

**Traitement des biogaz provenant  
d'ouvrages de stockage de lisier de porc par biofiltration**

**(Projet PV8.4-2009-1458)**

**Rapport final**

Projet réalisé dans le cadre du Programme Prime-Vert, sous-volet 8.4



**Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation**

**Québec** 

**Par**

**Alexandre Leclerc, B.D.I., M.Sc.A.  
Hugues Groleau, agr., M.Env., PDG  
Écosphère, Expert-Conseil en Environnement**



**04/2010 – 01/2014**



## RÉSUMÉ

Les émissions de méthane ( $\text{CH}_4$ ) représentent près de 40 % des gaz à effet de serre (GES) produits par le secteur agricole au Canada. La production porcine émet l'équivalent de 3,7 millions de tonnes d'équivalent en dioxyde de carbone ( $\text{T CO}_{2\text{eq}}$ ) en  $\text{CH}_4$ , dont 54 % sont issues de la gestion des lisiers. Le contrôle de ces émissions constitue donc un enjeu réel pour atteindre les objectifs de réduction de GES fixés à l'échelle mondiale.

Les concentrations de biogaz dans les fosses à lisier et le débit d'air sont généralement trop faibles pour que le  $\text{CH}_4$  puisse être brûlé. D'autres procédés existent, mais peu d'informations tirées d'études de cas sont disponibles pour valider leur efficacité et aider les producteurs à faire un choix éclairé quant au système de traitement à installer. Parmi les technologies existantes, la biofiltration du  $\text{CH}_4$  constitue une solution intéressante. Des bactéries méthanotrophes établies dans le support filtrant d'un biofiltre transforment le  $\text{CH}_4$  en eau et en gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ). Le  $\text{CO}_2$  est 21 fois moins puissant que le  $\text{CH}_4$  au niveau du réchauffement climatique, alors la réduction de l'impact environnemental est appréciable. La biofiltration s'avère donc une technologie relativement simple, efficace et écologique. Comment d'autres technologies de réduction de GES, elle pourrait permettre, à moyen ou à long terme, aux agriculteurs canadiens de tirer profit de la vente de crédits de carbone.

Une étude réalisée par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) au milieu des années 2000 a servi à évaluer la performance de la biofiltration en testant différents milieux filtrants (Massé, 2006; Massé et al., 2006). Parmi les milieux filtrants testés, celui à base de compost s'est avéré le plus performant. Ce dernier a permis d'obtenir un taux moyen de conversion du  $\text{CH}_4$  de 63 % et un taux maximal atteignant 92 %. Par la suite, la firme Écosphère a conçu et développé un biofiltre basé sur différents paramètres tirés de cette étude, notamment la composition du milieu filtrant et le temps de résidence des gaz dans le biofiltre. Ce deuxième paramètre devient un élément important pour dimensionner le biofiltre, déterminer le volume de milieu filtrant et calibrer le débit d'air.

Le présent projet consistait donc à évaluer, dans les conditions réelles de la ferme, la performance de ce biofiltre et de valider la reproductibilité des résultats de l'étude d'AAC. À l'exception de cette étude, il s'agissait du premier projet du genre réalisé dans une entreprise porcine au Québec. Un comité d'experts a été formé dès le départ, afin d'assurer la bonne orientation du projet. Ce comité était formé de plusieurs experts et intervenants représentant notamment l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et la firme Écosphère.

Les premières prises de mesure effectuées à la ferme Les Élevages Parent ont vite révélé que l'appareil de mesure ne convenait pas. En effet, même si les relevés de température indiquaient une certaine activité biologique dans le biofiltre, aucune concentration de  $\text{CH}_4$  n'était détectée à l'entrée ou à la sortie. Face à ce constat, l'IRDA a été mandaté pour mesurer les concentrations de  $\text{CH}_4$  à l'aide d'équipements plus sophistiqués et à précision élevée. Les concentrations de  $\text{CH}_4$  à l'entrée se sont avérées très faibles et les taux de conversion du  $\text{CH}_4$  également.

Suite à cette observation, les membres du comité de suivi ont conclu que la combinaison de divers facteurs, notamment la faible teneur en matière organique du lisier, aurait contribué à réduire la concentration du  $\text{CH}_4$  dans la fosse. En effet, le lisier contenu dans la fosse de la ferme Les Élevages Parent est constitué de la fraction liquide du lisier brut ayant subi une séparation par tamis vibrant. Malgré leur niveau de connaissances dans ce domaine, les membres du comité de suivi n'ont pas identifié ce facteur comme pouvant être déterminant au départ. Il est donc pertinent d'émettre une certaine réserve sur la pertinence d'installer un système de traitement du méthane sur une fosse contenant la partie liquide du lisier brut. La question pourrait sans doute être étudiée dans le cadre d'un projet portant sur les GES émis par la fraction liquide du lisier de porc.

À cette étape, le projet a dû être redéfini et les essais ont repris chez un deuxième producteur de porc, soit la ferme R & R Fortin, dont le type de gestion du lisier produit davantage de CH<sub>4</sub>. Il a aussi été décidé d'effectuer une expérimentation en laboratoire sur des biofiltres de plus petite dimension, afin de déterminer à partir de quelle concentration le système de biofiltration est opérationnel ou optimal.

L'expérimentation avec des mini-biofiltres en laboratoire n'a pas produit les résultats escomptés, révélant des taux d'efficacité relativement faibles. Malgré les dix semaines qu'ont duré les essais, ces résultats s'expliqueraient par le fait que cette période ne serait pas suffisante pour permettre aux bactéries méthanotrophes de s'établir convenablement dans le milieu filtrant. La faible quantité d'azote disponible dans le milieu filtrant pourrait aussi être responsable de cette performance réduite. Une légère augmentation de la performance des mini-biofiltres a été observée avec certains traitements et semble concorder avec la date de début d'arrosage des milieux filtrants. L'augmentation de l'humidité pourrait expliquer cette amélioration de la performance, mais les données recueillies et la durée de la présente étude ne peuvent servir à expliquer ce phénomène. Tant pour l'hypothèse de l'azote ou celle de l'humidité, les données recueillies dans le cadre de cette étude ne permettent pas de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses.

À l'opposé, les essais à la ferme avec deux biofiltres commerciaux ont été concluants avec un taux moyen de conversion du CH<sub>4</sub> de 66 % pour l'un des biofiltres. L'étude d'AAC qui avait été jugée concluante avait produit des résultats similaires avec un taux moyen de conversion du CH<sub>4</sub> de 63 % et plusieurs pointes d'efficacité dépassant 80 % au cours des sept mois d'expérimentation (Massé, 2006). Malgré la courte durée des essais à la ferme R & R Fortin, soit un peu plus d'une semaine, un taux d'efficacité maximal de 90 % a été atteint, comparativement à 92 % dans le cas d'AAC. Au final, les résultats de la présente étude au niveau des essais à la ferme, se comparent à ceux d'AAC. D'autres études sur la biofiltration du CH<sub>4</sub> démontrent des efficacités moyennes variant de 40 % à 85 % selon des temps de résidence variés, ce qui situe les résultats de la présente étude à un niveau comparable (Girard et al. 2011; Melse et van der Werf 2005; Nikiema et al. 2009).

Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet démontrent l'efficacité du système de biofiltration d'Écosphère, mais laissent tout de même quelques questions en suspens et font apparaître des phénomènes intéressants qui mériteraient d'être expliqués ultérieurement. Il serait utile d'effectuer ces mêmes expérimentations sur une plus longue période, afin d'obtenir des données plus représentatives. D'une part, cela permettrait aux mini-biofiltres d'atteindre leur niveau d'efficacité et d'évaluer leur performance réelle en fonction de différentes concentrations de CH<sub>4</sub>. D'autre part, des essais prolongés sur des biofiltres commerciaux installés à la ferme permettraient d'obtenir un taux d'efficacité moyen plus représentatif de la réalité, ainsi que de mieux comprendre l'influence de la température et d'autres facteurs sur la performance du système.

## NOTE AU LECTEUR

Le présent document est basé en grande partie sur les travaux de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) qui a été mandaté par Écosphère en cours de projet pour mesurer les concentrations des gaz à effet de serre, plus particulièrement le méthane, issu des fosses à lisier de porcs. Le rapport « Biofiltration du CH<sub>4</sub> provenant des fosses de lisier de porc » est disponible en annexe pour connaître les détails des expérimentations du volet 2, soit les essais sur les biofiltres installés à la Ferme R & R Fortin et l'expérimentation en laboratoire avec les mini-biofiltres (Girard et Belzile, 2013).

**LES RÉSULTATS, OPINIONS ET RECOMMANDATIONS EXPRIMÉS DANS CE RAPPORT  
ÉMANENT DE L'AUTEUR OU DES AUTEURS ET N'ENGAGENT AUCUNEMENT LE  
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION**



# TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>3</b>
<b>NOTE AU LECTEUR</b> .....	<b>5</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>7</b>
<b>MISE EN CONTEXTE</b> .....	<b>9</b>
<b>VOLET #1 : FERME PARENT 2009-2011</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Objectifs et méthodologie</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2 Résultats</b> .....	<b>14</b>
<b>VOLET #2 : FERME R &amp; R FORTIN 2012-2013</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3 Objectifs et méthodologie</b> .....	<b>17</b>
1.3.1 Expérimentation à la ferme : biofiltres à la ferme R & R Fortin .....	18
1.3.2 Expérimentation au laboratoire : mini-biofiltres à l'IRDA.....	20
<b>1.4 Résultats</b> .....	<b>22</b>
1.4.1 Expérimentation à la ferme : biofiltres à la ferme R & R Fortin .....	22
1.4.2 Expérimentation au laboratoire : mini-biofiltres à l'IRDA.....	24
<b>CONCLUSION ET DISCUSSION GENERALES</b> .....	<b>29</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>33</b>
<b>REFERENCES</b> .....	<b>35</b>
<b>ANNEXE 1</b> .....	<b>37</b>



## Mise en contexte

L'installation de toitures sur les fosses à lisier de porc a gagné en popularité au cours des dernières années. Non seulement ce type d'infrastructure permet de réduire significativement les odeurs, mais il empêche les eaux de pluie de s'accumuler dans la fosse, augmentant la qualité fertilisante du lisier et permettant de réduire les frais de manutention et d'épandage qui sont directement reliés au volume de matériel à gérer.

Évidemment, une toiture étanche permet aussi de confiner les gaz émis par le lisier à l'intérieur de la fosse, offrant ainsi la possibilité de les capter et de les traiter au lieu de les laisser s'échapper dans l'atmosphère. Certains de ces gaz sont de puissants gaz à effet de serre (GES) et le méthane ( $\text{CH}_4$ ) est l'un des plus préoccupants. Au Canada en 2008, la gestion du lisier porcin a libéré 1,3 million de tonnes d'équivalent en dioxyde de carbone de  $\text{CH}_4$ . La concentration de  $\text{CH}_4$  dans une fosse recouverte est généralement trop faible pour être brûlée, mais l'installation d'un biofiltre apparaît comme une solution intéressante pour traiter ces émissions.

En 2009, le propriétaire de l'entreprise Les Élevages Parent a décidé de faire construire une toiture de béton sur deux de ses fosses à lisier et d'y installer un biofiltre sur chacune d'elles pour traiter les émissions de  $\text{CH}_4$ . Il s'agissait alors des premiers biofiltres installés sur une ferme au Québec pour traiter le  $\text{CH}_4$ . Le propriétaire de la ferme avait alors bénéficié d'une aide financière octroyée grâce au programme Prime-Vert 2009-2013 sous-volet 5.2.2 qui avait alors permis de défrayer une partie des coûts d'achat et d'installation des toitures et des biofiltres. Puisqu'il existait très peu ou pas de données issues d'expérimentations à la ferme pour valider la performance réelle de ce type de système, il fût suggéré par la Direction régionale Chaudière-Appalaches du MAPAQ d'effectuer une évaluation et un suivi sur l'efficacité de ces biofiltres. Les résultats du présent projet constituent donc aujourd'hui une opportunité de mieux connaître le fonctionnement réel de cette technologie et de comparer les résultats avec la littérature scientifique.

Le projet consistait initialement à mesurer les concentrations de gaz à l'entrée et à la sortie du biofiltre pendant une année, afin d'évaluer l'efficacité du système et mesurer les variations saisonnières. Bien que les spécifications techniques de l'appareil de mesure répondaient aux besoins de l'expérimentation, les premières prises de mesure ont soulevé un doute sur sa capacité de faire une lecture fiable des concentrations de gaz à l'entrée et à la sortie des biofiltres. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse ont donc été donnés à forfait à l'institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) qui possède des équipements plus performants pour faire ce type d'analyse.

Bien que mesurables, les concentrations de  $\text{CH}_4$  à l'entrée des biofiltres se sont avérées très faibles, voire nulles dans certains cas. Le comité de suivi n'avait pas été anticipé que les concentrations de  $\text{CH}_4$  sous les toitures seraient aussi faibles. Par ailleurs, les résultats en termes d'efficacité de traitement du  $\text{CH}_4$  se sont avérés décevants. Suite à une analyse des données et du contexte d'expérimentation, les membres du comité de suivi ont finalement émis l'hypothèse suivante : la combinaison de différents facteurs, comme le type de régie de lisier, la quantité de lisier et le volume d'air présent sous le couvercle, peut faire en sorte que les concentrations de GES soient moins élevées que ce qui est rapporté dans la littérature scientifique.

Suite à ce constat, il a été décidé de revoir le projet et de faire une nouvelle proposition, afin de poursuivre l'expérimentation de manière à obtenir des données utiles et pertinentes en fin de projet. Avec l'accord du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), les membres du comité de suivi ont convenu qu'il serait opportun et productif de reprendre les travaux de recherche, mais sur une autre ferme porcine où le lisier entreposé n'a pas subi de modification, et en parallèle d'effectuer une expérimentation à l'échelle laboratoire, afin d'évaluer l'efficacité du système en fonction de différentes concentrations de  $\text{CH}_4$  à l'entrée du système de traitement.

Le comité de suivi a donc profité d'une nouvelle initiative mise de l'avant par un deuxième producteur porcin. Deux autres biofiltres similaires à ceux utilisés chez Les Élevages Parent ont été construits et installés à la ferme R & R Fortin sur des fosses étanches avec couverture de béton. À la différence de la Ferme Les Élevages Parent, les fosses contiennent du lisier brut qui renferme davantage de matière organique et, par conséquent, produit davantage de CH<sub>4</sub> (GIEC, 2000). En parallèle, des biofiltres à échelle réduite ont été construits et installés au laboratoire de l'IRDA, afin d'évaluer l'efficacité du système de traitement selon différentes concentrations de CH<sub>4</sub> et définir à partir de quelle concentration ce système de biofiltration utilisant un milieu filtrant organique est performant.

Les prochaines sections présentent les objectifs, les méthodologies et les résultats pour chacun des deux volets du projet, soit le premier volet qui a été réalisé à la ferme Les Élevages Parent en 2009-2010, et le deuxième qui s'est déroulé à la Ferme R & R Fortin en 2012-13 et qui a été bonifié d'une expérimentation complémentaire au laboratoire de l'IRDA. La figure 1 résume schématiquement l'évolution du projet en fonction des deux volets cités précédemment.

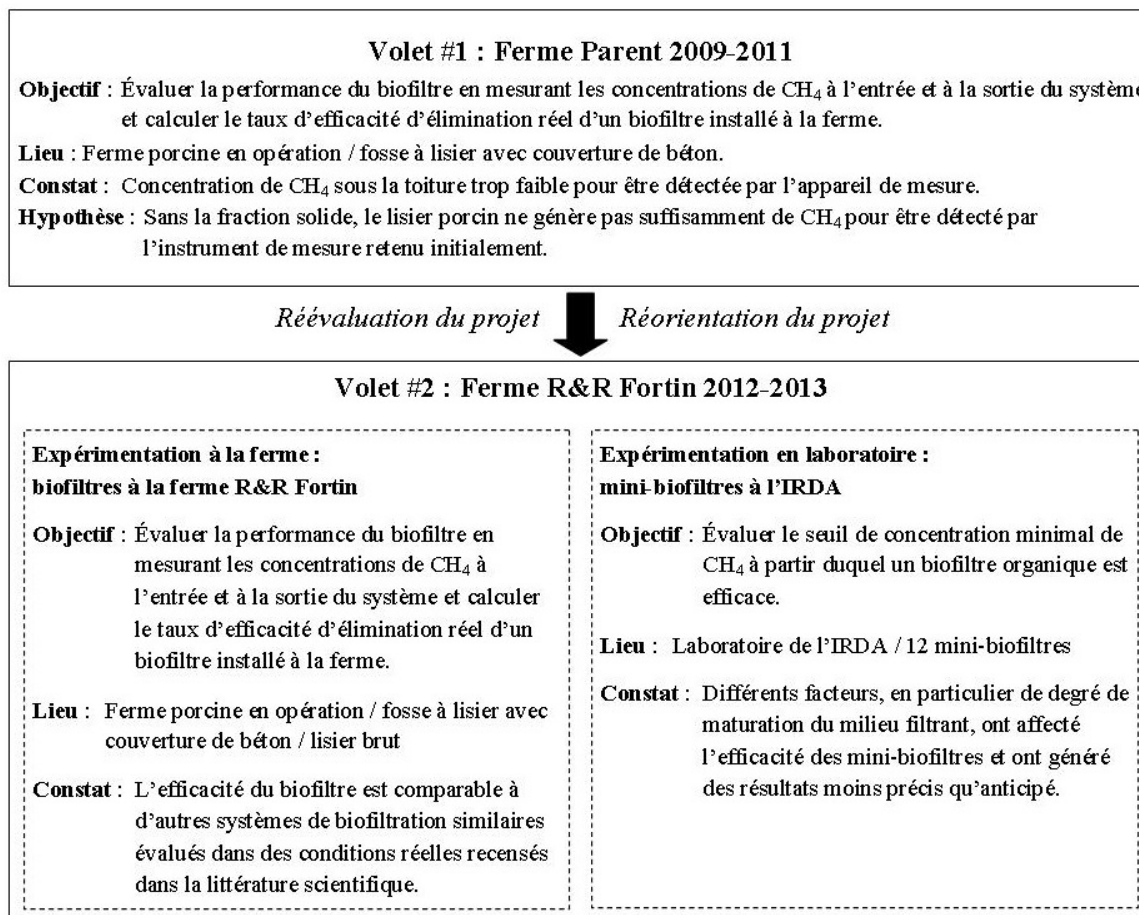


Figure 1 : Schéma présentant les différents aspects reliés aux deux volets du projet (Source : Écosphère)

## Volet #1 : Ferme Parent 2009-2011

M. Yvon Parent est propriétaire de plusieurs entreprises porcines localisées dans la région de Chaudière-Appalaches. L'une d'entre elles, Les Élevages Parent, produit annuellement 4109 porcs à l'engrais et génère des lisiers qui sont entreposés dans deux fosses en béton de 30,48 m de diamètres par 3,65 m de hauteur. À l'été 2010, l'entreprise a bénéficié d'une aide financière allouée par le programme Prime-Vert 2009-2013 sous le volet 5.2.2 pour installer des toitures de béton sur deux fosses à lisier.

