les coefficients d'efficacité de l'azote et du potassium sont respectivement de 45 et 90 %.

**Tableau 4. Fertilisants organiques totaux et disponibles produits par l'entreprise type**

	Éléments fertilisants	
	N	K <sub>2</sub> O
Lisier brut ou fraction liquide du lisier après séparation		
Efficacité 1ère année (%)	60	90
Efficacité 2ème année (%)	5	-
Facteur de perte par volatilisation	1,2	1,0
Facteur date d'épandage	1,0	1,0
Compost		
Efficacité 1ère année (%)	45	90
Efficacité 2ème année (%)	-	-
Facteur date d'épandage	1,0	1,0

Selon Beaudet et al. (2003), les moyennes des teneurs en phosphore et en potassium des sols de la Montérégie sont respectivement de 155 kg P ha<sup>-1</sup> et 274 kg K ha<sup>-1</sup>, alors que le taux de saturation en phosphore y est de 6,6 %. Les besoins des cultures en éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) sont présentés au tableau 5.

Les besoins des cultures en azote et en potassium ont été établis à partir du Guide de référence en fertilisation publié par le CRAAQ (2003b). Les besoins en azote pour la culture du maïs-grain, du soya et de l'orge ont été fixés à respectivement 160, 30 et 100 kg N ha<sup>-1</sup>, alors que les besoins en potassium ont été fixés à 50 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> et 20 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> pour la culture du maïs-grain et de

l'orge respectivement. Pour les conditions de sol retenues, les besoins en potassium du soya seraient nuls.

Dans le cas du phosphore, il a été retenu que les apports de phosphore total seraient équivalents à 80 % du dépôt annuel admissible selon le Règlement sur les exploitations agricoles (Québec, 2005). La quantité de phosphore appliquée sur les sols n'est donc pas basée sur les grilles de fertilisation du CRAAQ. Ces dernières sont en fait basées sur la rentabilité économique des apports de fertilisant.

Le bilan du phosphore a été établi en favorisant l'utilisation du phosphore présent dans le lisier pour enrichir le sol, profiter d'une augmentation du rendement à long terme et favoriser le maintien de prélèvements élevés par les plantes (Côté, 2005). Même si les apports en phosphore sont supérieurs aux prélèvements pour les superficies en cultures, le taux de saturation en phosphore ne devrait pas augmenter puisque le taux d'immobilisation naturel du sol limite l'accroissement du taux de saturation même si les apports dépassent les prélèvements. De plus, il existe un transfert du phosphore soluble d'une zone plus saturée en phosphore vers les horizons sous-jacents moins saturés en phosphore. Dans ce cas, il est recommandé de réaliser des analyses de sol aux deux ans pour vérifier l'évolution du taux de saturation en phosphore des sols.

Le soya est aussi fertilisé avec le lisier de porc dans le but de maintenir la productivité et d'augmenter la quantité de matière organique présente dans le sol. De plus, le soya et l'orge ont l'avantage de permettre une plus grande fenêtre d'épandage plus propice à la protection de l'environnement.

**Tableau 5. Quantité d'éléments fertilisants nécessaires pour combler les besoins des cultures**

Cultures	Éléments fertilisants			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O
		(dépôt admissible)	(80% dépôt admissible)	
	kg N ha <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>
Maïs-grain (1 <sup>ère</sup> année)	160	85	68	50
Maïs-grain (2 <sup>ème</sup> année)	160	85	68	50
Soya	30	65	52	-
Orge	100	65	52	20
Moyenne	112,5	-	60	30
Total (kg)	16 087	-	8 580	4 290

Le besoin en azote des cultures est de 16 087 kg et l'épandage du lisier produit à la ferme apporte 7 953 kg N. La différence de 8 134 kg N est comblée par l'ajout de 17 682 kg d'engrais minéral sous forme d'urée.

### 4.1.3 Facteurs de pertes

Différents facteurs sont utilisés pour évaluer le bilan de masse de certains paramètres. Le tableau 6 indique ces facteurs ainsi que les références utilisées.

**Tableau 6. Facteurs de perte d'azote, de volume et de masse attribuables à la gestion des lisiers et de ses sous-produits**

	Facteur de perte	Références
Au bâtiment		
Perte d'azote dans un bâtiment conventionnel	25 %	CORPEN (2003)
Perte d'azote dans un bâtiment avec séparation sous lattes	15 %	IRDA (résultats non-publiés)
À l'entreposage (lisier brut et fraction liquide du lisier après séparation ou traitement)		
Perte d'azote	5 %	CORPEN (2003)
Perte de matière sèche	10 %	
Au compostage		
Perte de volume	40 %	Haug (1993)
Perte de matière sèche	40 %	Haug (1993)
Perte de masse humide	50 %	Haug (1993)
Perte d'azote	40 %	Haug (1993)

### 4.1.4 Notion d'équilibre

Pour toutes les chaînes de gestion étudiées dans ce projet, les superficies en culture et les besoins en éléments fertilisants ont toujours été considérés comme étant identiques. Après séparation ou traitement du lisier à la ferme, les fractions solides et liquides produites sont épandues sur les mêmes terres selon les mêmes besoins en éléments fertilisants. En cas de perte d'éléments fertilisants lors du traitement, les besoins seront comblés par l'ajout d'engrais minéral. De cette façon, la quantité d'éléments fertilisants disponibles apportée au sol est toujours identique.

## 4.2 Chaînes de gestion étudiées

### 4.2.1 1-a: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à proximité de la ferme

#### Description de la chaîne

La première chaîne de gestion étudiée est la chaîne de gestion conventionnelle. Le schéma de la chaîne est présenté à la figure 5. La chaîne de gestion se décrit comme suit:

- Élevage porcin dans un bâtiment conventionnel avec gestion liquide du lisier;
- Entreposage de tout le lisier produit dans une fosse sans toiture;
- Épandage de tout le lisier sur les champs à proximité de la ferme;
- Épandage d'engrais minéral complémentaire.

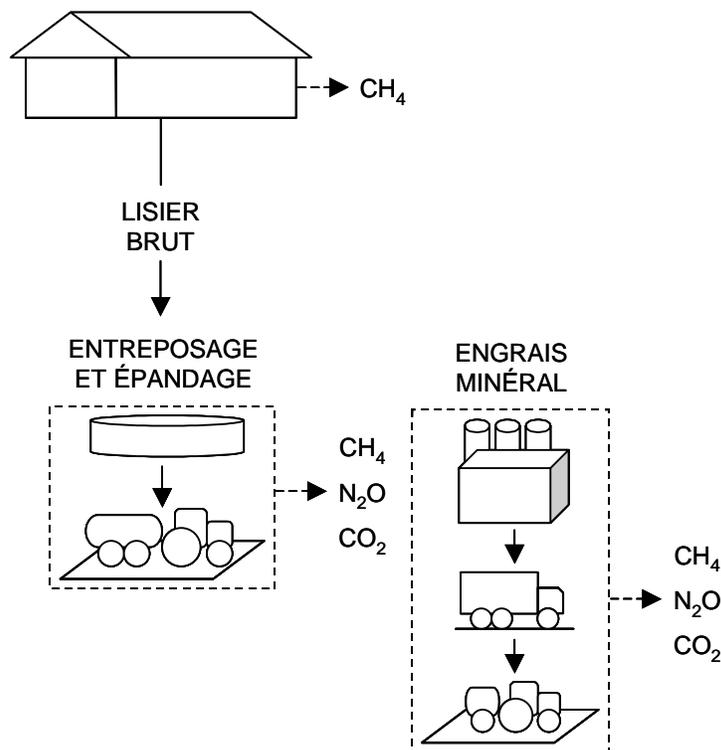


Figure 5. Chaîne de gestion 1-a: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à proximité de la ferme

#### Émissions de GES

Les émissions de GES de cette chaîne de gestion proviennent du bâtiment, de l'entreposage du lisier dans la fosse et de l'épandage du lisier. Les émissions de  $\text{CO}_2$  produites par le tracteur lors de l'épandage sont aussi comptabilisées. Le bloc engrais minéral inclut les émissions de GES lors de la fabrication, du transport et de l'épandage de l'engrais minéral nécessaire pour combler les besoins en azote.

#### 4.2.2 1-b: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à 30 km de la ferme

##### Description de la chaîne

La deuxième chaîne de gestion étudiée est la chaîne de gestion conventionnelle avec la seule différence que le lisier est épandu sur des terres situées à une distance moyenne de 30 km de la ferme. Cette différence a été instaurée pour simuler une entreprise porcine sans sol. Dans cette chaîne, le lisier est épandu sur la même superficie de terre que pour la chaîne de gestion 1-a. Le schéma de la chaîne est présenté à la figure 6. La chaîne de gestion se décrit comme suit:

- Élevage porcin dans un bâtiment conventionnel avec gestion liquide du lisier;
- Entreposage de tout le lisier produit dans une fosse sans toiture;
- Transport du lisier sur une distance moyenne de 30 km;
- Épandage du lisier sur des champs à une distance de 30 km de la ferme;
- Épandage d'engrais minéral complémentaire.

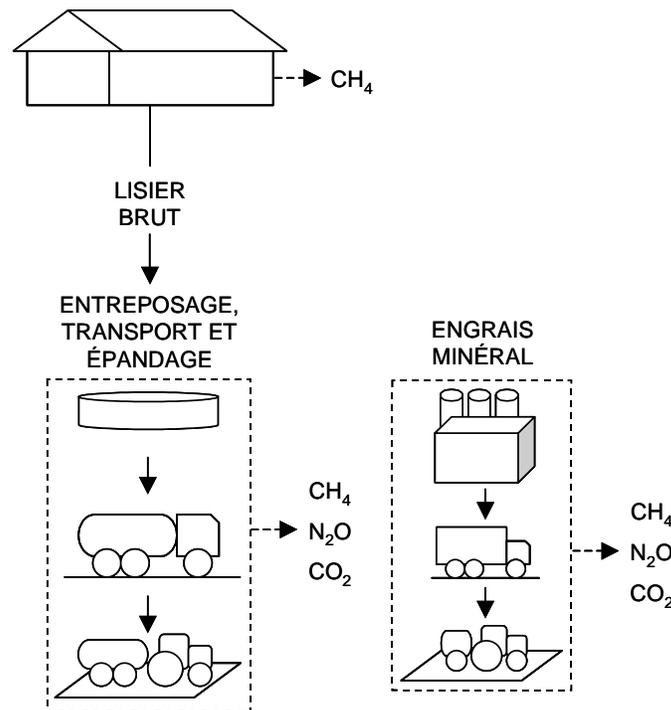


Figure 6. Chaîne de gestion 1-b: Gestion conventionnelle avec épandage du lisier à une distance de 30 km de la ferme

##### Émissions de GES

Les émissions de GES de cette chaîne proviennent des mêmes sources que pour la chaîne de gestion conventionnelle (1-a). Les émissions de GES causées par le transport du lisier brut sur une distance moyenne de 30 km doivent être ajoutées aux émissions de la chaîne. De plus, un chantier d'épandage d'une plus longue durée en raison de temps d'attente entre le transport et l'épandage contribue aussi à augmenter les émissions de GES de la chaîne.

### 4.2.3 2-a: Séparation du lisier à la sortie du bâtiment avec épandage de la fraction liquide et exportation du solide

#### Description de la chaîne

Dans la chaîne de gestion 2-a, le lisier est séparé à la sortie du bâtiment par un décanteur centrifuge. Le schéma de la chaîne est présenté à la figure 7. La chaîne de gestion se décrit comme suit:

- Élevage porcin dans un bâtiment conventionnel avec gestion liquide du lisier;
- Séparation mécanique du lisier entreposé dans la préfosse (lisier frais) du bâtiment à l'aide d'un décanteur centrifuge;
- Entreposage de la fraction liquide dans une fosse sans toiture;
- Épandage de la fraction liquide sur les champs à proximité de la ferme;
- Épandage d'engrais minéral complémentaire;
- Transport de la fraction solide vers un centre de compostage;
- Compostage de la fraction solide;
- Transport du compost et épandage sur des terres agricoles.

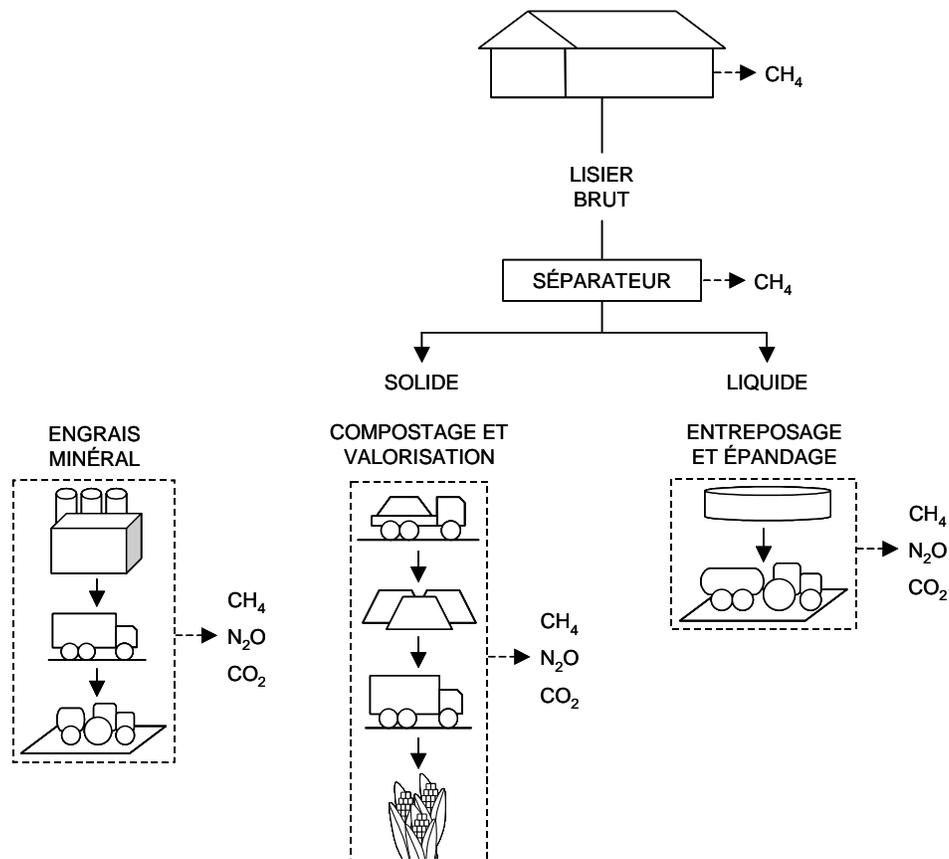


Figure 7. Chaîne de gestion 2-a: Séparation du lisier à la sortie du bâtiment avec épandage de la fraction liquide et exportation du solide

## Émissions de GES

Les émissions de GES de cette chaîne proviennent du bâtiment, de l'entreposage et de l'épandage de la fraction liquide et du transport, du compostage de la fraction solide et de l'épandage du compost. À ces émissions, il faut ajouter les émissions causées par la consommation d'électricité du décanteur centrifuge. Comme pour la gestion conventionnelle, l'épandage d'engrais minéral est aussi compté dans les émissions de GES.

## Équipements de séparation et performances

L'équipement utilisé pour la séparation du lisier est un décanteur centrifuge d'une puissance de 10 HP pouvant traiter 1,5 m<sup>3</sup> de lisier à l'heure. Les taux de capture de la matière sèche et des éléments fertilisants du lisier du décanteur centrifuge sont présentés au tableau 7 (Martin et al., 2003). La séparation à l'aide du décanteur centrifuge produit une fraction solide contenant 40 % de matière sèche et ayant une masse volumique de 500 kg m<sup>-3</sup>. Compte tenu de ces taux, les caractéristiques des fractions solides et liquides après séparation sont présentées aux tableaux 8 et 9.

## Éléments fertilisants

Le bilan des principaux éléments fertilisants est présenté au tableau 10. Les pertes d'azote lors de l'entreposage de la fraction liquide sont de 568 kg et de 1 638 kg lors du compostage de la fraction solide. Le besoin en azote des cultures est de 16 087 kg et l'épandage de la fraction liquide et du compost en apporte 7 952 kg. La différence de 9 135 kg N est comblée par l'ajout de 19 860 kg d'engrais minéral sous forme d'urée; une augmentation de 2 178 kg comparativement à la gestion conventionnelle du lisier. Cette augmentation est causée par des pertes plus importantes d'azote, notamment en raison du compostage de la fraction solide.

**Tableau 7. Taux de capture du décanteur centrifuge de la chaîne de gestion 2-a**

	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	Mn	Ca	Mg
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Taux de capture <sup>[a]</sup>	50	26,5	75	8	45	46	76	73,5	82,5

<sup>[a]</sup> Source: Martin et al. (2003)

**Tableau 8. Caractéristiques des fractions solide et liquide après séparation pour la chaîne de gestion 2-a**

	M.S.	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	Mn	Ca	Mg	M.O.	C/N
	%	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	
Fraction solide	40	400	20,7	32,5	3,4	0,21	0,69	0,27	16,3	7,4	300	7,2
Fraction liquide <sup>[a]</sup>	1,61	16,1	2,6	0,5	1,8	0,01	0,04	0,0	0,3	0,07	12,1	

<sup>[a]</sup> Incluant les précipitations à l'entreposage.

**Tableau 9. Masse et volume des fractions solide et liquide après séparation pour la chaîne de gestion 2-a**

	Masse volumique	Volume	Masse
	kg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup>	tonnes an <sup>-1</sup>
Fraction solide à exporter	500	396	198
Fraction liquide à épandre <sup>[a]</sup>	1 000	4 429	4 429

<sup>[a]</sup> Incluant les précipitations à l'entreposage.

**Tableau 10. Bilan des éléments fertilisants de la chaîne de gestion 2-a**

	N disponible	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	K <sub>2</sub> O disponible
	kg N année <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> année <sup>-1</sup>	kg K <sub>2</sub> O année <sup>-1</sup>
Besoins des cultures	16 087	8 580	4 290
Apports			
Fraction liquide	5 846	2 145	7 041
Compost	1 106	6 435	612
Différence à combler	9 135	0	surplus

#### 4.2.4 2-b: Système de collecte sélective des solides et liquides sous les lattes à l'intérieur du bâtiment avec épandage à proximité de la ferme de la fraction liquide et exportation de la fraction solide

##### Description de la chaîne

Dans la chaîne de gestion 2-b, le lisier est séparé dans le bâtiment par un système de collecte sélective des solides et des liquides sous les lattes. Le schéma de la chaîne est présenté à la figure 8. La chaîne de gestion se décrit comme suit:

- Bâtiment équipé d'un système de collecte sélective des solides et des liquides sous les lattes;
- Entreposage de la fraction liquide dans une fosse sans toiture;
- Épandage de la fraction liquide sur les champs à proximité de la ferme;
- Épandage d'engrais minéral complémentaire;
- Transport de la fraction solide vers un centre de compostage;
- Compostage de la fraction solide;
- Transport du compost et épandage sur des terres agricoles.

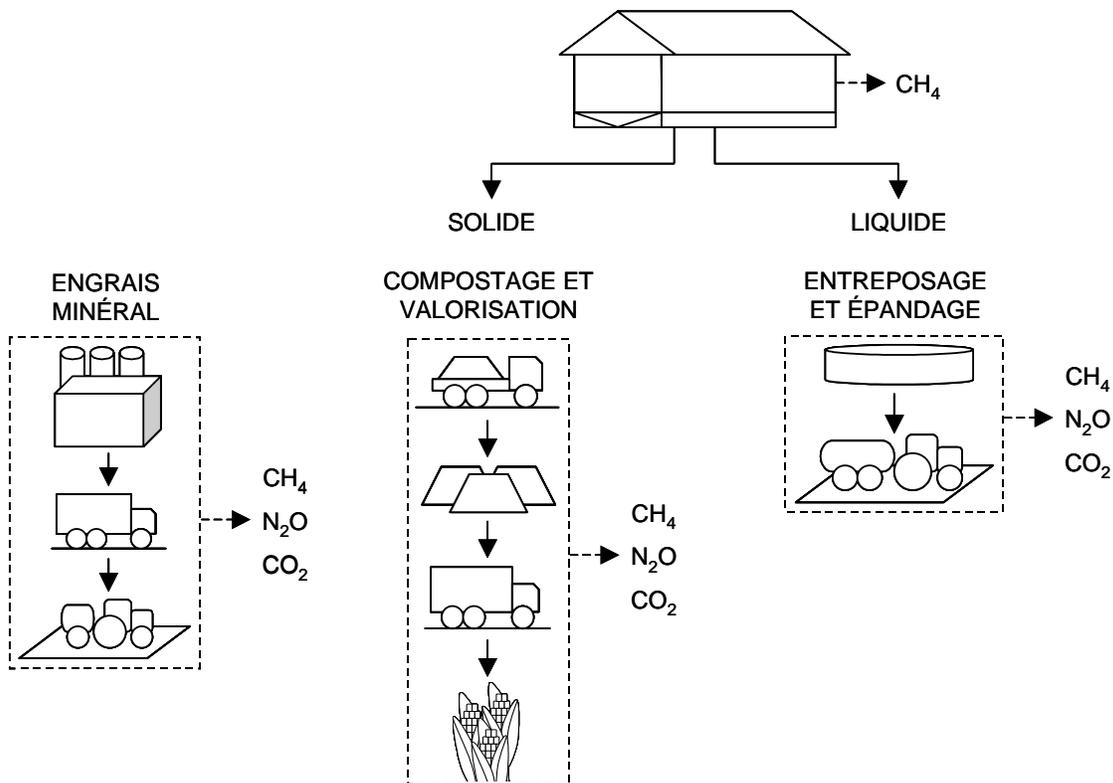


Figure 8. Chaîne de gestion 2-b: Système de collecte sélective des solides et liquides sous les lattes à l'intérieur du bâtiment avec épandage à proximité de la ferme de la fraction liquide et exportation de la fraction solide

## Émissions de GES

Les émissions de GES de cette chaîne proviennent du bâtiment, de l'entreposage et de l'épandage de la fraction liquide et du transport, du compostage de la fraction solide et de l'épandage du compost. Comme pour la gestion conventionnelle, l'épandage d'engrais minéral est aussi compté dans les émissions de GES.

## Équipements de collecte sélective et performances

Le type d'équipement utilisé pour la collecte sélective des solides et des liquides est installé sous les lattes dans la porcherie. Le principe retenu dans ce projet est un système de gratte en V présenté par Godbout et al. (2004).

Les taux de capture de la matière sèche et des éléments fertilisants du lisier pour le système de collecte sélective des solides et des liquides sous les lattes sont présentés au tableau 11. Ces taux sont adaptés de données expérimentales obtenues pour un élevage de porcs à l'engraissement à l'Université du Michigan (Pouliot et al., 2004). La collecte à l'aide de ce système montre un taux de capture des solides de 80 % et plus et produit une fraction solide contenant 30 % de matière sèche et ayant une masse volumique de  $1000 \text{ kg m}^{-3}$ . Les caractéristiques des fractions solides et liquides après séparation sont présentées aux tableaux 12 et 13. La donnée relative au volume respectif des fractions solide et liquide est très différente de celle obtenue à l'Université du Michigan mais équivalente pour ce qui concerne le taux de capture des solides et la siccité de la fraction solide. Ces données sont par ailleurs comparables à celles obtenues avec un système de courroie sous les lattes par Fertior (Trahan, 2005).

## Éléments fertilisants

Le bilan des principaux éléments fertilisants est présenté au tableau 14. Les pertes d'azote lors de l'entreposage de la fraction liquide sont de 438 kg et de 3 503 kg lors du compostage de la fraction solide. Le besoin en azote des cultures est de 16 087 kg et l'épandage de la fraction liquide et du compost apporte 6 872 kg. La différence, 9 215 kg N est comblée par l'ajout de 20 033 kg d'engrais minéral sous forme d'urée; une augmentation de 2 351 kg comparativement à la gestion conventionnelle du lisier et une augmentation de 173 kg comparativement à la chaîne de gestion 2-a. L'augmentation de la consommation d'engrais minéral de la chaîne de gestion 2-b est expliquée par une efficacité de séparation plus importante de l'azote qui entraîne une concentration plus importante d'azote dans la fraction solide et par le fait même des pertes plus importantes d'azote lors du compostage.

