

**Diagnostic du lieu
d'enfouissement de la MRC
de Bellechasse portant sur la
problématique de la qualité
de l'air
(odeurs et contaminants)**

Dossier CRIQ n° PE49666

Rapport final

PARTENAIRE D'INNOVATION

**DIAGNOSTIC DU LIEU D'ENFOUISSEMENT DE LA MRC DE
BELLECHASSE PORTANT SUR LA PROBLÉMATIQUE DE LA
QUALITÉ DE L'AIR (ODEURS ET CONTAMINANTS)**

Dossier CRIQ PE49666

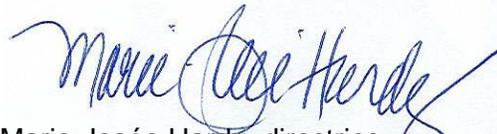
Rapport final

Monsieur David Loranger-King
Directeur
Service de la gestion des matières résiduelles
MUNICIPALITÉ RÉGIONALE DE COMTÉ DE BELLECHASSE
100, rue Monseigneur-Bilodeau
Saint-Lazare de Bellechasse (Québec) G0R 3J0

M. Marc St-Arnaud
Conseiller industriel



Nicolas Turgeon, ing. M.Sc.
Responsable de projet



Marie-Josée Hardy, directrice
Direction Écoefficacité industrielle et
Environnement

Québec, le 14 mars 2016

Le Centre de recherche industrielle du Québec a pour mission de contribuer à la compétitivité des secteurs industriels québécois en soutenant l'innovation en entreprise.

Économie,
Innovation
et Exportations

Québec 

PRINCIPAL PARTENAIRE FINANCIER DU CRIQ

DIAGNOSTIC DU LIEU D'ENFOUISSEMENT DE LA MRC DE BELLECHASSE PORTANT SUR LA PROBLÉMATIQUE DE LA QUALITÉ DE L'AIR (ODEURS ET CONTAMINANTS)

Équipe de projet (CRIQ)

Nicolas Turgeon ing. M. Sc.
Sylvain Savard, chimiste Ph. D
Stéphane Boucher, technicien
Éric Légaré, technicien
Mélanie Bouchard, technicienne de laboratoire
Stéphane Breton, technicien de laboratoire
Félix Létourneau, technicien en technologies et données industrielles

Pour tout renseignement concernant le projet

Responsable de projet

Nicolas Turgeon, ing. M. Sc.
333, rue Franquet, Québec (Québec) G1P 4C7
Téléphone : 418-659-1550 (2620)
Courriel : nicolas.turgeon@criq.qc.ca

Conseiller industriel

Marc St-Arnaud
333, rue Franquet, Québec (Québec) G1P 4C7
Téléphone : Téléphone : 418-659-1550 (2227)
Courriel : marc.st-arnaud@criq.qc.ca

© CRIQ 2016, tous droits réservés.

L'information contenue dans ce document ne peut être utilisée ou reproduite par une tierce partie, à moins d'une autorisation écrite du CRIQ.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	1
1. MISE EN CONTEXTE	2
2. MANDAT	2
3. ÉQUIPE DE TRAVAIL	3
4. DESCRIPTION DU SITE D'ENFOUISSEMENT	4
5. DESCRIPTION DU PROCESSUS DE GÉNÉRATION D'H2S DANS LES SITES D'ENFOUISSEMENT	5
6. DESCRIPTION DES TRAVAUX ET ANALYSE DES RÉSULTATS	7
6.1 Activité 1 : Revue documentaire	7
6.1.1 Méthodologie	7
6.1.2 Résultats	8
6.2 Activité 2 : Caractérisation et hiérarchisation des sources de contaminants gazeux	11
6.2.1 Méthodologie	11
6.2.2 Résultats	18
6.3 Activité 3 : Modélisation de la dispersion atmosphérique (odeurs et autres contaminants)	25
6.3.1 Méthodologie	25
6.3.2 Résultats	25
6.4 Activité 4 : Caractérisation de la qualité de l'air ambiant aux environs du site (LET MRC Bellechasse)	26
6.4.1 Méthodologie	26
6.4.2 Résultats	28
7. DISCUSSION	36
8. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	39
9. BIBLIOGRAPHIE	42

TABLE DES MATIÈRES (suite)

Liste des tableaux et figures

	Page
TABLEAU I	ÉQUIPE DE TRAVAIL..... 3
TABLEAU II	EFFET SUR LA SANTÉ DU SULFURE D'HYDROGÈNE 6
TABLEAU III	DESCRIPTION DES SOURCES (POINTS DE PRÉLÈVEMENT)12
TABLEAU IV	MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE17
TABLEAU V	CARACTÉRISATION DES SOURCES D'ÉMISSION DE CONTAMINANTS (H ₂ S ET COV) ET D'ODEURS AU LET DE LA MRC BELLECHASSE 19
TABLEAU VI	DESCRIPTION ET LOCALISATION DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE (AIR AMBIANT).....27
TABLEAU VII	CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR AMBIANT (H ₂ S ET COV) EN DATE DU 29/01/2016 (LET MRC BELLECHASSE)30
Figure 1	Lieu d'enfouissement technique - LET MRC Bellechasse 4
Figure 2	Localisation des sources d'émission - LET MRC Bellechasse13
Figure 3	Diagramme simplifié d'une chambre à flux dynamique et ses périphériques (d'après EPA/600/8-86/008).....14
Figure 4	Localisation des points d'échantillonnage pour la caractérisation de la qualité de l'air ambiant au LET MRC Bellechasse (2016/01/29).....28
Figure 5	Évolution de la concentration d'H ₂ S à la torchère PV-2C (LET MRC Bellechasse)38

TABLE DES MATIÈRES (suite)

Liste des annexes

ANNEXE A	Compte rendu de réunion 9 juillet 2015
ANNEXE B	Activité 1 : Revue documentaire
ANNEXE C	Revue documentaire
ANNEXE D	Revue documentaire
ANNEXE E	Revue documentaire
ANNEXE F	Photographies prises lors de la précampagne d'échantillonnage
ANNEXE G	Précampagne d'échantillonnage LET MRC Bellechasse
ANNEXE H	Isoplèthes de concentration du méthane
ANNEXE I	Photographies prises lors de la campagne d'échantillonnage
ANNEXE J	Photographies prises lors de la précampagne d'échantillonnage
ANNEXE K	Méthode d'analyse des composés organiques volatils
ANNEXE L	Méthode d'analyse des aldéhydes (TO-11A) par HPLC-UV
ANNEXE M	Rapport d'analyse de laboratoire
ANNEXE N	Lettre de Mme Sylvie Lemieux, Médecin conseil DSP et M. Simon Arbour, biol. M. Sc. du CISSS de Chaudière-Appalaches adressée à M. Cément Fillion, Directeur général de la MRC de Bellechasse
ANNEXE O	Calcul des taux d'émission de contaminants (H ₂ S et COV) et d'odeur des différentes sources fixes – LET MRC Bellechasse
ANNEXE P	Tableau de compilation des résultats
ANNEXE Q	Étude de modélisation de la dispersion atmosphérique de contaminants et odeur – LET MRC Bellechasse à Armagh
ANNEXE R	Photographies prises lors de la campagne d'échantillonnage en air ambiant
ANNEXE S	Données météorologiques- Station LET MRC Bellechasse
ANNEXE T	Notes prises par D. Loranger-King lors des prélèvements d'air ambiant au LET MRC Bellechasse
ANNEXE U	Mâchefers démétaillés produits par l'incinérateur de la Ville de Québec

RÉSUMÉ

Ce projet avait pour objectif de fournir aux intervenants de la MRC de Bellechasse des informations pertinentes relativement à la problématique de la qualité de l'air au lieu d'enfouissement technique de la MRC de Bellechasse (LET MRC Bellechasse) situé à Armagh. Pour ce faire, un diagnostic du LET MRC Bellechasse comprenant quatre (4) activités principales a été effectué au cours des mois de juillet 2015 à janvier 2016 inclusivement. La première activité de cette étude a permis de répertorier, dans la littérature technique et scientifique, 24 documents très pertinents en lien avec les impacts potentiels des odeurs et autres contaminants gazeux (composés organiques volatils COV) émis par des sites d'enfouissement sur la santé et la qualité de vie des riverains. Les problèmes de nuisances olfactives, liées aux émissions non contrôlées de sulfure d'hydrogène (H_2S) provenant des activités d'enfouissement de matériaux de construction, rénovation et démolition (CRD) contenant des résidus de gypse ($CaSO_4$), sont très bien documentés et peuvent constituer un enjeu de santé publique important. La deuxième activité a consisté à caractériser, à la suite de la réalisation de quatre (4) campagnes d'échantillonnage sur site, les principales sources de contaminants atmosphériques du LET MRC Bellechasse afin de déterminer les taux d'émissions des sources fixes (torchères passives et événements LES) et surfaciques (talus sud-est de la cellule d'enfouissement CET 8, front de déchets -CET 3) identifiées, et ce, pour les paramètres COV (méthodes TO-15 et TO-11A), H_2S (analyseurs JEROME® et $\mu GC-TCD$) et odeur (méthode NF EN 13725:2003). Les principaux résultats de l'activité 3 (modélisation de la dispersion atmosphérique-modèle AERMOD) montrent l'impact potentiel sur les riverains des différentes sources d'émission surfaciques par rapport aux odeurs et au H_2S . La modélisation révèle aussi l'importance d'un bon fonctionnement des torchères (particulièrement PV-4C et PV-6C) pour le contrôle des émissions d' H_2S et d'odeur. Par ailleurs, les concentrations modélisées des 48 COV émis par le LET MRC Bellechasse, additionnées aux concentrations initiales de chacun de ces contaminants dans l'air ambiant, respectent les normes et critères québécois de la qualité de l'atmosphère du MDDELCC¹. De plus, les résultats de l'activité 4 montrent un aperçu de la qualité de l'air ambiant au voisinage de même que sur le site du LET MRC Bellechasse le 29 janvier 2016 pour les paramètres COV (TO-15) et H_2S . L'analyse de ces résultats combinés aux données d'émissions à la source (activité 2) de même qu'aux résultats des différents scénarios de modélisation (activité 3) révèlent que les actions pour l'optimisation du contrôle des émissions atmosphériques au LET MRC Bellechasse devraient porter en priorité sur les paramètres odeurs et H_2S . Les recommandations présentées à la fin de ce rapport identifient, par ordre de priorité, les différentes actions qui devraient être mises en œuvre pour documenter davantage cette problématique et réduire à la source les émissions atmosphériques du LET MRC Bellechasse. Ceci afin d'adresser les enjeux d'acceptabilité sociale liés aux activités d'enfouissement sur ce site, et ce, dans un cadre de développement durable.

¹ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

1. MISE EN CONTEXTE

La **MUNICIPALITÉ RÉGIONALE DE COMTÉ DE BELLECHASSE** (MRC de Bellechasse) est aux prises avec une importante problématique d'odeurs qui émanent de son lieu d'enfouissement technique (LET MRC Bellechasse) situé à Armagh et qui incommode les citoyens qui résident en périphérie de celui-ci. Selon les informations et les études qui ont été portées à notre attention, l'utilisation pendant une période d'environ 30 mois (juin 2009 à janvier 2012) des résidus de matériaux secs provenant de débris de construction, de rénovation et de démolition (CRD), comme matériaux de recouvrement autorisé par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) serait à la source du problème d'odeurs nauséabondes d'œufs pourris (sulfure d'hydrogène - H₂S). Une chronologie des faits saillants concernant la problématique d'émissions d'odeurs au LET MRC Bellechasse est présentée dans le compte rendu de la réunion du 9 juillet 2015 (démarrage du projet) consigné à l'annexe A.

Le conseil de la MRC de Bellechasse doit répondre aux différentes questions des parties prenantes (Comité de vigilance du site d'enfouissement, Agence de la santé et des services sociaux (ASSS), MDDELCC, etc.) relativement à la problématique de nuisances olfactives.

2. MANDAT

Cette étude avait pour objectif de fournir aux intervenants de la MRC de Bellechasse des informations pertinentes relativement : 1) Aux problématiques d'odeurs documentées pour d'autres sites d'enfouissement (revue documentaire); 2) Les résultats de la caractérisation des différentes sources d'émission (hiérarchisation des sources) en regard des odeurs et autres contaminants gazeux (H₂S et COV²); 3) L'évaluation par modélisation de la dispersion atmosphérique des impacts potentiels sur la santé (contaminants gazeux) et les nuisances (odeurs); ainsi que 4) Les recommandations pour le contrôle des émissions atmosphériques émanant du LET MRC Bellechasse.

² Composés organiques volatils

3. ÉQUIPE DE TRAVAIL

L'équipe de travail qui a collaboré à la réalisation de ce projet est présentée au tableau I :

TABLEAU I ÉQUIPE DE TRAVAIL

NOM	TITRE	FONCTION
MRC DE BELLECHASSE		
David Loranger-King	Directeur, Service de la gestion des matières résiduelles	Responsable de projet
Christian Noël	Directeur général adjoint	Collaborateur
Alain Gaudreau et Serge Fournier	Préposés à l'enfouissement	Collaborateurs
COMITE DE VIGILANCE		
Gene Bourgeau	Représentant de la municipalité d'Armagh et conseiller municipal	Représentant du comité de vigilance
Pauline Rodrigue	Représentante des citoyens du voisinage	Représentante du comité de vigilance
Comité de gestion des matières résiduelles		
Gilles Nadeau	Président du CGMR	Collaborateur
CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC (CRIQ)		
Nicolas Turgeon ing. M. Sc.	Agent de recherche et coordonnateur	Responsable de projet, coordination des travaux et rédaction des documents techniques
Sylvain Savard chimiste, Ph. D.	Agent de recherche et coordonnateur	Responsable des laboratoires et conseiller senior
Stéphane Boucher	Technicien senior principal	Responsable de l'échantillonnage sur site
Éric Légaré	Technicien senior	Collaborateur
Mélanie Bouchard	Technicien senior	Analyse par chromatographie en phase gazeuse (GC-MS)
Stéphane Breton	Technicien senior principal	Analyse HPLC
Félix Létourneau	Technicien	Technologies et données industrielles
CONSUMAJ EXPERTS CONSEILS		
Denis Choinière, ing. M. Sc.	Directeur général	Expert modélisation AERMOD
David Giard, ing. M. Sc.	Ingénieur de projet	Expert modélisation AERMOD

4. DESCRIPTION DU SITE D'ENFOUISSEMENT

La MRC de Bellechasse possède un lieu d'enfouissement sanitaire (LES) situé à Armagh (angle du 1^{er} Rang Nord-Est et du 8^e rang) depuis 1979. En 2002, elle obtenait, par décret (803-2002), l'autorisation de l'agrandir selon les nouvelles normes en vigueur au ministère de l'Environnement, tout en respectant les objectifs environnementaux de rejets (OER). Ces normes correspondent essentiellement au nouveau REIMR³ entré en vigueur en 2006. La fermeture de l'ancien LES a été finalisée en mai 2003 et un lieu d'enfouissement technique (LET) a été mis en fonction pour remplacer le LES cette même année. La superficie du LET de la MRC de Bellechasse est de 15 hectares pour une durée d'exploitation d'environ 40 ans pour un volume total de 1 444 200 m³. Toutes les cellules du LET ont un double niveau de protection de membranes avec traitement du lixiviat et des biogaz, comme prévu au REIMR. Selon les ententes en vigueur, ce sont 33 municipalités qui sont desservies par le site actuel. Des travaux correctifs visant le contrôle des émissions de gaz d'enfouissement GE émis par les cellules fermées et possédant un recouvrement final (CET 6, CET 7, CET 1 et CET 2) ont été effectués à l'été 2012. Ainsi, quatre (4) torchères passives (PC-6C, PV-4C, PV-2C et Évent-A) ont été installées et mises en fonction au mois d'août de la même année. La figure 1 montre la localisation du LET MRC Bellechasse avec ses limites de propriété (à titre indicatif).



