

**TRAITEMENT DU MÉTHANE D'UNE STRUCTURE D'ENTREPOSAGE DU LISIER
AVEC COUVERTURE À L'AIDE DE BIOFILTRE À HAUTE EFFICACITÉ**

14-GES-09

DURÉE DU PROJET : 04-2015 / 03-2017

RAPPORT FINAL

Réalisé par :

Matthieu Girard, IRDA
Ariane Lévesque, IRDA

10 mars 2017

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.

TITRE DU PROJET : TRAITEMENT DU MÉTHANE D'UNE STRUCTURE D'ENTREPOSAGE DU LISIER AVEC COUVERTURE À L'AIDE DE BIOFILTRE À HAUTE EFFICACITÉ

NUMÉRO DU PROJET : 14-GES-09

RÉSUMÉ DU PROJET

L'entreposage du lisier est une source importante de méthane (CH₄), un puissant gaz à effet de serre (GES). La concentration de méthane provenant des structures d'entreposage du lisier est généralement trop faible pour être brûlée, mais il est possible d'utiliser un biofiltre pour traiter ce gaz. L'objectif principal de ce projet était de démontrer la performance à long terme d'un biofiltre à lit inorganique de haute efficacité pour le traitement des gaz provenant de structures d'entreposage du lisier avec couverture. L'utilisation d'un tel procédé permettrait de réduire significativement les émissions de GES du secteur agricole et ainsi aider le Québec à atteindre ses objectifs de réduction des émissions de GES.

À cette fin, un système de biofiltration a été conçu et installé sur une ferme d'élevage porcin pour traiter le gaz provenant d'une fosse couverte. En caractérisant les émissions de CH₄ de la fosse couverte, il a d'abord été possible d'observer une différence importante entre les deux années du projet, soit de 1,74 tonne de CO₂ équivalent par jour en moyenne en 2015 à 0,79 en 2016. Cette variabilité des émissions de CH₄ devra être prise en compte lors de l'évaluation de la pertinence et la rentabilité des projets de réduction de GES. Concernant la performance du système de biofiltration à lit inorganique, ce projet a permis de démontrer un certain potentiel de la technologie avec des pics d'efficacité allant jusqu'à 90 %. Par contre, en moyenne, les biofiltres ont éliminés seulement entre 23 et 37 % du CH₄. De plus, avec les difficultés techniques encourues (contrôle du débit de gaz, croissance excessive de la biomasse, etc.), il n'a pas été possible d'obtenir des performances stables ni de bien démontrer l'effet de certains paramètres d'opération tel que le temps de résidence et la teneur en azote de la solution nutritive. Il serait très intéressant de poursuivre le développement de cette technologie afin de régler les problèmes techniques et proposer aux agriculteurs un système performant pour réduire les GES issu du stockage du fumier.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

L'objectif principal de ce projet était de démontrer la performance à long terme d'un biofiltre à lit inorganique pour le traitement des gaz provenant de structures d'entreposage du lisier avec couverture. Plus spécifiquement, le projet visait à 1) installer et opérer un biofiltre chez un producteur pendant 16 mois, 2) mesurer l'efficacité d'élimination du méthane, 3) évaluer la réduction de l'ammoniac et 4) assurer le redémarrage rapide du système après l'hiver.

Afin d'atteindre les objectifs de ce projet, quatre biofiltres ont été fabriqués et installés chez un producteur porcin (Ferme Marnie) pour traiter le gaz provenant d'une structure d'entreposage du lisier (capacité de 2000 m³) avec une couverture étanche en béton (Figure 1). Les biofiltres ont été fabriqués avec des tuyaux d'aqueduc de 15 pouces de diamètre et ils ont été remplis sur une hauteur de 1 m avec un milieu filtrant inorganique semblable à celui utilisé dans certaines stations d'épuration des eaux usées. Un ventilateur R3 de Gast (États-Unis) a été utilisé pour soutirer le gaz de la structure d'entreposage du lisier et l'acheminer vers les biofiltres. Afin d'être représentatif d'un système commercial et d'assurer une certaine teneur en d'oxygène dans le biogaz, un débit élevé (environ 45 m³/h) de gaz a été soutiré de la fosse dont seulement une partie a été envoyé aux biofiltres, le restant étant évacué à l'extérieur. Avec les quatre biofiltres, il a été possible de comparer

différents temps de résidence (EBRT), paramètre d'opération majeur en biofiltration. En variant le débit de gaz alimenté aux biofiltres de 5 à 12 L/min, des temps de résidence d'environ 9 à 20 minutes ont été obtenus.

Le suivi du procédé a été effectué sur une base hebdomadaire. Le débit de gaz a été mesuré avec un débitmètre massique (FMA-A2311, Omega, Canada), précis à $\pm 1\%$. Le débit de gaz soutiré de la fosse a été mesuré par un anémomètre à fil chaud (VelociCalc® de TSI, États-Unis). Pour mesurer la concentration de CH_4 , des échantillons ont été prélevés dans des fioles de 20 ml préalablement mises sous vide pour ensuite être analysés au laboratoire dans un délai de 24h à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (Varian 3600; USA) équipé d'un détecteur à ionisation de flamme avec une incertitude de $\pm 0,5$ ppmv. Le taux d'émission de GES a été calculé en multipliant la concentration de CH_4 avec le débit de gaz en supposant des valeurs constantes entre deux d'échantillons.

