Caractérisation de contaminants d'intérêt émergent dans les eaux usées de certains lieux d'enfouissement technique au Québec, 2019-2021

Rapport final

Décembre 2025



Votre gouvernement

Québec

Coordination et rédaction
Cette publication a été réalisée conjointement par la Direction de l'analyse des impacts des contaminants sur les milieux aquatiques (DAICMA) et la Direction des eaux usées (DEU) du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830
1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp
Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Pour obtenir un exemplaire du document
Visitez notre site Web au www.environnement.gouv.qc.ca

Titre : Caractérisation de contaminants d'intérêt émergent dans les eaux usées de certains lieux d'enfouissement technique au Québec, 2019-2021
Format : PDF
ISBN : 978-2-555-02912-5

Dépôt légal – 2025
Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2025

Résumé et faits saillants

Le présent projet exploratoire d'acquisition de connaissances vise à évaluer dans quelle mesure les lieux d'enfouissement technique (LET) du Québec constituent des sources de certains contaminants d'intérêt émergent (CIE) retrouvés dans les milieux aquatiques. Les contaminants étudiés dans le cadre du projet sont les bisphénols, les alkylphénols, les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (SPFA, ou *PFAS* en anglais) et les polybromodiphényles éthers (PBDE). Le projet porte sur un échantillon restreint de LET. Aucun des LET n'a été sélectionné en raison d'une problématique particulière relativement aux contaminants étudiés.

Les objectifs de ce projet exploratoire sont les suivants :

1) Vérifier la présence de différents CIE dans les eaux usées (ci-après eaux de lixiviation) brutes et traitées des LET;
2) Identifier les CIE qui sont potentiellement préoccupants pour les milieux aquatiques dans les eaux de lixiviation traitées, c'est-à-dire ceux dont les concentrations dépassent les critères de qualité de l'eau de surface (CQES) du MELCCFP;
3) Évaluer l'efficacité des stations d'épuration des eaux usées (STEP) pour réduire les CIE présents dans les eaux de lixiviation brutes;
4) Évaluer le besoin d'adapter l'encadrement des rejets des LET pour considérer les CIE étudiés.

Voici les faits saillants relatifs aux objectifs du projet.

Eaux de lixiviation brutes

- Dans le groupe des alkylphénols, le nonylphénol grade technique est le seul composé analysé qui a été détecté (dans 29 % des échantillons).
- Le bisphénol A et le bisphénol S sont omniprésents; ils ont été retrouvés dans 100 % des échantillons.
- Le bisphénol F n'a jamais été détecté.
- Le PFOA, le PFHpA et le PFHxA ont été détectés dans plus de 95 % des échantillons.
- Les autres composés détectés dans plus de 50 % des échantillons sont le PFOS, le L-PFBS, le PFHxS, le PFBA, le PFPeA, le PFNA, le 6:2 FTS, le tétraBDE-47, le tétraBDE-49, le pentaBDE-99 et le pentaBDE-100.
- L'ensemble des composés triBDE, heptaBDE, nonaBDE et décaBDE n'ont jamais été quantifiés (parfois détectés, mais non quantifiés). Certains composés hexaBDE et octaBDE ont été quantifiés dans un seul échantillon.

Eaux de lixiviation traitées

- À l'exception du bisphénol A, du nonylphénol grade technique et d'environ la moitié des SPFA (52 %), les composés n'ont généralement (90 % des échantillons et plus) pas été détectés dans l'eau traitée.
- Tous les résultats de bisphénol A dans l'eau traitée sont inférieurs au CQES.
- Pour le nonylphénol grade technique, un seul échantillon dépasse le CQES avec une faible amplitude de 1,3.
- Le PFOA est le seul composé avec une concentration médiane qui dépasse le CQES. L'amplitude de ce dépassement est faible, soit de 1,1. La concentration maximale observée est 9,4 fois plus élevée que le CQES, ce qui représente un dépassement élevé.

- Le CQES du PFOS a été dépassé dans 100 % des échantillons quantifiés et la concentration maximale observée représente un dépassement modéré, avec 6,3 fois la valeur du CQES.
- Le PFOS, le pentaBDE-100 et les pentaBDE totaux ont été analysés avec des limites de détection (LD) qui ne permettent pas de garantir le respect des CQES. Il subsiste donc une incertitude par rapport au niveau de préoccupation qu'ils peuvent représenter pour les milieux aquatiques.
- Étant donné que le PFOA et le PFOS sont des substances toxiques, persistantes et bioaccumulables, les dépassements de CQES sont préoccupants pour ces substances. Cependant, il est anticipé que le dépassement de CQES pour le nonylphénol soit moins problématique pour la vie aquatique en raison des caractéristiques physicochimiques de cette substance, de la capacité d'assimilation des milieux aquatiques récepteurs et de la faible amplitude et fréquence de dépassement.

Enlèvements dans les STEP

- Des enlèvements importants sont observés pour le bisphénol A et les PBDE (≥ 80 %).
- Un enlèvement médian négatif, soit une augmentation des concentrations, est observé pour le nonylphénol grade technique.
- De manière générale, l'enlèvement des SPFA est mitigé. L'enlèvement médian pour la somme des SPFA est de 9 %. Les enlèvements médians pour les différentes substances suivent l'ordre suivant : PFDA > 6:2 FTS > PFOS > PFNA > PFHxA > PFHxS > PFPeA > L-PFBS > PFBA > PFHpA > PFOA. Les enlèvements médians calculés pour le PFBA, le PFHpA et le PFOA sont négatifs.

Perspectives d'acquisition de connaissances supplémentaires

- Il serait éventuellement pertinent d'obtenir des données supplémentaires sur les rejets de nonylphénol grade technique et des molécules mères[1] qui peuvent se dégrader en nonylphénol.
- Il conviendrait également d'évaluer les stratégies qui peuvent être mises en place pour optimiser l'enlèvement de nonylphénol au sein des systèmes de traitement.
- De plus, il serait pertinent d'évaluer si les méthodes analytiques permettent de faire un suivi des pentaBDE dans les eaux de lixiviation de LET avec des LD inférieures à 0,2 ng/l et du PFOS avec des LD inférieures à 12 ng/l afin d'évaluer le respect des CQES.

Perspectives relatives à l'encadrement des rejets des LET

- Ajouter un suivi trimestriel des SPFA à l'effluent de tous les LET québécois afin d'avoir un portrait plus complet de la présence des SPFA dans les eaux qu'ils rejettent et d'identifier plus précisément les SPFA d'intérêt.
- Poursuivre la veille scientifique sur les effets des SPFA sur l'environnement et sur les technologies de traitement des SPFA.
- Selon les connaissances qui seront acquises sur les effluents des LET et l'évolution des connaissances générales sur les SPFA, le MELCCFP pourra évaluer s'il est indiqué d'adapter la règlementation existante.

[1] Nonylphénols éthoxylés (surfactants anioniques).

Équipe de réalisation

Rédaction

Jacinthe Guillot – DAICMA

Carole Lachapelle – DAICMA

Marianne Métivier, M. Sc. – DAICMA

Bernard Patry, ing., Ph. D. – DEU

Consultation statistique

François D'Auteuil-Potvin, M. Sc. – DPQAC

Révision

Philippe Cantin, Ph. D. – DEPESS

Mélanie Desrosiers, Ph. D. – CEAEQ, DEER

Véronique Dorval, M. A. – DPQMA

Marie-Claire Grenon, chimiste, M. Sc., – CEAEQ, DEAC

Philippe Ferron, M. Sc., hydrogéologue (OGQ) – DEPESS

Karine Lalonde, chimiste, Ph. D. – CEAEQ, DEAC

Vanessa Mercure-Godin – DEVE

Gabriel Munoz, chimiste, Ph. D. – CEAEQ, DEAC

Daria Pereg, Ph. D. – DEPESS

Gilles Revel, ing. – PEM

Julie Robitaille, Ph. D. – CEAEQ, DEER

Nicolas Tremblay, ing. – DEVE

Pascale Tremblay, Ph. D. – DSEEMA

Analyses de laboratoire

Karine Côté, chimiste, CEAEQ, DEAC

Christian DeBlois, chimiste, CEAEQ, DEAC

Caroline Demers, technicienne spécialiste – CEAEQ, DEAC

Martin Duchesneau, technicien spécialiste – CEAEQ, DEAC

Marc Gagnon, chimiste, M. Sc., CEAEQ, DEAC

Linda Lecours, chimiste, CEAEQ, DEAC

Benoît Sarrasin, chimiste, CEAEQ, DEAC

Mise en page

Manon Laplante – DAICMA

Table des matières

Résumé et faits saillants ____ iii

Équipe de réalisation ____ v

Liste des tableaux ____ viii

Sigles ____ ix

Définitions ____ xi

1. Contexte de l'étude ____ 1

2. Objectifs du projet ____ 1

3. Description du projet ____ 1

3.1 Caractéristiques des LET retenus ____ 1

3.2 Composés ou familles de composés sélectionnés ____ 2

3.3 Échantillonnage ____ 3

4. Résultats ____ 3

4.1 Statistiques descriptives ____ 3

4.1.1 Alkylphénols et bisphénols ____ 4

4.1.2 Substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées ____ 5

4.1.3 Polybromodiphényles éthers (PBDE) ____ 7

4.2 Comparaison des résultats avec les critères de qualité de l'eau de surface ____ 10

4.2.1 Alkylphénols et bisphénols ____ 11

4.2.2 Substances perfluoroalkylées et polyfluoralkylées (SPFA) ____ 11

4.2.3 Polybromodiphényles éthers (PBDE) ____ 11

5. Enlèvements observés dans les STEP ____ 13

5.1 Alkylphénols et bisphénols ____ 14

5.2 Substances perfloroalkylées et polyperfluoroalkylées (SPFA) ____ 14

5.3 Polybromodiphényles éthers (PBDE) ____ 15

6. Conclusions et perspectives _____ 17

6.1 Présence de différents CIE dans les eaux de lixiviation brutes et traitées des LET québécois _____ 17

6.2 Identification des CIE potentiellement préoccupants pour les milieux aquatiques _____ 17

6.3 Enlèvements dans les STEP _____ 18

6.4 Perspectives d'acquisition de connaissances supplémentaires _____ 18

6.5 Perspectives relatives à l'encadrement des rejets des LET _____ 19

7. Références _____ 20

Annexe 1 – Concentrations en alkylphénols et en bisphénols mesurées dans les eaux de lixiviation brutes lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021 _____ 23

Annexe 2 – Concentrations en alkylphénols et en bisphénols mesurées dans les eaux de lixiviation traitées lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021 _____ 24

Annexe 3 – Concentrations en SPFA mesurées dans les eaux de lixiviation brutes lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021 _____ 25

Annexe 4 – Concentrations en SPFA mesurées dans les eaux de lixiviation traitées lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021 _____ 27

Annexe 5 – Concentrations en PBDE mesurées dans les eaux de lixiviation brutes lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021 _____ 29

Annexe 6 – Concentrations en PBDE mesurées dans les eaux de lixiviation traitées lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021 _____ 33

Liste des tableaux

Tableau 1 – Principales technologies de traitement des eaux utilisées dans les dix LET à l'étude ____ 2

Tableau 2 – Composés analysés et méthodes du CEAEQ utilisées ____ 3

Tableau 3 – Bilan des détections et statistiques descriptives pour les alkylphénols et les bisphénols ____ 5

Tableau 4 – Bilan des détections et statistiques descriptives pour les SPFA ____ 6

Tableau 5 – Bilan des détections et statistiques descriptives pour les PBDE ____ 8

Tableau 6 – Comparaison des résultats obtenus dans les eaux de lixiviation traitées avec les CQES ____ 12

Tableau 7 – Enlèvements observés dans les systèmes de traitement des eaux des LET ____ 15

Sigles

APFC C4-C7	Acides perfluoroalkyle carboxyliques à courte chaîne
APFC C9-C14	Acides perfluoroalkyle carboxyliques à longue chaîne
APFS C3-C6	Acides perfluoroalcane sulfoniques à courte chaîne
CEAEQ	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
CIE	Contaminant d'intérêt émergent
CPCO	Critère pour la prévention de la contamination des organismes aquatiques
CQES	Critère de qualité de l'eau de surface
CVAC	Critère pour la protection de la vie aquatique (effet chronique)
DAICMA	Direction de l'analyse des impacts des contaminants sur les milieux aquatiques
DBO_5	Demande biochimique en oxygène sur cinq jours
DEAC	Direction de l'expertise et de l'analyse en chimie
DEER	Direction de l'expertise en évaluation du risque
DEPESS	Direction de l'eau potable et des eaux souterraines et de surface
DEU	Direction des eaux usées
DEVE	Direction de l'expertise en valorisation et élimination
DNQ	Détecté non quantifié
DPQAC	Direction principale de la qualité de l'air et du climat
DPQMA	Direction principale de la qualité des milieux aquatiques
DSEEMA	Direction du suivi de l'évaluation et de l'état des milieux aquatiques
INT	Interférence
LD	Limite de détection
LET	Lieu d'enfouissement technique
MELCCFP	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
MES	Matières en suspension
nd	Non disponible
OER	Objectifs environnementaux de rejet
PEM	Pôle d'expertise municipale
PFOA	Acide perfluoro-n-octanoïque
PFOS	Sulfonate de perfluorooctane
PBDE	Polybromodiphényles éthers

REIMR	Règlement sur l’enfouissement et l’incinération de matières résiduelles
s. o.	Sans objet
SPFA	Substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées
STEP	Station d’épuration des eaux usées

Définitions

Alkylphénols : Famille de composés organiques synthétiques obtenus par l'alkylation de phénols. Ces produits sont classés comme œstrogénomimétiques et sont considérés comme perturbateurs endocriniens chez plusieurs espèces. Ils sont présents notamment dans les détergents, les cosmétiques, les produits de nettoyage, les peintures, les plastiques et les pesticides.

