



# **Essais en laboratoire Fines de CRD**

**Dossier n° 59597**

**Services Matrec  
(une division de GFL)**

**Rapport diffusable**

## **Essais en laboratoire Fines de CRD**

**Dossier n° 59597**

**Rapport diffusable**

---

Monsieur Jean-Philippe Laliberté  
VP Opérations d'enfouissement et de compostage – Est du Canada  
**SERVICES MATREC (une division de GFL)**  
10 930, rue Sherbrooke Est  
Montréal (Québec) H1B 1B4

---

Charlotte I. Fontaine, ing., Ph. D.  
Conseillère industrielle

INVESTISSEMENT QUÉBEC

---

Yann Le Bihan, microbiologiste, Ph. D.  
Responsable technique  
Direction Performance environnementale  
industrielle  
Investissement Québec – CRIQ

---

Nicolas Turgeon, ing., M. Sc., EMBA  
Directeur par intérim  
Direction Performance environnementale  
industrielle  
Investissement Québec – CRIQ

Québec, le 23 février 2023

## **Essais en laboratoire Fines de CRD**

### **Équipe de projet**

Yann Le Bihan, microbiologiste, Ph. D., responsable de projet  
Jean Nadeau, technicien de laboratoire  
Stéphane Boucher, technicien de terrain  
François Tremblay, technicien de terrain  
Louis Harvey, technicien de terrain  
Mélanie Bouchard, technicienne de laboratoire  
Nadia Plamondon, technicienne de laboratoire

### **Pour tout renseignement concernant le projet**

#### **Responsable technique**

Yann Le Bihan, microbiologiste, Ph. D.  
333, rue Franquet  
Québec (Québec) G1P 4C7  
Téléphone : 418 659-1550, poste 2877  
Télécopieur : 418 652-2251  
Courriel : [yann.lebihan@invest-quebec.com](mailto:yann.lebihan@invest-quebec.com)

#### **Conseillère industrielle**

Charlotte I. Fontaine, ing., Ph. D.  
333, rue Franquet  
Québec (Québec) G1P 4C7  
Téléphone : 418 659-1550, poste 2350  
Télécopieur : 418 652-2251  
Courriel : [charlotte.fontaine@invest-quebec.com](mailto:charlotte.fontaine@invest-quebec.com)

## Table des matières

Résumé .....	1
1. Mise en contexte .....	1
2. Mandat .....	2
3. Description des travaux .....	2
3.1 Phase 1 : Essais en laboratoire .....	2
3.1.1 Montage expérimental de la phase 1 .....	2
3.1.2 Suivis analytiques .....	4
3.1.2.1 Analyses physicochimiques .....	4
3.1.2.2 Analyses des gaz .....	4
3.2 Phase 2 : Essais en réacteur de 1 m <sup>3</sup> .....	4
3.2.1 Montage expérimental de la phase 2 .....	4
3.2.2 Suivis analytiques .....	6
3.2.2.1 Analyses physicochimiques des matériaux et des lixiviats .....	6
3.2.2.2 Analyses des gaz .....	7
4. Descriptions et analyses des résultats .....	8
4.1 Résultats de la phase 1 en laboratoire .....	8
4.1.1 Caractérisation des fines de CRD pour les essais en laboratoire .....	8
4.1.2 Résultats d'analyses des essais en laboratoire .....	9
4.2 Résultats de la phase 2 dans les réacteurs de 1 m <sup>3</sup> situés à l'extérieur .....	13
4.2.1 Caractérisations des fines de CRD pour les essais en réacteur de 1 m <sup>3</sup> (phase 2) .....	13
4.2.2 Résultats d'analyses physicochimiques des lixiviats pour les essais en réacteur de 1 m <sup>3</sup> (phase 2) .....	14
4.2.3 Analyses des métaux et des COV des lixiviats des réacteurs de 1 m <sup>3</sup> (phase 2) .....	19
4.2.4 Résultats des analyses des gaz pour les essais en réacteur de 1 m <sup>3</sup> (phase 2) .....	32
5. Conclusion .....	34
6. Références .....	36

## Liste des figures

Figure 1. Photos de la disposition des réacteurs à l'extérieur (gauche) et .....	6
Figure 2. Aspect du réseau d'irrigation .....	6

## Liste des tableaux

Tableau I – Configurations des différents essais réalisés en laboratoire en phase 1 du projet	3
Tableau II – Analyses réalisées sur les échantillons de fines de CRD .....	4
Tableau III – Analyses réalisées sur les solides et les lixiviats .....	7



---

Tableau IV – Analyses réalisées sur la fraction gazeuse des réacteurs .....	8
Tableau V – Caractérisations des fines de CRD utilisées .....	9
Tableau VI – Suivis du gaz H <sub>2</sub> S dans la phase gazeuse .....	9
Tableau VII – Suivis des gaz (CO <sub>2</sub> et CH <sub>4</sub> ) dans la phase gazeuse .....	10
Tableau VIII – Mesures du pH des fines de CRD .....	11
Tableau IX – Analyses physicochimiques des matériaux utilisés en phase 2 .....	13
Tableau X – Suivis des volumes d'eau ajoutés aux réacteurs .....	14
Tableau XI – Résultats (moyennes) d'analyses physicochimiques des lixiviats du LET de Champlain et des réacteurs de 1 m <sup>3</sup> aux jours 98-104 .....	15
Tableau XII – Suite des résultats (moyennes) d'analyses physicochimiques des lixiviats du LET de Champlain et des réacteurs de 1 m <sup>3</sup> aux jours 120-132 .....	16
Tableau XIII – Suite des résultats (moyennes) d'analyses physicochimiques des lixiviats du LET de Champlain et des réacteurs de 1 m <sup>3</sup> au jour 159 .....	17
Tableau XIV – Suite des résultats (moyennes) d'analyses physicochimiques .....	18
Tableau XV – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur Témoin FP .....	20
Tableau XVI – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur FP 65-15 .....	21
Tableau XVII – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur FP 65-20 .....	22
Tableau XVIII – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur témoin CRD .....	23
Tableau XIX – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur CRD 65-15 .....	24
Tableau XX – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur CRD 65-20 .....	25
Tableau XXI – Analyses des COV du lixiviat du réacteur témoin FP .....	26
Tableau XXII – Analyses des COV du lixiviat du réacteur FP 65-15 .....	27
Tableau XXIII – Analyses des COV du lixiviat du réacteur FP 65-20 .....	28
Tableau XXIV – Analyses des COV du lixiviat du réacteur Témoin CRD .....	29
Tableau XXV – Analyses des COV du lixiviat du réacteur CRD 65-15 .....	30
Tableau XXVI – Analyses des COV du lixiviat du réacteur CRD 65-20 .....	31
Tableau XXVII – Résultats du suivi gazeux du H <sub>2</sub> S des .....	32
Tableau XXVIII – Résultats du suivi des fractions soufrées réduites des .....	33
Tableau XXIX – Taux d'émission des gaz générés à partir des réacteurs de 1 m <sup>3</sup> (surface 1,09 m <sup>2</sup> ) mesurés à l'aide des volumètres de type Ritter et de l'analyseur de type GC-MS 7890B .....	34



## Résumé

Pour faire suite à l'entente conclue avec SERVICES MATREC (une division de GFL) (le « Client »), Investissement Québec, par l'entremise de son unité d'affaires Investissement Québec – CRIQ, (« IQ ») a complété au cours des années 2021 et 2022, les phases 1 et 2 d'un projet, qui visaient à faire des essais à l'échelle laboratoire et en unité de mètre cube à partir des fines de CRD.

Le présent rapport présente les conclusions fusionnées du rapport d'IQ du 12 novembre 2021 et de la lettre-résultats du 16 septembre 2022. La numérotation des figures et des tableaux utilisée dans le présent rapport pourrait donc être différente de celle utilisée dans les documents cités précédemment.

Les essais en laboratoire et à l'extérieur visaient à valider l'efficacité du confinement des fines de CRD brutes ou purifiées, à l'égard de la production de gaz malodorants de type H<sub>2</sub>S et autres composés soufrés. Également, des matériaux ont été utilisés dans différentes proportions, afin de vérifier leur capacité à prendre en charge les émissions de H<sub>2</sub>S et autres gaz soufrés. Cette efficacité a été déterminée en mesurant les concentrations des gaz à la surface des réacteurs, avec et sans l'utilisation de ces matériaux. De plus, des taux d'émissions surfaciques (TES) ont été mesurés à partir d'un débit déterminé par un volumètre, et par la mesure des concentrations des gaz au-dessus des réacteurs. Des mesures de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub>, ainsi que des caractéristiques des lixiviats ont été mesurées en cours de projet pour les essais réalisés en réacteur de 1 m<sup>3</sup>.

### 1. Mise en contexte

Les fines de résidus de construction, rénovation et démolition (CRD) ont la particularité de produire du H<sub>2</sub>S en raison de leur teneur en sulfate, qui se décompose sous l'action des microorganismes pour produire du H<sub>2</sub>S. Ce gaz dégage une odeur nauséabonde et toxique en faibles concentrations. Ainsi, la disposition de ces matières résiduelles selon les approches conventionnelles constitue une problématique reconnue à travers l'Amérique du Nord. Plusieurs études démontrent que certains matériaux ont la capacité d'adsorber et de neutraliser ces émissions de H<sub>2</sub>S.

Par conséquent, SERVICES MATREC (une division de GFL) souhaitait expérimenter une nouvelle approche de disposition en LET, sous forme de confinement en cellules dédiées uniquement aux fines de CRD; et voulait vérifier que cette approche ne causerait pas de problématiques à l'égard des émissions gazeuses nauséabondes, d'entartrage dans les réseaux de collecte des lixiviats et de toxicité au traitement des eaux. Également, certaines mesures d'atténuation ont été expérimentées afin d'identifier le scénario le plus sécuritaire à mettre en place.

Afin d'optimiser la démarche et de limiter les impacts environnementaux lors de la validation à pleine échelle, le projet a été réalisé en trois (3) étapes avec des objectifs spécifiques.



## 2. Mandat

Lors de ce mandat, le Client en collaboration avec IQ a réalisé des essais de faisabilité pour le confinement des fines de CRD en cellules dédiées.

Les objectifs généraux du projet proposé étaient d'expérimenter un mode de gestion des fines de CRD en cellules dédiées, de valider les impacts appréhendés, ainsi que de vérifier la pérennité de cette approche. Des mesures d'atténuation ont également été proposées.

Ces essais ont permis d'obtenir des informations afin de réaliser un essai à grande échelle (LET de Champlain), tout en limitant les impacts négatifs tant pour le voisinage que sur les systèmes de traitement des eaux et de captage en place.

## 3. Description des travaux

### 3.1 Phase 1 : Essais en laboratoire

#### 3.1.1 Montage expérimental de la phase 1

La première phase du projet consistait à réaliser des essais en laboratoire à petite échelle, afin de bien maîtriser le temps de réaction, ainsi que les requis nécessaires à la réalisation des essais de la phase 2. Les essais ont été réalisés en contenants de type réacteur en verre de quatre (4) litres. L'utilisation de plusieurs réacteurs a permis de cibler et d'observer les conditions favorables à la génération de H<sub>2</sub>S le plus rapidement possible.