Figure 1 Lieu d'enfouissement technique - LET MRC Bellechasse⁴

³ Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles (Q-2 r.19).

⁴ Photo : Google Earth Pro.

5. DESCRIPTION DU PROCESSUS DE GÉNÉRATION D'H₂S DANS LES SITES D'ENFOUISSEMENT

Les gaz d'enfouissement GE (aussi appelés biogaz) sont générés en absence d'oxygène lors de la biodégradation de la fraction organique des déchets par les bactéries méthanogènes. Les GE sont composés principalement de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone CO₂ selon des proportions variant entre 40 et 60 % (v/v). Les GE peuvent contenir d'autres gaz tels que des composés organiques volatils (COV) et des composés soufrés (H₂S et autres sulfures).

Le tableau II résume les effets sur la santé en fonction des limites d'exposition au H₂S selon l'*Agency for Toxic Substances and Disease Registry* [2006]. Au Québec, les valeurs d'exposition du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST)⁵ sont : VEMP = 10 ppm (14 mg/m³); VECD = 15 ppm (21 mg/m³). L'annexe K du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA)⁶, qui prescrit les normes de qualité de l'atmosphère, fixe la valeur limite d'H₂S en air ambiant à 6 µg/m³, (0,004 ppm).

⁵ <http://www.irsst.qc.ca/laboratoires/outils-references/contaminants-air-milieu-travail/substance/i/613>

VEMP : Valeur exposition moyenne pondérée est la concentration moyenne, pondérée pour une période de 8 heures par jour, en fonction d'une semaine de 40 heures, d'une substance chimique (sous forme de gaz, poussières, fumées, vapeurs ou brouillards) présente dans l'air au niveau de la zone respiratoire du travailleur.
VECD : Valeur d'exposition de courte durée est la concentration moyenne, pondérée sur 15 minutes, pour une exposition à une substance chimique (sous forme de gaz, poussières, fumées, vapeurs ou brouillards) présente dans l'air au niveau de la zone respiratoire du travailleur, qui ne doit pas être dépassée durant la journée de travail, même si la valeur d'exposition moyenne pondérée est respectée.

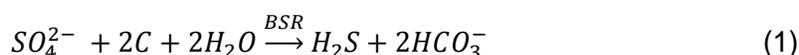
⁶ Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (Q-2, r. 4.1) :

http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/Q_2/Q2R4_1.htm

TABLEAU II EFFET SUR LA SANTÉ DU SULFURE D'HYDROGÈNE⁷

LIMITES D'EXPOSITION (ppm)		EFFECTS SUR LA SANTÉ
(ppm)	(mg/m ³ , à 25 °C, 1 atm)	
0,008 – 0,2	0,011 – 0,28	Seuil de perception olfactif, odeur d'œufs pourris
20	28	Perte temporaire du sens de l'odorat Concentration tolérée pour quelques heures sans dommage permanent à la santé
20 - 50	28 - 69	Irritation des yeux
50	69	Une exposition prolongée peut provoquer une pharyngite et une bronchite
60	83	Une exposition prolongée peut causer une conjonctivite et des douleurs oculaires
150	208	Irritation des voies respiratoires supérieures; sens de l'odorat perdu
250	345	Œdème pulmonaire avec risque de décès
500	694	Très dangereux, l'évacuation doit avoir lieu bien en dessous de ce niveau
1000	1388	Perte de conscience se produit
1000 - 2000	1388 - 2776	Effondrement immédiat avec paralysie de la respiration

Les bactéries sulfatoréductrice (BSR) sont des microorganismes capables de produire du H₂S à partir de la réduction des composés soufrés inorganiques (sulfates et sulfites) et organiques en conditions anaérobies (absence d'oxygène) selon l'équation 1 :



En plus des sulfates, la plupart des BSR peuvent utiliser d'autres sources de composés soufrés (thiosulfate, sulfites, soufre organique) présents dans les déchets enfouis pour produire du H₂S. Les auteurs Ko *et coll.* (2015) décrivent en détail les principales réactions chimiques et microbiologiques en fonction des composés soufrés présents dans les résidus enfouis.

Les principales sources de composés soufrés dans les sites d'enfouissement incluent les résidus de gypse (CaSO₄), le soufre contenu dans la matière organique (nourriture et papier) et les biosolides (boues de station d'épuration des eaux usées). Les résidus de panneaux de gypse, très utilisés pour la construction des murs intérieurs en raison de sa grande résistance au feu, constituent sans aucun doute l'une des sources les plus importantes de composés soufrés notamment dans les sites d'enfouissement des matériaux de construction, rénovation et démolition (CRD). La production d'H₂S à partir de résidus de gypse enfouis a été étudiée par de nombreux chercheurs dont Xu *et coll.* (2010); Fairweather et Balaz (1998).

⁷ (Selon : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2006).

Les facteurs qui affectent la production d'H₂S par les BSR sont notamment la teneur en eau des déchets, la température et le pH. Bergersen et Haarstad (2008) ont observé que la production d'H₂S est significativement augmentée lorsque les déchets sont saturés en eau. Ces auteurs ont aussi remarqué qu'à la suite d'une averse, la concentration d'H₂S en air ambiant était généralement plus élevée qu'à la normale sur et en périphérie des sites d'enfouissement. La température optimum des BSR varie entre 28 °C et 32 °C. Au-dessus de 45 °C, la plupart des souches de BSR voient leur activité grandement réduite (Hao et coll. 1996). La production d'H₂S dans les sites d'enfouissement varie donc selon les saisons en fonction de la température. Les BSR préfèrent un environnement à pH neutre et leur activité est généralement inhibée à des pH inférieurs à 5,5 ou supérieurs à 9,0. C'est la raison pour laquelle certains auteurs recommandent d'ajouter de la chaux ou autres matériaux alcalins afin de limiter la production d'H₂S lors de l'enfouissement de déchets contenant des résidus de gypse (Chalvatzaki et Lazaridis, 2010; Xu *et coll.*, 2011). L'enfouissement de béton (CaO) joue un rôle dans la réduction de la production d'H₂S notamment en augmentant le pH du lixiviat et en réagissant avec l'H₂S pour former du sulfure de calcium (CaS) (Xu *et coll.*, 2011). À noter que l'enfouissement de panneaux de gypse est interdit dans plusieurs régions du Canada et ailleurs dans le monde (Chartier *et coll.*, 2006). À titre d'exemple, l'Angleterre a banni cette activité en 2005 alors que Vancouver en a fait de même en 2009 afin d'éviter les problèmes environnementaux liés à l'enfouissement et favoriser la réutilisation de cette matière 100 % recyclable.

6. DESCRIPTION DES TRAVAUX ET ANALYSE DES RÉSULTATS

Ce projet a été réalisé en quatre activités. Chacune des sous-sections suivantes présente une description sommaire des travaux réalisés (méthodologie) ainsi que les principaux résultats obtenus. La méthodologie utilisée dans le cadre de cette étude (section 6.2 à 6.4) se base notamment sur les informations et données obtenues dans les littératures technique et scientifique (section 6.1).

Des informations complémentaires (articles techniques, protocoles, rapports d'analyses, tableaux de compilation, fiches, photographies, etc.) pour chacune de ces activités sont consignées dans les annexes présentées à la fin de ce rapport. Le cahier de recherche (CRIQ n° 3593) ainsi que les fichiers électroniques en format Excel peuvent être consultés sur demande.

6.1 Activité 1 : Revue documentaire

6.1.1 Méthodologie

Une recherche sommaire d'informations, en français et en anglais, a été réalisée sur les 15 dernières années pour le Canada, les États-Unis et l'Europe au sein de sources écrites ou formelles : études, rapports, actes de colloques, magazines, périodiques, thèses, etc. ayant pour sujet les impacts des odeurs et autres contaminants gazeux (COV, H₂S, etc.) émis par certains sites d'enfouissement sur la santé des riverains. Les informations obtenues ont permis de colliger les différentes études disponibles sur ce sujet, de valider l'approche méthodologique envisagée pour la campagne d'échantillonnage sur site et d'identifier des mesures de contrôle

et de mitigations des émissions des gaz mises en œuvre dans des contextes similaires au LET MRC Bellechasse.

Les principales étapes pour la réalisation de l'activité 1 ont consisté à :

- Élaborer la stratégie de recherche (annexe B);
- Procédé au repérage de l'information désirée au sein d'une sélection de sources d'information écrites; lecture, sélection des résultats et résumé des informations pertinentes.
- Faire l'analyse des titres et résumés des documents jugés pertinents. Les représentants de la MRC de Bellechasse ont été mis à contribution pour la sélection finale des documents plus pertinents qui ont été par la suite commandés dans leur format complet;
- Analyse et résumé des documents jugés très pertinents (niveau 1 selon l'échelle de pertinence⁸).

6.1.2 Résultats

L'annexe C présente la liste de tous les documents identifiés à l'aide de la stratégie de recherche. Sur un total de 79 documents, 28 ont été jugés très pertinents. L'analyse des textes complets a permis de retrancher trois (3) documents qui se sont avérés plus ou moins pertinents à la lecture de leur version longue. Un document n'a pu être obtenu dans sa version intégrale (thèse) : *An investigation of recycled/industrial materials to attenuate hydrogen sulfide resulting from the use of construction and demolition debris fines*.

Les 24 documents restants peuvent être regroupés selon trois thèmes : 1) Santé et environnement : 17 documents, 2) Qualité de l'air : 3 documents, et 3) Contrôle et mitigation : 4 documents. Les fiches résumées, ainsi que les documents complets de ces articles sont consignés aux annexes D et E respectivement. Les quatre documents suivants méritent une attention particulière par rapport à la présente étude :

- Ko, J. H., Xu, Q., Jang, Y.-C. (2015). *Emission and control of hydrogen sulfide at landfills: A review, Environmental Science and Technology, 45:2043-2083.*

Résumé :

Le contrôle des émissions d'H₂S provenant des sites d'enfouissement constitue un enjeu important pour la santé publique et l'environnement. Les auteurs de cet article ont effectué une revue complète des récents développements concernant la formation du H₂S dans les sites d'enfouissement, les risques environnementaux liés au H₂S, les niveaux d'H₂S présent dans l'environnement des sites d'enfouissement et les différents moyens et technologies disponibles pour le contrôle des émissions d'H₂S. Les émissions d'H₂S varient en fonction de la composition et de l'âge des déchets, des conditions environnementales (bactéries sulfato-réductrices), la géométrie du site de même que des facteurs météorologiques qui influencent les émissions et

⁸ *Échelle de pertinence : 1 = très pertinent; 2 = pertinent; 3 = intéressant; 4 = non pertinent.

la dispersion atmosphériques des gaz. La réduction à la source (c.-à-d. éviter d'enfouir des composés soufrés) est l'option la plus efficace pour réduire la production de H₂S liés aux activités d'enfouissement. Les procédés physico-chimiques et biologiques sont couramment utilisés pour le traitement du H₂S. Outre l'efficacité d'élimination, le coût est un facteur très important pour le choix de la technologie de traitement. Les procédés d'absorption (solution de Fe³⁺) et d'adsorption à base de fer sont des technologies matures. Les technologies de traitement biologiques nécessitent des investissements initiaux élevés, mais leurs coûts d'exploitation sont plus bas que les procédés physico-chimiques. L'utilisation de matériaux de recouvrement alternatifs est une méthode couramment utilisée pour réduire, voire éliminer complètement l'H₂S provenant de sources fugitives (surface). Même si la capacité de rétention diffère selon les matériaux de recouvrement alternatifs, l'utilisation de matériaux recyclés (compost, sols traités, béton broyé, etc.) constitue une bonne option pour le contrôle des émissions surfacique d'H₂S à la fois pour le contrôle des odeurs et du point de vue de la valorisation des déchets (écologie industrielle). Bien qu'il existe de nombreuses méthodes disponibles pour contrôle du H₂S dans les sites d'enfouissement, le choix des technologies doit être fondé sur de nombreux facteurs tels que la composition des déchets, l'emplacement du site d'enfouissement, les conditions climatiques, l'efficacité d'élimination et les coûts (investissements et opération).

- Xu, Q., Townsend, T. (2014). *Factors affecting temporal H₂S emission at construction and demolition (C&D) debris landfills*, *Chemosphere* 96 (2014) 105–111.

Résumé :

Les émissions d'H₂S se traduisent souvent par des plaintes d'odeurs de la part des riverains des sites d'enfouissement de matériaux CRD, en particulier en début de matinée. Cette étude de terrain a été menée pour déterminer la capacité d'élimination du H₂S de différents matériaux recouvrement. Les taux d'émissions surfaciques mesurés à l'aide d'une chambre à flux dynamique ont varié de 0 à 1,24 x 10⁻⁵ mg/m²/s. Des mesures en continu ont indiquées que les émissions de H₂S varient tout au long de la journée (une hausse est généralement observée le matin et l'après-midi) et sont influencées par l'humidité et la température du sol. Des essais en laboratoire ont également été menés pour étudier les effets de la teneur en eau (TEE) du sol sur la concentration en H₂S. Les résultats ont montré que l'augmentation de la TEE du sol réduit les émissions en retardant la migration du H₂S dans le sol de recouvrement et en favorisant sa dissolution. L'étude sur site a également montré que la dispersion atmosphérique permet parfois d'éviter des problèmes d'odeurs hors site.

- Palmiotto, M., Fattore, E., Paiano, V., Celeste, G., Colombo, A., Davoli, E. (2014). *Influence of a municipal solid waste landfill in the surrounding environment: toxicological risk and odor nuisance effects*, *Environment International*, 68, 16–24.

Résumé :

L'enfouissement de grandes quantités de déchets et les processus physico-chimiques et biologiques complexes causés par ces activités rendent les zones situées à proximité des sites d'enfouissement vulnérables non seulement aux émissions de composés toxiques potentiels, mais aussi par rapport aux nuisances telles que les odeurs. Tous ces facteurs peuvent avoir un

impact important sur l'environnement local et la dégradation de la qualité de l'environnement. La plupart des problèmes de santé répertoriés sont liés aux émissions non contrôlées de gaz d'enfouissement (composés organiques volatils non méthaniques et autres contaminants atmosphériques dangereux). Cet article présente une évaluation intégrée des risques liés aux émissions de contaminants et odeurs d'un important site d'enfouissement municipal situé en Italie. La méthodologie utilisée comprend des campagnes d'échantillonnage et l'analyse de certains contaminants d'intérêt. Les données d'émission à la source ont été utilisées dans un modèle de dispersion atmosphérique (AERMOD) afin d'estimer les concentrations maximum pour cinq récepteurs sensibles situés à proximité du site. Les résultats obtenus pour les différents scénarios ont toujours montré des risques inférieurs à ceux acceptés par les principales organisations internationales (OMS, US EPA) en ce qui a trait aux effets (cancérogènes et non cancérogènes) sur la santé. Les nuisances olfactives peuvent toutefois être significatives selon la direction des vents pour une zone située près du site d'enfouissement.