Bisphénols : Composés chimiques industriels de type organique aromatique dont les molécules contiennent deux groupements fonctionnels de phénol. Ils sont utilisés dans la production de polymères et de résines qui entrent dans la fabrication de matériaux plastiques, et sont retrouvés dans divers produits de consommation courants. Les plus connus sont le bisphénol A et le bisphénol S. Ils sont reconnus pour être des perturbateurs endocriniens et des agents sensibilisants.

Contaminant d'intérêt émergent : Toute substance chimique qui présente une menace potentielle ou réelle à l'égard de la santé humaine ou de l'environnement et pour laquelle les connaissances sont souvent parcellaires. Dans un contexte plus large, on peut distinguer :

- Les contaminants émergents, ou contaminants qui ne sont apparus que récemment;
- Les contaminants de préoccupation émergente, ou contaminants qui sont présents dans l'environnement depuis un certain temps, mais pour lesquels des préoccupations ont été soulevées beaucoup plus récemment;
- Les questions émergentes concernant des contaminants plus traditionnels en lien avec de nouvelles informations qui apportent une nouvelle perspective sur des substances déjà bien connues.

Critères de qualité de l'eau de surface (CQES) : Critères de qualité descriptifs et critères de qualité chimiques pour divers usages de l'eau, ainsi que critères relatifs à la toxicité globale aiguë et chronique pour la vie aquatique. Cet ensemble de critères de qualité de l'eau est un outil d'évaluation de la qualité des effluents et du milieu aquatique. D'une part, les CQES sont utilisés pour définir des objectifs environnementaux de rejet afin d'évaluer le risque d'un effluent pour le milieu aquatique. D'autre part, ils servent de base de comparaison pour évaluer la qualité du milieu aquatique parallèlement aux études de suivi biologique. Cependant, ils n'ont pas de force légale ou réglementaire.

Eaux de lixiviation, ou lixiviat : Liquide contaminé résultant du passage de l'eau au travers des déchets enfouis ou stockés. Elles sont qualifiées de brutes lorsqu'il est question des eaux recueillies par tout système de captage dont est pourvu un LET avant traitement. Elles sont qualifiées de traitées lorsqu'elles ont subi un traitement afin de respecter minimalement l'article 53 du Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles avant leur rejet à l'environnement.

Lieu d'enfouissement technique (LET) : Installation permettant l'enfouissement des matières résiduelles tout en limitant la contamination de l'air, du sol et des eaux grâce à la captation des polluants émis ainsi qu'à l'isolation multicouche étanche du lieu.

Perturbateur endocrinien : Substance naturelle ou synthétique qui bloque ou modifie le mécanisme d'action du système endocrinien humain ou animal, provoquant ainsi des effets néfastes sur l'organisme.

Polybromodiphényles éthers (PBDE) : Composés organiques bromés synthétiques comptant de 1 à 10 atomes de brome. Les PBDE ont été employés surtout comme additifs ignifuges dans les résines de polymères et les plastiques et, dans une moindre mesure, dans des adhésifs, des scellants et des revêtements. Les PBDE sont des polluants organiques persistants très toxiques pour les poissons et la faune en général, et certains sont bioaccumulables. Ce sont des perturbateurs endocriniens qui inhibent la fonction thyroïdienne. Ils ont aussi des effets sur le système nerveux, sur le système immunitaire, sur le métabolisme et sur le foie.

Substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (SPFA) : Famille de plusieurs milliers de substances synthétiques constituées d'une chaîne carbonée entièrement ou partiellement fluorée hautement persistantes dans l'environnement. Les SPFA sont utilisées dans de nombreux produits commerciaux et de consommation, notamment des mousses extinctrices, des cosmétiques, des ustensiles de cuisine antiadhésifs, des matériaux d'emballage d'aliments, des adhésifs ainsi que des produits de protection hydrofuges et antitaches. Les SPFA les mieux étudiées, incluant le sulfonate de perfluorooctane (PFOS), l'acide perfluoré-n-octanoïque (PFOA) et les acides perfluoroalkyle carboxyliques (APFC) à longue chaîne, ont des effets nocifs démontrés sur les organismes vivants et la santé humaine, notamment sur le système endocrinien (perturbation thyroïdienne), le système immunitaire, le système reproducteur, le développement, le foie, et provoquent diverses autres perturbations métaboliques.

1. Contexte de l'étude

Il y a actuellement 38 lieux d'enfouissement technique (LET) en activité au Québec, dont 27 ont des effluents traités rejetés à l'environnement. Le Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles (REIMR) prévoit des valeurs limites à respecter avant le rejet à l'environnement pour plusieurs paramètres ou substances (azote ammoniacal, coliformes fécaux, composés phénoliques, demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO_5), matières en suspension (MES), zinc et pH). Cependant, les effluents traités des LET contiennent aussi d'autres contaminants qui ne sont pas encadrés par le REIMR.

Le présent projet d'acquisition de connaissances vise à évaluer dans quelle mesure les LET du Québec constituent des sources de certains contaminants d'intérêt émergent (CIE) retrouvés dans les milieux aquatiques. Les contaminants étudiés dans le cadre du projet sont les bisphénols, les alkylphénols, les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (SPFA, ou *PFAS* en anglais) et les polybromodiphényles éthers (PBDE), lesquels ne font actuellement pas l'objet de norme ou de suivi imposé par le REIMR.

Ce projet exploratoire porte sur un échantillon restreint de LET et vise uniquement des lieux où les eaux usées (ci-après eaux de lixiviation) traitées sont rejetées directement dans des milieux aquatiques. Les LET qui acheminent leurs eaux de lixiviation dans des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées n'ont pas été considérés pour ce projet. Aucun des LET n'a été sélectionné en raison d'une problématique particulière relativement aux contaminants étudiés. Auparavant, aucun suivi de ces substances n'avait été fait par le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) dans les eaux de lixiviation traitées des LET. Tous les LET contactés ont accepté que des échantillons soient prélevés aux fins d'analyse des eaux de lixiviation brutes et des eaux de lixiviation traitées, soit l'effluent de leur station d'épuration des eaux usées (STEP).

2. Objectifs du projet

- Vérifier la présence de différents CIE dans les eaux de lixiviation brutes et traitées des LET.
- Identifier les CIE qui sont potentiellement préoccupants pour les milieux aquatiques dans les eaux de lixiviation traitées, c'est-à-dire ceux dont les concentrations dépassent les critères de qualité de l'eau de surface (CQES) du MELCCFP.
- Évaluer l'efficacité des STEP pour réduire les CIE présents dans les eaux de lixiviation brutes.
- Évaluer le besoin d'adapter l'encadrement des rejets des LET pour considérer les CIE.

3. Description du projet

3.1 Caractéristiques des LET retenus

Bien que le présent projet exploratoire ne vise pas à brosser un portrait complet de la présence de CIE dans les LET du Québec, la sélection des LET a été réalisée dans l'objectif d'avoir des sites diversifiés. De plus, la facilité d'accès aux laboratoires du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) a été prise en compte dans le cadre de la sélection. Dix LET, répartis dans sept régions administratives, ont été sélectionnés. Ceux-ci présentent des éventails assez larges de :

- quantités de matières résiduelles éliminées (25 000 t/an à 1 000 000 t/an);
- débits moyens d'eaux de lixiviation traitées rejetées (environ 150 m^3/d à 2 000 m^3/d);

- combinaisons de technologies de traitement des eaux dont l'objectif est de respecter les valeurs limites de l'article 53 du REIMR concernant l'azote ammoniacal, les coliformes fécaux, les composés phénoliques, la DBO_5, les MES, le zinc et le pH (les principales technologies sont listées dans le tableau 1);
- capacités d'assimilation des milieux récepteurs selon la méthode de calcul des objectifs environnementaux de rejet (MELCC, 2022) (facteurs de dilution entre 1 et 100).

Tableau 1 – Principales technologies de traitement des eaux utilisées dans les dix LET à l'étude

Technologies de traitement biologique pour l'enlèvement de la matière organique et la nitrification	Nombre de LET incluant la technologie (sur 10)
Étangs aérés (facultatifs et complètement mélangés) avec ou sans ajout de coagulant et de floculant	5
Biofiltres	1
Réacteurs biologiques séquentiels	3
Réacteurs biologiques à garnissage en suspension	4
Boues activées	1
Technologies de séparation solide-liquide ou de polissage	
Filtres à tourbe	1
Étangs de polissage avec ou sans ajout de coagulant	4
Décanteurs avec ou sans ajout de coagulant et de floculant	4
Flottateurs à air dissous avec ajout de coagulant et de floculant	1
Marais filtrant	1
Filtration membranaire	1
Technologie de désinfection	
Désinfection par rayonnement ultraviolet	3

3.2 Composés ou familles de composés sélectionnés

Les composés ciblés par le projet et les méthodes analytiques du CEAEQ utilisées sont présentés dans le tableau 2. Les trois méthodes utilisées sont normées par le Conseil canadien des normes. Les méthodes d'analyse sont constamment en évolution, en particulier pour les CIE. La liste des composés analysés et les limites de détection (LD) des méthodes présentées au tableau 2 peuvent donc différer de celles en vigueur au moment des analyses réalisées pour la présente étude.

La méthode MA. 404 – Stéroïdes, alkylphénols, stérols et bisphénols 1.0 incluait les groupes des alkylphénols et des bisphénols. Les stéroïdes et les stérols ne faisaient pas l'objet de l'étude; ils n'ont donc pas été quantifiés.

Le choix des familles de composés étudiées repose sur différents éléments. D'une part, il est reconnu qu'elles sont présentes dans les eaux de lixiviation des sites d'enfouissement de déchets (Asakura, Matsuto et Tanaka, 2004; Li et collab., 2012; Masoner et collab., 2014; Narevski et collab., 2021; Propp et collab., 2021; Qi et collab., 2018; Tolaymat et collab., 2023; USEPA, 2021; Wintgens et collab., 2003). D'autre part, ces familles de composés sont présentes dans plusieurs cours d'eau du Québec (MDDEFP, 2012; MDDELCC, 2017; MELCC, 2020a; MELCC, 2020b; MELCC, 2018). Compte tenu de la nature des déchets enfouis, il est probable d'en retrouver dans les eaux de lixiviation des LET québécois avant ou après le traitement.

Tableau 2 – Composés analysés et méthodes du CEAEQ utilisées

Famille de composés	Méthode du CEAEQ	Autres composés analysés par la méthode[a]	LD lors des analyses
Bisphénols et alkylphénols	MA. 404 – Stéroïdes, alkylphénols, stérols et bisphénols 1.0	4-ter-octylphénol Nonylphénol grade technique p-n-nonylphénols	Entre 40 ng/l et 6 000 ng/l
Substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (SPFA)	MA. 400 – PFC 1.0	21 composés quantifiés par la méthode	Entre 1 ng/l et 100 ng/l
Polybromodiphényles éthers (PBDE)	MA. 400 – PBDE	24 congénères quantifiés par la méthode	Entre 0,5 ng/l et 22 ng/l

[a] La liste complète des composés ou congénères analysés est présentée aux annexes 1 à 6.

De plus, les familles de composés retenues sont connues pour être des substances nocives à plusieurs égards, en particulier pour le milieu aquatique (Moreman et collab., 2017; Gauthier et collab., 2013; ECCC, 2022; ECCC, 2025; Environnement Canada, 2013). D'ailleurs, certaines de ces substances sont réglementées au Canada. Le bisphénol A est encadré depuis 2010 par la Loi canadienne sur la sécurité des produits de consommation. La fabrication, l'importation, la publicité et la vente de biberons de polycarbonate contenant du bisphénol A sont interdites. Le PFOS, le PFOA, les APFC à longue chaîne, leurs sels et leurs précurseurs sont interdits par le Règlement sur certaines substances toxiques interdites depuis 2012. Les PBDE sont encadrés depuis 2008 par le Règlement sur les polybromodiphényléthers qui a été abrogé en 2016, à la suite de leur ajout au Règlement modifiant le Règlement sur certaines substances toxiques interdites. Enfin, pour certains composés, des CQES ont été développés et publiés par le MELCCFP (MELCCFP, s. d.), ce qui permet de porter un jugement sur la qualité des eaux de lixiviation traitées et leur impact potentiel sur le milieu aquatique (eau de surface).

3.3 Échantillonnage

Chaque LET a été visité deux fois entre 2019 et 2021. Un échantillon d'eau de lixiviation brute et un échantillon d'eau de lixiviation traitée ont été prélevés lors de chacune des visites afin de pouvoir évaluer l'efficacité des STEP à réduire les contaminants ciblés. L'échantillonnage a été effectué par du personnel qualifié, c'est-à-dire par des inspecteurs du MELCCFP ou par le personnel du LET.

4. Résultats

Les résultats traités sont présentés dans les sections qui suivent et les résultats bruts sont présentés en annexe.

4.1 Statistiques descriptives

Les médianes, les minimums, les maximums et les pourcentages de détection sont présentés, pour chacun des composés, dans les eaux de lixiviation brutes et traitées (tableau 3, tableau 4 et tableau 5). Les échantillons qui ont présenté des interférences ont été exclus de l'analyse. Les statistiques ont été déterminées selon le scénario le plus pessimiste, c'est-à-dire en considérant les LD (Helsel et Hirsch, 2002). La LD précédée du symbole « < » est indiquée lorsque la valeur du minimum, du maximum ou de la médiane est inférieure à la LD. Pour le calcul de la médiane, dans le cas où le nombre de données est pair et que les deux valeurs centrales sont sous la LD, la LD la plus élevée est présentée comme valeur médiane. Dans le cas où le nombre de données est pair, mais que les deux valeurs centrales sont au-dessus de la LD, la moyenne des deux est rapportée comme médiane.