Cette première intervention sur les installations d'entreposage du lisier procure, entre autres les avantages suivants :

- Réduction des odeurs dégagées par les ouvrages de stockage ;
- Diminution du volume de lisier à traiter par l'évitement du remplissage par l'eau de pluie, et par conséquent augmenter la capacité d'entreposage ;
- Augmentation de la valeur fertilisante du lisier par une diminution des pertes ammoniacales et en éliminant le facteur de dilution ;
- Diminution des coûts d'épandage et de la consommation de carburants fossiles par une réduction du transport de lisier ;
- Réduction des émissions de GES ;
- Opportunité de capter les GES émis en vue de les traiter.

La figure 2 présente les deux biofiltres installés chez Les Élevage Parent.



Figure 2 : Photos illustrant les deux biofiltres mis en fonction à la ferme Les Élevages Parent (Source : Écosphère)

## 1.1 Objectifs et méthodologie

Les dimensions des biofiltres ont été établies de manière à maximiser leur capacité de filtration pour se rapprocher du maximum atteint lors de l'étude d'AAC, tout en s'assurant de ne pas les surdimensionner et ainsi augmenter les coûts de fabrication et d'opération. Il faut savoir qu'un milieu filtrant plus volumineux que nécessaire peut rendre difficile l'établissement de la microflore bactérienne spécialisée pour le traitement du  $\text{CH}_4$  puisque le gaz se trouve alors en trop faible concentration dans le biofiltre. Les biofiltres ont besoin d'une période de temps plus ou moins longue avant d'offrir leur maximum d'efficacité de filtration, car les bactéries méthanotrophes doivent être suffisamment bien établies pour offrir un traitement des gaz efficace. Le contact du milieu filtrant avec le  $\text{CH}_4$  entraîne un développement progressif de la microflore et ainsi une augmentation graduelle de l'efficacité de filtration du  $\text{CH}_4$ .

Ce sont deux biofiltres de tailles différentes et présentant respectivement des milieux filtrants de 13 et 19  $\text{m}^3$  qui ont été construits, afin d'avoir la possibilité de comparer leur efficacité et de préciser éventuellement le dimensionnement idéal qui permettrait une filtration optimale des émissions. Pour des motifs de confidentialité, les détails techniques ne peuvent être présentés dans ce rapport.

Seuls les grands principes de conception seront donc abordés. La figure 3 illustre la conception générale de biofiltre développé par Écosphère.

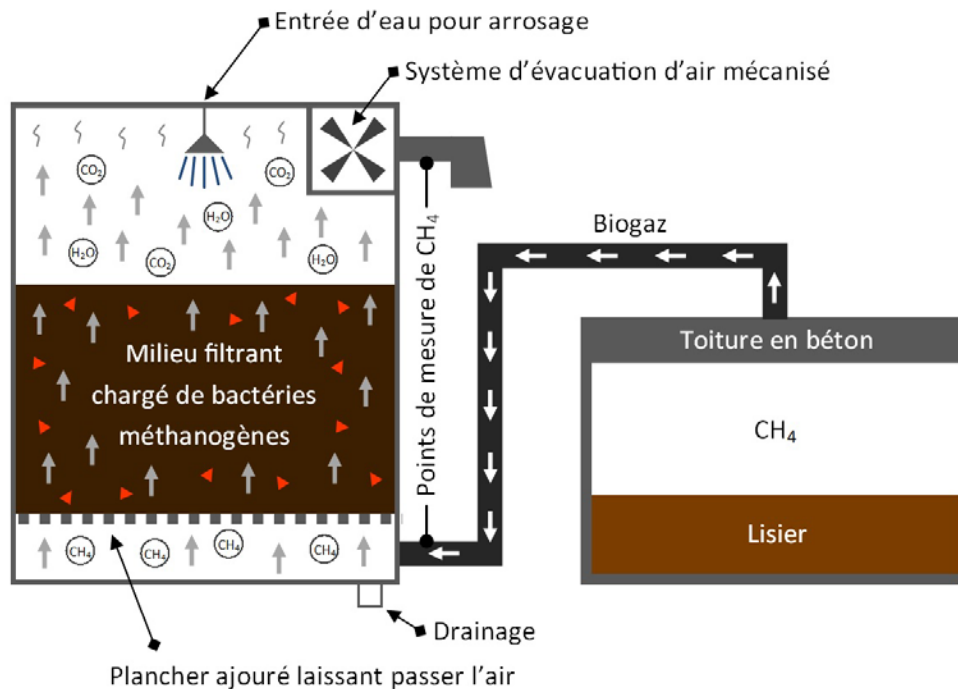


Figure 3 : Schéma de conception du biofiltre développé par Écosphère (Source : Écosphère)

Un système d'irrigation a été installé à l'intérieur des biofiltres, afin de contrôler l'humidité du milieu filtrant, car l'eau est essentielle au métabolisme de la microflore. Un milieu trop sec peut entraîner une diminution importante de son activité, voire même son arrêt. À l'inverse, une humidité trop importante peut contribuer à la compaction du milieu filtrant, diminuant la diffusion des gaz dans sa masse et provoquant des conditions anaérobiques, c'est-à-dire sans oxygène, qui seraient nuisibles pour la survie des bactéries. Le taux d'humidité optimal pour la biofiltration dépend du type de matériel utilisé comme milieu filtrant et il peut varier de 10 à 80 % (Keenes et Thalasso 1998), mais un intervalle de 40 à 60 % est généralement recommandé (Jorio et Heitz 1999).

Les mesures de quantité de GES ont été prises à l'entrée et à la sortie de chaque biofiltre de manière à évaluer la différence de concentration avant et après le passage de l'air provenant de la fosse à travers le milieu filtrant et comprendre les réactions qui s'y créent. La concentration de  $\text{CH}_4$  a été suivie de façon régulière dès le début pendant la phase d'acclimatation, ceci afin de déterminer à partir de quel moment les biofiltres sont entièrement fonctionnels, c'est-à-dire lorsque l'efficacité de filtration s'est stabilisée. L'ensemble des paramètres mesurés sont :

- La concentration de  $\text{CH}_4$  (ppm  $\text{CH}_4$ ) à l'entrée et à la sortie du biofiltre ;
- La concentration de dioxyde de carbone (ppm  $\text{CO}_2$ ) à l'entrée et à la sortie du biofiltre ;
- La température de l'air ( $^{\circ}\text{C}$ ) à l'entrée et à la sortie du biofiltre ;
- Le débit d'air à l'entrée et à la sortie du biofiltre.

La mesure de la concentration en CH<sub>4</sub> et en dioxyde de carbone permet de déterminer l'efficacité de filtration du biofiltre, alors que la mesure de la température permet de corréler l'émission de gaz par la fosse et la capacité de filtration du biofiltre avec la température ambiante. Quant à la mesure du débit d'air, elle permet de s'assurer que la diffusion du gaz à l'intérieur du milieu filtrant n'est pas obstruée par la compaction du milieu ou accélérée par la formation de chemins préférentiels.

L'appareil qui a été choisi initialement pour prendre ces mesures est le GFM410 de *Gas Data*. Selon les informations obtenues du fabricant, il permet de mesurer la concentration des gaz en CH<sub>4</sub> et en CO<sub>2</sub> allant de 0 à 100 %. De plus, grâce à l'ajout de sondes spécialisées, il permet de mesurer la température et la vitesse d'écoulement de ces mêmes gaz. Toutes les données peuvent ensuite être sauvegardées dans l'appareil en vue de les transférer par la suite à un ordinateur pour les analyser.

À cause des effets de perturbation d'air dans le tuyau d'évacuation, l'IRDA a effectué tous les calculs nécessaires pour localiser le point d'échantillonnage scientifiquement valable à l'intérieur de la conduite en tenant compte de la longueur et du diamètre du tuyau, ainsi que du débit d'air. La figure 4 illustre de quelle manière l'appareil de mesure GFM410 était installé lors de la prise de mesure à l'entrée des biofiltres. Dans la même figure, les photos sont accompagnées d'un schéma simplifié de l'échantillonnage des gaz.

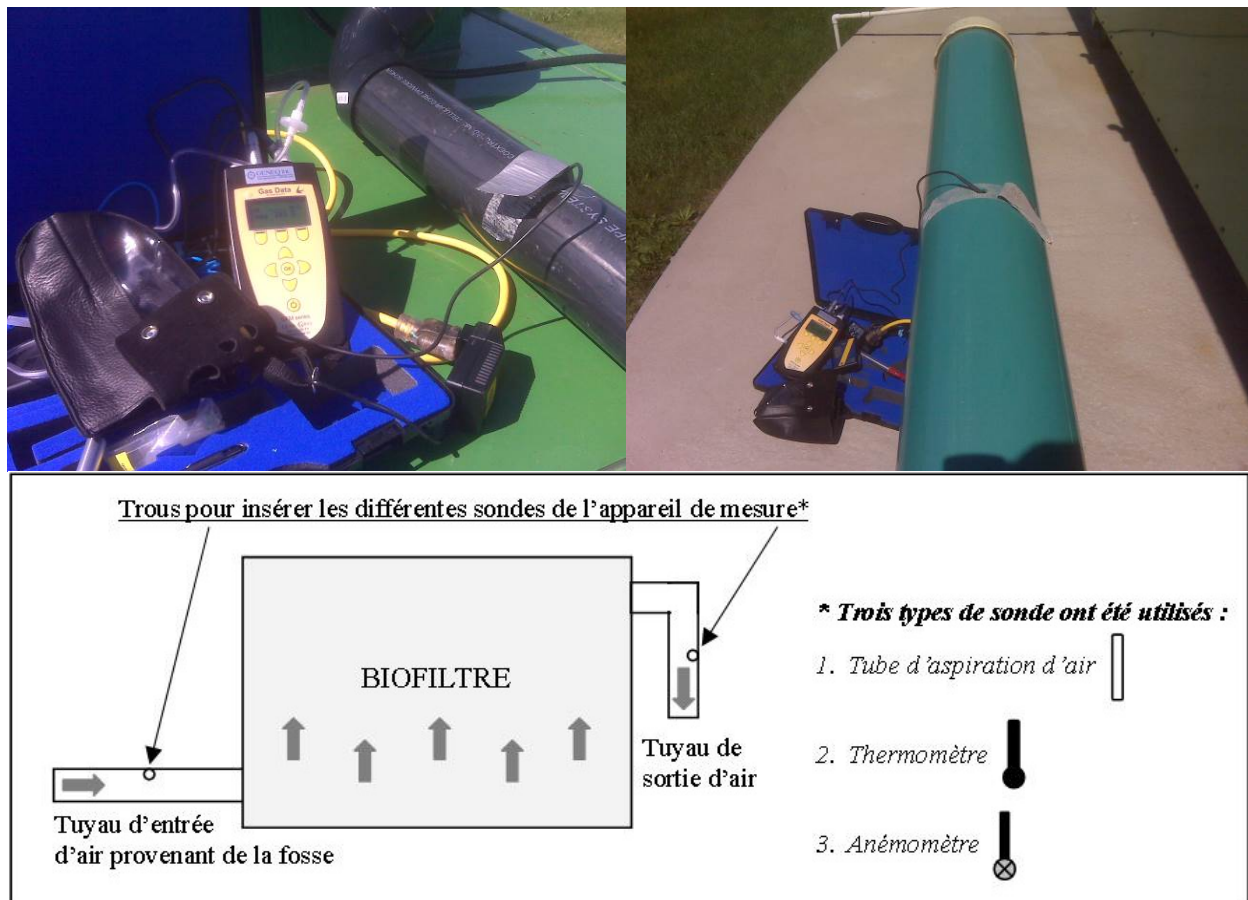


Figure 4 : Photos prises lors de la prise de mesure à l'entrée des deux biofiltres et schéma simplifié de l'échantillonnage des gaz, de la prise de température et du débit d'air qui ont été réalisés (Source : Écosphère)

Les émissions de CH<sub>4</sub> provenant d'une fosse à lisier sont limitées à la période de l'année où la température du lisier est supérieure à 0°C, ce qui correspond généralement à la période allant du mois d'avril au mois de novembre (Godbout et al.).

Les mois les plus chauds, soit juin et juillet, présentent les plus hauts taux d'émission de  $\text{CH}_4$  de l'année. Plus spécifiquement l'équipe de recherche d'AAC a relevé dans la littérature que les bactéries méthanotrophes sont actives à partir de  $10\text{ }^\circ\text{C}$  et que la température à laquelle elles sont le plus efficaces est  $30\text{ }^\circ\text{C}$ . Toutefois, d'autres études démontraient que l'oxydation du  $\text{CH}_4$  peut se produire à des températures oscillant autour du point de congélation, à condition que l'eau présente dans le milieu filtrant ne soit pas gelée (Massé, 2006).

Initialement, la fréquence de suivis était fixée à une fois par semaine à partir du mois d'avril jusqu'à octobre inclusivement. Une fréquence d'une fois par mois avait été planifiée pour les mois de novembre à mars, étant donné les températures froides de l'hiver. En tout temps, l'établissement du calendrier d'échantillonnage a été fait de manière à éviter la prise de mesure après une vidange de préfosse ou le vidage de la fosse, puisque les résultats seraient évidemment faussés suite à un brassage du lisier ou d'autres manipulations qui laisseraient échapper des biogaz de la fosse. Lors de ces visites, le responsable de l'échantillonnage a non seulement procédé à la prise de mesure, mais s'est aussi assuré du bon fonctionnement du système et a vérifié l'intégrité du milieu filtrant.

## 1.2 Résultats

La prise de mesure des concentrations de gaz a débuté en novembre 2010, peu de temps après la mise en fonction du système. Aucune émission de gaz n'a été détectée tant à l'entrée qu'à la sortie des biofiltres. Ces observations n'ont pas soulevé d'interrogation, car la température du lisier dans les fosses étant près de zéro à ce moment de l'année, il était réaliste de penser que les émissions de gaz étaient nulles ou en-deçà du point de détection de l'appareil. Néanmoins, la différence de température entre l'entrée et la sortie des biofiltres dénotait une activité biologique et donc le bon déroulement de la phase d'activation du milieu filtrant (voir tableau 1).

Les conditions hivernales étant peu propices à l'émission de biogaz par la fosse et au maintien de l'activité biologique des biofiltres, les prises de mesures ont été suspendues jusqu'au printemps 2011. Elles ont repris en avril 2011 où il a été rapidement constaté que l'appareil portable GFM410 de *Gas Data* ne détectait aucune concentration de  $\text{CH}_4$ . Les émissions de gaz étant la plupart du temps en deçà du seuil de détection de l'appareil, il était impossible de valider l'efficacité des biofiltres.

Suite à différentes discussions, un doute a été soulevé quant à la capacité de l'équipement à mesurer les concentrations à l'entrée et à la sortie des biofiltres. Suite à cela, un avis sur cet aspect a été demandé à l'IRDA, confirmant alors les doutes préalablement soulevés. Deux pistes de solution étaient alors envisagées, soit l'acquisition d'un nouvel équipement de mesure ou encore, l'octroi d'un mandat à l'IRDA pour effectuer des échantillonnages ponctuels à l'aide de sac et faire les analyses en laboratoire. Dans les deux cas, une campagne préliminaire pour évaluer la plage des concentrations devait être faite. Toutefois, compte tenu de la dépense déjà engagée pour l'acquisition du GFM410 et des moyens limités du projet, la seconde solution fut choisie, mais sans campagne préliminaire.

L'IRDA a donc procédé au prélèvement d'air à l'entrée et à la sortie des biofiltres afin d'en mesurer la teneur en gaz ( $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$ ). Étant donné le coût d'échantillonnage et d'analyse de beaucoup supérieur à ce qui était initialement prévu, l'IRDA n'a pu effectuer que quatre prises de mesure durant l'été. Les données recueillies sont présentées au tableau 1.

Tableau 1 : Synthèse des mesures de CH<sub>4</sub>, température et débit d'air à l'entrée et à la sortie des biofiltres (Sources : Écosphère).

Date d'échantillonnage / T° extérieure	Mesure	unité	Biofiltre 1 (19 m <sup>3</sup> )		Biofiltre 2 (13m <sup>3</sup> )	
			Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
Date: 10.11.2010 T° ext.: 6,5°C	CH <sub>4</sub>	ppmv	-	-	-	-
	Température	°C	3,50	13,50	3,50	9,50
	Débit	m <sup>2</sup> /sec	0	113,83	116,75	99,23
Date: 19.04.2011 T° ext.: 6°C	CH <sub>4</sub>	ppmv	402,00	372,00	12	12
	Température	°C	0,50	11,50	0,50	13,00
	Débit	m <sup>2</sup> /sec	163,4	128,40	-	75,88
Date: 21.06.2011	CH <sub>4</sub>	ppmv	278,00	>1000	418	389
Date: 13.07.2011 T° ext.: 20 °C	Température	°C	28,00	39,00	26,00	39,00
	Débit	m <sup>2</sup> /sec	116,75	75,88	140,09	137,18
Date: 23.08.2011	CH <sub>4</sub>	ppmv	1108,00	1076,00	> 1500	> 1500
Date: 30.08.2011 T° ext.: 20,5 °C	Température	°C	19,00	29,00	-	-
	Débit	m <sup>2</sup> /sec	116,75	72,97	116,75	110,91
Date: 31.10.2011 T° ext.: -	CH <sub>4</sub>	ppmv	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000
	Température	°C	-	-	-	-
	Débit	m <sup>2</sup> /sec	-	-	-	-

Le paramètre pour évaluer la performance des biofiltres est le taux de conversion du CH<sub>4</sub>, ou autrement dit l'efficacité d'élimination du CH<sub>4</sub>, tel que décrit dans l'équation suivante :

$$EE = \frac{C_{\text{entrée}} - C_{\text{sortie}}}{C_{\text{entrée}}} \times 100 \%$$

où EE est l'efficacité d'élimination (%) et C<sub>entrée</sub> et C<sub>sortie</sub> sont les concentrations à l'entrée et la sortie des biofiltres (ppmv).

Le tableau suivant présente l'efficacité d'élimination (EE) de chacun des deux biofiltres au moment des prises de mesure sur le terrain.

 Tableau 2 : Efficacité d'élimination du CH<sub>4</sub> pour chacune des prises de mesure faites par l'IRDA (Source : Écosphère).

Date de prise de mesure	Efficacité d'élimination du CH <sub>4</sub> (%)	
	Biofiltre 1 (19m <sup>2</sup> )	Biofiltre 2 (13m <sup>2</sup> )
10.11.2010	n.d.	n.d.
19.04.2011	7,5	0
21.06.2011	n.a.	6,9
23.08.2011	0,1	0
31.10.2011	0	0

n.d. : valeur nulle, car l'appareil de mesure n'a mesuré aucune concentration CH<sub>4</sub>, celle-ci étant trop faible pour être détectée.

n.a. : non-applicable, car une augmentation de la concentration de CH<sub>4</sub> a été observée au lieu d'une diminution.