Les résultats de cette phase ont permis de statuer sur les conditions défavorables et favorables à la production de H<sub>2</sub>S.

Compte tenu de la taille limitée des réacteurs et en raison de l'hétérogénéité des fines de CRD, un mélange de fines provenant de plusieurs sites de GFL a été utilisé afin de s'assurer de la représentativité de la matière.

Également, les fines de CRD ont été traitées selon deux (2) types de matières soient : les fines brutes et les fines purifiées. Ces dernières proviennent d'une approche de séparation mécanique, qui permet de générer une fraction de fines plus riche en gypse. Ces échantillons ont été récoltés par le personnel des centres de tri et envoyés au laboratoire d'IQ.

Pour réaliser les essais de la phase 1, deux (2) recettes avec deux (2) ratios de fines de CRD et de matériaux ont été explorées, afin de cibler les conditions expérimentales favorables ou non à la production de H<sub>2</sub>S. Les recettes A et B sont définies selon deux (2) approches de mise en place différentes des matériaux de captage du H<sub>2</sub>S. Les deux (2) ratios sont reliés aux proportions de fines de CRD et aux matériaux de captage du H<sub>2</sub>S.



Les différentes configurations des réacteurs étudiées à l'échelle laboratoire sont présentées au tableau I.

**Tableau I – Configurations des différents essais réalisés en laboratoire en phase 1 du projet**

N° réacteur	Fonction du réacteur	Quantité de matières							Masse totale de l'essai
		Fines brutes	Fines purifiées	Bille verre inerte	Matériaux ayant la capacité de capter et neutraliser le H <sub>2</sub> S	Inoculum digestat	Source carbone	Eau	
	<b>Fines brutes (FB)</b>								
1	Témoin négatif			X		X	X		2,00
2	Témoin positif			X		X	X	X	2,20
3	Fines brutes seulement	X		X				X	2,00
4	Recette A / Ratio 1	X		X	X			X	2,00
5	Recette B / Ratio 1	X		X	X			X	2,00
6	Recette A / Ratio 1 + carbone + inoculum	X		X	X	X	X		2,00
7	Recette A / Ratio 2	X			X			X	2,00
8	Recette B / Ratio 2	X			X			X	2,00
9	Recette A / Ratio 2 + carbone + inoculum	X			X	X	X		2,00
10	Recette B / Ratio 2 + carbone + inoculum	X			X	X	X		2,00
	<b>Fines purifiées (FP)</b>								
11	Fines purifiées seulement		X	X				X	2,20
12	Recette A / Ratio 1		X	X	X			X	2,20
13	Recette A / Ratio 2		X	X	X			X	2,20
14	Recette B / Ratio 1		X	X	X				
15	Recette B / Ratio 2		X	X	X			X	2,20
16	Recette A / Ratio 1 + carbone + inoculum		X	X	X	X	X	X	2,20
17	Recette A / Ratio 2 + carbone + inoculum		X		X	X	X	X	2,20
18	Recette B / Ratio 2 + carbone + inoculum		X		X	X	X	X	2,20



### 3.1.2 Suivis analytiques

Les analyses réalisées pour cette phase en laboratoire étaient principalement liées à la caractérisation physicochimique des matières au départ, ainsi qu'à l'analyse des gaz en cours de projet.

#### 3.1.2.1 Analyses physicochimiques

Pour la réalisation de cette phase en laboratoire, les analyses de base suivantes ont été mesurées sur les échantillons de fines de CRD.

**Tableau II – Analyses réalisées sur les échantillons de fines de CRD**

Paramètre	Nom	Méthode
Soufre total	Teneur en soufre totale	ICP MA. 310-CS 1.0
Sulfate	Mesure de la teneur en sulfate sur un solide	Solubilisation + Chromatographie
pH solide	Mesure du pH sur des solides	MA 4018
MVA	Masse volumique apparente	MA 4006
TEE	Teneur en eau	MA 4089B
MOT	Matière organique totale	MA 4089B

#### 3.1.2.2 Analyses des gaz

Pour limiter les analyses des fractions gazeuses, des indicateurs visuels composés d'acétate de zinc ont été insérés dans les réacteurs, afin d'observer la production d'un précipité noir de sulfure. À partir des premiers signes de noircissement des indicateurs, une analyse gazeuse a été réalisée en laboratoire à l'aide d'un analyseur de type : Chromatographie gazeuse (uGC-TCD), capable de mesurer des teneurs en sulfures de l'ordre du ppmv jusqu'au % (v/v). L'appareil permet également de mesurer en simultané d'autres gaz tels que l'O<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> et le CO<sub>2</sub>. L'analyse au uGC-TCD nécessite la récolte d'un échantillon de faible volume de l'ordre de quelques millilitres. Pour le suivi en laboratoire, l'échantillon gazeux a été récolté et injecté directement dans l'analyseur du laboratoire.

## 3.2 Phase 2 : Essais en réacteur de 1 m<sup>3</sup>

### 3.2.1 Montage expérimental de la phase 2

Pour donner suite aux résultats de la première phase, les principales conclusions ont permis de démontrer que la production de H<sub>2</sub>S pouvait être observée uniquement à partir des fines de CRD brutes humidifiées. Les conditions naturellement présentes dans les fines brutes sont suffisantes pour permettre la production de sulfure d'hydrogène.



Ainsi, pour la phase 2 du projet il a été convenu de limiter les réacteurs à l'étude, et de cibler uniquement les conditions favorables à la production de H<sub>2</sub>S comme témoin positif, et d'y ajouter deux (2) réacteurs pour des stratégies de mitigations potentiellement efficaces.

Pour ces essais, des volumes de quelques m<sup>3</sup> de fines de CRD provenant de plusieurs sites de GFL ont été envoyés chez IQ au début du mois de mai 2021.

Une analyse physicochimique de la composition des différentes fines de CRD a été réalisée avant leur utilisation. Toutes les fines brutes et purifiées ont été mélangées séparément à l'aide d'un tracteur avec chargeur frontal.

Suite à la réalisation des essais de la phase 1, les configurations retenues pour des considérations de simplicité opérationnelle pour chacun des réacteurs de 1 m<sup>3</sup> sont présentées ci-dessous. Tel que mentionné à la section 3.1.1, les termes : Recette A et Recette B sont reliés à deux (2) approches de mise en place différentes des matériaux de captage du H<sub>2</sub>S. En raison de son efficacité et de sa simplicité, la Recette A a été retenue avec le Ratio 2 (testé lors de la première phase), et un ratio supplémentaire appelé le Ratio 3 a également été expérimenté. Le Ratio 3 est encore plus sécuritaire que le Ratio 2 en raison d'une quantité plus grande de matériaux de captage du H<sub>2</sub>S utilisée.

- Réacteur 1 : Fines brutes seules;
- Réacteur 2 : Fines brutes Recette A, Ratio 2;
- Réacteur 3 : Fines brutes Recette A, Ratio 3;
- Réacteur 4 : Fines purifiées seules;
- Réacteur 5 : Fines purifiées Recette A, Ratio 2;
- Réacteur 6 : Fines purifiées recette A, Ratio 3.

Les dimensions internes des réservoirs étaient de 112 cm x 98 cm x 95 cm. La surface des réacteurs est d'environ 1,09 m<sup>2</sup> et le volume vide sous le couvercle (*headspace*) varie entre 109 et 327 L, selon les configurations.

Tel que présenté aux figures 1 et 2, le montage expérimental des réservoirs de la phase 2 permettait de récolter les gaz générés par les fines de CRD à deux (2) endroits selon différentes configurations; et les lixiviats générés à partir de l'eau d'irrigation simulant les précipitations. Le robinet permettant l'échantillonnage des lixiviats était muni d'un col de cygne, pour éviter l'entrée d'air dans le système, et les lixiviats ont été récoltés pour les analyses physicochimiques. Tous les réacteurs de 1 m<sup>3</sup> ont été installés à l'extérieur, sur la plateforme d'essais d'IQ.

Lorsque les réacteurs ont été remplis, le couvercle a été déposé sur un joint de scellant afin de limiter les entrées d'air dans le système. De la mousse isolante et du ruban adhésif de type industriel ont été appliqués pour augmenter l'étanchéité du couvercle.





**Figure 1. Photos de la disposition des réacteurs à l'extérieur (gauche) et aspect du réseau de captage des gaz (droite)**



**Figure 2. Aspect du réseau d'irrigation**

Une aspersion d'eau a été ajoutée à chacun des réacteurs afin de simuler des précipitations annuelles au système, à raison de 800-945 mm d'eau/m<sup>2</sup> par an (figure 2).

### 3.2.2 Suivis analytiques

Pour cette phase, les analyses physicochimiques ont été réalisées sur les matériaux utilisés, les lixiviats ainsi que les gaz sortant des réacteurs. Les détails analytiques sont présentés à la section suivante.

#### 3.2.2.1 Analyses physicochimiques des matériaux et des lixiviats

En cours d'essais, des échantillons de lixiviats ont été récoltés et analysés afin de comparer les résultats obtenus avec ceux provenant du LET de Champlain, pour la période de 2017 à 2021.

Les analyses physicochimiques réalisées sur les fines de CRD et les lixiviats sont présentées au tableau III.



**Tableau III – Analyses réalisées sur les solides et les lixiviats**

Paramètre	Nom	Méthode
<b>Matériaux utilisés</b>		
pH solide	Mesure du pH sur des solides	MA 4018
MVA	Masse volumique apparente	MA 4006
TEE	Teneur en eau	MA 4089B
MOT	Matière organique totale	MA 4089B
<b>Lixiviats</b>		
pH	Mesure de pH sur un liquide	MA 4053
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> et NTK	Azote kjeldahl et ammoniacal	MA 4048 et 4049
Matières en suspension (MeS)	Matière en suspension	MA 4052
Chlorures, nitrates, fluorures	Anions	Chromatographie
Métaux (20), mercure, sodium, soufre, potassium, phosphore	Métaux lourds et autres éléments chimiques	ICP MA.200–Mét. 1.2 R7
Cyanure	Cyanure total	MA300-CN 1.2 R4 m
Solides dissous totaux	Solides dissous dans un liquide	MA.115–S.D. 1.0 R4 m
Chrome trivalent Chrome hexavalent	Chrome dans la fraction liquide	Paramètre calculé MA200-CrHex 1.1 R1 m
Composés phénoliques 4-AAP	Phénols totaux	MA404–I.Phé 2.2 R2 m
COV	Composés organiques volatils	MA.400-COV 2.0 R4 m COV PAR GC/MS
Alcalinité (ions carbonates, bicarbonates et hydroxydes)	Paramètres reliés à la dureté et l'alcalinité	MA.315-Alc-Aci1.0R3m
DCO	Demande chimique en oxygène	MA315-DCO 1.1 R4 m
DBO <sub>5</sub>	Demande biochimique en oxygène	MA315-DBO 1.1 R3 m
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfate (anions)	MA.300–Ions 1.3 R3 m
Conductivité	Conductivité de l'eau	MA.303-TitrAuto 2.1m
BPC	BPC congénère	MA. 400 - BPCHR 1.0 R1 m / HRMSMS
Dioxine furane	Teneur en dioxine et furane	MA400 D.F. 1.1 R6 m GC-MS HR

### 3.2.2.2 Analyses des gaz

La liste des gaz analysés est présentée au tableau IV.