4.1.1 Alkylphénols et bisphénols

Un total de 40 échantillons ont été analysés pour l'ensemble des composés (tableau 3). Toutefois, pour cause d'interférence lors de l'analyse, six résultats de nonylphénol grade technique dans l'eau brute et un dans l'eau traitée ne sont pas disponibles. Pour les mêmes raisons, un résultat de bisphénol F dans l'eau brute n'a pu être obtenu.

4.1.1.1 Alkylphénols

Il n'y a eu aucune détection pour le 4-ter-octylphénol et le p-n-nonylphénol.

Le nonylphénol grade technique a été détecté dans les eaux de lixiviation brutes et traitées, dans respectivement 29 % et 63 % des échantillons. La fréquence de détection plus élevée dans les eaux traitées s'explique par le fait que le nonylphénol a pu être formé pendant le traitement biologique. Cette situation est discutée plus en profondeur à la section 5.1. Autre explication possible : les LD des analyses d'eaux de lixiviation traitées (600 ng/l) sont souvent plus faibles que celles des analyses d'eaux de lixiviations brutes (de 600 à 6 000 ng/l) (voir les annexes 1 et 2). Deux échantillons ont d'ailleurs montré des résultats inférieurs à une LD de 6 000 ng/l dans l'eau de lixiviation brute, alors que les résultats pour les échantillons d'eau de lixiviation traitée correspondants étaient de 1 100 ng/l et 1 300 ng/l.

Le nonylphénol grade technique est le seul alkylphénol analysé avec une médiane supérieure à la LD.

Comparaison avec la littérature pour le nonylphénol

La gamme de valeurs de nonylphénol retrouvées dans les eaux de lixiviation brutes de sites d'enfouissement à l'extérieur du Québec est grande. On rapporte des concentrations allant jusqu'à 70 ng/l au Japon (Asakura et collab., 2004), jusqu'à 26 800 ng/l en Chine (Qi et collab., 2018) et supérieures à 100 000 ng/l en Allemagne (Wintgens et collab., 2003). Les résultats obtenus au Québec dans les eaux brutes (concentrations allant jusqu'à 24 000 ng/l) sont donc à l'intérieur de la gamme de valeurs rapportées à l'international.

4.1.1.2 Bisphénols

Le bisphénol A et le bisphénol S ont été détectés dans 100 % des échantillons d'eau de lixiviation brute. Le bisphénol A a aussi été fréquemment détecté dans les eaux de lixiviation traitées, soit dans 80 % des échantillons. Il n'y a eu aucune détection pour le bisphénol F et le bisphénol S dans les eaux de lixiviation traitées.

Le bisphénol A et le bisphénol S sont les seuls composés de cette famille qui ont une médiane supérieure à la LD dans les eaux de lixiviation brutes. Dans les eaux de lixiviation traitées, les composés qui ont des médianes supérieures à la LD sont le nonylphénol grade technique et le bisphénol A.

Comparaison avec la littérature pour le bisphénol A

Les concentrations maximales de bisphénol A mesurées dans le cadre d'études réalisées aux États-Unis (Masoner et collab., 2014) et en Chine (Qi et collab., 2018), soit respectivement 6 380 000 ng/l et 4 499 500 ng/l, sont supérieures à celles mesurées dans le cadre de la présente étude (concentrations allant jusqu'à 2 300 300 ng/l). Des études réalisées au Japon (Asakura et collab., 2004) et au Canada sur des sites fermés (Propp et collab., 2021) ont quant à elles montré des concentrations maximales plus faibles, soit respectivement 228 000 ng/l et 29 000 ng/l.

Tableau 3 – Bilan des détections et statistiques descriptives pour les alkylphénols et les bisphénols

Composé	Eaux de lixiviation brutes			Eaux de lixiviation traitées		
	n[a]	Médiane (min. – max.) (ng/l)	Détection (%)[b]	n[a]	Médiane (min. – max.) (ng/l)	Détection (%)[b]
4-ter-octylphénol	20	< 400 (< 40 - < 400)	0	20	< 40 (< 40 - < 200)	0
Nonylphénol grade technique	14[c]	< 6 000 (< 600 - 24 000)	29	19[d]	1 000 (< 600 - 7 700)	63
p-n-nonylphénol	20	< 400 (< 40 - < 400)	0	20	< 40 (< 40 - < 400)	0
Bisphénol A	20	65 500 (7 500 - 2 300 000)	100	20	375 (< 80 - 3 400)	80
Bisphénol F	19[d]	< 800 (< 40 - < 800)	0	20	< 80 (< 40 - < 400)	0
Bisphénol S	20	40 000 (6 400 - 240 000)	100	20	< 80 (< 40 - < 400)	0

[a] Nombre d'échantillons excluant les interférences.
[b] Nombre d'échantillons avec détection divisé par n et multiplié par 100.
[c] Interférence pour six échantillons.
[d] Interférence pour un échantillon.

4.1.2 Substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées

Un total de 38 échantillons ont été analysés pour l'ensemble des composés (tableau 4). À l'un des dix sites, un seul échantillon d'eau brute et un seul échantillon d'eau traitée ont été analysés. De plus, en raison de différents problèmes techniques, notamment la contamination de contenants, quelques résultats ne sont pas disponibles (nd) pour quatre composés (acide perfluoré-n-butanoïque [PFBA], acide perfluoré-n-dodécanoïque [PFDoA] et acide 2H-perfluoro-dodécènoïque [FDUEA]).

Plus de la moitié des SPFA ont été détectées dans les échantillons d'eau de lixiviation brute et traitée. Les regroupements acides perfluoroalcane sulfoniques à courte chaîne (APFS C3-C6), le PFOS, les acides perfluoroalkyle carboxyliques à courte chaîne (APFC C4-C7) et le PFOA sont dominants dans les fréquences de détection. La majorité des acides perfluoroalkyle carboxyliques à longue chaîne (APFC C9-C14), des précurseurs de SPFA et des autres SPFA analysés n'ont pas été détectés.

Pour la plupart des SPFA, les fréquences de détection dans les eaux de lixiviation brutes et traitées sont similaires. Seuls le PFOS et le 6:2 FTS montrent des différences importantes (> 20 %) entre les eaux brutes et les eaux traitées. Dans les deux cas, il y a plus de détections dans les eaux brutes. Un peu moins de la moitié des substances détectées (48 %) a une médiane supérieure à la LD dans l'eau brute. Dans l'eau traitée, le tiers des SPFA a une médiane supérieure à la LD.

Comparaison avec la littérature

Les concentrations de certaines SPFA mesurées dans les eaux brutes ont pu être comparées avec des données de la littérature scientifique. Les concentrations de PFOS sont à l'intérieur de plages de résultats obtenues dans des lieux d'enfouissement ailleurs dans le monde. Les valeurs maximales rapportées varient entre 43 ng/l en Espagne (Tolaymat et collab., 2023) et 6 020 ng/l en Chine (Qi et collab., 2018), avec une valeur maximale rapportée pour des sites canadiens de 4 400 ng/l (Tolaymat et collab., 2023). Il en va de même pour le PFOA et le L-PFBS dont les concentrations maximales rapportées vont respectivement de 532 ng/l en Norvège et en Finlande (Tolaymat et collab., 2023) à 214 000 ng/l en Chine (Qi et collab., 2018), et de 112 ng/l en Norvège et en Finlande à 41 600 ng/l en Chine (Qi et collab., 2018). Au Canada,

pour le PFOA, la valeur maximale rapportée dans la littérature consultée est de 1 590 ng/l (Tolaymat et collab., 2023), tandis que pour le L-PFBS, elle va de 190 ng/l (Tolaymat et collab., 2023) à 710 ng/l pour d'anciens sites fermés (Propp et collab., 2021). Les concentrations de PFHxA, substance détectée dans tous les échantillons de la présente étude, sont également à l'intérieur de plages de résultats rapportés ailleurs dans le monde (Qi et collab., 2018 : jusqu'à 4 430 ng/l en Chine). La concentration moyenne de PFHxA mesurée dans le cadre de la présente étude dans les eaux de lixiviation brutes (581 ng/l; calculée en remplaçant les résultats sous la LD par 0) est similaire à celle rapportée dans une autre étude portant sur des LET canadiens (Li et collab., 2012 : moyenne de 695 ng/l). La concentration maximale de PFHxA dans les eaux de lixiviation brutes (1 400 ng/l) est quant à elle supérieure à celle mesurée dans d'anciens sites canadiens fermés (Propp et collab., 2021 : 670 ng/l).

Tableau 4 – Bilan des détections et statistiques descriptives pour les SPFA

Composé	Abréviation	Eaux de lixiviation brutes			Eaux de lixiviation traitées		
		n[a]	Médiane (min. – max.) (ng/l)	Détection (%)[b]	n[a]	Médiane (min. – max.) (ng/l)	Détection (%)[b]
APFS C3-C6							
Perfluoro-n-butane sulfonate	L-PFBS	19	470 (< 20 - 1400)	84	19	180 (< 20 - 1500)	89
Perfluorohexanesulfonate	PFHxS	19	97 (< 20 - 370)	89	19	82 (< 20 - 370)	84
PFOS							
Perfluorooctane sulfonate	PFOS	19	28 (< 20 - 160)	63	19	< 20 (< 10 - 76)	42
APFC C4-C7							
Acide perfluoro-n-butanoïque	PFBA[c]	18	125 (< 50 - 1 200)	56	18	160 (< 5 - 570)	61
Acide perfluoro-n-pentanoïque	PFPeA	19	130 (< 10 - 700)	63	19	100 (< 10 - 900)	68
Acide perfluoro-n-hexanoïque	PFHxA	19	460 (110 - 1 400)	100	19	240 (< 10 - 1 900)	95
Acide perfluoro-n-heptanoïque	PFHpA	19	120 (< 20 - 560)	95	19	74 (< 20 - 1 200)	95
PFOA							
Acide perfluorooctanoïque	PFOA	19	190 (< 20 - 950)	95	19	180 (< 20 - 1 600)	89
APFC C9-C14							
Acide perfluorononanoïque	PFNA	19	25 (≤ 17[d] - 130)	63	19	< 20 (< 10 - 83)	47
Acide perfluorodécanoïque	PFDA	19	< 40 (< 20 - 65)	26	19	< 40 (≤ 3[d] - 690)	16
Acide perfluoroundécanoïque	PFUdA	19	<60 (< 20 - < 60)	0	19	< 60 (< 2 - < 60)	0

Composé	Abréviation	Eaux de lixiviation brutes			Eaux de lixiviation traitées		
		n[a]	Médiane (min. – max.) (ng/l)	Détection (%)[b]	n[a]	Médiane (min. – max.) (ng/l)	Détection (%)[b]
Acide perfluoro-n-dodécanoïque	PFDoA[c]	18	< 40 (< 20 - < 40)	0	18	< 40 (< 2 - < 40)	0
Acide perfluoro-n-tridécanoïque	PFTrDA[e]	17	< 20 (< 10 - < 20)	0	18	< 20 (< 1 - < 20)	0
Précurseurs							
Acide 2H-perfluoro-octènoïque	FHUEA	19	< 60 (< 20 - < 60)	0	19	< 60 (< 2 - < 60)	0
Acide 2H-perfluoro-décènoïque	FOUEA	19	< 100 (< 10 - < 100)	0	19	< 100 (< 1 - < 100)	0
Acide 2H-perfluoro-dodécènoïque	FDUEA[c]	18	< 60 (< 20 - < 100)	0	18	< 60 (< 2 - < 60)	0
1H,1H,2H,2H-perfluorohexane sulfonate	4:2 FTS	19	< 20 (< 10 - < 20)	0	19	< 20 (≤ 4[d] - < 20)	5
1H,1H,2H,2H-perfluorooctane sulfonate	6:2 FTS	19	94 (< 40 - 720)	74	19	< 40 (≤ 19[d] - 340)	37
1H,1H,2H,2H-perfluorodécane sulfonate	8:2 FTS	19	< 20 (< 10 - < 20)	0	19	< 20 (< 1 - < 20)	0
Autres							
Perfluoro-1-heptane sulfonate	L-PFHpS	19	< 20 (< 10 - < 20)	0	19	< 20 (<1 - < 20)	0
Perfluorodécane sulfonate	PFDS	19	< 60 (< 40 - < 80)	0	19	< 60 (< 4 - < 80)	0

[a] Nombre d'échantillons.
[b] Nombre d'échantillons avec détection divisé par n et multiplié par 100.
[c] Un échantillon d'eau de lixiviation brute et un échantillon d'eau de lixiviation traitée n'ont pas été analysés pour cette substance.
[d] Les résultats obtenus pour ce composé ont des LD variables; certaines sont supérieures à la concentration minimale détectée. Le minimum est inférieur ou égal à la concentration minimale détectée.
[e] Deux échantillons d'eau de lixiviation brute et un échantillon d'eau de lixiviation traitée n'ont pas été analysés pour cette substance.

4.1.3 Polybromodiphényles éthers (PBDE)

Un total de 39 échantillons ont été analysés pour l'ensemble des composés (tableau 5). À l'un des dix sites, un seul échantillon d'eau brute a été analysé. Comme il est possible de le constater dans les résultats complets disponibles aux annexes 5 et 6, certains congénères ont été détectés, mais n'ont pas pu être quantifiés (DNQ).

Dans les eaux de lixiviation brutes, plus de la moitié des congénères ont été détectés, bien que certains étaient non quantifiables. Seulement deux composés ont une médiane supérieure à la LD et à la limite de quantification dans l'eau de lixiviation brute, soit le tétrabromodiphényle éther (IUPAC n° 47) et le

pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 99). Ces mêmes congénères sont les seuls à avoir été détectés dans les eaux traitées. Ils n'ont cependant pas pu être quantifiés.