Le tableau 2 montre que l'efficacité d'élimination s'est avérée très faible, et ce lorsqu'il était possible de faire le calcul avec les valeurs ayant pu être détectées. Les taux d'efficacité qui ont été calculés étaient de 7,5 % et 0,1 % avec le biofiltre #1 et de 6,9 % avec le biofiltre #2. Il est à noter que les concentrations de CH<sub>4</sub> à l'entrée du biofiltre étaient déjà très faibles au départ. Il est difficile d'expliquer la cause précise de cette la concentration, car les facteurs peuvent être nombreux et difficilement prévisibles. Par exemple, il se pourrait qu'un des receveurs de lisier soit passé pour pomper une partie du lisier quelque temps avant la visite de l'IRDA pour effectuer les mesures, laissant échapper du CH<sub>4</sub> de la fosse et réduisant la quantité de lisier sujet à générer des GES. Il aurait été avantageux d'interroger le producteur au moment des visites afin de connaître l'historique des opérations sur la fosse au cours des derniers jours ou depuis les dernières semaines. Il aurait été aussi opportun de faire remplir un cahier de régie du lisier par le producteur au cours des semaines précédentes pour savoir, par exemple, à quelle date la préfosse a été transvidée dans la fosse, si la porte de la fosse a été ouverte à un certain moment ou bien si la fosse a été vidée récemment.

Dans un cas particulier, une augmentation du CH<sub>4</sub> a été observée. En effet le 21 juin, la concentration était de 278 ppmv à l'entrée et est passée à >1000 ppmv à la sortie. Malgré l'imprécision de la concentration à la sortie, cette augmentation demeure significative. Les chercheurs de l'IRDA n'ont pas pu identifier la cause précise de cette augmentation, d'une part à cause du nombre limité d'échantillonnages qui a été fait, mais aussi à cause de la multitude de variables qui dans certains cas s'avèrent inconnues, et dans d'autres, incontrôlables. Les quelques mesures de concentrations de CH<sub>4</sub> à l'entrée et à la sortie ne peuvent donc suffire à identifier la cause de ce phénomène. Ceci étant dit, il est possible que la production de méthane de la fosse soit variable dans le temps et que la différence de concentration entre l'entrée et la sortie soit causée par le temps de résidence du gaz dans le biofiltre.

Dans d'autres cas, l'appareil de mesure n'a pas permis d'obtenir des valeurs suffisamment précises pour observer une diminution de la concentration de CH<sub>4</sub> et calculer un taux d'élimination, puisque les concentrations mesurées à l'entrée et à la sortie dépassaient la plage de calibration de l'appareil (ex. : >1500 ppmv). Le mandat de l'IRDA pour l'évaluation des biofiltres à la ferme Les Élevages Parent se limitait à prendre des échantillons ponctuels dans des sacs de gaz et de rapporter ces derniers au laboratoire pour être analysé avec l'équipement disponible. Pour pallier ce problème, il aurait fallu effectuer une calibration des équipements impliquant des frais additionnels, et retourner sur le terrain pour prendre de nouvelles mesures.

Selon l'information disponible, cette situation ne semble pas avoir eu beaucoup d'impact sur l'ensemble du projet, car l'ensemble des analyses a permis tout de même de mettre en lumière que la performance des biofiltres localisés à cette ferme ne répondait pas aux attentes. Comme il en est question plus loin dans le rapport, cette conclusion a amené au changement de site pour l'évaluation de la biofiltration. Le dépassement des limites de l'équipement de mesure aurait pu être évité en effectuant des mesures préliminaires et ainsi établir une calibration de l'appareil d'analyse dans la bonne échelle de valeurs. Une telle calibration a d'ailleurs été effectuée pour les essais qui ont suivi au volet 2.

Les faibles concentrations de CH<sub>4</sub> mesurées à l'entrée du biofiltre s'expliquent par le fait qu'à cette ferme, le lisier brut est d'abord dirigé vers un système de tamis vibrant qui sépare la partie solide de la partie liquide. La partie solide est envoyée au compostage, tandis que la partie liquide est entreposée dans la fosse. Ainsi, le lisier liquide dans la fosse contient qu'une très faible quantité de matière organique, et produit peu de CH<sub>4</sub>. En effet, selon un rapport publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les émissions de CH<sub>4</sub> émises par le lisier varient en fonction de la quantité de solides volatiles, c'est-à-dire de composés organiques d'origine animale et végétale, présents dans le lisier entreposé (GIEC, 2000). La faible charge en matière organique aurait vraisemblablement une influence importante sur la production de GES dans la fosse. Ce facteur aurait été sous-évalué lors de la mise en place du projet.

Puisqu'il n'y a pas eu de suivi sur les opérations entourant la gestion du lisier pouvant affecter sa composition et le volume d'air dans la fosse, il est impossible de déterminer la cause réelle de ces données qui sont contraires aux attentes.

Les faibles valeurs détectées pourraient aussi s'expliquer par un effet de dilution important occasionné par le volume d'air important entre la toiture et le lisier. La quantité de CH<sub>4</sub> entrant dans le biofiltre étant très faible, il est fort probable que la flore bactérienne méthanotrophe ne se soit pas développée suffisamment et n'ait pu dégrader le CH<sub>4</sub> présent, ce qui expliquerait la très faible efficacité du traitement.

Suite à ces constats, le comité de suivi formé entre autres de représentants d'Écosphère, de l'IRDA et du MAPAQ, s'est réunis afin de trouver une façon de maximiser les résultats. Ils en sont venus aux conclusions suivantes :

- Le lisier séparé génère moins de gaz, car une partie importante du solide du lisier a été retirée (GIEC, 2000);
- Par rapport à une toiture souple, la toiture rigide amène un facteur de dilution des gaz présents causé par l'air à l'intérieur de la fosse;
- La quantité d'air varie en fonction de la quantité de lisier présente dans la fosse et peut, selon la période de l'année, influencer les concentrations de GES;
- La combinaison de ces différents facteurs amènerait une concentration moins élevée que dans la littérature consultée (Massé, 2006).

Une révision complète du projet a donc été proposée par le comité de suivi afin de valider, dans une deuxième phase, l'efficacité des biofiltres reliés cette fois à des fosses contenant du lisier entier, et de réaliser en parallèle des essais laboratoire à l'aide de mini-biofiltres construits sur le même principe et dans lesquelles serait injecté du CH<sub>4</sub> gazeux à différentes concentrations. Cette double expérimentation a comme premier objectif de valider l'efficacité du biofiltre à la ferme tel que prévu au protocole initial et de constater si l'effet de dilution permettra d'atteindre la concentration minimale nécessaire à l'activation du biofiltre. De plus, l'expérimentation en laboratoire permettra de déterminer à partir de quelle concentration les bactéries présentes dans le milieu filtrant s'activent suffisamment pour offrir un taux de dégradation le CH<sub>4</sub> intéressant.

## **VOLET #2 : Ferme R & R Fortin 2012-2013**

La ferme porcine située dans la région de Chaudière-Appalaches compte un cheptel d'environ 3000 animaux. Une partie du lisier entreposé provient des porcs en engraissement et l'autre, de la maternité. Chacun des deux bâtiments est relié à une fosse de béton dont le diamètre est de 24,4 m et 35,96 m respectivement, et toutes les deux d'une hauteur de 3,65 m. En 2012, la ferme R & R Fortin a bénéficié de l'aide du programme Prime-Vert 2009-2013 sous le volet 5.2.2 pour faire l'installation d'une toiture de béton et d'un biofiltre conçu par Écosphère sur chacune des deux fosses.

### **1.3 Objectifs et méthodologie**

Cette deuxième phase au projet comporte deux volets de recherche, soit un premier à la ferme et l'autre en laboratoire. L'objectif général est de valider le fonctionnement du système de biofiltration et de déterminer la concentration minimale de CH<sub>4</sub> permettant la croissance des méthanotrophes. Pour ce faire, les objectifs spécifiques pour chacun des deux volets sont les suivants :

- Mesurer la réduction de  $\text{CH}_4$  obtenue avec deux biofiltres installés à la ferme R & R Fortin sur des fosses contenant du lisier complet et couvertes d'une toiture de béton.
- Étudier l'influence de la concentration de  $\text{CH}_4$  sur la performance de mini-biofiltres construits à l'échelle laboratoire et testés dans un environnement contrôlé.

### 1.3.1 Expérimentation à la ferme : biofiltres à la ferme R & R Fortin

Contrairement à la ferme Les Élevages Parent, le lisier de la ferme R & R Fortin est complet et devrait en théorie émettre davantage de  $\text{CH}_4$  à cause de la concentration plus élevée de matière organique provenant de la partie solide. Ce lisier provient de deux unités de production. La première est une maternité qui génère un lisier moins concentré en matière organique, car les installations doivent être lavées plus fréquemment, résultant en une plus grande quantité d'eau de lavage dans la fosse. La deuxième source est un engraissement dont le lisier est plus concentré en matière organique, car il contient plus de matières solides.

Deux biofiltres dimensionnés en fonction d'un volume de  $19 \text{ m}^3$  de matière filtrante ont été fabriqués et installés sur les deux fosses. Tel qu'expliqué dans le volet #1, les détails techniques doivent demeurer confidentiels et ne peuvent être présentés ici pour des raisons de secret industriel. Toutefois, il est possible de mentionner que ces deux biofiltres construits après ceux installés à la ferme Les Élevages Parent sont très similaires. Outre le fait que la porte ait été placée différemment pour satisfaire à des exigences particulières, la seule autre modification relève de la technique d'isolation qui a été modifiée, afin de simplifier la construction et améliorer l'efficacité du biofiltre en période froide. Une meilleure isolation permet de maintenir la température du milieu filtrant plus haute et ainsi favoriser l'activité des microorganismes. La figure 4 illustre les biofiltres installés à la ferme R & R Fortin.



Figure 5 : Biofiltres #1 et #2 conçus par Écosphère et installés à la ferme R & R Fortin (Source : Girard, M. et Belzile, M., 2013)

Dû à des contraintes techniques et logistiques, les prises de mesures ont été effectuées au début de l'automne, au lieu d'être réparties au cours de l'été comme prévu initialement. Malgré ce retard, occasionné en partie par des contraintes techniques associées à la calibration de l'appareil d'analyse, cette situation a néanmoins permis d'avoir accès aux équipements du Laboratoire mobile MESANGE<sup>MC</sup> pour effectuer l'échantillonnage en continu sur l'un des deux biofiltres de la ferme R & R Fortin, étant donné que ces derniers n'étaient pas disponibles pendant l'été. De plus il a été jugé opportun de combiner ces échantillonnages avec ceux prévus à un deuxième projet de recherche pour lequel cette expérimentation devait être faite sur le même site. Ce jumelage d'activités a ainsi permis ainsi de réduire les frais d'opération et de procurer des données plus précises. La figure 6 présente à quoi ressemble le Laboratoire mobile MESANGE<sup>MC</sup> vu de l'extérieur.



Figure 6 : Laboratoire mobile MESANGES<sup>MC</sup> de l'IRDA et schématisation du système (Source : Girard, M. et Belzile, M., 2013)

L'échantillonnage des gaz a été effectué quelques jours avant que les fosses ne soient vidées pour faire le dernier épandage autorisé de l'année. Il est donc permis de croire qu'elles contenaient une quantité importante de lisier. Deux techniques d'échantillonnage différentes ont été utilisées pour évaluer la performance de chacun des biofiltres. Le niveau de précisions lecture est le même pour les deux méthodes, étant donné que ce sont les mêmes équipements d'analyse qui sont utilisés. Par contre, dans le cas de l'échantillonnage en continu, le nombre d'échantillons analysés est significativement supérieur (4 échantillons/heure), permettant ainsi d'obtenir une meilleure représentativité des données pour la même période visée. Un échantillonnage en continu pour les deux fosses aurait été la solution idéale, mais le manque de disponibilité des équipements durant l'été et le manque de temps en fin de saison pour effectuer les prélèvements ont forcé l'équipe d'échantillonnage à proposer une solution alternative, soit des prélèvements ponctuels sur un premier biofiltre, effectués pendant la même période que l'échantillonnage en continu sur le deuxième biofiltre, mais analysés quelques jours plus tard une fois les équipements disponibles.

Pour le biofiltre traitant les gaz de la fosse contenant du lisier de porcs en engraissement, un suivi en continu a été effectué entre le 30 septembre et le 7 octobre 2013. Les mesures des concentrations gazeuses ont été effectuées à l'aide du laboratoire mobile MESANGES<sup>MC</sup> de l'IRDA qui dispose d'équipements d'échantillonnage et de mesure de la qualité de l'air complets. Des tubes de Teflon reliaient l'entrée et la sortie du biofiltre au laboratoire mobile. Les échantillons ont été prélevés séquentiellement et acheminés en continu jusqu'au système d'analyse dans l'unité mobile. La figure 5 illustre le laboratoire mobile MESANGES<sup>MC</sup> de l'IRDA dans lequel se trouvent les instruments de traitement et de mesure qui ont servi à déterminer les concentrations de CH<sub>4</sub>.

Le CH<sub>4</sub> et le CO<sub>2</sub> ont été analysés avec un chromatographe en phase gazeuse (Varian, 3600; USA). La séparation chromatographique des deux gaz a été effectuée à l'aide d'une colonne remplie de Porapak Q (80-100 mesh). Le CH<sub>4</sub> a été quantifié à l'aide d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) et le CO<sub>2</sub> a été analysé à l'aide d'un détecteur à capture d'électron (ECD). Les concentrations des différents gaz à chacun des points d'échantillonnage ont été mesurées à toutes les 15 minutes. À intervalles réguliers, des échantillons de gaz de concentrations connues ont été prélevés puis analysés par le chromatographe afin de valider les mesures. Les incertitudes instrumentales sur la concentration des gaz sont de  $\pm 0,5$  ppmv pour le CH<sub>4</sub> et  $\pm 30$  ppmv pour le CO<sub>2</sub>.

Pour le biofiltre traitant le gaz provenant de la fosse contenant du lisier de porc de maternité, des échantillons ponctuels ont été prélevés à trois reprises avec des sacs de 50L au cours de la même période, soit les 3, 4 et 8 octobre 2013. Les gaz ont été séparés et les concentrations ont été mesurées avec l'aide des mêmes équipements disponibles dans le laboratoire mobile. Mais au lieu d'être acheminés en continu, les échantillons de gaz ont été introduits directement dans la boucle d'injection des appareils de mesure une fois les analyses en continu terminées.

### 1.3.2 Expérimentation au laboratoire : mini-biofiltres à l'IRDA

Ce deuxième volet de l'expérimentation a été réalisé sur des mini-biofiltres à l'échelle laboratoire. Ceux-ci ont été construits et testés, afin de vérifier la performance du système en fonction de différentes concentrations de  $\text{CH}_4$  introduit dans le milieu filtrant. Pour ce faire, leur efficacité a été évaluée en fonction de quatre concentrations de  $\text{CH}_4$  : 100, 400, 750 et 1500 ppmv.

Les essais ont eu lieu au laboratoire BABE (Bilan agroenvironnemental des bâtiments d'élevage) de l'IRDA localisé au Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD). Ils ont été effectués sur une période de dix semaines, étant donné qu'il faut un minimum de temps pour permettre l'établissement des bactéries méthanotrophes dans le milieu filtrant et atteindre un taux d'efficacité minimal. Douze mini-biofiltres ont été construits, puisque trois répétitions par concentration de  $\text{CH}_4$  ont été effectuées.

Un échantillon de gaz a été prélevé pour chaque traitement différent, afin de valider les concentrations de  $\text{CH}_4$  visées à l'entrée des mini-biofiltres. La même opération a été effectuée à la sortie de chacun des douze mini-biofiltres. Le prélèvement des gaz était effectué à l'aide d'une pompe associée à une valve multipores permettant de faire un échantillonnage toutes les 15 minutes, un point de mesure après l'autre. Donc pour chaque point de mesure, le système en place permettait d'effectuer six prélèvements de gaz par jour. La mesure de concentration des gaz a été effectuée selon la même méthodologie que pour l'échantillonnage terrain, puisque ce sont les mêmes équipements qui ont été utilisés. Pour faciliter la compréhension de l'expérimentation, la figure 7 illustre le mode de fonctionnement des prélèvements de gaz effectués sur les mini-biofiltres.

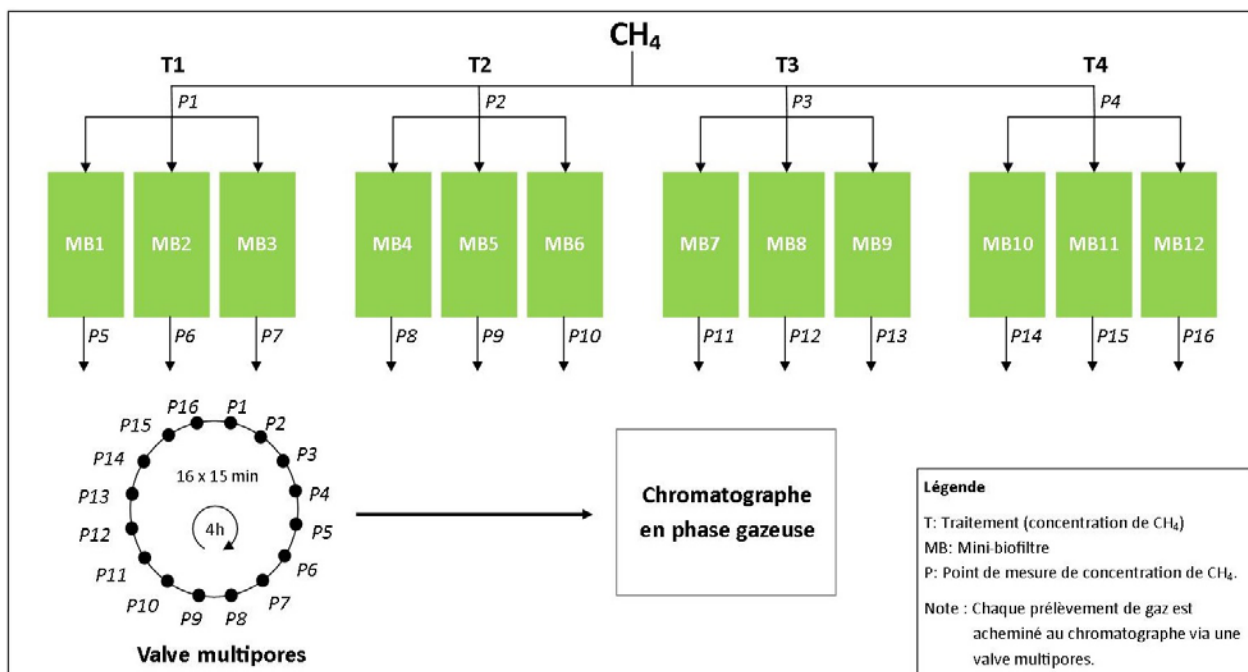


Figure 7 : Schéma décrivant le mode de prélèvement des échantillons de gaz à l'entrée et à la sortie des mini-biofiltres (Source : Écosphère)

Les mini-biofiltres ont été fabriqués selon les mêmes caractéristiques techniques que les unités commerciales utilisées à la ferme. Le diamètre interne des mini-biofiltres était de 0,3 m avec quatre sections de milieu filtrant de 0,46 m de hauteur chacun en leur centre. Un système d'arrosage a été installé dans la partie supérieure et une sortie au plancher a été prévue pour évacuer les excédents de liquide pouvant s'accumuler au fond.