Pour l'analyse du H<sub>2</sub>S en début de projet, le suivi a été réalisé à l'aide d'un analyseur portable modèle Jerome 631-X. Pour l'analyse des gaz de types soufrés réduits, les échantillons ont été récoltés dans des boudruches de 3 L en Flexfoil, à l'aide d'une



pompe avec un débit de 8 L/min. Avant l'échantillonnage, les conduites ont été purgées pendant 10 secondes (1,3 L). Dans un délai rapide (<24 h), le contenu des boudruches en Flexfoil a été analysé à l'aide d'un analyseur de type GC-MS 7890B de la compagnie Agilent Technologies, couplé à un système de désorption thermique.

Pour évaluer un taux d'émission surfacique, les débits gazeux ont été mesurés sur une période de trois (3) à huit (8) jours à l'aide d'un volumètre à tambour de type Ritter.

Les débits quotidiens et les analyses gazeuses ont permis de calculer un taux d'émission surfacique.

Pour le calcul du taux d'émission surfacique (TES), l'équation 1 suivante a été utilisée :

$$TES = \left[ \frac{\text{volumes de gaz produits sur } X \text{ jours}}{X \text{ nombres de jours}} \times \text{Concentration des gaz} \right] / \text{Surface du réacteur } m^2 \times 1000 L/m^3 \quad \text{Eq.1}$$

Ou :

- TES = taux d'émission surfacique en ug/m<sup>2</sup>.J;
- Volumes de gaz en litre;
- Concentration des gaz en ug/m<sup>3</sup>.

**Tableau IV – Analyses réalisées sur la fraction gazeuse des réacteurs**

Gaz	Appareil de mesure	Limite de détection	Débit de pompage
H <sub>2</sub> S	Jerome 631-X n° 77830604 Étalonné : 17 mars 2021 23 août 2021 27 octobre 2021	0,003 ppmv	150 ml/min
SRT : Sulfure d'hydrogène H <sub>2</sub> S Disulfure de carbone CS <sub>2</sub> Sulfure de carbonyle COS Sulfure de diméthyle C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S Méthylmercaptan CH <sub>4</sub> S Disulfure de diméthyle C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	Sac Flexfoil 3 L, analyse laboratoire ponctuelle GC-MS 7890B Agilent Technologies, couplé à un système de désorption thermique Unity-XR, ainsi qu'un CIA Advantage-xr de Markes International	Entre 1,6 et 2,80 ppbv	8 L/min
CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	Micro GC TCD Agilent Technologies	~10 ppmv	n.d.
Volume des gaz	Volumètre à tambour Ritter TG 05	2 ml	n.d.

## 4. Descriptions et analyses des résultats

### 4.1 Résultats de la phase 1 en laboratoire

#### 4.1.1 Caractérisation des fines de CRD pour les essais en laboratoire



Avant de procéder aux différents mélanges étudiés en phase 1 du projet, les fines de CRD ont été caractérisées pour les paramètres physicochimiques conventionnels. Les résultats de ces analyses sont présentés au tableau V.

**Tableau V – Caractérisations des fines de CRD utilisées pour les essais en laboratoire**

Échantillon		Teneur en eau % (b.h)	Matière organique totale % (b.s)	Masse volumique apparente kg/m <sup>3</sup>	pH	S.SO <sub>4</sub> mg/kg	S tot mg/kg
81444	Fines CRD brutes tamisées ¼*	19,11 %	14,00 %	n.d.	n.d.	29443	43500
81445	Fines CRD brutes	21,85 %	23,45 %	470	7,6	n.d.	n.d.
81446	Fines purifiées	15,45 %	9,14 %	931	7,8	34495	44900

\*Le tamisage des fines brutes à ¼ pouce été nécessaire pour réaliser les différentes analyses.  
n. d. : valeurs non déterminées.

Les principales observations tirées de ces résultats sont :

- Les fines brutes sont plus concentrées en matières organiques que les fines purifiées;
- Les fines brutes sont plus humides que les fines purifiées;
- La masse volumique des fines purifiées est plus élevée que celle des fines brutes;
- La teneur en soufre entre les fines brutes tamisées à ¼ pouce et les fines purifiées est similaire.

#### 4.1.2 Résultats d'analyses des essais en laboratoire

Les résultats des suivis des gaz des différents réacteurs sont présentés au tableau VI.

**Tableau VI – Suivis du gaz H<sub>2</sub>S dans la phase gazeuse des réacteurs de laboratoire (phase 1)**

Réacteurs	Jours						Teneur en oxygène
	29	36	37	44	60	86	
	Concentration en H <sub>2</sub> S ppmv						
<b>Fines Brutes</b>							
1-Témoin négatif				<10			6,52 %
2-Témoin positif	<10			<10	<10	<10	0,46-3,29 %
3-Fines brutes seulement	<b>901</b>				<b>&gt;30 000</b>		1,07-0,5 0%
4-Recette A / Ratio 1			<10		<10	<10	2,24-0,50 %
5-Recette B / Ratio 1	<b>2404</b>				<b>&gt;20 000</b>		1,11-0,46 %
6-Recette A / Ratio 1 + carbone + inoculum		<10				<10	0,93-0,45 %
7-Recette A / Ratio 2	<10				<10	<10	1,25-0,47 %
8-Recette B / Ratio 2			<10			<10	2,20-0,69 %
9-Recette A / Ratio 2 + carbone + inoculum	<10					<10	0,76-0,47 %



Réacteurs	Jours						Teneur en oxygène
	29	36	37	44	60	86	
	Concentration en H <sub>2</sub> S ppmv						
<b>Fines Brutes</b>							
10-Recette B / Ratio 2 + carbone + inoculum		<10				<10	1,09-0,43 %
<b>Fines Purifiées</b>							
11-Fines purifiées seulement			<10	<10	<10	<10	18,25-4,10 %
12-Recette A / Ratio 1			<10		<10	<10	13,20-0,56 %
13-Recette A / Ratio 2	<10				<10		20,2-17,09 %
14-Recette B / Ratio 1			<10			<10	18,48-16,10 %
15-Recette B / Ratio 2			<10				18,66 %
16-Recette A / Ratio 1 + carbone + inoculum		<10				<10	0,70-0,49 %
17-Recette A / Ratio 2 + carbone + inoculum	<10					<10	0,89-1,77 %
18-Recette B / Ratio 2 + carbone + inoculum			<10	<10			6,91-3,23 %

Les résultats présentés aux tableaux VII et VIII permettent de conclure que les conditions anaérobies, couplées à la dégradation du carbone organique ont été rencontrées pratiquement pour tous les essais avec les fines brutes. Des teneurs élevées en CO<sub>2</sub> ont été mesurées pour les essais 2 à 10. Pour les essais 16 à 18 avec les fines purifiées supplémentées en carbone, des teneurs élevées en CO<sub>2</sub> ont été mesurées, mais les autres conditions critiques n'ont pas été rencontrées pour produire du H<sub>2</sub>S.

Pour la teneur en méthane (CH<sub>4</sub>), tous les essais ont obtenu des valeurs inférieures à 1 %, indiquant que les conditions ne sont pas favorables à la production de méthane. Il est possible que les conditions environnementales à l'égard des concentrations en éléments chimiques, la température ou la nature de la matière organique ne soient pas favorables à la production de méthane.

**Tableau VII – Suivis des gaz (CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>) dans la phase gazeuse des réacteurs de laboratoire (phase 1)**

Réacteurs	Jours					
	29	36	37	44	60	86
	Concentration en CO <sub>2</sub> et en CH <sub>4</sub> /‰ (v/v)					
<b>Fines Brutes</b>	% CO <sub>2</sub> seulement			% CO <sub>2</sub> et % CH <sub>4</sub>		
1-Témoin négatif				7,9		
2-Témoin positif	25,8			58,4	63,6/0,0	67,9/0,0
3-Fines brutes seulement	32,9				46,6/0,0	
4-Recette A / Ratio 1			21,8		24,1/0,3	21,2/0,1
5-Recette B / Ratio 1	32,4				39,5/0,8	
6-Recette A / Ratio 1 + carbone + inoculum		54,4				43,4/0,0



Réacteurs	Jours					
	29	36	37	44	60	86
Concentration en CO <sub>2</sub> et en CH <sub>4</sub> /% (v/v)						
Fines Brutes	% CO <sub>2</sub> seulement			% CO <sub>2</sub> et % CH <sub>4</sub>		
7-Recette A / Ratio 2	19,6				22,2/0,3	19,4/0,1
8-Recette B / Ratio 2			20,7			19,1/0,0
9-Recette A / Ratio 2 + carbone + inoculum	64,8					32,2/0,0
10-Recette B / Ratio 2 + carbone + inoculum		47,3				64,9/0,0
Fines purifiées						
11-Fines purifiées seulement			2,9	3,0	5,5/0,0	6,6/0,0
12-Recette A / Ratio 1			0,4		0,5/0,1	1,8/0,1
13-Recette A / Ratio 2	0,19				1,1/0,0	
14-Recette B / Ratio 1			1,9			2,9/0,01
15-Recette B / Ratio 2			1,9			
16-Recette A / Ratio 1 + carbone + inoculum		65,0				59,5/0,0
17-Recette A / Ratio 2 + carbone + inoculum	67,4					44,2/0,0
18-Recette B / Ratio 2 + carbone + inoculum			40,7	52,2		

Les valeurs de pH favorables à la sulfatoréduction se situent autour de la neutralité (Yang et coll 2006, et Xu et coll 2011). Il est bien connu qu'un pH sous les valeurs de 5,5 et au-delà de 9,0 n'est pas favorable à la croissance des organismes producteurs de H<sub>2</sub>S. Dans leurs travaux, Xu et coll (2011) ont observé des productions nettement inférieures de H<sub>2</sub>S entre des réacteurs fonctionnant à un pH de 6,5 et 6,9. O'Flaherty et coll. (1998) corroborent ces observations en démontrant des taux de croissance significativement plus bas pour des pH de 6,5 comparativement à une culture au pH de 7,5.

**Tableau VIII – Mesures du pH des fines de CRD dans les réacteurs après 99 jours d'incubation**

Réacteurs	pH
Fines Brutes	
1-Témoin négatif	n.d.
2-Témoin positif	6,52
3-Fines brutes seulement	7,28
4-Recette A / Ratio 1	7,34
5-Recette B / Ratio 1	7,5
6-Recette A / Ratio 1 + carbone + inoculum	6,27
7-Recette A / Ratio 2	7,51
8-Recette B / Ratio 2	7,57
9-Recette A / Ratio 2 + carbone + inoculum	6,27



Réacteurs	pH
<b>Fines Brutes</b>	
10-Recette B/Ratio 2 + carbone + inoculum	6,25
<b>Fines purifiées</b>	
11-Fines purifiées seulement	7,64
12-Recette A / Ratio 1	7,67
13-Recette A / Ratio 2	7,82
14-Recette B / Ratio 1	7,86
15-Recette B / Ratio 2	7,83
16-Recette A / Ratio 1 + carbone + inoculum	6,34
17-Recette A / Ratio 2 + carbone + inoculum	6,37
18-Recette B / Ratio 2 + carbone + inoculum	6,45

n.d. : Analyses non déterminées.