Au démarrage des biofiltres en juillet 2015, des problèmes techniques liés à l'alimentation en gaz des biofiltres sont survenus. Des corrections ont été apportées et il a été possible d'obtenir un fonctionnement régulier seulement en septembre 2015. À l'été 2016, le système de contrôle du débit de gaz qui avait été mis en place en 2015 n'a pas permis d'obtenir des débits stables dans le temps. Des modifications supplémentaires ont permis de régler les problèmes à partir du mois de juillet 2016. Le temps consacré au suivi du procédé a donc été réduit par rapport à ce qui était initialement prévu à l'objectif 1. Ces défis ont bien démontré la difficulté d'opérer un système biologique de traitement de l'air en conditions réelles à l'extérieur. Les objectifs 2 et 3 ont été atteints, l'objectif 1 partiellement, mais vu les problèmes au printemps 2016, il n'a pas été possible d'atteindre l'objectif 4.



FIGURE 1 : PHOTO DES BIOFILTRES

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

Les résultats présentés dans ce rapport portent plus spécifiquement sur les essais réalisés à l'été 2016, soit la deuxième année du projet. Les résultats de 2015 ont été présentés dans le rapport d'étape en mars 2016 et se retrouvent à l'annexe A de ce rapport qui regroupe les résultats supplémentaires pour les gaz. La Figure 2 présente d'abord le taux d'émission de CH_4 mesuré à la fosse avec couverture de béton en fonction du temps pour l'année 2016 en plus de la température ambiante quotidienne et la température du gaz soutiré de la fosse. Le profil des émissions de CH_4 de la fosse a été nettement différent pendant les deux années du projet (voir la Figure 4 à l'Annexe A). En effet, après une pointe d'émissions au démarrage du système en 2015, il y eu une certaine stabilisation et ensuite à partir du mois de septembre, les émissions de CH_4 semblaient diminuer avec la température extérieure. L'activité microbienne a probablement été ralentie à l'arrivée de l'automne lorsque la température a baissé, ce qui a réduit la production de gaz. Pour 2016, les émissions étaient relativement élevées au mois de juillet, jusqu'à 90 kg de CH_4 par jour, mais il y eu une réduction importante vers le début août. Cette baisse correspond bien à la vidange presque complète de la fosse par le producteur qui a eu lieu le 8 août 2016. Par la suite, les

émissions étaient relativement stables, variant de 13 à 32 kg de CH₄ par jour sans effet apparent de la température comme en 2015. Il semblerait que les émissions de CH₄ sont liées à la fois à la température et à la quantité de lisier dans la fosse. D'autre part, les émissions cumulatives de GES ont été très différentes d'une année à l'autre (Tableau 1). En 2015, des émissions de 206,7 tonnes d'équivalent CO₂ ont été mesurées sur une période de 118 jours tandis qu'en 2016, seulement 76,1 tonnes d'équivalent CO₂ ont été émis en 96 jours. Cette variabilité des émissions de CH₄ des fosses couvertes devra être prise en compte lors de l'évaluation de la pertinence et la rentabilité des projets de réduction de GES.