Pour obtenir les concentrations visées, du CH<sub>4</sub> pur a dû être combiné à de l'air comprimé humide. La figure 8 illustre schématiquement la conception des mini-biofiltres, ainsi que le montage du système d'approvisionnement du CH<sub>4</sub> pour obtenir les concentrations désirées.

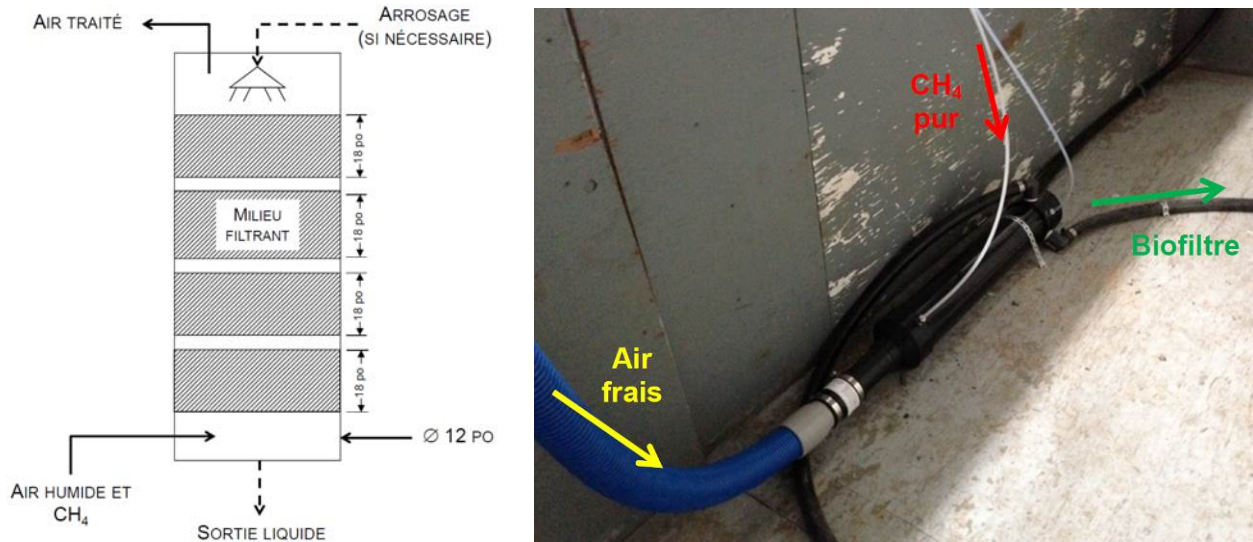


Figure 8 : Conception des mini-biofiltres et du système d'alimentation du CH<sub>4</sub> (Source : Girard, M. et Belzile, M., 2013)

Afin d'obtenir des résultats comparables en terme d'efficacité de traitement, le débit d'air a dû être ajusté pour que le temps de résidence du gaz dans le mini-biofiltre soit le même que pour les biofiltres commerciaux. L'air a dû être humidifié par bullage dans une colonne d'eau avant d'être dirigé vers les mini-biofiltres afin d'assurer le maintien du taux d'humidité adéquat dans le milieu filtrant. Celui-ci a dû être arrosé une fois par semaine, à partir de la sixième semaine, avec un volume d'environ 6 L d'eau par biofiltre.

La figure 9 illustre une vue d'ensemble des mini-biofiltres installés au laboratoire BABE de l'IRDA situé au Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD).



Figure 9 : Douze mini-biofiltres installés au laboratoire BABE de l'IRDA (Source : Girard, M. et Belzile, M., 2013)

## 1.4 Résultats

### 1.4.1 Expérimentation à la ferme : biofiltres à la ferme R & R Fortin

Tel que mentionné précédemment, le choix du milieu filtrant, le dimensionnement des biofiltres et le débit d'air ont été déterminés en fonction de données tirées des études d'AAC, puisqu'il s'agissait alors du seul projet du genre réalisé sur des installations réelles à la ferme et que les résultats étaient considérés comme concluants (Massé, 2006 ; Massé et al., 2006). Bien que la durée des essais ne soit pas la même pour les deux essais, soit environ une semaine comparativement à sept mois, il est possible de comparer, du moins en partie, les résultats de cette étude avec ceux d'AAC.

Le biofiltre #1 installé sur la première fosse à lisier, celle reliée au bâtiment où se trouvent les porcs en engraissement, a très bien fonctionné. Les concentrations de  $\text{CH}_4$  ont été relativement stables pendant la durée du suivi. Les concentrations moyennes de  $\text{CH}_4$  à l'entrée et à la sortie ont été respectivement de 4550 et 1530 ppmv, ce qui correspond à une efficacité d'élimination moyenne de 66 %. Le graphique à la Figure 8 présente les concentrations de  $\text{CH}_4$  à l'entrée et à la sortie du biofiltre #1 (porcs en engraissement), ainsi que le taux d'efficacité de traitement du  $\text{CH}_4$ .

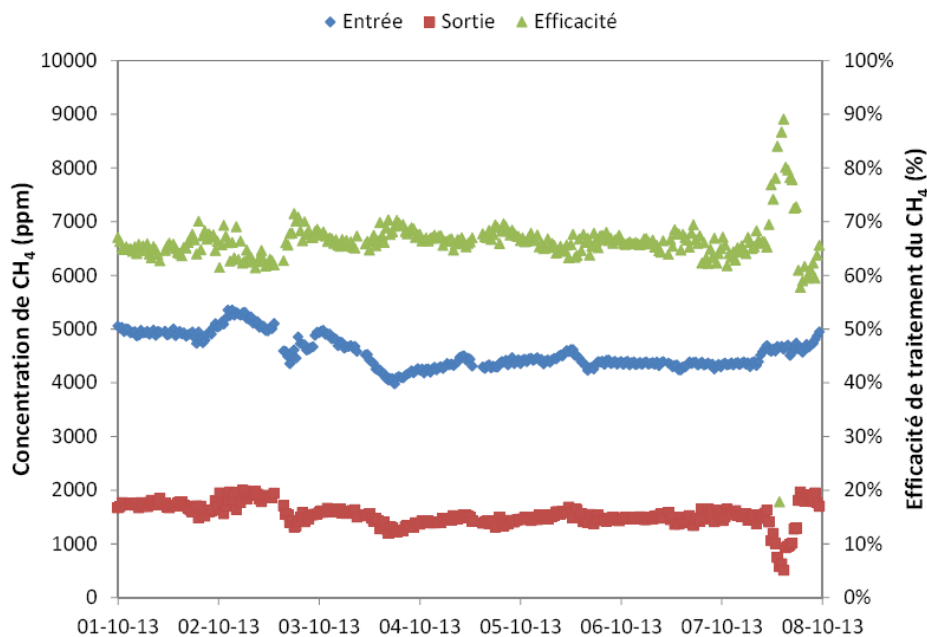


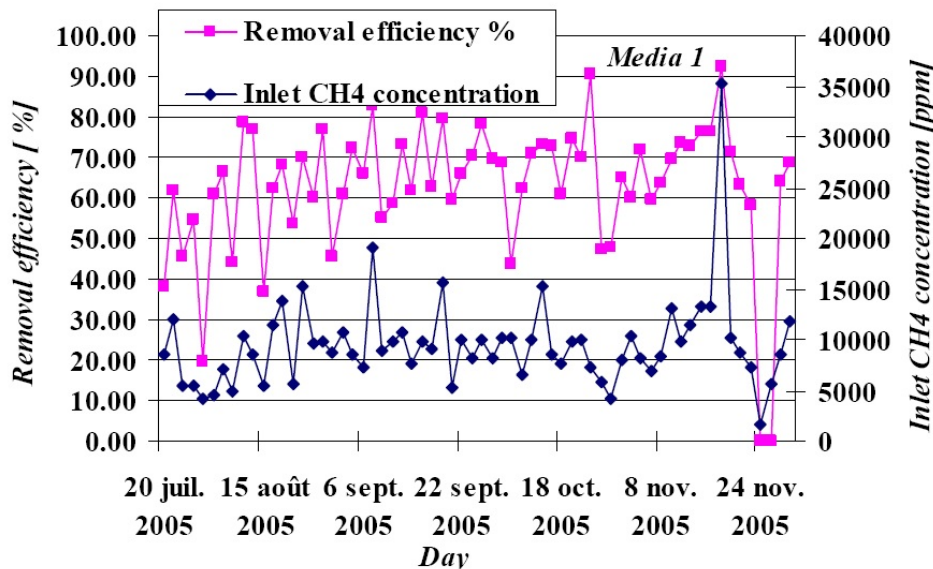
Figure 10 : Suivi en continu du biofiltre #1 (porcs en engraissement) à la ferme R & R Fortin (Source : Girard, M. et Belzile, M., 2013)

Considérant les résultats de l'équipe d'AAC pour qui le biofiltre avec milieu filtrant à base de compost, similaire à celui utilisé dans le présent biofiltre, avait atteint une efficacité moyenne de 63 %, l'essai avec le biofiltre #1 à la ferme R & R Fortin peut être qualifié de concluant. Bien entendu, des essais sur une plus longue période permettrait de valider cette hypothèse. Le tableau 3 présente les niveaux de performance des quatre essais de biofiltre matériel filtrant utilisé dans le biofiltre conçu et testé par AAC.

Tableau 3 : Performances du biofiltre testé avec quatre types de matériel filtrant (Sources : Massé et al., 2006).

<b>PERFORMANCE DU BIOFILTRE</b>				
Base du mélange du matériel filtrant	Compost	Copeaux de bois	Tourbe	Terre noire
Plage de variation de la concentration de CH <sub>4</sub> (%)	de 0,2 à 3,5			
Taux de conversion moyen de CH <sub>4</sub> (%)	63	61	51	51
Taux de conversion de CH <sub>4</sub> maximum atteint (%)	92	86	83	89

Une augmentation importante de l'efficacité d'élimination du CH<sub>4</sub> a été observée vers la fin du suivi du biofiltre #1, atteignant 90 % (voir figure 10). Il est possible que l'opération interne du biofiltre en soit la cause, mais les concentrations gazeuses mesurées à l'entrée et à la sortie ne peuvent expliquer à elles seules ce phénomène. Néanmoins, ce même phénomène a été observé lors des essais d'AAC. En effet, la figure 11 tirée de la même étude permet d'observer pas moins de cinq pointes d'efficacité d'élimination égales ou supérieures à 80 %, dépassant même le cap de 90 % à deux occasions (Massé, 2006). Il ne s'agirait donc pas d'un phénomène isolé, mais plutôt d'une variation normale dont la cause n'est pas été identifiée clairement.


 Figure 11 : Suivi du taux d'élimination du CH<sub>4</sub> pour le biofiltre avec milieu filtrant à base de compost lors d'une étude réalisée par Agriculture et Agroalimentaire Canada (Massé, 2006)

Par rapport au premier biofiltre, les concentrations de CH<sub>4</sub> à l'entrée et à la sortie du biofiltre #2 (lisier provenant de la maternité) se sont avérées beaucoup plus élevées, soit entre 17 600 et 20 000 ppmv à l'entrée et entre 9400 et 10 500 ppmv à la sortie. Il aurait été raisonnable de croire que les concentrations de CH<sub>4</sub> auraient été plus faibles avec ce lisier, étant donné l'effet de dilution occasionné par les eaux de lavage, mais le contraire s'est produit. Il est alors important de se rappeler que la production de CH<sub>4</sub> dépend d'une multitude de facteurs qui ne sont pas contrôlés (quantité et qualité du lisier, température, quantité d'oxygène, etc.).

Le biofiltre #2 a été légèrement moins performant pour l'élimination du CH<sub>4</sub> avec une efficacité variant entre 45 et 48 %. Le tableau 4 présente les concentrations de CH<sub>4</sub> et l'efficacité du biofiltre #2.

Tableau 4 : Concentration des gaz et efficacité du biofiltre selon les dates d'échantillonnage (Source : Girard, M. et Belzile, M., 2013)

Date	Gaz	Concentration (ppmv)		Efficacité CH <sub>4</sub> (%)
		Entrée	Sortie	
2013-10-03	CH <sub>4</sub>	17600	9760	45
	CO <sub>2</sub>	12400	10300	
2013-10-04	CH <sub>4</sub>	17600	9405	47
	CO <sub>2</sub>	12200	9955	
2013-10-08	CH <sub>4</sub>	19950	10450	48
	CO <sub>2</sub>	12500	10550	

Cette différence au niveau de la performance des deux biofiltres est probablement due au débit d'air qui était plus élevé pour le biofiltre #2. Il est possible que des chemins préférentiels se soient formés ou bien que le milieu filtrant se soit asséché, laissant ainsi passer l'air plus facilement. Un débit d'air plus élevé fait en sorte que les gaz traversent le milieu filtrant plus rapidement, ce qui laisse moins de temps aux bactéries méthanotrophes pour transformer le CH<sub>4</sub>, réduisant ainsi l'efficacité de traitement. Par ailleurs, puisque le débit d'air est plus élevé, il y a de fortes chances que la température ait légèrement diminuée, ce qui pourrait avoir également affecté le taux d'élimination du CH<sub>4</sub>. Étant donné que le mandat de l'IRDA consistait seulement à prendre les mesures, ces hypothèses n'ont pas été validées sur place et surtout les débits d'air n'ont pas été ajustés à l'aide du moteur à vitesse variable qui contrôle la ventilation.

Néanmoins, le taux d'efficacité demeure dans la moyenne. En effet, tel que mentionné dans le rapport d'expérimentation de l'IRDA (Girard, M. et Belzile, M., 2013), les résultats obtenus par d'autres études sur la biofiltration du CH<sub>4</sub> démontrent des efficacités moyennes à partir de 40 % qui varient selon les temps de résidence en fût vide des gaz (Girard et al. 2011; Melse et van der Werf 2005; Nikiema et al. 2009). Considérant le débit d'air du biofiltre #2 qui était 1,5 fois plus élevé que le biofiltre #1, réduisant ainsi le temps de résidence des gaz et donc l'efficacité du système, il y a de fortes chances qu'à débit d'air équivalent, les résultats auraient été similaires au premier biofiltre.

Le tableau 5 présente les débits d'air associés à chacun des échantillonnages sur les biofiltres.

Tableau 5 : Débits d'air alimenté aux biofiltres (Source : Girard, M. et Belzile, M., 2013)

Date	Débit d'air (pi <sup>3</sup> /min)	
	Biofiltre #1	Biofiltre #2
2013-09-30	12 ± 0,5	-
2013-10-02	17 ± 5	-
2013-10-03	26 ± 2	38 ± 2
2013-10-04	30 ± 1	46 ± 2

#### 1.4.2 Expérimentation au laboratoire : mini-biofiltres à l'IRDA

Les concentrations de CH<sub>4</sub> visées pour chacun des traitements étaient de 100, 400, 750 et 1500 ppmv. Toutefois, la combinaison et la calibration de différents appareils font en sorte que les concentrations réelles varient de manière à ce que la moyenne se rapproche autant que possible de la concentration visée. Ainsi lors de l'expérimentation, les concentrations moyennes obtenues à l'entrée des biofiltres pour chaque traitement ont été de :

- Traitement T1 = 162 ppmv
- Traitement T2 = 401 ppmv
- Traitement T3 = 640 ppmv
- Traitement T4 = 1391 ppmv

Le graphique à la Figure 12 présente la concentration de CH<sub>4</sub> à l'entrée pour le traitement T2 ainsi que l'efficacité d'élimination du CH<sub>4</sub> en pourcentage pour chaque répétition.

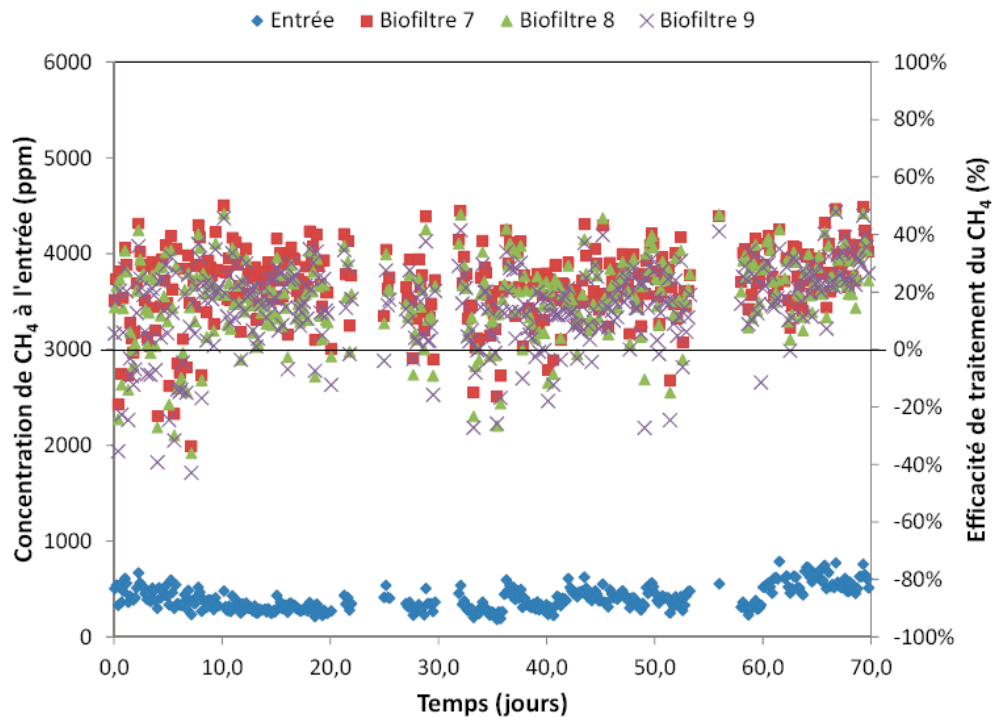


Figure 12 : Concentration de CH<sub>4</sub> à l'entrée et efficacité d'élimination des biofiltres du traitement T2 (Source : Girard, M. et Belzile, M., 2013)

Malgré le soin apporté à la calibration des équipements de laboratoire, les concentrations de CH<sub>4</sub> à l'entrée des biofiltres ont connu des variations au cours des 10 semaines d'essai, variant par exemple entre 180 et 800 ppmv dans le cas du traitement T2. Cette variation a été causée par la colonne d'eau utilisée pour humidifier l'air. En fait, puisque l'eau dans le bulleur s'évaporait avec le temps, la résistance au passage de l'air diminuait, augmentant ainsi le débit d'air et réduisant la concentration de CH<sub>4</sub>. Bien que les bulleurs étaient remplis régulièrement, soit une à deux fois par semaine, le phénomène a tout de même continué à avoir des effets sur la concentration de CH<sub>4</sub> (Girard, M. et Belzile, M., 2013).