Ainsi, parmi la série d'essais réalisée, la production de H<sub>2</sub>S serait favorisée pour des conditions de pH du milieu entre 7 et 8, des conditions anaérobies et une disponibilité du carbone organique. Parmi tous les essais réalisés lors de la phase en laboratoire, ceux qui satisfont ces critères seraient les essais 3, 4, 5, 7 et 8. Les essais 3 et 5 ont généré du H<sub>2</sub>S en moins de 30 jours. Les essais 4, 7 et 8 n'ont pas généré de H<sub>2</sub>S détectable, en raison de la présence de matériaux ayant la capacité d'adsorber et de neutraliser ces émissions de H<sub>2</sub>S. Donc, les configurations de la Recette A, selon les proportions du Ratio 2 seraient une approche à privilégier, et probablement plus simples à mettre en œuvre sur le terrain, que l'utilisation de la Recette B qui nécessite plus d'interventions lors de la préparation.

Voici les principaux constats suite aux essais de la phase 1 :

- Les essais avec les fines brutes seulement permettent d'obtenir des productions de H<sub>2</sub>S significatives en moins de 30 jours;
- La Recette B à raison d'une proportion correspondant au Ratio 1 n'a pas permis de limiter la production de H<sub>2</sub>S;
- Tous les essais avec les fines brutes, qui ont rencontré les conditions anaérobies et dont le pH était favorable à la production de H<sub>2</sub>S (essais n<sup>os</sup> 7 et 8) n'ont pas produit de H<sub>2</sub>S pour les configurations de la Recette A ou Recette B et avec le Ratio 2;
- Il est plus difficile d'obtenir des conditions anaérobies en laboratoire avec les fines purifiées. La raison probable de cette difficulté serait reliée à la plus faible teneur en carbone organique, ou à la porosité du milieu, qui limite la consommation d'oxygène résiduel;
- Pour tous les essais avec ajouts de carbone et de biomasse (essais n<sup>os</sup> 6, 9, 10, 16, 17, 18), les pH étaient inférieurs à 6,5 et par conséquent, n'ont pas été favorables à la production de H<sub>2</sub>S pour la période des essais;
- Aucun essai avec les fines purifiées n'a généré de H<sub>2</sub>S, probablement en raison d'absence de conditions anaérobies ou de pH en dehors des plages optimales;



- Aucune production significative de CH<sub>4</sub> n'a été observée pour tous les essais en conditions d'anaérobies avec les fines brutes (essais n<sup>os</sup> 3 à 10), ou avec les fines purifiées (essais n<sup>os</sup> 16 à 18);
- La poursuite des essais en phase 2 devrait privilégier les essais avec la Recette A, et dans une proportion minimale correspondant au Ratio 2.

## 4.2 Résultats de la phase 2 dans les réacteurs de 1 m<sup>3</sup> situés à l'extérieur

### 4.2.1 Caractérisations des fines de CRD pour les essais en réacteur de 1 m<sup>3</sup> (phase 2)

Avant de remplir les réacteurs isolés de 1 m<sup>3</sup> (Xatics), les fines de CRD ont été caractérisées pour les paramètres physicochimiques conventionnels. Les résultats de ces analyses sont présentés au tableau IX.

Les proportions de fines de CRD et de matériaux de captage et de neutralisation du H<sub>2</sub>S sont tirées des résultats précédents, où l'approche selon la Recette A a été privilégiée. Également, les proportions de fines de CRD et de matériaux de captage ont été calculées pour être au minimum, en proportion similaire au Ratio 2 ou plus concentrée. Ainsi, pour ces essais le mélange minimum correspondant au Ratio 2 est celui qui est identifié comme étant le mélange 65-15. En ce qui concerne le mélange 65-20, celui-ci contient plus de matériaux de captage de H<sub>2</sub>S que le Ratio 2, et serait donc considéré comme étant encore plus sécuritaire (Ratio 3).

En résumé :

- Recette A / Ratio 2 = 65-15;
- Recette A / Ratio 3 = 65-20.

**Tableau IX – Analyses physicochimiques des matériaux utilisés en phase 2**

N° IQ-CRIQ	Types de fines	Teneur en eau (% b.h).	Matière organique totale (% b.s)*	Masse volumique apparente (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Matériaux reçus des différentes sources</b>				
83468	Fines brutes 1	14,2 %	n.d.	872
83469	Fines brutes 2	22,7 %	n.d.	605
83471	Fines brutes 3	24,5 %	n.d.	543
83470	Fines brutes 4	16,2 %	n.d.	599
83464 - 83467	Fines purifiées	9,7-13,2 %	n.d.	826-996
<b>Intrants et mélanges pour réaliser les essais</b>				
83617	Fines brutes mélangées	17,1 %	22,6 %	582
83616	Fines purifiées	12,1 %	12,6 %	915

\*n. d. : mesure non déterminée.



Les principales observations tirées de ces résultats sont :

- Au même titre que lors de la phase 1, les fines brutes sont plus concentrées en matières organiques que les fines purifiées;
- Les fines brutes sont plus humides que les fines purifiées;
- Une grande variation de la teneur en eau est observée selon l'origine des fines brutes;
- La masse volumique des fines purifiées est plus élevée que celle des fines brutes.

#### 4.2.2 Résultats d'analyses physicochimiques des lixiviats pour les essais en réacteur de 1 m<sup>3</sup> (phase 2)

Les résultats de suivis des volumes d'eau ajoutés aux réacteurs et récupérés sous forme de lixiviats sont présentés au tableau X. Un volume d'eau plus important a été ajouté aux réacteurs de fines purifiées, en raison de la teneur en eau de départ plus faible pour cette matière (voir tableau IX). Comme l'objectif était de respecter les précipitations annuelles, mais également de générer des conditions favorables à la production de H<sub>2</sub>S en augmentant la teneur en eau à plus de 50 %; il a été convenu d'effectuer un ajout d'eau important en surface des réacteurs. Cette intervention a été réalisée entre les jours 33 et 37 et des volumes de 260 litres et 190 litres d'eau ont été injectés en surface des réacteurs contenant les fines purifiées et les fines brutes respectivement. Cette intervention a permis de bien humidifier les fines et de récolter rapidement des lixiviats (à partir du jour 54). Par la suite, l'ajout de 10 litres d'eau en surface des réacteurs a été maintenu chaque semaine pour toute la durée du projet.

**Tableau X – Suivis des volumes d'eau ajoutés aux réacteurs et observations diverses**

Réacteur	Mélange	Volume d'eau à 198 jours (L)		Observations
		Total ajouté	Total récupéré	
Fines brutes	Témoin CRD	420	246	Faible odeur soufrée du lixiviat au jour 98
	CRD 65-15	420	189	Faible odeur soufrée du lixiviat au jour 98
	CRD 65-20	420	186	Faible odeur soufrée du lixiviat au jour 98
Fines purifiées	Témoin FP	490	59	Forte odeur soufrée du lixiviat au jour 98 15 cm d'eau en surface des matériaux (j=92) 16 cm d'eau en surface des matériaux (j=146)
	FP 65-15	490	41	Forte odeur soufrée du lixiviat au jour 98 5 cm d'eau en surface des matériaux (j=92) 6,5 cm d'eau en surface des matériaux (j=146)
	FP 65-20	490	61	Forte odeur soufrée du lixiviat au jour 98 3 cm d'eau en surface des matériaux (j=92) 3 cm d'eau en surface des matériaux (j=146)



Les résultats analytiques des lixiviats sont présentés au tableau XI. Des données provenant du suivi des lixiviats du LET de Champlain couvrant la période de 2017 à 2021 sont également présentées à des fins comparatives. Le LET de Champlain serait retenu par Services Matrec pour réaliser le projet pilote à plus grande échelle pour l'enfouissement de fines de CRD en cellules dédiées.

Les données compilées sur les lixiviats pour les essais en réacteur de 1 m<sup>3</sup> couvrent la période entre les jours 98 à 198.

Seuls les paramètres communs avec le site de Champlain sont présentés dans ce tableau. Les données dépassant les données moyennes du site de Champlain sont mises en rouge.

**Tableau XI – Résultats (moyennes) d'analyses physicochimiques des lixiviats du LET de Champlain et des réacteurs de 1 m<sup>3</sup> aux jours 98-104**

Paramètres	Données effluent du LET de Champlain			Du 18 au 24 août 2021 (jours 98-104)					
	Entre 2017-06-27 et 2021-09-07			Effluent réacteurs fines purifiées (FP)			Effluent réacteurs fines brutes (CRD)		
	Moy.	Écart-type	nb obs	Témoin	65-15	65-20	Témoin	65-15	65-20
Alcalinité (mg/L – CaCO <sub>3</sub> )	3044	766	20	3500	2800	2700	3000	3100	2800
Calcium (mg/L)	71		1	820	790	840	810	810	710
Solides dissous totaux (mg/L)	4707	2591	20	16000	17000	15000	12000	14000	13000
Indice de Langelier (25 °C)	1,3	0,3	19	2,7	2,89	2,63	2,35	2,37	2,29
Indice de Ryznar (25 °C)	4,3	0,3	18	2,03	1,92	2,23	2,45	2,39	2,6
Sulfures totaux (mg/L S <sup>-2</sup> )	72	87	21	564	697	631	1665	531	498
Dureté calcique (mg/L – CaCO <sub>3</sub> )	1088	681	19	7300	7700	7000	7100	7500	6100
Conductivité (µmhos/cm)	7008	5222	4	>13000	>13000	>13000	11000	13000	12000
Zinc (mg/L)	4	18	44	0,013	0,02	0,018	0,038	0,033	0,022
MES (mg/L)	374	435	50	14	11	18	26	8	10
NH <sub>4</sub> (mg N/L)	274	107	51	201	229	184	90	106	104
pH	7,1	0,3	50	7,43	7,7	7,49	7,15	7,14	7,19
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	1231	1680	51	330	510	570	140	220	190
Phénols (mg/L)	0,7	1,1	48	0,22	0,32	0,32	0,06	0,27	0,074
Ptot (mg P/L)	2,8	1,5	27	1,9	2,4	1,9	1,8	2,1	1,7
DCO (mg/L)	2282	2257	48	3700	4600	3400	2000	2600	2300
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,5	0,2	25	0,09	0,11	0,17	0,07	0,08	0,08
SO <sub>4</sub> (mg/L)				4900	5400	4400	4000	4400	4200
S.SO <sub>4</sub> (mg/L)				1636	1803	1469	1335	1469	1402
Stot (mg/L)				2200	2500	2100	3000	2000	1900



**Tableau XII – Suite des résultats (moyennes) d'analyses physicochimiques des lixiviats du LET de Champlain et des réacteurs de 1 m<sup>3</sup> aux jours 120-132**