**Tableau 11. Taux de capture du système de collecte sélective des solides et liquides sous les lattes à l'intérieur du bâtiment de la chaîne de gestion 2-b**

	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	Mn	Ca	Mg
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Taux de capture <sup>[a] et [b]</sup>	80	50	90	40	90	90	90	90	90

<sup>[a]</sup> Source: Godbout et al. (2004).

<sup>[b]</sup> Source: Pouliot et al. (2004).

**Tableau 12. Caractéristiques des fractions solides et liquides après séparation dans la chaîne de gestion 2-b**

	M.S.	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	Mn	Ca	Mg	M.O.	C/N
	%	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	
Fraction solide	30	300	20,7	18,3	8,0	0,2	0,6	0,2	9,4	3,8	225	2,7
Fraction liquide <sup>[a]</sup>	0,68	6,8	2,0	0,2	1,2	0,002	0,01	0,002	0,1	0,04	5,1	

<sup>[a]</sup> Incluant les précipitations à l'entreposage.

**Tableau 13. Masse et volume des fractions liquides et solides après séparation dans la chaîne de gestion 2-b**

	Masse volumique	Volume	Masse
	kg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup>	tonnes an <sup>-1</sup>
Fraction solide à exporter		423	423
Fraction liquide à épandre <sup>[a]</sup>	1 000	4 205	4 205

<sup>[a]</sup> Incluant les précipitations à l'entreposage.

**Tableau 14. Bilan des éléments fertilisants de la chaîne de gestion 2-b**

	N disponible	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	K <sub>2</sub> O disponible
	kg N année <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> année <sup>-1</sup>	kg K <sub>2</sub> O année <sup>-1</sup>
Besoins des cultures	16 087	8 580	4 290
Apports			
Fraction liquide	4 507	858	4 592
Compost	2 365	7 722	3 061
Différence à combler	9 215	0	surplus

#### **4.2.5 3-a: Traitement aérobic partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide**

##### **Description de la chaîne**

Dans la chaîne de gestion 3-a, le lisier est traité par un système de traitement aérobic partiel à la ferme. Le système de traitement aérobic retenu dans ce projet est inspiré des systèmes de traitement développés en France par Val conseil et Dénitral présentés dans Béline et al. (2004) et du système de traitement Biofertile<sup>®</sup> commercialisé par Envirogain inc. au Québec. Le schéma de la chaîne est présenté à la figure 9. La chaîne de gestion se décrit comme suit:

- Bâtiment conventionnel avec gestion liquide du lisier;
- Traitement aérobic partiel à la ferme (séparation du lisier brut avec presse à vis, aération de la fraction liquide et déshydratation des boues d'aération);
- Entreposage de la fraction liquide dans une fosse sans toiture;
- Épandage de la fraction liquide sur les champs de la ferme;
- Épandage d'engrais minéral complémentaire;
- Transport de la fraction solide et des boues vers un centre de compostage;
- Compostage de la fraction solide et des boues;
- Transport du compost et épandage sur des terres agricoles.

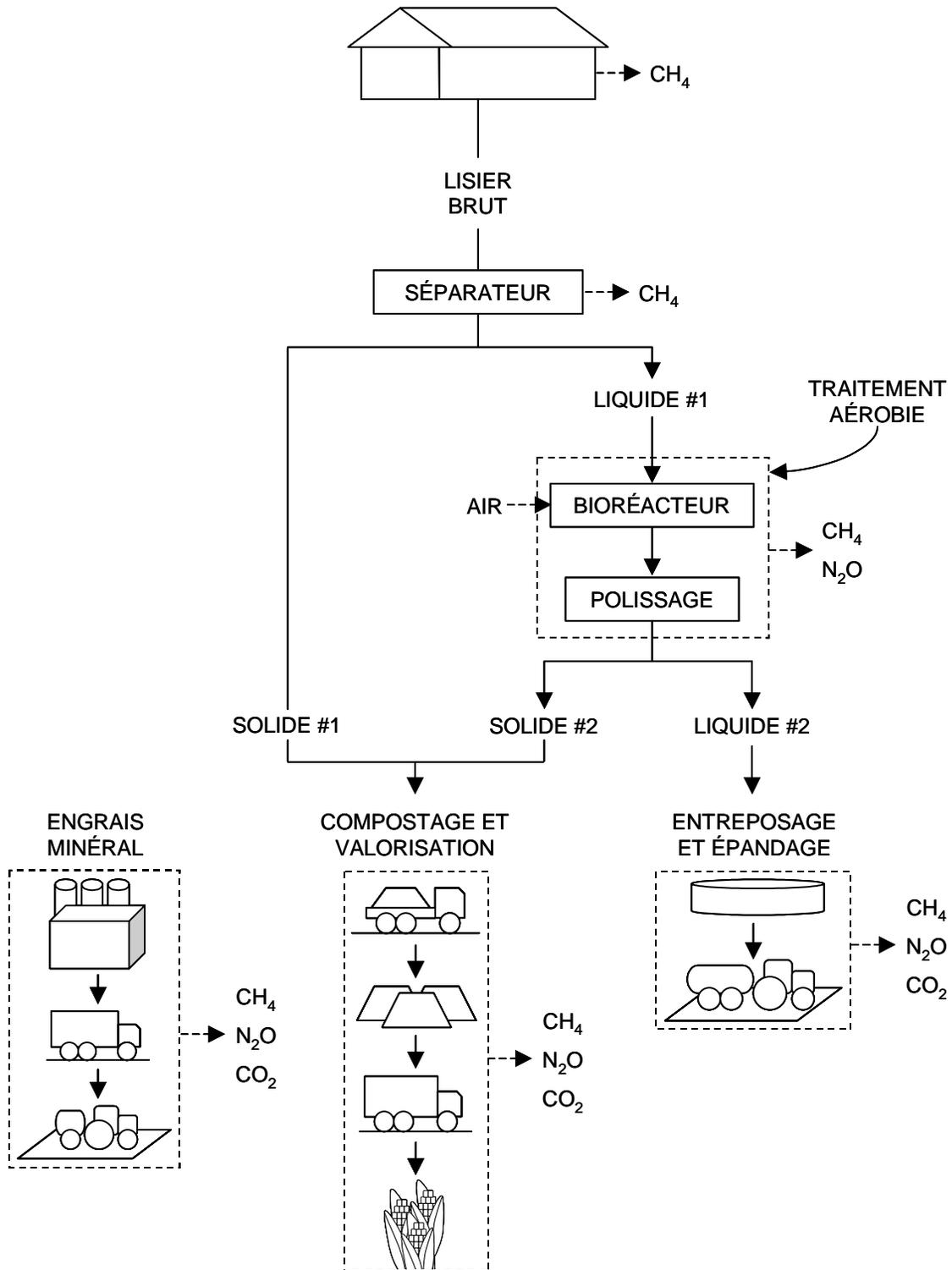


Figure 9. Chaîne de gestion 3-a: Traitement aérobie partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide

## Émissions de GES

Les émissions de GES de cette chaîne proviennent du bâtiment, du système de traitement et des activités de compostage et d'épandage. Les émissions du système de traitement résultent de la consommation d'électricité (presse, aération et déshydratation des boues) et de la dégradation de la fraction liquide du lisier séparé dans le bioréacteur.

## Équipements de traitement et performances

Le traitement consiste à une séparation mécanique du lisier brut à l'aide d'une presse à vis, du traitement aérobique de la fraction liquide et de la déshydratation des boues soutirées du bioréacteur. Le traitement aérobique se fait par injection d'air dans un réacteur. L'injection d'air se fait selon des périodes intermittentes (période aérobique suivie d'une période anoxie). Le réacteur est alimenté en lisier au début de la période anoxie. Après son aération, le lisier est décanté puis les boues sont soutirées pour être déshydratées. La fraction solide de séparation et les boues déshydratées sont exportées vers un centre régional de traitement puis le lisier traité est entreposé pour être épandu sur des cultures.

La presse à vis permet de capturer 40 % de la matière sèche et la déshydratation des boues 70 %. Les taux de capture des autres éléments de la presse à vis et de la déshydratation des boues sont présentés au tableau 15. Il est à noter que l'aération de la fraction du lisier séparé entraîne la volatilisation de 67 % de l'azote total de cette fraction, principalement sous forme d'azote diatomique ( $N_2$ ) mais également sous forme d'ammoniac ( $NH_3$ ) et de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ). Les taux de capture du système de traitement aérobique proviennent de moyennes calculées à partir des résultats d'une étude réalisée par Béline et al. (2004) sur l'efficacité de séparation des systèmes de traitement aérobique commercialisés en France par Val conseil et Dénitral. Les caractéristiques des fractions solides et liquides après traitement sont présentées aux tableaux 16 et 17.

## Éléments fertilisants

Le bilan des principaux éléments fertilisants est présenté au tableau 18. Les pertes d'azote lors du traitement aérobique sont de 9 264 kg, de 23 kg lors de l'entreposage de la fraction liquide et de 2 291 kg lors du compostage de la fraction solide et des boues. Le besoin en azote des cultures est de 16 087 kg et l'épandage de la fraction liquide et du compost apporte 1 785 kg d'azote disponible. La différence, 14 302 kg N est comblée par l'ajout de 31 091 kg d'engrais minéral sous forme d'urée; une augmentation de 13 409 kg comparativement à la gestion conventionnelle du lisier. Cette augmentation marquée de la consommation d'engrais minéral de la chaîne de gestion 3-a est due à d'importantes pertes d'azote par volatilisation lors du traitement aérobique et du compostage.

**Tableau 15. Taux de capture aux différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 3-a**

	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn
	%	%	%	%	%	%
Presse à vis <sup>[a]</sup>	40	10	30	7	11	12
Déshydratation des boues <sup>[a]</sup>	70	90	85	15	99	99

<sup>[a]</sup> Source: Béline et al. (2004).

**Tableau 16. Caractéristiques des fractions solides et liquides après les différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 3-a**

	M.S.	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	M.O.	
	%	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	
Séparation par presse à vis	Fraction solide	34	340	8,3	13,8	3,2	0,05	0,19	255
	Fraction liquide	2,37	23,7	3,6	1,5	1,9	0,02	0,07	14,9
Traitement aérobic	Boues déshydratées	13	130	8,6	10,5	2,44	0,17	0,53	98
	Lisier traité <sup>[a]</sup>	0,72	7,2	0,12	0,23	1,70	0,00	0,00	5,4

<sup>[a]</sup> Incluant les précipitations à l'entreposage.

**Tableau 17. Masse et volume des fractions solides et liquides après traitement dans la chaîne de gestion 3-a**

	Masse volumique	Volume	Masse
	kg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup>	tonnes an <sup>-1</sup>
Solide et boues à exporter	785	859	672
Fraction liquide à épandre <sup>[a]</sup>	1 000	3 529	3 954

<sup>[a]</sup> Incluant les précipitations à l'entreposage.

**Tableau 18. Bilan des éléments fertilisants de la chaîne de gestion 3-a**

	N disponible	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	K <sub>2</sub> O disponible
	kg N année <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> année <sup>-1</sup>	kg K <sub>2</sub> O année <sup>-1</sup>
Besoins des cultures	16 087	8 580	4 290
Apports			
Fraction liquide	239	901	6 050
Compost	1 546	7 679	1 603
Différence à combler	14 302	0	surplus

#### **4.2.6 3-b: Traitement anaérobie partiel à la ferme avec épandage à proximité de la ferme de la fraction liquide et exportation de la fraction solide**

##### **Description de la chaîne**

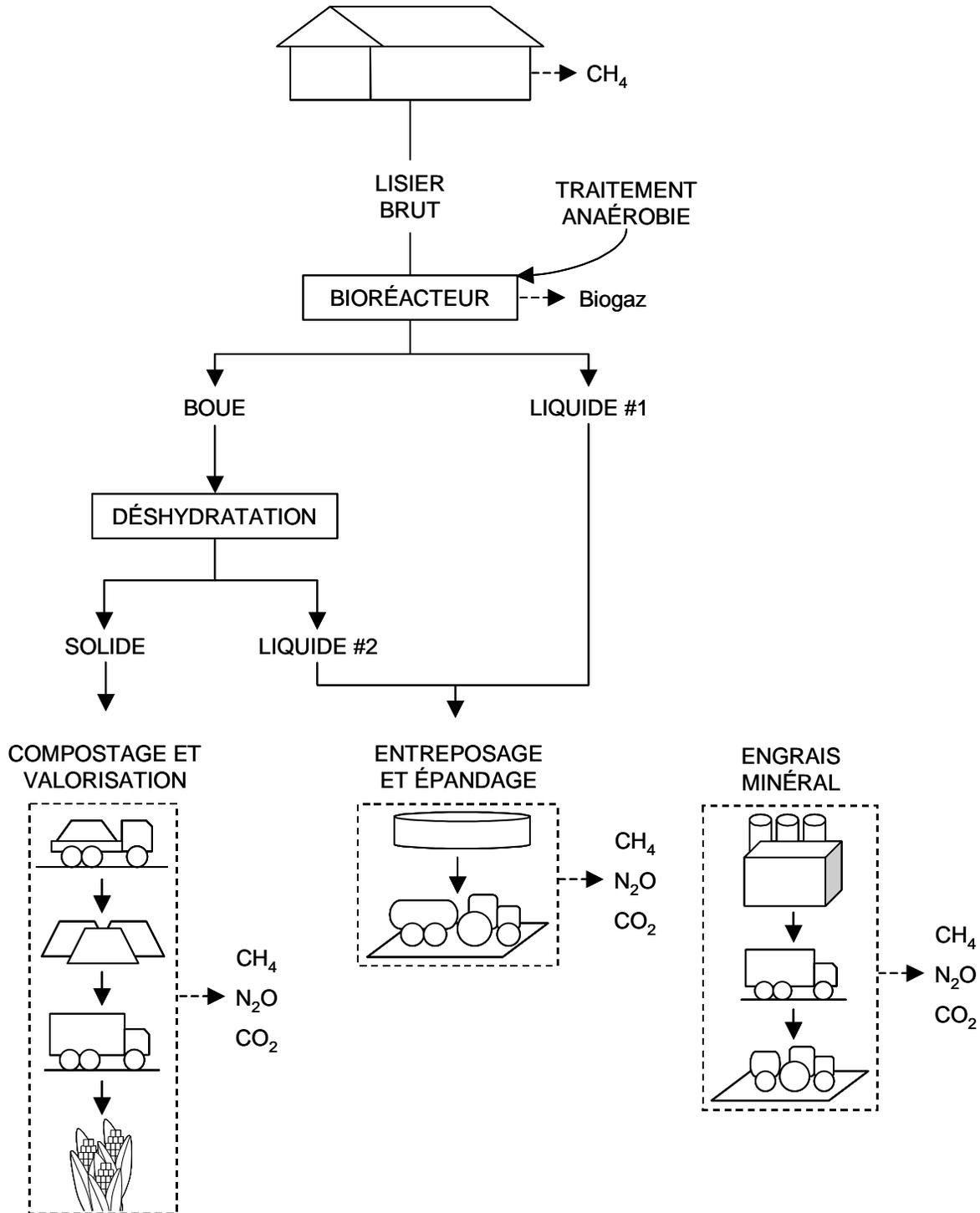
Dans la chaîne de gestion 3-b, le lisier est traité par un système de traitement anaérobie partiel à la ferme. Le système de traitement est inspiré de la technologie commercialisée par Bio-Terre Systems inc. soit, un procédé de traitement anaérobie à température ambiante. Dans cette chaîne, 35 % du biogaz produit par le système de traitement est substitué à la totalité du propane requis pour le chauffage de la porcherie en hiver, le restant étant brûlé par une torchère. Il est envisageable de remplacer le propane par le biogaz puisque toutes les porcheries au Québec sont chauffées au propane. Le schéma de la chaîne est présenté à la figure 10. La chaîne de gestion se décrit comme suit:

- Bâtiment conventionnel avec gestion liquide des déjections;
- Traitement anaérobie partiel à la ferme;
- Déshydratation des boues de digestion anaérobie;
- Entreposage de la fraction liquide dans une fosse sans toiture;
- Épandage de la fraction liquide sur les champs à proximité de la ferme;
- Épandage d'engrais minéral complémentaire;
- Transport des boues déshydratées vers un centre de compostage;
- Compostage des boues déshydratées;
- Transport du compost et épandage sur des terres agricoles.

##### **Émissions de GES**

Les émissions de GES de cette chaîne proviennent du bâtiment, de l'entreposage de la fraction liquide après traitement et des activités de compostage et d'épandage. Puisqu'elles sont considérées d'origine agricole (issues de la transformation de la biomasse), les émissions de CO<sub>2</sub> produites par la combustion du biogaz pour le chauffage ou par la torchère ne sont pas comptabilisées dans le total des émissions de GES. Étant difficile à évaluer, les émissions de GES dues aux fuites dans les réacteurs, lors du traitement anaérobie, ont été négligées.

Par ailleurs, l'utilisation du biogaz pour chauffer les bâtiments permet d'économiser du propane qui est un combustible fossile. Sur une base énergétique, il est estimé que 35 % du biogaz serait requis pour remplacer en totalité ce propane. Cette estimation est basée sur le potentiel énergétique du biogaz produit ainsi que sur la consommation moyenne de propane déterminée à partir du coût de production indexé du porc à l'engraissement et des porcelets (La Financière agricole, 2004a et 2004b). Conséquemment, cette économie de combustible fossile est comptabilisée en terme de GES en lui assignant une valeur négative au chapitre de la production de méthane.



**Figure 10. Chaîne de gestion 3-b: Traitement anaérobie partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide à proximité de la ferme et exportation de la fraction solide**

## Équipements de traitement et performances

Le traitement anaérobie retenu est un système de type séquentiel avec deux bioréacteurs fonctionnant à basse température. Durant la digestion, le lisier séjourne dans les bioréacteurs pour une période d'environ deux semaines. Une sédimentation des matières solides se fait dans les bioréacteurs. Après la digestion, la fraction liquide est transférée dans une fosse. Les boues accumulées au fond des bioréacteurs sont soutirées quelques fois par année et déshydratées sur place par une unité mobile. Les taux de capture de la chaîne de traitement sont présentés au tableau 19. Les caractéristiques des fractions solides et liquides après traitement sont présentées aux tableaux 20 et 21. Il est à noter que la digestion anaérobie amène une dégradation de la matière organique en biogaz, de sorte que les solides totaux sont réduits durant le procédé de 70 %.

La production de biogaz du système de traitement anaérobie a été évaluée à  $0,5 \text{ L CH}_4 \text{ g SV}^{-1}$  (Burton et Turner, 2003). La composition du biogaz, sur base volumique, est de 70 % de  $\text{CH}_4$ , 25 % de  $\text{CO}_2$ , 1,67 % de  $\text{H}_2\text{S}$ , 1,67 % de  $\text{NH}_3$  et 1,67 % de vapeur d'eau.

## Éléments fertilisants

Le bilan des éléments fertilisants réalisé pour cette chaîne a été effectué en tenant compte d'une fraction liquide issue du traitement anaérobie ayant les mêmes caractéristiques agronomiques que le lisier brut. Aucune référence valide n'a été répertoriée sur le sujet même si après traitement anaérobie, le coefficient d'efficacité de l'azote de la fraction liquide devrait être plus élevé que celui du lisier brut.

Le bilan des principaux éléments fertilisants est présenté au tableau 22. Les pertes d'azote lors de l'entreposage de la fraction liquide sont de 717 kg et de 445 kg lors du compostage de la fraction solide. Le besoin en azote des cultures est de 16 087 kg et l'épandage de la fraction liquide et du compost apporte 7 681 kg N disponible. La différence de 8 406 kg N est comblée par l'ajout de 18 273 kg d'engrais minéral sous forme d'urée; une augmentation de 591 kg comparativement à la gestion conventionnelle du lisier. Toutefois, par rapport aux autres scénarios, la diminution de la consommation d'engrais minéral sous forme azotée est due à sa conservation durant le procédé anaérobie et à la faible efficacité de séparation de la décantation pour cet élément.

**Tableau 19. Taux de capture aux différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 3-b**

	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	%	%	%	%
Traitement anaérobie (décantation) <sup>[a]</sup>	29	20	50	20
Déshydratation de la boue décantée <sup>[a]</sup>	81	36	96	19

<sup>[a]</sup> Source: Laganière (2005a).

**Tableau 20. Caractéristiques des fractions solides et liquides après les différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 3-b**

		M.S.	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	M.O.	C/N
		%	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	
Traitement anaérobie (digestion et décantation)	Boue	5,0	50	11,0	15,2	6,0	28,4	1,3
	Fraction liquide #1	0,92	9,2	3,2	1,1	1,8	5,2	
Déshydratation de la boue	Fraction solide	13,8	138	13,2	48,8	3,8	76,9	2,9
	Fraction liquide #2	1,34	13,4	10,0	0,9	7,0	7,6	
Mélange des deux fractions liquides <sup>[a]</sup>		0,85	8,5	3,1	1,0	1,9	4,84	

<sup>[a]</sup> Incluant les précipitations à l'entreposage et les pertes d'azote à l'entreposage.

**Tableau 21. Masse et volume des fractions liquides et solides après traitement dans la chaîne de gestion 3-b**

	Masse volumique	Volume	Masse
	kg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup>	tonnes an <sup>-1</sup>
Fraction solide à exporter	850	97	83
Fraction liquide à épandre <sup>[a]</sup>	1 000	4 434	4 434

<sup>[a]</sup> Incluant les précipitations à l'entreposage.

**Tableau 22. Bilan des éléments fertilisants de la chaîne de gestion 3-b**

	N disponible	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	K <sub>2</sub> O disponible
	kg N année <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> année <sup>-1</sup>	kg K <sub>2</sub> O année <sup>-1</sup>
Besoins des cultures	16 087	8 580	4 290
Apports			
Fraction liquide	7 381	4 462	7 363
Compost	300	4 118	291
Différence à combler	8 406	0	surplus

#### **4.2.7 4: Traitement centralisé complet avec rejet au cours d'eau et récupération des éléments nutritifs et leur valorisation**

##### **Description de la chaîne**

Dans la chaîne de gestion 4, tout le lisier de la ferme est traité par un système de traitement complet centralisé. Le centre de traitement est situé à une distance de 30 km de la ferme. Le lisier brut est transporté sur une base régulière par camion citerne de la ferme au centre de traitement. Le système consiste en un traitement anaérobie du lisier brut identique à celui de la chaîne 3-b. L'azote, minéralisé lors de la digestion anaérobie est volatilisé (« stripping ammoniacal ») puis récupéré par condensation dans un bain acide pour produire un engrais minéral granulaire (par exemple sulfate d'ammonium ou nitrate d'ammonium). Le lisier est par la suite traité par un traitement aérobie semblable à celui de la chaîne 3-a comprenant également une étape de polissage qui permet son rejet au milieu naturel. Le « stripping ammoniacal » produit un engrais azoté qui est utilisé comme fertilisant sur des terres agricoles. Les fractions solides et les boues déshydratées produites sont regroupées et transportées vers un centre de compostage.

Le biogaz est utilisé en totalité sous forme thermique, forme la plus efficace. Ce scénario suggère que des consommateurs d'énergie thermique soient impliqués. Dans l'éventualité où la co-génération serait requise, l'efficacité globale maximale de récupération énergétique est de l'ordre de 75 %, soit 25 % sous forme électrique et 50 % sous forme thermique alors que les pertes se situent à 25 %. Par ailleurs, environ 10 % du potentiel énergétique total doit être conservé pour le chauffage des bioréacteurs (Laganière, 2005b). Le schéma de la chaîne est présenté à la figure 11.