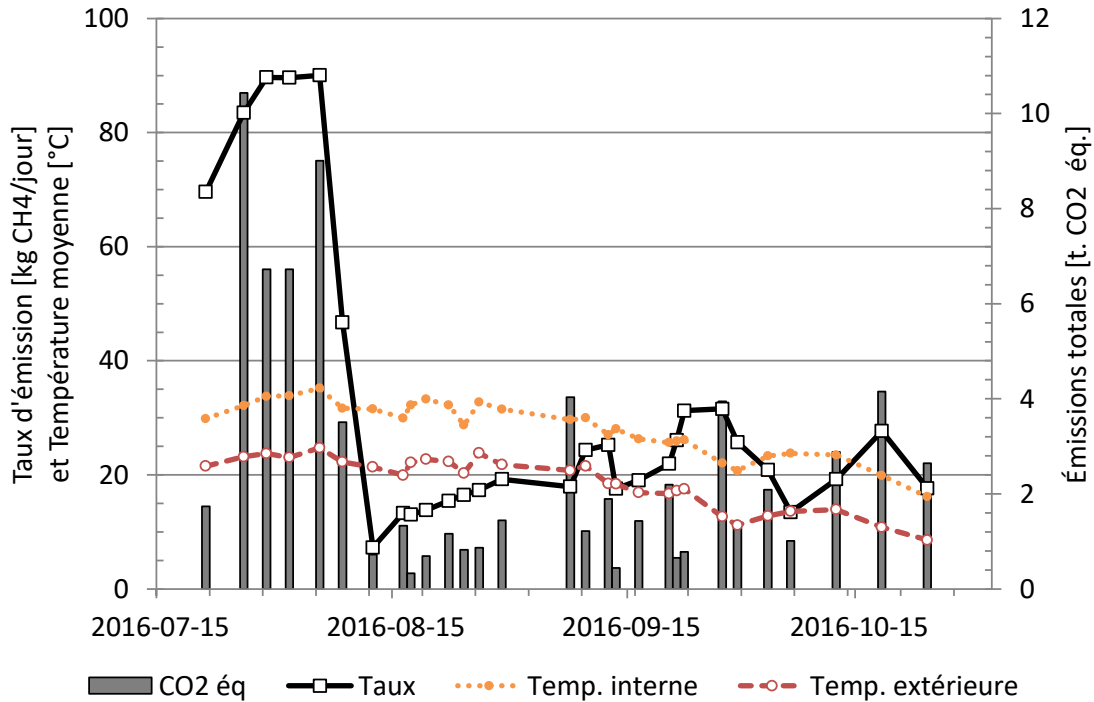


FIGURE 2 : TAUX D'ÉMISSION DE MÉTHANE DE LA FOSSE COUVERTE ET TEMPÉRATURES MOYENNES JOURNALIÈRES (INTÉRIEURE ET EXTÉRIEURE) EN 2016

TABLEAU 1 : ÉMISSIONS CUMULATIVES DE GES PROVENANT DE LA STRUCTURE D'ENTREPOSAGE DU LISIER

Émissions cumulatives de GES				
Année	CH ₄ (tonne)	CO ₂ équ. (tonne)	Nombre de jours	Moyenne par jour - CO ₂ équ. (tonne)
2015	8,3	206,7	118	1,74
2016	3,0	76,1	96	0,79

Les performances moyennes et maximales de chacun des biofiltres sont présentées au Tableau 2 pour 2015 et 2016. Avec seulement 5 semaines d'opération en 2015, il a tout de même été possible d'observer le potentiel de ce procédé avec des efficacités maximales jusqu'à 37 %. En 2016, des résultats plus intéressants ont été obtenus avec des efficacités maximales de 63 à 91 %. Toutefois, en moyenne, les biofiltres ont seulement éliminés entre 23 et 37 % du CH₄, ce qui équivaut à des charges traitées entre 0,36 et 0,78 kg de CH₄ par m³ de milieu filtrant par jour. Les performances les plus intéressantes ont été obtenues avec un temps de résidence de 20 minutes au biofiltre 3, mais avec un temps de résidence semblable, le biofiltre 2 a présenté les performances moyennes les plus faibles. Il n'a donc pas été possible de bien démontrer l'effet du temps de résidence dans ce projet. Les performances en fonction du temps pour 2016 sont présentées à la Figure 3 en termes d'efficacité de réduction du CH₄ avec la charge de CH₄ à l'entrée ainsi que les températures

extérieur et intérieur. Ces graphiques démontrent qu'il n'a pas été possible d'obtenir des performances stables dans le temps pour aucune unité. En fait, seulement le biofiltre 4 a maintenu une efficacité moyenne de 55 % pendant près d'un mois; la performance pour tous les autres biofiltres a rapidement chuté après la pointe. Des problèmes de croissance excessive de la biomasse ont causé le colmatage de certaines unités pendant la saison, ce qui aurait pu affecter la performance des biofiltres. Un lavage à contre-courant (« backwash ») a donc été nécessaire, le 12 juillet 2016 pour le biofiltre 4 et ensuite le 2 septembre 2016 pour les biofiltres 1, 2 et 3. Le nettoyage du biofiltre 4 a permis son démarrage au début juillet. Pour les biofiltres 2 et 3, il semble que le décolmatage a permis un certain regain d'efficacité, mais pour l'unité 1, il n'y a eu aucun effet.

TABLEAU 2 : MOYENNES DES CHARGES DE CH₄ TRAITÉES ET DES EFFICACITÉS POUR CHAQUE BIOFILTRE

Biofiltre	2015				2016			
	EBRT [min]	Charge moyenne traitée [kgCH ₄ /m ³ /jour]	Efficacité [%]		EBRT [min]	Charge moyenne traitée [kgCH ₄ /m ³ /jour]	Efficacité [%]	
			Moy	Max			Moy	Max
1	18	0,36	15	37	9	0,77	37	76
2	12	0,17	4	8	18	0,36	23	70
3	21	0,07	4	6	20	0,42	38	91
4	10	0,39	8	12	9	0,78	28	63