Paramètres	Données effluent du LET de Champlain			Du 9 au 21-septembre 2021 (Jours 120-132)					
	Entre 2017-06-27 et 2021-09-07			Effluent fines purifiées (FP)			Effluent fines brutes (CRD)		
	Moy.	Écart-type	nb obs	Témoin	65-15	65-20	Témoin	65-15	65-20
Alcalinité (mg/L - CaCO <sub>3</sub> )	3044	766	20	2900	2400	2200	1300	2000	1900
Calcium (mg/L)	71		1	610	670	760	680	680	720
Solides dissous totaux (mg/L)	4707	2591	20	15000	18000	15000	10000	12000	11000
Indice de Langelier (25°C)	1,3	0,3	19	2,10	2,18	2,05	1,50	1,7	1,74
Indice de Ryznar (25°C)	4,3	0,3	18	3,39	3,36	3,47	4,28	3,9	3,85
Sulfures totaux (mg/l S <sup>-2</sup> )	72	87	21	0	31	98	32	32	32
Dureté calcique (mg/L - CaCO <sub>3</sub> )	1088	681	19	1500	1700	1900	1700	1700	1800
Conductivité (µmhos/cm)	7008	5222	4	14000	17000	15000	9800	12000	11000
Zinc (mg/L)	4	18	44	<0,0070	0,013	0,01	0,017	0,019	0,015
MES (mg/L)	374	435	50	264	625	505	26	69	20
NH <sub>4</sub> (mg N/L)	274	107	51	150	214	128	76	89	89
pH	7,1	0,3	50	7,6	7,71	7,56	7,27	7,29	7,33
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	1231	1680	51	420	590	640	160	270	190
Phénols (mg/L)	0,7	1,1	48	0,1	0,15	0,12	0,022	0,032	0,031
Ptot (mg P/L)	2,8	1,5	27	1,2	2,1	1,7	1,1	1,4	1,5
DCO (mg/L)	2282	2257	48	3400	4700	3400	1600	2000	1900
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,5	0,2	25	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05
SO <sub>4</sub> (mg/L)				4800	5900	4200	3800	3800	3800
S.SO <sub>4</sub> (mg/L)				1602	1969	1402	1268	1268	1268
Stot (mg/L)				1400	2000	1500	1300	1300	1300



**Tableau XIII – Suite des résultats (moyennes) d’analyses physicochimiques des lixiviats du LET de Champlain et des réacteurs de 1 m<sup>3</sup> au jour 159**

Paramètres	Données effluent du LET de Champlain			18 octobre 2021 (Jour 159)					
	Entre 2017-06-27 et 2021-09-07			Effluent fines purifiées (FP)			Effluent fines brutes (CRD)		
	Moy.	Écart-type	nb obs	Témoïn	65-15	65-20	Témoïn	65-15	65-20
Alcalinité (mg/L - CaCO <sub>3</sub> )	3044	766	20	3000	2800	2300	1800	1600	2100
Calcium (mg/L)	71		1	540	540	740	620	710	730
Solides dissous totaux (mg/L)	4707	2591	20	15000	19000	16000	8700	10000	11000
Indice de Langelier (25 °C)	1,3	0,3	19	2,22	2,20	2,05	2,00	2,09	2,21
Indice de Ryznar (25 °C)	4,3	0,3	18	3,31	3,37	3,46	3,66	3,57	3,33
Sulfures totaux (mg/l S <sup>-2</sup> )	72	87	21	<0,50	19	10	1,1	13	7,8
Dureté calcique (mg/L - CaCO <sub>3</sub> )	1088	681	19	1350	1350	1850	1550	1770	1820
Conductivité (µmhos/cm)	7008	5222	4	>13000	>13000	>13000	8300	10000	11000
Zinc (mg/L)	4	18	44	0,0073	0,050	0,014	0,022	0,011	0,014
MES (mg/L)	374	435	50	9	16	33	6	6	22
NH <sub>4</sub> (mg N/L)	274	107	51	158	222	157	60	74	86
pH	7,1	0,3	50	7,75	7,77	7,56	7,67	7,76	7,75
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	1231	1680	51	290	490	660	71	160	120
Phénols (mg/L)	0,7	1,1	48	0,064	0,25	0,12	0,048	0,016	0,017
Ptot (mg P/L)	2,8	1,5	27	1,3	2,0	2,0	0,92	1,3	1,5
DCO (mg/L)	2282	2257	48	3700	5600	4800	1200	1900	1800
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,5	0,2	25	0,08	0,09	0,14	0,06	0,08	0,07
SO <sub>4</sub> (mg/L)				5200	5900	4700	3200	3700	3700
S.SO <sub>4</sub> (mg/L)				1737	1971	1570	1069	1236	1236
Stot (mg/L)				1300	1600	1600	990	1200	1300



**Tableau XIV – Suite des résultats (moyennes) d'analyses physicochimiques des lixiviats du LET de Champlain et des réacteurs de 1 m<sup>3</sup> au jour 198**

Paramètres <sup>2</sup>	Données effluent du LET de Champlain <sup>1</sup>			26 novembre 2021 (Jour 198)			
	Entre 2017-06-27 et 2021-09-07			Effluent fines purifiées (FP)		Effluent fines brutes (CRD)	
	Moy.	Écart-type	nb obs	Témoin	Témoin	65-15	65-20
Alcalinité totale (mg/L - CaCO <sub>3</sub> )	3044	766	20	3700	2300	1900	2400
Calcium (mg/L)	71		1	800	710	760	800
Bicarbonate (CaCO <sub>3</sub> mg/L)	-			3700	2300	1900	2400
Carbonate (CaCO <sub>3</sub> mg/L)	-			<10	<10	<1,0	<10
Hydroxide (OH <sup>-</sup> mg/L)	-			<10	<10	<1,0	<10
Solides dissous totaux (mg/L)	4707	2591	20	14000	7300	8700	9700
Indice de Langelier (25 °C)	1,3	0,3	19	2,07	1,83	1,75	1,77
Indice de Ryznar (25 °C)	4,3	0,3	18	3,20	3,67	3,83	3,66
Sulfures totaux (mg/l S <sup>-2</sup> )	72	87	21	<0,20	14	<0,20	23
Dureté calcique (mg/L – CaCO <sub>3</sub> )	1088	681	19	2000	1770	1900	2000
Conductivité (µmhos/cm)	7008	5222	4	13000	7200	8300	9500
Zinc (mg/L)	4	18	44	0,0081	0,010	<0,0070	0,0097
MES (mg/L)	374	435	50	15	18	22	35
NH <sub>4</sub> (mg N/L)	274	107	51	137	49	49	67
NTK (mgN/L)	-			196	67	65	94
Nitrite (mgN/L)	OER=15,7			<15,2	<15,2	<15,2	<15,2
Nitrate (mgN/L)	OER=176			<5,60	<5,60	<5,60	<5,60
pH	7,1	0,3	50	7,33	7,32	7,30	7,21
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	1231	1680	51	280	25	140	190
Phénols (mg/L)	0,7	1,1	48	0,065	0,012	0,011	0,014
Ptot (mg P/L)	2,8	1,5	27	1,8	0,97	1,1	1,5
DCO (mg/L)	2282	2257	48	570	800	930	1300
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,5	0,2	25	0,49	0,03	0,15	0,15
H <sub>2</sub> S	3,7	0,6	3				
SO <sub>4</sub> (mg/L)	-			5091	2835	2835	3248
S.SO <sub>4</sub> (mg/L)	-			1699	947	947	1085
Stot (mg/L)	-			1600	1200	1300	1100
Chlorure (mg/L)				1085	279,5	674	849
Fluorure (mg/L)	OER=4,8			<25	<25	<25	<25
Indice phénol 4AAP (mg/L)				0,065	0,012	0,011	0,014
Hydrocarbure C10-C50 (ug/L)	-			<100	120	110	260
Dioxines et furanes (éq. Toxique totale) (mg/L)	OER=3,1x10 <sup>-12</sup>			7,1x10 <sup>-11</sup>	1,2x10 <sup>-10</sup>	1,3x10 <sup>-10</sup>	1,5x10 <sup>-10</sup>
BPC totaux (mg/L)	OER=6,4x10 <sup>-8</sup>			1,4x10 <sup>-6</sup>	4,4x10 <sup>-6</sup>	1x10 <sup>-6</sup>	1,5x10 <sup>-6</sup>
Coliformes fécaux (UFC/100 ml)				<10	<10	<10	<10

<sup>1</sup>OER Critères du LET Champlain (MELCC 2019).

<sup>2</sup>Délai maximum de conservation dépassé pour l'analyse des coliformes fécaux, DBO<sub>5</sub> : Solides totaux dissous, alcalinité totale (pH final 4.5), conductivité, pH, HP (C10-C50).



Les résultats compilés dans les tableaux XI à XIV permettent de faire les constatations suivantes :

- Les fines purifiées limitent l'écoulement de l'eau et une accumulation à la surface des matériaux est détectée. Il est difficile de récupérer du lixiviat en sortie. Un volume d'eau inférieur à 13 % du volume injecté est récupéré sous forme de lixiviat;
- L'écoulement à travers les fines brutes est plus facile et des volumes plus importants de lixiviats sont récupérés. Plus de 47 % du volume d'eau injecté est récupéré sous forme de lixiviats;
- Globalement, les réacteurs de fines purifiées génèrent des lixiviats avec des concentrations plus élevées que ceux générés par les réacteurs de fines brutes. Les volumes d'eau récupérés pourraient justifier ces écarts de concentrations;
- De la DBO<sub>5</sub> est mesurée en concentration plus élevée dans les lixiviats des fines purifiées comparativement aux fines brutes. Ces résultats vont à l'encontre des teneurs en matières organiques mesurées dans les fines purifiées, et les observations faites en phase 1 à propos des conditions favorables à l'établissement de l'anaérobiose;
- Les résultats des lixiviats générés à partir du jour 98 indiquent que plusieurs paramètres tels que la concentration en calcium, les solides dissous totaux, les indices de Langelier et de Ryznar, les sulfures totaux, la dureté calcique et la conductivité ont des valeurs différentes de celles mesurées dans les lixiviats du site de Champlain. Ces valeurs seraient favorables à l'entartrage des conduites;
- Certains de ces écarts semblent diminuer aux jours 159 et 198, et les paramètres qui demeurent supérieurs à ceux mesurés au site du LET de Champlain sont principalement le calcium, les solides dissous totaux et l'indice de Langelier;
- Comme l'indice de Langelier est >0 et que l'indice de Ryznar est <6,0, les lixiviats ont tendance à favoriser l'entartrage;
- Les matériaux utilisés pour leurs capacités à absorber et à neutraliser les émissions de H<sub>2</sub>S ne modifient pas de façon significative les qualités physicochimiques des lixiviats;
- Les valeurs de pH mesurées dans les lixiviats sont dans des plages propices à la production microbienne de H<sub>2</sub>S;
- Les échantillons du jour 198 montrent des valeurs en BPC et en dioxine furane supérieures aux OER du site de Champlain (MELCC 2019).

#### 4.2.3 Analyses des métaux et des COV des lixiviats des réacteurs de 1 m<sup>3</sup> (phase 2)

Les résultats des analyses des métaux dans les lixiviats sont présentés aux tableaux XV à XXVI. Les données en rouge indiquent les dépassements selon les OER du LET de Champlain. Certaines analyses n'ont pas été poursuivies jusqu'au jour 198 pour les effluents des réacteurs FP 65-15 et 65-20, en raison de la problématique de la nappe perchée et du peu d'écoulement de lixiviats à la sortie des réacteurs.