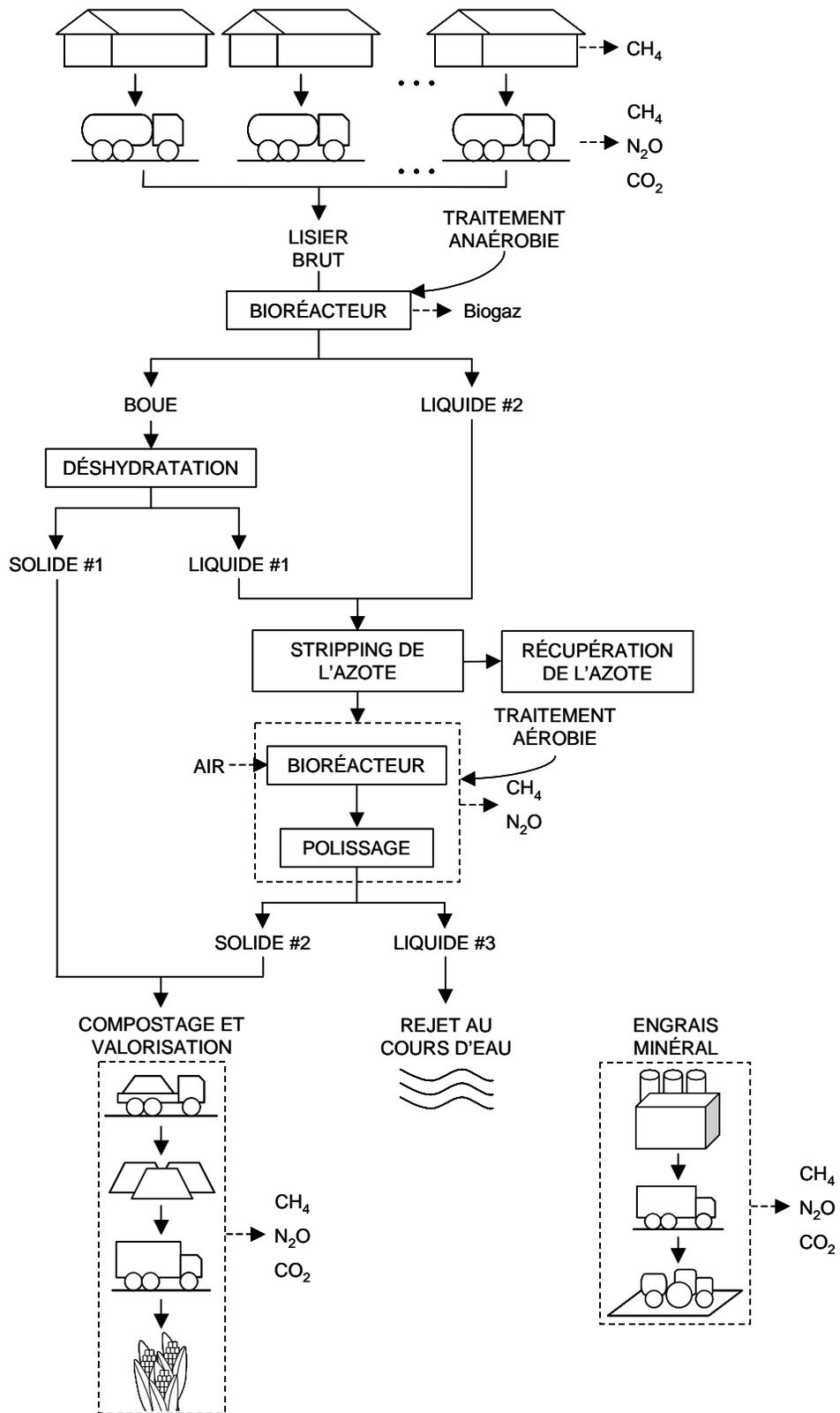


Figure 11. Chaîne de gestion 4: Traitement centralisé complet avec rejet au milieu naturel et récupération et valorisation des éléments nutritifs

## Émissions de GES

Les émissions de GES résultant de cette chaîne proviennent des bâtiments, du transport du lisier brut de la ferme au centre de traitement, du traitement du lisier, des activités de compostage et de valorisation et de la fabrication et l'épandage de l'engrais minéral. Comme pour le traitement anaérobie partiel à la ferme, la prise en compte de la combustion du biogaz dans le bilan des GES est exprimée en négatif car il se substitue à un combustible fossile, propane ou gaz naturel.

## Équipements de traitement et performances

La partie traitement anaérobie est semblable à celle de la chaîne de gestion 3-b alors que la partie traitement aérobie utilise les mêmes équipements que la chaîne 3-a, sauf pour la séparation par la presse à vis qui n'est plus requise. Un polissage permettant le rejet au milieu naturel est ajouté à la fin de la chaîne de gestion 3-a. Les taux de capture aux différentes étapes de la chaîne de traitement sont présentés au tableau 23 et les caractéristiques des fractions liquides et solides après traitement sont présentées au tableau 24.

## Éléments fertilisants

Le bilan des principaux éléments fertilisants est présenté au tableau 25. Les pertes d'azote lors du compostage de la fraction solide sont de 617 kg. Le besoin en azote des cultures est de 16 087 kg tandis que l'épandage de l'engrais minéral azoté produit par le système de traitement et du compost apporte 13 326 kg N. La différence de 2 761 kg N est comblée par l'ajout de 6 000 kg d'engrais minéral sous forme d'urée, soit une diminution de 11 680 kg comparativement à la gestion conventionnelle du lisier. Une quantité de l'ordre de 1 600 kg d'engrais minéral (STP et muriate) est également apportée pour combler le déficit en phosphore et en potassium.

Comparativement à la gestion conventionnelle du lisier (chaîne 1-a), la diminution de la consommation d'engrais minéral sous forme azotée est due principalement à la récupération de la majeure partie de l'azote lors du stripping et à sa transformation en un engrais minéral azoté granulaire. Celui-ci a un coefficient global d'efficacité de 100 % (engrais minéral), permettant de réduire la quantité d'engrais minéral à importer.

**Tableau 23. Taux de capture aux différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 4**

	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	%	%	%	%
Traitement anaérobie (décantation) <sup>[a]</sup>	29	20	50	20
Déshydratation de la boue après décantation <sup>[a]</sup>	81	36	96	19
Traitement aérobie (aération et déshydratation) <sup>[b]</sup>	95	90	95	45

<sup>[a]</sup> Source: Laganière (2005a).

<sup>[b]</sup> Source: Béline et al. (2004).

**Tableau 24. Caractéristiques des fractions solides et liquides après les différentes étapes de traitement de la chaîne de gestion 4**

	M.S.	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	M.O.	C/N
	%	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	
Traitement anaérobie							
Fraction solide #1	12,0	120	11,4	42,3	3,3	66,7	2,9
Fraction liquide #1 et #2	0,94	9,4	3,6	1,1	2,0	5,3	
Liquide après volatilisation de l'azote	0,94	9,4	0,4	1,1	2,0	5,3	
Traitement aérobie							
Fraction solide #2	13	130	1,6	16,2	14,1	78	10,1
Fraction liquide #3	0,05	0,5	0,01	0,06	1,2	0,3	

**Tableau 25. Bilan des éléments fertilisants de la chaîne de gestion 4**

	N disponible	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	K <sub>2</sub> O disponible
	kg N année <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> année <sup>-1</sup>	kg K <sub>2</sub> O année <sup>-1</sup>
Besoins des cultures	16 087	8 580	4 290
Apports			
Engrais azoté	12 909	-	-
Compost	417	8 357	3 604
Différence à combler	2 761	223	686

## 4.3 Méthode de calcul des émissions de GES

### 4.3.1 Bâtiment porcin (bâtiment conventionnel et bâtiment équipé d'un système de collecte sélective des solides et des liquides sous les lattes)

Les émissions de GES au bâtiment sont composées de CH<sub>4</sub> produit par la fermentation entérique des animaux. Les émissions de N<sub>2</sub>O au bâtiment ont été considérées comme nulles, les valeurs présentées dans la littérature étant trop faibles pour permettre de déterminer un facteur d'émission de N<sub>2</sub>O. Dans une étude réalisée par Laguë et al. (2004), les auteurs n'ont mesuré aucune émission de N<sub>2</sub>O provenant des bâtiments. De plus, le GIEC (1997) considère que la production de N<sub>2</sub>O par les animaux n'est pas assez importante pour être comptabilisée.

Le tableau 26 rapporte les valeurs d'émissions de CH<sub>4</sub> pour les porcs à l'engraissement élevés sur plancher partiellement latté ou entièrement latté, retrouvées dans la littérature et provenant de différentes études réalisées en Europe, au Canada et aux États-Unis. Les valeurs d'émission sont rapportées en kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> année<sup>-1</sup>. Lorsque les valeurs d'émission retrouvées dans la littérature n'étaient pas présentées en kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> année<sup>-1</sup>, elles ont été transformées en utilisant une masse moyenne de 65 kg par porc. Un facteur d'émission de CH<sub>4</sub> pour les porcs à l'engraissement de 3,7 kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> année<sup>-1</sup> a été obtenu en faisant la moyenne des valeurs présentées au tableau 26.

Cette valeur est similaire à celle recommandée par Freibauer (2003) qui est de 9,0 g CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> jour<sup>-1</sup> soit l'équivalent de 3,3 kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> année<sup>-1</sup>. Ce facteur d'émission a aussi été calculé en réalisant une moyenne à partir de valeurs trouvées dans la littérature.

Dans le cas des émissions de CH<sub>4</sub>, le GIEC (1997) recommande d'utiliser un coefficient d'émission de 1,5 kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> année<sup>-1</sup>. Puisque plusieurs études ont été réalisées sur la mesure des émissions de CH<sub>4</sub> au bâtiment, il a été décidé d'utiliser les valeurs présentées dans la littérature dans le but d'obtenir une évaluation plus précise des émissions de CH<sub>4</sub> au bâtiment. Le facteur d'émission de 1,5 kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> année<sup>-1</sup> tient compte seulement de la fermentation entérique des porcs et n'inclut pas les émissions de CH<sub>4</sub> qui sont causées par la présence de lisier sous les porcs à l'intérieur des bâtiments. Le facteur d'émission choisi, 3,7 kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> année<sup>-1</sup>, inclut donc les émissions de CH<sub>4</sub> produites par la fermentation entérique des porcs et par le lisier entreposé sous les planchers.

Le coefficient d'émission pour les porcelets et les truies (maternité et gestation) a été évalué à partir du coefficient obtenu pour les porcs à l'engraissement de 3,7 kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> année<sup>-1</sup> pour un porc de 65 kg, soit l'équivalent de 57 g CH<sub>4</sub> kg<sub>porc</sub><sup>-1</sup> année<sup>-1</sup>. Les coefficients d'émission de CH<sub>4</sub> pour les porcs sont présentés au tableau 27.

Les émissions de CH<sub>4</sub> provenant des animaux élevés dans un bâtiment équipé d'un système de séparation sous les lattes ont été estimées à 80 % des émissions d'un bâtiment conventionnel. Cette estimation a été réalisée à partir des résultats obtenus lors d'une expérimentation réalisée par l'IRDA au Centre de recherche en sciences animales de Deschambault dans un bâtiment contenant 12 mini-porcherie logeant chacune quatre porcs. Cette expérimentation rendue possible grâce à l'aide financière du présent projet, avait pour but de mesurer les émissions de GES de différents systèmes de collecte sélective des solides et des liquides sous les lattes.

**Tableau 26. Émissions de CH<sub>4</sub> par les porcs à l'engraissement retrouvées dans la littérature**

Émissions de CH <sub>4</sub>			Valeur rapportée en kg tête <sup>-1</sup> année <sup>-1</sup>	Référence <sup>[b]</sup>
Valeur originale	Unité <sup>[a]</sup>	Note		
2,8 – 4,5	kg tête <sup>-1</sup> année <sup>-1</sup>		2,8 – 4,5	1
85	g 500 kg de porcs <sup>-1</sup> jour <sup>-1</sup>		4,0	2
1,5 – 3,0	kg tête <sup>-1</sup> année <sup>-1</sup>		1,5 – 3,0	3
6,6	kg tête <sup>-1</sup> année <sup>-1</sup>		6,6	4
0,5 – 1,0	g UA <sup>-1</sup> heure <sup>-1</sup>	1 UA = 5 porcs	0,9 à 1,8	5
19,7	kg UA <sup>-1</sup> année <sup>-1</sup>	UA = 500 kg	2,5	6
17,5	kg UA <sup>-1</sup> année <sup>-1</sup>	UA = 500 kg	2,3	6
11,1	kg tête <sup>-1</sup> année <sup>-1</sup>		11,1	7
3,5	kg tête <sup>-1</sup> année <sup>-1</sup>		3,5	8
39,0 ± 1,9	g UA <sup>-1</sup> jour <sup>-1</sup>	UA = 500 kg	1,85	9
29,5 ± 2,2	g UA <sup>-1</sup> jour <sup>-1</sup>	UA = 500 kg	1,4	9

<sup>[a]</sup> UA = unité animale.

<sup>[b]</sup> 1. Hahne et al. (1999) dans Jungbluth et al. (2001); 2. Snealt et al. (1997) dans Jungbluth et al. (2001); 3. Ahlgrim et Bredford (1998) dans Jungbluth et al. (2001); 4. Sharpe et al. (2001); 5. Gallman et Hartung (2000); 6. Osada et al. (1998); 7. Groot Koerkamp et Uenk (1997); 8. Wagner-Riddle et Marinier (2004); 9. Ni et al. (2005).

**Tableau 27. Émissions de CH<sub>4</sub> au bâtiment**

Type d'animal	Masse moyenne des animaux	Bâtiment conventionnel	Bâtiment avec système de collecte sélective sous les lattes
			kg CH <sub>4</sub> tête <sup>-1</sup> année <sup>-1</sup>
Porc à l'engraissement	65	3,7	3,0
Porcelet	13	0,7	0,6
Truie (maternité et gestation)	200	11,4	9,1

#### 4.3.2 Fosse (entreposage de lisier brut et de la fraction liquide après séparation ou traitement)

Le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O peuvent tous deux être émis lors de l'entreposage du lisier. Le volume de gaz émis dépend des propriétés du lisier, des quantités manipulées et des systèmes de gestion. Habituellement, les systèmes peu aérés génèrent de grandes quantités de CH<sub>4</sub> et très peu de N<sub>2</sub>O, alors que les systèmes bien aérés ne produisent que peu de CH<sub>4</sub> et davantage de N<sub>2</sub>O (Matin et al., 2004).

Peu après l'excrétion, le lisier commence à se décomposer. En absence d'oxygène, la décomposition est anaérobie et produit du CH<sub>4</sub>. La quantité de CH<sub>4</sub> produite varie en fonction du système de gestion, en particulier du système d'aération et du volume de lisier. En utilisant cette

méthode, les émissions de N<sub>2</sub>O provenant de l'entreposage du lisier de la ferme type choisi dans le cadre de ce projet seraient d'environ 27 kg N<sub>2</sub>O année<sup>-1</sup> ou 8 370 kg éq. CO<sub>2</sub> année<sup>-1</sup>.

La production de N<sub>2</sub>O au cours de l'entreposage et de la gestion du lisier se produit au cours de la nitrification et de la dénitrification de l'azote contenu dans les excréments. La nitrification est l'oxydation de l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), qui produit du nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), et la dénitrification est la réduction du NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, qui produit du N<sub>2</sub>O ou de l'azote diatomique (N<sub>2</sub>). Généralement, la production de N<sub>2</sub>O augmente avec le niveau d'aération (Matin et al., 2004).

Concernant les émissions de CH<sub>4</sub> provenant de la gestion du lisier, le GIEC (1997) recommande d'utiliser un facteur d'émission de 10 kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> année<sup>-1</sup>. Ce facteur inclut les émissions produites lors de l'entreposage du lisier à l'extérieur des bâtiments et les émissions produites lors de l'entreposage temporaire du lisier sous les porcs à l'intérieur des bâtiments. La répartition entre les émissions provenant du bâtiment et les émissions provenant de l'entreposage extérieur n'est pas indiquée. En utilisant ce facteur, il est pratiquement impossible de chiffrer la réduction des émissions lors de l'entreposage de la fraction liquide du lisier après séparation ou traitement.

Suite à un projet de recherche pancanadien (Laguë et al., 2004 et Wagner-Riddle et Marinier, 2004), à l'intérieur duquel les émissions de GES ont été mesurées à partir de fosses d'entreposage de lisier de porcs, les résultats obtenus permettent de croire qu'il serait plus représentatif d'utiliser un facteur d'émission exprimé en kg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> année<sup>-1</sup>. Le tableau 28 présente les résultats d'émission de CH<sub>4</sub> de cinq fosses différentes. Les résultats présentés en kg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> année<sup>-1</sup> varient de 7,0 à 10,9 tandis que, rapportés en kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> année<sup>-1</sup> comme le facteur d'émission du GIEC, les résultats varient de 2,08 à 7,3 kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> année<sup>-1</sup>. Pour ces raisons, il serait donc plus opportun d'utiliser un facteur d'émission défini en terme de superficie ouverte de la fosse d'entreposage à lisier, soit en kg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> année<sup>-1</sup>, plutôt que sur la base du cheptel en inventaire.

**Tableau 28. Émissions de CH<sub>4</sub> au cours de l'entreposage du lisier brut en fosse étanche**

Localisation	Types d'élevage	Caractéristiques de la fosse		Émissions de CH <sub>4</sub>		Référence <sup>[b]</sup>
		Surface m <sup>2</sup>	Profondeur m	kg CH <sub>4</sub> m <sup>-2</sup> année <sup>-1</sup>	kg CH <sub>4</sub> tête <sup>-1</sup> année <sup>-1</sup>	
Québec	Croissance-finition	731	3,7	8,0	7,3	1
Ontario	Naisseur-finisser	314	4,0	9,9	2,08	2
Ontario	Maternité et gestation	951	2,4	7,0	2,46	2
Ontario	Croissance	224	3,0	10,9	4,99	2
Saskatchewan	Naisseur-finisser	378	3,5	9,7 <sup>[a]</sup>	-	3

<sup>[a]</sup> Valeur recalculée à partir de l'information retrouvée dans Laguë et al. (2004).

<sup>[b]</sup> 1. Pelletier et al. (2004); 2. Wagner-Riddle et Marinier (2004); 3. Laguë et al. (2004).

Selon le GIEC (2000), les émissions de CH<sub>4</sub> provenant des fosses sont fonction de la quantité de solides volatils (SV) présents dans le lisier entreposé. Dans le cadre de ce projet, les émissions de CH<sub>4</sub> ont été fixées à 8,0 kg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> année<sup>-1</sup> pour une concentration de solides volatils de 0,0225 kg SV kg lisier<sup>-1</sup> (Pelletier et al., 2004). Il n'était pas possible d'associer une valeur

d'émission de CH<sub>4</sub> à une concentration de SV dans le lisier pour les valeurs obtenues en Ontario et en Saskatchewan puisque les rapports fournis par Wagner-Riddle et Marinier (2004) et Laguë et al. (2004) ne contenaient aucun résultat d'analyse de lisier.

L'équation 1 a été développée à partir de ces valeurs pour évaluer les émissions de CH<sub>4</sub> en fonction de la concentration de SV. En connaissant la concentration de SV, il est donc possible d'évaluer les émissions de CH<sub>4</sub> provenant du lisier brut et de la fraction liquide après séparation ou traitement à la ferme.

$$E_{\text{CH}_4} = 355 \times C_{\text{SV}} \quad [1]$$

où:

$$\begin{aligned} E_{\text{CH}_4} &= \text{Émissions de CH}_4 \text{ (kg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ année}^{-1}); \\ C_{\text{SV}} &= \text{Concentration de solides volatils dans le lisier (kg SV kg lisier}^{-1}). \end{aligned}$$

Les émissions de N<sub>2</sub>O à la fosse sont considérées comme étant égales à zéro puisque aucune émission significative de N<sub>2</sub>O n'a été mesurée par Wagner-Riddle et Marinier (2004) et Laguë et al. (2004). La méthode de niveau 1 du GIEC (1997) utilisée dans l'inventaire Canadien des GES (Matin et al., 2004) n'a pas été retenue pour évaluer les émissions de N<sub>2</sub>O à la fosse dans la présente étude.

#### 4.3.3 Compostage de la fraction solide

Les émissions de GES (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) provenant du compostage de la fraction solide du lisier après séparation ou des boues déshydratées de traitement ont été calculées à partir de la méthode proposée par le GIEC (2000).

Les émissions de CH<sub>4</sub> ont été évaluées à l'aide de l'équation 2:

$$E_{\text{CH}_4} = \text{FCM} \times P_{\text{CH}_4} \times C_{\text{SV}} \times Q_{\text{lisier}} \quad [2]$$

où:

$$\begin{aligned} E_{\text{CH}_4} &= \text{Émissions de CH}_4 \text{ (kg CH}_4 \text{ année}^{-1}); \\ \text{FCM} &= \text{Facteur de conversion du CH}_4 \text{ (0,5 \% ; GIEC, 2000);} \\ P_{\text{CH}_4} &= \text{Production maximale de CH}_4 \text{ pour le lisier de porcs (kg CH}_4 \text{ kg SV}^{-1}); \\ C_{\text{SV}} &= \text{Concentration de solides volatils dans le lisier (kg SV kg lisier}^{-1}); \\ Q_{\text{lisier}} &= \text{Quantité de lisier entreposée à la ferme (kg lisier année}^{-1}). \end{aligned}$$

Les émissions de N<sub>2</sub>O de la fraction solide entreposée à la ferme ont été calculées à partir de l'équation 3:

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = \text{FE}_{\text{N}_2\text{O}} \times C_{\text{N}} \times Q_{\text{lisier}} \times 44/28 \quad [3]$$

où:

$$\begin{aligned} E_{\text{N}_2\text{O}} &= \text{Émissions de N}_2\text{O (kg N}_2\text{O année}^{-1}); \\ \text{FE}_{\text{N}_2\text{O}} &= \text{Facteur d'émission du N}_2\text{O (0,02 kg N}_2\text{O-N kg N}^{-1}); \\ C_{\text{N}} &= \text{Concentration d'azote dans le lisier (kg N kg lisier}^{-1}); \\ Q_{\text{lisier}} &= \text{Quantité de lisier entreposé à la ferme (kg lisier année}^{-1}); \\ 44/28 &= \text{Rapport entre le poids moléculaire du N}_2\text{O et celui du N}_2. \end{aligned}$$

La perte de volume lors du compostage a été estimée à 40 %, la perte de matière sèche à 40 % et la perte de masse humide à 50 %. La perte d'azote lors du compostage a été fixée à 40 %.

Il est à noter que des intrants (ex.: paille et sciure de bois) peuvent être requis pour effectuer le compostage des solides de lisier ou des boues déshydratées en raison de leur teneur en eau trop élevée ou de leur rapport C :N trop faible. Aussi, les émissions de GES produites par ces intrants ne sont pas incluses dans la présente évaluation et devront être calculées dans leur filière respective.

#### 4.3.4 Sols

Les émissions de GES provenant des sols sont composés presque exclusivement de N<sub>2</sub>O. Aucune émission de CH<sub>4</sub> provenant des sols n'a été comptabilisée.

Tel que spécifié par Martin et al. (2004), les émissions de N<sub>2</sub>O des sols agricoles proviennent de sources directes et indirectes. Les émissions de source directe sont attribuables aux sols agricoles. Ces émissions incluent, l'azote des engrais synthétiques qui a pénétré dans le sol, le fumier appliqué comme engrais, les déjections des animaux au pâturage ou gardés en enclos extérieur, la fixation symbiotique de l'azote, la décomposition des résidus de culture et la culture des histosols.

Les émissions de sources indirectes proviennent de la redéposition de l'azote volatilisé et du lessivage de l'azote des engrais minéraux et du fumier. Une fraction de l'engrais azoté, minéral ou organique, épandue sur les sols agricoles sera transportée hors site, soit par volatilisation et redéposition subséquente ou par lessivage, érosion et ruissellement. L'azote transporté hors des terres agricoles alimentera la nitrification et la dénitrification et contribuera à la production de N<sub>2</sub>O. Il se peut que l'azote rejeté par les terres agricoles ne contribue ni à la nitrification ni à la dénitrification pendant de nombreuses années, particulièrement s'il s'infiltre dans la nappe phréatique.