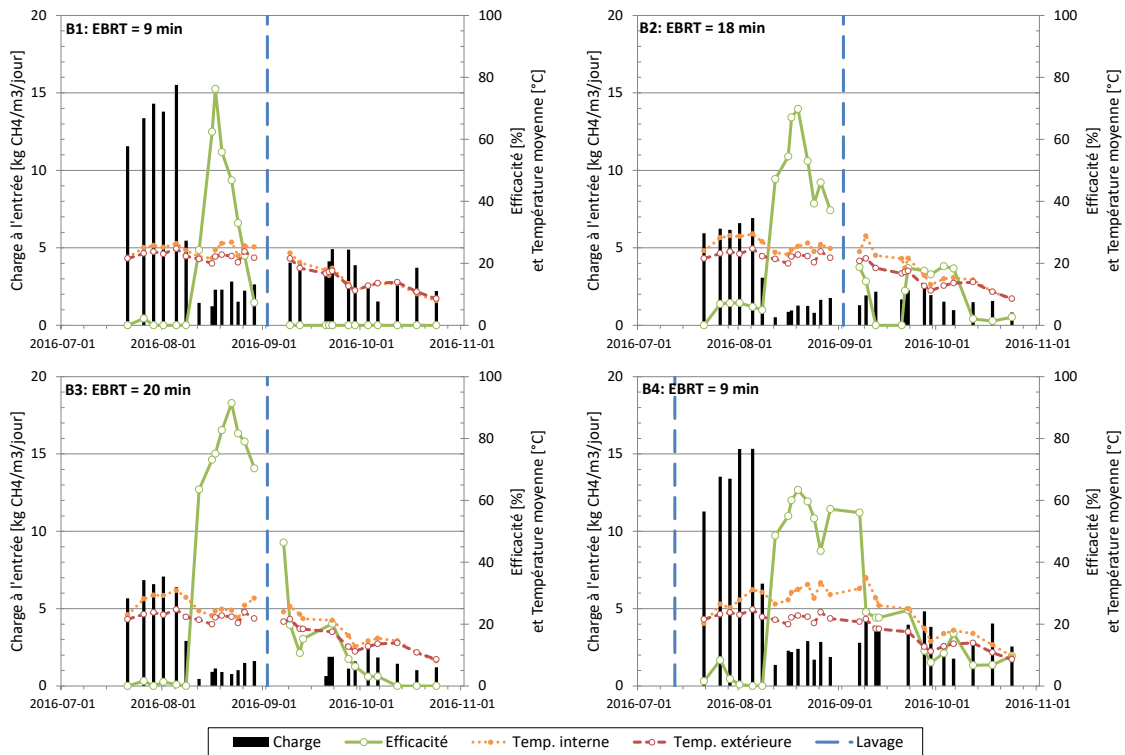


FIGURE 3 : CHARGE DE MÉTHANE, EFFICACITÉ DE TRAITEMENT, TEMPÉRATURE INTERNE ET TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE POUR CHAQUE BIOFILTRE EN 2016

Pour les quatre biofiltres, le démarrage au début août concorde avec la vidange du lisier dans la fosse, moment où la concentration de CH₄ dans le gaz de la fosse a chuté, réduisant ainsi la charge à l'entrée des unités (barres noires sur la Figure 3). Il y avait peut-être des composés dans le gaz de la fosse, tel que l'ammoniac (NH₃), qui ont inhibé les

méthanotrophes, bactéries responsable de la biodégradation du méthane. Pour vérifier cette hypothèse, le NH_3 a été analysé dans le gaz soutiré de la fosse et à la sortie des biofiltres pour certaines périodes (Figure 8 à l'Annexe A). La concentration de NH_3 dans le gaz de la fosse a diminué de 17 à 2 ppmv entre août et octobre et les biofiltres ont éliminé plus de 97 % du NH_3 . Quand les biofiltres ont présenté leurs meilleures efficacités, il y avait encore 12 ppmv à l'entrée. Donc, malgré que le NH_3 puisse inhiber l'oxydation biologique du CH_4 , il ne semble pas être entièrement responsable de la perte de performance des biofiltres.

Afin de fournir l'azote nécessaire à la croissance des microorganismes, la teneur en nitrate dans la solution nutritive a été maintenue autour de 0,75 gN/L (Annexe B). Il a donc été possible d'estimer les besoins en azote à environ 3 g N-NO_3 /jr. Il est toutefois difficile de relier ces valeurs à la réduction des GES sans un fonctionnement stable des biofiltres.

En conclusion, ce projet a permis de démontrer un certain potentiel de la biofiltration à lit inorganique pour le traitement du méthane provenant de structures d'entreposage du lisier avec couverture avec des pics d'efficacité jusqu'à 90 %. Par contre, avec les difficultés techniques encourues (contrôle du débit de gaz, croissance excessive de la biomasse, etc.), il n'a pas été possible d'obtenir des performances stables ni de bien démontrer l'effet de certains paramètres d'opération tel que le temps de résidence et la teneur en azote de la solution nutritive. Dans le cadre de ce projet, il avait également été prévu d'effectuer une analyse économique afin d'estimer les coûts d'installation et d'opération du procédé en fonction de la réduction des GES. Toutefois, comme ce système de biofiltration nécessite encore des améliorations avant d'être utilisable par les producteurs, il n'est pas pertinent d'effectuer l'analyse économique à ce stade du développement de la technologie.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Le rapport final accompagné d'une fiche synthèse résumant l'ensemble des éléments clés du projet seront disponibles sur le site web de l'IRDA. Ce projet a également fait l'objet d'une capsule dans le cadre du reportage « Canada – une approche pragmatique » produit par l'INRA en France et réalisé par G. Paillard. Puisque le système de biofiltration n'est pas prêt à être transféré aux producteurs, il n'était pas pertinent de réaliser tous les éléments du plan de diffusion, notamment l'article de vulgarisation.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