**Tableau XV – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur Témoin FP**

Métaux	OER Champlain	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159	26 novembre Jour=198
	Unités (mg/L)				
Aluminium (Al)	-	0,32	0,22	0,22	0,29
Antimoine III (Sb)					<0,001
/Argent (Ag)	-	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Arsenic (As)	-	0,058	0,046	0,052	0,061
Baryum (Ba)	19	0,11	0,079	0,078	0,085
Béryllium (Be)	-				<0,0020
Bore (B) †	-	17	13	43	20
Cadmium (Cd)	-	<0,00020	<0,00020	<0,00020	<0,00020
Calcium (Ca) †	-	820	610	540	800
Chrome (Cr)	0,58	0,13	0,082	0,094	0,11
Cobalt (Co)	-	0,022	0,015	0,017	0,023
Cuivre (Cu)	0,31	0,0039	0,0029	0,0026	0,0034
Dureté totale (CaCO <sub>3</sub> )	-	7300	5600	5600	8000
Etain (Sn)	-	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Fer (Fe)	-	0,93	0,55	0,52	0,98
Magnésium (Mg)	-	1300	980	1000	1500
Manganèse (Mn)	94	0,49	0,34	0,35	0,41
Mercure (Hg)	1,3 x 10 <sup>-6</sup>	0,00017	<0,00010	<0,00010	0,00015
Molybdène (Mo)	-	0,0026	0,0018	0,0018	0,0021
Nickel (Ni)	2,5	0,23	0,16	0,18	0,22
Phosphore total		1,9	1,2	1,3	1,8
Plomb (Pb)	0,075	0,0087	0,0063	0,0061	0,0070
Potassium (K)	-	670	450	470	570
Sélénium (Se)	-	0,0039	<0,0030	<0,0030	0,0031
Sodium (Na)	-	1600	1100	1100	1600
Soufre (S)	-	2200	1400	1300	1600
Thallium (Tl)	-				<0,0020
Zinc (Zn)		0,013	<0,0070	0,0073	0,0081
Chrome hexavalent (Cr 6+)	-	<0,16	<0,080	<0,16	<0,16
Chrome trivalent (Cr 3+) †	-	<0,16	0,082	<0,16	<0,16
Cyanures totaux	0,39	0,055	0,081	0,064	0,052



**Tableau XVI – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur FP 65-15**

Métaux	OER Champlain	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159
	Unités (mg/L)			
Aluminium (Al)	-	0,27	0,23	0,20
Argent (Ag)	-	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Arsenic (As)	-	0,12	0,12	0,12
Baryum (Ba)	19	0,11	0,098	0,082
Béryllium (Be)	-			
Bore (B) †	-	16	15	45
Cadmium (Cd)	-	<0,00020	<0,00020	<0,00020
Calcium (Ca) †	-	790	670	540
Chrome (Cr)	0,58	0,17	0,15	0,15
Cobalt (Co)	-	0,017	0,015	0,016
Cuivre (Cu)	0,31	0,0058	0,0060	0,0055
Dureté totale (CaCO <sub>3</sub> )	-	7700	7100	6300
Etain (Sn)	-	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Fer (Fe)	-	0,35	0,28	0,28
Magnésium (Mg)	-	1400	1300	1200
Manganèse (Mn)	94	0,50	0,42	0,41
Mercure (Hg)	1,3 x 10 <sup>-6</sup>	0,00026	<0,00010	0,00014
Molybdène (Mo)	-	0,0039	0,0040	0,0038
Nickel (Ni)	2,5	0,23	0,23	0,24
Phosphore total		2,4	2,1	2,0
Plomb (Pb)	0,075	0,0097	0,0090	0,0086
Potassium (K)	-	770	610	560
Sélénium (Se)	-	0,0047	0,0036	0,0036
Sodium (Na)	-	2100	1800	1600
Soufre (S)	-	2500	2000	1600
Zinc (Zn)	-	0,020	0,013	0,050
Chrome hexavalent (Cr <sup>6+</sup> )		<0,080	<0,080	<0,16
Chrome trivalent (Cr <sup>3+</sup> ) †	-	0,17	0,15	<0,16
Cyanures totaux	0,39	0,061	0,15	0,16



**Tableau XVII – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur FP 65-20**

Métaux	OER Champlain	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159
	Unités (mg/L)			
Aluminium (Al)	-	0,26	0,22	0,28
Argent (Ag)	-	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Arsenic (As)	-	0,11	0,14	0,19
Baryum (Ba)	19	0,11	0,10	0,11
Bore (B) †	-	16	15	42
Cadmium (Cd)	-	<0,00020	<0,00020	<0,00020
Calcium (Ca) †	-	840	760	740
Chrome (Cr)	0,58	0,14	0,11	0,16
Cobalt (Co)		0,0096	0,0084	0,012
Cuivre (Cu)	0,31	0,0048	0,0055	0,0077
Dureté totale (CaCO <sub>3</sub> )		7000	6200	7400
Etain (Sn)	-	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Fer (Fe)	-	0,32	0,28	0,51
Magnésium (Mg)	-	1100	1000	1300
Manganèse (Mn)	94	0,47	0,41	0,52
Mercure (Hg)	1,3 x 10 <sup>-6</sup>	0,00020	<0,00010	<0,00010
Molybdène (Mo)	-	0,0047	0,0053	0,0073
Nickel (Ni)	2,5	0,16	0,17	0,26
Phosphore total		1,9	1,7	2,0
Plomb (Pb)	0,075	0,0076	0,0077	0,011
Potassium (K)		660	500	590
Sélénium (Se)	-	0,0036	<0,0030	0,0034
Sodium (Na)	-	1600	1600	1700
Soufre (S)	-	2100	1500	1600
Zinc (Zn)	-	0,018	0,010	0,014
Chrome hexavalent (Cr <sup>6+</sup> )	-	<0,080	<0,040	<0,080
Chrome trivalent (Cr <sup>3+</sup> )		0,14	0,11	0,16
Cyanures totaux	0,39	0,018	0,069	0,17



**Tableau XVIII – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur témoin CRD**

Métaux	OER Champlain	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159	26 novembre Jour=198
	Unités (mg/L)				
Aluminium (Al)	-	0,23	0,16	0,10	0,081
Antimoine III (Sb)					<0,001
Argent (Ag)	-	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Arsenic (As)	-	0,074	0,054	0,038	0,026
Baryum (Ba)	19	0,094	0,071	0,064	0,057
Béryllium (Be)	-				<0,0020
Bore (B)	-	32	26	48	22
Cadmium (Cd)	-	<0,00020	<0,00020	<0,00020	<0,00020
Calcium (Ca)	-	810	680	620	710
Chrome (Cr)	0,58	0,076	0,047	0,036	0,026
Cobalt (Co)	-	0,011	0,0071	0,0052	0,0057
Cuivre (Cu)	0,31	0,0074	0,0038	0,0029	0,0018
Dureté totale (CaCO <sub>3</sub> )	-	7100	5700	4700	5200
Etain (Sn)	-	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Fer (Fe)	-	0,27	0,18	0,15	1,3
Magnésium (Mg)	-	1200	980	770	830
Manganèse (Mn)	94	0,72	0,47	0,48	0,52
Mercure (Hg)	1,3 x 10 <sup>-6</sup>	0,00053	0,00023	0,00025	0,00017
Molybdène (Mo)	-	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0035
Nickel (Ni)		0,17	0,11	0,068	0,063
Phosphore total	-	1,8	1,1	0,92	0,97
Plomb (Pb)	0,075	0,0085	0,0044	0,0033	0,0024
Potassium (K)	-	290	210	170	150
Sélénium (Se)	-	0,0063	0,0039	<0,0030	<0,0030
Sodium (Na)	-	840	610	390	370
Soufre (S)	-	3000	1300	990	1200
Thallium (Tl)	-				<0,0020
Zinc (Zn)		0,038	0,017	0,022	0,010
Chrome hexavalent (Cr <sup>6+</sup> )	-	<0,080	<0,040	<0,080	<0,040
Chrome trivalent (Cr <sup>3+</sup> )	-	<0,080	0,047	<0,080	<0,040
Cyanures totaux	0,39	0,044	0,042	0,051	0,018



**Tableau XIX – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur CRD 65-15**

Métaux	OER Champlain	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159	26 novembre Jour=198
	Unités (mg/L)				
Aluminium (Al)	-	0,23	0,15	0,12	0,076
Antimoine III (Sb)					<0,001
Argent (Ag)	-	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Arsenic (As)	-	0,12	0,097	0,098	0,061
Baryum (Ba)	19	0,11	0,086	0,082	0,063
Béryllium (Be)	-				<0,0020
Bore (B) †	-	35	29	74	26
Cadmium (Cd)	-	<0,00020	<0,00020	<0,00020	<0,00020
Calcium (Ca) †	-	810	680	710	760
Chrome (Cr)	0,58	0,088	0,054	0,052	0,029
Cobalt (Co)	-	0,0088	0,0051	0,0046	0,0034
Cuivre (Cu)	0,31	0,0091	0,0051	0,0039	0,0026
Dureté totale (CaCO <sub>3</sub> )	-	7500	5800	5800	5600
Etain (Sn)	-	0,0022	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Fer (Fe)	-	0,32	0,18	0,47	0,36
Magnésium (Mg)	-	1300	990	980	900
Manganèse (Mn)	94	0,81	0,56	0,64	0,66
Mercuré (Hg)	1,3 x 10 <sup>-6</sup>	0,00067	0,00016	0,00026	0,00015
Molybdène (Mo)	-	0,0013	<0,0010	0,0019	0,0046
Nickel (Ni)		0,19	0,13	0,12	0,080
Phosphore total	-	2,1	1,4	1,3	1,1
Plomb (Pb)	0,075	0,0091	0,0044	0,0041	0,0029
Potassium (K)	-	340	230	230	180
Sélénium (Se)	-	0,0083	0,0047	0,0042	<0,0030
Sodium (Na)	-	1100	750	670	580
Soufre (S)	-	2000	1300	1200	1300
Thallium (Tl)	-				<0,0020
Zinc (Zn)		0,033	0,019	0,011	<0,0070
Chrome hexavalent (Cr <sup>6+</sup> )	-	<0,040	<0,040	<0,080	<0,040
Chrome trivalent (Cr <sup>3+</sup> )	-	0,088	0,054	<0,080	<0,040
Cyanures totaux	0,39	0,034	0,080	0,044	0,055