En ce qui concerne les valeurs d'efficacité d'élimination du CH<sub>4</sub>, elles sont semblables pour les trois biofiltres, mais elles varient beaucoup d'une mesure à l'autre. Toutefois, la tendance semble assez constante dans le temps. D'autre part, les efficacités négatives observées sont probablement dues au délai entre la mesure de la concentration à l'entrée et celle à la sortie. De petites variations dans l'alimentation de CH<sub>4</sub> apparaissent comme des valeurs négatives quand l'efficacité est calculée.

Les valeurs d'efficacité de traitement du CH<sub>4</sub> calculées à chaque point de mesure, tel que présentées à la Figure 12, sont utiles pour déterminer l'allure des résultats dans le temps, mais il est difficile d'observer les tendances et de comparer les résultats aux autres traitements avec autant de valeurs. C'est pourquoi des valeurs moyennes ont été calculées entre les 3 répétitions pour chaque semaine. Le graphique présenté à la figure 13 présentant la progression de l'efficacité moyenne de traitement des biofiltres en fonction des 4 concentrations de CH<sub>4</sub>, est plus facile à interpréter.

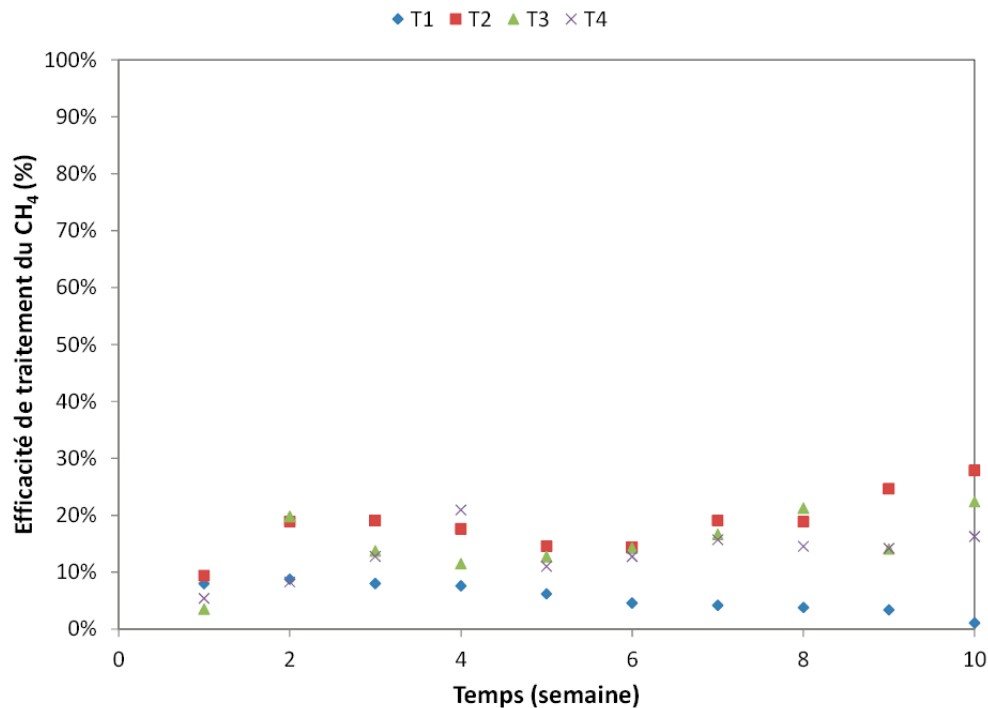


Figure 13 : Graphique présentant l'efficacité d'élimination moyenne du CH<sub>4</sub> de chaque par semaine pour chaque traitement (Source : Girard, M. et Belzile, M., 2013)

Pour tous les traitements sauf le T1, l'efficacité d'élimination du CH<sub>4</sub> a augmenté au début des essais, mais a diminué à partir de la troisième ou de la quatrième semaine. La performance de ces biofiltres a ensuite recommencé à augmenter à partir de la sixième semaine, ce qui correspond au début de l'arrosage du milieu filtrant. Pour ce qui est de la plus faible concentration de CH<sub>4</sub>, soit le traitement T1, la performance était relativement stable pour les quatre premières semaines, mais a diminué progressivement par la suite.

Afin de comparer la performance des traitements, le tableau 6 regroupe les efficacités moyennes pour chaque semaine, ainsi que l'efficacité moyenne et l'écart-type pour chaque traitement. Tel qu'observé avec le traitement T2 à la Figure 13, les valeurs des écarts-types sont très élevées par rapport aux moyennes, ce qui démontre la grande variabilité des résultats obtenus. En regardant les valeurs d'efficacité moyennes, il semble que le traitement T2 ait obtenu la meilleure performance. Par contre, vu les écarts-types élevés, il ne semble pas y avoir de différence entre les traitements concernant l'efficacité d'élimination du CH<sub>4</sub>. En effet, puisque la moyenne de chaque traitement se retrouve à l'intérieur de l'écart-type des autres traitements, il n'est pas possible d'établir clairement si un traitement a été réellement plus performant qu'un autre.

Tableau 6 : Efficacité d'élimination moyenne du CH<sub>4</sub> par semaine pour chaque traitement (Source : Girard, M. et Belzile, M., 2013)

Semaine	Efficacité d'élimination du CH <sub>4</sub> (%)			
	T1	T2	T3	T4
1	8,0	9,4	3,5	5,4
2	8,8	18,9	19,7	8,3
3	8,0	19,1	13,7	12,7
4	7,6	17,6	11,5	20,9
5	6,2	14,6	12,7	11,0
6	4,6	14,3	14,2	12,7
7	4,2	19,1	16,6	15,7
8	3,8	18,9	21,2	14,5
9	3,3	24,6	14,0	14,2
10	1,1	27,8	22,4	16,2
Moyenne	5,5	18,2	15,1	15,7
Écart-type	9,2	14,4	11,7	12,5

Des essais sur une plus longue période permettraient d'obtenir un meilleur échantillon de données, sans compter que cela laisserait le temps au milieu filtrant d'atteindre une meilleure capacité de traitement et probablement se rapprocher des résultats des essais à la ferme.



## Conclusion et discussion générales

Le principal objectif de ce projet était de valider le fonctionnement du système de biofiltration du  $\text{CH}_4$  conçu par Écosphère. Pour ce faire, des essais avec des biofiltres commerciaux ont été entamés chez un premier producteur porcin, Les Élevages Parent, mais ont dû être interrompus suite aux premiers résultats qui se sont avérés non concluants. En effet, les concentrations de  $\text{CH}_4$  mesurées à l'entrée des biofiltres et les taux de conversion du  $\text{CH}_4$  étaient très faibles. Outre la quantité de lisier dans la fosse et la dilution des gaz sous la toiture, il est probable que la faible concentration de  $\text{CH}_4$  à l'entrée du biofiltre s'explique par la faible teneur en matière organique dans le lisier. Il faut savoir que chez Les Élevages Parent, le lisier brut subit une séparation solide-liquide suite à son passage dans un système de tamis vibrant. La partie solide est dirigée au compostage tandis que la fraction liquide, dépourvue d'une très grande partie de la matière organique, est entreposée dans les fosses. Selon le GIEC, la charge en matière organique aurait une influence importante sur la production de GES par le lisier (GIEC, 2000). Ce facteur a été sous-estimé lors de la mise en place du projet en 2009.

Face à ces constats, le projet a été suspendu rapidement pour être repris chez un deuxième producteur porcin, la ferme R & R Fortin, qui entrepose du lisier brut dans des fosses équipées de systèmes de biofiltration identiques à ceux de la ferme Les Élevages Parent.

Ce deuxième volet du projet s'est vu bonifié par des essais menés au laboratoire de l'IRDA avec 12 mini-biofiltres conçus selon les mêmes paramètres techniques que les versions commerciales évaluées dans le cadre de ce projet, afin de mesurer l'effet de la concentration en  $\text{CH}_4$  sur la performance du système de biofiltration. Les résultats ont révélé des taux d'efficacité d'élimination relativement faibles, variant de 5 à 18 % en moyenne seulement. Une légère augmentation de la performance a cependant été observée avec deux des quatre traitements (concentration de  $\text{CH}_4$ ) et semble concorder avec la date de début d'arrosage des milieux filtrants. L'augmentation de l'humidité pourrait donc expliquer cette amélioration de la performance, mais les données recueillies et la durée de la présente étude ne peuvent servir à expliquer ce phénomène.

Cette expérimentation en laboratoire n'a malheureusement pas permis d'établir clairement l'influence de la concentration de  $\text{CH}_4$  sur l'efficacité du système. Tel qu'expliqué précédemment, la courte durée des essais et le manque d'azote disponible pour les bactéries méthanotrophes pourraient expliquer cette faible performance.

À l'opposé, et malgré le fait que le milieu filtrant était le même que celui utilisé dans les mini-biofiltres, les résultats obtenus à la ferme chez R & R Fortin avec les biofiltres commerciaux ont démontré une bonne performance du système avec des taux moyens de conversion du  $\text{CH}_4$  de 47 et 66 %. Tel que démontré dans la sous-section 1.4.1 de ce rapport, les résultats sont comparables à ceux recensés dans la littérature. Par exemple, l'équipe d'AAC a obtenu un taux de conversion moyen de 63 % avec un biofiltre utilisant un milieu filtrant et un temps de résidence visé similaires (Massé et al., 2006). D'autres études répertoriées par l'IRDA font état de taux d'efficacité se situant entre 40 % à 85 % pour des temps de résidence des gaz dans le biofiltre variant d'un projet à l'autre (Girard et al. 2011; Melse et van der Werf 2005; Nikiema et al. 2009).

Malgré la courte durée de l'expérimentation à la ferme R & R Fortin, une pointe d'efficacité atteignant 90 % a été observée à la fin de la période d'essai. Tel que relaté dans la sous-section 1.4.1, cette pointe d'efficacité est comparable des phénomènes semblables relevés lors des essais d'AAC. En effet, plusieurs pointes d'efficacité au-delà de 80 % ont été mesurées, dont deux dépassant même légèrement la barre des 90% (Massé et al., 2006). Bien que ce phénomène n'ait pu être expliqué à l'aide des données recueillies dans le cadre de cette étude, il demeure que ces pointes semblent être un phénomène normal et souhaitable.

La disponibilité de l'azote présent dans le gaz à la sortie des fosses couvertes explique probablement l'efficacité du traitement fourni par ces biofiltres, comparativement aux résultats des mini-biofiltres en laboratoire.

L'observation la plus évidente faite au début du projet est que les concentrations de  $\text{CH}_4$  mesurées à l'entrée du biofiltre étaient très faibles. Ceci s'explique par le fait que le lisier brut généré à la ferme Les Élevages Parent subit une séparation par tamis vibrant et que la partie qui se retrouve dans la fosse, soit la fraction liquide, a perdu une part importante de la matière organique présente au départ. La faible charge en matière organique aurait vraisemblablement une influence importante sur la production de GES dans la fosse (GIEC, 2000). Il est donc nécessaire de mettre en garde les producteurs, les conseillers ou les équipementiers sur la pertinence d'installer un biofiltre sur une fosse couverte contenant la partie liquide d'un lisier séparé. D'autres études de caractérisation avec ce type de lisier pourraient sans doute contribuer à mieux cerner cette hypothèse. Il est donc recommandé de faire l'installation d'un biofiltre sur des fosses couvertes contenant du lisier brut.

Puisque les résultats sur le taux d'efficacité des biofiltres installés à la ferme Les Élevages Parent n'ont pas été concluants, il n'a pas été possible de déterminer le dimensionnement idéal du système en comparant les résultats des deux biofiltres dont les volumes filtrants étaient différents. Un des objectifs de départ était de vérifier si un biofiltre avec un volume de matériel filtrant de  $13 \text{ m}^3$  était aussi efficace qu'un système identique, mais avec un milieu filtrant de  $19 \text{ m}^3$ . Si cela avait été le cas, alors il aurait été probablement avantageux de fabriquer des biofiltre de plus petite dimension pour des installations futures.

Selon les experts de l'IRDA, la différence de performance entre les deux biofiltres installés à la ferme R & R Fortin est probablement due aux débits d'air différents. Un débit d'air plus élevé dans le deuxième biofiltre aurait permis un taux de conversion plus faible de l'ordre de 45 à 48 %, comparativement à 66 % dans le cas du premier biofiltre. Si le  $\text{CH}_4$  passe trop rapidement à travers le milieu filtrant, alors les bactéries méthanotrophes n'ont pas tout le temps nécessaire pour faire un travail optimal. Selon une étude réalisée à l'université de Sherbrooke en 2008, le débit du gaz dans le biofiltre aurait un impact plus important sur l'efficacité de conversion du  $\text{CH}_4$  que, par exemple, la concentration de  $\text{CH}_4$  qui entre dans le biofiltre ou l'ajout de certains nutriments pour favoriser la conversion (Nikiema, 2008). En effet, dans l'étude, le fait de faire passer le débit gazeux de 1 à 3 L/min a fait diminuer le taux de conversion du  $\text{CH}_4$  de 40% alors que tripler la concentration en  $\text{CH}_4$  (2500 à 7500 ppmv) a seulement réduit le taux de conversion de 7%. Il est donc recommandé de vérifier le débit d'air périodiquement, afin de s'assurer qu'il est optimal selon les recommandations du fabricant du système de biofiltration. Dans un cas où le débit d'air est différent de celui recommandé, la solution à apporter est soit d'ajuster la vitesse du système de ventilation ou soit de vérifier l'état du milieu filtrant et de le corriger (ex. : brassage, arrosage ou remplacement du milieu filtrant).

Globalement, une partie des résultats obtenus dans le cadre de ce projet démontre l'efficacité du biofiltre commercial lorsqu'il est comparé aux essais d'AAC, mais fait également apparaître des phénomènes intéressants qui mériteraient que l'on s'y attarde dans le futur. Par exemple, il serait très utile d'effectuer des études sur une plus longue période d'essai, par exemple sur une année complète, à la fois sur le terrain et en laboratoire, afin d'obtenir des réponses qui permettraient d'optimiser davantage le système de biofiltration. Des essais prolongés au laboratoire auraient probablement permis aux méthanotrophes de mieux s'établir dans les biofiltres et d'observer des variations de performance en fonction de la concentration de  $\text{CH}_4$ . Pour les essais à la ferme, un suivi en continu sur une période de plusieurs mois permettrait de mieux comprendre l'influence de la température sur l'efficacité du système en obtenant des données plus représentatives. Dans les deux cas, l'utilisation d'un substrat fait d'un compost plus mature permettrait de vérifier si le système peut être encore plus efficace.

Les données recueillies au début des essais à la ferme Les Élevages Parent ont soulevé plusieurs questions, certaines ayant pu être répondues et d'autres non. Puisqu'il n'y a pas eu de suivi sur les opérations entourant la gestion du lisier pouvant affecter la composition du lisier et le volume d'air dans la fosse, il n'a pas été possible de déterminer clairement pourquoi les données étaient contraires aux attentes. Il serait alors pertinent à l'avenir de tenir à jour un cahier de régie du lisier chez les producteurs pour connaître, par exemple, les dates où la fosse a été remplie ou vidée, ou encore savoir si la porte a été ouverte pour une raison ou une autre, etc. Ces informations pourraient être mises en relation avec les résultats de mesure, et ainsi permettre de mieux comprendre les fluctuations de performance en fonction des opérations à la ferme.

Il serait également intéressant de mesurer et de traduire les quantités de biogaz en T CO<sub>2eq</sub>, afin de dresser un portrait des GES le plus fidèle possible à la réalité. Une approche par cycle de vie serait même recommandée afin de relativiser la part du CH<sub>4</sub> issu de la gestion des lisiers par rapport à l'ensemble des GES émis dans le cadre de la gestion des lisiers. Une telle approche pourrait tenir compte des autres GES (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, etc.), mais aussi des opérations nécessaires à sa manipulation qui impliquent différents équipements agricoles (pompage, épandage, transport, etc.).

La biofiltration constitue un système très intéressant pour traiter le CH<sub>4</sub> émis par le lisier de porc entreposé dans des fosses couvertes. Le biofiltre est un équipement très simple à opérer et à entretenir. Comparé à d'autres systèmes de traitement de l'air, il s'avère relativement peu coûteux à l'achat et les frais d'entretien sont minimes. Il consomme très peu d'énergie et s'adapte naturellement à la quantité de CH<sub>4</sub> entrant dans le système. De plus, il ne génère aucun matériel résiduel, car le médium filtrant peut être valorisé à la ferme comme fertilisant une fois sa vie utile terminée, soit à tous les trois à cinq ans selon son état. Le biofiltre s'avère également une solution appropriée pour traiter les gaz provenant de fosses recouvertes d'une toile souple. Le traitement du CH<sub>4</sub> au fur et à mesure qu'il se crée, réduit les chances que la toile gonfle sous l'effet de la production de biogaz, évitant ainsi qu'elle ne soit endommagée par le vent. Le biofiltre pourrait donc potentiellement contribuer au prolongement de la vie utile des toiles souples.

Au total, tous ces avantages peuvent avoir comme effet de convaincre plus facilement les producteurs agricoles d'adopter la biofiltration comme solution de réduction des GES. En effet, ceux-ci ne souhaitent pas s'encombrer d'équipements compliqués à opérer et coûteux à entretenir, ayant déjà plusieurs autres aspects de la production à s'occuper.

L'installation d'un biofiltre peut se faire à condition d'avoir installé préalablement une toiture étanche sur la fosse à lisier. Autrement, il est impossible de contenir les biogaz et les diriger vers un système de traitement. D'ailleurs, l'aide financière au programme Prime-Vert 2013-2018 est actuellement accordée à condition qu'un système de traitement approuvé par la *Direction de l'agroenvironnement et du développement durable* (DAEDD) soit installé en même temps. Les biofiltres ont déjà été autorisés lors de telles installations et un suivi est en cours pour évaluer leurs performances. Bien que le biofiltre procure certains avantages, plusieurs sont intimement liés à la présence d'une toiture sur la fosse, sinon bonifiés par celle-ci.

D'un point de vue social, l'installation d'une toiture sur une fosse à lisier apporte un avantage marqué en procurant une diminution significative des odeurs dans le voisinage. L'ajout d'un biofiltre avec milieu filtrant à base de compost élimine les odeurs restantes. Seule une légère odeur de sous-bois subsiste à la sortie d'air du biofiltre. Le fait qu'il n'y ait plus d'eau de pluie qui s'accumule dans la fosse augmente la valeur fertilisante du lisier et permet de réduire le nombre de déplacements sur les routes et dans les champs lors de la période d'épandage, diminuant du coup les émissions de GES provenant de la machinerie agricole fonctionnant au carburant fossile. Cet aspect pourrait d'ailleurs faire l'objet d'un futur projet où l'ensemble des GES pourrait être quantifié, et éventuellement comptabilisé dans le cadre d'une mise en marché des crédits de carbone.