Ce projet a permis de démontrer un certain potentiel de la biofiltration à lit inorganique pour le traitement du méthane, mais le système nécessite encore des améliorations avant d'être utilisable par les producteurs. Il serait très intéressant de poursuivre ce projet afin de régler les problèmes techniques et proposer aux agriculteurs un système performant pour réduire les GES issu du stockage du fumier.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Pour toute information supplémentaire relativement au projet, veuillez contacter Matthieu Girard au (418) 643-2380 poste 670 ou par courriel à matthieu.girard@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé en vertu du volet 4 du programme Prime-Vert 2013-2018 et il a bénéficié d'une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) par l'entremise du Fonds vert. Les auteurs remercient Martin Boutin de la Ferme Marnie ainsi que Michèle Heitz et Milad Ferdowsi de l'Université de Sherbrooke. Des remerciements s'adressent également à l'IRDA pour sa contribution en nature et pour l'appui technique de son personnel, dont Antoine Lamontagne et Christian Gauthier.

ANNEXE A – RÉSULTATS SUPPLÉMENTAIRES POUR LES GAZ

Les figures 4 et 5 ci-dessous présentent les résultats détaillés pour l'année 2015, pour le gaz soutiré de la fosse et pour les performances des biofiltres, respectivement. Les figures 6 et 7 présentent ensuite les données pour le gaz soutiré de la fosse en termes de concentration de CH₄ et de débit de gaz pour 2015 et 2016 respectivement. La Figure 8 présente finalement la concentration d'ammoniac dans le gaz soutiré de la fosse ainsi que l'efficacité d'élimination de l'ammoniac par les biofiltres.

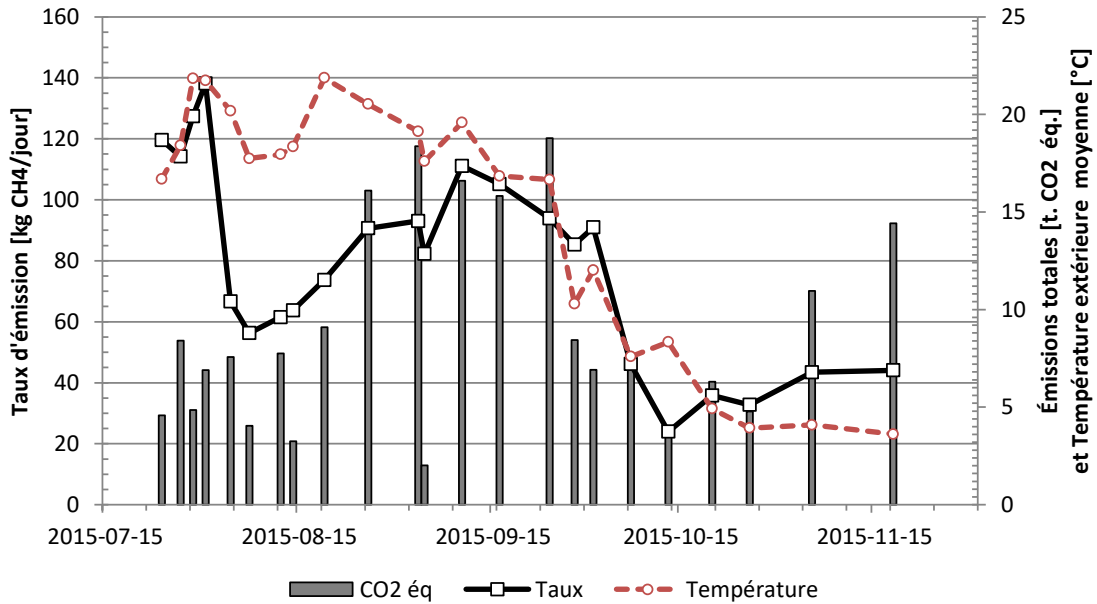


FIGURE 4 : TAUX D'ÉMISSION DE MÉTHANE DE LA FOSSE COUVERTE D'ENTREPOSAGE DE LISIER ET TEMPÉRATURE MOYENNE JOURNALIÈRE - 2015