Comparaison avec la littérature

La somme maximale de PBDE mesurée dans les eaux brutes (104 ng/l[2]) est inférieure à la moyenne rapportée pour une variété de lieux d'enfouissement canadiens (Li et collab., 2012 : 166 ng/l).

La somme maximale de trois composés parmi les plus détectés dans l'eau brute, soit le tétrabromodiphényle éther (IUPAC nº 47) et le pentabromodiphényle éther (IUPAC nºs 99 et 100), soit (83 ng/l[2]), est supérieure à des valeurs maximales rapportées pour des lieux d'enfouissement japonais (Osako et collab., 2004 : 4 ng/l).

Les sommes maximales de tétrabromodiphényle éther (43 ng/l[2]), pentabromodiphényle éther (53 ng/l[2]), heptabromodiphényle éther (< LD), octabromodiphényle éther (13 ng/l [2]), nonabromodiphényle éther (< LD) et décabromodiphényle éther (< LD) sont toutes inférieures aux valeurs maximales rapportées pour des sites suédois (Öman et Junestedt, 2007 : 7 100 ng/l, 7 000 ng/l, 5 ng/l, 56 ng/l, 1 100 ng/l et 4 200 ng/l, respectivement). Seule la somme maximale de l'hexabromodiphényle éther (8 ng/l[2]) est supérieure à celle rapportée pour les sites suédois (Öman et Junestedt, 2007 : 2 ng/l).

Tableau 5 – Bilan des détections et statistiques descriptives pour les PBDE

Composé	Nº IUPAC	Eaux de lixiviation brutes			Eaux de lixiviation traitées		
		n[a]	Médiane (min. – max.) (ng/l)	Détection (%)[b]	n[a]	Médiane (min. – max.) (µg/l)	Détection (%)[b]
Tribromodiphényle éther	17	19	< 1 (< 0,8 - [1,4[[c])	16	20	< 1 (< 1 - < 1)	0
Tribromodiphényle éther	28	19	< 1 (< 0,7 - [1,4[[c])	11	20	< 1 (< 0,9 - < 1)	0
Tétrabromodiphényle éther	47	19	4 (< 1 - 30)	74	20	< 1 (< 1 – [1,3[[d])	10
Tétrabromodiphényle éther	49	19	[1,3[[e] (< 0,8 - 13)	63	20	< 1 (< 0,9 - < 1)	0
Tétrabromodiphényle éther	66	19	< 1 (< 0,7 - [1,4[[c])	5	20	< 1 (< 0,8 - < 1)	0
Tétrabromodiphényle éther	71	19	< 1 (< 0,7 - < 4)	0	20	< 1 (< 0,8 - < 1)	0
Tétrabromodiphényle éther	77	19	< 1 (< 0,9 - < 5)	0	20	< 1 (< 1 - < 1)	0
Pentabromodiphényle éther	85	19	< 1 (< 0,7 - [1,4[[c])	16	20	< 1 (< 0,8 - < 1)	0
Pentabromodiphényle éther	99	19	5 (< 1 - 43)	79	20	< 1 (< 1 – [1,3[[d])	5
Pentabromodiphényle éther	100	19	[1,3[[e] (< 0,7 - 10)	58	20	< 1 (< 0,8 - < 1)	0

[2] Calculée en considérant uniquement les résultats au-dessus de la LD.

Composé	N° IUPAC	Eaux de lixiviation brutes			Eaux de lixiviation traitées		
		n[a]	Médiane (min. – max.) (ng/l)	Détection (%)[b]	n[a]	Médiane (min. – max.) (µg/l)	Détection (%)[b]
Pentabromodiphényle éther	119	19	< 1 (< 0,5 - < 3)	0	20	< 1 (< 0,6 - < 1)	0
Pentabromodiphényle éther	126	19	< 1 (< 0,8 - < 4)	0	20	< 1 (< 0,9 - < 1)	0
Hexabromodiphényle éther	138	19	< 1 (< 1 - < 7)	0	20	< 1 (< 1 - < 2)	0
Hexabromodiphényle éther	153	19	< 2 (< 1 - [8,9[f])	32	20	< 2 (< 1 - < 3)	0
Hexabromodiphényle éther	154	19	< 2 (< 1 - [2,10[c])	26	20	<2 (< 1 - < 3)	0
Hexabromodiphényle éther	156	19	< 1 (< 1 - < 8)	0	20	< 2 (< 1 - < 2)	0
Heptabromodiphényle éther	183	19	< 2 (< 1 - < 9)	0	20	< 2 (< 1 - < 4)	0
Heptabromodiphényle éther	184	19	< 2 (< 1 - < 8)	0	20	< 2 (< 1 - < 4)	0
Heptabromodiphényle éther	191	19	< 2 (< 1 - < 9)	0	20	< 2 (< 1 - < 4)	0
Octabromodiphényle éther	196	19	< 2 (< 1 - [5,8[f])	16	20	< 2 (< 1 - < 8)	0
Octabromodiphényle éther	197	19	< 2 (< 1 - [8-11[f])	16	20	< 2 (< 1 - < 10)	0
Nonabromodiphényle éther	206	19	< 4 (< 1 - < 20)	0	20	< 4 (< 1 - < 20)	0
Nonabromodiphényle éther	207	19	< 4 (< 1 - < 22)	0	20	< 4 (< 0,9 - < 20)	0
Décabromodiphényle éther	209	19	< 2 (< 1 - [2,11[c])	5	20	< 2 (< 0,9 - < 10)	0

[a] Nombre d'échantillons.
[b] Nombre d'échantillons avec détection divisé par n et multiplié par 100.
[c] Les résultats obtenus pour ce composé ont des LD variables; certaines sont supérieures à des résultats DNQ. Le maximum est compris entre la LD des résultats DNQ et la plus grande LD.
[d] Maximum compris entre la LD et la limite de quantification.
[e] Médiane comprise entre la LD et la limite de quantification.
[f] Les résultats obtenus pour ce composé ont des LD variables; certaines sont supérieures à la concentration maximale détectée. Le maximum est compris entre la concentration maximale détectée et la plus grande LD.

4.2 Comparaison des résultats avec les critères de qualité de l'eau de surface

Les concentrations des eaux de lixiviation traitées ont été comparées aux CQES (MELCCFP, s. d.). Lorsque des CQES existent pour plusieurs usages de l'eau, le critère le plus contraignant a été retenu. Les CQES retenus aux fins de comparaison sont des critères de protection de la vie aquatique pour une exposition chronique (CVAC) ou des critères pour la prévention de la contamination des organismes aquatiques (CPCO). Les CQES ne sont pas des normes de rejet. Elles s'intègrent dans des procédures globales où elles servent de base à la définition de niveaux d'intervention d'assainissement ou à l'évaluation de la qualité des eaux. Les critères de qualité sont des valeurs associées à un seuil sécuritaire protégeant un usage de tout type d'effets délétères possibles : toxicité, organolepticité ou dégradation esthétique (MELCCFP, s. d.).

Le CVAC correspond à la concentration maximale à laquelle les organismes aquatiques peuvent être exposés durant toute leur vie, sans subir d'effets néfastes. Dans le milieu aquatique, toute concentration maintenue au-dessus de ce critère suffisamment longtemps est susceptible de causer un effet indésirable sur des espèces aquatiques. De faibles dépassements du CVAC ne causeront pas nécessairement d'effets sur les organismes aquatiques si la durée et l'intensité de ces dépassements sont limitées et s'il y a des périodes de récupération où la concentration dans le milieu est inférieure à celle du critère. Plus la concentration excède le CVAC, plus la durée pendant laquelle elle peut être tolérée est courte (MELCCFP, s. d.).

Le CPCO est établi à partir des principes de base de l'analyse de risque liée à une exposition par la consommation d'organismes aquatiques. Ce type d'analyse de risque sert à estimer les concentrations de substances bioaccumulables dans l'eau de surface qui minimisent le risque d'effets délétères pour l'humain via l'exposition par la consommation d'organismes aquatiques. Les CPCO sont basés sur l'estimation du danger que pose la substance et sur une exposition potentielle des individus sur toute leur durée de vie (MELCCFP, s. d.).

La comparaison aux CQES est habituellement faite pour des données échantillonnées dans le milieu aquatique, tandis que l'évaluation de l'impact des eaux de lixiviation sur le milieu aquatique au Québec est faite selon l'approche des objectifs environnementaux de rejet (MELCC, 2022). Selon cette approche, un facteur de dilution est accordé pour la majorité des substances en fonction de la capacité d'assimilation du milieu récepteur. Les substances toxiques, persistantes et bioaccumulables (STPB) font partie des exceptions pour lesquelles aucune dilution n'est accordée. Ainsi, pour les STPB analysées telles que le PFOA, le PFOS et les PBDE, la comparaison entre les concentrations dans les eaux de lixiviation traitées et les CQES est appropriée. Pour les alkylphénols et les bisphénols, selon l'approche des objectifs environnementaux de rejet, un facteur de dilution pouvant aller jusqu'à 100 devrait normalement être appliqué au CQES avant comparaison. Toutefois, afin de simplifier l'analyse des données et de préserver l'anonymat des LET qui ont participé à l'étude, la comparaison des concentrations dans les eaux traitées avec les CQES a été faite sans considérer un quelconque facteur de dilution. Cela constitue une approche prudente.

Afin d'effectuer la comparaison aux CQES, les éléments suivants ont été pris en compte et sont présentés à la fin de la section, dans le tableau 6 :

- Le nombre de résultats;
- Le CQES retenu et l'usage de l'eau associé à ce CQES;
- Le nombre de résultats supérieurs à la LD;
- Le nombre de résultats supérieurs au CQES;
- La proportion de résultats supérieurs aux CQES;
- Le ratio concentration médiane : CQES;
- Le ratio concentration maximale : CQES.

Lorsque les ratios entre les concentrations médianes ou maximales et les CQES sont supérieurs à 1, cela indique que le CQES est dépassé dans les eaux de lixiviation traitées, mais ne signifie pas automatiquement qu'il y a un effet délétère sur le milieu aquatique ou la santé humaine. Toutefois, le risque augmente selon l'intensité et la fréquence des dépassements.

4.2.1 Alkylphénols et bisphénols

Pour les alkylphénols et les bisphénols, des CQES sont publiés pour le 4-ter-octylphénol, le p-n-nonylphénol, le nonylphénol grade technique et le bisphénol A (MELCCFP, s. d.). Les critères retenus aux fins de comparaison sont tous des CVAC. Les résultats de comparaison sont présentés au tableau 6. Aucune détection n'a été obtenue pour le 4-ter-octylphénol et le p-n-nonylphénol.

4.2.1.1 Nonylphénol grade technique

Le nonylphénol grade technique a été détecté dans 12 des 19 (63 %) échantillons d'eau traitée analysés. Le résultat d'un échantillon n'est pas disponible en raison d'interférence observée lors de l'analyse. Le critère de qualité est dépassé dans un seul des 19 échantillons (5 %). La concentration mesurée est similaire au CQES. Le dépassement est donc de faible amplitude[3], soit un ratio de 1,3 entre la concentration maximale mesurée et le CQES.

4.2.1.2 Bisphénol A

Le bisphénol A a été détecté dans la majorité des échantillons (16 sur 20; 80 %), mais on n'observe aucun dépassement du CQES.

4.2.2 Substances perfluoroalkylées et polyfluoralkylées (SPFA)

Pour les SPFA, des CQES ont été publiés pour le PFOA et le PFOS (MELCCFP, s. d.). Les critères retenus aux fins de comparaison sont des CPCO. Les résultats sont détaillés au tableau 6.

4.2.2.1 PFOA

Le PFOA a été détecté dans 89 % des échantillons d'eau traitée (17 sur 19). Le CQES est dépassé dans 53 % des échantillons (10 sur 19). Les amplitudes de dépassement sont les plus élevées à avoir été relevées dans le cadre de la présente étude, soit un ratio de 9,4 entre la concentration maximale mesurée et le CQES. Il s'agit du seul composé pour lequel la concentration médiane dépasse le CQES, soit un ratio de 1,1 entre la concentration médiane mesurée et le CQES.

4.2.2.2 PFOS

Le PFOS a été détecté dans 42 % des échantillons d'eau traitée (8 sur 19) et dans tous ces cas, le CQES est dépassé. Toutefois, les LD pour le PFOS dans la présente étude sont supérieures au CQES, ce qui implique que la fréquence de dépassement observée pourrait être plus élevée. L'amplitude de dépassement pour la concentration maximale de PFOS est modérée[3], soit de 6,3. Il s'agit de la deuxième plus élevée de la présente étude, après celle du PFOA. Pour ce composé, la médiane étant < LD, il n'est pas possible de confirmer que la médiane respecte le CQES.

4.2.3 Polybromodiphényles éthers (PBDE)

Des CQES sont publiés (MELCCFP, s. d.) pour chacun des groupes de PBDE suivants : triBDE, tétraBDE, pentaBDE, hexaBDE, heptaBDE et octaBDE. Ces critères s'appliquent à la somme des concentrations des congénères inclus dans chacun de ces groupes. Des critères spécifiques sont également publiés pour le

[3] Un ratio de 1 à 3 fois le CQES est qualifié de dépassement de faible amplitude, de 3 à 7 fois le CQES, de dépassement modéré, et de plus de 7 fois le CQES, de dépassement d'amplitude élevée.

pentaBDE-99 et le pentaBDE-100. Ce sont tous des CVAC. Les LD pour le pentaBDE-100 et les pentaBDE totaux (IUPAC nos 85, 99, 100, 119 et 126) dans la présente étude sont supérieures aux CQES, ce qui ne permet pas d'affirmer avec certitude le respect des CQES pour ces composés.