*Les sections suivantes, relatives aux méthodes de calcul des émissions directes et indirectes de N<sub>2</sub>O proviennent de l'annexe 3 de l'Inventaire canadien des gaz à effet de serre 1990-2002 (Martin et al. 2004). Les méthodes ont été adaptées pour la ferme type retenue dans la présente étude.*

#### **Émissions directes de N<sub>2</sub>O associées à l'épandage de lisier brut, de la fraction liquide et du compost**

Les émissions de N<sub>2</sub>O dans la présente section représentent le N<sub>2</sub>O émanant du lisier épandu comme engrais sur les sols. La méthode de niveau 1 du GIEC est utilisée pour estimer les émissions de N<sub>2</sub>O du lisier épandu comme engrais. Cette méthode est fondée sur la quantité d'azote du fumier produit par les animaux domestiques et sur les systèmes de gestion des fumiers. Les estimations des émissions de N<sub>2</sub>O à partir de l'épandage de lisier brut, de la fraction liquide et du compost sont calculées à l'aide de l'équation 4a.

$$N_2O_{FÉE} = (N_{EX} \times F_D \times CE_1) \times 44/28 \quad [4a]$$

où:

- $N_2O_{FÉE}$  = Émissions de  $N_2O$  du lisier épandu comme engrais ( $kg N_2O \text{ année}^{-1}$ );  
 $N_{EX}$  = Quantité totale d'azote dans le lisier à épandre annuellement ( $kg N \text{ année}^{-1}$ );  
 $F_D$  = Fraction d'azote disponible pour les processus de nitrification et de dénitrification résultant de l'épandage du lisier (voir équation 4b);  
 $CE_1$  = Coefficients d'émission pour la fraction d'apport en azote ( $0,0125 \text{ kg } N_2O\text{-N } kg N^{-1}$ ; GIEC, 1997);  
 $44/28$  = Rapport entre le poids moléculaire du  $N_2O$  et celui du  $N_2$ .

La fraction d'azote disponible ( $F_D$ ) est calculée à l'aide de l'équation 4b:

$$F_D = 1 - \text{Frac}_{FGAZ} \quad [4b]$$

où:

- $\text{Frac}_{FGAZ}$  = Fraction de l'azote qui s'évapore sous forme de  $NH_3$  et  $NO_x$  ( $0,17 \text{ kg } NH_3\text{-N} + NO_x\text{-N } kg N^{-1}$  en utilisant le facteur de perte de 1,2 proposé par le CRAAQ (2003b) pour le lisier de porc épandu à l'aide d'une rampe et incorporé en moins de 48 heures. Ce facteur est semblable à celui proposé par le GIEC qui est de 20 %).

### Émissions directes de $N_2O$ des engrais azotés minéraux

La méthodologie de niveau 1 du GIEC est utilisée pour estimer les émissions de  $N_2O$  résultant de l'épandage d'engrais minéraux sur les sols agricoles. L'équation 5a est utilisée pour estimer les émissions de  $N_2O$ .

$$N_2O_{NES} = (ES_T \times F_{NSD} \times CE_T) \times 44/28 \quad [5a]$$

où:

- $N_2O_{NES}$  = Émissions d'azote des engrais minéraux ( $kg N_2O \text{ année}^{-1}$ );  
 $ES_T$  = Consommation totale d'engrais minéraux azotés ( $kg N \text{ année}^{-1}$ );  
 $F_{NSD}$  = Fraction de l'engrais minéral azoté accessible durant le processus de nitrification et de dénitrification (voir équation 5b);  
 $CE_T$  = Coefficient d'émission ( $0,0125 \text{ kg } N_2O\text{-N } kg N^{-1}$ ; GIEC, 1997);  
 $44/28$  = Rapport entre le poids moléculaire du  $N_2O$  et celui du  $N_2$ .

La fraction de l'engrais azoté minéral accessible durant le processus de nitrification et de dénitrification est calculée à partir de l'équation 5b.

$$F_{NSD} = 1 - \text{Frac}_{GNSÉ} \quad [5b]$$

où:

- $\text{Frac}_{GNSÉ}$  = Fraction de l'engrais minéral azoté épandu qui s'évapore sous forme de  $NH_3$  et de  $NO_x$  ( $0,1 \text{ kg } NH_3\text{-N} + NO_x\text{-N } kg N^{-1}$ ; GIEC, 1997).

### Émissions directes de N<sub>2</sub>O attribuables à la fixation symbiotique d'azote

L'azote atmosphérique fixé par les cultures fixatrices d'azote (telles que les pois, les lentilles, les fèves, la luzerne) peut subir des procédés de nitrification et de dénitrification de la même manière que l'azote épandu sous forme d'engrais minéral. De plus, les nodules du rhizome de la plante peuvent émettre du N<sub>2</sub>O puisqu'ils fixent l'azote (Matin et al., 2004).

La méthode de niveau 1 du GIEC est utilisée pour estimer les émissions de N<sub>2</sub>O des cultures fixatrices d'azote. L'équation 6a est utilisée pour estimer les émissions de N<sub>2</sub>O des plantes qui fixent l'azote.

$$N_2O_{FAB} = (N_{CF} \times F_N \times C_{ET}) \times 44/28 \quad [6a]$$

où:

- N<sub>2</sub>O<sub>FAB</sub> = Émissions de N<sub>2</sub>O des cultures fixatrices d'azote (kg N<sub>2</sub>O année<sup>-1</sup>);
- N<sub>CF</sub> = Quantité d'azote produit par les cultures fixatrices d'azote (kg N année<sup>-1</sup>);
- F<sub>N</sub> = Teneur en azote des cultures fixatrices, sur base sèche (0,03 kg N kg MS<sup>-1</sup>; GIEC, 1997);
- C<sub>ET</sub> = Coefficient d'émission (0,0125 kg N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup>; GIEC, 1997);
- 44/28 = Rapport entre le poids moléculaire du N<sub>2</sub>O et celui du N<sub>2</sub>.

La quantité d'azote produite par les cultures fixatrices d'azote est calculée avec l'équation 6b:

$$N_{CF} = 2 \times (C_T \times FMS_T) \quad [6b]$$

où:

- C<sub>T</sub> = Rendement en matière sèche de la culture fixatrice d'azote (kg MS année<sup>-1</sup>);
- FMS<sub>T</sub> = Teneur en matière sèche de la récolte (0,86; Tableau A3-7, Matin et al., 2004) et en présumant que la masse des plantes qui fixent l'azote vaut deux fois la masse des parties récoltées.

### Émissions directes de N<sub>2</sub>O attribuables aux résidus de récolte

Lorsque les cultures sont récoltées, une partie des plantes est laissée sur le terrain (résidus de récolte) et se décompose. Au Canada, environ 55 % de la masse cultivée reste sur place sous forme de résidus. Ces résidus constituent une source d'azote qui alimente le procédé de nitrification ou de dénitrification et qui, par conséquent, produit du N<sub>2</sub>O (Matin et al., 2004).

La décomposition des résidus de récolte laissés sur place rejette du N<sub>2</sub>O dans l'atmosphère. La méthode de niveau 1 du GIEC est utilisée pour estimer les émissions de N<sub>2</sub>O des résidus de récolte. L'équation 7a permet d'estimer la production de N<sub>2</sub>O des résidus de récolte.

$$N_2O_{RC} = 2 \times [(\Sigma C_{CNFA} \times F_{CNFA}) + (\Sigma C_{CFA} \times F_{CFA}) \times (1 - F_R) \times CE_1] \times 44/28 \quad [7a]$$

où:

- N<sub>2</sub>O<sub>RC</sub> = Émissions de N<sub>2</sub>O issues des résidus de récolte (kg N<sub>2</sub>O année<sup>-1</sup>);
- ΣC<sub>CNFA</sub> = Rendement total de toutes les cultures non fixatrices d'azote, sur base sèche (kg MS année<sup>-1</sup>; voir équation 7b);
- F<sub>CNFA</sub> = Teneur en azote des cultures non fixatrices d'azote, sur base sèche

- (0,015 kg N/kg de masse sèche; GIEC, 1997);
- $\Sigma C_{CFA}$  = Rendement total de toutes les cultures fixatrices d'azote, sur base sèche (kg MS année<sup>-1</sup>; voir équation 7c);
- $F_{CFA}$  = Teneur en azote des cultures fixatrices d'azote, sur base sèche (0,03 kg N/kg MS; GIEC, 1997);
- $F_R$  = Fraction récoltée de la masse cultivée (45 %; en présumant que 55 % de la masse récoltée reste au champ sous forme de résidus de récolte);
- $CE_1$  = Coefficient d'émission (0,0125 kg N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup>; GIEC, 1997);
- 44/28 = Rapport entre le poids moléculaire du N<sub>2</sub>O et celui du N<sub>2</sub>.

Le rendement total, sur base sèche, de toutes les cultures non fixatrices d'azote est calculé avec l'équation 7b.

$$\Sigma C_{CNFA} = (C_{CNFA} \times FMS_T) \quad [7b]$$

où:

- $C_{CNFA}$  = Rendement total des cultures non fixatrices d'azote, sur base humide (kg année<sup>-1</sup>);
- $FMS_T$  = Teneur en matière sèche de la culture récoltée (blé : 0,86; maïs : 0,86, Tableau A3-7, Matin et al., 2004).

Le rendement total, sur base sèche, de toutes les cultures fixatrices d'azote est calculé avec l'équation 7c.

$$\Sigma C_{CFA} = (C_{CFA} \times FMS_T) \quad [7c]$$

où:

- $C_{CFA}$  = Rendement total des cultures fixatrices d'azote, sur base humide (kg année<sup>-1</sup>);
- $FMS_T$  = Teneur en matière sèche de la culture récoltée (soya : 0,86, Tableau A3-7, Matin et al., 2004).

### Émissions indirectes de N<sub>2</sub>O résultant de la volatilisation et de la redéposition de l'azote

Lorsqu'un engrais minéral ou organique est épandu sur une terre cultivée, une portion de l'azote est perdue par volatilisation sous forme de NH<sub>3</sub> ou de NO<sub>x</sub>. Cet azote volatilisé peut se redéposer ailleurs et subir d'autres transformations, notamment un processus de nitrification ou de dénitrification qui produit du N<sub>2</sub>O hors site. La quantité de cet azote volatilisé dépend d'un certain nombre de facteurs tels que les taux de volatilisation, les types d'engrais, les méthodes et les moments d'épandage de l'azote, la texture des sols, les précipitations, la température et le pH du sol (Matin et al., 2004).

La méthode de niveau 1 du GIEC est utilisée pour estimer les émissions indirectes dues à la volatilisation et à la redéposition de l'azote de l'engrais minéral ou du fumier épandu sur les sols agricoles. L'équation 8 permet de calculer ces émissions.

$$N_2O_{VD} = [(ES_P \times CE_{ES}) + (N_{LS} \times CE_{LS})] CE_{VD} \times 44/28 \quad [8]$$

où:

- $N_2O_{VD}$  = Émissions indirectes de N<sub>2</sub>O attribuables à la volatilisation et à la redéposition (kg N<sub>2</sub>O année<sup>-1</sup>);

- ES<sub>P</sub> = Consommation d'engrais minéral azoté (kg N année<sup>-1</sup>);
- CE<sub>ES</sub> = Fraction de l'azote des engrais minéraux épandus qui se volatilise sous forme de NH<sub>3</sub> et de NO<sub>x</sub> (0,1 kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N kg N<sup>-1</sup>; GIEC, 1997, en présumant que 10 % de l'azote des engrais minéraux se volatilise et se redépose sur le sol).
- N<sub>LS</sub> = Quantité totale d'azote provenant du lisier (kg N année<sup>-1</sup>);
- CE<sub>LS</sub> = Fraction de l'azote excrété par le bétail volatilisable sous forme de NH<sub>3</sub> et de NO<sub>x</sub> (0,17 kg (NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N) kg N<sup>-1</sup>, en utilisant le facteur de perte de 1,2 proposé par le CRAAQ (2003b) pour le lisier de porc épandu à l'aide d'une rampe et incorporé en moins de 48 heures. Ce facteur est semblable à celui proposé par le GIEC qui est de 20 %).
- CE<sub>VD</sub> = Coefficient d'émission attribuable à la volatilisation (0,01 kg N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup>; GIEC, 1997);
- 44/28 = Rapport entre le poids moléculaire du N<sub>2</sub>O et celui du N<sub>2</sub>.

### Émissions indirectes de N<sub>2</sub>O attribuables au lessivage, au ruissellement et à l'érosion

Lorsque l'azote de l'engrais minéral ou du fumier est épandu sur des terres agricoles, une fraction de cet azote est perdue par lessivage, ruissellement et érosion. L'importance de cette perte dépend d'un certain nombre de facteurs tels que les taux, les méthodes et les moments de l'épandage d'azote, le type de culture, la texture du sol, les précipitations, le paysage, etc. Cette fraction d'azote perdue peut subir d'autres transformations comme une nitrification ou une dénitrification et ainsi produire, hors site, des émissions de N<sub>2</sub>O.

La méthode de niveau 1 du GIEC est utilisée pour estimer les émissions indirectes de N<sub>2</sub>O résultant du lessivage, du ruissellement et de l'érosion des engrais minéraux ou organiques épandus sur les sols agricoles. L'équation 9 permet de calculer ces émissions de N<sub>2</sub>O.

$$N_2O_L = F_L \times CE_L (ES_P + N_{LS}) 44/28 \quad [9]$$

où:

- N<sub>2</sub>O<sub>L</sub> = Émissions indirectes de N<sub>2</sub>O dues au lessivage et au ruissellement (kg N<sub>2</sub>O année<sup>-1</sup>);
- F<sub>L</sub> = Fraction de l'apport en azote perdue par lessivage et ruissellement (0,15 kg N kg<sup>-1</sup> d'engrais ou d'azote du fumier);
- CE<sub>L</sub> = Coefficient d'émission pour le lessivage et le ruissellement (0,025 kg N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup>; GIEC, 1997);
- ES<sub>P</sub> = Consommation d'azote minéral (kg N année<sup>-1</sup>);
- N<sub>LS</sub> = Quantité d'azote organique épandue (kg N année<sup>-1</sup>);
- 44/28 = Rapport entre le poids moléculaire du N<sub>2</sub>O et celui du N<sub>2</sub>.

Il est rapporté dans l'Inventaire canadien des gaz à effet de serre (Matin et al., 2004), que les pertes dues au lessivage et au ruissellement au Canada sont probablement plus faibles que dans tout autre pays faisant appel à des pratiques agricoles intensives. Ainsi, les pertes implicites de 30 % signalées par le GIEC ont été réduites à 15 % pour refléter les conditions climatiques canadiennes. La valeur de 15 % utilisée par Matin et al. (2004) s'applique surtout aux régions semi-arides de l'ouest canadien. Pour les régions humides, comme au Québec, les pertes dues au

ruissellement devraient se situer entre 15 et 30 %. Puisqu'il n'y a pas de valeur de spécifiée pour les régions humides, dans ce projet, les calculs ont été effectués en utilisant une valeur de 15 % pour les pertes dues au lessivage et au ruissellement.

#### 4.3.5 Énergie utilisée à la ferme

Les sources d'énergie qui peuvent être utilisées à la ferme sont le diesel, le propane, le gaz naturel et l'électricité. Les émissions de GES produites par ces sources énergétiques ont été évaluées à partir d'un chiffrer Excel publié par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC, 2003). Le tableau 29 présente les émissions de GES produites par la combustion du carburant diesel, par la combustion du gaz naturel et du propane et par la production d'électricité.

**Tableau 29. Production de GES à partir de la source d'énergie utilisée à la ferme**

Gaz	Diesel <sup>[a]</sup>	Gaz naturel <sup>[b]</sup>	Propane <sup>[b]</sup>	Électricité <sup>[c]</sup>
	g L <sup>-1</sup>	g m <sup>-3</sup>	g L <sup>-1</sup>	g kW-h <sup>-1</sup>
CO <sub>2</sub>	2 730	1 880	1 530	0
CH <sub>4</sub>	0,12	0,048	0,03	0,067
N <sub>2</sub> O	0,1	0,02	0	0
Total (CO <sub>2</sub> éq.)	2 764	1 886	1 531	1,4

<sup>[a]</sup> Tracteur et camion.

<sup>[b]</sup> Brûleur conventionnel.

<sup>[c]</sup> Province de Québec (méthane seulement).

#### 4.3.6 Combustion du diesel lors de l'épandage et du transport

Les émissions de GES provenant du transport sont causées par la combustion du carburant diesel par les tracteurs lors de l'épandage et par les camions lors du transport sur de longues distances.

Les produits suivants sont épandus sur la ferme:

- Lisier brut;
- Fraction liquide du lisier après séparation ou traitement à la ferme;
- Compost;
- Engrais minéral.

Le transport sur de longues distances consiste à transporter les produits suivants:

- Lisier brut;
- Fraction solide du lisier après séparation ou traitement à la ferme;
- Compost;
- Engrais minéral.

Toutes les émissions de GES ont été calculées à partir de la consommation de diesel par mètre cube de produit épandu ou transporté. Les détails des données d'épandage et de transport sur de longues distances sont regroupés aux tableaux 30 et 31.

## Épandage de lisier, compost et engrais

### **Épandage du lisier brut ou de la fraction liquide du lisier après séparation ou traitement à la ferme**

L'épandage du lisier brut ou de la fraction liquide du lisier après séparation est réalisé à l'aide d'une citerne de 20,45 m<sup>3</sup> équipée d'une rampe avec pendillards d'une largeur de 9,15 m (30 pieds). Le taux de remplissage de la citerne a été fixé à 90 %.

Le tracteur nécessaire pour réaliser l'épandage a une puissance de 140 kW (190 HP) et une consommation de diesel de 18,7 L heure<sup>-1</sup>. La puissance du tracteur et la consommation de diesel ont été extrapolées à partir des données présentées dans l'AGDEX 740/825 (CRÉAQ, 1998).

L'épandage est réalisé à l'aide de deux épandeurs de même capacité. Le nombre de voyages à l'heure a été fixé à trois pour une capacité totale d'épandage de 110,4 m<sup>3</sup> de lisier heure<sup>-1</sup>.

Les activités de brassage et de pompage du lisier dans la fosse sont réalisées à l'aide d'un tracteur et d'une pompe qui fonctionnent en continu durant tout le chantier d'épandage. Selon les données du CRÉAQ (1998), la consommation de diesel lors du brassage et du pompage du lisier est de 23,4 L heure<sup>-1</sup>.

La consommation de diesel pour l'épandage seulement est de 0,34 L m<sup>-3</sup> et de 0,55 L m<sup>-3</sup> en incluant le brassage et le pompage.

### **Épandage de compost ou de la fraction solide du lisier après séparation ou traitement à la ferme**

L'épandage de compost ou de la fraction solide du lisier après séparation ou traitement à la ferme est réalisé à l'aide d'un épandeur à fumier solide d'une capacité de 8 m<sup>3</sup>. Le taux de remplissage de l'épandeur est de 100 %. Le tracteur nécessaire pour réaliser l'épandage a une puissance de 82 kW (110 HP) et une consommation de diesel de 12,0 L heure<sup>-1</sup> (CRÉAQ, 1998). L'épandage est réalisé à l'aide de deux épandeurs de même capacité. Le nombre de voyages à l'heure a été fixé à trois pour une capacité totale d'épandage de 48 m<sup>3</sup> heure<sup>-1</sup>.

Le chargement du compost dans l'épandeur est réalisé à l'aide d'un tracteur équipé d'un chargeur frontal. La consommation de diesel a été fixée à 0,3 L m<sup>-3</sup> de compost.

La consommation de diesel pour l'épandage de compost incluant le chargement est de 0,8 L m<sup>-3</sup> de compost épandu.

### **Épandage d'engrais minéral**

L'épandage d'engrais minéral est réalisé à l'aide d'un épandeur granulaire d'une capacité de 4 tonnes et d'une largeur effective d'épandage de 12 m. Le tracteur nécessaire pour tirer l'épandeur possède une puissance de 40 kW (54 HP) et la capacité d'épandage du système est de 8,4 ha h<sup>-1</sup>. La consommation de diesel pour l'épandage d'engrais minéral est de 0,8 L ha<sup>-3</sup>.

## **Transport de lisier, compost et engrais sur de longues distances**

### ***Transport de lisier brut ou de la fraction liquide sur de longues distances***

Le transport de lisier brut ou de la fraction liquide sur de longues distances est réalisé à l'aide d'un camion citerne. La citerne possède une capacité de  $31,9 \text{ m}^3$  (7000 gallons) et le taux de remplissage a été établi à 95 %. Le camion a une puissance de 169 kW (225 HP) et une consommation de diesel de  $27,3 \text{ L h}^{-1}$ .

Lors d'un chantier d'épandage, la distance de transport a été établie à 30 km et la vitesse moyenne de transport sur route à  $60 \text{ km h}^{-1}$ . Le temps par voyage a été fixé à 2 h, soit 1 heure de roulement et une heure de temps d'attente comprenant entre autres le chargement et la vidange de la citerne.

En ne considérant que le transport, la consommation de diesel pour le transport du lisier a été évaluée à  $0,9 \text{ L m}^{-3}$  de lisier.

### ***Transport de compost et de la fraction solide du lisier après séparation ou traitement à la ferme***

Le transport de compost et de la fraction solide du lisier après séparation ou traitement à la ferme sur de longues distances est réalisé avec camion benne d'une capacité de  $30 \text{ m}^3$ . Le camion a une puissance de 129 kW (173 HP) et une consommation de diesel de  $20,1 \text{ L h}^{-1}$ .

La distance moyenne de transport de la fraction solide du lisier entre la ferme et le centre de compostage a été établie à 30 km de même que la distance moyenne de transport du compost entre le centre de compostage et la ferme.

Comme pour le transport de lisier brut, le temps par voyage a été fixé à 2 h, soit 1 heure de roulement et une heure de temps d'attente comprenant entre autres le chargement et le déchargement de la remorque. La vitesse moyenne du camion a été fixée à  $60 \text{ km h}^{-1}$ .

En ne considérant que le transport, la consommation de diesel lors du transport du compost a été évaluée à  $0,67 \text{ L m}^{-3}$  de lisier.

### ***Transport d'engrais minéral***

Le transport de l'engrais minéral du centre de distribution jusqu'à la ferme est réalisé avec un semi-remorque d'une capacité de 32 tonnes pour un engrais ayant une masse volumique de  $1,32 \text{ t m}^{-3}$ .

Comme pour le transport de lisier brut, le temps par voyage a été fixé à 2 heures, soit 1 heure de roulement et une heure de temps d'attente comprenant entre autres le chargement et le déchargement de la remorque. La vitesse moyenne du camion a été fixée à  $60 \text{ km h}^{-1}$ . La distance de transport entre le centre de distribution d'engrais et la ferme a été fixée à 30 km.

La consommation de diesel pour le seul transport de l'engrais minéral a été évaluée à  $0,8 \text{ L t}^{-1}$ .

**Tableau 30. Consommation de diesel lors de l'épandage (lisier brut, fraction liquide, compost et engrais minéral)**

	Lisier brut et fraction liquide	Compost	Engrais minéral
<b>Équipement d'épandage</b>			
Type	Citerne équipée d'une rampe avec pendillards	Épandeur à fumier solide	Épandeur granulaire
Capacité	20,5 m <sup>3</sup>	8,0 m <sup>3</sup>	4 tonnes
Taux de remplissage	90 %	100 %	100 %
Largeur	9,15 m		12 m
<b>Tracteur</b>			
Puissance	140 kW (190 HP)	82 kW (110 HP)	40 kW (54 HP)
Consommation	18,7 L h <sup>-1</sup>	12,0 L h <sup>-1</sup>	6,7 L h <sup>-1</sup>
<b>Épandage</b>			
Nombre d'équipement	2	2	1
Nb de voyage à l'heure	3	3	-
<b>Consommation de diesel</b>			
Épandage seulement	0,34 L m <sup>-3</sup>	0,50 L m <sup>-3</sup>	0,80 L ha <sup>-1</sup>
Reprise et épandage	0,55 L m <sup>-3</sup>	0,80 L m <sup>-3</sup>	

**Tableau 31. Consommation de diesel pour le transport sur de longues distances (lisier brut, fraction liquide, compost et engrais minéral)**

	Lisier brut et fraction liquide	Compost	Engrais minéral
<b>Équipement de transport</b>			
Type	Semi-remorque, citerne liquide, cinq essieux	Camion-benne	Semi-remorque, plateau, cinq essieux
Capacité	31,9 m <sup>3</sup>	30,0 m <sup>3</sup>	32 tonnes
Taux de remplissage	95 %	100 %	100 %
<b>Camion</b>			
Puissance	169 kW (227 HP)	129 kW (173 HP)	165 kW (220 HP)
Consommation	27,3 L h <sup>-1</sup>	20,1 L h <sup>-1</sup>	26,0 L h <sup>-1</sup>
<b>Temps par voyage</b>			
Temps d'attente	1 h	1 h	1 h
Temps de roulement	1 h	1 h	1 h
<b>Nombre de transporteurs</b>			
	3		
<b>Consommation de diesel</b>			
Transport seulement	0,90 L m <sup>-3</sup>	0,67 L m <sup>-3</sup>	0,81 L tonne <sup>-1</sup>
Transport, chargement et déchargement	1,41 L m <sup>-3</sup>	0,97 L m <sup>-3</sup>	

### 4.3.7 Centre de compostage

Après séparation, la fraction solide des lisiers est transportée vers un centre de compostage d'une capacité de 500 000 tonnes de solide de lisier de porc par année.