- *Buske, D.C., Laurila, J.R., Riegert M. L., Lannan, M.T. (2004). Landfill cover materials, odor and human health, WEF/A&WMA Odors and Air Emissions 2004.*

Ce document porte sur l'impact des odeurs lié à l'utilisation de matériel traité (fines) issu des CRD (construction, rénovation et démolition) comme matériaux de recouvrement journalier dans les sites d'enfouissement. Certains sites d'enfouissement qui ont utilisé les CRD ont connu une forte augmentation des plaintes concernant les odeurs associées à des niveaux élevés de production de sulfure d'hydrogène (H₂S). En raison de l'augmentation des plaintes concernant les odeurs, les résidents locaux se sont inquiétés pour leur qualité de vie et les risques potentiels pour leur santé. Des échantillons d'odeurs ont été recueillis et analysés. Les résultats obtenus ont permis une modélisation hors site de la dispersion des odeurs afin d'estimer, dans la mesure du possible, les risques pour la santé des riverains exposés à long terme. La modélisation atmosphérique du sulfure d'hydrogène et du méthyle mercaptan confirme les occurrences d'odeurs signalées par les riverains du site d'enfouissement. Malgré le fait qu'elles soient à l'origine de nuisances olfactives, les concentrations d'H₂S déterminées par modélisation à l'extérieur des limites de propriété du site ne posent pas de risque inacceptable pour la santé humaine. Les principales conclusions de cet article technique sont :

- L'utilisation de CRD comme matériau de recouvrement journalier peut causer des odeurs importantes liées aux émissions d'H₂S. L'ampleur du problème d'odeur est influencée par le taux d'humidité en excès dans les déchets enfouis;
- Les taux d'émissions d'odeurs liées aux H₂S d'un site qui a utilisé des CRD comme matériaux de recouvrement sont généralement beaucoup plus important que les sites d'enfouissement typiques;
- La durée totale de la production d'odeur par la décomposition des particules fines de CRD n'a pu être déterminée. Les odeurs (production de H₂S) prennent du temps à se développer. Dans le cas de cette étude, environ 6-9 mois se sont écoulés avant que les odeurs hors site ne soient problématiques;
- L'augmentation des odeurs et des plaintes associées aux nuisances olfactives ont soulevé des préoccupations de la part des résidents locaux. Toutefois, une

augmentation des odeurs de sulfure d'hydrogène ne se traduit pas nécessairement directement par des risques pour la santé des riverains.

6.2 Activité 2 : Caractérisation et hiérarchisation des sources de contaminants gazeux

6.2.1 Méthodologie

L'établissement d'un programme cohérent de lutte contre les nuisances olfactives sur site industriel nécessite un diagnostic préalable visant à une meilleure connaissance de l'importance relative des différentes sources d'émission de contaminants et composés odorants (ADEME, 2005). C'est ce qu'on appelle la hiérarchisation des sources. Cette activité de diagnostic au LET MRC Bellechasse a été réalisée en plusieurs étapes pour un examen approfondi du site en collaboration avec les différents intervenants.

Tout d'abord, une visite du site a été effectuée le 9 juillet 2015 par S. Boucher (CRIQ), N. Turgeon (CRIQ), C. Noël (MRC), D. Loranger-King (MRC) et G. Bourgeau (comité de vigilance) visant l'identification des différentes sources potentielles d'émission d'odeur sur site. Certains endroits ont été examinés : Talus sud-est de la cellule d'enfouissement CET 8, torchères passives (4), Évents (LES), front de déchets, etc. Selon les intervenants de la MRC, aucune odeur d'H₂S n'a été ressentie à proximité des infrastructures d'entreposage (bassins aérés et non aérés) et de traitement du lixiviat (biofiltres de polissage). Les constats effectués sur place lors des différentes visites du site semblent confirmer ces observations.

Le 13 août 2015, une précampagne d'échantillonnage a été effectuée par S. Boucher et N. Turgeon pour la caractérisation préliminaire des sources fixes identifiées (torchères, événements) à l'aide d'analyseurs portables (anémomètre à fil chaud (EQ-3125), analyseur de biogaz Landtech GEM5000 (EQ-3224)) pour la mesure des paramètres: Débit (Nm³/h), température (°C), pression (mm H₂O), H₂S (ppm), CH₄ (% v/v), CO₂ (% v/v), O₂ (% v/v). L'annexe F montre les photographies prises lors de cette précampagne d'échantillonnage. Les mesures ont été effectuées sur les 4 torchères (PV-6C, PV-4C, PV-2C et Événement-A) ainsi que sur quelques-uns des événements du LES.

Les résultats et observations colligés à la suite de la précampagne (annexe G) ont permis de cibler cinq sources d'émission prioritaires pour la poursuite des travaux de caractérisation le 31 août 2015. Deux de celles-ci concernent des sources fixes. Il s'agit de la torchère PV-4C pour laquelle la concentration d'H₂S mesurée dans les GE avant destruction thermique s'est avérée la plus importante (> 500 ppm) et l'événement # 60. Les trois autres points identifiés concernent des sources diffuses surfaciques soient : le bas du talus sud-est de la cellule d'enfouissement CET 8 où des odeurs d'H₂S (œuf pourri) étaient facilement perceptibles lors des différentes visites, une résurgence située plus à l'est sur le talus de la cellule CET 8 dans laquelle il était possible d'apercevoir des bulles de gaz et enfin le front de déchet de la cellule CET 3 toujours active. Un sixième point de prélèvement (CET 8-Surface 4), prélevé le 8 décembre 2015, a été ajouté afin de mieux caractériser la migration latérale des GE à travers la couche de recouvrement du talus sud-est de la cellule CET 8. Lors de cette même journée, de nouveaux échantillons ont été prélevés pour la détermination de la concentration d'odeur à la torchère PV-4C à l'aide d'une sonde de prédilution 5-K-55 avec rapport d'étalonnage CRIQ (mesures AQ/CQ) fournie par

Consumaj Experts Conseils. Cette activité (reprise d'échantillonnage) a été effectuée en raison de la concentration d'odeur très importante des gaz d'enfouissement et des risques accrus de diffusion d'odeur au travers des sacs d'échantillonnage (Nalophan™). Le tableau III et la figure 2 présentent respectivement une description ainsi que la localisation des principales sources d'émission identifiées. On peut remarquer que les points CET 8-Surface 1 et CET 8-Surface 2 sont localisés dans le secteur où WSP (2015) avait mesuré les plus hautes concentrations de méthane en surface du LET MRC Bellechasse en date du 9 mars 2015 (voir isoplèthes de concentration du méthane - annexe H). Les annexes I et J présentent les photographies prises lors des campagnes de caractérisation du 31 août 2015 et du 8 décembre 2015.

TABLEAU III DESCRIPTION DES SOURCES (POINTS DE PRÉLÈVEMENT)

NOM	TYPE DE SOURCE	DESCRIPTION
Torchères PV-4C	Fixe	Torchère passive (Coord. GPS : N 46° 43.108'; W 70° 37.039') (photo 2, annexe I)
Évent #60 (LES)	Fixe	Évent n° 60 du LES (Coord. GPS : N 46° 42.989'; W 70° 37.240') (photo 8, annexe I)
CET 8-Surface 1	Surfacique	Migration verticale des GE au travers de la couche de recouvrement du talus sud -est (Coord. GPS : N 46° 43.041'; W 70° 37.076') photo 1, annexe I)
CET 8-Surface 2	Surfacique	Migration verticale des GE au travers de la couche de recouvrement du talus sud -est (Coord. GPS : N 46° 43.080'; W 70° 37.003') photos 4-6, annexe I)
CET 3 (front de déchet)	Surfacique	Migration verticale des GE au travers de la couche de recouvrement journalier (Coord. GPS : N 46° 43.097'; W 70° 36.946') photo 7, annexe I)
CET 8- Surface 4	Surfacique	Migration verticale des GE au travers de la couche de recouvrement – du talus sud -est (Coord. GPS : N46°43.076'; W70°37.034') photo 3, annexe J)



Figure 2 Localisation des sources d'émission - LET MRC Bellechasse

La caractérisation des sources diffuses a été effectuée à l'aide de la méthode EPA/600/8-86/008 (Klenbusch, 1986) utilisant une chambre à flux dynamique (figure 3). En résumé, cette méthode consiste à déposer une chambre à flux directement sur le sol en prenant soin d'enfoncer la chambre de quelques centimètres (environ 6 cm) dans le sol pour éviter les fuites sur le pourtour (Photo 6, annexe I). Un gaz porteur (azote N₂) est injecté à un taux constant adapté à la dimension de la chambre (5 l/min). Le débit de gaz N₂ est mesuré et maintenu constant lors du prélèvement à l'aide d'un débitmètre à bille certifié (EQ-1916). Après une période de stabilisation correspondant à 3 à 5 fois le temps de résidence, un échantillon de gaz (Odeur : sac Nalophan™, TO-15 : Canister, TO-11 : Tube adsorbant, H₂S, sac Flexfoil Plus) est prélevé (débit < 4 L/min) aux fins d'analyse en laboratoire. Le taux d'émission surfacique est alors calculé selon l'équation 2 :

$$F = \frac{v \cdot C}{A} \quad (2)$$

Où : F= taux d'émission surfacique (en g/m²/s pour les contaminants H₂S et COV; en u.o./m²/s pour les odeurs);

v = débit du gaz porteur N₂ en m³/s

C = Concentration (H₂S et COV : mg/m³; Odeur : u.o./m³)

A = surface de la chambre à flux (en m²)

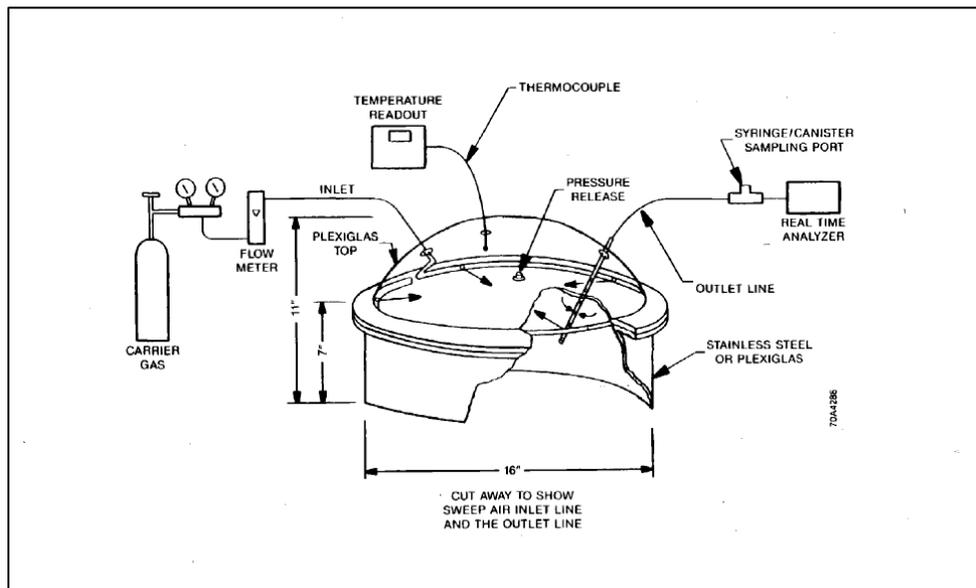


Figure 3 Diagramme simplifié d'une chambre à flux dynamique et ses périphériques (d'après EPA/600/8-86/008)

La méthode d'échantillonnage du sulfure d'hydrogène (H_2S) consiste à prélever les échantillons gazeux sur site à l'aide d'une chambre à vide (Poumon, EQ-3331) et des sacs Flexfoil PLUS® (3 litres). Par la suite, ces échantillons sont analysés en laboratoire dans un délai de 24 heures à l'aide d'un analyseur de sulfure d'hydrogène (H_2S) portable de marque JEROME®, modèle 631-X (EQ-2936). Cet appareil possède une limite de détection de 0,003 ppm à 50 ppm. Conformément aux recommandations du MDDELCC⁹, l'étalonnage de l'analyseur JEROME® 631-X a été réalisé à l'aide de trois gaz étalons dans la gamme de concentration représentative du contaminant soit le sulfure d'hydrogène (H_2S). La courbe d'étalonnage est présentée avec les rapports d'analyse. L'ajustement du zéro a été effectué avant de procéder à l'analyse des échantillons comme indiqué dans le manuel d'opération de l'appareil. Certains échantillons ont également été analysés au moyen d'un microGC-TCD de marque Agilent/490 (EQ-3348) possédant une gamme de détection plus étendue (d'environ 10 ppm à 100 % v/v).

Les prélèvements de gaz pour l'analyse des COV sont faits de façon passive dans des enceintes sous vide en acier inoxydable rendues inertes (canister). Les échantillons sont ensuite analysés par GC/MS selon la méthode TO-15 de l'EPA¹⁰. Cette méthode consiste à ponctionner 400 ml d'échantillon et de les concentrer sur une série de trappes cryogéniques spécifiques permettant d'éliminer la vapeur d'eau et le CO_2 . L'appareil qui permet d'effectuer cette opération est un préconcentrateur de type « Entech 7100A ». L'échantillon concentré est alors injecté dans un GC/MS pour séparation, identification et quantification des COV. La

⁹ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

¹⁰ Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Second Edition, Compendium Method TO-15, Determination Of Volatile Organic Compounds (VOCs) In Air Collected In, Specially-Prepared Canisters And, Analyzed By Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS), January 1999, <http://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/to-15r.pdf>.

méthode permet de quantifier plus de 65 COV. La limite de détection (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) est donnée pour chaque composé dans les rapports d'analyse de laboratoire. La précision des analyses permet d'obtenir une limite de détection de l'ordre de 0,2 ppb en moyenne. Le GC/MS utilisé est un chromatographe en phase gazeuse « 7890A » d'Agilent et un spectromètre de masse « 5975C inert XL-MSD » d'Agilent. La description détaillée de la méthode TO-15 est présentée à l'annexe K.

Les analyses des aldéhydes par la méthode TO-11A de l'EPA¹¹ ont été également réalisées sur les échantillons prélevés aux différentes sources. L'échantillonnage a été réalisé avec des tubes d'absorption spécifiques LpDNPH qui ont ensuite été désorbés à l'acétonitrile pour être injectés sur HPLC-UV. La TO-11A permet la quantification de 12 aldéhydes différents. Les prélèvements des tubes LpDNPH ont été effectués à l'aide de pompes Gilian (modèle GilAir Plus, EQ-3323-24-25) à un débit d'environ 1 l/min. Le volume pompé pour chaque échantillon est donné en litres.

La méthode TO-11A ne permet pas de séparer l'acroléine et l'acétone, c'est pour cette raison que l'acroléine a été déterminée par la méthode TO-15 décrite auparavant. La description détaillée de la méthode TO-11A est présentée à l'annexe L.

Aux fins d'analyses olfactométriques (odeurs), des échantillons gazeux ont été prélevés à l'aide d'équipements appropriés (Système de prélèvement sous vide de type poumon, sacs *Nalophan*TM de 20 litres) aux différents points de prélèvement. Les échantillons ont ensuite été acheminés au laboratoire d'évaluation olfactive *Consumaj Experts Conseils*, sis au 2550, avenue Vanier, Saint-Hyacinthe (Québec), où ils ont été analysés conformément à la norme NF EN 13725:2003¹² dans un délai inférieur à 24 heures. Lors du transport et du stockage, les échantillons ont été conservés à la température ambiante ($\sim 20\text{ }^\circ\text{C}$) et à l'abri de la lumière. Les résultats sont donnés en unité d'odeur par mètre cube d'air (u.o./Nm³).

Les travaux ont été réalisés conformément au *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* (cahier 4 : échantillonnage des émissions atmosphériques en provenance de sources fixes¹³). Les principaux éléments du programme d'assurance et de contrôle de la qualité (AQ/CQ) adopté pour valider les résultats et les moyens de contrôle mis en place dans le but de s'assurer de respecter les éléments critiques des mesures effectuées tout au long des campagnes d'échantillonnage sont :

- La préparation des dispositifs d'échantillonnage selon les exigences des méthodes utilisées;
- La numérotation et l'étiquetage adéquat des échantillons (Système d'enregistrements des échantillons CRIQ);
- Vérification des débits de prélèvements, conformément aux méthodes d'échantillonnage utilisées (chambre à flux, TO-11A);

¹¹ Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Second Edition Compendium Method TO-11A, Determination of Formaldehyde in Ambient Air Using Adsorbent Cartridge Followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [Active Sampling Methodology] January 1999, <http://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/to-11ar.pdf>.

¹² NF EN13725:2003. Qualité de l'air. Détermination de la concentration d'une odeur par olfactométrie dynamique.

¹³ http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage/emiss_atm_fixesC4.pdf.