Bien que cette étude ne permette pas de conclure de façon précise et définitive l'efficacité du système, étant donné la courte durée des essais, le présent projet a tout de même démontré que l'utilisation d'un biofiltre couplé à une fosse à lisier de porc permet de réduire une grande proportion des émissions de  $\text{CH}_4$ . Le marché du carbone étant en pleine croissance, et ce même au Québec, cette technique de réduction de GES est susceptible de devenir intéressante pour générer éventuellement des revenus intéressants. À titre d'exemple, si on considère les données canadiennes sur les émissions liées au  $\text{CH}_4$  dans les fermes porcines, même à 50 % d'efficacité, le potentiel de réduction équivaldrait à 1 million de  $\text{T CO}_{2\text{eq}}$  annuellement. En se basant sur un prix de 10\$/  $\text{T CO}_{2\text{eq}}$  sur le marché du carbone, cette réduction représenterait une valeur de 10 000 000\$ de revenus potentiels pour le secteur porcin. Évidemment, il faut tenir compte des frais associés à la préparation et la gestion des dossiers par des experts, mais cela demeure une opportunité à évaluer, sinon à saisir. Selon les experts consultés dans le domaine, il est inévitable que les agriculteurs devront éventuellement se regrouper pour cumuler une quantité critique de GES évités pour amortir les frais de gestion, et présenter des demandes communes afin de maximiser leurs revenus. Cette pratique est la plus courante et largement reconnue pour le secteur de l'agriculture, étant donné qu'une seule entreprise agricole n'émet généralement pas suffisamment de GES à elle seule pour justifier une telle démarche.

La biofiltration du  $\text{CH}_4$  est un procédé complexe qui fait intervenir plusieurs phénomènes, soit le transport de l'air dans un milieu poreux, la transformation du  $\text{CH}_4$  par les bactéries suite à une chaîne de réactions et les caractéristiques du milieu filtrant qui évoluent avec le temps. De plus, les microorganismes responsables de l'efficacité d'un système de biofiltration établissent une population diversifiée, plus ou moins stable, en fonction des conditions ambiantes et des nutriments disponibles. Il n'est donc pas surprenant d'obtenir des résultats variés d'un essai à l'autre. Des essais prolongés permettraient sans doute de mieux comprendre certains phénomènes, de préciser les quantités de gaz traité annuellement et d'apporter éventuellement des améliorations techniques.

L'objectif général du projet était de valider le fonctionnement du système de biofiltration mis au point par Écosphère. Malgré les limites de la présente étude, ce projet a permis de confirmer que le biofiltre à l'échelle commerciale est comparable au système de biofiltration qui a été testé par AAC au cours des années 2000. Les essais à la ferme démontrent que le système traite une quantité  $\text{CH}_4$  comparable aux autres biofiltres étudiés dans la littérature.

## Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes qui se sont impliquées dès le début du projet pour constituer le comité de suivi dont le mandat était d'assurer la bonne orientation des activités selon les données et résultats obtenus en cours de projet. Ce comité de suivi était formé de :

M. Yvon Parent, Les Élevages Parent inc.

M. Robert Fortin, Ferme R & R Fortin

M. Jean-François Duquette, MAPAQ

M. Stéphane Godbout, IRDA

Mme Caroline Côté Beaulieu, Écosphère

M. Hugues Groleau, Écosphère

M. Marco Lefebvre, Agritech M.L. (invité)

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé aux volets expérimentaux et à la rédaction de ce rapport.

Matthieu Girard, IRDA

Martin Belzile, IRDA

Jean-Pierre Larouche, IRDA

Lise Potvin, IRDA

Michel Côté, IRDA

Christian Gauthier, IRDA

Stéphanie Caron, Écosphère

Joel Lelièvre, Écosphère

**Ce projet a été réalisé en vertu du programme Prime-Vert, sous-volet 8.4, et bénéficie d'une aide financière provenant du Fonds vert du gouvernement du Québec et administré par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.**





## Références

- GIEC** (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat). 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) by Institute for Global Environmental Strategies. Japan. ISBN 4-88788-000-6.
- Girard, M. et Belzile, M.** 2013. Biofiltration du CH<sub>4</sub> provenant des fosses de lisier de porc. Rapport final. IRDA. 23 pages.
- Girard M., J. Nikiema, R. Brzezinski, G. Buelna et M. Heitz.** 2009. A Review of the Environmental Pollution Originating from the Piggery Industry and of the Available Mitigation Technologies: Towards the Simultaneous Biofiltration of Swine Slurry and Methane. Canadian Journal of Civil Engineering. 36: 1946–1957.
- Girard M., A. Avalos Ramirez, G. Buelna et M. Heitz.** 2011. Biofiltration of Methane at Low Concentrations Representative of the Piggery Industry – Influence of the Methane and Nitrogen Concentrations. Chemical Engineering Journal, 168: 151-158.
- Godbout, S., F. Pelletier, A. Marquis, L.-O. Savard, J.-P. Larouche, S.P. Lemay, R. Joncas et C. Laguë.** 2004. Comparison of gas and odour emissions from swine manure management with and without treatment facilities in Quebec. Proceeding of the 11th International Conference of the FAO ESCORENA Network on the Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, Murcia, Spain, 6-9 October 2004. Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety, vol. 1. Edited by M.Pilar Bernal, Raul Moral, Rafael Clemente and Concepcion Paredes, FAO European Cooperation Research - Ramiran-CSIC-Universitas, pp. 269 - 272.
- Jorio H. et M. Heitz.** 1999. Traitement de l'air par biofiltration. Canadian Journal of Civil Engineering, 26: 402-424.
- Kennes C. et F. Thalasso.** 1998. Waste Gas Biotreatment Technology. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 72(4): 303-319.
- Massé, D.** 2006. Demonstration Project on a commercial farm of a technology that capture and oxidize methane from manure storage facilities, Green Gas Mitigation Program for Canadian Agriculture, Canadian Pork Council, Final Project Report.
- Massé, D., Soussi-Gounni, A., Barrington, S.** 2006. La biofiltration, une solution aux gaz à effet de serre émis par les fosses à lisiers? Fédération des producteurs de porcs du Québec, Fonds de recherche.
- Melse R.W. et A.W. Van der Werf.** 2005. Biofiltration for mitigation of methane emission from animal husbandry, Environ. Sci. Technol. 39: 5460–5468.
- Nikiema J., M. Girard, R. Brzezinski et M. Heitz.** 2009. Biofiltration of methane using an inorganic filter bed: Influence of inlet load and nitrogen concentration. Canadian Journal of Civil Engineering. 36: 1903–1910.



# **Annexe 1**

## **Fiche technique de projet**

# BIOFILTRE

## Biofiltration des gaz à effet de serre émis par les fosses à lisier

janvier 2014

### TYPE DE PROCÉDÉ

Traitement du méthane (CH<sub>4</sub>) par biofiltration.

### ENTREPRISES CIBLÉES

Entreprises porcines sur gestion de lisier brut.

### DESCRIPTION DU PROJET

Quatre biofiltres utilisant un milieu filtrant organique à base de compost ont été installés chez deux producteurs porcins de Chaudière-Appalaches. Ils ont été connectés à la sortie d'air de fosses à lisier équipées de toitures étanches en béton. Le passage du CH<sub>4</sub> au travers du milieu filtrant permet aux bactéries méthanotrophes de se développer et de transformer le CH<sub>4</sub> en eau et en CO<sub>2</sub>, un gaz à effet de serre (GES) 21 fois moins puissant. L'efficacité d'élimination du CH<sub>4</sub> a été évaluée en mesurant les concentrations à l'entrée et la sortie des biofiltres. En parallèle, des essais similaires ont été répétés en laboratoire sur des mini-biofiltres dans lesquels du CH<sub>4</sub> a été injecté à différentes concentrations. Le but de cet exercice était d'évaluer la concentration à laquelle le système devient efficace et celle à laquelle il est optimal.

### CONCLUSION DU PROJET

Les biofiltres commerciaux installés à la ferme ont permis d'atteindre un taux moyen de conversion du CH<sub>4</sub> de 66%, avec des concentrations de départ de 4 000 ppmv et plus. Un taux d'élimination du CH<sub>4</sub> atteignant 90% a même été enregistré. À cause de

contraintes techniques, les essais en laboratoire avec les mini-biofiltres n'ont pas permis de tirer des conclusions satisfaisantes au niveau des concentrations de CH<sub>4</sub> minimales ou optimales. Dans les deux cas, des essais avec un compost plus mature sur une période de plusieurs mois, voire une année, permettraient d'acquérir des données plus précises et probablement d'optimiser le procédé.



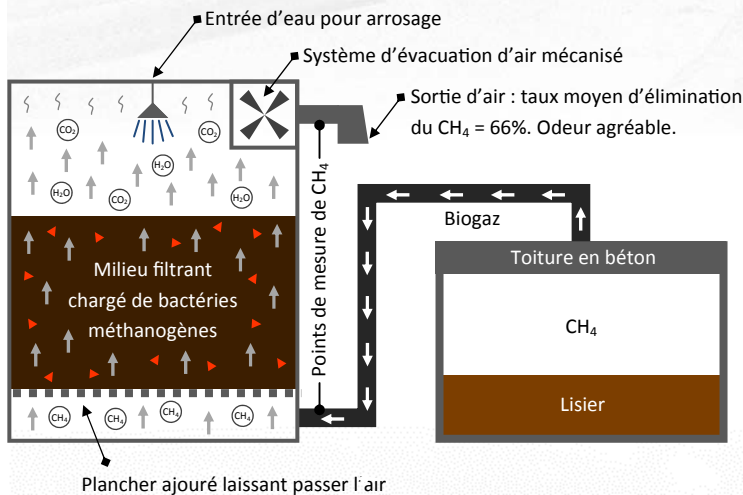
Les Élevages Parent : deux fosses de 30,48 m de diamètre par 3,65 m de hauteur avec toiture de béton surmontée par un biofiltre.

### APERÇU DES COÛTS

Le coût combiné de l'acquisition et de l'installation d'un biofiltre commercial conçu par la firme Écosphère et fabriqué par Agritech M.L. débute à 30 000\$. Ce prix varie en fonction de la dimension de la structure d'entreposage du lisier à la ferme. Les coûts d'opération et d'entretien sont minimes, étant donné la très faible consommation électrique du système et la durée de vie efficace du milieu filtrant.

## GESTION DU SYSTÈME

Le milieu filtrant doit être remplacé tous les 3 à 5 ans. Il est recommandé de vérifier le niveau d'affaissement du matériel et la formation de chemins préférentiels qui, dans les deux cas influencent le taux d'efficacité du biofiltre. Un système de gicleur permet d'arroser le milieu filtrant pour assurer la viabilité des bactéries méthanogènes. Une vérification et un ajustement du débit d'air sont recommandés afin de s'assurer que le système de traitement est optimal.



## AVANTAGES

Réduction des émissions de GES. Réduction des odeurs à la ferme. Procédé simple et écologique. Faible coût d'achat et d'entretien en comparaison avec d'autres systèmes de traitement de l'air. Système d'épuration s'activant à la demande en fonction de la concentration de  $\text{CH}_4$ . Ne génère pas de matériel résiduel, car le médium filtrant est valorisé à la ferme comme fertilisant. Combiné à une toiture étanche, l'ensemble du système permet d'augmenter la valeur fertilisante du lisier et procure des économies de carburant substantielles en réduisant le nombre de transports et de passages au champ liés à l'épandage. Prolonge potentiellement la durée de vie utile des toitures souples, évitant que celles-ci se gonflent et ne soient endommagées par le vent dû au vide d'air sous la toile entraînée par l'aspiration du biofiltre.



Les Élevages Parent : vue rapprochée du biofiltre monté sur la toiture de béton de la fosse de X m.

## INCONVÉNIENTS

Dispositif relativement volumineux. Milieu filtrant devant être remplacé périodiquement et surveillé occasionnellement pour vérifier la compaction ou la formation de chemins préférentiels.

## INFORMATIONS

### Écosphère

Hugues Groleau, agr., M.Env.

C.P. 1392, Rimouski (Québec) G5L 8M3

T. (418) 725-7500 | F. (418) 725-7588

[ecosphere@globetrotter.net](mailto:ecosphere@globetrotter.net) | [www.ecosphere.net](http://www.ecosphere.net)



Ferme R et R Fortin : autre exemple d'un biofiltre, cette fois contigu à une fosse de 35,96 m de diamètre par 3,65 m de hauteur avec toiture en béton.

## **Annexe 2**

**Rapport IRDA - Biofiltration du CH<sub>4</sub> provenant des fosses de lisier de porc. Rapport final.**

# Biofiltration du CH<sub>4</sub> provenant des fosses de lisier de porc

## Rapport final

---

Rapport présenté à :

Écosphère

Projet IRDA # : 901040

Responsable scientifique :  
Matthieu Girard, ing. jr., Ph. D

Co-auteurs :  
Martin Belzile, ing., M. Sc.



Institut de recherche  
et de développement  
en agroenvironnement

Décembre 2013

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 :**

Girard, M., M. Belzile. 2013. Biofiltration du CH<sub>4</sub> provenant des fosses de lisier de porc. Rapport final. IRDA. 23 pages.

# **Biofiltration du CH<sub>4</sub> provenant des fosses de lisier de porc**

## **Rapport final**

Présenté à :

Ecosphère  
C.P. 1392  
Rimouski (Québec) G5L 8M3  
Canada

Préparé par :

---

Matthieu Girard, ing. jr., Ph.D.  
IRDA

---

Martin Belzile, ing., M.Sc.  
IRDA

**Responsable scientifique :**

Matthieu Girard

**Équipe de recherche:**

Martin Belzile, IRDA  
Stéphane Godbout, IRDA  
Jean-Pierre Larouche, IRDA  
Lise Potvin, IRDA  
Michel Côté, IRDA  
Christian Gauthier, IRDA

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

Matthieu Girard  
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)  
2700, rue Einstein  
Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418.643.2380 poste 670  
Télécopie : 418.644.6855  
Courriel : [matthieu.girard@irda.qc.ca](mailto:matthieu.girard@irda.qc.ca)

## Table des matières

Table des matières.....	v
Liste des tableaux.....	6
Liste des figures.....	7
1 Introduction.....	8
1.1 Contexte.....	8
1.2 Objectifs.....	8
2 Matériel et méthode.....	9
2.1 Essais au laboratoire.....	9
2.2 Échantillonnage des biofiltres à la ferme R et R Fortin.....	11
2.3 Mesure des concentrations de gaz.....	11
3 Résultats.....	13
3.1 Essais au laboratoire.....	13
3.2 Échantillonnage du biofiltre à la ferme R & R Fortin.....	17
4 Discussion.....	20
4.1 Effet de la concentration de CH <sub>4</sub> sur la performance des biofiltres.....	20
4.2 Comparaison des résultats au laboratoire et terrain.....	20
5 Conclusion.....	22
Références.....	23

## Liste des tableaux

Tableau 1.	Efficacité d'élimination moyenne du CH <sub>4</sub> par semaine pour chaque traitement .....	15
Tableau 2.	Production moyenne de CO <sub>2</sub> par semaine pour chaque traitement.....	16
Tableau 3.	Analyse du milieu filtrant au début des essais .....	16
Tableau 4.	Analyse du milieu filtrant à la fin des essais.....	16
Tableau 5.	Résultats de l'échantillonnage ponctuel du biofiltre #2 chez R & R Fortin .....	19
Tableau 6.	Débits de l'air alimenté aux biofiltres chez R & R Fortin .....	19

## Liste des figures

Figure 1.	Schéma du montage des biofiltres à échelle laboratoire.....	9
Figure 2.	Montage utilisé pour générer les différentes concentrations de CH <sub>4</sub> .....	10
Figure 3.	Concentration de CH <sub>4</sub> à l'entrée et efficacité d'élimination des biofiltres du traitement T2.....	13
Figure 4.	Efficacité d'élimination moyenne du CH <sub>4</sub> par semaine pour chaque traitement .....	14
Figure 5.	Suivi en continu du biofiltre #1 chez R & R Fortin.....	18

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte

L'industrie porcine est très importante au Canada, mais l'entreposage du lisier est une source importante de méthane ( $\text{CH}_4$ ), un puissant gaz à effet de serre. En effet, au Canada en 2008, la gestion du lisier porcin a libéré 1,3 millions de tonnes d'équivalent en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) de  $\text{CH}_4$  (Jaques, 2010). La concentration de  $\text{CH}_4$  issue des fosses de stockage de lisier est généralement trop faible pour être brûlée, mais il est possible d'utiliser un biofiltre pour traiter les émissions. Des essais de biofiltration du  $\text{CH}_4$  à l'échelle laboratoire (Université de Sherbrooke) et à l'échelle pilote (Agriculture Canada) ont permis de démontrer la faisabilité de traiter ce gaz à effet de serre à l'aide d'un biofiltre.

Basé sur les essais d'Agriculture Canada, la firme Écosphère a construit et installé un biofiltre pour traiter les émissions de  $\text{CH}_4$  provenant d'une fosse de lisier de porc avec une toiture en béton. En 2011, l'IRDA a évalué la performance de ce biofiltre installé à la ferme Les Élevages Parents pour le traitement du  $\text{CH}_4$ . Après l'analyse des échantillons d'air à l'entrée et à la sortie du biofiltre, il a été possible de démontrer la faible performance d'épuration. La concentration de  $\text{CH}_4$  provenant de la fosse de lisier (lisier séparé avec peu de matière organique) était relativement faible, ce qui pourrait expliquer ce manque de performance. Toutefois, Écosphère était intéressé de mieux comprendre le système de biofiltration afin d'expliquer les variations de performance.

## 1.2 Objectifs

Ce projet a donc comme objectif de valider le fonctionnement du système de biofiltration d'Écosphère. Les objectifs spécifiques étaient les suivants :

- Étudier l'influence de la concentration de  $\text{CH}_4$  sur la performance de biofiltres à échelle laboratoire dans un environnement contrôlé;
- Mesurer la réduction de  $\text{CH}_4$  obtenu avec les deux biofiltres installés à la ferme R & R Fortin sur des fosses contenant du lisier complet et couvertes d'une toiture de béton.

## 2 Matériel et méthode

### 2.1 Essais au laboratoire

Les biofiltres à échelle laboratoire utilisés pour cette expérimentation ont été fabriqués par Marco Lefebvre selon le même design que les unités commerciales. Le laboratoire BABE (Bilan agroenvironnemental des bâtiments d'élevage) de l'IRDA, situé dans le bâtiment DC-137 du Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD), a été utilisé pour ces essais. Tel que présenté à la Figure 1, les biofiltres avaient un diamètre interne de 12 po avec quatre sections de 18 po de hauteur.