Les GES produits par le compostage sont le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O émis par le compostage lui-même et le CO<sub>2</sub> émis par le retourneur d'andain. Les émissions de GES au compostage sont calculées à l'aide de la méthode présentée à la section 4.3.3 et les émissions produites par le retourneur d'andain sont calculées à l'aide de la consommation de diesel.

La durée du compostage est de six mois, durant les premiers trois mois, le matériel est retourné à toutes les deux semaines à l'aide d'un retourneur d'andain. Durant les derniers trois mois, le matériel est laissé en pile sans aération.

Le centre de compostage utilise un retourneur d'andain autotracté nécessitant une puissance de 75 kW et consommant 12,0 L de diesel par heure. La consommation de diesel est équivalente à 0,6 L par mètre cube de solide à composter.

### 4.3.8 Fabrication d'engrais minéraux

Les facteurs d'émission de GES provenant de la fabrication des engrais minéraux ont été tirés d'une revue de littérature réalisée par Wood et Cowie (2004). Les résultats présentés proviennent d'études réalisées en Europe. Les auteurs rapportaient que les résultats d'une étude de Davis et Haglund (1999) étaient les plus complets puisqu'ils étaient basés sur la méthode du cycle de vie.

Selon Davis et Haglund (1999), la production d'azote sous forme d'urée (46-0-0) produit 4019 g éq. CO<sub>2</sub> kg N<sup>-1</sup> et la production de phosphate sous forme de STP (0-45-0) produit 1084 g éq. CO<sub>2</sub> kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sup>-1</sup>. Ces deux valeurs ont été utilisées pour calculer les émissions de GES des engrais utilisés dans les différents scénarios.

### 4.3.9 Traitement aérobie

Les émissions de GES produites par le traitement aérobie à la ferme sont calculées à partir des méthodes proposées par le GIEC (2000).

Les émissions de CH<sub>4</sub> sont calculées à l'aide l'équation 10.

$$E_{\text{CH}_4} = \text{FCM} \times P_{\text{CH}_4} \times C_{\text{SV}} \times Q_{\text{lisier}} \quad [10]$$

où:

- $E_{\text{CH}_4}$  = Émissions de CH<sub>4</sub> (kg CH<sub>4</sub> année<sup>-1</sup>);
- $\text{FCM}$  = Facteur de conversion du CH<sub>4</sub> (0,1 %; GIEC, 2000);
- $P_{\text{CH}_4}$  = Production maximale de CH<sub>4</sub> pour le lisier de porcs (0,30 kg CH<sub>4</sub> kg SV<sup>-1</sup>; GIEC, 1997);
- $C_{\text{SV}}$  = Concentration de solides volatils dans le lisier (kg SV kg lisier<sup>-1</sup>);
- $Q_{\text{lisier}}$  = Quantité de lisier entreposé à la ferme (kg lisier année<sup>-1</sup>).

Les émissions de N<sub>2</sub>O sont calculées à l'aide de l'équation 11.

$$E_{N_2O} = FE_{N_2O} \times C_N \times Q_{\text{lisier}} \times 44/28 \quad [11]$$

- $E_{N_2O}$  = Émissions de N<sub>2</sub>O (kg N<sub>2</sub>O année<sup>-1</sup>);  
 $FE_{N_2O}$  = Facteur d'émission du N<sub>2</sub>O (0,0064 kg N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup>);  
 $C_N$  = Concentration d'azote dans le lisier (kg N kg lisier<sup>-1</sup>);  
 $Q_{\text{lisier}}$  = Quantité de lisier entreposé à la ferme (kg lisier année<sup>-1</sup>).

Le facteur d'émission ( $FE_{N_2O}$ ) proposé par le GIEC (2000) pour le traitement aérobie est de 0,02 kg N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup>. Les émissions de N<sub>2</sub>O représentent alors 3,14 % de l'azote total du lisier admis dans le bioréacteur. Peu et al. (1999) rapportent que les émissions de N<sub>2</sub>O provenant d'un réacteur aérobie représentent une petite fraction (moins de 1 %) de l'azote du lisier qui entre dans le réacteur. Selon les estimations réalisées à partir des résultats obtenus par Pelletier et al. (2004) pour le système de traitement Biofertile, les émissions de N<sub>2</sub>O représenteraient environ 0,53 % de l'azote total du lisier pompé dans le réacteur aérobie. Suite à ces observations, le facteur d'émission du N<sub>2</sub>O ( $FE_{N_2O}$ ) a été fixé à 1 % soit 0,0064 kg N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup>.

#### 4.4 Méthode de calcul de l'analyse économique

L'analyse économique a porté sur les éléments pouvant être affectés par les différents scénarios étudiés. Ainsi, les données présentées ne constituent qu'une partie du coût de production de l'entreprise type et non son coût global. Ce choix rend plus simple l'analyse qui doit évaluer le coût de la réduction des émissions de GES de différents scénarios par rapport à l'entreprise type. Cette dernière dispose de la totalité des superficies requises à proximité de son site de production, pour effectuer l'épandage de ses fumiers. Le coût est d'abord présenté pour l'ensemble de l'entreprise naisseur-finisser, puis il est rapporté par porc produit et par truie en inventaire. Ces deux ratios permettent d'extrapoler rapidement les coûts pour l'ensemble de la production pour un scénario donné à partir du nombre de porcs produits ou du nombre total de truies en inventaire.

Les éléments pris en considération sont principalement les modifications requises au bâtiment, les équipements de traitement, les coûts de disposition des lisiers bruts ou des co-produits de ces lisiers ainsi que le coût des engrais minéraux.

##### 4.4.1 Immobilisations

Les immobilisations, bâtiments et équipements, ont été évaluées à leur valeur à neuf. Aucune subvention ne leur a été appliquée bien que plusieurs éléments seraient admissibles à une telle subvention, notamment les équipements de traitement (séparation, traitement aérobie ou anaérobie).

Les coûts calculés sont estimés selon la nature de ces derniers, soit les frais fixes, monétaires ou non monétaires, ainsi que les frais variables.

#### 4.4.2 Frais fixes

Les frais fixes sont calculés par l'estimation des frais annuels de possession à partir de la vie économique des actifs reliés aux éléments retenus des scénarios.

Les frais fixes comprennent les frais non monétaires de dépréciation ainsi que les frais monétaires d'intérêt, d'entretien et de réparation, de taxes foncières et d'assurances. La dépréciation linéaire des biens a été retenue avec une valeur résiduelle après la durée de vie utile de 10 % pour les équipements. La vie utile des bâtiments a été évaluée à 30 ans pour les ouvrages en béton et à 20 ans pour les bâtiments en général, alors que la vie utile retenue pour les équipements est de 10 ans. Lorsque le coût des infrastructures comprend à la fois les bâtiments et les équipements, la vie utile retenue est de 15 ans, considérant ainsi que la valeur des bâtiments est du même ordre que la valeur des équipements qu'ils abritent.

Le taux d'intérêt correspond au coût d'opportunité auquel l'agriculteur peut prêter son argent à moyen terme. Ce taux est divisé par deux afin de tenir compte de la perte de valeur des biens amortissables durant leur vie économique. Pour les fins du présent mandat, un taux de 5 % est retenu.

Les frais d'entretien et de réparation retenus sont de 1,4 % et 4,0 % du coût de remplacement à neuf respectivement pour les bâtiments et les équipements. Les primes d'assurances sont estimées à 0,75 % de la valeur à neuf de ces deux éléments d'actif alors que le taux général de la taxe foncière est de 0,36% de la valeur à neuf des bâtiments.

#### 4.4.3 Frais variables

Les frais variables comprennent notamment, sans s'y limiter, les éléments suivants :

1. Main-d'œuvre;
2. Énergie;
3. Carburants et combustibles;
4. Engrais minéraux;
5. Travaux en sous-traitance :
  - Brassage, reprise, transport et épandage du lisier et de ces co-produits (fraction solide issue d'une séparation, boues déshydratées de traitement et compost);
  - Compostage de la fraction solide en centre régional;
  - Déshydratation de boues (traitement anaérobie partiel à la ferme);
  - Épandage des engrais minéraux.

Le coût de la **main-d'œuvre** est estimé à 15 \$ h<sup>-1</sup>, incluant 25 % pour les avantages sociaux.

Le coût de l'**électricité** est évalué à 0,055 \$ kWh<sup>-1</sup>, et ce, indépendamment de la consommation annuelle et de la puissance instantanée appelée par la ferme. La valeur considérée du **propane** est de 0,305 \$ l<sup>-1</sup> livré et exclut les frais de location des réservoirs. Le coût du carburant **diesel** a été fixé à 0,69 \$ l<sup>-1</sup> incluant les taxes.

Le prix des **engrais minéraux** pour les principaux engrais utilisés est celui suggéré par un manufacturier en date du 31 mars 2005. Il est respectivement de 566 \$ t<sup>-1</sup>, 626 \$ t<sup>-1</sup> et 433 \$ t<sup>-1</sup> pour l'urée (46-0-0), le supertriplephosphate (0-45-0) et le muriate de potassium (0-0-60). Ce prix exclut tout escompte de quantité ou de pré-achat mais comprend la livraison ainsi que la location de l'épandeur.

Les principaux travaux donnés en **sous-traitance** sont présentés ci-dessous.

Le *brassage* et la *reprise* du lisier sont effectués durant tout le chantier d'épandage, le brassage débutant une heure avant le chantier. Deux chantiers sont réalisés durant la saison. Le coût de la reprise est estimé sur une base horaire selon CRÉAQ (1998) ajustée pour 2005, soit à un taux de 60,96 \$ h<sup>-1</sup>.

L'*épandage* du lisier brut, de la fraction liquide d'un lisier séparé ou d'un lisier traité est effectué à l'aide d'une citerne de 20,45 m<sup>3</sup> munie d'une rampe avec pendillards. Chaque chantier d'épandage fait appel à trois épandeurs afin de minimiser le temps de brassage. Le taux horaire de chaque système d'épandeur est de 79,55 \$ h<sup>-1</sup>. Ce taux est estimé à partir de CRÉAQ (1998) ajusté pour 2005 pour une citerne de 20,45 m<sup>3</sup> et par l'ajout d'une rampe d'épandage.

La *reprise* de la fraction solide d'un lisier séparé ou d'une boue déshydratée est effectuée à l'aide d'un chargeur frontal. Le taux horaire est de 1,27 \$ m<sup>-3</sup>, selon CRÉAQ (1998) ajusté pour 2005.

Le *transport* sur une longue distance du lisier brut est effectué par une citerne de 31,94 m<sup>3</sup>. Le coût est estimé à 1,874 \$ km<sup>-1</sup> selon Transport Canada (2000). Le transport de la fraction solide du lisier séparé ou des boues déshydratées de traitement est effectué par conteneur étanche d'une capacité de 25 m<sup>3</sup>. L'opération du transporteur est estimée à un taux de 75 \$ h<sup>-1</sup>.

Le coût de la *déshydratation* des boues par une unité mobile pour le scénario comprenant le traitement partiel anaérobie à la ferme est estimé à 10,30 \$ m<sup>-3</sup> de boues plus deux heures de déplacement de l'équipement mobile à un taux de 100 \$ h<sup>-1</sup> (BPR, 2004 - Étude interne).

Le *traitement de la fraction solide* d'un lisier séparé ou des boues déshydratées par un centre régional de compostage est effectué au coût de marché actuel de 10 \$ m<sup>-3</sup> pour un produit de siccité élevée (environ 30 %).

L'*épandage des engrais minéraux* est effectué à forfait à un coût de 6,00 \$ ha<sup>-1</sup> selon CRÉAQ (1998) majoré pour 2005.

Lorsque les données disponibles proviennent d'années antérieures, un ajustement en fonction de l'évolution de l'indice des prix à la consommation (IPC) a été effectué. Cet indice est de 126 pour l'année 2005 par rapport à l'année de référence de 1992.

## 5 Résultats d'émissions de GES des chaînes de gestion

### 5.1 Définitions

Les résultats d'émission de GES des différentes chaînes de gestion du lisier de porc sont présentés dans les tableaux 32 à 38. Dans ces tableaux, les émissions ont été réparties selon les neuf catégories suivantes:

#### **Bâtiment**

La catégorie **bâtiment** comprend les émissions provenant de la fermentation entérique des animaux gardés dans les bâtiments ainsi que celles provenant de la dégradation du fumier qui y séjourne temporairement.

#### **Traitement à la ferme**

La catégorie **traitement à la ferme** comprend les émissions causées par la consommation énergétique (principalement d'électricité) requise par l'utilisation d'équipements spécifiques à un type de traitement donné. Par exemple, la consommation d'électricité engendrée par l'utilisation d'une centrifugeuse pour la séparation du lisier de porc dans la chaîne de gestion 2-a ou l'aération dans le bioréacteur de la chaîne 3-a.

Cette catégorie comprend également les émissions de GES associées au procédé de traitement lui-même telles que les émissions résultant de l'aération de la fraction liquide du lisier durant le traitement aérobie.

#### **Substitution propane**

La catégorie **substitution propane** comprend l'économie d'émission de GES réalisée lorsque le biogaz produit par un système de traitement anaérobie à la ferme (chaînes de gestion 3-b et 4) est utilisé en remplacement de combustible fossile, notamment du propane pour chauffer les bâtiments d'élevage.

#### **Entreposage à la ferme**

La catégorie **entreposage à la ferme** comprend les émissions produites par l'entreposage, dans une fosse ouverte sans toiture, de lisier brut, de la fraction liquide du lisier après séparation ou après traitement partiel à la ferme.

#### **Transport longues distances**

La catégorie **transport longues distances** comprend les émissions de GES provenant du transport du lisier brut lorsque les terres d'épandage sont éloignées de la ferme (chaîne de gestion 1-b) ou lorsque le lisier brut est transporté vers un centre de traitement centralisé (chaîne de gestion 4). Cette catégorie comprend aussi les émissions générées par le transport de la fraction solide du lisier après séparation ou des boues de traitement vers le centre de compostage.

La sous-catégorie **compost** comprend les émissions des GES provenant du transport du compost, produit à partir de la fraction solide du lisier ou des boues de traitement, du centre de compostage à la ferme.

### **Traitement régional**

La catégorie **traitement régional** comprend les émissions de GES produites lors du compostage de la fraction solide du lisier après séparation ou traitement. La sous-catégorie **substitution propane** comprend l'économie d'émission de GES réalisée au centre de traitement régional (chaîne de gestion 4) lorsque le biogaz produit est utilisé en remplacement de combustible fossile, notamment le propane, pour une utilisation thermique de chauffage ou de séchage.

### **Épandage**

La catégorie **épandage** comprend les émissions produites par la consommation de carburant diesel des tracteurs pour la reprise et l'épandage du lisier brut, de la fraction liquide du lisier ou du compost produit à partir de la fraction solide du lisier.

### **Émissions au champ**

La catégorie **émissions au champ** comprend les émissions directes et indirectes découlant de l'épandage d'engrais de ferme (lisier brut, fraction liquide ou compost) et d'engrais minéral.

### **Engrais minéraux**

La catégorie **engrais minéraux** comprend les émissions de GES produites lors de la fabrication des engrais minéraux nécessaires à la fertilisation des sols et par la consommation de carburant diesel par les tracteurs lors de leur épandage.

## 5.2 Chaîne de gestion 1-a

Les émissions de GES par une ferme porcine conventionnelle, pour les éléments de la chaîne qui ont été retenus, sont estimées à environ 681 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année (tableau 32), soit 174 kg éq. CO<sub>2</sub> par porc produit. Les principaux faits saillants techniques concernant ce scénario de base sont les suivants :

- Environ 25 % des émissions globales de GES proviennent de la production de CH<sub>4</sub> dans les bâtiments porcins et 22 % de l'entreposage des lisiers bruts;
- L'activité de reprise et d'épandage du lisier brut sur des terres à proximité des installations d'élevage génère environ 1 % des émissions globales;
- Près de la moitié (47 %) des quantités totales de GES émises proviennent de l'émission directe (35 %) ou indirecte (12 %) de protoxyde d'azote liée à l'épandage des matières fertilisantes, aux cultures fixatrices d'azote et aux résidus de culture;
- Les émissions inhérentes à la fabrication, au transport et à l'épandage des engrais minéraux complémentaires à la fertilisation organique représentent environ 5 % de la production globale de GES. Elles consistent essentiellement en des émissions de CO<sub>2</sub>, le gaz naturel étant principalement utilisé pour la synthèse de l'azote minéral;
- Le mode de gestion conventionnelle implique des pertes d'azote à différentes étapes de la chaîne de gestion des lisiers. En excluant les immobilisations d'azote liées au facteur d'efficacité de première année, la perte globale d'azote de la filière est de l'ordre de 41 % de l'azote excrété. Ces pertes sont réparties au bâtiment (61 %), à l'entreposage (10 %) et à l'épandage (29 %).

Cette filière conventionnelle présente des contraintes techniques, économiques ou sociales dans le contexte particulier des régions à forte concentration d'élevage. Parmi ces éléments, on peut noter:

- La disponibilité des terres pour l'épandage du lisier est relativement faible en zone de concentration d'élevage, ce qui restreint le nombre de fermes pour lesquelles un épandage à proximité des installations d'élevage est effectivement possible. Selon les régions et les contextes d'opération, les distances réelles d'épandage pourront varier de façon importante d'une entreprise à une autre;
- Le ratio N:P des lisiers bruts est inférieur à celui des besoins des cultures, ce qui confère au phosphore le statut d'élément limitant pour les activités de fertilisation.
  - Ce déséquilibre accentue le recours aux engrais azotés de synthèse. Dans le scénario conventionnel, les engrais minéraux azotés comblent 50 % des besoins des cultures;
  - La dilution relativement élevée des éléments fertilisants contenus dans les lisiers bruts limite les possibilités économiques d'exportation de l'excédent de phosphore hors des zones de concentration d'élevage;
  - Cette dilution des éléments fertilisants du lisier entraîne également des risques plus élevés de compaction des sols pour les épandages en pré-semis alors que les conditions de sol sont généralement propices à une telle compaction;
- Le lisier brut non traité et entreposé en structure étanche constitue un potentiel de génération d'odeurs élevé, accroissant les contraintes sociales liées à leur valorisation par épandage.

**Tableau 32. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 1-a**

	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		Total
	kg	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg éq. CO <sub>2</sub>	
Bâtiment	-	8 220	172 628	-	-	172 628	
Traitement à la ferme	-	-	-	-	-	-	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Entreposage à la ferme							
Lisier brut	-	7 072	148 517	-	-	148 517	
Fraction liquide	-	-	-	-	-	-	
Transport longues distances							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction solide	-	-	-	-	-	-	
Compost	-	-	-	-	-	-	
Traitement régional							
Fraction solide	-	-	-	-	-	-	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Épandage							
Lisier brut	6 963	0,31	6,43	0,26	79	7 048	
Fraction liquide	-	-	-	-	-	-	
Compost	-	-	-	-	-	-	
Émissions au champ							
Directes	-	-	-	773	239 486	239 486	
Indirectes	-	-	-	260	80 472	80 472	
Engrais minéraux	32 623	0,8	18	0,35	108	32 749	
<b>Total</b>	<b>39 586</b>	<b>15 294</b>	<b>321 170</b>	<b>1 033</b>	<b>320 145</b>	<b>680 901</b>	

### 5.3 Chaîne de gestion 1-b

La principale différence entre ce scénario et le scénario de base est le fait que l'épandage du lisier brut est réalisé à une distance moyenne en charge de 30 km des installations d'élevage plutôt qu'à proximité de ces dernières.

Les émissions globales de GES de ce scénario, pour les éléments de la chaîne qui ont été retenus, s'établissent à environ 696 tonnes (tableau 33) d'équivalent CO<sub>2</sub> par année, soit 177 kg éq. CO<sub>2</sub> par porc produit. Cette production représente une augmentation de 2,2 % des émissions globales par rapport au scénario de base. Les principaux éléments techniques à souligner sont les suivants :

- L'activité de transport des lisiers sur 30 km génère des émissions de GES qui représentent moins de 2 % des émissions globales de ce scénario;
- L'activité d'épandage proprement dite produit environ 3 900 kg de plus d'éq. CO<sub>2</sub> que la gestion conventionnelle considérant les temps de brassage plus importants liés à la dynamique des chantiers d'épandage planifiés avec du transport sur de plus longues distances. Ce différentiel demeure toutefois faible par rapport aux émissions globales du scénario;
- Les autres postes budgétaires de GES ne sont pas affectés par rapport au scénario conventionnel.

L'augmentation des émissions de GES est aussi causée par une augmentation de la consommation de carburant diesel par les tracteurs lors de l'épandage. Pour un chantier d'épandage conventionnel, la consommation de diesel est évaluée à 0,55 L m<sup>-3</sup> de lisier à épandre (tableau 30) et pour un chantier d'épandage comme celui de la chaîne de gestion 1-b, la consommation est évaluée à 0,85 L m<sup>-3</sup> de lisier à épandre. Le fonctionnement de la pompe en continu durant tout le chantier d'épandage et des temps d'attente plus longs font augmenter la consommation de diesel des tracteurs. Pour la chaîne de gestion 1-b, les émissions de GES provenant de l'épandage du lisier sont de 10,9 t éq. CO<sub>2</sub> comparativement à 7,0 t éq. CO<sub>2</sub> pour la chaîne de gestion 1-a.

Dans le contexte particulier des régions à forte concentration d'élevage, cette filière présente des contraintes techniques, économiques ou sociales. Dans l'ensemble, elles demeurent essentiellement les mêmes que celles énoncées pour le scénario de base. Les éléments distinctifs à signaler sont :

- Les distances de transport de ce scénario sont représentatives de la situation de plusieurs entreprises en zone de concentration d'élevage;
- L'augmentation des distances de transport pour l'épandage des lisiers a une influence relative plus forte sur le coût de gestion des lisiers que sur l'émission globale des GES. Les émissions de GES liées au transport demeurent somme toute relativement faibles par rapport aux émissions globales pour un scénario donné.

**Tableau 33. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 1-b**

	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		Total
	kg	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg éq. CO <sub>2</sub>	
Bâtiment	-	8 220	172 628	-	-	172 628	
Traitement à la ferme	-	-	-	-	-	-	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Entreposage à la ferme							
Lisier brut	-	7 072	148 517	-	-	148 517	
Fraction liquide	-	-	-	-	-	-	
Transport longues distances							
Lisier brut	11 349	0,5	10	0,42	129	11 488	
Fraction solide	-	-	-	-	-	-	
Compost	-	-	-	-	-	-	
Traitement régional							
Fraction solide	-	-	-	-	-	-	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Épandage							
Lisier brut	10 781	0,47	10	0,39	122	10 913	
Fraction solide	-	-	-	-	-	-	
Compost	-	-	-	-	-	-	
Émissions au champ							
Directes	-	-	-	773	239 486	239 486	
Indirectes	-	-	-	260	80 472	80 472	
Engrais minéraux	32 623	0,8	18	0,35	108	32 749	
<b>Total</b>	<b>54 753</b>	<b>15 294</b>	<b>321 184</b>	<b>1 033</b>	<b>320 317</b>	<b>696 254</b>	

## 5.4 Chaîne de gestion 2-a

Ce scénario prévoit la séparation à la ferme des lisiers bruts avant leur entreposage, l'exportation de la fraction solide vers un centre de compostage régional ainsi que la valorisation par épandage sur des terres à proximité des installations d'élevage de la fraction liquide résultant de la séparation.