- Les canisters utilisés pour effectuer l'échantillonnage de l'air dans différentes conditions sont réutilisables et doivent donc être adéquatement nettoyés pour éliminer toutes traces de contaminants. Le nettoyage des canisters est effectué en laboratoire (CRIQ) conformément à la méthode de référence TO-15 de l'EPA et au manuel d'instructions de l'appareil (Entech, modèle 3100A);
- Prélèvement d'un échantillon témoin (blanc de terrain ou blanc de laboratoire) pour chaque paramètre déterminé;
- Procédures d'étalonnages des équipements selon la fréquence établie (Système qualité CRIQ ISO-9001);
- Échantillonnage et analyse en triplicata (analyses sensorielles- odeurs selon méthode CEN PrEN 13725);
- Utilisation de gaz étalons certifiés non périmés (Système qualité CRIQ ISO-9001).

Le tableau IV résume les méthodes d'échantillonnage et d'analyse des contaminants (H_2S , COV) et odeurs (mesures sensorielles) pour les différentes sources d'émission identifiées.

TABLEAU IV MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE

SOURCE	DATE D'ÉCHANTILLONNAGE	MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE	PARAMÈTRE ANALYSÉ	MÉTHODE D'ANALYSE
Torchères PV4-C	2015/08/31	Poumon + sac Nalophan™ Canister Pompe + Tube LpDNPH S10L Poumon + sac Flexfoil Plus	Odeur (u.o./m ³) COV (µg/m ³) COV, aldéhydes (µg/m ³) H ₂ S (ppm)	CEN PrEN 13725 (Consumaj) TO-15, USEPA TO-11A, USEPA JEROME 631-X
	2015/12/08	Poumon + sonde de prédilution + sac Nalophan™ Poumon + sax Flexfoil Plus	Odeur (u.o./m ³) H ₂ S (ppm)	CEN PrEN 13725 (Consumaj) µGC-TCD et JEROME 631-X
Évent #60 (LES)	2015/08/31	Poumon + sac Nalophan™ Canister Pompe + Tube LpDNPH S10L Poumon + sac Flexfoil Plus	Odeur (u.o./m ³) COV (µg/m ³) COV, aldéhydes (µg/m ³) H ₂ S (ppm)	Norme CEN PrEN 13725 TO-15, USEPA TO-11A, USEPA JEROME 631-X
CET 8-Surface 1	2015/08/31	Poumon + sac Nalophan™ Canister Pompe + Tube LpDNPH S10L Poumon + sac Flexfoil Plus	Odeur (u.o./m ³) COV (µg/m ³) COV, aldéhydes (µg/m ³) H ₂ S (ppm)	Norme CEN PrEN 13725 Méthode TO-15, USEPA Méthode TO-11A, USEPA JEROME 631-X
CET 8-Surface 2	2015/08/31	Poumon + sac Nalophan™ Canister Pompe + Tube LpDNPH S10L Poumon + sac Flexfoil Plus	Odeur (u.o./m ³) COV (µg/m ³) COV, aldéhydes (µg/m ³) H ₂ S (ppm)	Norme CEN PrEN 13725 Méthode TO-15, USEPA Méthode TO-11A, USEPA JEROME 631-X
CET 3 (front de déchet)	2015/08/31	Poumon + sac Nalophan® Canister Pompe + Tube LpDNPH S10L Poumon + sac Flexfoil Plus	Odeur (u.o./m ³) COV (µg/m ³) COV, aldéhydes (µg/m ³) H ₂ S (ppm)	Norme CEN PrEN 13725 Méthode TO-15, USEPA Méthode TO-11A, USEPA JEROME 631-X
CET 8-Surface 4	2015/12/08	Poumon + sac Nalophan™ Canister Pompe + Tube LpDNPH S10L Poumon + sac Flexfoil Plus	Odeur (u.o./m ³) COV (µg/m ³) COV, aldéhydes (µg/m ³) H ₂ S (ppm)	Norme CEN PrEN 13725 Méthode TO-15, USEPA Méthode TO-11A, USEPA µGC-TCD et JEROME 631-X

6.2.2 Résultats

Le tableau V présente la compilation des résultats obtenus pour la caractérisation des différentes sources d'émissions de contaminants atmosphériques et d'odeur au le LET de la MRC de Bellechasse. Les rapports d'analyse de laboratoire sont consignés à l'annexe M. Les gaz d'enfouissement prélevés à la torchère (PV-4C) avant oxydation thermique sont caractérisés par d'importante concentration d'H₂S (~ 1 400 mg/m³), d'odeur (jusqu'à 9 343 851 u.o./m³) et environ 33 COV différents dont : hexane, cyclohexane, toluène, xylène, éthylbenzène, heptane, benzène, etc. La présence d'H₂S a été révélée dans les émissions diffuses générées par la migration verticale des gaz d'enfouissement au niveau des points de prélèvement CET 8-Surface 1 et CET 8-Surface 2. Les nombres de COV détectés dans les autres sources sont : Event #60 LES : 24; CET 8 Surface 1 : 26; CET 8-Surface 2 : 19; CET 8-Surface 4 : 4; CET 3-front de déchets : 20. Une concentration important méthyle éthyl ketone (MEK : 112 365 µg/m³) a été détectée dans les émissions du point de prélèvement CET 8-Surface 2. Ce résultat en particulier est associé à la résurgence de lixiviat contenant très probablement des résidus de produits pétroliers, solvants et autres produits chimiques (photos 4-5, annexe I). Il est à noter que parmi les 3 COV d'intérêt mentionnés par Mme Sylvie Lemieux, médecin conseil DSP et M. Simon Arbour, biol. M. Sc. du CISSS de Chaudière-Appalaches dans une lettre datée du 2 juillet 2014 (annexe N), un seul se révèle présent dans les différentes sources d'émissions du LET MRC Bellechasse échantillonnés en 2015. Il s'agit de l'acétaldéhyde. Les concentrations des deux autres COV (acroléine et acrylonitrile) se sont avérées inférieures à limite de détection de la méthode pour l'ensemble des sources étudiées. Les résultats de cette caractérisation associés aux mesures de débits ont permis de calculer les taux d'émission de chaque contaminant présent. Le calcul des taux d'émission pour chacune des sources est présenté à l'annexe O. Ces résultats ont été utilisés pour les travaux de modélisation de la dispersion atmosphérique des contaminants décrits à la section 6.3. L'annexe P présente un tableau de compilation des résultats obtenus lors des travaux d'échantillonnage (reprise) effectués le 8 décembre 2015 au LET MRC Bellechasse.

TABLEAU V CARACTÉRISATION DES SOURCES D'ÉMISSION DE CONTAMINANTS (H₂S ET COV) ET D'ODEURS AU LET DE LA MRC BELLECHASSE

Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM ¹	IDENTIFICATION DES SOURCES					
					PV-4C (torchère)	Event #60 L.E.S.	CET 8 Surface 1	CET 8 Surface 2	CET 3 (Front de déchets)	CET 8 Surface 4
N° d'échantillon CRIQ					60 521 (61840)	60 522	60 523	60 524	60 525	61 838
Coordonnées GPS					N46° 43.108' W70° 37.039'	N46° 42.989' W70° 37.240'	N46° 43.041' W70° 37.076'	N46° 43.080' W70° 37.003'	N46° 43.097' W70° 36.946'	N46°43.076' W70°37.034'
Date de prélèvement					2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-12-08
H ₂ S	7783-06-04	JEROME 631-X	µg/m ³	4	1 499 000	2789	597	486	58	<4
H ₂ S	7783-06-04	µGC-TCD	µg/m ³	~ 12 000	(1 395 000)	-	-	-	-	-
propene	115-07-1	TO-15	µg/m ³	0,6	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	67,2	2,6
freon 12	75-71-8	TO-15	µg/m ³	1,8	< LDM	237	431	< LDM	< LDM	< LDM
chloromethane	74-87-3	TO-15	µg/m ³	0,7	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	3,0	< LDM
freon 114	76-14-02	TO-15	µg/m ³	2,5	< LDM	565	250	< LDM	< LDM	< LDM
Vinyl chloride	75-01-04	TO-15	µg/m ³	0,9	2947	< LDM	454	< LDM	< LDM	< LDM
1,3 butadiene	106-99-0	TO-15	µg/m ³	0,8	< LDM	< LDM				
bromomethane	74-83-9	TO-15	µg/m ³	1,4	< LDM	< LDM				
chloroethane	75-00-3	TO-15	µg/m ³	0,9	428	822	50,3	< LDM	< LDM	< LDM
ethanol	64-17-5	TO-15	µg/m ³	1,3	0	< LDM	< LDM	1525	16,4	3,8
freon 11	75-69-04	TO-15	µg/m ³	2,0	142	194	170	< LDM	< LDM	< LDM
acrolein	107-02-8	TO-15	µg/m ³	1,6	< LDM	< LDM				
acetone	67-64-01	TO-15	µg/m ³	1,7	< LDM	< LDM	1146	38 100	202	3,5
isopropyl alcohol	67-63-0	TO-15	µg/m ³	1,8	< LDM	< LDM	< LDM	177 400	267	5,0

Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM ¹	IDENTIFICATION DES SOURCES					
					PV-4C (torchère)	Event #60 L.E.S.	CET 8 Surface 1	CET 8 Surface 2	CET 3 (Front de déchets)	CET 8 Surface 4
N° d'échantillon CRIQ					60 521 (61840)	60 522	60 523	60 524	60 525	61 838
Coordonnées GPS					N46° 43.108' W70° 37.039'	N46° 42.989' W70° 37.240'	N46° 43.041' W70° 37.076'	N46° 43.080' W70° 37.003'	N46° 43.097' W70° 36.946'	N46°43.076' W70°37.034'
Date de prélèvement					2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-12-08
1,1 dichloroethene	75-35-4	TO-15	µg/m ³	1,4	< LDM	< LDM				
freon 113	76-13-01	TO-15	µg/m ³	2,7	41	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
methylene chloride	75-09-02	TO-15	µg/m ³	1,2	874	22	169	< LDM	138	< LDM
carbon disulfide	75-15-0	TO-15	µg/m ³	1,1	71	< LDM	31,3	< LDM	10,8	< LDM
trans 1,2 dichloroethene	156-60-5	TO-15	µg/m ³	1,4	< LDM	< LDM				
methyl tert butyl ether	1634-04-4	TO-15	µg/m ³	1,3	< LDM	40	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
vinyl acetate	108-05-4	TO-15	µg/m ³	1,3	< LDM	< LDM				
1,1 dichloroethane	75-34-3	TO-15	µg/m ³	1,4	< LDM	< LDM				
methyl ethyl ketone	78-93-3	TO-15	µg/m ³	1,1	< LDM	< LDM	< LDM	112 400	157	< LDM
hexane	110-54-3	TO-15	µg/m ³	1,3	28 820	6 135	2 696	< LDM	10,7	< LDM
cis 1,2 dichloroethene	156-59-2	TO-15	µg/m ³	1,4	1283	< LDM	151	< LDM	< LDM	< LDM
ethyl acetate	141-78-6	TO-15	µg/m ³	1,3	< LDM	< LDM				
chloroforme	67-66-3	TO-15	µg/m ³	1,7	< LDM	< LDM				
tetrahydrofuran	109-99-9	TO-15	µg/m ³	1,1	< LDM	< LDM	< LDM	1 972	6,9	< LDM
1,1,1 trichloroethane	71-55-6	TO-15	µg/m ³	1,9	87	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
1,2 dichloroethane	107-06-2	TO-15	µg/m ³	1,4	< LDM	< LDM				
benzene	71-43-2	TO-15	µg/m ³	1,1	7 774	416	431	< LDM	< LDM	< LDM

Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM ¹	IDENTIFICATION DES SOURCES					
					PV-4C (torchère)	Event #60 L.E.S.	CET 8 Surface 1	CET 8 Surface 2	CET 3 (Front de déchets)	CET 8 Surface 4
N° d'échantillon CRIQ					60 521 (61840)	60 522	60 523	60 524	60 525	61 838
Coordonnées GPS					N46° 43.108' W70° 37.039'	N46° 42.989' W70° 37.240'	N46° 43.041' W70° 37.076'	N46° 43.080' W70° 37.003'	N46° 43.097' W70° 36.946'	N46°43.076' W70°37.034'
Date de prélèvement					2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-12-08
carbon tetrachloride	56-23-5	TO-15	µg/m ³	2,2	< LDM	< LDM				
cyclohexane	110-82-7	TO-15	µg/m ³	1,2	34 960	4 966	2 831	< LDM	12,0	< LDM
heptane	142-82-5	TO-15	µg/m ³	1,5	17 920	7 422	4 314	< LDM	20,1	< LDM
trichloroethylene	79-01-06	TO-15	µg/m ³	1,9	1 158	< LDM	380	< LDM	< LDM	< LDM
1,2 dichloropropane	78-87-5	TO-15	µg/m ³	1,6	< LDM	< LDM				
methylmetacrylate	80-62-6	TO-15	µg/m ³	1,5	< LDM	49	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
1,4 dioxane	123-91-1	TO-15	µg/m ³	2,6	< LDM	< LDM				
bromodichloromethane	75-27-4	TO-15	µg/m ³	2,4	6	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
methyl isobutyl ketone	108-10-1	TO-15	µg/m ³	1,5	889	< LDM	201	481	< LDM	< LDM
cis 1,3 dichloropropene	10061-02-6	TO-15	µg/m ³	1,6	< LDM	< LDM				
trans 1,3 dichloropropene	10061-01-5	TO-15	µg/m ³	1,6	< LDM	< LDM				
toluene	108-88-3	TO-15	µg/m ³	1,3	26 930	2 806	11 430	1 764	33,9	< LDM
1,1,2 trichloroethane	79-00-5	TO-15	µg/m ³	1,9	< LDM	< LDM				
methyl butyl ketone	591-78-6	TO-15	µg/m ³	1,5	< LDM	< LDM				
dibromochloromethane	124-48-1	TO-15	µg/m ³	3,0	< LDM	< LDM				
tetrachloroethylene	127-18-4	TO-15	µg/m ³	2,4	1 215	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM

Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM ¹	IDENTIFICATION DES SOURCES					
					PV-4C (torchère)	Event #60 L.E.S.	CET 8 Surface 1	CET 8 Surface 2	CET 3 (Front de déchets)	CET 8 Surface 4
N° d'échantillon CRIQ					60 521 (61840)	60 522	60 523	60 524	60 525	61 838
Coordonnées GPS					N46° 43.108' W70° 37.039'	N46° 42.989' W70° 37.240'	N46° 43.041' W70° 37.076'	N46° 43.080' W70° 37.003'	N46° 43.097' W70° 36.946'	N46°43.076' W70°37.034'
Date de prélèvement					2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-12-08
1,2 dibromoethane	106-93-4	TO-15	µg/m ³	2,7	< LDM	< LDM				
chlorobenzene	108-90-7	TO-15	µg/m ³	1,6	< LDM	541	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
ethylbenzene	100-41-4	TO-15	µg/m ³	1,5	11 640	1 779	3 735	250	8,7	< LDM
m et p-xylene	108-38-3 106-42-3	TO-15	µg/m ³	1,5	24 970	1 929	8 146	552	23,9	< LDM
p-xylene	106-42-3	TO-15	µg/m ³	1,5	9 427	791	2 670	146	8,9	< LDM
styrene	100-42-5	TO-15	µg/m ³	1,5	< LDM	< LDM				
o-xylene	95-47-6	TO-15	µg/m ³	1,5	24 740	408	1 217	201	6,8	< LDM
bromoforme	75-25-2	TO-15	µg/m ³	3,7	< LDM	< LDM				
1,1,2,2 tetrachloroethane	79-34-5	TO-15	µg/m ³	2,4	< LDM	< LDM				
4 ethyltoluene	622-96-8	TO-15	µg/m ³	1,8	1 759	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
1,2,4 trimethylbenzene	95-63-6	TO-15	µg/m ³	1,8	2 390	100	160	< LDM	< LDM	< LDM
1,3,5 trimethylbenzene	108-67-8	TO-15	µg/m ³	1,8	6 962	67	294,1	< LDM	< LDM	< LDM
1,3 dichlorobenzene	541-73-1	TO-15	µg/m ³	2,1	< LDM	< LDM				
benzylchloride	100-44-7	TO-15	µg/m ³	1,8	< LDM	< LDM				
1,4 dichlorobenzene	106-46-7	TO-15	µg/m ³	2,2	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	39,3	< LDM
1,2 dichlorobenzene	95-50-1	TO-15	µg/m ³	2,1	< LDM	< LDM				

Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM ¹	IDENTIFICATION DES SOURCES					
					PV-4C (torchère)	Event #60 L.E.S.	CET 8 Surface 1	CET 8 Surface 2	CET 3 (Front de déchets)	CET 8 Surface 4
N° d'échantillon CRIQ					60 521 (61840)	60 522	60 523	60 524	60 525	61 838
Coordonnées GPS					N46° 43.108' W70° 37.039'	N46° 42.989' W70° 37.240'	N46° 43.041' W70° 37.076'	N46° 43.080' W70° 37.003'	N46° 43.097' W70° 36.946'	N46°43.076' W70°37.034'
Date de prélèvement					2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-12-08
1,2,4 trichlorobenzene	120-82-1	TO-15	µg/m ³	5,3	< LDM	< LDM				
naphtalene	91-20-3	TO-15	µg/m ³	3,7	3 061	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM
hexachloro 1,3 butadiene	87-68-3	TO-15	µg/m ³	3,8	< LDM	< LDM				
Acrylonitrile	107-13-1	TO-15	µg/m ³	6,5	< LDM	< LDM				
Formaldehyde	50-00-0	TO-11A	µg/m ³	1,2	< LDM	3	0,5	< LDM	0,7	-
Acetaldehyde	75-07-0	TO-11A	µg/m ³	0,8	2	2	1,2	6,7	1,2	-
Propionaldehyde	123-38-6	TO-11A	µg/m ³	0,6	2	1	< LDM	5	< LDM	-
Crotonaldehyde	4170-30-3	TO-11A	µg/m ³	0,5	< LDM	-				
Butyraldehyde	123-72-8	TO-11A	µg/m ³	0,5	< LDM	< LDM	< LDM	3,3	< LDM	-
Benzaldehyde	100-52-7	TO-11A	µg/m ³	0,3	2	3	3,3	2,5	< LDM	-
Isovaleraldehyde	590-86-3	TO-11A	µg/m ³	0,4	136	2	67,3	61,8	< LDM	-
Valeraldehyde	110-62-3	TO-11A	µg/m ³	0,4	< LDM	< LDM	< LDM	1,1	< LDM	-
O-Tolualdehyde	529-20-4	TO-11A	µg/m ³	0,3	11	< LDM	< LDM	1,0	< LDM	-
M, P-Tolualdehyde	104-87-0	TO-11A	µg/m ³	0,3	< LDM	-				
Hexaldehyde	66-25-1	TO-11A	µg/m ³	0,3	1	< LDM	< LDM	1,1	< LDM	-
2,5 Dimethylbenzaldehyde	610-72-0	TO-11A	µg/m ³	0,3	4	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-

					IDENTIFICATION DES SOURCES					
Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM ¹	PV-4C (torchère)	Event #60 L.E.S.	CET 8 Surface 1	CET 8 Surface 2	CET 3 (Front de déchets)	CET 8 Surface 4
N° d'échantillon CRIQ					60 521 (61840)	60 522	60 523	60 524	60 525	61 838
Coordonnées GPS					N46° 43.108' W70° 37.039'	N46° 42.989' W70° 37.240'	N46° 43.041' W70° 37.076'	N46° 43.080' W70° 37.003'	N46° 43.097' W70° 36.946'	N46°43.076' W70°37.034'
Date de prélèvement					2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-08-31	2015-12-08
Odeur	EN13725		u.o./m ³	-	(9 343 851)	26 962	234 061	28 775	59 662	357

(2015-12-08) : Reprise d'échantillonnage

1 : LDM : Limite de détection de la méthode. Pour la méthode TO-11A, la LDM est calculée pour un échantillonnage de 100 litres gazeux à 25 °C dans les cartouches LpDNPH S10L (1 ml / 350 mg) SUPELCO

6.3 Activité 3 : Modélisation de la dispersion atmosphérique (odeurs et autres contaminants)

6.3.1 Méthodologie

La modélisation de la dispersion des contaminants atmosphériques et odeurs constitue un outil incontournable pour l'évaluation de l'impact des sources émettrices dans l'environnement. L'intégration de la modélisation dans le cadre de cette étude permet, à l'intérieur de ses limites, d'identifier les zones potentiellement plus exposées. Chacune des sources identifiées à l'activité 2 a fait l'objet d'une étude de modélisation de la dispersion. Cette activité a été réalisée par la firme spécialisée CONSUMAJ EXPERTS CONSEILS de Saint-Hyacinthe. Les travaux visaient notamment à identifier des scénarios critiques d'émission en environnement et cibler ainsi les zones et récepteurs (résidences) plus sensibles par rapport à la problématique des odeurs et autres contaminants gazeux (COV, H₂S).

La dispersion atmosphérique permet de calculer pour le voisinage, les impacts potentiels des émissions d'odeurs d'une ou des sources caractérisées sur un site. Lors de la dispersion, les odeurs et autres contaminants sont dilués dans l'atmosphère. La concentration d'un effluent à la source est donc bien supérieure à celle observée aux points récepteurs (riverains). Les modèles utilisés intègrent les caractéristiques de toutes les sources d'un site (taux d'émission, hauteur de la source, vitesse d'éjection, dimensions des bâtiments, etc.), du milieu récepteur ainsi que des données météorologiques historiques pour en arriver à calculer les concentrations en air ambiant à de multiples points géographiques donnés. Ce type d'étude permet également d'évaluer la contribution de plusieurs sources sur l'impact hors site ou d'étudier la sensibilité de certains facteurs.

Tout d'abord, une collecte d'informations concernant notamment les données d'émissions, les caractéristiques physiques des sources et des bâtiments adjacents, la localisation des sites d'émission et autres a été effectuée. Par la suite, une étude d'impact a été réalisée afin de quantifier les niveaux d'odeur et autres contaminants hors site pour l'ensemble des sources identifiées. La modélisation utilisée est basée sur les exigences du MDDELCC pour ce type d'étude (Guide de la modélisation de la dispersion atmosphérique). Le modèle AERMOD¹⁴ en mode réglementaire avec considération de la topographie et de l'influence des bâtiments a été employé pour une élévation unique de 1,5 mètre (hauteur moyenne du système respiratoire chez l'humain). La méthodologie détaillée pour cette étude est présentée dans les rapports Consumaj Experts Conseils consignés à l'annexe Q.

6.3.2 Résultats

Les résultats détaillés de l'étude de modélisation de la dispersion atmosphérique de contaminants et odeur pour le LET de la MRC de Bellechasse à Armagh sont présentés dans les rapports Consumaj Expert Conseils (Annexe Q). Précisons que les modélisations ont été effectuées à partir de deux (2) séries données météorologiques : station de Notre-Dame-du-Rosaire (MDDELCC) et station locale du LET MRC Bellechasse). Puisque la modélisation utilisant les données de la station météorologique locale montre des impacts au voisinage plus

¹⁴ AERMOD est un logiciel de modélisation de la dispersion atmosphérique des contaminants développé par AERMIC (American Meteorological Society (AMS)/United States Environmental Protection Agency (EPA) Regulatory Model Improvement Committee).

importants, les résultats de ce rapport devraient être considérés en priorité (principe de précaution).

En résumé, les travaux ont porté sur des odeurs ainsi que 48 contaminants émis par neuf (9) sources identifiées et caractérisées sur le site du LET MRC Bellechasse (section 6.2). Il s'agit de cinq (5) sources fixes (4 torchères passives du LET ainsi que les 29 événements du LES considérés par souci de simplification comme une source unique combinée) ainsi que de quatre (4) sources surfaciques dont trois (3) sont localisées au niveau du talus sud-est du LET (cellule CET 8) et une au niveau du front de déchet de la cellule active CET 3. Les sources surfaciques sont susceptibles de générer des émissions diffuses par la migration verticale des gaz d'enfouissement au travers de la couche de recouvrement des déchets. Les torchères sont susceptibles d'émettre des contaminants (COV et H₂S) ainsi que les odeurs si elles ne sont pas en fonction.

Selon les résultats obtenus et considérant les limites de la modélisation de la dispersion atmosphérique, les conclusions suivantes peuvent être établies pour le site du LET MRC Bellechasse :

- Sauf pour le sulfure d'hydrogène, les concentrations au sol de tous les contaminants émis par les neuf (9) sources d'émissions du site d'enfouissement d'Armagh, additionnées aux concentrations initiales de chacun des contaminants retrouvés dans l'air ambiant, respectent les normes gouvernementales selon le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère du RAA et respectent les critères de qualité de l'air présentés au document normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère du MDDELCC.
- Les concentrations au sol du sulfure d'hydrogène au temps d'exposition de 4 minutes dépassent la norme permise par le RAA à l'extérieur de la propriété où est situé le site d'enfouissement.
- Le site d'enfouissement dégage au sol chez les résidences voisines les plus rapprochées des concentrations d'odeurs pouvant atteindre 10 u.o./m³ au percentile 98.

6.4 Activité 4 : Caractérisation de la qualité de l'air ambiant aux environs du site (LET MRC Bellechasse)

6.4.1 Méthodologie

Ces travaux supplémentaires visaient à caractériser de manière directe, précise et instantanée les niveaux de contaminants auxquels sont exposés certains riverains du LET MRC Bellechasse lors d'un épisode d'odeur par rapport aux normes de qualité de l'atmosphère (annexe K du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère [RAA]). Pour ce faire, il avait été proposé de mettre à contribution la MRC et jusqu'à trois riverains identifiés comme étant des récepteurs sensibles en fournissant le matériel de prélèvement (2 canisters/endroit) ainsi qu'une procédure d'échantillonnage simplifiée. Une demande de participations a été envoyée aux riverains identifiés (courriel de M. Loranger-King daté 12 janvier 2016). N'ayant reçu aucune réponse positive, les représentants de la MRC de Bellechasse ont décidé de procéder eux-mêmes aux prélèvements des échantillons d'air ambiant sur, et en périphérie du site en tenant compte des conditions météorologiques favorables au transport des contaminants émis par le LET MRC Bellechasse vers les résidences à proximité sur le 1^{er} Rang Nord-Est.

La campagne d'échantillonnage pour la caractérisation de la qualité de l'air ambiant a été réalisée le 29 janvier 2016 (8 h 30 à 10 h) par Stéphane Boucher (technicien CRIQ), en collaboration avec David Loranger King et Serge Fournier (MRC de Bellechasse) à l'aide de canisters. L'annexe R présente des photographies prises lors des travaux d'échantillonnage sur site. Le tableau VI ainsi que la figure 4 décrivent en détail la localisation des points où ont été effectués les prélèvements d'air ambiant (échantillonnage instantané). Les données météorologiques mesurées par la station du LET MRC Bellechasse sont consignées à l'annexe S. En résumé, la température moyenne lors de la campagne d'échantillonnage était de -3,9 °C, vents faibles de 3,8 km/h venant de l'est avec de faibles précipitations de neige. La zone A (Sur site-LET) a été choisie en raison de l'odeur d'H₂S facilement perceptible au moment de l'échantillonnage. Les zones B et C sont situées à proximité des résidences situées sur le 1^{er} Rang Nord-est et considérées comme des récepteurs sensibles susceptibles d'être impactés par les contaminants et odeurs émis par le LET MRC Bellechasse en fonction de certaines conditions météorologiques particulières (faibles vents provenant de l'est ou du nord-est, tôt le matin, en période hivernale, etc.). La zone D correspond à un point de prélèvement dont la qualité de l'air n'est pas, en principe, influencée par le LET MRC Bellechasse au moment du prélèvement, car situé en amont du site par rapport aux vents. L'annexe T présente les notes prises par D. Loranger-King lors de cette campagne d'échantillonnage. À noter que l'inspection de routine effectuée par le personnel du LET MRC Bellechasse le matin du 29 janvier 2016 confirme que les torchères étaient en fonction à ce moment. Une flamme plus faible qu'à l'habitude a cependant été notée au niveau de la torchère n° 4.

**TABLEAU VI DESCRIPTION ET LOCALISATION DES SITES
D'ÉCHANTILLONNAGE (AIR AMBIANT)**

NOM	COORDONNÉES GPS	DESCRIPTION
Sur site - LET (Zone A)	N 46° 43,044' W 70° 37,094'	Chemin ouest du LET, au coin du talus sud-est (photo 6, annexe R)
Aval 1 (Zone B)	N 46° 42,907' W 70° 37,757'	Aux abords du 1 ^{er} Rang Nord-Est, en face des nos civiques 65-69 (photo 4, annexe R)
Aval 2 (Zone C)	N 46° 43,193' W 70° 38,157'	Aux abords du 1 ^{er} Rang Nord-Est, en face du no civique 160 (photo 3, annexe R)
Amont (Zone D)	N 46° 42,962' W 70° 36,725'	Piste de motoneiges (photo 1, annexe R)

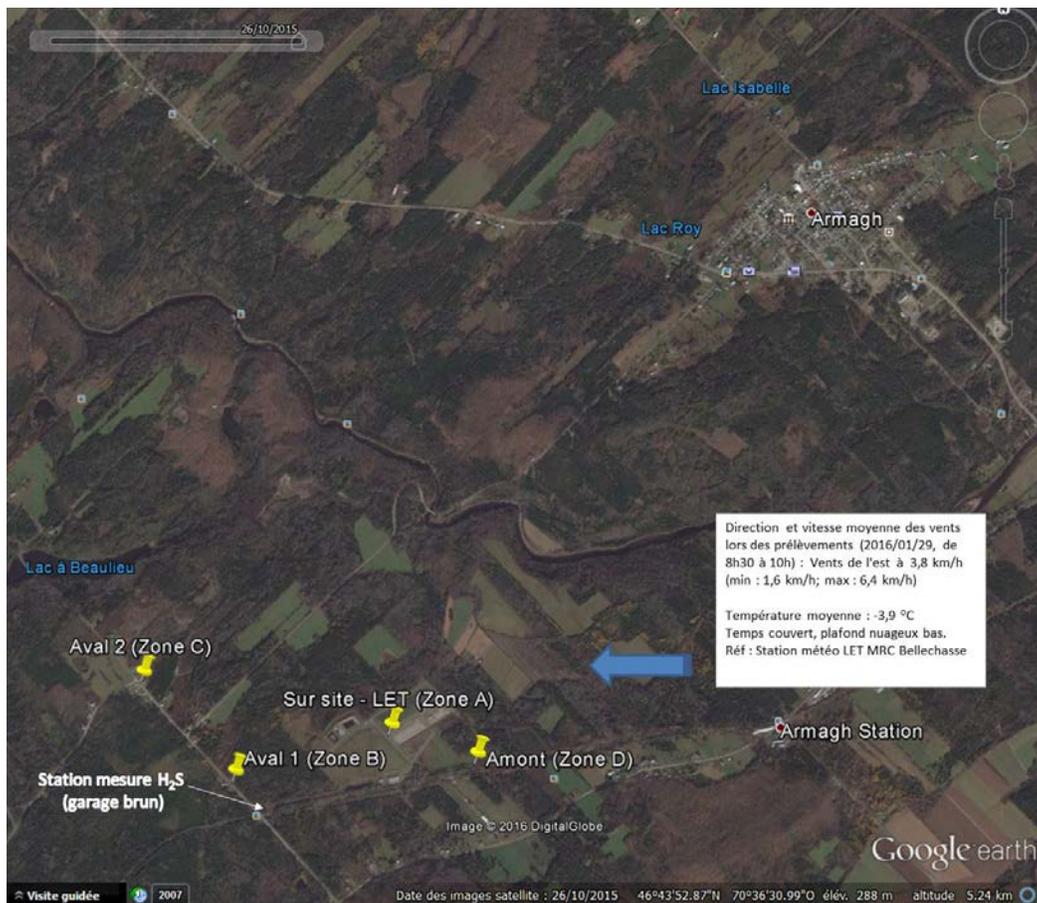


Figure 4 Localisation des points d'échantillonnage pour la caractérisation de la qualité de l'air ambiant au LET MRC Bellechasse (2016/01/29)

Une fois prélevés, les échantillons (canisters) ont été acheminés au laboratoire du CRIQ aux fins d'analyse (dans un délai de trois jours) des composés organiques volatils (COV- méthode TO-15 incluant les composés, acétaldéhyde, acroléine et acrylonitrile) et du sulfure d'hydrogène (H₂S-analyseur JEROME 631-X, EQ-2936). Les limites de détection de ces méthodes (LDM) sont indiquées sur les rapports d'analyse fournis en annexe U, ainsi que dans les tableaux de compilation des résultats.