Aucun résultat n'a été quantifié dans l'eau traitée pour l'ensemble des PBDE. Trois résultats sont DNQ : deux pour le tétraBDE-47 et un pour le pentaBDE-99. En remplaçant le résultat DNQ pour le pentaBDE-99 par la LD, qui correspond à la valeur minimale possible, on obtient un dépassement de cinq fois le CQES pour le groupe des pentaBDE (voir le tableau 6). Toutefois, la valeur de ce critère repose sur une approche de précaution intégrant plusieurs congénères. Or, dans ce cas précis, la composition en pentaBDE est dominée par le pentaBDE-99, pour lequel la toxicité chronique est mieux documentée et dont le critère spécifique, qui est moins strict, n'est pas dépassé. Cela suggère que le risque pour la vie aquatique est probablement moindre que ce que laisse entendre le dépassement du CQES total. Toutefois, l'application du critère total reste justifiée dans une optique de protection globale.

Tableau 6 – Comparaison des résultats obtenus dans les eaux de lixiviation traitées avec les CQES

Composé	n	CQES (ng/l)	Usage de l'eau	Nombre de résultats supérieurs à la LD	Nombre de résultats supérieurs au CQES	Proportion de résultats supérieurs au CQES (%)	Conc. médiane sur CQES[a]	Conc. max. sur CQES[b]
Alkylphénols et bisphénols								
4-ter-octylphénol	20	200	CVAC	0	0	0	s. o.	s. o.
Nonylphénol grade technique	19	6 000	CVAC	12	1	5	0,17	1,3
p-n-nonylphénol	20	6 000	CVAC	0	0	0	s. o.	s. o.
Bisphénol A	20	35 000	CVAC	16	0	0	0,11	0,97
SPFA								
PFOA	19	170	CPCO	17	10	53	1,1	9,4
PFOS	19	12	CPCO	8	8	42	s. o.	6,3
PBDE								
TriBDE totaux (IUPAC nos 17 et 28)	40	46	CVAC	0	0	0	s. o.	s. o.
TétraBDE totaux (IUPAC nos 47, 49, 66, 71 et 77)	100	24	CVAC	2	0	0	s. o.	0,04
PentaBDE-99	20	4	CVAC	1	0	0	s. o.	0,25
PentaBDE-100	20	0,2	CVAC	0	0	0	s. o.	s. o.
PentaBDE totaux (IUPAC nos 85, 99, 100, 119 et 126)	100	0,2	CVAC	1	1	1	s. o.	5

Composé	n	CQES (ng/l)	Usage de l'eau	Nombre de résultats supérieurs à la LD	Nombre de résultats supérieurs au CQES	Proportion de résultats supérieurs au CQES (%)	Conc. médiane sur CQES[a]	Conc. max. sur CQES[b]
HexaBDE totaux (IUPAC n°s 138, 153, 154 et 156)	80	120	CVAC	0	0	0	s. o.	s. o.
HeptaBDE totaux (IUPAC n°s 183, 184 et 191)	60	17	CVAC	0	0	0	s. o.	s. o.
OctaBDE totaux (IUPAC n°s 196 et 197)	40	17	CVAC	0	0	0	s. o.	s. o.

s. o. : sans objet.
En rouge : dépassement de CQES.
[a] Si la médiane est < LD, le ratio n'est pas calculé.
[b] Si le maximum est < LD, le ratio n'est pas calculé.
[c] Pour les PBDE, certains résultats ont été rapportés DNQ. La LD associée à ces résultats a été considérée aux fins de comparaison avec les CQES.

5. Enlèvements observés dans les STEP

Les performances des systèmes de traitement des LET ont été évaluées pour les différents composés étudiés en calculant des enlèvements (différences relatives entre les concentrations dans l'eau de lixiviation traitée et dans l'eau de lixiviation brute). Cette évaluation a été faite pour toutes les substances analysées, pour les sommes de SPFA et pour les regroupements de PBDE pour lesquels il existe des CQES.

Le tableau 7 présente les enlèvements minimaux, maximaux et médians calculés pour tous les LET à l'étude. Aucun calcul d'enlèvement n'a été fait lorsque le résultat était sous la LD dans l'eau de lixiviation brute et dans l'eau de lixiviation traitée, ce qui est le cas pour la totalité des résultats des composés suivants :

- 4-ter-octylphénol
- p-n-nonylphénol
- bisphénol F
- L-PFHps
- PFDS
- PFUdA
- PFDoA
- PFTrDA
- FHUEA
- FOUEA
- FDUEA
- 8:2 FTS
- tétraBDE-71;
- tétraBDE-77
- pentaBDE-119
- pentaBDE-126
- hexaBDE-138
- hexaBDE-156
- heptaBDE-183
- heptaBDE-184
- heptaBDE-191
- nonaBDE-206
- nonaBDE-207

Ainsi, aucun résultat d'enlèvement n'est présenté au tableau 7 pour ces substances. Pour les autres, les résultats DNQ ont été remplacés par la LD associée, tandis que les résultats sous la LD ont été remplacés par zéro. Cela correspond au meilleur scénario d'enlèvement possible. Bien qu'improbable en réalité, un enlèvement de 100 % est obtenu lorsque la substance a été détectée dans les eaux brutes, mais pas dans les eaux traitées. Pour éviter une mauvaise interprétation, ces résultats ont été remplacés par une note dans le tableau 7 (note c) et ne sont pas présentées dans ce tableau les substances qui ont été seulement détectées dans l'eau brute, à savoir :

- bisphénol S
- triBDE-17
- triBDE-v28
- tétraBDE-49
- tétraBDE-66
- pentaBDE-85
- pentaBDE-100
- hexaBDE-153
- hexaBDE-154
- octaBDE-196
- octaBDE-197
- décaBDE-209

Un enlèvement négatif indique une augmentation des concentrations dans l'eau de lixiviation traitée par rapport à l'eau de lixiviation brute. Dans le tableau 7, une note est utilisée pour les cas où il y a eu détection dans l'eau traitée, mais pas dans l'eau brute (note b). C'est le cas notamment pour le 4:2 FTS qui a été détecté seulement dans un échantillon d'eau traitée. Ce résultat n'est pas présenté au tableau 7.

5.1 Alkylphénols et bisphénols

Les résultats montrent que les systèmes de traitement permettent de réduire les concentrations de bisphénol A et de bisphénol S. Ces composés affichent toujours des teneurs plus faibles dans l'eau de lixiviation traitée que dans l'eau de lixiviation brute. Dans le cas du bisphénol A, qui est le plus documenté, les principaux mécanismes d'enlèvement dans les systèmes de traitement conventionnels sont la biodégradation et la sorption sur les solides (Guerra et collab., 2015). Ainsi, il est probable que le bisphénol A se retrouve dans les boues de traitement, qui sont généralement enfouies dans les cellules des LET. En cohérence avec les résultats de la présente étude, il est rapporté que le bisphénol S est mieux enlevé que le bisphénol A dans les stations de traitement conventionnelles (Wang et collab., 2019).

Pour le nonylphénol grade technique, les concentrations sont parfois plus élevées dans l'eau de lixiviation traitée que dans l'eau de lixiviation brute. La formation de nonylphénol pourrait être expliquée par la dégradation de nonylphénols éthoxylés pendant le traitement biologique (Ahel et collab., 1994; Gauthier et collab., 2013). Les LD, qui sont parfois dix fois plus basses dans l'eau de lixiviation traitée que dans l'eau de lixiviation brute, pourraient aussi expliquer les détections de nonylphénol grade technique seulement après le traitement.

5.2 Substances perfloroalkylées et polyperfluoroalkylées (SPFA)

Les concentrations sont, parfois dans le cas du PFOS (15 %) et souvent dans le cas du PFOA (58 %), plus élevées dans l'eau traitée que dans l'eau brute. Pour la somme des SPFA, l'enlèvement médian calculé est inférieur à 10 %. De plus, pour 37 % des échantillons, les concentrations totales dans l'eau traitée sont plus élevées que dans l'eau brute.

Les enlèvements négatifs observés pour le PFOA, le PFOS et la somme des SPFA peuvent être le résultat de la transformation de précurseurs lors du traitement biologique (Lenka et collab., 2021; Wang et collab., 2020). Les SPFA sont réfractaires à la biodégradation. L'adsorption sur les boues est donc le principal mécanisme d'enlèvement de la phase liquide dans les stations de traitement des eaux usées (Lenka et

collab., 2021). Certaines SPFA peuvent donc se retrouver dans les boues de traitement[4]. Le PFOA est plus soluble dans l'eau et a une moins grande tendance à la sorption que le PFOS (Guerra et collab., 2014), ce qui pourrait expliquer l'enlèvement médian plus élevé pour ce dernier.

Des enlèvements négatifs ont été obtenus pour toutes les autres SPFA détectées, à l'exception du 6:2 FTS. Trois substances (L-PFBS, PFBA et PFHpA) sur onze ont un enlèvement médian négatif ou nul. Une substance a été détectée uniquement dans l'eau traitée (4:2 FTS). Seuls le PFNA et le PFDA, qui, à l'instar du PFOS, ont une affinité pour les solides plus grande que le PFOA (Guerra et collab., 2014), ainsi que le 6:2 FTS, un précurseur dont les produits de dégradation peuvent être du PFHxA et du PFPeA (Méndez et collab., 2022), ont des enlèvements médians supérieurs à 50 %.

De manière générale, l'enlèvement des SPFA dans les systèmes de traitement est mitigé.

5.3 Polybromodiphényles éthers (PBDE)

Les résultats montrent que les systèmes de traitement permettent de réduire les concentrations de PBDE. Sept congénères ont été mesurés dans l'eau de lixiviation brute, tandis que seulement deux ont été détectés, mais non quantifiés, dans l'eau de lixiviation traitée (tétraBDE-47 et pentaBDE-99). Ces deux congénères étaient les plus concentrés dans l'eau brute.

Considérant que les PBDE sont réfractaires à la biodégradation, leur mécanisme d'enlèvement principal dans les systèmes de traitement conventionnels est la sorption sur les solides (Kim et collab., 2013, Li et collab., 2012; Margot et collab., 2015). Ainsi, il est probable que les PBDE se retrouvent dans les boues de traitement[4].

Tableau 7 – Enlèvements observés dans les systèmes de traitement des eaux des LET

Composé ou famille de composés	Enlèvement minimal (%)	Enlèvement maximal (%)	Enlèvement médian (%)	n enlèvements négatifs/n[a]
Alkylphénols et bisphénols				
Nonylphénol grade technique	[b]	[c]	-21	4/8
Bisphénol A	85	[c]	99,7	0/20
SPFA				
Somme des SPFA	-87	86	9	7/19
APFS C3-C6				
L-PFBS	[b]	86	0	8/17
PFHxS	[b]	[c]	19	7/18
PFOS				
PFOS	-171	[c]	68	2/13
APFC C4-C7				
PFBA	-136	[c]	-5	7/13
PFPeA	[b]	77	15	4/13
PFHxA	-200	[c]	32	8/19
PFHpA	-146	[c]	-16	10/19

[4] Les boues de traitement sont généralement enfouies dans les cellules des LET.

Composé ou famille de composés	Enlèvement minimal (%)	Enlèvement maximal (%)	Enlèvement médian (%)	n enlèvements négatifs/n[a]
PFOA				
PFOA	-167	[c]	-27	11/19
APFC C9-C14				
PFNA	-219	[c]	66	4/14
PFDA	-250	[c]	[c]	3/7
Précurseurs				
6:2 FTS	25	[c]	98	0/14
PBDE				
Tétrabromodiphényle éther (IUPAC nº 47)	80	[c]	[c]	0/14
TétraBDE totaux	83	[c]	[c]	0/15
Pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 99)	93	[c]	[c]	0/15
PentaBDE totaux	94	[c]	[c]	0/15

[a] Nombre d'enlèvements négatifs sur le nombre total d'enlèvements calculés.
[b] Résultat sous la LD dans l'eau brute, mais au-dessus de la LD dans l'eau traitée (enlèvement négatif).
[c] Résultat au-dessus de la LD dans l'eau brute, mais sous la LD dans l'eau traitée (enlèvement positif).

6. Conclusions et perspectives

Afin de documenter la présence de CIE dans les eaux de lixiviation brutes et traitées de LET québécois, des analyses ont été réalisées sur une quarantaine d'échantillons recueillis dans dix LET. Cela a permis d'identifier les CIE qui sont potentiellement problématiques pour les milieux aquatiques récepteurs, d'évaluer l'efficacité des STEP pour les réduire et d'évaluer le besoin d'adapter l'encadrement des rejets des LET pour considérer les CIE. Voici les conclusions de ces analyses.

6.1 Présence de différents CIE dans les eaux de lixiviation brutes et traitées des LET québécois

La présence de différents composés a été confirmée lors de la présente étude exploratoire.

Dans les eaux de lixiviation brutes, le nonylphénol grade technique, le bisphénol A, le bisphénol S, 11 SPFA et 13 PBDE ont été détectés. Il n'y a par contre eu aucune détection de 4-ter-octylphénol, de p-n-nonylphénol, de bisphénol F, de 10 SPFA et de 11 PBDE.

Dans les eaux de lixiviation traitées, le nonylphénol grade technique, le bisphénol A, 12 SPFA et de 2 PBDE ont été détectés. Toutefois, il n'y a eu aucune détection de 4-ter-octylphénol, de p-n-nonylphénol, de bisphénol S, de bisphénol F, de 9 SPFA et de 22 PBDE.

6.2 Identification des CIE potentiellement préoccupants pour les milieux aquatiques

L'analyse des résultats dans les eaux traitées a permis d'identifier les composés qui pourraient être problématiques en raison de dépassements des CQES. Cette analyse a été faite en considérant les fréquences et les amplitudes de dépassement des CQES établis par le MELCCFP.