Les émissions globales de GES de ce scénario sont d'environ 664 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année (tableau 34), soit 169 kg éq. CO<sub>2</sub> par porc produit. Cette quantité représente une baisse de l'ordre de 17 300 kg d'équivalent CO<sub>2</sub> ou 2,5 % des émissions globales par rapport au scénario de base. Cette diminution est principalement attribuable à l'importance de la réduction des émissions de CH<sub>4</sub> à l'entreposage consécutive à l'enlèvement de 50 % des solides. La diminution n'est compensée que partiellement par le protoxyde d'azote produit lors du compostage de la fraction solide.

Les principaux faits saillants techniques concernant ce scénario sont les suivants :

- Environ 26 % des émissions globales de GES proviennent de la production de CH<sub>4</sub> dans les bâtiments porcins. La génération de méthane à l'entreposage de la fraction liquide issue de la centrifugation correspond à environ 12 % des émissions totales de GES comparativement à 22 % pour la gestion conventionnelle (chaîne 1-a);
- Les émissions reliées au transport et à l'épandage des produits solides et liquides représentent 1 922 kg d'équivalent CO<sub>2</sub> de plus que le scénario 1-a. Elles sont toutefois de 13 431 kg inférieures à celles du scénario 1-b pour l'épandage du lisier brut sur des terres éloignées de la ferme puisque seule la fraction solide parcourt de grandes distances pour son traitement et son transport;
- Près de la moitié (49 %) des émissions totales de GES proviennent de l'émission directe (36 %) ou indirecte (13 %) de protoxyde d'azote liée à l'épandage des matières fertilisantes, aux cultures fixatrices d'azote et aux résidus de culture;
- Les émissions inhérentes à la fabrication, au transport et à l'épandage des engrais minéraux complémentaires à la fertilisation organique représentent environ 5 % de la production globale de GES. Elles sont essentiellement des émissions de CO<sub>2</sub>;
- Ce mode de gestion implique des pertes d'azote à différentes étapes de la chaîne de gestion des lisiers. En excluant les immobilisations d'azote liées au facteur d'efficacité de première année, la perte globale d'azote de la filière est de l'ordre de 44 % de l'azote excrété. Ces pertes sont réparties au bâtiment (56 %), à l'entreposage de la fraction liquide (6 %), au compostage de la fraction solide (18 %) et à l'épandage de la fraction liquide (20 %). Les pertes globales sont de 9 % supérieures à celles établies pour le scénario de base, soit 9 157 kg N vs 8372 kg N, principalement à cause des émissions lors du procédé de compostage.

L'implantation de cette filière présente des contraintes techniques, économiques ou sociales dans le contexte particulier des régions à forte concentration d'élevage. Parmi ces éléments, notons :

- La centrifugation des lisiers bruts, sans ajout de coagulant/floculant, extrait 75 % du phosphore total des déjections dans une partie solide pouvant être dirigée vers un centre

régional de compostage. Pour les entreprises qui ne disposent pas des superficies requises pour l'épandage, cela peut constituer un avantage économique qu'il faut mettre en perspective, au cas par cas, avec les coûts supplémentaires inhérents à l'implantation de la filière de traitement;

- La partie liquide résultante de la centrifugation présente un ratio N:P plus équilibré par rapport aux besoins des cultures. Cette situation pourrait alors diminuer le besoin d'engrais minéraux azotés pour plusieurs entreprises pour lesquelles le phosphore est l'élément limitant les apports de lisier. Les scénarios, tels qu'ils sont construits, ne permettent pas d'évaluer l'importance de cet impact positif potentiel;
- La séparation ne réduit les volumes de la fraction liquide à gérer que de 4 % par rapport aux volumes de lisier brut du scénario conventionnel. Bien que ne subissant aucun traitement supplémentaire, la fraction liquide issue de la centrifugation devrait avoir un potentiel de génération d'odeurs inférieur au lisier brut en raison du taux de matière organique inférieur. Cette situation peut ainsi contribuer à diminuer les contraintes sociales liées à leur valorisation par épandage.

**Tableau 34. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 2-a**

	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		Total
	kg	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg éq. CO <sub>2</sub>	
Bâtiment	-	8 220	172 628	-	-	172 628	
Traitement à la ferme	-	1,4	29	-	-	29	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Entreposage à la ferme							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction liquide	-	3 694	77 580	-	-	77 580	
Transport longues distances							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction solide	1 048	0,05	1	0,04	12	1 061	
Compost	629	0,03	1	0,02	7	637	
Traitement régional							
Fraction solide	634	89	1 873	129	39 913	42 420	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Épandage							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction liquide	6 664	0,3	6	0,2	76	6 746	
Compost	519	0,02	0,5	0,02	6	526	
Émissions au champ							
Directes	-	-	-	775	240 196	240 196	
Indirectes	-	-	-	274	84 997	84 997	
Engrais minéraux	36 638	0,9	20	0,4	117	36 779	
<b>Total</b>	<b>46 133</b>	<b>12 007</b>	<b>252 139</b>	<b>1 178</b>	<b>365 328</b>	<b>663 599</b>	

## 5.5 Chaîne de gestion 2-b

Ce scénario implique la séparation des fèces de l'urine des animaux directement sous les lattes du plancher du bâtiment porcin, l'exportation de la fraction solide vers un centre de compostage régional ainsi que la valorisation par épandage sur des terres à proximité des installations d'élevage de la fraction liquide résultant de la séparation.

Les émissions globales de GES de ce scénario sont d'environ 634 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année (tableau 35), soit 169 kg éq. CO<sub>2</sub> par porc produit. Cette quantité représente une réduction de l'ordre de 46 900 kg éq. CO<sub>2</sub> ou 6,9 % des émissions globales du scénario de base 1-a. Cette diminution est d'abord attribuable au taux de capture très élevé de la matière sèche dans la fraction solide entraînant une réduction très importante de la production de CH<sub>4</sub> à l'entreposage. Par ailleurs, une diminution sensible de production de GES au bâtiment par ce système est également à signaler.

Des émissions importantes ont lieu au compostage. En effet, le taux de capture de l'azote dans la fraction solide est de l'ordre de 50 %. Cet azote est alors disponible pour la formation de N<sub>2</sub>O lors du compostage. Ainsi, 89 000 kg éq. CO<sub>2</sub> sont produits, essentiellement par le protoxyde d'azote. Ces pertes sont le double de celles observées pour la centrifugation, cette dernière affichant un plus faible taux de capture de l'azote du lisier.

Les principaux faits saillants techniques concernant ce scénario sont les suivants :

- La séparation fèces-urine permet de réduire la production de méthane par les animaux au bâtiment. Cette réduction est de l'ordre de 20 % par rapport à la production au bâtiment de tous les autres scénarios;
- Environ 22 % des émissions globales de GES proviennent de la production de CH<sub>4</sub> dans les bâtiments porcins;
- La génération de méthane à l'entreposage de la fraction liquide issue de la séparation ne constitue que 5 % des émissions totales de GES comparativement à 22 % pour la gestion conventionnelle (1-a) et à 12 % pour la centrifugation (2-a). Cette situation s'explique par le taux de capture très élevé de la matière sèche qui limite le potentiel de production de CH<sub>4</sub> à l'entreposage;
- Les émissions reliées au transport et à l'épandage des produits solides et liquides ne représentent que 1 920 kg d'équivalent CO<sub>2</sub> de plus que le scénario de base (1-a). Elles sont toutefois équivalente à celles du scénario avec centrifugation (2-a);
- Plus de la moitié (52 %) des quantités totales de GES émis provient de l'émission directe (39 %) ou indirecte (13 %) de protoxyde d'azote liée à l'épandage des matières fertilisantes, aux cultures fixatrices d'azote et aux résidus de culture;
- Les émissions inhérentes à la fabrication, au transport et à l'épandage des engrais minéraux complémentaires à la fertilisation organique représentent environ 6 % de la production globale de GES. Elles sont essentiellement des émissions de CO<sub>2</sub>;
- Ce mode de gestion implique des pertes d'azote à différentes étapes de la chaîne de gestion des lisiers. En excluant les immobilisations d'azote liées au facteur d'efficacité de première année, la perte globale d'azote de la filière est de l'ordre de 41 % de l'azote excrété. Ces

pertes sont réparties au bâtiment (37 %), à l'entreposage de la fraction liquide (5 %), au compostage de la fraction solide (42 %) et à l'épandage de la fraction liquide (16 %). Les pertes globales sont à peu près équivalentes à celles du scénario de base, soit 8 420 kg N comparativement à 8 372 kg N;

- Les pertes d'azote par compostage sont plus importantes dans ce scénario qu'avec la centrifugation considérant la plus grande quantité d'azote transférée dans la fraction solide des déjections et la meilleure conservation de l'azote au bâtiment.

L'implantation de cette filière présente des contraintes techniques, économiques ou sociales dans le contexte particulier des régions à forte concentration d'élevage. Parmi ces éléments, notons :

- La séparation fèces-urine extrait 90 % du phosphore total des déjections dans une partie solide pouvant être dirigée vers un centre régional de compostage. Pour les entreprises qui ne disposent pas des superficies requises pour l'épandage de leur lisier, cela peut constituer un avantage économique qu'il faut mettre en perspective, au cas par cas, avec les coûts supplémentaires inhérents à l'implantation de la filière de traitement. Dans ce contexte, la séparation fèces-urine est plus efficace que la centrifugation des lisiers, sans utilisation de coagulant/floculant, pour laquelle l'efficacité de séparation du phosphore est d'environ 75 %;
- La partie liquide résultant de la séparation fèces-urine présente un ratio N:P plus équilibré par rapport aux besoins des cultures, ce qui pourrait diminuer le besoin de recours aux engrais minéraux dans plusieurs cas. Les scénarios, tels qu'ils sont construits, ne permettent pas d'évaluer l'importance de cet impact positif potentiel;
- La séparation fèces-urine réduit les volumes de la fraction liquide à gérer d'environ 10 % par rapport au volume de lisier brut du scénario conventionnel. Cette réduction du volume est plus élevée lorsque le taux de matière sèche des déjections est plus élevé. Bien que ne subissant aucun traitement supplémentaire, la fraction liquide issue de la séparation fèces-urine devrait avoir un potentiel de génération d'odeurs inférieur au lisier brut, ce qui peut contribuer à diminuer les contraintes sociales liées à leur valorisation par épandage.

**Tableau 35. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 2-b**

	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		Total
	kg	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg éq. CO <sub>2</sub>	
Bâtiment	-	6 590	138 398	-	-	138 398	
Traitement à la ferme	-	-	-	-	-	-	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Entreposage à la ferme							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction liquide	-	1 557	32 689	-	-	32 689	
Transport longues distances							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction solide	1 118	0,05	1,0	0,04	13	1 132	
Compost	671	0,03	0,6	0,02	8	679	
Traitement régional							
Fraction solide	677	143	2 996	275	85 339	89 013	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Épandage							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction liquide	6 327	0,3	6	0,2	72	6 404	
Compost	554	0,02	0,5	0,02	6	561	
Émissions au champ							
Directes	-	-	-	791	245 127	245 127	
Indirectes	-	-	-	267	82 921	82 921	
Engrais minéraux	36 958	1	20	0,4	122	37 100	
<b>Total</b>	<b>46 304</b>	<b>8 291</b>	<b>174 112</b>	<b>1 334</b>	<b>413 609</b>	<b>634 025</b>	

## 5.6 Chaîne de gestion 3-a

Ce scénario implique la séparation du lisier par presse à vis, le traitement de la fraction liquide par traitement aérobic, la récupération et la déshydratation des boues du traitement aérobic, l'exportation de la fraction solide vers un centre de compostage régional ainsi que la valorisation par épandage sur des terres à proximité des installations d'élevage de la fraction liquide aérée.

Les émissions globales de GES de ce scénario sont d'environ 680 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année (tableau 36), soit 173 kg éq. CO<sub>2</sub> par porc produit. Cette quantité est à peu près équivalente à la production globale du scénario de base. Il y a toutefois un déplacement significatif des pertes entre les différents maillons de la chaîne de gestion des lisiers.

Les principaux faits saillants techniques concernant ce scénario sont les suivants :

- Le traitement aérobic comme tel engendre des pertes d'azote de l'ordre de 60 % du contenu initial de la fraction liquide traitée. Environ 5% de ces pertes seraient sous forme de NH<sub>3</sub>, 1 % serait sous forme de protoxyde d'azote et le reste, sous forme d'azote diatomique (N<sub>2</sub>). Les émissions globales de GES du procédé représentent un peu plus de 5 % des émissions globales de cette filière;
- L'enlèvement important de la matière sèche par le procédé réduit de façon importante les émissions de GES à l'entreposage du lisier traité. Ainsi, ces émissions représentent 5 % des émissions pour cette filière comparativement à 22 % pour la gestion conventionnelle;
- Les émissions reliées au transport et à l'épandage des produits solides et liquides représentent 3 800 kg d'équivalent CO<sub>2</sub> de plus que le scénario de base. Elles sont toutefois de 11 550 kg inférieures à celles du scénario avec épandage à une grande distance de la ferme puisque seule la fraction solide parcourt de grandes distances pour son traitement et son transport.
- Près de la moitié (44 %) des quantités totales de GES émises proviennent de l'émission directe (32 %) ou indirecte (12 %) de protoxyde d'azote lié à l'épandage des matières fertilisantes, aux cultures fixatrices d'azote et aux résidus de culture;
- Les émissions inhérentes à la fabrication, au transport et à l'épandage des engrais minéraux complémentaires à la fertilisation organique représentent environ 8 % de la production globale de GES. Elles sont essentiellement des émissions de CO<sub>2</sub>. Elles sont les plus importantes de tous les scénarios considérant l'ampleur des pertes en azote, principalement lors du traitement aérobic;
- En excluant les immobilisations d'azote liées au facteur d'efficacité de première année, la perte globale d'azote de la filière est de l'ordre de 74 % de l'azote excrété. Ces pertes sont principalement réparties au procédé (44 %), au bâtiment (34 %) et au compostage de la fraction solide.

L'implantation de cette filière présente des contraintes techniques, économiques ou sociales dans le contexte particulier des régions à fortes concentrations d'élevage. Parmi ces éléments, notons :

- La séparation des lisiers bruts et des boues issues du traitement aérobic permet d'extraire plus de 90 % du phosphore total des déjections dans une partie solide pouvant être dirigée vers un centre régional de compostage. Pour les entreprises qui ne disposent pas des superficies requises pour l'épandage de leur lisier, cela peut constituer un avantage économique qu'il faut

mettre en perspective, au cas par cas, avec les coûts supplémentaires inhérents à l'implantation de la filière de traitement. L'efficacité de ce système pour l'extraction du phosphore est donc comparable à celui de la séparation fèces-urine;

- La partie liquide résultant du traitement aérobique est très appauvrie par rapport au lisier brut. Elle contient très peu d'azote et de phosphore et permet donc l'épandage sur des superficies en culture très réduites, soit de l'ordre de 10 % des superficies requises pour l'épandage du lisier brut;
- Le système réduit les volumes de la fraction liquide à gérer de 15 % par rapport au volume de lisier brut du scénario conventionnel. La fraction liquide issue du traitement aérobique présente par contre un potentiel de génération d'odeurs substantiellement inférieur à celui du lisier brut, ce qui peut contribuer à diminuer les contraintes sociales liées à leur valorisation par épandage.

**Tableau 36. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 3-a**

	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		Total
	kg	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg éq. CO <sub>2</sub>	
Bâtiment	-	8 220	172 628	-	-	172 628	
Traitement à la ferme	-	32	675	140	43 369	44 045	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Entreposage à la ferme							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction liquide	-	1 762	37 006	-	-	37 006	
Transport longues distances							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction solide	2 273	0,10	2	0,08	26	2 301	
Compost	1 364	0,1	1	0,05	15	1 381	
Traitement régional							
Fraction solide	1 376	143	2 993	180	55 814	60 183	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Épandage							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction liquide	5950	0,3	5	0,2	68	6 023	
Compost	1 126	0,05	1	0,04	13	1 140	
Émissions au champ							
Directes	-	-	-	716	221 945	221 945	
Indirectes	-	-	-	247	76 415	76 415	
Engrais minéraux	57 351	1,5	31	0,6	190	57 572	
<b>Total</b>	<b>69 440</b>	<b>10 159</b>	<b>213 343</b>	<b>1 283</b>	<b>397 855</b>	<b>680 638</b>	

## 5.7 Chaîne de gestion 3-b

Ce scénario implique la digestion du lisier brut par traitement anaérobie, la filtration du décantat, l'exportation de la fraction solide vers un centre de compostage régional ainsi que la valorisation par épandage sur des terres à proximité des bâtiments d'élevage des fractions liquides récupérées. Il récupère également le biogaz produit pour le substituer à la totalité du propane requis pour le chauffage des bâtiments et en brûlant tout excédent.

Les émissions globales de GES de ce scénario sont d'environ 539 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année (tableau 37), soit 137 kg éq. CO<sub>2</sub> par porc produit.

Les principaux faits saillants techniques concernant ce scénario sont les suivants :

- Le traitement anaérobie permet de produire 42 541 kg de méthane par année, soit l'équivalent de 2,8 fois les besoins énergétiques de la ferme type utilisée. Pour des raisons économiques, il n'est pas possible de valoriser à la ferme la totalité du méthane récupéré. Il a été ainsi considéré que 35 % du méthane produit, soit l'équivalent des besoins en propane de l'entreprise, est réutilisé sur la ferme pour des fins énergétiques. La diminution des GES calculée est l'équivalent de la production associée à la combustion de la quantité annuelle de propane utilisée sur la ferme;
- La digestion de 70 % de la matière sèche du lisier brut permet de gérer une fraction liquide moins concentrée qui génère moins de méthane à l'entreposage. Les émissions à ce maillon de la chaîne représentent environ 8 % des émissions totales du scénario, comparativement à 22 % dans le scénario de base;
- La filière avec traitement partiel anaérobie à la ferme est moins performante en termes d'extraction d'azote dans la fraction solide que pour les autres scénarios utilisant une séparation mécanique de la fraction liquide et solide des déjections. Ainsi, les pertes par compostage sont moins élevées que pour ces scénarios;
- Près de 60 % des quantités totales de GES produites proviennent de l'émission directe (44 %) ou indirecte (15 %) de protoxyde d'azote lié à l'épandage des matières fertilisantes, aux cultures fixatrices d'azote et aux résidus de culture;
- En excluant les immobilisations d'azote liées au facteur d'efficacité de première année, la perte globale d'azote de la filière est de l'ordre de 42 % de l'azote excrété. Ces pertes sont réparties principalement au bâtiment (60 %) et à l'épandage de la fraction liquide (27 %).

L'implantation de cette filière présente des contraintes techniques, économiques ou sociales dans le contexte particulier des régions à fortes concentrations d'élevage. Parmi ces éléments, on peut noter :

- Le traitement anaérobie partiel à la ferme permet d'extraire l'équivalent de 50 % du phosphore total des déjections dans une partie solide pouvant être dirigée vers un centre régional de compostage. Pour les entreprises qui ne disposent pas des superficies requises pour l'épandage de leur lisier, cela peut constituer un avantage économique qu'il faut mettre en perspective, au cas par cas, avec les coûts supplémentaires inhérents à l'implantation de la filière de traitement. L'efficacité de ce procédé pour l'extraction du phosphore est toutefois moindre que pour les autres scénarios impliquant une séparation mécanique des lisiers;

- La partie liquide résultante du traitement anaérobie présente un ratio N:P plus équilibré par rapport aux besoins des cultures, ce qui pourrait diminuer le besoin de recours aux engrais minéraux dans plusieurs cas. Les scénarios, tels qu'ils sont construits, ne permettent pas d'évaluer l'importance de cet impact positif potentiel;
- Le système ne réduit les volumes de la fraction liquide à gérer que de 4 % par rapport au volume de lisier brut du scénario conventionnel. La fraction liquide issue du traitement anaérobie représente par contre un produit ayant un très faible potentiel de génération d'odeurs, ce qui peut grandement contribuer à diminuer les contraintes sociales liées à sa valorisation par épandage.

**Tableau 37. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 3-b**

	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		Total
	kg	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg éq. CO <sub>2</sub>	
Bâtiment	-	8 220	172 628	-	-	172 628	
Traitement à la ferme	-	-	-	-	-	-	
Substitution propane	-48 018	-1	-20	-	-	-48 037	
Entreposage à la ferme							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction liquide	-	1 951	40 977	-	-	40 977	
Transport longues distances							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction solide	258	0,01	0,2	0,01	3	261	
Compost	155	0,01	0,1	0,01	2	156	
Traitement régional							
Fraction solide	156	10	205	35	10 844	11 205	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Épandage							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction liquide	6 671	0,3	6	0,2	76	6 753	
Compost	128	0,01	0,12	0,005	1	129	
Émissions au champ							
Directes	-	-	-	773	239 679	239 679	
Indirectes	-	-	-	264	81 701	81 701	
Engrais minéraux	33 714	0,9	18	0,4	112	33 844	
Total	-6 937	10 182	213 815	1 072	332 418	539 296	

## 5.8 Chaîne de gestion 4

Ce scénario implique le transport du lisier brut à une usine centralisée, le traitement anaérobie des lisiers, la filtration du décantat, le traitement aérobie du lisier digéré, le soutirage et la déshydratation des boues du traitement aérobie, le traitement de boues déshydratées par compostage et la récupération d'une fraction importante de l'azote de la fraction liquide avant son rejet final au cours d'eau.

Les émissions globales de GES de ce scénario sont d'environ 374 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année (tableau 38), soit 95 kg éq. CO<sub>2</sub> par porc produit. De tous les scénarios, ce sont les émissions les plus faibles calculées.

Les principaux faits saillants techniques concernant ce scénario sont les suivants :

- Contrairement au scénario de traitement anaérobie à la ferme, le traitement centralisé permet économiquement de récupérer à des fins énergétiques la totalité des 42 541 kg de méthane produits par année. La diminution des GES est calculée en considérant l'économie équivalente en propane associée à cette récupération;
- Aucune production de GES est comptabilisée à l'entreposage de la fraction liquide considérant qu'il y a un traitement complet avec rejet au milieu naturel;
- La filière anaérobie est moins performante en termes d'extraction d'azote dans la fraction solide que pour les autres scénarios utilisant une séparation mécanique de la fraction liquide et solide des déjections. Ainsi, les pertes par compostage sont moins élevées que pour ces scénarios;
- Les seules pertes par épandage sont celles associées à la valorisation des co-produits solides compostés;
- Le taux de récupération de l'azote de cette filière est élevé. En excluant les immobilisations d'azote liées au facteur d'efficacité de première année, la perte globale d'azote de la filière est de l'ordre de 29 % de l'azote excrété. Ces pertes sont essentiellement générées au bâtiment et à l'épandage de la fraction solide.

L'implantation de cette filière présente des contraintes techniques, économiques ou sociales dans le contexte particulier des régions à fortes concentrations d'élevage. Parmi ces éléments, on peut noter :

- Le traitement complet permet en principe aux entreprises participantes de se dégager des besoins en terre liés à la valorisation des lisiers bruts. Pour les entreprises qui ne disposent pas des superficies requises pour l'épandage, cela peut constituer un avantage économique qu'il faut mettre en perspective, au cas par cas, avec les coûts supplémentaires inhérents à l'implantation de la filière de traitement.
- Les expériences réalisées dans d'autres pays avec le traitement centralisé indiquent toutefois que cette voie implique des contraintes logistiques et structurelles qui rendent difficile sa mise en application concrète dans le milieu agricole.