6.4.2 Résultats

Les résultats des analyses chimiques (COV et H₂S) effectués sur les échantillons d'air ambiant prélevés de manière instantanée le 29 janvier 2016 sont compilés dans le tableau VII. Ce dernier montre également les résultats des analyses chimiques (COV et H₂S) et sensorielles (odeurs) obtenus à partir des prélèvements d'air ambiant effectués les 31 août et 8 décembre 2015. Ces deux échantillons ont été prélevés à titre indicatif pour déterminer la concentration initiale en air ambiant (en amont du site par rapport à la direction des vents) à proximité du LET MRC Bellechasse lors des prélèvements à la source.

Parmi les 67 COV analysés selon la méthode TO-15, 11 ont été détectés en amont du site (zone D), 14 en aval 1 (zone B), 6 en aval 2 (zone C) et 11 sur site-LET (zone A). Aucun dépassement des normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère (Valeur limite : VL 4 minutes) n'a été observé pour les prélèvements effectués à l'extérieur des limites de propriété du LET MRC Bellechasse (Amont zone D; Aval 1 zone B et Aval 2 zone C). En ce qui concerne les trois (3) COV (acrylonitrile, acétaldéhyde et acroléine) qui avaient été mesurés dans l'air ambiant au voisinage du LET en 2012 et 2014 par le MDDELCC, tous les résultats obtenus sont inférieurs aux limites de détection des méthodes (LDM). Deux composés (1,3 butadiène et 1,4 dioxane) associés à la présence de produits pétroliers (véhicules routiers ou autres) montrent des valeurs supérieures aux critères (VL 1 an), et ce, autant en amont qu'en aval du site. Toutefois, il est important de mentionner que les résultats obtenus en air ambiant sont très près de la limite de détection de la méthode. Par ailleurs, les résultats des analyses (tableau V) révèlent que ces composés n'ont pas été détectés aux différentes sources échantillonnées au LET MRC Bellechasse en 2015.

En ce qui concerne le H₂S, tous les prélèvements effectués à l'extérieur des limites de propriété du LET MRC Bellechasse (amont zone D; aval 1 zone B; et aval 2 zone C) sont inférieurs à la limite de détection de l'équipement utilisé (4 µg/m³). Ce résultat est conséquent avec certaines observations olfactives répertoriées à l'annexe T (aucune odeur pour les points : Aval 1 zone B et Aval 2 zone C). Le prélèvement effectué sur site – LET (zone A) montre une concentration de 61 µg/m³. À titre indicatif, ce résultat est environ dix fois supérieur à la norme de la qualité de l'atmosphère (VL 4 minutes H₂S : 6 µg/m³) et 230 fois inférieur à la valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP : 14 mg/m³) du RSST¹⁵. Il est important aussi de rappeler que ce prélèvement a été effectué à proximité du talus sud-ouest du LET, là où des odeurs d'H₂S (œufs pourris) étaient perceptibles au moment de l'échantillonnage (odeur de niveau 2-4 selon D. Loranger-King, annexe T). Tous les autres COV détectés sur cet échantillon prélevé sur site sont inférieurs aux valeurs limites de la qualité de l'atmosphère du RAA (VL 4 minutes).

¹⁵ http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/S_2_1/S2_1R13.HTM.

TABLEAU VII CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR AMBIANT (H₂S ET COV) EN DATE DU 29/01/2016 (LET MRC BELLECHASSE)

Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM ¹	MESURES EN AIR AMBIANT					NORMES ET CRITÈRES QUÉBÉCOIS DE LA QUALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE ²		
					Station mesure H ₂ S (garage brun)	Amont (Zone D)	Aval 1 (Zone B)	Aval 2 (Zone C)	Sur site - LET (Zone A)	Date de rév.	Type de valeur de réf.	Valeur limite VL
No échantillon CRIQ					60 566	62 199	62 195	62 197	62 193			
Coordonnées GPS					N 46° 47,676' W 71° 8,631'	N 46° 42, 962' W 70° 36,725'	N 46° 42,907' W 70° 37,757'	N 46° 43,193' W 70° 38,157'	N 46° 43, 044' W 70° 37,094'			
Date de prélèvement					2015-08-31 (2015-12-08)*	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29			
H ₂ S	7783-06-04	JEROME 631-X	(µg/m ³)	4	<4	<4	<4	<4	61	2011	Norme	6
propene	115-07-1	TO-15	(µg/m ³)	0,6	4,9	2,1	1,7	1,3	2,1	2009	Critère	-
freon 12	75-71-8	TO-15	(µg/m ³)	1,8	< LDM	2,5	3,1	2,5	2,9	-	-	-
chloromethane	74-87-3	TO-15	(µg/m ³)	0,7	< LDM	1,1	1,2	1,2	1,1	2013	Critère	4,4
freon 114	76-14-02	TO-15	(µg/m ³)	2,5	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
Vinyl chloride	75-01-04	TO-15	(µg/m ³)	0,9	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	-
1,3 butadiène	106-99-0	TO-15	(µg/m ³)	0,8	< LDM	0,9	0,9	< LDM	0,8	2009	Critère	0,3
bromomethane	74-83-9	TO-15	(µg/m ³)	1,4	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	5
chloroethane	75-00-3	TO-15	(µg/m ³)	0,9	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	10 900
ethanol	64-17-5	TO-15	(µg/m ³)	1,3	23,2	198,4	197,0	51,2	120,7	2011	Norme	340
freon 11	75-69-04	TO-15	(µg/m ³)	2,0	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
acrolein	107-02-8	TO-15	(µg/m ³)	1,6	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
acetone	67-64-01	TO-15	(µg/m ³)	1,7	34,7	12,2	23,3	7,4	11,3	2011	Norme	8600

					MESURES EN AIR AMBIANT					NORMES ET CRITÈRES QUÉBÉCOIS DE LA QUALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE ²		
Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM ¹	Station mesure H ₂ S (garage brun)	Amont (Zone D)	Aval 1 (Zone B)	Aval 2 (Zone C)	Sur site - LET (Zone A)	Date de rév.	Type de valeur de réf.	Valeur limite VL
No échantillon CRIQ					60 566	62 199	62 195	62 197	62 193			
Coordonnées GPS					N 46° 47,676' W 71° 8,631'	N 46° 42, 962' W 70° 36,725'	N 46° 42,907' W 70° 37,757'	N 46° 43,193' W 70° 38,157'	N 46° 43, 044' W 70° 37,094'			
Date de prélèvement					2015-08-31 (2015-12-08)*	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29			
isopropyl alcohol	67-63-0	TO-15	(µg/m ³)	1,8	< LDM	224,0	207,9	38,3	171,3	2011	Norme	7800
1,1 dichloroethene	75-35-4	TO-15	(µg/m ³)	1,4	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
freon 113	76-13-01	TO-15	(µg/m ³)	2,7	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
methylene chloride	75-09-02	TO-15	(µg/m ³)	1,2	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
carbon disulfide	75-15-0	TO-15	(µg/m ³)	1,1	< LDM	< LDM	2,8	< LDM	< LDM	2011	Norme	25
trans 1,2 dichloroethene	156-60-5	TO-15	(µg/m ³)	1,4	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Critère	336
methyl tert butyl ether	1634-04-4	TO-15	(µg/m ³)	1,3	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
vinyl acetate	108-05-4	TO-15	(µg/m ³)	1,3	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	400
1,1 dichloroethane	75-34-3	TO-15	(µg/m ³)	1,4	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2013	Critère	4500
methyl ethyl ketone	78-93-3	TO-15	(µg/m ³)	1,1	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	740
hexane	110-54-3	TO-15	(µg/m ³)	1,3	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	5300
cis 1,2 dichloroethene	156-59-2	TO-15	(µg/m ³)	1,4	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	336
ethyl acetate	141-78-6	TO-15	(µg/m ³)	1,3	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2013	Norme	20
chloroforme	67-66-3	TO-15	(µg/m ³)	1,7	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Critère	0,2
tetrahydrofuran	109-99-9	TO-15	(µg/m ³)	1,1	< LDM	< LDM	1,4	< LDM	< LDM	2014	Norme	-

Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM'	MESURES EN AIR AMBIANT					NORMES ET CRITÈRES QUÉBÉCOIS DE LA QUALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE ²		
					Station mesure H ₂ S (garage brun)	Amont (Zone D)	Aval 1 (Zone B)	Aval 2 (Zone C)	Sur site - LET (Zone A)	Date de rév.	Type de valeur de réf.	Valeur limite VL
No échantillon CRIQ					60 566	62 199	62 195	62 197	62 193			
Coordonnées GPS					N 46° 47,676' W 71° 8,631'	N 46° 42, 962' W 70° 36,725'	N 46° 42,907' W 70° 37,757'	N 46° 43,193' W 70° 38,157'	N 46° 43, 044' W 70° 37,094'			
Date de prélèvement					2015-08-31 (2015-12-08)*	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29			
1,1,1 trichloroethane	71-55-6	TO-15	(µg/m ³)	1,9	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
1,2 dichloroethane	107-06-2	TO-15	(µg/m ³)	1,4	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Critère	0,1
benzene	71-43-2	TO-15	(µg/m ³)	1,1	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	-
carbon tetrachloride	56-23-5	TO-15	(µg/m ³)	2,2	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	1
cyclohexane	110-82-7	TO-15	(µg/m ³)	1,2	< LDM	2,4	2,6	< LDM	2,9	2014	Critère	1435
heptane	142-82-5	TO-15	(µg/m ³)	1,5	< LDM	1,7	1,9	< LDM	2,1	2012	Critère	2740
trichloroethylene	79-01-06	TO-15	(µg/m ³)	1,9	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	-
1,2 dichloropropane	78-87-5	TO-15	(µg/m ³)	1,6	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	4
methylmetacrylate	80-62-6	TO-15	(µg/m ³)	1,5	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	200
1,4 dioxane	123-91-1	TO-15	(µg/m ³)	2,6	< LDM	2,7	4,8	< LDM	< LDM	2014	Critère	0,8
Bromodichloromethane	75-27-4	TO-15	(µg/m ³)	2,4	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Critère	-
methyl isobutyl ketone	108-10-1	TO-15	(µg/m ³)	1,5	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	400
cis 1,3 dichloropropene	10061-02-6	TO-15	(µg/m ³)	1,6	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
trans 1,3 dichloropropene	10061-01-5	TO-15	(µg/m ³)	1,6	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
toluene	108-88-3	TO-15	(µg/m ³)	1,3	< LDM	1,5	4,1	< LDM	1,7	2011	Norme	600

Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM'	MESURES EN AIR AMBIANT					NORMES ET CRITÈRES QUÉBÉCOIS DE LA QUALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE ²		
					Station mesure H ₂ S (garage brun)	Amont (Zone D)	Aval 1 (Zone B)	Aval 2 (Zone C)	Sur site - LET (Zone A)	Date de rév.	Type de valeur de réf.	Valeur limite VL
No échantillon CRIQ					60 566	62 199	62 195	62 197	62 193			
Coordonnées GPS					N 46° 47,676' W 71° 8,631'	N 46° 42, 962' W 70° 36,725'	N 46° 42,907' W 70° 37,757'	N 46° 43,193' W 70° 38,157'	N 46° 43, 044' W 70° 37,094'			
Date de prélèvement					2015-08-31 (2015-12-08)*	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29			
1,1,2 trichloroethane	79-00-5	TO-15	(µg/m ³)	1,9	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	0,1
methyl butyl ketone	591-78-6	TO-15	(µg/m ³)	1,5	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Critère	100
dibromochloromethane	124-48-1	TO-15	(µg/m ³)	3,0	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2009	Critère	8,5
tetrachloroethylene	127-18-4	TO-15	(µg/m ³)	2,4	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	-
1,2 dibromoethane	106-93-4	TO-15	(µg/m ³)	2,7	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	0
chlorobenzene	108-90-7	TO-15	(µg/m ³)	1,6	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	-
ethylbenzene	100-41-4	TO-15	(µg/m ³)	1,5	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	740
m et p-xylene	108-38-3 106-42-3	TO-15	(µg/m ³)	1,5	< LDM	< LDM	1,8	< LDM	< LDM	2011	Norme	350
p-xylene	106-42-3	TO-15	(µg/m ³)	1,5	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	350
styrene	100-42-5	TO-15	(µg/m ³)	1,5	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2013	Norme	150
o-xylene	95-47-6	TO-15	(µg/m ³)	1,5	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	350
bromoforme	75-25-2	TO-15	(µg/m ³)	3,7	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	0,5
1,1,2,2 tetrachloroethane	79-34-5	TO-15	(µg/m ³)	2,4	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	0,1
4 ethyltoluene	622-96-8	TO-15	(µg/m ³)	1,8	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-

					MESURES EN AIR AMBIANT					NORMES ET CRITÈRES QUÉBÉCOIS DE LA QUALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE ²		
Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM ¹	Station mesure H ₂ S (garage brun)	Amont (Zone D)	Aval 1 (Zone B)	Aval 2 (Zone C)	Sur site - LET (Zone A)	Date de rév.	Type de valeur de réf.	Valeur limite VL
No échantillon CRIQ					60 566	62 199	62 195	62 197	62 193			
Coordonnées GPS					N 46° 47,676' W 71° 8,631'	N 46° 42, 962' W 70° 36,725'	N 46° 42,907' W 70° 37,757'	N 46° 43,193' W 70° 38,157'	N 46° 43, 044' W 70° 37,094'			
Date de prélèvement					2015-08-31 (2015-12-08)*	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29			
1,2,4 triméthylbenzène	95-63-6	TO-15	(µg/m ³)	1,8	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2009	Critère	590
1,3,5 triméthylbenzène	108-67-8	TO-15	(µg/m ³)	1,8	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2009	Critère	590
1,3 dichlorobenzène	541-73-1	TO-15	(µg/m ³)	2,1	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2012	Critère	170
benzylchlorure	100-44-7	TO-15	(µg/m ³)	1,8	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
1,4 dichlorobenzène	106-46-7	TO-15	(µg/m ³)	2,2	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	730
1,2 dichlorobenzène	95-50-1	TO-15	(µg/m ³)	2,1	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	4200
1,2,4 trichlorobenzène	120-82-1	TO-15	(µg/m ³)	5,3	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2009	Critère	1,0
naphtalène	91-20-3	TO-15	(µg/m ³)	3,7	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	200
hexachloro 1,3 butadiène	87-68-3	TO-15	(µg/m ³)	3,8	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	-	-	-
Acrylonitrile	107-13-1	TO-15	(µg/m ³)	6,5	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	2011	Norme	12
Formaldéhyde	50-00-0	TO-11A	(µg/m ³)	1,2	1,6	-	-	-	-	2011	Norme	-
Acétaldéhyde	75-07-0	TO-11A	(µg/m ³)	0,8	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	-	-	-
Propionaldéhyde	123-38-6	TO-11A	(µg/m ³)	0,6	< LDM	-	-	-	-	-	-	-
Crotonaldéhyde	4170-30-3	TO-11A	(µg/m ³)	0,5	< LDM	-	-	-	-	-	-	-
Butyraldéhyde	123-72-8	TO-11A	(µg/m ³)	0,5	< LDM	-	-	-	-	-	-	-