Dans la famille des alkylphénols et bisphénols, seul le nonylphénol grade technique a dépassé le CQES. La fréquence et l'amplitude de dépassement pour ce composé étaient faibles. Le nonylphénol grade technique est ainsi potentiellement problématique dans les eaux de lixiviation traitées des LET québécois. Toutefois, en raison de la capacité d'assimilation des milieux aquatiques récepteurs pour ce type de contaminant, qui n'a pas fait l'objet d'une évaluation dans cette analyse, le faible dépassement pourrait ne pas avoir d'impact pour la vie aquatique. Des échantillonnages supplémentaires seraient nécessaires pour se prononcer avec plus d'assurance sur l'impact du nonylphénol grade technique sur le milieu aquatique. Pour sa part, le bisphénol A est retrouvé dans la majorité des eaux de lixiviation traitées (80 %). Cependant, les concentrations mesurées sont toutes inférieures au CQES. Le risque associé aux concentrations de bisphénol A dans les rejets des LET est donc considéré comme faible pour le milieu aquatique.

Pour ce qui est des SPFA, le MELCCFP n'a des CQES que pour le PFOA et le PFOS. Le PFOA a été détecté dans 89 % des échantillons d'eaux de lixiviation traitées. La médiane calculée pour le PFOA est légèrement supérieure au CQES (1,1 fois), tandis que la valeur maximale a une amplitude de dépassement élevée (9,4). Le PFOS a quant à lui été détecté dans 42 % des échantillons. La médiane est inférieure à la LD et la valeur maximale mesurée a une amplitude de dépassement modérée du CQES (6,3). Les LD pour le PFOS dans la présente étude sont toutefois supérieures au CQES; elles ne permettent donc pas de garantir que la médiane respecte le CQES. De plus, la fréquence de dépassement observée pourrait être plus élevée que celle indiquée. À la lumière de la présente étude exploratoire et de la nature de ces contaminants, les concentrations de PFOA et de PFOS mesurées dans les eaux de lixiviation traitées des LET québécois sont potentiellement problématiques.

En ce qui concerne les PBDE, aucun des congénères n'a pu être quantifié dans les eaux de lixiviation traitées. Bien que les résultats de l'étude semblent indiquer que les BPDE ne sont pas problématiques dans les eaux de lixiviation traitées des LET québécois, le pentaBDE-100 et les pentaBDE totaux

(IUPAC nos 85, 99, 100, 119 et 126) ont été analysés avec des LD qui ne permettent pas de s'assurer du respect des CQES. On ne peut donc pas conclure avec certitude que ces composés se retrouvent dans le lixiviat traité des LET québécois en quantité non préoccupante pour les milieux aquatiques.

6.3 Enlèvements dans les STEP

En raison du nombre limité de données générées lors de la présente étude, seule une analyse globale des performances de traitement a été réalisée.

Les résultats d'enlèvement sont globalement similaires entre les différents sites pour le bisphénol A et les PBDE. Des enlèvements importants sont observés pour ces substances (≥ 80 %).

Les résultats pour le nonylphénol grade technique montrent à quelques reprises (20 % des cas) des concentrations plus élevées à l'effluent qu'à l'affluent, ce qui résulte en un enlèvement médian négatif.

Pour ce qui est des SPFA, une variabilité importante est observée dans les résultats, ce qui rend difficile leur interprétation. De manière générale, l'enlèvement des SPFA est mitigé. L'enlèvement médian pour la somme des SPFA est de 9 %. De plus, à l'exception du 6:2 FTS, toutes les SPFA quantifiées ont obtenu, au moins une fois, une concentration plus élevée dans l'eau de lixiviation traitée que dans l'eau de lixiviation brute. Les bilans de détection montrent des résultats similaires (≤ 6 % de différence) dans les eaux de lixiviation brutes et les eaux de lixiviation traitées pour la plupart des composés, à l'exception du PFOS, du PFNA, du PFDA et du 6:2 FTS (21 %, 16 %, 11 % et 37 % moins détecté dans les eaux de lixiviation traitées que dans les eaux de lixiviation brutes, respectivement). Ces substances sont aussi les seules à présenter des enlèvements médians supérieurs à 50 %. Les enlèvements médians suivent l'ordre suivant : PFDA > 6:2 FTS > PFOS > PFNA > PFHxA > PFHxS > PFPeA > L-PFBS > PFBA > PFHpA > PFOA. Les enlèvements médians calculés pour le PFBA, le PFHpA et le PFOA sont négatifs. Globalement, on constate que les SPFA à longue chaîne semblent mieux enlevées que les SPFA à courte chaîne. Le PFOA, une SPFA à longue chaîne, fait cependant exception avec l'enlèvement médian (négatif) le plus faible.

6.4 Perspectives d'acquisition de connaissances supplémentaires

Dans la continuité de la présente étude, il serait pertinent d'**obtenir des données supplémentaires concernant les rejets de nonylphénol grade technique et de molécules mères[5] qui peuvent se dégrader en nonylphénol**, dans le cadre d'un nouveau projet spécifique d'acquisition de connaissances. Il serait également pertinent d'**évaluer les stratégies qui peuvent être mises en place pour optimiser l'enlèvement de nonylphénol dans les systèmes de traitement existants** afin d'éviter les dépassements de CQES.

De plus, dans le cadre d'autres projets spécifiques d'acquisition de connaissances, il serait pertinent, si des méthodes analytiques le permettent, de **faire une étude de suivi des pentaBDE (IUPAC nos 85, 99, 100, 119 et 126) avec des LD inférieures à 0,2 ng/l et une étude de suivi du PFOS avec des LD inférieures à 12 ng/l dans les eaux de lixiviation de LET**. Ces LD permettraient d'évaluer le respect des CQES et le niveau de préoccupation à l'égard de ces congénères.

[5] Nonylphénols éthoxylés (surfactants anioniques).

6.5 Perspectives relatives à l'encadrement des rejets des LET

Les orientations proposées portent sur les SPFA puisqu'à la lumière des résultats du présent projet exploratoire, ce sont les seuls CIE étudiés qui dépassent fréquemment les CQES dans les eaux de lixiviation traitées. Leurs concentrations dans les eaux de lixiviation traitées des LET québécois sont donc jugées potentiellement problématiques.

Il serait pertinent d'**ajouter un suivi trimestriel des SPFA à l'effluent de tous les LET québécois afin d'avoir un portrait plus complet de la présence des SPFA dans les eaux qu'ils rejettent**. L'acquisition de données supplémentaires permettrait d'identifier avec plus de précision les SPFA d'intérêt et, par la suite, les méthodes de traitement des eaux qui pourraient être envisagées pour réduire leurs concentrations. Ce suivi serait réalisé parallèlement à **une veille scientifique sur les effets des SPFA sur l'environnement et sur les technologies de traitement des SPFA**. Selon les connaissances qui seront acquises sur les effluents des LET et l'évolution des connaissances générales sur les SPFA (p. ex., technologies de traitement disponibles, effets sur la santé et l'environnement), le MELCCFP pourrait **évaluer s'il est indiqué d'adapter la réglementation existante, soit le REIMR, notamment par l'ajout de valeurs limites pour le rejet de SPFA**.

7. Références

AHEL, M., W. GIGER, ET M. KOCH (1994). « Behaviour of alkylphenol polyethoxylate surfactants in the aquatic environment—I. Occurrence and transformation in sewage treatment », *Water Research,* vol. 28, nº 5, p. 1131-1142. doi : 10.1016/0043-1354(94)90200-3.

ASAKURA, H., T. MATSUTO ET N. TANAKA (2004). « Behavior of endocrine-disrupting chemicals in leachate from MSW landfill sites in Japan », *Waste Management,* vol. 24, nº 6, p. 613-622. doi : 10.1016/j.wasman.2004.02.004.

ENVIRONNEMENT CANADA (2013). *Recommandations fédérales pour la qualité de l'environnement pour lesPolybromodiphényléthers (PBDE)*, [En ligne], Ottawa, 28 p.[https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/ese-ees/05df7a37-60ff-403f-bb37-0cc697dbd9a3/feqg_pbde_fr.pdf].

ECCC (2020). *Évaluation de l'efficacité de la gestion des risques associés aux polybromodiphényléthers (PBDE),* [En ligne], Ottawa, Environnement et Changement climatique Canada, 31 p. [https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/evaluation-substances-existantes/evaluation-efficacite-gestion-risques-associe-polybromodiphenylethers.html].

ECCC (2022). *Évaluation de la mesure du rendement pour la gestion du risque posé par le nonylphénol et ses dérivés éthoxylés, volet écologique*, [En ligne], Ottawa, Environnement et Changement climatique Canada, 38 p. [https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/pded/pme-for-rm-of-np-and-npes/evaluation-mesure-rendement-gestion-risque-nonylphenol-derives-ethoxyles.pdf].

ECCC ET SC (2025). *Rapport sur l'état des substances perfluoroalkyliques et polyfluoroalkyliques (SPFA)*, [En ligne], Ottawa, Environnement et Changement climatique Canada et Santé Canada, 323 p. [https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/evaluation-substances-existantes/rapport-etat-substances-perfluoroalkyliques-polyfluoroalkyliques.html].

GAUTHIER, K., ET COLLAB. (2013). « Le nonylphénol et ses dérivés éthoxylés », *Vecteur Environnement,* p. 44-49.

GUERRA, P., ET COLLAB. (2014). « Parameters affecting the formation of perfluoroalkyl acids during wastewater treatment », *Journal of Hazardous Materials,* vol. 272, p. 148-154. doi : 10.1016/j.jhazmat.2014.03.016.

GUERRA, P., ET COLLAB. (2015). « Bisphenol-A removal in various wastewater treatment processes: Operational conditions, mass balance, and optimization », *Journal of Environmental Management,* vol. 152, p. 192-200. doi : 10.1016/j.jenvman.2015.01.044.

HELSEL, D. R., ET R. M. HIRSCH (2002). « Methods for Data Below the Reporting Limit », chapitre 13 tiré de *Statistical Methods in Water Resources* (04-A3), [En ligne], Techniques of Water-Resources Investigation of the United States Geological Survey, 20 p. [https://pubs.usgs.gov/publication/twri04A3].

KIM, M., ET COLLAB. (2013). « Parameters affecting the occurrence and removal of polybrominated diphenyl ethers in twenty Canadian wastewater treatment plants », *Water Research,* vol. 47, nº 7, p. 2213-2221. doi : 10.1016/j.watres.2013.01.031.

LENKA, S. P., M. KAH ET L. P. PADHYE (2021). « A review of the occurrence, transformation, and removal of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) in wastewater treatment plants », *Water Research,* vol. 199, article 117187. doi : 10.1016/j.watres.2021.117187.

LI, B., ET COLLAB. (2012). « Occurrence of PFCs and PBDEs in landfill leachates from across Canada », *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 223, p. 3365-3372. doi : 10.1007/s11270-012-1115-7.

MARGOT, J., L. ROSSI, D. A. BARRY ET C. HOLLIGER (2015). « A review of the fate of micropollutants in wastewater treatment plants », *WIREs Water,* vol. 2, nº 5, p. 457-487. doi : https://doi.org/10.1002/wat2.1090.

MASONER, J. R., ET COLLAB. (2014). « Contaminants of emerging concern in fresh leachate from landfills in the conterminous United States », *Environmental Science: Processes & Impacts,* vol. 16, nº 10, p. 2335-2354. doi : 10.1039/C4EM00124A.

MDDEFP (2012). *Les composés perfluorés dans les cours d'eau et l'eau potable du Québec méridional*, [En ligne], Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, 35 p. [https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/toxique/composes-perfluores/rapport-cours-eau-potable.pdf].

MDDELCC (2017). *Contaminants d'intérêt émergent, substances toxiques et état des communautés de poissons dans des cours d'eau de la Montérégie et de l'Estrie*, [En ligne], Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 76 p. [https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/toxique/monteregie-estrie/contaminant-emergent.pdf].

MELCC (2022). *Calcul et interprétation des objectifs environnementaux de rejet pour les contaminants du milieu aquatique*, [En ligne], Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 68 p. et 4 annexes. [https://www.environnement.gouv.qc.ca/Eau/oer/calcul-interpretation-OER.pdf].

MELCC (2020a). *Contaminants d'intérêt émergent, substances toxiques et état des communautés de poissons dans des cours d'eau du Québec méridional*, [En ligne], Québec, ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques, 88 p. [https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/toxique/contaminants-emergent-Quebec-meridional.pdf].

MELCC (2020b). *Rapport sur l'état des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques du Québec 2020*, [En ligne], Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 490 p.[https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rapport-eau/rapport-eau-2020.pdf].

MELCC (2018). *Contaminants d'intérêt émergent, substances toxiques et état des communautés de poissons dans des cours d'eau des Laurentides et de Lanaudière*, [En ligne], Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 70 p. [https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/toxique/laurentides-lanaudiere/Contaminants-emergent.pdf].

MELCCFP (s. d.). *Critères de qualité de l'eau de surface*, [En ligne], Québec, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, et la Faune et des Parcs [https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp]. (Consulté le 8 avril 2024).

MÉNDEZ, V., ET COLLAB. (2022). « Aerobic biotransformation of 6:2 fluorotelomer sulfonate by *Dietzia aurantiaca* J3 under sulfur-limiting conditions », *Science of The Total Environment,* vol. 829, article 154587. doi : 10.1016/j.scitotenv.2022.154587.

MOREMAN J., ET COLLAB. (2017). « Acute toxicity, teratogenic, and estrogenic effects of bisphenol A and its alternative replacements bisphenol S, bisphenol F, and bisphenol AF in zebrafish embryo-larvae », *Environmental Science & Technology*, vol. 51, nº 21, p. 12796-12805. doi : 10.1021/acs.est.7b03283.

NAREVSKI, A. C., ET COLLAB. (2021). « Occurrence of bisphenol A and microplastics in landfill leachate: lessons from South East Europe », *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, nº 31, p. 42196-42203. doi : 10.1007/s11356-021-13705-z.