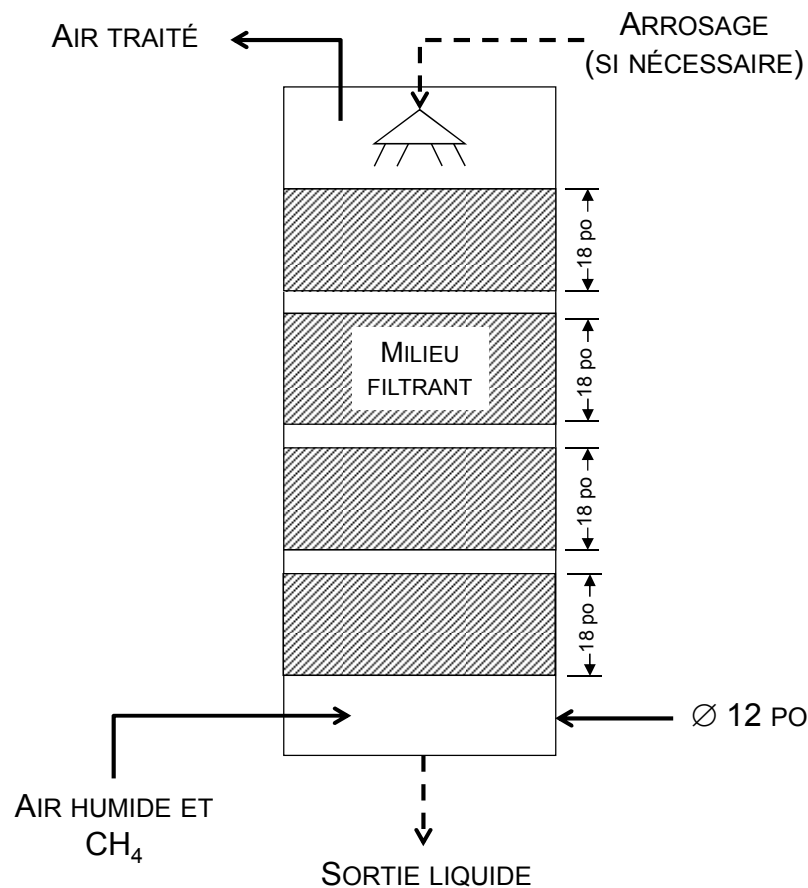


Figure 1. Schéma du montage des biofiltres à échelle laboratoire.

Le milieu filtrant organique était à base de compost, mais il n'est pas possible de divulguer la composition exacte par souci de confidentialité. Des échantillons du milieu filtrant ont été recueillis au début et à la fin des essais pour l'analyse des composés suivants :

- Début des essais (2 échantillons composites) :
  - Azote total Kjeldahl
  - N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
  - N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>
  - P, K, Ca, Mg et Na
  - Matière organique
  - Pourcentage d'humidité
- Fin des essais (chaque biofiltre) :
  - Azote total Kjeldahl
  - N- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
  - N- NO<sub>3</sub><sup>-</sup>
  - Pourcentage d'humidité

L'alimentation en air des biofiltres a été réalisé en combinant de l'air comprimé humide avec du CH<sub>4</sub> pur afin d'obtenir différentes concentrations de CH<sub>4</sub>, soit environ 100, 400, 750 et 1500 ppmv. Le montage permettant de diluer le CH<sub>4</sub> et de séparer le gaz produit pour chaque répétition est présenté à la figure 2.

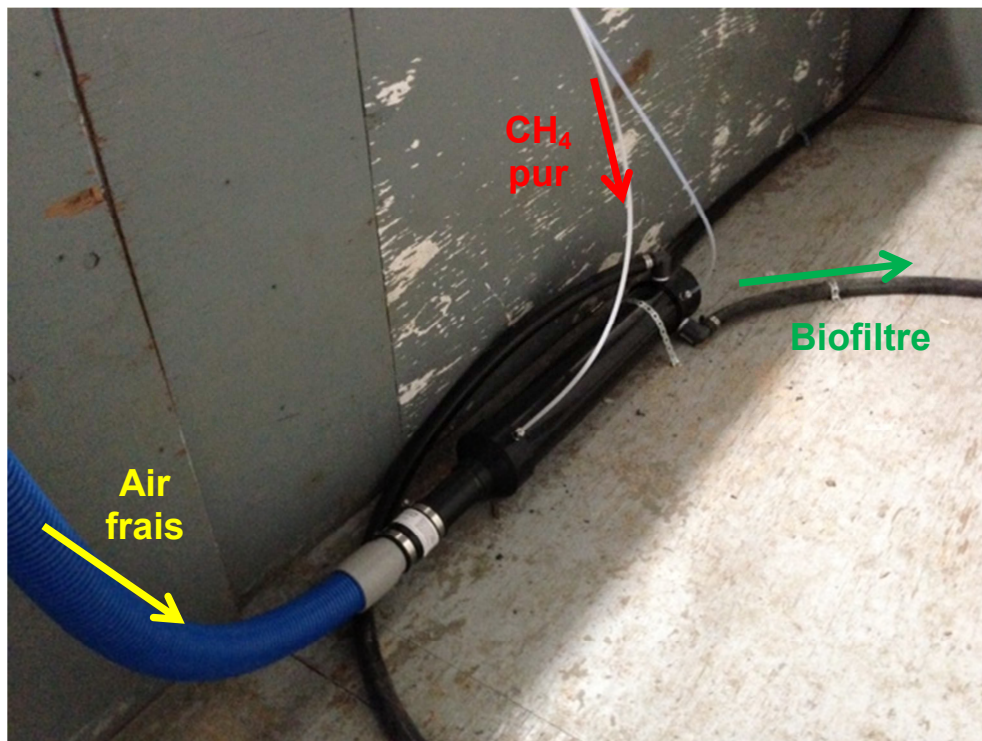


Figure 2. Montage utilisé pour générer les différentes concentrations de CH<sub>4</sub>.

Le débit d'air a été fixé à 0,47 pi<sup>3</sup>/min (13.3 L/min) pour chaque biofiltre afin d'obtenir un temps de résidence en fût vide de 10 minutes comme le démontre le calcul suivant :

$$Q_{\text{Air}} = \frac{4 * \frac{18\text{po}}{12\text{po/pi}} * \pi * \left(\frac{6\text{po}}{12\text{po/pi}}\right)^2}{10 \text{ min}} = 0,47 \text{ pi}^3/\text{min}$$

Afin de maintenir une humidité adéquate du milieu filtrant, l'air a été humidifié par bullage dans une colonne d'eau avant d'être alimenté aux biofiltres. De plus, les biofiltres ont été arrosés une fois par semaine à partir de la sixième semaine. Tel que recommandé par Girard et al. (2011), un volume d'environ 6L d'eau par biofiltre a été utilisé pour chaque arrosage.

Les essais ont été effectués sur une période de 10 semaines afin de permettre la croissance des bactéries méthanotrophes. Chacune des quatre concentrations de CH<sub>4</sub> a été testée avec trois répétitions pour un total de 12 essais. Afin d'effectuer les 12 essais en parallèle, 12 biofiltres ont été fabriqués. La performance des biofiltres a été évaluée en utilisant l'efficacité d'élimination tel que décrit à l'équation suivante :

$$EE = \frac{C_{\text{entrée}} - C_{\text{sortie}}}{C_{\text{entrée}}} \times 100 \%$$

Où EE est l'efficacité d'élimination (%) et C<sub>entrée</sub> et C<sub>sortie</sub> sont les concentrations à l'entrée et à la sortie des biofiltres (ppmv).

## 2.2 Échantillonnage des biofiltres à la ferme R et R Fortin

Pour évaluer la performance des deux biofiltres installés à la ferme R et R Fortin, deux types d'échantillonnages ont été réalisés. Pour le biofiltre traitant le gaz provenant de la fosse contenant du lisier de porcs en engraissement, un suivi en continu a été effectué entre le 30 septembre et le 7 octobre 2013. Pour le biofiltre traitant le gaz provenant de la fosse contenant du lisier de porc de maternité, des échantillons ponctuels ont été prélevés à trois reprises avec des sacs de Nalophan de 50L.

## 2.3 Mesure des concentrations de gaz

Autant pour les essais au laboratoire que pour ceux effectués à la ferme, la mesure des concentrations gazeuses a été effectuée à l'aide du laboratoire mobile MESANGES<sup>MC</sup> de l'IRDA.

Dans le cas de l'analyse en continu, des tubes en Teflon reliaient l'entrée et la sortie de chacune des biofiltres au laboratoire mobile. Les échantillons ont été prélevés séquentiellement et acheminés en continu jusqu'au système d'analyse.

Le CH<sub>4</sub> et le CO<sub>2</sub> ont été analysés avec un chromatographe en phase gazeuse (Varian, 3600; USA). La séparation chromatographique des deux gaz a été effectuée à l'aide d'une colonne remplie de Porapak Q (80-100 mesh). Le CH<sub>4</sub> a été quantifié à l'aide d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) et le CO<sub>2</sub> a été analysé à l'aide d'un détecteur à capture d'électron (ECD). Les concentrations des différents gaz à chacun des points d'échantillonnage ont été mesurées à chaque 15 minutes. À intervalles réguliers, des échantillons de gaz de concentrations connues ont été analysés par le chromatographe afin de valider les mesures. Les incertitudes instrumentales sur la concentration des gaz sont de  $\pm 30$  ppmv pour le CO<sub>2</sub> et de  $\pm 0,5$  ppmv pour le CH<sub>4</sub>.

Dans le cas des échantillons ponctuels, les concentrations gazeuses ont été mesurées avec le chromatographe en injectant directement l'échantillon dans la boucle d'injection de l'appareil.

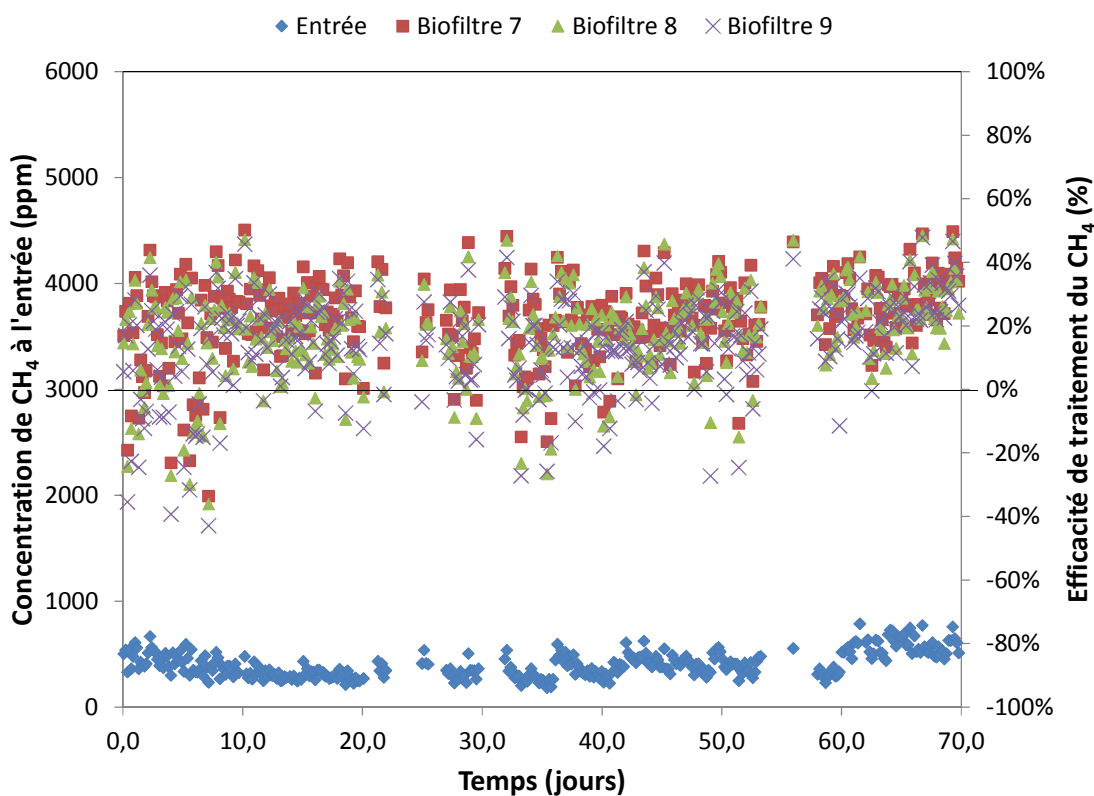
### 3 Résultats

#### 3.1 Essais au laboratoire

Pour l'analyse des résultats, chaque concentration de  $\text{CH}_4$  alimentée aux biofiltres est considérée comme un traitement répété trois fois. En moyenne, les concentrations de  $\text{CH}_4$  à l'entrée des biofiltres pour chaque traitement ont été de :

- Traitement T1 = 162 ppmv
- Traitement T2 = 401 ppmv
- Traitement T3 = 640 ppmv
- Traitement T4 = 1391 ppmv

Le graphique à la Figure 3 présente la concentration de  $\text{CH}_4$  à l'entrée pour le traitement T2 ainsi que l'efficacité d'élimination du  $\text{CH}_4$  en pourcentage pour chaque répétition.

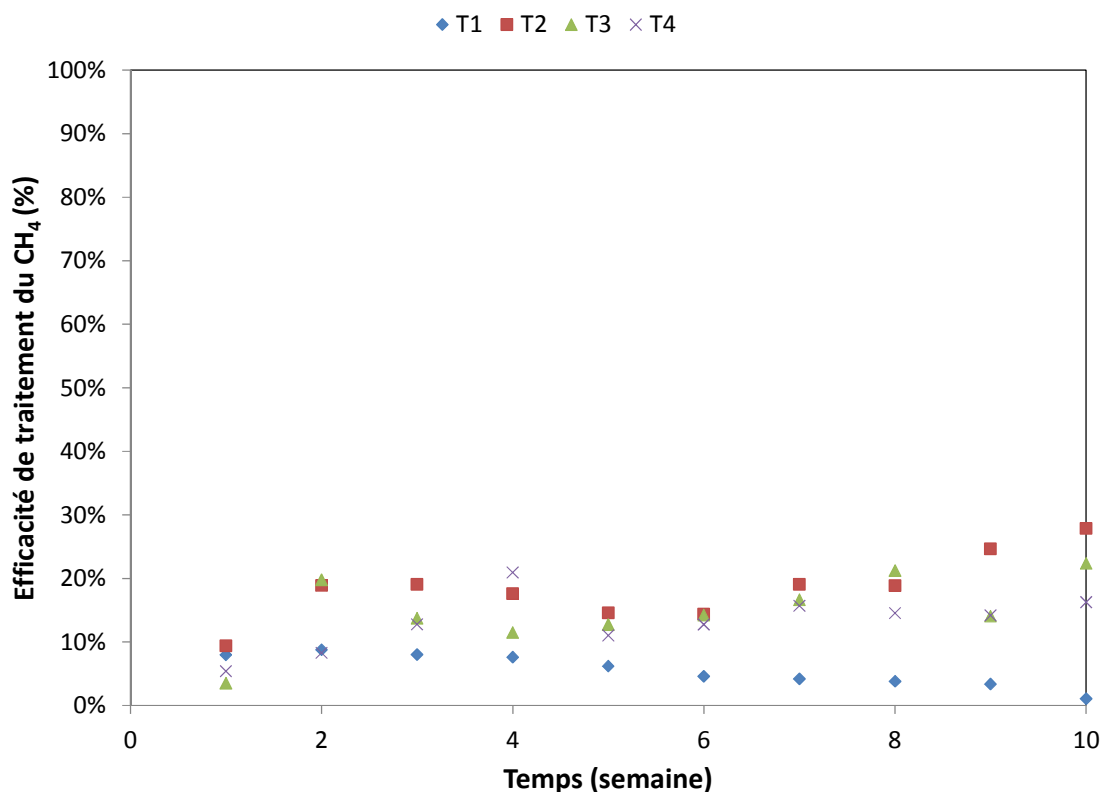


**Figure 3. Concentration de  $\text{CH}_4$  à l'entrée et efficacité d'élimination des biofiltres du traitement T2**

La Figure 3 représente bien l'allure de la concentration de  $\text{CH}_4$  et de l'efficacité d'élimination pour les différents traitements. Pour la concentration de  $\text{CH}_4$  à l'entrée des biofiltres, les valeurs varient un peu dans le temps, soit entre 180 et 800 ppmv dans le cas

du traitement T2. Cette variation a été causée par la colonne d'eau utilisée pour humidifier l'air. En fait, puisque l'eau dans le bulleur s'évaporait avec le temps, la résistance au passage de l'air diminuait, augmentant ainsi le débit d'air et réduisant la concentration de  $\text{CH}_4$ . Les bulleurs étaient remplis régulièrement (une à deux fois par semaine), mais l'effet sur la concentration de  $\text{CH}_4$  est demeuré. En ce qui concerne les valeurs d'efficacité d'élimination du  $\text{CH}_4$ , elles sont semblables pour les trois biofiltres, mais elles varient beaucoup d'une mesure à l'autre. Toutefois, la tendance semble assez constante dans le temps. D'autre part, les efficacités négatives observées sont probablement dues au délai entre la mesure de la concentration à l'entrée et celle à la sortie. De petites variations dans l'alimentation de  $\text{CH}_4$  apparaissent comme des valeurs négatives quand l'efficacité est calculée.

Les valeurs d'efficacité calculées à chaque point de mesure, tel que présentées à la Figure 3, sont utiles pour déterminer l'allure des résultats dans le temps, mais avec autant de valeurs, c'est difficile d'observer les tendances et de comparer les résultats aux autres traitements. C'est pourquoi des valeurs moyennes ont été calculées entre les 3 répétitions pour chaque semaine. Le graphique résultant est donc plus facile à interpréter et il est possible d'inclure tous les traitements, tel que présenté à la Figure 4.



**Figure 4. Efficacité d'élimination moyenne du  $\text{CH}_4$  par semaine pour chaque traitement**

Pour tous les traitements sauf le T1, l'efficacité d'élimination du  $\text{CH}_4$  augmente au début des essais, mais diminue ensuite à partir de la troisième ou de la quatrième semaine. La

performance de ces biofiltres a ensuite recommencée à augmenter à partir de la sixième semaine, soit en même temps que le début de l'arrosage. Pour ce qui est de la plus petite concentration de CH<sub>4</sub>, soit le traitement T1, la performance était relativement stable pour les quatre premières semaines, mais diminue progressivement par la suite.

Afin de comparer la performance des traitements, le Tableau 1 regroupe les efficacités moyennes par semaine ainsi que la moyenne générale et l'écart-type pour chaque traitement. Tel qu'observé avec le traitement T2 à la Figure 3, les valeurs des écarts-types sont très élevées par rapport aux moyennes, ce qui démontre la grande variabilité des résultats obtenus. En regardant seulement les valeurs d'efficacités moyennes, le traitement T2 a obtenu la meilleure performance. Par contre, vu les écarts-types élevés, il ne semble pas y avoir de différence entre les traitements concernant l'efficacité d'élimination du CH<sub>4</sub>. En effet, puisque la moyenne de chaque traitement se retrouve à l'intérieur de l'écart-type des autres traitements, il n'est pas possible d'établir clairement si un traitement a été réellement plus performance qu'un autre.