					MESURES EN AIR AMBIANT					NORMES ET CRITÈRES QUÉBÉCOIS DE LA QUALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE ²		
Paramètres	# CAS	Méthode	Unité	LDM ¹	Station mesure H ₂ S (garage brun)	Amont (Zone D)	Aval 1 (Zone B)	Aval 2 (Zone C)	Sur site - LET (Zone A)	Date de rév.	Type de valeur de réf.	Valeur limite VL
No échantillon CRIQ					60 566	62 199	62 195	62 197	62 193			
Coordonnées GPS					N 46° 47,676' W 71° 8,631'	N 46° 42, 962' W 70° 36,725'	N 46° 42,907' W 70° 37,757'	N 46° 43,193' W 70° 38,157'	N 46° 43, 044' W 70° 37,094'			
Date de prélèvement					2015-08-31 (2015-12-08)*	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29	2016-01-29			
Benzaldehyde	100-52-7	TO-11A	(µg/m ³)	0,3	8,3	-	-	-	-	2011	Norme	200
Isovaleraldehyde	590-86-3	TO-11A	(µg/m ³)	0,4	< LDM	-	-	-	-	-	-	-
Valeraldehyde	110-62-3	TO-11A	(µg/m ³)	0,4	< LDM	-	-	-	-	-	-	-
O-Tolualdehyde	529-20-4	TO-11A	(µg/m ³)	0,3	< LDM	-	-	-	-	-	-	-
M, P-Tolualdehyde	104-87-0	TO-11A	(µg/m ³)	0,3	< LDM	-	-	-	-	-	-	-
Hexaldehyde	66-25-1	TO-11A	(µg/m ³)	0,3	< LDM	-	-	-	-	-	-	-
2,5 Dimethylbenzaldehyde	610-72-0	TO-11A	(µg/m ³)	0,3	< LDM	-	-	-	-	-	-	-
Odeur	EN13725 (2003)		u.o./m ³	-	74 (17)	-	-	-	-	-	-	-

1 : LDM : Limite de détection de la méthode. Pour la méthode TO-11A, la LDM est calculée pour un échantillonnage de 100 litres gazeux à 25 °C dans les cartouches LpDNPH S10L (1 ml / 350 mg) SUPELCO.

2 : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2015. Normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère, version 4, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-73567-0 (PDF), 16 p. [En ligne]. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/criteres/index.htm>

7. DISCUSSION

La recherche documentaire sommaire réalisée dans le cadre de ce projet montre clairement que les émissions atmosphériques de contaminants et d'odeur provenant des sites d'enfouissement constituent un enjeu de santé publique important. Les processus physico-chimiques et biologiques complexes lors de l'enfouissement des déchets rendent les zones situées à proximité des sites vulnérables aux émissions de composés toxiques potentiels et surtout aux nuisances comme les odeurs. La plupart des problèmes d'odeurs répertoriés dans la littérature sont liés aux émissions non contrôlées de sulfure d'hydrogène (H_2S) générées par des sites d'enfouissement où des résidus de matériaux de construction, démolition et rénovation (CRD) contenant du gypse ($CaSO_4$) ont été enfouis. La production importante d' H_2S , un gaz malodorant (odeur d'œuf pourri) et toxique, provient de la réduction en l'absence d'oxygène des composés soufrés (SO_4) par des bactéries sulfatoréductrices (BSR). L'hypothèse voulant que l'apparition des problèmes d'odeur au LET MRC Bellechasse soit liée à l'utilisation autorisée de matériaux de recouvrement contenant des résidus de gypse au cours de la période de juin 2009 à janvier 2012 est donc tout à fait plausible. Les résultats des campagnes de caractérisation effectuées dans le cadre de ce projet révèlent effectivement des concentrations de sulfure d'hydrogène particulièrement élevées (entre 800 et 1000 ppm) dans les gaz d'enfouissement des torchères PV-6C et PV-4C situées dans les zones (cellules d'enfouissement CET 6 et CET 7) où ces matériaux de recouvrement journalier ont été utilisés en plus grande quantité (environ 20 860 tonnes métriques au total). La plupart des études consultées montrent que les nuisances olfactives soulèvent des préoccupations importantes. Bien que la présence d'odeur de sulfure d'hydrogène, caractérisé par un seuil de détection olfactif très bas ($2,53 \times 10^{-2} \text{ mg/m}^3$), ne se traduit pas directement par des risques pour la santé des riverains, le contrôle des émissions d' H_2S provenant des sites d'enfouissement constitue un enjeu important pour la santé publique et l'environnement (ADEME 2005). La réduction à la source (c.-à-d. éviter d'enfouir des composés soufrés) et le recyclage des matériaux comme le gypse devraient toujours être l'option à privilégier. Pour les sources fixes d'émission contenant des concentrations élevées de méthane ($> 25 \% \text{ v/v}$), l'utilisation de torchères pour l'oxydation thermique des GE constitue un moyen de mitigation classique très répandu autant pour le contrôle des odeurs que pour la réduction des gaz à effet de serre (GES). En ce qui concerne les émissions diffuses surfaciques, le recours à des matériaux de recouvrement alternatifs fait l'objet de plus en plus d'intérêt de la part des exploitants. Les matériaux recyclés tels que des composts, du béton broyé, des résidus d'incinération d'ordures ménagères (mâchefer), etc. méritent d'être considérés à la fois pour le contrôle des odeurs et du point de vue de la valorisation des déchets (écologie industrielle). Toutefois, leur utilisation à grande échelle doit être validée préalablement par des études à l'échelle pilote afin d'éviter de créer d'autres problèmes opérationnels et environnementaux.

Les efforts déployés pour l'échantillonnage des différentes sources d'émission identifiées au LET MRC Bellechasse ont permis de réaliser la caractérisation des contaminants (COV et H_2S) et odeurs émis par le site en août et décembre 2015. Les résultats obtenus permettent la hiérarchisation des sources en fonction des différents paramètres analysés. En plus des odeurs, les différentes sources d'émission étudiées révèlent que le LET MRC Bellechasse émet à l'atmosphère 48 contaminants, dont le H_2S . En effet, les torchères (particulièrement PV-4C et PV-6C) peuvent constituer des sources importantes d'émission d' H_2S et d'odeur si elles ne sont pas en fonction et que les GE sont émis à l'atmosphère sans oxydation thermique. Le résultat de la caractérisation des émissions surfaciques au point de prélèvement correspondant au front

de déchet de la cellule CET 3 toujours active révèle des émissions d'odeur importantes (jusqu'à 287 500 u.o./s). Ce résultat apparaît fort étonnant par rapport aux observations faites par le personnel du LET MRC Bellechasse. En ce qui concerne les taux d'émission d'H₂S, les torchères PV-4C et PV-6C peuvent représenter, si elles ne sont pas en fonction, 38 et 39 % respectivement des émissions totales de sulfure d'hydrogène du site. Les résultats de la caractérisation des prélèvements effectués aux points CET 8 surface 1 et CET 8 surface 2 confirment la présence de phénomènes localisés de migration verticale des GE à travers la couche de recouvrement à la surface du talus sud-est (sans membrane étanche). Il est à noter que les résultats des émissions surfaciques à l'aide de la méthode de la chambre à flux dynamique sont déterminés pour une surface limitée par rapport à la surface totale d'une cellule d'enfouissement. Il est donc possible que les résultats soient différents (comme pour CET 8 surface 4) selon la position de la chambre sur le site (limite de la méthode). Enfin, les résultats de la caractérisation des émissions provenant de l'événement n° 60 du LES révèlent des taux d'émissions de contaminants (COV et H₂S) et d'odeur relativement faibles par rapport aux autres sources étudiées.

Les travaux de modélisation de la dispersion atmosphérique des odeurs et des 48 contaminants identifiés permettent, selon les différentes données météorologiques considérées, d'avoir un aperçu de l'impact potentiel aux limites de propriété du LET MRC Bellechasse selon les différentes sources d'émission identifiées (torchères, événements et sources surfaciques). En utilisant des scénarios de modélisation qui ont pour effet de surestimer les taux réels d'émission, il apparaît que les seuls paramètres susceptibles de causer des impacts sur la qualité de l'air dans le voisinage du site sont l'H₂S et les odeurs. En effet, la modélisation des COV émis par le LET MRC Bellechasse montre que les concentrations au sol de ces contaminants émis par les différentes sources d'émissions du lieu d'enfouissement, additionnées aux concentrations initiales de chacun des contaminants retrouvés dans l'air ambiant, respectent les normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère (MDDELCC). Les résultats obtenus permettent donc de concentrer l'attention et de prioriser les efforts de mitigation sur certaines sources d'émission plus importantes telles que les sources surfaciques (talus sud-est de la cellule CET 8 et la cellule CET 3) et les torchères (PV-4C et PV-6C). Les résultats de la modélisation des émissions provenant des 29 événements confirment que le LES ne constitue pas une source d'émission de contaminants (COV et H₂S) et d'odeur significative.

Les travaux supplémentaires visant l'échantillonnage de l'air ambiant sur et à proximité du LET MRC Bellechasse donnent un aperçu de la qualité de l'air au moment de la campagne d'échantillonnage réalisée le 29 janvier 2016. Tout d'abord, les concentrations d'H₂S mesurées sur le site (chemin ouest du LET, au coin du talus sud - LET -zone A) permet d'établir un lien entre les odeurs observées par l'équipe d'échantillonneurs cette journée et sa présence dans l'air ambiant du LET (61 µg/m³). Il est important de mentionner que tous les autres COV détectés sur cet échantillon se sont avérés inférieurs aux valeurs limites (VL) de la qualité de l'atmosphère du RAA (VL 4 minutes). Les autres échantillons prélevés en amont (zone D) et en aval (zone B et zone C) du site par rapport à la direction des vents provenant de l'Est lors de l'échantillonnage révèlent des concentrations de contaminants (COV et H₂S) inférieures aux normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère (VL 4 minutes). L'analyse des résultats de cette campagne d'échantillonnage en air ambiant, combinée aux résultats de l'étude de modélisation de la dispersion atmosphérique permet donc de concentrer l'attention liée aux risques environnementaux des émissions du LET MRC Bellechasse vers le H₂S et les odeurs. Plus précisément, les sources fixes potentielles que représentent les émissions diffuses surfaciques (talus sud-est de la cellule CET 8 et la cellule CET 3), de même que les torchères

(PV-4C et PV-6C) dans l'éventualité où ces dernières ne sont pas en fonction, doivent faire l'objet de mesure de suivi/contrôles spécifiques pour réduire à la source les émissions d'odeurs et d'H₂S.

La figure 5 montre les concentrations d'H₂S en mg/m³ mesurées à la torchère PV-2C du LET MRC Bellechasse le 21 janvier 2013 (GENIVAR 2013) ainsi que le 12 décembre 2015 par le CRIQ. Ces données partielles semblent démontrer le phénomène d'atténuation naturelle des composés soufrés dans la cellule CET 7. Pour avoir des informations plus complètes sur ce phénomène, il serait nécessaire de mettre en œuvre un programme de suivi mensuel pour la caractérisation des gaz d'enfouissement aux différentes torchères et la détermination des paramètres suivants : Débit, température, H₂S, CH₄, CO₂ et O₂.

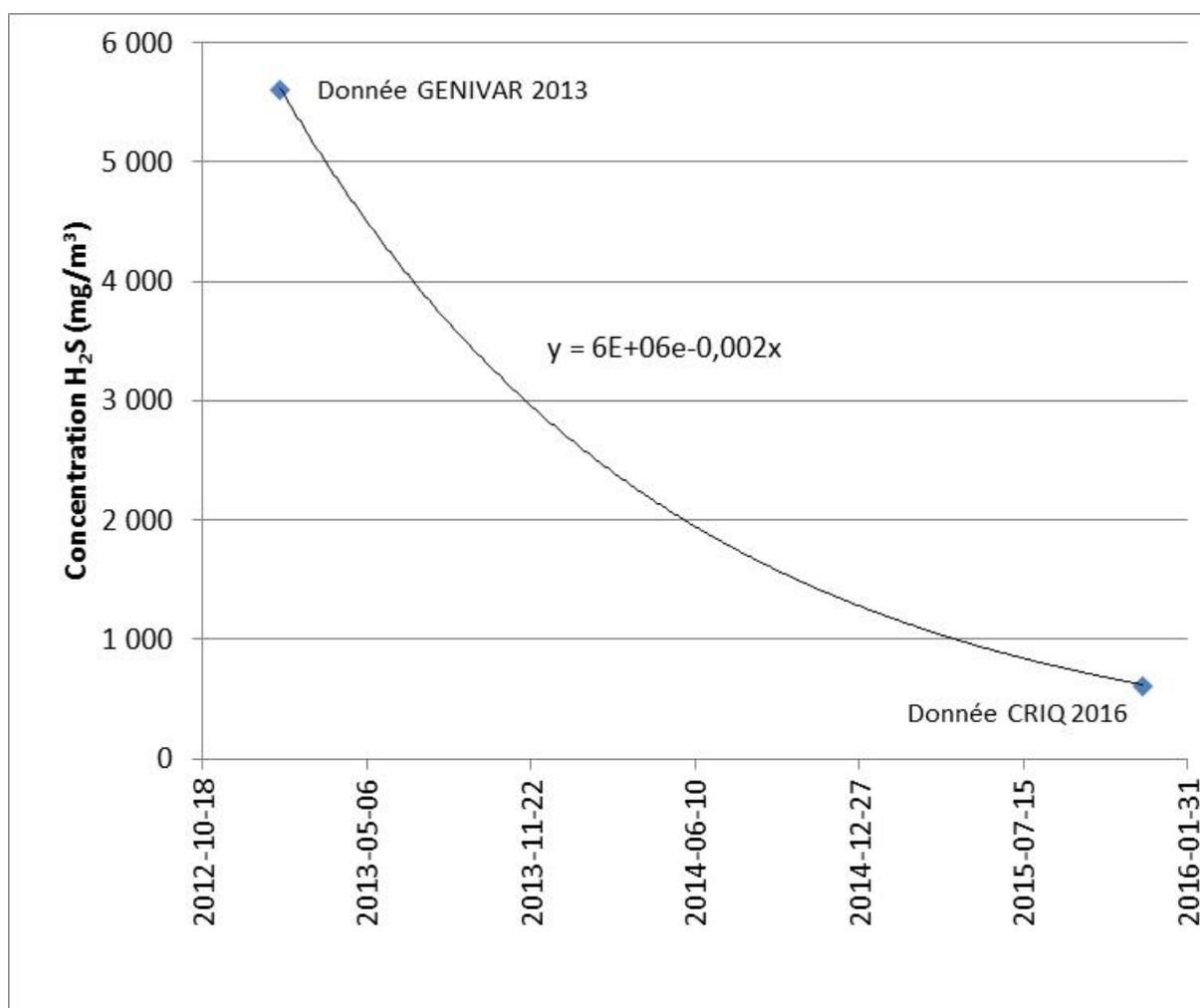


Figure 5 Évolution de la concentration d'H₂S à la torchère PV-2C (LET MRC Bellechasse)

8. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude avait pour objectif de fournir aux différents intervenants de la MRC de Bellechasse des informations pertinentes relativement à la problématique d'odeur et de contaminants émis par le lieu d'enfouissement LET MRC Bellechasse situé à Armagh. Pour ce faire, une méthodologie qui consistait à la réalisation de 4 activités a été mise en œuvre au cours de la période s'échelonnant de juillet 2015 à janvier 2016 inclusivement.