ÖMAN, C. B., ET C. JUNESTEDT (2008). « Chemical characterization of landfill leachates–400 parameters and compounds », *Waste Management,* vol. 28, nº 10, p. 1876-1891. doi : 10.1016/j.wasman.2007.06.018.

OSAKO, M., Y.-J. KIM ET S.-I. SAKAI (2004). « Leaching of brominated flame retardants in leachate from landfills in Japan », *Chemosphere,* vol. 57, nº 10, p. 1571-1579. doi : 10.1016/j.chemosphere.2004.08.076.

PROPP, V. R., ET COLLAB. (2021). « Organic contaminants of emerging concern in leachate of historic municipal landfills », *Environmental Pollution,* vol. 276, article 116474. doi : 10.1016/j.envpol.2021.116474.

QI, C., ET COLLAB. (2018). « Contaminants of emerging concern in landfill leachate in China: A review », *Emerging Contaminants*, vol. 4, nº 1, p. 1-10. doi : 10.1016/j.emcon.2018.06.001.

TOLAYMAT, T., ET COLLAB. (2023). « A critical review of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) landfill disposal in the United States », *Science of The Total Environment,* vol. 905, article 167185. doi : 10.1016/j.scitotenv.2023.167185.

USEPA (2021). *PFAS Strategic Roadmap: EPA's Commitments to Action 2021-2024*, [En ligne], United States Environmental Protection Agency, 26 p. [https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-10/pfas-roadmap_final-508.pdf].

WANG, B., ET COLLAB. (2020). « Per- and polyfluoroalkyl substances and the contribution of unknown precursors and short-chain (C2–C3) perfluoroalkyl carboxylic acids at solid waste disposal facilities », *Science of The Total Environment,* vol. 705, article 135832. doi : 10.1016/j.scitotenv.2019.135832.

WANG, H., ET COLLAB. (2019). « Insights into removal mechanisms of bisphenol A and its analogues in municipal wastewater treatment plants », *Science of The Total Environment,* vol. 692, p. 107-116. doi : 10.1016/j.scitotenv.2019.07.134.

WINTGENS, T., M. GALLENKEMPER ET T. MELIN (2003). « Occurrence and removal of endocrine disrupters in landfill leachate treatment plants », *Water Science and Technology,* vol. 48, nº 3, p. 127-134. doi : 10.2166/wst.2003.0180.

Annexe 1 – Concentrations en alkylphénols et en bisphénols mesurées dans les eaux de lixiviation brutes lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	4-ter-octylphénol (ng/l)	Nonylphénol grade technique (ng/l)	p-n-nonylphénol (ng/l)	Bisphénol A (ng/l)	Bisphénol F (ng/l)	Bisphénol S (ng/l)
1	2019-10-18	< 400	INT	< 400	18 000	< 800	50 000
1	2021-08-10	< 40	< 600	< 100	7 500	< 40	16 000
2	2019-10-15	< 400	INT	< 400	140 000	< 800	91 000
2	2020-10-07	< 40	< 600	< 40	74 000	< 80	47 000
3	2020-03-11	< 400	7 100	< 400	16 000	< 800	9 900
3	2020-10-20	< 40	< 600	< 100	17 000	< 80	13 000
4	2019-11-13	< 400	24 000	< 400	86 000	INT	54 000
4	2021-08-10	< 40	< 600	< 100	33 000	< 40	27 000
5	2019-07-25	< 200	< 3 000	< 200	22 000	< 400	60 000
5	2019-10-01	< 400	< 6 000	< 400	36 000	< 800	99 000
6	2019-10-10	< 400	INT	< 400	1 900 000	< 800	240 000
6	2020-01-29	< 400	< 6 000	< 400	2 300 000	< 800	190 000
7	2019-08-07	< 200	INT	< 200	74 000	< 400	6 400
7	2019-10-24	< 200	16 000	< 200	170 000	< 200	35 000
8	2019-07-23	< 400	< 6 000	< 400	190 000	< 800	43 000
8	2019-10-07	< 40	< 600	< 40	57 000	< 800	19 000
9	2019-07-31	< 200	INT	< 200	11 000	< 400	17 000
9	2019-10-22	< 200	6 800	< 200	12 000	< 200	37 000
10	2019-07-31	< 400	< 6 000	< 400	460 000	< 800	36 000
10	2019-10-10	< 400	INT	< 400	1 100 000	< 800	200 000

INT : interférence
< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Annexe 2 – Concentrations en alkylphénols et en bisphénols mesurées dans les eaux de lixiviation traitées lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	4-ter-octylphénol (ng/l)	Nonylphénol grade technique (ng/l)	p-n-nonylphénol (ng/l)	Bisphénol A (ng/l)	Bisphénol F (ng/l)	Bisphénol S (ng/l)
1	2019-10-18	< 40	820	< 40	290	< 80	< 80
1	2021-08-10	< 40	< 600	< 100	520	< 40	< 40
2	2019-10-15	< 40	1 200	< 40	340	< 80	< 80
2	2020-10-07	< 40	1 300	< 40	< 80	< 80	< 80
3	2020-03-11	< 40	< 600	< 40	380	< 80	< 80
3	2020-10-20	< 40	< 600	< 100	< 80	< 80	< 80
4	2019-11-13	< 200	7 700	< 200	2 100	< 400	< 400
4	2021-08-10	< 40	< 600	< 100	790	< 40	< 40
5	2019-07-25	< 200	3 500	< 200	3 400	< 400	< 400
5	2019-10-01	< 40	1 100	< 40	< 80	< 80	< 80
6	2019-10-10	< 40	2 700	< 40	920	< 80	< 80
6	2020-01-29	< 40	< 600	< 40	1 300	< 80	< 80
7	2019-08-07	< 40	900	< 40	230	< 80	< 80
7	2019-10-24	< 40	1 400	< 40	370	< 40	< 40
8	2019-07-23	< 40	1 300	< 400	910	< 80	< 80
8	2019-10-07	< 40	< 600	< 40	210	< 80	< 80
9	2019-07-31	< 40	INT	< 40	90	< 80	< 80
9	2019-10-22	< 40	2 900	< 40	390	< 80	< 80
10	2019-07-31	< 40	< 600	< 40	< 80	< 80	< 80
10	2019-10-10	< 40	1 000	< 40	560	< 80	< 80

INT : interférence

< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Annexe 3 – Concentrations en SPFA mesurées dans les eaux de lixiviation brutes lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	∑SPFA[b] (ng/l)	L-PFBS (ng/l)	PFHxS (ng/l)	L-PFHpS (ng/l)	PFOS (ng/l)	PFDS (ng/l)	PFBA (ng/l)	PFPeA (ng/l)	PFHxA (ng/l)	PFHpA (ng/l)	PFOA (ng/l)
1	2019-10-18	318	< 20	25	< 20	< 20	< 80	< 100	120	110	24	39
2	2019-10-15	2 843	260	97	< 20	25	< 60	1200	300	460	150	300
2	2020-10-07	1 394	470	150	< 10	30	< 40	< 50	< 10	180	60	89
3	2020-03-11	4 208	560	97	< 10	140	< 40	110	< 10	1 400	500	710
3	2020-10-20	4 746	860	290	< 10	160	< 40	< 50	< 10	1 100	560	950
4	2019-11-13	642	140	< 20	< 20	< 20	< 80	< 100	< 20	340	52	110
4	2021-08-10	1 924	350	53	< 10	22	< 40	nd	< 10	1 100	140	190
5	2019-07-25	968	< 20	77	< 20	< 20	< 60	< 100	120	360	120	200
5	2019-10-01	1 694	< 20	160	< 20	< 20	< 60	370	420	320	110	170
6	2019-10-10	4 963	1 400	140	< 20	88	< 60	820	310	700	140	530
6	2020-01-29	2 700	1 400	170	< 20	62	< 80	< 100	< 20	150	58	150
7	2019-08-07	2 008	510	70	< 20	< 20	< 60	140	260	740	94	100
7	2019-10-24	350	170	< 20	< 20	< 20	< 80	< 100	< 20	180	< 20	< 20
8	2019-07-23	4 165	640	370	< 20	150	< 60	200	410	1 100	230	590
8	2019-10-07	3 906	490	220	< 20	31	< 60	810	640	1 100	190	380
9	2019-07-31	2 669	160	110	< 20	76	< 60	150	700	640	240	270
9	2019-10-22	532	36	22	< 20	55	< 80	< 100	140	130	46	63
10	2019-07-31	2 434	800	170	< 20	28	< 60	200	130	520	120	290
10	2019-10-10	2 400	540	93	< 20	< 20	< 60	680	410	400	57	150

nd : non disponible
< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

[b] Somme des SPFA détectées

Annexe 3 (suite) – Concentrations en SPFA mesurées dans les eaux de lixiviation brutes lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	PFNA (ng/l)	PFDA (ng/l)	PFUdA (ng/l)	PFDoA (ng/l)	PFTrDA (ng/l)	FHUEA (ng/l)	FOUEA (ng/l)	FDUEA (ng/l)	4:2 FTS (ng/l)	6:2 FTS (ng/l)	8:2 FTS (ng/l)
1	2019-10-18	< 20	< 40	< 40	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20
2	2019-10-15	51	< 20	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	< 40	< 20
2	2020-10-07	25	< 20	< 20	< 20	< 10	< 20	< 10	< 20	< 10	390	< 10
3	2020-03-11	110	41	< 20	< 20	< 10	< 20	< 10	< 20	< 10	540	< 10
3	2020-10-20	130	36	< 20	< 20	< 10	< 20	< 10	< 20	< 10	660	< 10
4	2019-11-13	< 20	< 40	< 40	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20
4	2021-08-10	17	< 20	< 20	nd	nd	< 20	< 10	nd	< 10	52	< 10
5	2019-07-25	20	< 60	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	71	< 20
5	2019-10-01	44	< 20	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	100	< 20
6	2019-10-10	65	50	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	720	< 20
6	2020-01-29	< 20	< 40	< 40	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20	710	< 20
7	2019-08-07	< 20	< 60	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	94	< 20
7	2019-10-24	< 20	< 40	< 40	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20
8	2019-07-23	80	65	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	330	< 20
8	2019-10-07	45	< 20	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	< 40	< 20
9	2019-07-31	53	< 60	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	270	< 20
9	2019-10-22	< 20	< 40	< 40	< 40	nd	< 40	< 20	< 40	< 20	40	< 20
10	2019-07-31	26	< 60	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	150	< 20
10	2019-10-10	< 20	26	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	44	< 20

nd : non disponible
< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Annexe 4 – Concentrations en SPFA mesurées dans les eaux de lixiviation traitées lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	∑SPFA[b] (ng/l)	L-PFBS (ng/l)	PFHxS (ng/l)	L-PFHpS (ng/l)	PFOS (ng/l)	PFDS (ng/l)	PFBA (ng/l)	PFPeA (ng/l)	PFHxA (ng/l)	PFHpA (ng/l)	PFOA (ng/l)
1	2019-10-18	95	< 20	< 20	< 20	< 20	< 80	< 100	45	50	< 20	< 20
2	2019-10-15	411	67	35	< 20	< 20	< 60	< 100	69	130	39	71
2	2020-10-07	666	170	110	< 1	18	< 4	< 5	24	90	58	160
3	2020-03-11	4 609	350	120	< 10	59	< 40	210	< 10	1 900	580	1 200
3	2020-10-20	4 725	830	370	< 10	< 10	< 40	460	< 10	< 10	1 200	1 600
4	2019-11-13	398	84	< 20	< 20	< 20	< 80	< 100	< 20	230	35	49
4	2021-08-10	2 582	500	53	< 10	< 10	< 40	nd	< 10	1 600	210	180
5	2019-07-25	544	< 20	31	< 20	< 20	< 60	< 100	120	240	64	89
5	2019-10-01	515	210	< 20	< 20	< 20	< 60	< 100	100	180	25	< 20
6	2019-10-10	4 530	1 500	190	< 20	38	< 60	570	280	710	210	660
6	2020-01-29	3 159	1 500	150	< 20	34	< 80	260	< 20	450	130	400
7	2019-08-07	2 497	530	93	< 20	24	< 60	330	450	720	110	240
7	2019-10-24	655	170	25	< 20	< 20	< 80	100	< 20	220	57	83
8	2019-07-23	1 690	220	110	< 20	44	< 60	210	310	490	84	200
8	2019-10-07	1 436	180	82	< 20	< 20	< 60	200	310	450	74	140
9	2019-07-31	3 100	180	140	< 20	24	< 60	250	900	720	280	490
9	2019-10-22	539	39	26	< 20	< 20	< 80	< 100	170	170	54	80
10	2019-07-31	1 938	110	93	< 20	76	< 60	120	110	170	66	420
10	2019-10-10	2 331	640	66	< 20	< 20	< 60	340	220	550	140	260

nd : non disponible
< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

[b] Somme des SPFA détectées

Annexe 4 (suite) – Concentrations en SPFA mesurées dans les eaux de lixiviation traitées lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	PFNA (ng/l)	PFDA (ng/l)	PFUdA (ng/l)	PFDoA (ng/l)	PFTrDA (ng/l)	FHUEA (ng/l)	FOUEA (ng/l)	FDUEA (ng/l)	4:2 FTS (ng/l)	6:2 FTS (ng/l)	8:2 FTS (ng/l)
1	2019-10-18	< 20	< 40	< 40	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20
2	2019-10-15	< 20	< 60	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	< 40	< 20
2	2020-10-07	10	3	< 2	< 2	< 1	< 2	< 1	< 2	4	19	< 1
3	2020-03-11	80	< 20	< 40	< 20	< 10	< 20	< 10	< 20	< 10	110	< 10
3	2020-10-20	35	< 20	< 20	< 20	< 10	< 20	< 10	< 20	< 10	230	< 10
4	2019-11-13	< 20	< 40	< 40	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20
4	2021-08-10	< 10	< 20	< 20	nd	nd	< 20	< 20	nd	< 10	39	< 10
5	2019-07-25	< 20	< 60	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	< 40	< 20
5	2019-10-01	< 20	< 20	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	< 40	< 20
6	2019-10-10	32	< 20	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	340	< 20
6	2020-01-29	25	< 40	< 40	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20	210	< 20
7	2019-08-07	< 20	< 60	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	< 40	< 20
7	2019-10-24	< 20	< 40	< 40	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20
8	2019-07-23	22	< 60	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	< 40	< 20
8	2019-10-07	< 20	< 20	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	< 40	< 20
9	2019-07-31	72	< 60	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	44	< 20
9	2019-10-22	< 20	< 40	< 40	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20	< 40	< 20
10	2019-07-31	83	690	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	< 40	< 20
10	2019-10-10	24	91	< 60	< 40	< 20	< 60	< 100	< 60	< 20	< 40	< 20