**Tableau 1. Efficacité d'élimination moyenne du CH<sub>4</sub> par semaine pour chaque traitement**

Semaine	Efficacité d'élimination du CH <sub>4</sub> (%)			
	T1	T2	T3	T4
1	8,0	9,4	3,5	5,4
2	8,8	18,9	19,7	8,3
3	8,0	19,1	13,7	12,7
4	7,6	17,6	11,5	20,9
5	6,2	14,6	12,7	11,0
6	4,6	14,3	14,2	12,7
7	4,2	19,1	16,6	15,7
8	3,8	18,9	21,2	14,5
9	3,3	24,6	14,0	14,2
10	1,1	27,8	22,4	16,2
Moyenne	5,5	18,2	15,1	15,7
Écart-type	9,2	14,4	11,7	12,5

Puisque le sous-produit principal de l'oxydation biologique du CH<sub>4</sub> est le CO<sub>2</sub>, il est intéressant de suivre la production de ce gaz tout au long des essais. Le Tableau 2 présente donc la production moyenne de CO<sub>2</sub> par semaine pour chaque traitement. Les résultats de ce tableau démontrent que la production de CO<sub>2</sub> a été relativement constante pendant les essais et semblable entre les traitements. Les valeurs de CO<sub>2</sub> produites sont toutefois très élevées par rapport au CH<sub>4</sub> éliminé. Pour chaque ppmv de CH<sub>4</sub> consommé par les bactéries, un maximum d'un ppmv de CO<sub>2</sub> peut être généré. Puisque les valeurs du Tableau 2 sont tous plus élevées que la plus grande quantité de CH<sub>4</sub> traitée, il y a d'autres phénomènes à l'intérieur des biofiltres qui ont produit du CO<sub>2</sub>.

**Tableau 2. Production moyenne de CO<sub>2</sub> par semaine pour chaque traitement**

Semaine	Production moyenne de CO <sub>2</sub> (ppmv)			
	T1	T2	T3	T4
1	1966	2050	2041	496
2	1730	1832	1832	494
3	1262	1360	1421	961
4	1422	1610	1555	1126
5	1311	1426	1498	1540
6	1166	1370	1312	1510
7	1448	1571	1574	1729
8	1320	1483	1444	1646
9	1511	1553	1573	1987
10	1596	1628	1769	1699
Écart type	1473	1588	1602	1319

Les résultats de l'analyse du milieu filtrant au début et à la fin des essais sont présentés au Tableau 3 et au Tableau 4.

**Tableau 3. Analyse du milieu filtrant au début des essais**

	M.S. %	N Total mg/kg	N-NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg/kg	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/kg	P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Na mg/kg	M.O. %
	H	H	H	H	S	S	S	S	S	S
Composite 1	56,4	7284	0	396	7433	12422	18202	5207	2477	70,1
Composite 2	56,3	7830	0	478	7799	12314	18807	5728	2582	58,5

\* M.S. = matière sèche, M.O. = matière organique, H = base humide et S = base sèche.

**Tableau 4. Analyse du milieu filtrant à la fin des essais**

Traitement	Répétition	M.S. %	N Total mg/kg	N-NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg/kg	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/kg
		H	H	H	H
T1	1	32,9	5764	0	0,174
	2	33,8	5768	0	0,144
	3	30,6	5400	0	0,226
T2	1	42	7074	0	0,329
	2	38,9	6516	0	0,143
	3	37,9	5843	0	0,126
T3	1	31,7	4703	0	0,361
	2	33,4	5323	0	0,125
	3	30,3	4365	0	0,257
T4	1	30,7	5604	0	0,31
	2	31,5	4950	0	0,242
	3	32,2	5001	0	0,46
Moyenne		33,8	5526	0	0,24

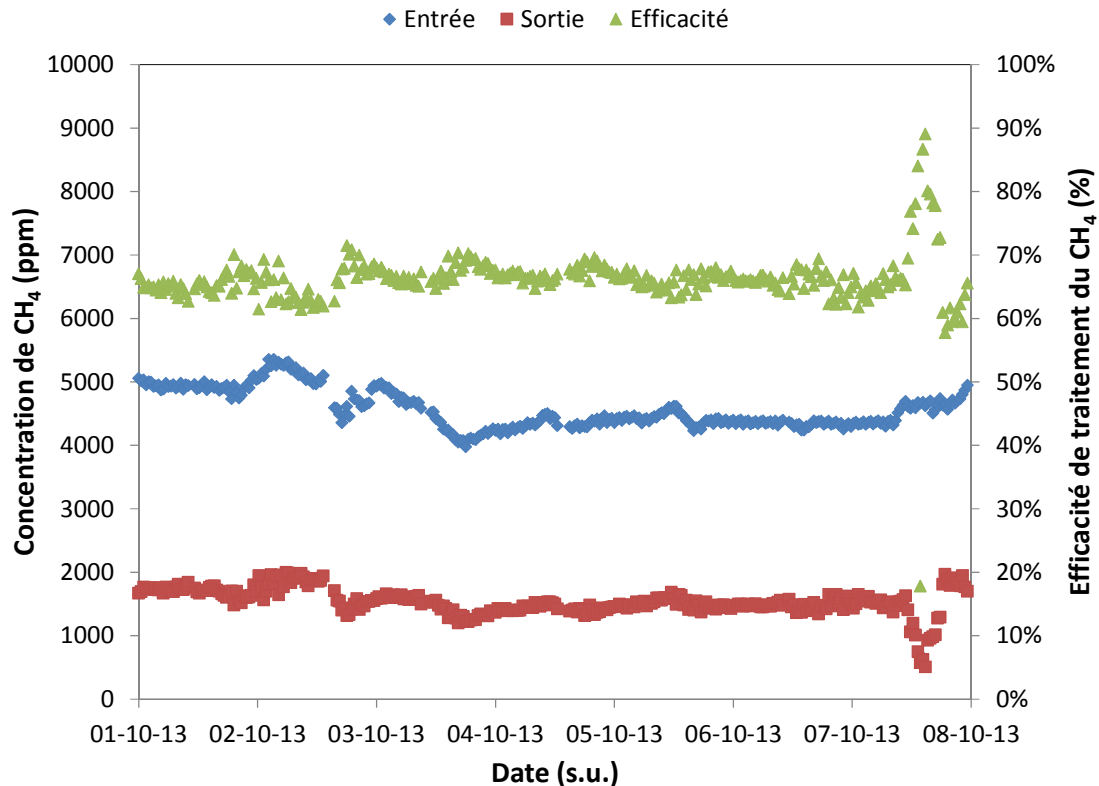
M.S. = matière sèche et H = base humide

Puisque le même milieu filtrant a été utilisé pour toutes les unités, seulement deux échantillons composites ont été recueillis pour l'ensemble des biofiltres au début des essais. Pour la fin des essais, un échantillon a été récolté pour chacun des 12 biofiltres. Les résultats des Tableaux 3 et 4 démontrent que le taux d'humidité (100 % - le taux de matière sèche) est passé d'environ 44 % au début des essais à 66 % en moyenne après les dix semaines. L'augmentation de l'humidité a probablement été causée par l'arrosage hebdomadaire des biofiltres à partir de la sixième semaine. Le taux d'humidité optimal pour la biofiltration dépend du type de matériel utilisé comme milieu filtrant et il peut varier de 10 à 80 % (Keenes et Thalasso 1998), mais un intervalle de 40 à 60 % est généralement recommandé (Jorio et Heitz 1999). Les résultats pour les différentes formes d'azote démontrent que ce composé était principalement sous forme organique avec un peu de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) au début des essais. Suite aux essais, le  $\text{NO}_3^-$  a presque entièrement été consommé par les microorganismes et l'azote total a légèrement diminué.

La caractérisation plus complète du milieu filtrant a été effectuée au début des essais démontre également que les éléments majeurs (P, K, Ca, Mg et Na) ressemblent aux valeurs généralement observées pour la fraction solide du lisier de porc. Par contre, les valeurs du K et du Ca sont beaucoup plus élevées que celles du lisier, ce qui a probablement été causé par la nature du compost utilisé. De plus, la teneur du milieu filtrant en matière organique est également élevée.

### 3.2 Échantillonnage du biofiltre à la ferme R & R Fortin

Le graphique à la Figure 5 présente la concentration de  $\text{CH}_4$  à l'entrée et à la sortie du biofiltre traitant le gaz d'une fosse contenant du lisier de porcs en engraissement chez R & R Fortin, nommé biofiltre #1. Les concentrations de  $\text{CH}_4$  ont été relativement stables pour la durée du suivi, variant en général de 4000 à 5400 ppmv pour l'entrée et de 1200 à 2000 ppmv pour la sortie. C'est pourquoi l'efficacité d'élimination du  $\text{CH}_4$  a été également constante, variant principalement de 58 à 66 %. À la fin du suivi, une baisse importante de la concentration de  $\text{CH}_4$  à la sortie du biofiltre a été observée. Aucune explication n'a pu être trouvée pour cette observation, mais une efficacité d'élimination élevée, jusqu'à 90 %, a été obtenue pendant cette période. En moyenne, les concentrations de  $\text{CH}_4$  à l'entrée et à la sortie ont été de 4550 et 1530 ppmv avec une efficacité d'élimination moyenne de 66 %.



**Figure 5. Suivi en continu du biofiltre #1 chez R & R Fortin**

Les résultats de l'échantillon du biofiltre traitent le gaz d'une fosse contenant du lisier de porc de maternité chez R & R Fortin, nommé biofiltre #2, sont présentés au Tableau 5. Par rapport au biofiltre #1, les concentrations de CH<sub>4</sub> à l'entrée et à la sortie du biofiltre #2 étaient beaucoup plus élevées, entre 17 600 et 20 000 ppmv pour l'entrée et entre 9400 et 10 500 ppmv pour la sortie. Le biofiltre #2 était donc un peu moins performant pour l'élimination du CH<sub>4</sub> avec des efficacités entre 45 et 48 %. La différence de performance entre les deux biofiltres est probablement due au débit d'air qui était plus élevé pour le biofiltre #2, tel que présentée au Tableau 6. Un débit d'air plus élevé fait en sorte que l'air passe plus vite au travers du milieu filtrant et diminue l'efficacité de traitement.

**Tableau 5. Résultats de l'échantillonnage ponctuel du biofiltre #2 chez R & R Fortin**

Date	Gaz	Concentration (ppmv)		Efficacité CH <sub>4</sub> (%)
		Entrée	Sortie	
2013-10-03	CH <sub>4</sub>	17600	9760	45
	CO <sub>2</sub>	12400	10300	
2013-10-04	CH <sub>4</sub>	17600	9405	47
	CO <sub>2</sub>	12200	9955	
2013-10-08	CH <sub>4</sub>	19950	10450	48
	CO <sub>2</sub>	12500	10550	

**Tableau 6. Débits de l'air alimenté aux biofiltres chez R & R Fortin**

Date	Débit d'air (pi <sup>3</sup> /min)	
	Biofiltre #1	Biofiltre #2
2013-09-30	12 ± 0,5	-
2013-10-02	17 ± 5	-
2013-10-03	26 ± 2	38 ± 2
2013-10-04	30 ± 1	46 ± 2

## 4 Discussion

### 4.1 Effet de la concentration de CH<sub>4</sub> sur la performance des biofiltres

Un des objectifs des essais de biofiltration à échelle laboratoire était de déterminer l'influence de la concentration de CH<sub>4</sub> à l'entrée sur la performance du système. Toutefois, les résultats présentés à la section 3.1 ne permettent pas d'établir clairement l'influence de la concentration. En effet, seulement la concentration la plus faible au traitement T1 a obtenu une efficacité d'élimination plus basse, tandis que les autres traitements ont obtenus des performances semblables. Il semble donc qu'avec une concentration minimale de CH<sub>4</sub> (autour de 400 ppmv pour ce projet), tous les biofiltres offrent la même performance. Par contre, tel qu'expliqué dans la prochaine section, il est possible que ces essais n'est pas permis de démontrer le plein potentiel du système de biofiltration.

### 4.2 Comparaison des résultats au laboratoire et terrain

La biofiltration des polluants gazeux est un procédé complexe qui fait intervenir plusieurs phénomènes, soit le transport de l'air dans un milieu poreux, le transfert des polluants vers la phase liquide et finalement la biodégradation dans le biofilm. De plus, les microorganismes responsables de l'efficacité d'un système de biofiltration établissent une population diversifiée, plus ou moins stable, en fonction des conditions ambiantes et des nutriments disponibles. Il n'est donc pas surprenant d'obtenir des résultats variés d'un essai à l'autre. Par contre, la différence marquée entre les essais au laboratoire et l'échantillonnage des biofiltres à la ferme R & R Fortin nécessite une explication plus détaillée.

Il y a quelques explications possibles pour la faible performance des essais au laboratoire. D'abord, la durée de 10 semaines de cette étude n'a pas peut-être permis à une population stable de méthanotrophes de s'établir sur le milieu filtrant. Même si les méthanotrophes sont omniprésents dans la nature, une population efficace peut prendre plusieurs mois à s'établir dans un biofiltre et offrir une efficacité d'élimination du CH<sub>4</sub> intéressante. De plus, la performance des biofiltres des traitements T2 et T3 semblent s'améliorer à partir de la 6<sup>e</sup> semaine (voir Figure 4) et aurait pu potentiellement continuer à augmenter si l'essai avait été poursuivi.

Le milieu filtrant utilisé dans les biofiltres d'Écosphère est un mélange à base de compost. Même pour un compost mature, ce type de milieu filtrant comporte naturellement une très grande variété de microorganismes. La production élevée de CO<sub>2</sub> observée lors des essais au laboratoire démontre l'importance de l'activité microbienne du milieu filtrant. Il est donc possible que les méthanotrophes ont eu de la difficulté à rivaliser avec les autres microorganismes et à s'implanter sur le milieu filtrant.

Toutefois, l'explication la plus plausible de la faible performance des biofiltres au laboratoire est liée aux sources d'azote. Après le carbone, l'azote est le nutriment le plus important pour les microorganismes. Les méthanotrophes préfèrent l'azote sous forme

de  $\text{NO}_3^-$ , mais ils peuvent également utiliser le  $\text{NH}_4^+$  (Girard et al., 2009). Par contre, la plupart des méthanotrophes ne peuvent pas utiliser l'azote organique puisqu'ils sont incapables de métaboliser les liens de carbone à carbone (Anthony 1986). Il est donc possible que les méthanotrophes n'avaient pas suffisamment d'azote disponible pour traiter de manière efficace le  $\text{CH}_4$ . En effet, les analyses du milieu filtrant ont démontré que presque tout le  $\text{NO}_3^-$  présent au début a été utilisé par les microorganismes. Par contre, l'azote total, et par conséquent l'azote organique, a seulement diminué un peu, probablement à cause des autres microorganismes présents sur le milieu filtrant. Il y a quelques méthanotrophes qui peuvent utiliser le  $\text{N}_2$  de l'atmosphère comme source d'azote, mais ces bactéries ne consomment pas très efficacement le  $\text{CH}_4$ . En effet, une étude de Girard et al. (2012) a obtenu une diminution de 50 à 18 % de l'efficacité d'élimination du  $\text{CH}_4$  lorsque le  $\text{NO}_3^-$  a été enlevé de la solution d'arrosage.

Pour les biofiltres installés à la ferme R & R Fortin, le même type de milieu filtrant a été utilisé. Malgré qu'aucune analyse n'ait été effectuée sur le milieu filtrant, il est raisonnable de croire qu'il contient peu d'azote disponible pour les méthanotrophes. Toutefois, l'air alimenté à ces biofiltres provient de fosses de stockage de lisier et contient probablement, en plus du  $\text{CH}_4$ , de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). Une fois solubilisé, le  $\text{NH}_3$  se transforme en  $\text{NH}_4^+$  où il peut être utilisé comme source d'azote par les méthanotrophes. Ceci pourrait donc expliquer les résultats plus élevés obtenus lors de l'échantillonnage des biofiltres à la ferme R & R Fortin.

Par rapport à la littérature, les résultats obtenus au laboratoire sont relativement faibles, mais ceux obtenus pour les biofiltres à la ferme R & R Fortin sont comparables. En effet, les résultats obtenus par d'autres études sur la biofiltration du  $\text{CH}_4$  démontrent des efficacités moyennes de 40 à 85 % pour des temps de résidence en fût vide variant de 4 à 21 minutes (Girard et al. 2011; Melse et van der Werf 2005; Nikiema et al. 2009).

## 5 Conclusion

L'objectif général de ce projet était de valider le fonctionnement du système de biofiltration du  $\text{CH}_4$  d'Écosphère par des essais à l'échelle laboratoire et le suivi de deux biofiltres installés chez un producteur porcin. Les essais au laboratoire avec 12 biofiltres ont trouvé peu d'effet de la concentration de  $\text{CH}_4$  à l'entrée sur la performance du système. De plus, les efficacités d'élimination obtenues étaient relativement faibles, variant de 5 à 18 % en moyenne. La courte durée des essais et le manque d'azote disponible pour les bactéries méthanotrophes expliquent probablement cette faible performance. À l'opposé, les résultats du suivi des biofiltres chez R & R Fortin ont démontré une bonne performance du système avec des efficacités d'élimination du  $\text{CH}_4$  de 45 à 66 %. Le  $\text{NH}_3$  présent dans le gaz à la sortie des fosses couvertes explique probablement le meilleur traitement fourni par ces biofiltres.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet démontrent des phénomènes intéressants, mais il serait très utile d'effectuer des études à plus long terme, à la fois sur le terrain et au laboratoire. Une étude plus longue au laboratoire aurait probablement permis aux méthanotrophes de mieux s'établir dans les biofiltres et ainsi observer des différences de performance en fonction de la concentration de  $\text{CH}_4$ . Pour les biofiltres chez R & R Fortin, la température extérieure affecte la production de  $\text{CH}_4$  par le lisier, mais aussi sa biodégradation par les méthanotrophes.

## Références

- Anthony C. 1986. Bacterial oxidation of methane and methanol. *Advances in Microbial Physiology*, 27: 113–210.
- Girard M., A. Avalos Ramirez, G. Buelna et M. Heitz. 2011. Biofiltration of Methane at Low Concentrations Representative of the Piggery Industry – Influence of the Methane and Nitrogen Concentrations. *Chemical Engineering Journal*, 168: 151-158.
- Girard M., J. Nikiema, R. Brzezinski, G. Buelna et M. Heitz. 2009. A Review of the Environmental Pollution Originating from the Piggery Industry and of the Available Mitigation Technologies: Towards the Simultaneous Biofiltration of Swine Slurry and Methane. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 36: 1946–1957.
- Jaques A. 2010. National Inventory Report 1990-2008: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada – Part 1, Environnement Canada, ISBN: 978-1-100-15579-1, 221 pages.
- Jorio H. et M. Heitz. 1999. Traitement de l'air par biofiltration. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26: 402-424.
- Kennes C. et F. Thalasso. 1998. Waste Gas Biotreatment Technology. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 72(4): 303-319.
- Melse R.W. et A.W. Van der Werf. 2005. Biofiltration for mitigation of methane emission from animal husbandry, *Environ. Sci. Technol.* 39: 5460–5468.
- Nikiema J., M. Girard, R. Brzezinski et M. Heitz. 2009. Biofiltration of methane using an inorganic filter bed: Influence of inlet load and nitrogen concentration. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 36: 1903–1910.