**Tableau 38. Émissions annuelles de GES de la chaîne de gestion 4**

	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		Total
	kg	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg	kg éq. CO <sub>2</sub>	kg éq. CO <sub>2</sub>	
Bâtiment	-	8 220	172 628	-	-	172 628	
Traitement à la ferme	-	-	-	-	-	-	
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	
Entreposage à la ferme							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction liquide	-	-	-	-	-	-	
Transport longues distances							
Lisier brut	10 304	0,5	10	0,4	117	10 431	
Fraction solide	-	-	-	-	-	-	
Compost	570	0,03	0,5	0,02	6,5	577	
Traitement régional							
Fraction liquide	-	16	332	14	4 472	4 804	
Fraction solide	575	51	1 074	49	15 041	16 690	
Substitution propane	-122 636	-2,4	-50	-	-	-122 687	
Épandage							
Lisier brut	-	-	-	-	-	-	
Fraction liquide	-	-	-	-	-	-	
Compost	647	0,03	1	0,02	7	655	
Émissions au champ							
Directes	-	-	-	684	211 919	211 919	
Indirectes	-	-	-	219	67 852	67 852	
Engrais minéraux	11 089	0,3	6	0,1	37	11 132	
<b>Total</b>	<b>-99 451</b>	<b>8 286</b>	<b>174 001</b>	<b>966</b>	<b>299 452</b>	<b>374 002</b>	

## 5.9 Synthèse des émissions de GES

Le tableau 39 présente une synthèse des émissions de GES pour les sept chaînes de gestion. Ce tableau présente les résultats d'émissions annuelles en kg éq. CO<sub>2</sub> pour l'ensemble de la ferme, par truies en inventaire et par porc produit. Ces estimations ne comprennent toutefois que les émissions sur lesquelles les différents scénarios ont une influence, le but étant de comparer les scénarios entre eux. Ainsi, les émissions découlant de l'utilisation énergétique à la ferme ne sont pas comprises. Par ailleurs, malgré que ces estimations ne constituent pas nécessairement les émissions totales, la réduction potentielle en terme absolu (kg éq. CO<sub>2</sub>) demeure exacte.

L'observation du tableau 39 amène les conclusions suivantes :

1. Les émissions de GES au bâtiment sont équivalentes pour toutes les chaînes de gestion sauf pour la chaîne avec collecte sélective des fèces et de l'urine pour laquelle une réduction de l'ordre de 20 % des émissions est constatée. Une réduction au bâtiment pourrait possiblement être obtenue par l'évacuation rapide du lisier pour les autres chaînes de gestion. Toutefois, aucune donnée n'est actuellement disponible pour supporter cette réduction.
2. Les émissions observées à l'entreposage sont essentiellement des émissions de méthane. Celui-ci est formé par la dégradation en conditions anaérobies des solides volatils du lisier. Dans le cas de la chaîne de gestion conventionnelle, l'entreposage génère 22 % des émissions de GES. La capture ou la réduction de ces solides volatils par un procédé mécanique, biologique ou autre aura une influence directe sur les émissions de méthane à l'entreposage. À ce chapitre, les procédés biologiques, le traitement aérobie d'abord puis le traitement anaérobie, montrent la plus importante réduction. Il faut noter que les chaînes de gestion avec traitement à la ferme retenues sont des traitements partiels et que par conséquent, un entreposage de la fraction liquide est requis. Il serait toutefois possible d'avoir un traitement aérobie complet à la ferme pour lequel aucun entreposage ne serait requis et pour lequel aucune émission de GES à l'entreposage ne serait observée comme c'est le cas pour la chaîne avec traitement complet centralisé (chaîne 4).
3. Le traitement à la ferme, mécanique ou biologique, n'entraîne que peu d'émissions de GES comparativement à la réduction qu'il procure à l'entreposage. Le traitement anaérobie, en raison de la substitution du propane requis pour le chauffage des bâtiments par la combustion du biogaz, engendre une réduction de ces émissions.
4. Le transport sur de longues distances du lisier brut (30 km) génère peu de GES. Compte tenu de leur faible volume, le transport de fraction solide du lisier ou de boues de traitement engendre encore moins de GES que le transport du lisier brut. Cette constatation indique que l'activité de transport ne peut discriminer les chaînes de gestion sur la base des émissions de GES.
5. Les mêmes constatations que pour le transport s'imposent pour l'épandage, cette activité ne générant globalement que peu de GES. Ces émissions se comparent à celles pour le transport de lisier brut sur une distance de 30 km.

6. Les émissions au champ constituent une fraction importante des émissions de GES. Il est à noter que ces émissions sont relativement constantes d'une chaîne de gestion à l'autre car une superficie en culture a été déterminée et maintenue pour toutes les chaînes de gestion. Toutefois, ces émissions sont les plus faibles pour la chaîne de gestion 4 avec traitement centralisé complet anaérobie. Cette situation s'explique par la conversion de l'azote du lisier en azote minéral lors de ce procédé et donc par des apports d'azote total et des pertes par volatilisation beaucoup moins importante à l'épandage.
7. L'apport d'engrais minéraux complémentaires est fonction de la conservation et de la forme des éléments fertilisants du lisier ou de ses co-produits issus des différents procédés utilisés. La majorité des chaînes de gestion conduisent à une augmentation de la consommation d'engrais minéraux en raison des pertes plus ou moins importantes d'azote lors du traitement. Ces pertes étant les plus importantes lors du traitement aérobie, c'est pour ce traitement que les apports d'engrais minéraux complémentaires sont les plus importants. À l'inverse, la chaîne de traitement complet centralisé a permis de récupérer la majorité de l'azote sous forme d'engrais minéral et donc d'augmenter sa disponibilité pour les plantes. Par conséquent, les pertes d'azote à l'atmosphère sont minimisées de même que l'apport d'engrais minéraux importés. Par ailleurs, le choix du compostage comme traitement de la fraction solide du lisier ou des boues de traitement peuvent occasionner plus de pertes que d'autres procédés qui auraient pu permettre la récupération partielle de cet azote. Toutefois, le procédé de compostage retenu est bien connu et opérationnel au Québec.
8. Globalement, la chaîne de traitement complet de type anaérobie procure la plus importante réduction des émissions de GES. Cette situation s'explique principalement par les éléments suivants :
  - Aucun entreposage de longue durée de lisier brut ou traité n'est requis pour ce scénario. Ainsi, les émissions de méthane à l'entreposage sont presque inexistantes;
  - Le procédé anaérobie génère un biogaz dont la valeur énergétique est importante;
  - Il a été considéré que 80 % du biogaz était utilisé pour remplacer la combustion de combustible fossile et pour générer uniquement de l'énergie thermique. Un autre 10 % est requis pour maintenir la température des digesteurs (Laganière, 2005b) et l'autre 10 % ne peut être récupéré. Ceci implique donc qu'un tel projet fasse intervenir des entreprises d'autres secteurs que la production porcine afin d'utiliser les surplus d'énergie thermique disponibles principalement en été. Dans le cas où le biogaz ne peut être utilisé pour des seules fins thermiques, sa conversion en énergie électrique nécessiterait des puissances minimales de l'ordre de 100 kW. Dans un tel scénario, la conversion résulterait en une efficacité globale de l'ordre de 75 % dont 25 % sous forme électrique et 65 % sous forme thermique dont 10 % pour maintenir la température des digesteurs (Laflamme, 2005). Ainsi, la réduction des émissions de GES serait inférieure à celle estimée au scénario 4;
  - La majorité de l'azote du lisier est convertie en engrais minéral lors du procédé. L'azote de l'engrais minéral étant globalement plus disponible que l'azote du lisier, cette conversion se traduit par des besoins moins grands d'engrais minéral importé.

**Tableau 39. Émissions totales annuelles de GES pour les différentes chaînes de gestion**

	Gestion conventionnelle		Séparation solide-liquide		Traitement à la ferme		Traitement centralisé
	Épandage à proximité	Épandage à grande distance	Décanteur centrifuge	Sous les lattes	Aérobie	Anaérobie	
	1-a	1-b	2-a	2-b	3-a	3-b	
Bâtiment	172 628	172 628	172 628	138 398	172 628	172 628	172 628
Traitement à la ferme	-	-	29	-	44 045	-	-
Substitution propane	-	-	-	-	-	-48 037	-
Entreposage à la ferme							
Lisier brut	148 517	148 517	-	-	-	-	-
Fraction liquide	-	-	77 580	32 689	37 006	40 977	-
Transport longues distances							
Lisier brut	-	11 488	-	-	-	-	10 431
Fraction solide	-	-	1 061	1 132	2 301	261	-
Compost	-	-	637	679	1 381	156	577
Traitement régional							
Fraction liquide	-	-	-	-	-	-	4 804
Fraction solide	-	-	42 420	89 013	60 183	11 205	16 690
Substitution propane	-	-	-	-	-	-	-122 687
Épandage							
Lisier brut	7 048	10 913	-	-	-	-	-
Fraction liquide	-	-	6 746	6 404	6 023	6 753	-
Compost	-	-	526	561	1 140	129	655
Émissions au champ							
Directes	239 486	239 486	240 196	245 127	221 945	239 679	211 919
Indirectes	80 472	80 472	84 997	82 921	76 415	81 701	67 852
Engrais minéraux	32 749	32 749	36 779	37 100	57 572	33 844	11 132
Émissions totales annuelles							
kg éq. CO <sub>2</sub> ferme <sup>-1</sup>	680 901	696 254	663 599	634 025	680 638	539 296	374 002
kg éq. CO <sub>2</sub> truie <sup>-1</sup>	3 405	3 481	3 318	3 170	3 403	2 696	1 870
kg éq. CO <sub>2</sub> porc produit <sup>-1</sup>	174	177	169	162	173	137	95

## 6 Résultats de l'analyse économique

La synthèse des coûts pour les différentes chaînes de gestion des fumiers est présentée au tableau 40. Il faut noter que ces coûts ne représentent ni le coût de production de l'entreprise ni le coût de gestion des fumiers. Ils visent plutôt à mesurer les écarts de coûts entre les différentes chaînes de gestion et ne prennent donc en considération qu'un nombre limité de paramètres économiques pertinents à cette comparaison.

Les immobilisations totales sont d'abord présentées puis les coûts annuels sont détaillés en distinguant les frais fixes, qui résultent de l'annualisation des coûts d'immobilisations, et les frais variables. Les coûts totaux sont ramenés à titre indicatif par porc produit et par truie en inventaire.

Les principales conclusions relatives aux résultats économiques sont les suivantes :

- Les coûts pour la gestion conventionnelle des fumiers de la ferme type sont de l'ordre de 21 000 \$ par année, soit 5,30 \$ par porc produit. Les coûts sont essentiellement reliés à l'épandage des lisiers bruts ainsi qu'à l'achat et l'épandage des engrais minéraux azotés nécessaires à la fertilisation complémentaire.
- Pour l'entreprise devant transporter ses lisiers à une distance en charge de 30 km pour les épandre, les coûts totaux sont de 44 000 \$ par année. Les coûts de transport représentent 18 000 \$ par année, soit plus de 40 % des coûts totaux. Quant aux coûts d'épandage, ils sont légèrement supérieurs à ceux de la gestion conventionnelle considérant l'augmentation des besoins en brassage reliés à la structure des chantiers d'épandage. Les coûts globaux pour cette chaîne augmentent ainsi de plus du double, passant à 11,20 \$ par porc produit.
- La filière de séparation solide-liquide des lisiers par centrifugation implique des investissements de l'ordre de 260 570 \$ qui se traduisent par des frais fixes annuels d'environ 40 390 \$. Les frais fixes représentent près de 60 % des coûts totaux. Par conséquent, un tel équipement devrait desservir plus d'une ferme type afin d'amortir les frais fixes sur un volume plus important de lisier à traiter. Cependant, l'achat d'un décanteur centrifuge pouvant traiter un volume de lisier plus important que celui sélectionné dans ce projet devrait être envisagé s'il est utilisé sur plus d'une ferme. La fraction solide n'est pas entreposée à la ferme mais transportée dans un conteneur étanche sur une base régulière au centre régional de traitement. Le système permet des économies de coûts d'épandage des produits liquides, qui ne compensent toutefois pas l'augmentation des frais reliés à l'élimination de la fraction solide des lisiers. Les coûts globaux de cette filière sont de l'ordre de 18,00 \$ par porc produit. Ces coûts globaux sont substantiellement plus élevés que la ferme conventionnelle qui épand ses lisiers à proximité et de plus de 60 % supérieurs au scénario de la ferme qui doit épandre ses lisiers à 30 km de ses installations d'élevage.
- La collecte sélective des fèces et de l'urine sous les lattes nécessite des investissements de l'ordre de 113 000 \$, pour des frais fixes annuels de 11 100 \$, ce qui est inférieur à ceux requis par la centrifugation. Ces investissements comprennent l'aménagement des dalots, l'acquisition et la pose des grattes et des convoyeurs ainsi que la construction d'un abri chauffé pour le conteneur étanche recevant la fraction solide. Comme pour la centrifugation, la fraction solide n'est pas entreposée à la ferme mais exportée directement au centre de traitement. Les frais variables sont de l'ordre de 28 340 \$ par année et représentent plus de

70 % du total des coûts de gestion. Les coûts reliés à la gestion de la fraction solide sont légèrement supérieurs à ceux de la séparation par centrifugation considérant son volume un peu plus grand. Les coûts globaux de cette filière sont de l'ordre de 10,10 \$ par porc produit, faisant de ce scénario le moins dispendieux par rapport à la gestion conventionnelle. En outre, les coûts globaux de gestion sont inférieurs à ceux de la ferme ayant à épandre ses lisiers à une distance de 30 km.

- L'analyse du traitement partiel aérobic a été faite en considérant une taille d'entreprise supérieure à la taille de la ferme de base des autres scénarios. En effet, il est reconnu que le seuil minimal de volume permettant d'amortir économiquement les immobilisations relatives à cette filière est de l'ordre de 14 000 à 15 000 m<sup>3</sup> par année. Il a été ainsi décidé d'établir le portrait économique à partir d'une unité de 14 600 m<sup>3</sup> par année (40 m<sup>3</sup>/jour), soit l'équivalent d'environ trois de nos fermes types qui mettraient leurs lisiers en commun pour un traitement aérobic. En gestion aérobic, sur la base énoncée précédemment, les immobilisations sont de l'ordre de 722 000 \$ pour des frais fixes annuels de 84 360 \$. Les frais variables s'établissent à 154 300 \$ et sont principalement occasionnés par l'achat d'engrais minéraux (42 %), l'épandage de la fraction liquide (21 %) et la consommation d'énergie électrique reliée au traitement aérobic (15 %). Cette chaîne s'avère la moins efficace pour la conservation de l'azote initial contenu dans les déjections. En raison de la méthodologie retenue pour l'analyse, ces quantités perdues sont compensées par l'achat d'engrais minéraux. Toutefois, dans un contexte de surplus d'engrais organiques, les frais réels reliés à ce poste budgétaire pourraient être considérablement réduits. La chaîne globale présente ainsi des coûts de l'ordre 17,30 \$ par porc produit de cette unité de gestion. Dans le cas d'une entreprise en zone de surplus, il pourrait être avantageux d'un point de vue technique et économique d'opter pour un traitement complet. En effet, les coûts supplémentaires liés aux immobilisations pourraient être compensés par les économies découlant du rejet au milieu naturel de l'effluent liquide (aucun coût de reprise, de transport et d'épandage).
- Le bilan économique du traitement partiel anaérobic a été réalisé sur la base de la taille de la ferme type conventionnelle de départ. Les investissements à consentir s'établissent à environ 270 000 \$, pour des frais fixes de 31 530 \$ par année. Les frais variables s'élèvent à 22 650 \$, dont les principaux demeurent l'achat d'engrais minéraux et l'épandage du lisier traité. La substitution du propane par le biogaz s'exprime en terme négatif dans ce calcul et constituent dans les faits à un revenu. Globalement, les coûts associés à cette chaîne sont de 15,90 \$ par porc produit.
- Enfin, l'analyse économique du traitement anaérobic centralisé a été réalisée en considérant une unité de 14 600 m<sup>3</sup>, comme dans le cas de la filière du traitement partiel aérobic. Les investissements à consentir sont de l'ordre de 1,77 M\$ et se traduisent par des frais fixes d'environ 206 500 \$ par année. Les frais variables reliés à cette filière sont réduits par la récupération et la vente du biogaz au prix de son équivalent en propane sur le marché. Par ailleurs, les coûts relatifs aux engrais minéraux sont substantiellement diminués du fait que la filière inclut une unité de recristallisation de l'ammoniac qui maximise le taux de récupération de l'azote initial excrété par les animaux. Le coût global de cette filière demeure le plus élevé de tous les scénarios étudiés, soit 27,90 \$ par porc produit.

**Tableau 40. Coûts des chaînes de gestion des lisiers**

	Gestion conventionnelle		Séparation solide-liquide		Traitement à la ferme		Traitement centralisé <sup>[a]</sup>
	Épandage à proximité	Épandage à grande distance	Décanteur centrifuge	Sous les lattes	Aérobie <sup>[a]</sup>	Anaérobie	
	1-a	1-b	2-a	2-b	3-a	3-b	
<b>Immobilisations (\$)</b>							
Infrastructures	-	-	63 000	63 658	722 500	340 200	1 768 600
Équipements	-	-	197 570	49 445	-	-	-
Total	-	-	260 570	113 103	722 500	340 200	1 768 600
<b>Frais variables (\$/an)</b>							
Main-d'œuvre	-	-	1 560	1 560	7 800	5 460	21 900
Électricité	-	-	2 184	165	20 625	2 311	25 518
Transport liquide	-	18 017	-	-	-	-	91 750
Épandage liquide	10 156	15 221	8 948	8 982	25 665	8 957	-
Transport solide	-	-	1 783	1 902	12 536	438	4 250
Épandage solide	-	-	-	-	-	-	-
Engrais minéraux	10 651	10 651	11 883	11 982	59 820	10 985	15 965
Réception solide	-	-	3 962	4 227	27 858	974	11 333
Autres	-	-	-	-	-	-6 473	-77 133
Sous-total frais variables	20 807	43 888	30 320	28 336	154 305	22 653	138 597
<b>Frais fixes (\$/an)</b>							
Amortissement			22 907	6 237	48 167	22 680	117 907
Entretien			8 785	2 340	10 115	4 763	24 760
Assurances			1 954	565	5 419	2 552	13 265
Taxes			227	93	2 601	1 225	6 367
Intérêts			6 514	1 883	18 063	8 505	44 215
Sous-total frais fixes			40 387	11 118	84 364	39 724	206 514
Total frais (\$/an)	20 807	43 888	70 707	39 453	238 669	62 377	345 111
<b>Frais unitaires</b>							
\$ par porc produit	5,30	11,20	18,00	10,10	18,80	15,90	27,90
\$ par truie	104	219	354	197	368	312	547

<sup>[a]</sup> Calcul basé sur des unités pouvant traiter 14 600 m<sup>3</sup> par année.

## 7 Synthèse et discussion

### 7.1 Émissions de GES

Les émissions globales de GES au Québec, en 2002, sont évaluées à 91,5 Mt éq. CO<sub>2</sub> et l'agriculture québécoise contribue pour environ 9 % de cette production. Les émissions spécifiques liées à la production porcine québécoise sont évaluées à environ 1,4 Mt éq. CO<sub>2</sub>, soit 17,3 % du total des émissions de GES en agriculture au Québec. À l'échelle canadienne, les émissions de GES de la production porcine québécoise représentent 2,4 % des émissions associées à l'agriculture et à 0,2 % des émissions canadiennes liées à l'ensemble des secteurs d'activité économique. Ces données générales mettent en perspective l'influence relative de la production porcine dans la problématique globale de gestion des GES au Québec et au Canada.

L'élaboration de différents scénarios de chaînes de gestion des engrais de ferme a permis de dégager divers constats relatifs à la production de GES. Voici quelques grands constats pouvant être soulignés :

- Les émissions quantitatives projetées sont conséquentes avec les résultats scientifiques déjà obtenus dans les différents créneaux d'intervention touchés. En effet, selon la méthode de calcul présentée dans *Matin et al. (2004)* qui est basée sur les méthodes d'évaluation des émissions de GES du GIEC (GIEC, 1997 et 2000), les émissions de GES de la production porcine au Québec sont de 1,4 Mt éq. CO<sub>2</sub>, soit environ 781 t éq. CO<sub>2</sub> pour une ferme produisant 4 000 porcs par année. Les estimations réalisées à l'intérieur de ce projet, plus précises au niveau de l'évaluation des émissions au bâtiment et à l'entreposage, ont permis d'obtenir une valeur de 641 t éq. CO<sub>2</sub> pour une ferme produisant 4 000 porcs par année. Considérant les incertitudes associées à chacune des valeurs d'émissions utilisées, l'évaluation réalisée est jugée acceptable;
- Les performances des systèmes de séparation à la sortie du bâtiment après formation du lisier (mélange des fèces et de l'urine) et des systèmes de collecte sélective des fèces et de l'urine sous les lattes montrent des différences croissantes avec le scénario de gestion conventionnelle avec une augmentation du taux de capture des solides. Ceci s'explique par la réduction importante d'émissions de GES qu'ils procurent à l'entreposage de la fraction liquide. Pour cette raison également, l'ajout de flocculant/coagulant lors de l'utilisation du décanteur centrifuge ou d'autres types de séparateur (ex. : filtre presse) aurait un impact positif sur la réduction des émissions de GES. Toutefois, cet ajout augmente de façon sensible, soit de l'ordre de 2,00 \$ par porc produit, les coûts d'une telle chaîne. Quant à la collecte sélective, que ce soit avec un système de gratte en V ou de tapis roulant, elle présente l'avantage de réduire en plus les émissions de GES au bâtiment. De façon générale, la dynamique de l'émission de méthane en gestion liquide est déplacée par les systèmes de séparation vers une dynamique d'émission de protoxyde d'azote en raison de la production d'une fraction solide plus susceptible d'émettre un tel composé;
- Les émissions au champ, directes ou indirectes, représentent, pour tous les scénarios, au moins 40 % des émissions totales de GES, limitant ainsi l'impact de la modification des autres éléments du budget global de production de gaz. Cependant, il faut noter que la prise en compte des émissions provenant de la fixation symbiotique de l'azote est actuellement

remise en question. Cet élément représente de 5 à 10 % de toutes les émissions comptabilisées pour les différentes chaînes de gestion;

- L'augmentation des pertes d'azote ne s'accompagne pas nécessairement d'une augmentation des émissions de GES par la production de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ). Ainsi, pour la chaîne 3-a, le procédé aérobie fait se succéder des phases aérobies et anoxiques qui permettent un relâchement de l'azote majoritairement sous forme d'azote diatomique ( $N_2$ ) et non sous forme de protoxyde d'azote, limitant ainsi les émissions de GES;
- L'importance des besoins complémentaires en engrais minéraux et la production de GES qui leur sont associés traduit essentiellement l'efficacité globale de la conservation de l'azote du système. Plus les émissions liées aux engrais minéraux sont élevées, plus le système a favorisé les pertes d'azote d'origine animale. La méthodologie employée considère de cette façon que toute perte d'azote dans le système de production doit être inévitablement compensée par la fabrication d'engrais minéraux azotés. La logique qui doit prévaloir en zone de surplus peut cependant être très différente de celle appliquée par la méthodologie retenue;
- Les activités de transport et d'épandage des produits des différentes chaînes de gestion influencent moins les émissions globales de GES que les coûts globaux de gestion de ces produits;
- Le traitement des lisiers par digestion anaérobie, à la ferme ou centralisé, constitue les filières pour lesquelles les émissions globales de GES sont les plus faibles. La récupération partielle ou totale du méthane généré au bâtiment ou à l'entreposage et sa substitution à des combustibles fossiles constituent les éléments déterminants de l'efficacité de cette filière en regard de la réduction des émissions de GES.