nd : non disponible
< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Annexe 5 – Concentrations en PBDE mesurées dans les eaux de lixiviation brutes lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	Tribromodi-phényle éther (IUPAC nº 17) (ng/l)	Tribromodi-phényle éther (IUPAC nº 28) (ng/l)	Tétrabromodi-phényle éther (IUPAC nº 47) (ng/l)	Tétrabromodi-phényle éther (IUPAC nº 49) (ng/l)	Tétrabromodi-phényle éther (IUPAC nº 66) (ng/l)	Tétrabromodi-phényle éther (IUPAC nº 71) (ng/l)
1	2019-10-18	< 1	< 1	6	3	< 1	< 1
1	2021-08-10	< 1	< 1	4	DNQ	< 1	< 1
2	2019-10-15	< 1	< 1	8	3	< 1	< 1
2	2020-10-07	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
3	2020-03-11	< 1	< 1	DNQ	DNQ	< 1	< 1
3	2020-10-20	< 0,8	< 0,7	DNQ	< 0,8	< 0,7	< 0,7
4	2019-10-13	< 1	< 1	8	DNQ	< 1	< 1
4	2021-08-10	< 1	< 1	4	DNQ	DNQ	< 1
5	2019-07-25	< 1	< 1	4	< 01	< 1	< 1
5	2019-10-01	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
6	2019-10-10	DNQ	< 1	18	9	< 1	< 1
6	2020-01-29	DNQ	DNQ	30	13	< 1	< 1
7	2019-08-07	< 1	< 1	DNQ	DNQ	< 1	< 1
8	2019-07-23	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
8	2019-10-07	< 1	< 1	< 1	DNQ	< 1	< 1
9	2019-07-31	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
9	2019-10-22	< 1	< 1	4	< 1	< 1	< 1
10	2019-07-31	DNQ	DNQ	25	4	< 1	< 1
10	2019-10-10	< 1	< 1	5	DNQ	< 1	< 1

DNQ : résultat entre la LD et la limite de quantification

< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Annexe 5 (suite) – Concentrations en PBDE mesurées dans les eaux de lixiviation brutes lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	Tétrabromodiphényle éther (IUPAC nº 77) (ng/l)	Pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 85) (ng/l)	Pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 99) (ng/l)	Pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 100) (ng/l)	Pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 119) (ng/l)	Pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 126) (ng/l)
1	2019-10-18	< 1	< 1	10	3	< 1	< 1
1	2021-08-10	< 1	< 1	5	DNQ	< 1	< 1
2	2019-10-15	< 1	< 1	12	3	< 1	< 1
2	2020-10-07	< 4	< 3	< 5	< 4	< 3	< 4
3	2020-03-11	< 1	< 1	5	DNQ	< 1	< 1
3	2020-10-20	< 0,9	< 0,7	DNQ	< 0,7	< 0,5	< 0,8
4	2019-10-13	< 1	< 1	14	3	< 1	< 1
4	2021-08-10	< 1	< 1	5	DNQ	< 1	< 1
5	2019-07-25	< 1	< 1	5	< 1	< 1	< 1
5	2019-10-01	< 5	< 4	< 5	< 4	< 3	< 4
6	2019-10-10	< 1	DNQ	30	7	< 1	< 1
6	2020-01-29	< 1	DNQ	43	10	< 1	< 1
7	2019-08-07	< 1	< 1	DNQ	DNQ	< 1	< 1
8	2019-07-23	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
8	2019-10-07	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
9	2019-07-31	< 1	< 1	DNQ	< 1	< 1	< 1
9	2019-10-22	< 1	< 1	4	< 1	< 1	< 1
10	2019-07-31	< 1	DNQ	42	8	< 1	< 1
10	2019-10-10	< 1	< 1	8	DNQ	< 1	< 1

DNQ : résultat entre la LD et la limite de quantification

< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Annexe 5 (suite) – Concentrations en PBDE mesurées dans les eaux de lixiviation brutes lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	Hexabromodi-phényle éther (IUPAC nº 138) (ng/l)	Hexabromodi-phényle éther (IUPAC nº 153) (ng/l)	Hexabromodi-phényle éther (IUPAC nº 154) (ng/l)	Hexabromodi-phényle éther (IUPAC nº 156) (ng/l)	Heptabromodi-phényle éther (IUPAC nº 183) (ng/l)	Heptabromodi-phényle éther (IUPAC nº 184) (ng/l)
1	2019-10-18	< 1	DNQ	< 2	< 1	< 2	< 2
1	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2	2019-10-15	< 1	DNQ	DNQ	< 1	< 2	< 2
2	2020-10-07	< 7	< 9	< 9	< 8	< 9	< 8
3	2020-03-11	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
3	2020-10-20	< 1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
4	2019-10-13	< 1	DNQ	DNQ	< 2	< 2	< 2
4	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
5	2019-07-25	< 1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
5	2019-10-01	< 7	< 9	< 10	< 8	< 9	< 8
6	2019-10-10	< 1	DNQ	DNQ	< 2	< 2	< 2
6	2020-01-29	< 1	8	DNQ	< 2	< 2	< 2
7	2019-08-07	< 1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
8	2019-07-23	< 1	< 2	< 2	< 1	< 2	< 2
8	2019-10-07	< 1	< 2	< 2	< 1	< 2	< 1
9	2019-07-31	< 1	< 2	< 2	< 1	< 2	< 2
9	2019-10-22	< 1	< 2	< 2	< 1	< 2	< 2
10	2019-07-31	< 1	DNQ	DNQ	< 1	< 2	< 2
10	2019-10-10	< 1	< 2	< 2	< 1	< 2	< 1

DNQ : résultat entre la LD et la limite de quantification

< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Annexe 5 (suite) – Concentrations en PBDE mesurées dans les eaux de lixiviation brutes lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	Heptabromodi-phényle éther (IUPAC nº 191) (ng/l)	Octabromodi-phényle éther (IUPAC nº 196) (ng/l)	Octabromodi-phényle éther (IUPAC nº 197) (ng/l)	Nonabromodi-phényle éther (IUPAC nº 206) (ng/l)	Nonabromodi-phényle éther (IUPAC nº 207) (ng/l)	Décabromodi-phényle éther (IUPAC nº 209) (ng/l)
1	2019-10-18	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
1	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2	2019-10-15	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
2	2020-10-07	< 9	< 8	< 10	< 20	< 20	< 10
3	2020-03-11	< 2	< 5	< 6	< 11	< 13	< 6
3	2020-10-20	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
4	2019-10-13	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
4	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
5	2019-07-25	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
5	2019-10-01	< 9	< 8	< 11	< 20	< 22	< 11
6	2019-10-10	< 2	DNQ	DNQ	< 4	< 5	< 2
6	2020-01-29	< 2	DNQ	DNQ	< 4	< 4	< 2
7	2019-08-07	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	DNQ
8	2019-07-23	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
8	2019-10-07	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
9	2019-07-31	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
9	2019-10-22	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
10	2019-07-31	< 2	5	8	< 4	< 4	< 2
10	2019-10-10	< 2	< 1	< 2	< 3	< 4	< 2

DNQ : résultat entre la LD et la limite de quantification

< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Annexe 6 – Concentrations en PBDE mesurées dans les eaux de lixiviation traitées lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	Tribromodi-phényle éther (IUPAC nº 17) (ng/l)	Tribromodi-phényle éther (IUPAC nº 28) (ng/l)	Tétrabromodi-phényle éther (IUPAC nº 47) (ng/l)	Tétrabromodi-phényle éther (IUPAC nº 49) (ng/l)	Tétrabromodi-phényle éther (IUPAC nº 66) (ng/l)	Tétrabromodi-phényle éther (IUPAC nº 71) (ng/l)
1	2019-10-18	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
1	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2	2019-10-15	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2	2020-10-07	< 1	< 0,9	< 1	< 0,9	< 0,8	< 0,8
3	2020-03-11	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
3	2020-10-20	< 1	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,8	< 0,8
4	2019-10-13	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
4	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
5	2019-07-25	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
5	2019-10-01	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
6	2019-10-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
6	2020-01-29	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
7	2019-08-07	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
7	2019-10-24	< 1	< 1	DNQ	< 1	< 1	< 1
8	2019-07-23	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
8	2019-10-07	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
9	2019-07-31	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
9	2019-10-22	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
10	2019-07-31	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
10	2019-10-10	< 1	< 1	DNQ	< 1	< 1	< 1

DNQ : résultat entre la LD et la limite de quantification

< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Annexe 6 (suite) – Concentrations en PBDE mesurées dans les eaux de lixiviation traitées lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	Tétrabromodiphényle éther (IUPAC nº 77) (ng/l)	Pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 85) (ng/l)	Pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 99) (ng/l)	Pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 100) (ng/l)	Pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 119) (ng/l)	Pentabromodiphényle éther (IUPAC nº 126) (ng/l)
1	2019-10-18	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
1	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2	2019-10-15	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2	2020-10-07	< 1	< 0,8	< 1	< 0,8	< 0,6	< 1
3	2020-03-11	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
3	2020-10-20	< 1	< 0,8	< 1	< 0,8	< 0,6	< 0,9
4	2019-10-13	< 1	< 1	DNQ	< 1	< 1	< 1
4	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
5	2019-07-25	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
5	2019-10-01	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
6	2019-10-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
6	2020-01-29	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
7	2019-08-07	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
7	2019-10-24	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
8	2019-07-23	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
8	2019-10-07	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
9	2019-07-31	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
9	2019-10-22	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
10	2019-07-31	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
10	2019-10-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

DNQ : résultat entre la LD et la limite de quantification

< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Annexe 6 (suite) – Concentrations en PBDE mesurées dans les eaux de lixiviation traitées lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	Hexabromodi-phényle éther (IUPAC nº 138) (ng/l)	Hexabromodi-phényle éther (IUPAC nº 153) (ng/l)	Hexabromodi-phényle éther (IUPAC nº 154) (ng/l)	Hexabromodi-phényle éther (IUPAC nº 156) (ng/l)	Heptabromodi-phényle éther (IUPAC nº 183) (ng/l)	Heptabromodi-phényle éther (IUPAC nº 184) (ng/l)
1	2019-10-18	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
1	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2	2019-10-15	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
2	2020-10-07	< 1	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
3	2020-03-11	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
3	2020-10-20	< 1	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
4	2019-10-13	< 1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
4	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
5	2019-07-25	< 1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
5	2019-10-1	< 1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
6	2019-10-10	< 1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
6	2020-01-29	< 2	< 3	< 3	< 2	< 4	< 4
7	2019-08-07	< 1	< 2	< 2	< 1	< 2	< 2
7	2019-10-24	< 1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
8	2019-07-23	< 1	< 2	< 2	< 1	< 2	< 2
8	2019-10-07	< 1	< 2	< 2	< 1	< 2	< 2
9	2019-07-31	< 1	< 2	< 2	< 1	< 2	< 1
9	2019-10-22	< 1	< 2	< 2	< 1	< 2	< 1
10	2019-07-31	< 1	< 2	< 2	< 1	< 2	< 2
10	2019-10-10	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2

< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Annexe 6 (suite) – Concentrations en PBDE mesurées dans les eaux de lixiviation traitées lors des campagnes de 2019, 2020 et 2021

LET	Date[a]	Heptabromodi-phényle éther (IUPAC nº 191) (ng/l)	Octabromodi-phényle éther (IUPAC nº 196) (ng/l)	Octabromodi-phényle éther (IUPAC nº 197) (ng/l)	Nonabromodi-phényle éther (IUPAC nº 206) (ng/l)	Nonabromodi-phényle éther (IUPAC nº 207) (ng/l)	Décabromodi-phényle éther (IUPAC nº 209) (ng/l)
1	2019-10-18	< 2	< 4	< 5	< 8	< 9	< 5
1	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
2	2019-10-15	< 2	< 2	< 2	< 4	< 5	< 2
2	2020-10-07	< 2	< 7	< 9	< 20	< 20	< 9
3	2020-03-11	< 2	< 3	< 4	< 8	< 9	< 5
3	2020-10-20	< 2	< 8	< 10	< 20	< 20	< 10
4	2019-10-13	< 2	< 3	< 4	< 6	< 7	< 4
4	2021-08-10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
5	2019-07-25	< 2	< 2	< 2	< 4	< 5	< 2
5	2019-10-01	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
6	2019-10-10	< 2	< 2	< 2	< 4	< 5	< 2
6	2020-01-29	< 4	< 3	< 4	< 7	< 7	< 4
7	2019-08-07	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
7	2019-10-24	< 2	< 2	< 2	< 4	< 5	< 2
8	2019-07-23	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
8	2019-10-07	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
9	2019-07-31	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
9	2019-10-22	< 2	< 1	< 2	< 3	< 4	< 2
10	2019-07-31	< 2	< 2	< 2	< 4	< 4	< 2
10	2019-10-10	< 2	< 2	< 3	< 4	< 5	< 3

< : résultat sous la LD

[a] Date d'échantillonnage

Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs

Québec