**Tableau XX – Analyses des métaux du lixiviat du réacteur CRD 65-20**

Métaux	OER Champlain	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159	26 novembre Jour=198
	Unités (mg/L)				
Aluminium (Al)	-	0,20	0,16	0,14	0,12
Antimoine III (Sb)					<0,001
Argent (Ag)	-	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Arsenic (As)	-	0,085	0,084	0,096	0,082
Baryum (Ba)	19	0,097	0,092	0,089	0,076
Béryllium (Be)	-				<0,0020
Bore (B) †	-	31	31	87	30
Cadmium (Cd)	-	<0,00020	<0,00020	<0,00020	<0,00020
Calcium (Ca) †	-	710	720	730	800
Chrome (Cr)	0,58	0,072	0,057	0,061	0,047
Cobalt (Co)	-	0,0079	0,0052	0,0049	0,0044
Cuivre (Cu)	0,31	0,0061	0,0040	0,0033	0,0032
Dureté totale (CaCO <sub>3</sub> )	-	6100	5900	6100	6400
Etain (Sn)	-	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Fer (Fe)	-	0,22	0,16	0,20	0,29
Magnésium (Mg)	-	1100	1000	1000	1100
Manganèse (Mn)	94	0,72	0,66	0,72	0,67
Mercure (Hg)	1,3 x 10 <sup>-6</sup>	0,00046	<0,00010	0,00024	0,00020
Molybdène (Mo)	-	<0,0010	<0,0010	0,0040	0,0079
Nickel (Ni)		0,15	0,12	0,12	0,11
Phosphore total	-	1,7	1,5	1,5	1,5
Plomb (Pb)	0,075	0,0061	0,0039	0,0039	0,0029
Potassium (K)	-	270	240	240	220
Sélénium (Se)	-	0,0067	0,0048	0,0046	0,0042
Sodium (Na)	-	860	760	730	750
Soufre (S)	-	1900	1300	1300	1100
Thallium (Tl)	-				<0,0020
Zinc (Zn)		0,022	0,015	0,014	0,0097
Chrome hexavalent (Cr <sup>6+</sup> )	-	<0,040	<0,040	<0,080	<0,040
Chrome trivalent (Cr <sup>3+</sup> ) †	-	0,072	0,057	<0,080	0,047
Cyanures totaux	0,39	0,037	0,058	0,051	0,079



**Tableau XXI – Analyses des COV du lixiviat du réacteur témoin FP**

COV	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159	26 novembre Jour=198
	Unités (ug/L)			
Benzène	0,69	0,85	0,71	0,68
Chlorobenzène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 benzène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,3 benzène	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,4 benzène	4,4	8,6	4,9	5,7
Éthylbenzène	1,1	1,7	1,3	1,3
Styrène	0,24	0,27	0,27	0,23
Toluène	1,1	<1,0	<1,0	<1,0
Xylènes (o,m,p) †	5,4	8,4	6,3	6,2
Chloroforme	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,1 éthane	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Dichloro-1,2 éthane (cis)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane (trans)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane (cis et trans) †	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichlorométhane	<0,90	<0,90	<0,90	<0,90
Dichloro-1,2 propane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (trans)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis et trans) †	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloroéthène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Tétrachlorure de carbone	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,1 éthane	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Trichloroéthène	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Pentachloroéthane †	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Hexachloroéthane †	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10



**Tableau XXII – Analyses des COV du lixiviat du réacteur FP 65-15**

COV	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159
	Unités (ug/L)		
Benzène	1,0	<0,20	0,91
Chlorobenzène	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 benzène	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,3 benzène	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,4 benzène	3,8	<0,20	5,4
Éthylbenzène	0,58	<0,10	0,84
Styrène	0,12	<0,10	0,22
Toluène	1,4	<1,0	1,2
Xylènes (o,m,p) †	2,9	<0,40	4,2
Chloroforme	<0,20	<0,20	<0,20
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,1 éthane	<1,0	<1,0	<1,0
Dichloro-1,2 éthane (cis)	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane (trans)	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane (cis et trans) †	<0,20	<0,20	<0,20
Dichlorométhane	<0,90	<0,90	<0,90
Dichloro-1,2 propane	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propane	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis)	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (trans)	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis et trans) †	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloroéthène	<0,20	<0,20	<0,20
Tétrachlorure de carbone	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,1 éthane	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10
Trichloroéthène	<0,10	<0,10	<0,10
Pentachloroéthane †	<0,40	<0,40	<0,40
Hexachloroéthane †	<0,10	<0,10	<0,10



**Tableau XXIII – Analyses des COV du lixiviat du réacteur FP 65-20**

COV	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159
	Unités (ug/L)		
Benzène	1,2	<0,20	1,2
Chlorobenzène	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 benzène	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,3 benzène	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,4 benzène	4,0	<0,20	4,9
Éthylbenzène	0,50	<0,10	0,63
Styrène	0,21	<0,10	0,21
Toluène	1,5	<1,0	1,3
Xylènes (o,m,p) †	3,5	<0,40	4,3
Chloroforme	<0,20	<0,20	<0,20
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,1 éthane	<1,0	<1,0	<1,0
Dichloro-1,2 éthane (cis)	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane (trans)	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane (cis et trans) †	<0,20	<0,20	<0,20
Dichlorométhane	<0,90	<0,90	<0,90
Dichloro-1,2 propane	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propane	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis)	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (trans)	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis et trans) †	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloroéthène	<0,20	<0,20	<0,20
Tétrachlorure de carbone	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,1 éthane	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10
Trichloroéthène	<0,10	<0,10	<0,10
Pentachloroéthane †	<0,40	<0,40	<0,40
Hexachloroéthane †	<0,10	<0,10	<0,10



**Tableau XXIV – Analyses des COV du lixiviat du réacteur Témoin CRD**

COV	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159	26 novembre Jour=198
	Unités (ug/L)			
Benzène	0,78	1,1	0,89	0,76
Chlorobenzène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 benzène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,3 benzène	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,4 benzène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Éthylbenzène	0,12	0,18	0,18	0,15
Styrène	<0,10	<0,10	0,11	<0,10
Toluène	<1,0	1,2	1,5	1,2
Xylènes (o,m,p) †	0,44	1,2	0,84	0,74
Chloroforme	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane	6,4	8,5	5,4	4,5
Dichloro-1,1 éthène	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Dichloro-1,2 éthène (cis)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthène (trans)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthène (cis et trans) †	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichlorométhane	<0,90	<0,90	<0,90	<0,90
Dichloro-1,2 propane	0,25	0,27	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (trans)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis et trans) †	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloroéthène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Tétrachlorure de carbone	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,1 éthane	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Trichloroéthène	0,10	0,12	0,12	<0,10
Pentachloroéthane †	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Hexachloroéthane †	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10



**Tableau XXV – Analyses des COV du lixiviat du réacteur CRD 65-15**

COV	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159	26 novembre Jour=198
	Unités (ug/L)			
Benzène	0,49	0,70	0,63	0,73
Chlorobenzène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 benzène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,3 benzène	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,4 benzène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Éthylbenzène	0,13	0,27	0,26	0,30
Styrène	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Toluène	<1,0	2,6	2,8	2,6
Xylènes (o,m,p) †	0,44	1,5	1,3	1,7
Chloroforme	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane	2,8	2,9	2,4	2,5
Dichloro-1,1 éthène	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Dichloro-1,2 éthène (cis)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthène (trans)	<0,20	0,26	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthène (cis et trans) †	<0,20	0,26	<0,20	<0,20
Dichlorométhane	<0,90	<0,90	<0,90	<0,90
Dichloro-1,2 propane	<0,10	0,27	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (trans)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis et trans) †	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloroéthène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Tétrachlorure de carbone	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,1 éthane	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Trichloroéthène	0,15	0,22	0,22	<0,10
Pentachloroéthane †	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Hexachloroéthane †	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10



**Tableau XXVI – Analyses des COV du lixiviat du réacteur CRD 65-20**

COV	24 août Jour=104	21 septembre Jour=132	18 octobre Jour=159	26 novembre Jour=198
	Unités (ug/L)			
Benzène	5,2	7,0	6,6	7,4
Chlorobenzène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 benzène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,3 benzène	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,4 benzène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Éthylbenzène	<0,10	0,22	0,17	0,21
Styrène	<0,10	<0,10	0,11	<0,10
Toluène	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Xylènes (o,m,p) †	<0,40	1,2	0,76	1,5
Chloroforme	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane	2,5	2,5	2,5	2,6
Dichloro-1,1 éthène	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Dichloro-1,2 éthène (cis)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthène (trans)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthène (cis et trans) †	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichlorométhane	<0,90	<0,90	<0,90	<0,90
Dichloro-1,2 propane	<0,10	0,25	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (trans)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis et trans) †	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloroéthène	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Tétrachlorure de carbone	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,1 éthane	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,2 éthane	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Trichloroéthène	0,15	0,19	0,21	0,20
Pentachloroéthane †	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Hexachloroéthane †	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10



Les résultats compilés dans les tableaux XV à XXVI permettent de faire les constatations suivantes :

- L'analyse des métaux dans les lixiviats indique la présence de mercure au-delà des objectifs environnementaux de rejets (OER). Évidemment, les valeurs de mercure mesurées proviennent d'un lixiviat non traité, alors que les OER sont les critères exigés pour les rejets de la station de traitement de Champlain. Dans l'ensemble, les autres métaux mesurés dans les lixiviats bruts rencontrent les OER du LET de Champlain;
- L'analyse des COV indique la présence de benzène, d'éthylbenzène, de toluène et de xylène dans les lixiviats de tous les réacteurs. Les concentrations mesurées sont de l'ordre du microgramme par litre. L'ensemble des autres COV sont en deçà des seuils de détection analytique.

#### 4.2.4 Résultats des analyses des gaz pour les essais en réacteur de 1 m<sup>3</sup> (phase 2)

Comme indiqué à la section 3.2.1, les fractions gazeuses des réacteurs ont pu être analysées à deux (2) endroits. Puisque de l'eau s'est retrouvée dans les conduites, sous le réseau de captage des réacteurs de fines purifiées, les analyses des gaz par l'analyseur Jerome 631-X ont été prises sur le dessus des réacteurs contenant les fines purifiées.

Les résultats des analyses des gaz sont présentés au tableau XXVII.

**Tableau XXVII – Résultats du suivi gazeux du H<sub>2</sub>S des réacteurs de 1 m<sup>3</sup> à l'aide de l'analyseur Jerome 631-X**

Réacteurs	H <sub>2</sub> S ppmv*			
	Jours			
	62	92	120	128
Témoin CRD	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
CRD 65-15	0,011	<0,003	<0,003	<0,003
CRD 65-20	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Témoin FP	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
FP 65-15	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
FP 65-20	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003

\*Les mesures ont été prises sur le dessus du réacteur pour les fines purifiées en raison de la présence d'eau dans les conduites du réseau de captage.

Selon les résultats présentés au tableau XXVII pour la période couverte par le suivi, presque toutes les mesures du H<sub>2</sub>S sont sous le seuil de détection de l'appareil. Ces mesures indiquent que les sulfures produits par les fines de CRD se retrouvent principalement dans la fraction liquide (tableau XI-XVI), et très peu sont générés dans la fraction gazeuse. Les pH neutre et alcalin sont également favorables à la solubilisation du sulfure d'hydrogène; les pH des lixiviats ont varié entre 7,1 et 7,8 pendant toute la durée du suivi.

Des analyses plus complètes des composés soufrés gazeux réduits à l'aide du GC-MS 7890B sont présentées au tableau XXVIII. Encore une fois, la présence d'eau dans le réseau de captage ne permet pas toujours de faire l'analyse à cet endroit.