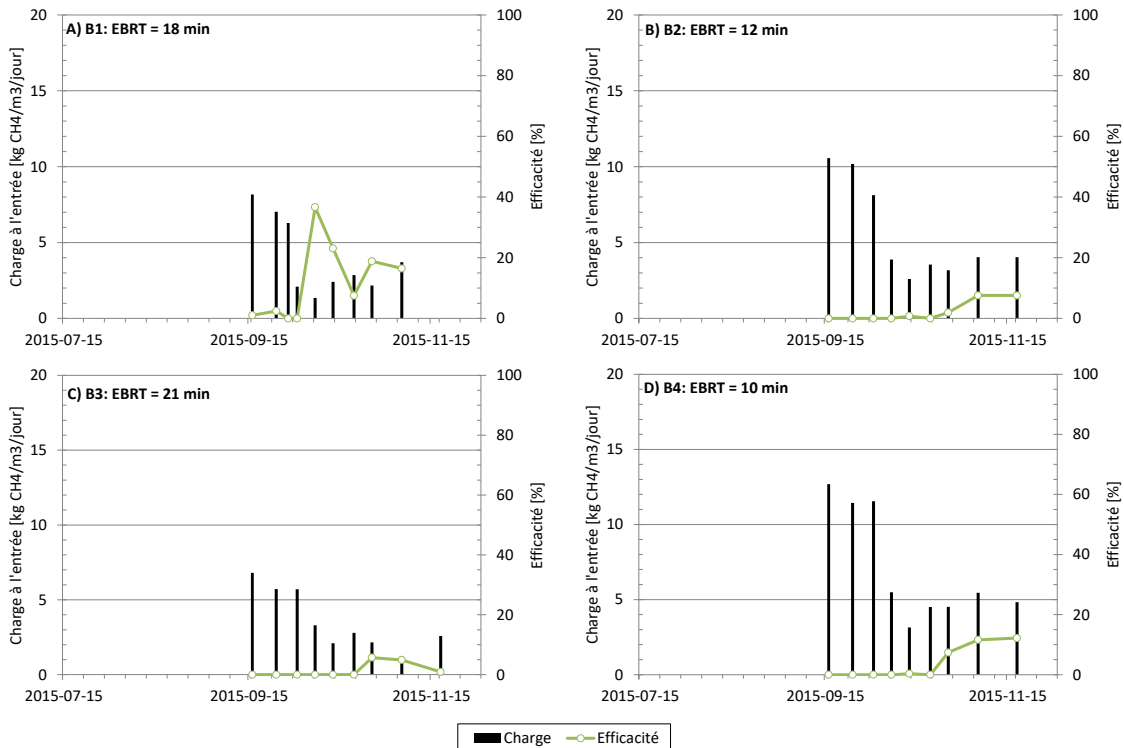


FIGURE 5 : CHARGE DE MÉTHANE ET EFFICACITÉ DE TRAITEMENT POUR CHAQUE BIOFILTRE - 2015

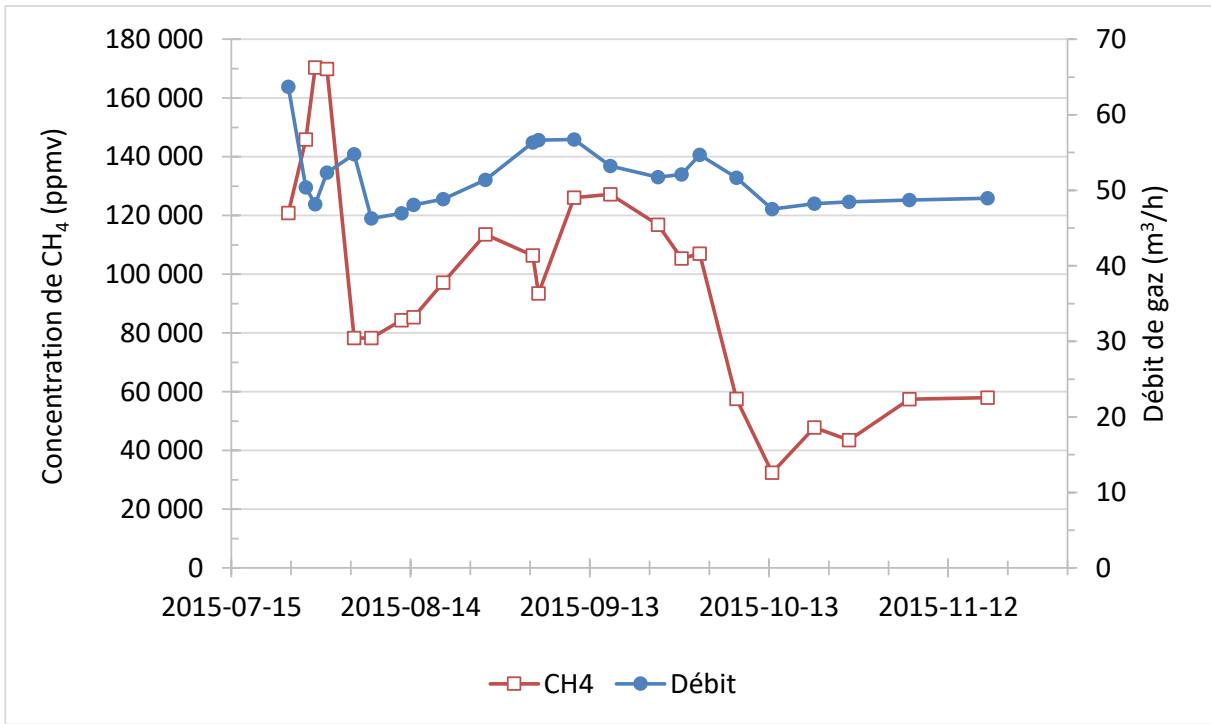


FIGURE 6 : CONCENTRATION DE CH4 ET DÉBIT DU GAZ SOUTIRÉ DE LA FOSSE EN 2015

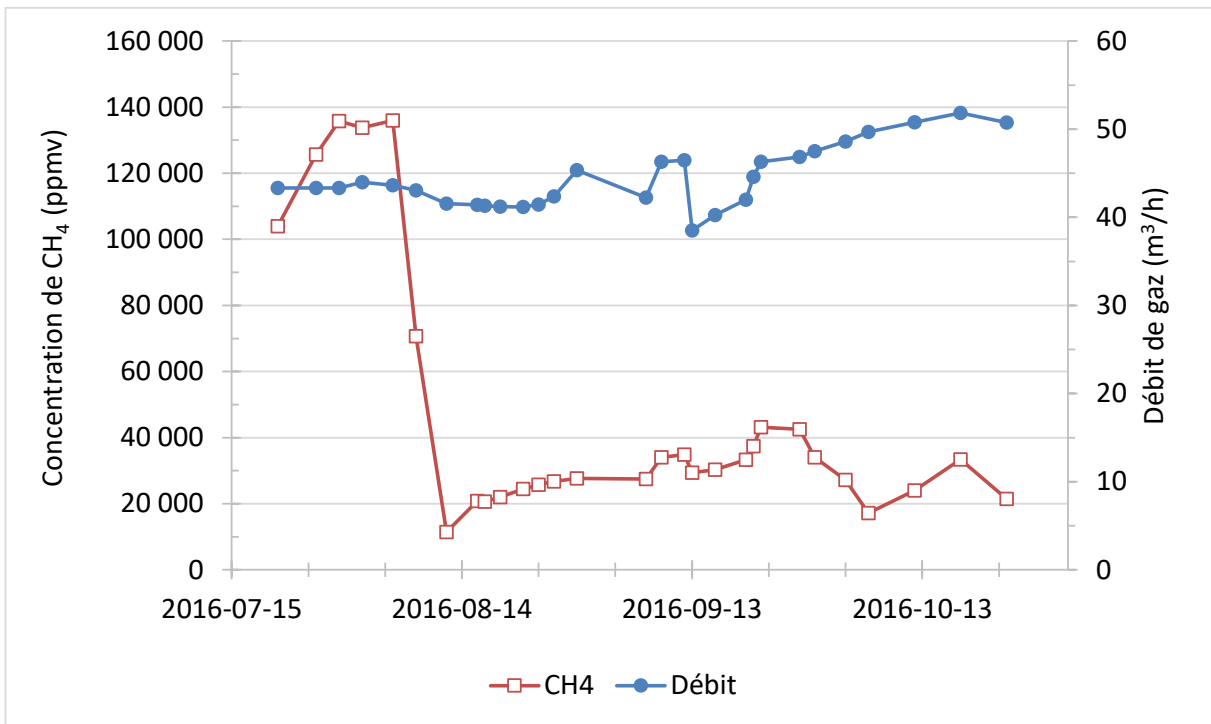


FIGURE 7 : CONCENTRATION DE CH4 ET DÉBIT DU GAZ SOUTIRÉ DE LA FOSSE EN 2016

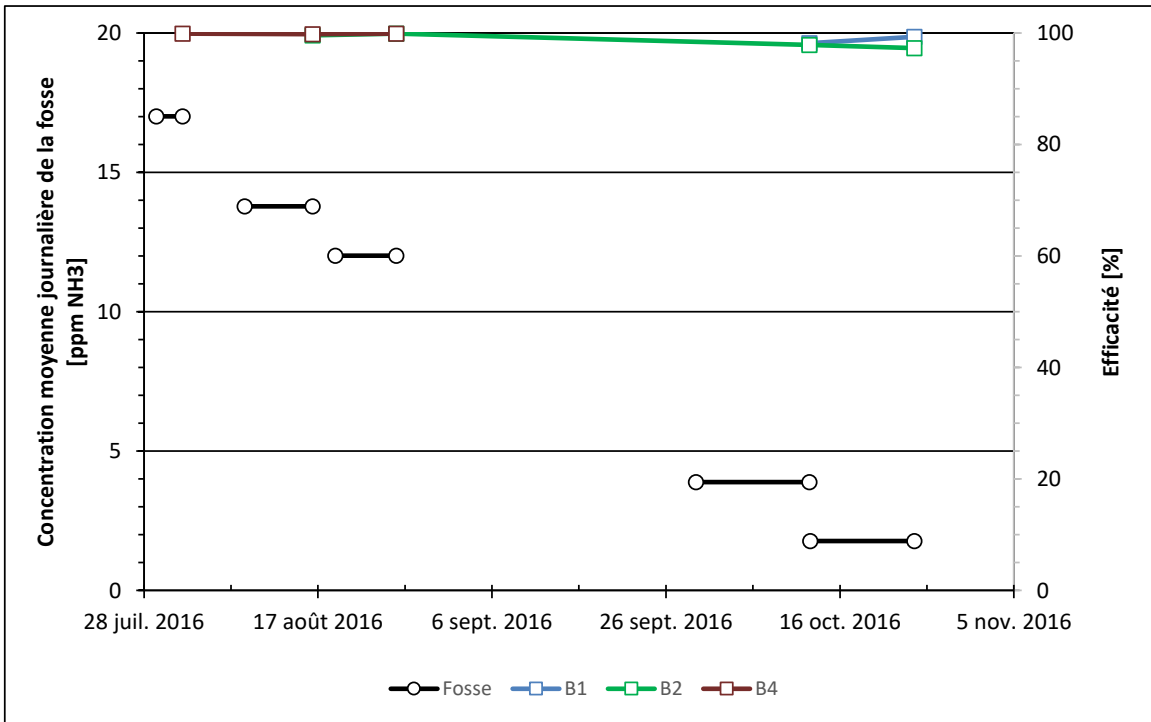


FIGURE 8 : CONCENTRATION DE NH_3 DANS LA FOSSE ET EFFICACITÉ DE TRAITEMENT DES BIOFILTRÉS EN 2016