Tout d'abord, une recherche documentaire sommaire (activité 1) a permis d'identifier et d'analyser 24 articles très pertinents sur un total de 87 documents et de les regrouper sous trois (3) thèmes principaux : 1) Santé et environnement : 17 documents, 2) Qualité de l'air : 3 documents, 3) Contrôle et mitigation : 4 documents. L'analyse des différents articles montre clairement que les émissions atmosphériques de contaminants et d'odeur provenant des sites d'enfouissement constituent un enjeu de santé publique important. Plus spécifiquement, les problèmes de nuisances olfactives liées aux émissions non contrôlées de sulfure d'hydrogène (H_2S) provenant des activités d'enfouissement de matériau CRD¹⁶ contenant des résidus de gypse ($CaSO_4$) sont très bien documentés. L'activité 2 a consisté à mettre en œuvre un important programme de caractérisation et de hiérarchisation des différentes sources d'émission de contaminants (COV ¹⁷ et H_2S) et d'odeur sur le site du LET MRC Bellechasse. Au total, quatre (4) visites du site réparties entre le 9 juillet 2015 et le 8 décembre 2015 ont été nécessaires pour ce travail d'échantillonnage. Les différentes sources fixes qui ont fait l'objet d'une caractérisation sont les torchères passives (Événements-A, PV-2C, PV-4C, PV-2C), les événements du LET (en particulier l'événement #60) ainsi que quatre (4) sources surfaciques dont trois (3) sont situées sur le talus sud-est de la cellule d'enfouissement CET 8 (CET 8-surface 1, CET 8-surface 2 et CET 8-surface 4) et une située sur le front de déchet de la cellule active CET 3. Les taux d'émissions calculés à partir des résultats des analyses (COV : méthode TO15; H_2S : méthode JEROME® 631-X; odeur : méthode CEN PrEN 13725) ont été utilisés pour l'étude de la modélisation de la dispersion atmosphérique (modèle AERMOD) des contaminants et odeur émis par le LET MRC Bellechasse. Les principaux résultats de l'activité 3 réalisée en collaboration avec CONSUMAJ EXPERTS CONSEILS montrent l'impact potentiel sur les riverains en regard des normes et critères de qualité de l'atmosphère du MDDELCC des différentes sources d'émission surfaciques (talus sud-est de la cellule d'enfouissement CET 8 et CET 3) par rapport aux odeurs et au H_2S respectivement. La modélisation révèle aussi l'importance d'un bon fonctionnement des torchères (particulièrement PV-4C et PV 6C) pour le contrôle des émissions d' H_2S et d'odeur. Par ailleurs, la modélisation des COV émis par le LET MRC Bellechasse montre que les concentrations au sol de tous les contaminants émis par les différentes sources du lieu d'enfouissement (48 COV détectés), additionnées aux concentrations initiales de chacun des contaminants retrouvés dans l'air ambiant, respectent les normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère (MDDELCC). Ceci vaut également pour les trois (3) COV d'intérêt identifiés par l'INSPQ (acétaldéhyde, acrylonitrile et acroléine) et documentés dans une lettre datée du 2 juillet 2014 (Annexe N). Enfin, des travaux supplémentaires visant l'échantillonnage de l'air ambiant sur et à proximité du LET MRC Bellechasse permettent de documenter davantage cette problématique en donnant un aperçu de la qualité de l'air lors d'une campagne d'échantillonnage réalisée le 29 janvier 2016 en amont et en aval du site par rapport à la direction des vents.

¹⁶ Construction, rénovation et démolition.

¹⁷ Composés organiques volatils.

Compte tenu des informations et des résultats obtenus et colligés dans ce rapport, les recommandations suivantes peuvent être formulées à l'attention des intervenants de la MRC de Bellechasse.

Action immédiate

- Poursuivre le suivi et l'entretien des torchères passives existantes (Évent-A, PV-2C, PV-4C et PV-6C) afin de garantir leur bon fonctionnement en tout temps. Par ailleurs, il serait pertinent de bonifier ce suivi opérationnel par un suivi environnemental mensuel pour la caractérisation des gaz d'enfouissement aux différentes torchères selon les paramètres : Débit, température, H₂S, CH₄, CO₂ et O₂ et la documentation du phénomène d'atténuation naturelle (H₂S) décrit à la section 7 du présent rapport.

Actions à court et moyen terme

- Mettre en œuvre un projet de démonstration technologique visant l'utilisation de matériaux de recouvrement alternatifs pour le contrôle des émissions atmosphériques surfaciques identifiées (Talus sud-est de la cellule CET8 et front d'enfouissement - cellule CET 3) et l'élimination des émissions diffuses d'H₂S et d'odeur. Plusieurs articles répertoriés par la revue documentaire (activité 1) mentionnent l'intérêt de cette approche (efficacité, valorisation, environnement, coût, etc.). Deux(2) matériaux qui rencontrent les exigences du REIMR (granulométrie et perméabilité) seraient à considérer en priorité pour l'élaboration d'un protocole d'essais. Il s'agit des résidus (mâchefer) de l'incinérateur de la Ville de Québec (Voir fiche annexe V) ainsi qu'un matériel développé par l'entreprise Englobe à partir de sols biotraités et de compost mature. En fonction des résultats de ce projet pilote (mesure de l'efficacité d'élimination du H₂S et désodorisation en condition réelle sur site, impacts sur les caractéristiques du lixiviat, etc.) et d'une analyse coût/bénéfice, des mesures d'atténuation à plus grande échelle pourront être par la suite envisagées.
- Évaluer la pertinence d'optimiser le système de destruction thermique des gaz d'enfouissement actuel par l'ajout de torchères passives sur certains événements de la cellule CET 7 (PV-7 – PV9). Cette évaluation devrait s'appuyer sur la conception actuelle du réseau de captage des gaz d'enfouissement, l'étude du transport des gaz en milieux poreux de même que des mesures effectuées aux événements concernés (débit de gaz, concentration H₂S, pression, etc.).
- Puisque le LET MRC Bellechasse n'était pas tenu par l'article 32 du Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles (REIMR) de détruire ses gaz d'enfouissement, l'installation d'un système de captage actif et d'une torchère à flamme invisible devrait constituer un projet admissible au volet de crédits compensatoires (protocole n°2) du Système de plafonnement et d'échange de droit d'émission (SPEDE)¹⁸. Si cela était le cas, les revenus anticipés par la vente des crédits carbone jumelés à l'efficacité accrue de ce système pour la destruction thermique des composés organiques non méthaniques (> 98 %) pourraient justifier les coûts importants

¹⁸ <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/changements/carbone/Systeme-plafonnement-droits-GES.htm>

(immobilisations, opération, suivi des réductions de GES, vérification par un tier, etc.) pour la réalisation d'un tel projet. Étant donné l'apparition en 2010 de la problématique d'odeur générée par l'utilisation des résidus de matériaux secs provenant de débris de construction, de rénovation et de démolition (CRD) comme matériaux de recouvrement autorisé, il serait pertinent d'obtenir un avis formel des autorités du MDDELCC à ce sujet.

Enfin, considérant que le dossier du LET MRC Bellechasse représente un enjeu important d'acceptabilité sociale et de développement durable qui doit prendre en compte le caractère indissociable des dimensions environnementale, sociale et économique, nous recommandons que la collaboration et le partage d'informations entre les différents intervenants impliqués (citoyens, comité de vigilance, représentants de la MRC de Bellechasse, CISSS, MDDELCC, etc.) se poursuivent et ce dans le meilleur intérêt de l'ensemble de parties prenantes.

9 BIBLIOGRAPHIE

- ADEME (2005). Pollution olfactive : Origines-Législation-Analyse-Traitement, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, Dunod, Paris, 388 p.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2006). Toxicological profile for hydrogen sulfide. Atlanta, GA: ATSDR.
- Ancona, C., Badaloni, C., Mataloni, F., Bolignano, A. Bucci S., Cesaroni, G., Sozzi, R., Davoli, M., Forastiere, F. Mortality and morbidity in a population exposed to multiple sources of air pollution: A retrospective cohort study using air dispersion models, *Environmental Research*, 137, 467–474.
- Bates, M. N., Garrett, N., Crane, J., Balmes, J.R. (2013). Associations of ambient hydrogen sulfide exposure with self-reported asthma and asthma symptoms, *Environmental Research*, 122, 81–87.
- Bergersen, O. and K. Haarstad (2008). Metal oxides remove hydrogen sulfide from landfill gas produced from waste mixed with plaster board under wet conditions, *Journal of the Air and Waste Management Association* 58, 1014–1021.
- Buske, D. C., Laurila, J. R., Riegert, M. L. and M.T. Lannan (2004). Landfill cover materials, odor and human health, *WEF/A&WMA Odors and Air Emissions 2004*.
- Chalvatzaki, E., Lazaridis, M. (2010). Assessment of air pollutant emissions from the Akrotiri landfill site (Chania, Greece), *Waste Management Research* 28, 778–788.
- Chartier, L., D'Aoust, M., Vachon, J.-F. L., Varin, J. M. et D. Bossé (2006). La gestion des débris de construction et démolition et des autres encombrants dans l'Agglomération de Montréal, Ville de Montréal et TEKNIKA HBA, 53 p.
- Chemel, C., Riesenmey, C., Batton-Hubert, M. et H. Vaillant (2012). Odour-impact assessment around a landfill site from weather-type classification, complaint inventory and numerical simulation, *Journal of Environmental Management*, 93, 85-94.
- Davoli, E. et coll. Waste management health risk assessment: A case study of a solid waste landfill in South Italy. *Waste Management* (2010), doi:10.1016/j.wasman.2009.10.013.
- Du, Y., Feng, Y., Zhang, K., Hu, L.F., Fang, C.H., Shen D.S., Long, Y.Y. (2014). Role of iron in H₂S emission behavior during the decomposition of biodegradable substrates in landfills, *Journal of Hazardous Materials*, 272, 36–41.
- Durmusoglu, E., Taspinar, F., Karademir A. (2010). Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment, *Journal of Hazardous Materials* 176 870–877.
- Eun, S. (2004), Hydrogen sulfide flux measurements and dispersion modeling from construction and demolition (C&D) debris landfills, A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Department of Civil and Environmental Engineering in the College of Engineering and Computer Science at the University of Central Florida, Orlando, Florida, 129 pp.
- Fairweather, R. J., Barlaz, M. A. (1998). Hydrogen sulfide production during decomposition of landfill inputs, *Journal of Environmental Engineering ASCE*, 124, 353–361.
- Florida Department of Health (2007). Hydrogen sulfide in ambient air near Saufley field construction and demolition debris landfill, Bureau of community Environmental Health

- Under Cooperative Agreement with the U.S. Department of Health and Human Services Agency for Toxic Substances and Disease Registry, August 1, 2007, 64 p.
- GENIVAR (2013), Caractérisation du biogaz, Lieu d'enfouissement sanitaire de la MRC de Bellechasse, Rapport technique, Projet No 121-26809-00, 11 avril 2013, 13 p. + annexes.
- Hao, O. J., Chen, J. M., Huang, L., Buglass, R. L. (1996). Sulfate reducing bacteria, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 26, 155–187.
- Hea, R., Xiaa, F.-F., Wanga, J., Pana, C.-L., Fang, C.-R. (2011). Characterization of adsorption removal of hydrogen sulfide by waste biocover soil : an alternative landfill cover, *Journal of Hazardous Materials* 186 773–778.
- Heaney, C.D., Wing, S., Campbell, R.L., Caldwell, D., Hopkins, B., Richardson, D., Yeatts, K. (2011). Relation between malodor, ambient hydrogen sulfide, and health in a community bordering a landfill, *Environ Res.* 2011 Aug; 111(6): 847–852.
- https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/12.etude_problematique_gestion_debris_1.PDF.
- Kima, K.H, Choia YJ, Jeona, EC. Sunwoob, Y. (2005). Characterization of malodorous sulfur compounds in landfill gas, *Volume 39, Issue 6*, 1103–1112.
- Klenbusch, M. R. (1986). Measurement of gaseous emission rates from land surfaces using an emission isolation flux chamber, *User's guide*, EPA/60/8-88/008, EPA contract No. 68-02-3889.
- Ko, J.H., Xu, Q., Jang, Y.-C. (2015). Emission and control of hydrogen sulfide at landfills: A review, *Environmental Science and Technology*, 45:2043-2083.
- Lee S., Xu Q., Booth M., Townsend T.G., Chadik, P., Bitton, G. (2006). Reduced sulfur compounds in gas from construction and demolition debris landfills, *Waste Management* 26, 526–533.
- Lewis, A. (2008), Evaluation of the Public Health Significance of Hydrogen Sulfide (H₂S) in Ambient Air near a Landfill in Bellview, Escambia County, Florida Air quality and odor impacts from landfill-related emissions, Florida Department of Health, Bureau of Epidemiology Epi Update.
- Lewis, A., Rivers, S., Wilder, L., Wattigney,, W. (2008). Construction and Demolition Debris Landfills: Community and Occupational Health Issues, *Florida Journal of Environmental Health*, Issue 200, www.Feha.org.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC (2009). *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 4 – Échantillonnage des émissions atmosphériques en provenance de sources fixes*, Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Édition courante, http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/guides_ech.htm.
- Pagé, T., Narjoux A., Guy, C., Caron, R.F., Fécil, B., (2007) Odours & VOC impact evaluation of three categories of landfills, *ResearchGate* : [https://www.researchgate.net/publication/265278548 Odours Voc Impact Evaluation Of Three Categories Of Landfills](https://www.researchgate.net/publication/265278548_Odours_Voc_Impact_Evaluation_Of_Three_Categories_Of_Landfills).

- Palmiotto, M., Fattore, E., Paiano, V., Celeste, G., Colombo, A., Davoli, E. (2014). Influence of a municipal solid waste landfill in the surrounding environment: toxicological risk and odor nuisance effects, *Environment International*, 68 , 16–24.
- Plaza, C., Xu, Q., Townsend, T., Bitton, G., Booth M. (2007), Evaluation of alternative landfill cover soils for attenuating hydrogen sulfide from construction and demolition (C&D) debris landfills, *Journal of Environmental Management*, 84, 314–322.
- Scheff, P., Casten, C., Ruesch, P., Friedl, M. (2001). Evaluation of toxic air pollutants in an urban neighborhood adjacent to a municipal waste landfill, *Biomedicine and Health*, WIT Press, Vol. 5.
- Soltani-Ahmadi, H. (2000), A Review of the Literature Regarding Non-Methane and Volatile Organic Compounds In Municipal Solid Waste Landfill Gas, SWANA/Hickman Intern, 39 pp.
- Sullivan, P. S., Huff, R. H. (2004). AIR QUALITY AND ODOR IMPACTS FROM LANDFILL-RELATED EMISSIONS, WEF/A&WMA Odors and Air Emissions 2004.
- WSP (2015). Lieu d'enfouissement technique d'Armagh, Évaluation de la migration verticale du biogaz, rapport technique no 151-01908-00–Mars 2015, 13 p. + annexe.
- Xu, Q. Y., Townsend, T., Reinhart, D. (2010). Attenuation of hydrogen sulfide at construction and demolition debris landfills using alternative cover materials, *Waste Management* 30, 660–666.
- Xu, Q., Townsend, T. (2014), Factors affecting temporal H₂S emission at construction and demolition (C&D) debris landfills, *Chemosphere* 96 (2014) 105–111.
- Xu, Q., Townsend, T., Bitton, G. (2011). Inhibition of hydrogen sulfide generation from disposed gypsum drywall using chemical inhibitors, *Journal of Hazardous Materials* 191, 204–211.
- Zemba, S.G. (2012), Do odors at a waste management facility indicate a risk to health? , Proceedings of the 20th Annual North American Waste-to-Energy Conference NAWTEC20, April 23-25, 2012, Portland, Maine, USA, <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/>.