## 7.2 Constat en zone de surplus

Au Québec, il y a des zones en surplus d'engrais organiques dans lesquelles la dynamique est différente. Cette notion de surplus est basée principalement sur les excédents en phosphore dans une zone. Par conséquent, les enjeux lors de l'implantation des scénarios étudiés dans le contexte des zones de surplus de fumier au Québec peuvent être fort différents de ceux d'un contexte hors surplus. Une analyse dans ce contexte amène des constats particuliers :

- Les lisiers bruts possèdent un ratio N:P faible par rapport à celui du besoin des cultures et le phosphore devient généralement l'élément limitant les quantités de lisier pouvant être épandues sur les terres agricoles. Dans ce contexte, les scénarios permettant l'extraction d'une partie du phosphore dans une fraction solide pouvant économiquement être exportée hors des zones de concentration deviennent attrayants;
- Les technologies n'offrent pas toutes les mêmes performances relativement au taux de capture du phosphore. Pour les configurations retenues du traitement aérobie partiel, de l'isolement fèces-urine et de la centrifugation, ce taux de capture est à peu près équivalent et est supérieur à celui obtenu avec le traitement anaérobie. En pratique, le taux désiré de capture du phosphore varie en fonction du contexte d'opération propre à chaque entreprise. Par ailleurs, pour un même équipement ou catégorie d'équipements, il est possible d'améliorer ce taux, soit par l'utilisation d'additifs (coagulant/floculant) ou par des ajustements appropriés. Par ailleurs, il est possible d'adapter une chaîne de traitement aux besoins spécifiques d'une entreprise en modifiant des éléments de cette chaîne;

- L'extraction du phosphore des lisiers bruts peut ramener le ratio N:P des produits à valoriser à des niveaux qui se rapprochent davantage des besoins des cultures et, dans certains cas, à rendre l'azote l'élément limitant. Cette stratégie peut réduire pour plusieurs entreprises le recours aux engrais azotés minéraux. Les scénarios étudiés ne tiennent pas compte de cet effet puisqu'ils sont basés sur une situation à l'équilibre où toute perte d'azote d'origine animale doit être compensée par l'apport d'engrais de synthèse;
- Le recours à un traitement visant le rejet au milieu naturel de la fraction liquide peut devenir avantageux dans un tel contexte. Ainsi, l'élimination des coûts d'épandage de la fraction liquide, notamment lorsque de grandes distances doivent être parcourues pour l'épandre, peuvent compenser l'augmentation des coûts d'immobilisations et des frais variables;
- La création de nouveaux produits liquides et solides à partir des lisiers bruts soulève de nouveaux défis quant à la connaissance du comportement agronomique de ces substances (ex. : efficacité de première année des produits solides), de leur valeur et de leur taux d'acceptabilité dans le marché offre-demande.

### 7.3 Considérations économiques

L'analyse économique réalisée ne constitue pas une évaluation du coût de production de l'entreprise type ni celle du coût de la gestion des lisiers. Ainsi, elle n'a retenu que les éléments qui ont pu être affectés par une ou plusieurs chaînes de gestion et vise à comparer ces chaînes entre elles sur le plan de la réduction des émissions des GES et des coûts de cette réduction. Le coût total des chaînes a été présenté de même que le coût par porc produit et par truie en inventaire pour une entreprise de type naisseur-finiisseur.

Sur le plan économique, les filières présentent des coûts globaux qu'il est possible d'exprimer en coût unitaire par tonne d'équivalent CO<sub>2</sub> en plus ou en moins par rapport au scénario de base. Sur cette base (tableau 41), le scénario comprenant le traitement partiel anaérobie est le plus économique, soit 294 \$ t éq. CO<sub>2</sub><sup>-1</sup>. Ce tableau met en évidence que seule la chaîne de gestion conventionnelle avec épandage à grande distance du lisier brut émet plus de GES que la chaîne de gestion conventionnelle et que son coût lui est supérieur.

Également, les constats économiques suivants peuvent être soulignés :

- Les technologies de traitement ont été développées au Québec principalement dans le but de résoudre la problématique de surplus de lisier dans certaines zones de production intensive. Toutefois, le développement de la digestion anaérobie avait d'abord comme objectifs d'améliorer les caractéristiques agronomiques du lisier et de réduire son impact environnemental et social. Son efficacité à réduire la problématique de surplus est donc plus limitée que d'autres chaînes de traitement. L'origine du développement de ces technologies explique qu'il n'existe pas de lien direct entre le coût d'un scénario et son potentiel de réduction des GES. Par conséquent, ce ne sont pas nécessairement les scénarios les plus coûteux qui sont les plus efficaces pour réduire les GES;
- Selon le tableau 41, le scénario le plus économique en termes de réduction des GES est celui utilisant un traitement partiel anaérobie. En effet, il en coûte 294 \$ t éq. CO<sub>2</sub><sup>-1</sup> émis en moins. Celui-ci pourrait être intéressant en approche collective regroupant quelques producteurs

ayant la même problématique ou des intérêts communs ou encore dans le cadre d'une entente d'utilisation de l'énergie générée (électricité, co-génération, etc.). L'efficacité maximale à la réduction des GES est obtenue lorsque la totalité du biogaz produit est utilisée sous forme thermique en remplacement d'un combustible fossile. Toutefois, tel que déjà mentionné, ce scénario n'est pas le plus performant pour résoudre une problématique de surplus de phosphore, particulièrement si la solution doit être individuelle et non collective.

- Un système de compensation pourrait être instauré au Canada récompensant les entreprises qui réduisent leurs émissions de GES. Selon les scénarios envisagés dans le Plan du Canada sur les changements climatiques (Canada, 2002), chaque réduction d'une tonne de GES pourrait représenter un revenu. Cependant, ce programme n'est pas encore en place et la méthode de calcul de réduction des émissions n'est pas encore établie. Les incertitudes entourant un tel système de compensation ne permettent pas actuellement de baser, en totalité ou en partie, le financement de l'implantation d'un système de traitement.

## 7.4 Les scénarios et les aspects sociaux

Les scénarios étudiés ont des implications également sur le plan social. En effet :

- Plusieurs traitements réduisent le potentiel de génération d'odeurs des co-produits par rapport au lisier brut. Dans cette optique, les traitements aérobies et anaérobies sont supérieurs aux filières de séparation solide-liquide. Ces traitements permettent également de réduire de façon significative les risques bactériologiques associés généralement au lisier;
- La filière du traitement anaérobie centralisé présente des avantages techniques intéressants sur papier. Toutefois l'expérience européenne vécue relativement à la mise en application sur le terrain de ce type de stratégie indique que les contraintes sociales et logistiques peuvent être très importantes et compromettre les chances de succès de cette voie. En ce sens, des unités semi-collectives plus modestes, telles que celles analysées dans cette étude, auraient plus de chances de s'implanter avec succès sur un territoire.

## 7.5 Résumé

Dans un premier temps, il faut rappeler que l'analyse s'appuie sur plusieurs hypothèses et qu'elle présente également ses limites.

- Les technologies retenues pour l'élaboration des scénarios sont des technologies en développement au Québec. Elles ont été initialement conçues avec un souci davantage relié à la problématique des réductions de charge que d'efficacité reliée au GES;
- Les équipements et technologies retenus ont été préférés à d'autres afin de considérer ceux dont le potentiel semble le plus intéressant. Le décanteur centrifuge a été retenu comme équipement de séparation en raison de sa performance au chapitre de la capture du phosphore et des solides et ce, sans ajout d'additif, alors que le traitement aérobie demeure le plus populaire et généralement le plus économique dans le contexte de résorption d'excédents. Les performances de ces équipements et technologies sont toutefois représentatives des différents systèmes commercialisés (principalement en Europe);

- L'efficacité des scénarios est relative et comparée à une ferme type qui sert de référence. Comme tout modèle, cette ferme de référence ne traduit pas nécessairement la multitude des cas de figure qui pourraient servir de base pour l'analyse des GES dans différents contextes.

Dans un second temps, basé sur les hypothèses et limites de la présente analyse, il apparaît que les filières comportant la digestion anaérobie sont les plus intéressantes pour réduire les émissions de GES. Le choix d'une chaîne complète ou partielle est conditionné par les conditions particulières locales ou régionales. Dans le contexte particulier du Québec, il semblerait qu'une approche collective regroupant des producteurs localisés à proximité et étant dans le même contexte, serait celle ayant le plus de chance de succès lors de l'implantation. Finalement, plusieurs autres aspects peuvent affecter le succès, notons par exemple la proximité d'un utilisateur de l'énergie ou encore la possibilité de générer de l'électricité « verte » pouvant être acheminé sur le réseau québécois.

**Tableau 41. Tableau synthèse: Émissions de GES et coûts de la réduction pour les différentes chaînes de gestion**

	Gestion conventionnelle		Séparation solide-liquide		Traitement à la ferme		Traitement centralisé
	Épandage à proximité	Épandage à grande distance	Décanteur centrifuge	Sous les lattes	Aérobie	Anaérobie	
	1-a	1-b	2-a	2-b	3-a	3-b	
Émissions totales (kg éq. CO <sub>2</sub> an <sup>-1</sup> )	680 901	696 254	663 599	634 025	680 638	539 296	372 018
Émissions unitaires							
kg éq. CO <sub>2</sub> par porc produit	174	177	169	162	173	137	95
kg éq. CO <sub>2</sub> par truie	3 405	3 481	3 318	3 170	3 403	2 696	1 860
Coût total (\$ année <sup>-1</sup> )	20 807	43 888	70 707	39 453	238 669	62 377	345 111
Coût unitaire							
\$ par porc produit	5	11	18	10	19	16	28
\$ par truie	104	219	354	197	368	312	547
Coût de la variation des émissions de GES (\$ tonne éq. CO <sub>2</sub> <sup>-1</sup> )							
Coût de la réduction	-	-	2 884	398	831 147	294	1 057
Coût de l'augmentation	-	1 503	-	-	-	-	-

## 8 Conclusion

Ce rapport présente les résultats obtenus dans le cadre du projet intitulé : « Réduction des émissions de gaz à effet de serre : faisabilité de l'implantation d'une chaîne de gestion des lisiers au Québec ». Le projet visait à développer, dans le secteur porcin, des scénarios de chaînes de gestion des lisiers qui satisfont des objectifs de réduction des GES tout en étant viables sur les plans agronomiques, environnementaux, économiques et sociaux. Plus spécifiquement, le projet visait à faire un inventaire des systèmes de gestion des lisiers implantables au Québec dans le secteur porcin, à analyser ces chaînes de gestion et en évaluer la faisabilité technique.

Dans le cadre du projet, sept chaînes de gestion des lisiers ont été retenues :

- 1-a: Gestion conventionnelle avec épandage des lisiers à proximité de la ferme;
- 1-b: Gestion conventionnelle avec épandage des lisiers à une distance moyenne de 30 km de la ferme;
- 2-a: Séparation du lisier à la sortie du bâtiment avec épandage de la fraction liquide et exportation du solide;
- 2-b: Système de collecte sélective des solides et liquides sous les lattes à l'intérieur du bâtiment avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide;
- 3-a: Traitement aérobic partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide;
- 3-b: Traitement anaérobic partiel à la ferme avec épandage de la fraction liquide et exportation de la fraction solide;
- 4: Traitement centralisé complet intégrant une étape de digestion anaérobic avec rejet au cours d'eau et récupération et valorisation du biogaz et des éléments nutritifs.

Les différents résultats ont été comparés pour une entreprise porcine type. L'entreprise porcine retenue est de type naisseur-finiisseur, située dans la région de la Montérégie, qui possède 200 truies en inventaire et produit environ 4 000 porcs par année.

Il faut noter que l'analyse n'a pas été effectuée à la base pour un contexte de surplus et que les bilans agronomiques réalisés sont basés sur un équilibre provincial et non sur un équilibre à la ferme. Par conséquent, la quantité d'éléments fertilisants requise demeure toujours la même, peu importe la chaîne de traitement étudiée.

Dans l'ensemble, les chaînes de traitement comprenant une digestion anaérobic sont les plus prometteuses en regard de la réduction des émissions de GES. La filière du traitement anaérobic centralisé présente des avantages techniques intéressants sur papier. Toutefois l'expérience européenne vécue relativement à la mise en application sur le terrain de ce type de stratégie indique que les contraintes sociales et logistiques peuvent être très importantes et compromettre les chances de succès de cette voie. En ce sens, des unités semi-collectives plus modestes (telles que celles analysées dans cette étude) auraient possiblement plus de chances de s'implanter avec succès sur un territoire. Également, il est de mise de mentionner que les technologies retenues pour l'élaboration des scénarios sont des technologies en développement au Québec. Ces

technologies ont été initialement conçues avec un souci davantage relié à la problématique des réductions de charge que d'efficacité reliée au GES.

Les chaînes de gestion étudiées dans ce rapport pourraient être combinées entre elles dans le but de régler différentes problématiques. Par exemple, il serait possible d'utiliser la chaleur produite par la combustion du biogaz produit lors du traitement anaérobie pour traiter la fraction solide issue d'un procédé de séparation des solides et des liquides.

La présente étude a également clairement démontré que les émissions au champ, directes ou indirectes, représentent, pour tous les scénarios, au moins 40 % des émissions totales de GES, limitant l'impact de la modification des autres éléments du budget global de production de gaz. Toutefois, plusieurs données techniques relativement aux émissions demeurent à être évaluées scientifiquement.

L'efficacité des scénarios est relative et comparée à une ferme type qui sert de référence. Comme tout modèle, cette ferme de référence ne traduit pas nécessairement la multitude des cas de figure qui pourraient servir de base pour l'analyse des GES dans différents contextes.

Finalement, l'approche développée dans le présent projet pourrait être facilement adaptable pour évaluer la faisabilité de l'implantation de chaînes de traitement des fumiers des autres productions animales d'importances au Québec.

## 9 Remerciements

Les auteurs aimeraient remercier le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec pour le financement du projet ainsi que les personnes suivantes pour leur participation aux différents comités lors de la réalisation du projet: François Boutin, Denis Côté, Marie-Christine Dubé, Marc Deblois, Michel Goulet, Yvan Lajoie, Nancy Lease, Denis Naud, Francis Pouliot, Louis Théberge et Pierre Vallée.

## 10 Références

- AAC. 2003. Farm Energy Use Calculator. Version 1.0. 21 novembre 2003. Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- Ahlgrimm, H.J. et J. Breford. 1998. Methanemissionen aus der Schweinemast. [Methane emissions from fattening pigs.] *Landbauforschung Völkenrode*. 1: 26–34.
- BAPE. 2003. Consultation publique sur le développement durable de la production porcine au Québec- Volume 1: L'état de la situation de la production porcine au Québec. Bureau des audiences publiques sur l'environnement. Rapport 179.
- Beaudet, P., M. Grenier, M. Giroux et V. Girard. 2003. Description statistique des propriétés chimiques des sols minéraux du Québec. IRDA et MAPAQ. 108 pages.
- Béline, F., M.L. Daumer et F. Guiziou. 2004. Biological Aerobic Treatment of Pig Slurry in France: Nutrients Removal Efficiency and Separation Performances. *Transactions of the ASAE*. 47(3): 857-864.
- BPR et GREPA. 2000. Le Portrait agroenvironnemental des fermes du Québec. 129 pages.
- Burton, C.H. et C. Turner. 2003. Manure Management: Treatment strategies for sustainable agriculture. 2<sup>e</sup> édition. Silsoe Research Institute. 451 pages.
- Canada. 2002. Plan du Canada sur les changements climatiques – Les changements climatiques: Respecter nos engagements ensemble. 70 pages.
- CORPEN. 2003. Estimation des rejets d'azote – phosphore – potassium – cuivre et zinc des porcs. Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Ministère de l'agriculture, de la pêche et des affaires rurales. France. 44 pages.
- Côté, D. 2005. Communication personnelle. Sainte-Foy, 15 mars 2005.
- CRAAQ. 2003a. Charge fertilisantes des effluents d'élevage – Période transitoire. Valeurs références – Production porcine. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec.
- CRAAQ. 2003b. Guide de référence en fertilisation. 1<sup>re</sup> édition. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 294 pages.
- CRÉAQ. 1999a. Porcs naisseur-finisserieur. AGDEX 440/821g. Le comité de références économiques en agriculture du Québec. Publié par le Groupe GEAGRI inc. Octobre 1999. 12 pages.
- CRÉAQ. 1999b. Fumier de ferme. AGDEX 538/400.27. Le comité de références économiques en agriculture du Québec. Publié par le Groupe GEAGRI inc. Février 1999. 6 pages.

- CRÉAQ. 1998. *Machineries – Coûts et travaux à forfait suggérés*. AGDEX 740/825. Le comité de références économiques en agriculture du Québec. Publié par le Groupe GEAGRI inc. Juin 1998. 14 pages.
- Davis, J. et C. Haglund. 1999. *Life Cycle Inventory (LCI) of Fertiliser Production. Fertiliserr Products Used in Sweden and Western Europe*. SIK-Report No. 654. Master Thesis, Chlmers University of Technology.
- FPPQ. 2004a. *Portrait de la production – La production en chiffres* <http://fierte.leporcduquebec.qc.ca/fppq/prod-2.html>. 28 février 2004.
- FPPQ. 2004b. *Technologie Bio-Terre Systèmes inc. Rapport d'évaluation des technologies de gestion et de traitement du lisier de porc*. Fédération des producteurs de porcs du Québec. 4 pages.
- Freibauer, A. 2003. *Regionalised inventory of biogenic greenhouse gas emissions from European agriculture*. *European Journal of Agronomy*. 19(2): 135-160.
- Gallman, E. et E. Hartung. 2000. *Evaluation of the Emission Rates of Ammonia and Greenhouse Gases from Swine Housings*, in: *Proceedings of the 2nd International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations*. Des Moines, IA, USA: ASAE. Pages 92 – 99.
- GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat). 2000. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. J Penman, D Kruger, I Galbally, T Hiraishi, B Nyenzi, S Emmanul, L Buendia, R Hoppaus, T Martinsen, J Meijer, K Miwa and K Tanabe (Eds). Published for the IPCC by the Institute for Global Environmental Strategies, Japan. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). ISBN 4-88788-000-6.
- GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat). 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vols. 1 and 3. Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, version révisée de 1996*, Bracknell, R.-U.
- Godbout, S., S.P. Lemay, M. Belzile, I. Lachance et F. Pouliot. 2004. *Réduire les rejets dans l'environnement: quatre systèmes de gestion sous les lattes à l'étude*. Colloque sur la production porcine. 19 octobre 2004. Saint-Hyacinthe. Pages 153-161.
- Groot Koerkamp, P.W.G. et G.H. Uenk. 1997. *Climatic Conditions and Aerial Pollutants in and Emissions from Commercial Animal Production Systems in the Netherlands*, in: *Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities, Proceedings of the International Symposium*. AB Rosmalen, The Netherlands: NVTL. Pages 139 - 144.
- Hahne, J., D. Hesse et K.D. Vorlop. 1999. *Spurengasemissionen aus der Mastschweinehaltung*. [Trace gas emissions from fattening pig housing.] *Landtechnik*. 54(3): 180–181.
- Haug, R.T. 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publisher. 717 pages.

- Houle, G., C. Chhem et R. Bougie. 2002. Inventaire québécois des gaz à effet de serre 1990-2000. Ministère de l'Environnement du Québec. 93 pages.
- Jungbluth, T., E. Hartung et G. Brose. 2001. Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient cycling in Agroecosystems*. 60: 133-145.
- La Financière Agricole. 2004a. Porc à l'engraissement. - Coût de production indexé. Avril 2003 à mars 2004. La Financière Agricole.  
[http://www.financiereagricole.qc.ca/fr/stat/asra/cout/porc\\_2003.pdf](http://www.financiereagricole.qc.ca/fr/stat/asra/cout/porc_2003.pdf)
- La Financière Agricole. 2004b. Porcelets - Coût de production indexé. Avril 2003 à mars 2004. La Financière Agricole. [http://www.financiereagricole.qc.ca/fr/stat/asra/cout/pcl\\_2003.pdf](http://www.financiereagricole.qc.ca/fr/stat/asra/cout/pcl_2003.pdf)
- Laflamme, C.B. 2005. Potentiel de production électrique à partir du biogaz de lisier. Colloque sur les crédits CO<sub>2</sub> et la valorisation du biogaz. Association pour la prévention de la contamination de l'air et du sol. Bécancour, 2005.
- Laganière, G. 2005a. Communication personnelle. Sainte-Foy, 20 mars 2005.
- Laganière, G. 2005b. Traitement anaérobie à température ambiante. Colloque sur les crédits CO<sub>2</sub> et la valorisation du biogaz. Association pour la prévention de la contamination de l'air et du sol. Bécancour, 2005.
- Laguë, C., É. Gaudet, J. Agnew et T.A. Fonstad. 2004. Greenhouse Gas and Odor Emissions from Liquid Swine Manure Storage Facilities in Saskatchewan. ASAE/CSAE Annual International Meeting, Ottawa, Ontario, Canada, 1 - 4 August 2004, ASAE Paper #044157. 17 pages.
- Martin, D.-Y., F. Pouliot et D. Potvin. 2003. La séparation de phase, un incontournable. Colloque en agroenvironnement.. IRDA. Pages 101-126.
- Massé, D.I., L. Masse, F. Croteau et S. Danesh. 2004. The effect of scale-up on the digestion of swine manure slurry in psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors. *Transactions of the ASAE*. 47(4): 1367-1373.
- Massé, D.I., R. L. Droste, K.J. Kennedy, N.K. Patni, et J.A. Munroe. 1997. Potential for the psychrophilic anaerobic treatment of swine manure using a sequencing batch reactor. *Canadian Agricultural Engineering*. 39(1): 25-33.
- Masse, L., D.I. Massé, V. Beaudette et M. Muir. 2004. Particle Size Distribution and Characteristics of Raw and Anaerobically Digested Swine Manure Slurry. ASAE/CSAE Annual International Meeting, Ottawa, Ontario, Canada, 1 - 4 August 2004, ASAE Paper #044085. 11 pages.
- Matin, A., P. Collas, D. Blain, C. Ha, C. Liang, L. MacDonald, S. McKibbin, C. Palmer et K. Rhoades. 2004. Inventaire canadien des gaz à effet de serre 1990-2002. Division des gaz à effet de serre - Environnement Canada. Août 2004. 266 pages.

- Ni, J.Q., A.J. Heber, T.T. Lim, P.C. Tao, A.L. Longman et A.M. Schmidt. 2005. Methane and Carbon Dioxide emissions from Two Swine Finishing Barns with Long term Continuous Measurement. Livestock Environmental Initiative Conference. 7 et 8 février 2005. Toronto, Canada. 16 pages.
- Osada, T., H.B. Rom et P. Dahl. 1998. Continuous Measurements of Nitrous Oxide and Methane Emission in Pig Units by Infrared Photoacoustic Detection. *Transactions of the ASAE*. 41(4): 1109 – 1114.
- Pelletier, F., S. Godbout, A. Marquis, L.-O. Savard, J.-P. Larouche, S.P. Lemay et R. Joncas. 2004. Greenhouse Gas and Odor Emissions from Liquid Swine Manure Storage and Manure Treatment Facilities in Quebec. ASAE/CSAE Annual International Meeting, Ottawa, Ontario, Canada, 1 - 4 August 2004, ASAE Paper #044158. 17 pages.
- Peu, P., F. Béline et J. Martinez. 1999. A Floating Chamber for Estimating Nitrous Oxide Emissions from Farm Scale Treatment Units for Livestock Wastes. *J. Agric. Engng Res.* 73: 101-104.
- Pouliot, F, S. Godbout, D. Hamel et R. Leblanc. 2004. Isolation des fèces et de l'urine sous les lattes : les résultats en engraissement. Texte de conférence. Expo-Congrès du Porc du Québec – 2004. 20 pages.
- Seydoux S., D. Côté, M. Grenier et Comité technique – Porc. 2007. Caractérisation des volumes et des concentration en éléments fertilisants des déjections animales liquides en Chaudière-Appalaches. Rapport scientifique à l'attention de la Fédération de l'UPA de la Bauge. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA). 75 pages et annexes.
- Sharpe, R.R., L.A. Harper et J.D. Simmons. 2001. Methane emissions from swine lagoons in Southern US. *Chemosphere-Global change science*. 3: 1-6.
- Sneath, R.W., V.R. Phillips, T.G.M. Demmers, L.R. Burgess, J.L. Short et S.K. Welch. 1997. Long term measurements of greenhouse gas emissions from UK livestock buildings. Livestock Environment V, Proceedings of the Fifth International Symposium, Bloomington, Minnesota. Pages 146–153.
- Trahan, M. 2005. Fertior. Communication personnelle. 20 mai 2005.
- Wagner-Riddle, C et M. Marinier. 2004. Improved Greenhouse Gas Emission Estimates from Manure Storage Systems. Final Project Report prepared for the Climate Change Funding Initiative in Agriculture. University of Guelph. 91 pages.
- Wood, S. et A. Cowie. 2004. A review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production. Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting. IEA Bioenergy Task 38. 20 pages.