ANNEXE B –AZOTE DANS LA SOLUTION NUTRITIVE

La figure 9 et le Tableau 3 présentent la teneur en azote de la solution nutritive de chaque biofiltre en 2016. Les mesures ont été effectuées avec un appareil terrain (Nitrachek 404) qui a ensuite été corrigé avec des analyses au laboratoire de l'IRDA.

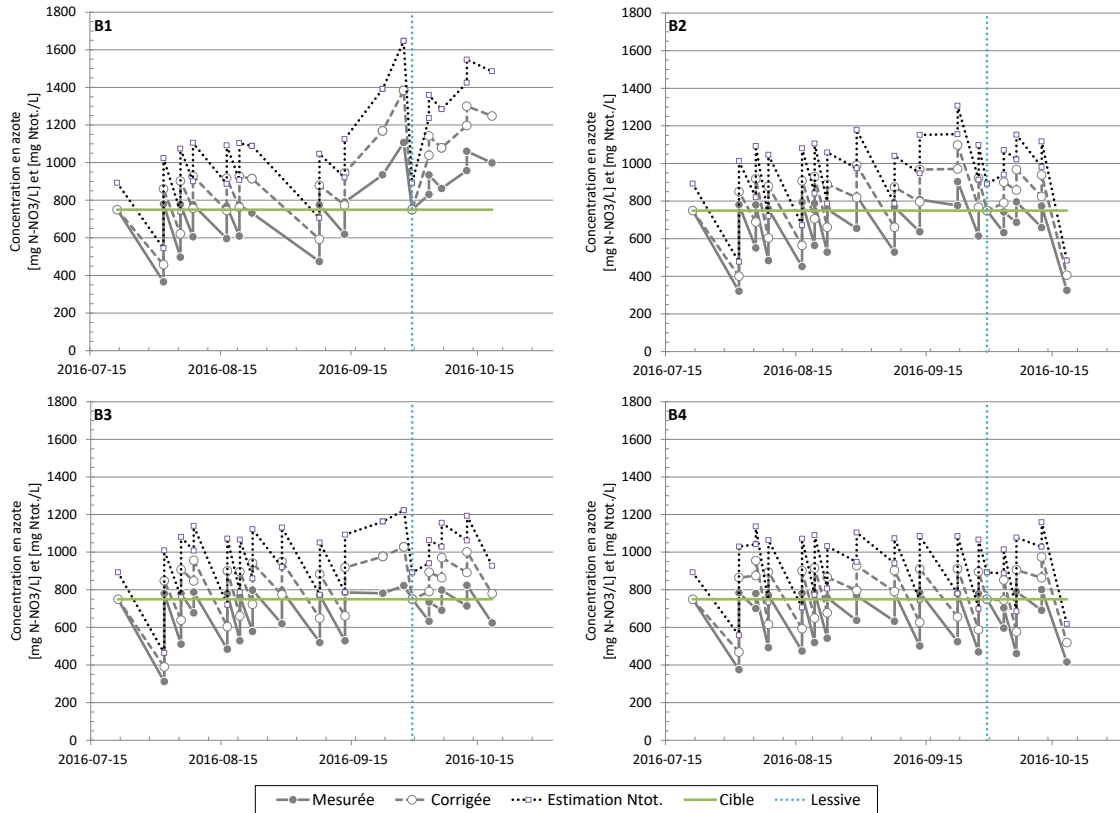


FIGURE 9 : CONCENTRATION D'AZOTE DANS LA SOLUTION NUTRITIVE EN 2016

TABLEAU 3 : CONCENTRATION ET CONSOMMATION MOYENNE D'AZOTE POUR CHAQUE BIOFILTRÉ EN 2016

	Concentration moyenne			Consommation moyenne		
	Mesurée	Corrigée ¹	Est. Ntot. ²	Mesurée	Corrigée ¹	Est. Ntot. ²
	[mg N-NO ₃ /L]	[mg N-NO ₃ /L]	[mg N tot./L]	[g N-NO ₃ /jr]	[g N-NO ₃ /jr]	[g Ntot./jr]
B1	773	936	1114	3	2	3
B2	673	804	957	3	3	4
B3	690	827	985	3	3	3
B4	653	777	925	4	4	4
Moy	697	836	995	3	3	3
ET	53	69	83	1	1	1

1. Facteur de correction : valeur mesurée avec le Nitrachek est d'environ 80% de celle analysée au laboratoire.
2. Selon la caractérisation de la solution nutritive en laboratoire, les nitrates représentent environ 84% de l'azote total.