Afin de préserver les pompes, les échantillons ont été prélevés de façon privilégiée sur le dessus du réacteur.

**Tableau XXVIII – Résultats du suivi des fractions soufrées réduites des réacteurs de 1 m<sup>3</sup> à l'aide de l'analyseur de type GC-MS 7890B (Jour 147)**

Réacteurs	Points échantillonnage	H <sub>2</sub> S	CS <sub>2</sub>	COS	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S	CH <sub>4</sub> S	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub>
		ug/m <sup>3</sup>					
Blanc de terrain	Extérieure	LQM	LQM	LQM	LQM	LQM	LQM
Témoin CRD	Dessus	LQM	LQM	LQM	LQM	LQM	LQM
CRD 65-15	Sous réseau	LQM	6,09	LQM	LQM	LQM	LQM
CRD 65-20	Dessus	LQM	6,22	LQM	LQM	LQM	LQM
Témoin FP	Dessus	LQM	8,25	11,94	LQM	LQM	LQM
FP 65-15	Dessus	LQM	7,03	LQM	LQM	LQM	LQM
FP 65-20	Dessus	LQM	5,53	LQM	LQM	LQM	LQM

LQM-limite de quantification de la méthode entre (1,6 et 2,8 ppbv) pour les composés soufrés.

Les résultats mesurés au tableau XXVIII confirment les faibles concentrations en composés soufrés mesurées dans la phase gazeuse des réacteurs. Le principal composé mesuré est le disulfure de carbone (CS<sub>2</sub>) à des valeurs inférieures à 8,25 ug/m<sup>3</sup>. Le sulfure de carbone (COS) a également été mesuré dans la phase gazeuse du réacteur de fines purifiées (témoin). Ces deux (2) molécules ont peu d'impact au niveau olfactif, puisque les seuils de perceptions seraient d'environ 133 et 643 ug/m<sup>3</sup> respectivement pour le COS et le CS<sub>2</sub>.

Ainsi, les teneurs mesurées en gaz soufrés réduits au jour 147 du projet sont très faibles et largement sous le seuil de perception.

Bien que les concentrations des gaz, de même que les volumes gazeux générés soient très faibles, il a été possible de calculer un taux d'émission surfacique selon l'équation 1. Le tableau XXIX présente les données ainsi que les taux surfaciques mesurés pour certains composés soufrés.

Il est à noter que le taux d'émission surfacique du H<sub>2</sub>S est nul pour tous les essais puisqu'à ce jour, aucune concentration de H<sub>2</sub>S n'a été mesurée dans la fraction gazeuse des réacteurs de 1 m<sup>3</sup>.

Dans l'ensemble, les données des paramètres gazeux compilées jusqu'au jour 147 n'indiquent aucune évidence de production significative de H<sub>2</sub>S ou autres gaz de composés soufrés réduits. Cette observation est valide pour toutes les configurations testées en phase 2.



**Tableau XXIX – Taux d'émission des gaz générés à partir des réacteurs de 1 m<sup>3</sup>  
(surface 1,09 m<sup>2</sup>) mesurés à l'aide des volumètres de type Ritter et de  
l'analyseur de type GC-MS 7890B**

Réacteurs	Débit mesuré L/jour	Débit moyen L/jour	Concentration gaz ug/m <sup>3</sup>	Taux d'émission surfaccique ug/j.m <sup>2</sup>
Témoin CRD	J=124 :0,0287 J=141: 0,0016	0,1515	0	0
CRD 65-15	J=127 : 0,0014 J=146 : 0,0000	0,0007	CS <sub>2</sub> =6,09	3,9x10 <sup>-6</sup> CS <sub>2</sub>
CRD 65-20	J=127 : 0,0012 J=146 :0,0022	0,0017	CS <sub>2</sub> =6,22	9,7x10 <sup>-6</sup> CS <sub>2</sub>
Témoin FP	J=121: 0,023 J=132 : 0,0009 J=153 : 0,0008	0,0082	CS <sub>2</sub> =8,25 COS=11,94	6,2x10 <sup>-5</sup> CS <sub>2</sub> 9,0x10 <sup>-5</sup> COS
FP 65-15	J=121 : 0,0398 J=132 : 0,0006 J=153 : 0,0000	0,0134	CS <sub>2</sub> =7,03	8,7x10 <sup>-5</sup> CS <sub>2</sub>
FP 65-20	J=124 : 0,0036 J=146 :0,0000	0,0018	CS <sub>2</sub> =5,53	9,1x10 <sup>-6</sup> CS <sub>2</sub>

Globalement, les principaux constats tirés de ces observations sont :

- Les volumes de gaz émis par tous les réacteurs sont très faibles et de l'ordre de quelques millilitres par jour, et ce, même pour les réacteurs témoins;
- À ce jour, aucune production significative de composés soufrés n'a été observée en sortie gazeuse des réacteurs;
- Peu de différences sont mesurées au niveau des émissions de gaz entre les réacteurs témoins pour toutes les configurations testées en phase 2;
- Peu de différences sont mesurées au niveau des émissions de gaz entre les réacteurs avec les fines brutes et les réacteurs avec les fines purifiées.

## 5. Conclusion

Les principales observations et conclusions suivant la réalisation des différentes phases expérimentales de ce projet sont :

### Phase 1 – Essais en laboratoire :

- Les essais avec les fines brutes en petits réacteurs de laboratoire seulement permettent d'obtenir des productions de H<sub>2</sub>S significatives en moins de 30 jours;
- Tous les essais avec les fines brutes qui ont rencontré les conditions anaérobies et dont le pH était favorable à la production de H<sub>2</sub>S (essais n<sup>os</sup> 7 et 8) n'ont pas produit de H<sub>2</sub>S lorsqu'une proportion de matériaux de captage et de neutralisation du H<sub>2</sub>S correspondant minimalement au « Ratio 2 » est ajoutée selon la Recette A ou la Recette B;
- Il est plus ardu d'obtenir des conditions favorables à la production de H<sub>2</sub>S en laboratoire avec les fines purifiées, en raison de la difficulté à obtenir des conditions anaérobies;



- Aucun des essais avec les fines purifiées n'a généré de H<sub>2</sub>S, probablement en raison d'absence de conditions anaérobies ou de pH en dehors des plages optimales;
- Aucune production significative de CH<sub>4</sub> n'a été observée pour tous les essais ayant été en conditions anaérobies avec les fines brutes ou avec les fines purifiées.

#### Phase 2 : Essais en réacteurs de 1 m<sup>3</sup> :

- Les fines purifiées ont limité l'écoulement de l'eau et une nappe à la surface des réacteurs a été mesurée. Cette nappe pourrait solubiliser les sulfures et limiter la sortie dans la phase gazeuse;
- Globalement, les réacteurs de fines purifiées génèrent des lixiviats avec des concentrations plus élevées que les lixiviats générés par les réacteurs de fines brutes. Les volumes d'eau récupérés pourraient justifier ces écarts de concentrations;
- Les résultats des lixiviats indiquent que plusieurs paramètres, tels que le calcium, les solides dissous totaux, les sulfures totaux, la dureté calcique et la conductivité sont en concentrations supérieures à celles mesurées dans les lixiviats du site de Champlain. Les valeurs mesurées des indices de Langelier et de Ryznar indiqueraient également des conditions favorables à l'entartrage des conduits;
- L'utilisation de matériaux de captage et de neutralisation du H<sub>2</sub>S selon la Recette A ne modifie pas de façon significative les qualités physicochimiques des lixiviats;
- Les valeurs de pH mesurées dans les lixiviats sont dans des plages propices à la production microbienne de H<sub>2</sub>S;
- L'analyse des métaux dans les lixiviats bruts indique la présence de mercure au-delà des objectifs environnementaux de rejets (OER). Dans l'ensemble, les autres métaux mesurés dans les lixiviats bruts rencontrent les OER du LET de Champlain;
- L'analyse des COV indique la présence de benzène, d'éthylbenzène, de toluène et de xylène dans les lixiviats bruts de tous les réacteurs. Les concentrations mesurées sont de l'ordre du microgramme par litre. L'ensemble des autres COV sont en deçà des seuils de détection analytique;
- Les échantillons du jour 198 montrent des valeurs en BPC et en dioxine furane supérieures aux OER du site de Champlain (MELCC 2019);
- À ce jour, aucune production significative de composés soufrés n'a été observée en sortie gazeuse des réacteurs de 1 m<sup>3</sup>;
- Peu de différences sont mesurées pour les comportements des gaz entre les réacteurs témoins sans matériaux de captage et de neutralisation du H<sub>2</sub>S et les réacteurs configurés selon la Recette A et les Ratios 2 et 3 (65-15 et 65-20);
- Peu de différences sont mesurées dans les comportements des gaz entre les réacteurs avec les fines brutes et les réacteurs avec les fines purifiées;
- Les volumes de gaz émis par tous les réacteurs sont très faibles et de l'ordre de quelques millilitres par jour, et ce, même pour les témoins sans matériau de captage et de neutralisation du H<sub>2</sub>S.

En résumé, les résultats de la phase 1 en laboratoire ont permis de démontrer que les matériaux de captage et de neutralisation du H<sub>2</sub>S permettent de limiter la production, de même



que les émissions de H<sub>2</sub>S. En revanche, les essais en réacteurs de 1 m<sup>3</sup> (phase 2) n'ont pas permis jusqu'à présent de démontrer cet aspect. En effet, pour les essais en réacteurs de 1 m<sup>3</sup>, aucune production de H<sub>2</sub>S n'a été observée en sortie gazeuse, et ce, même pour les témoins sans matériau de captage du H<sub>2</sub>S.

Dans l'ensemble, la réalisation de ces travaux a permis d'apporter certaines informations quant à la qualité des lixiviats et les conditions favorables à la production de H<sub>2</sub>S à partir des fines de CRD et de proposer des mesures de mitigation.

## 6. Références

MELCC (2019) Demande de modification de décret- Lieu d'enfouissement technique de Champlain – Bassin versant Champlain (Ref DAE-16418).

O'Flaherty, V., Mahony, T., O'Kennedy, R., & Colleran, E. (1998). Effect of pH on growth kinetics and sulphide toxicity thresholds of a range of methanogenic, syntrophic and sulphate-reducing bacteria. *Process Biochemistry*, 33(5), 555-569.

Yang, K., Xu, Q., Townsend, T. G., Chadik, P., Bitton, G., & Booth, M. (2006). Hydrogen sulfide generation in simulated construction and demolition debris landfills: Impact of waste composition. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(8), 1130-1138.

Xu, Q., Townsend, T., & Bitton, G. (2011). Inhibition of hydrogen sulfide generation from disposed gypsum drywall using chemical inhibitors. *Journal of hazardous materials*, 191(1-3), 204-211.





QUÉBEC 333, rue Franquet, Québec (Québec) G1P 4C7 T 418 659-1550 / 1 800 667-2386 F 418 652-2251

MONTRÉAL 1201, boul. Crémazie Est, bur. 1.210, Montréal (Québec) H2M 0A6 T 514 383-1550 / 1 800 667-2386 F 514 383-3250

[infocriq@invest-quebec.com](mailto:infocriq@invest-quebec.com)