

La revue  
des spécialistes de  
l'environnement  
au Québec

Volume 57 • Numéro 3  
Septembre 2024

# Vecteur Environnement



DOSSIER

## CONTAMINANTS D'INTÉRÊT ÉMERGENT : ENJEUX ET PISTES DE SOLUTIONS

- Contaminants d'intérêt émergent et PFAS : la bête... et ce qu'on peut faire
- Eaux usées municipales : réduire la présence des contaminants émergents
- Contaminants émergents dans les biosolides : le potentiel de la pyrolyse et des procédés thermiques

PUBLIÉE PAR :

# Un an de collecte de résidus alimentaires, c'est...

**75 %**

des citoyens de Québec  
qui participent

**10 000  
TONNES**

de digestat produites

**1,6 MILLIONS**

de m<sup>3</sup> de gaz naturel  
renouvelable injecté  
dans le réseau d'Énergir

Vers l'atteinte des objectifs de  
valorisation des matières organiques!

[ville.quebec.qc.ca/sacmauve](http://ville.quebec.qc.ca/sacmauve)

## CHRONIQUES

Tour d'horizon	5
Emploi vert	22
Relève	58
AWWA	60
WEF	62

# Vecteur Environnement

est publiée par :

**Réseau Environnement**

295, place D'Youville  
Montréal (Québec) H2Y 2B5  
CANADA  
Téléphone : 514 270-7110  
Ligne sans frais : 1 877 440-7110  
vecteur@reseau-environnement.com  
www.reseau-environnement.com

**Coordonnatrice de publication**

Soukaina Benabdejilil

**Comité de direction****Air, Changements climatiques et Énergie** : Bertrand de Pétigny, Nathalie Oum et Luc Vescovi**Biodiversité** : Christine Ouellet et Stéphanie Pellerin**Eau** : Francis Guay, Caroline Ky, Charles Mercier et Jean Paquin**Matières résiduelles** : Nada Aloul, Maxime Bergeron-Girard, Gilles Bernardin et Jean-Louis Chamard**Relève** : Jean-Luc Martel**Sols et Eaux souterraines** : Véronique Brissette, André Carange et Olivier Charbonneau-Charette**AWWA** : Guillaume Drolet**WEF** : Yvan Breault**Avec la collaboration de :**

Yvan Breault, Martin Bureau, André Carange, Dominique Claveau-Mallet, Dominique Dodier, Marie-Odile Fouchécourt, Catherine Gaulin, Francis Guay, Marc-André Guertin, Amal Hmaïssia, Daniel Kneeshaw, Justine Lacombe Bergeron, Janique Lambert, Sandra Messih, Ana Oliveira, Jean Paquin, Geneviève Rajotte Sauriol, Gabrielle Roy-Grégoire, Etienne Saint-Amant, Agathe Stévenin, Dominique Tardif, Ghislain Vallée, Céline Vaneeckhaute, Olivier Verrette, Mathilde Vincent.

## Dossier

## Contaminants d'intérêt émergent : enjeux et pistes de solutions

<b>CONTAMINANTS D'INTÉRÊT ÉMERGENT ET PFAS</b> La bête... et ce qu'on peut faire	8
<b>EAUX USÉES MUNICIPALES</b> Réduire la présence des contaminants émergents	14
<b>CONTAMINANTS ÉMERGENTS DANS LES BIOSOLIDES</b> Le potentiel de la pyrolyse et des procédés thermiques	16
<b>PORTRAIT</b> DUALE L'éloge de la biodiversité par l'art	22
<b>SPÉCIAL</b> Conservation des chaussées du réseau routier Observations de la commissaire au développement durable	24
<b>EAU</b> Adaptation aux changements climatiques L'importance du cycle local de l'eau	28
<b>MATIÈRES RÉSIDUELLES</b> Gestion des résidus de CRD Le rôle crucial des municipalités	30
<b>AIR, CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ÉNERGIE</b> Mutualisation logistique Pour diminuer les émissions de GES!	32
<b>SOLS ET EAUX SOUTERRAINES</b> Traçabilité des sols contaminés Un concept devenu réalité	34
<b>BIODIVERSITÉ</b> Résilience aux changements climatiques Création d'une forêt sur d'anciennes terres agricoles	38
<b>MULTISECTORIEL</b> Municipalités et environnement Améliorons la formation des élués et élués	40
<b>ARTICLE SCIENTIFIQUE</b> Économies d'eau potable Les effets sur l'assainissement autonome	44
<b>ARTICLE TECHNIQUE</b> Optimisation des usines de biométhanisation Pour une phase de démarrage efficace	52

**Photo de la couverture**

Shutterstock

**Réalisation graphique**

Passerelle bleue, 514 278-6644

**Impression**

Imprimerie Maska, 1 800 361-3164

**Révision linguistique**

Véronique Philibert, Révision CEil félin

**Dépôt légal**Bibliothèques nationales du Québec et du Canada  
Revue trimestrielle ISSN 1200-670X**Envois de publications canadiennes**Contrat de vente n° 40069038  
Réseau Environnement  
Prix à l'unité : 15 \$ au Québec**CONSEIL D'ADMINISTRATION DE RÉSEAU ENVIRONNEMENT****Présidente**Geneviève Pigeon  
Ville de Rivière-du-Loup**Vice-président**Martin Beaudry  
ASI Services Techniques inc.**Trésorier**

Yves Gauthier

**Secrétaire**Jean-Luc Martel  
École de technologie supérieure**Administrateur**Jean-Louis Chamard  
GMR International inc.**Administratrice**Karine Boies  
Cain Lamarre**Administrateur**Robert A. Dubé  
Atout Recrutement**Administrateur**Simon Naylor  
Viridis Environnement**Administratrice**Sandra Rossignol  
Chambre de commerce  
et d'industrie Saguenay-Le Fjord

Abonnement annuel papier (60 \$) ou numérique (30 \$).

Les auteurs et auteurs des articles publiés dans *Vecteur Environnement* sont libres de leurs opinions. Le contenu de *Vecteur Environnement* ne peut être reproduit, traduit ou adapté, en tout ou en partie, sans l'autorisation écrite de Réseau Environnement.Imprimé sur Sustana Enviro<sup>®</sup>, 140M texte. Ce papier contient 100 % de fibres recyclées durables de Sustana et il est fabriqué avec un procédé sans chlore. Il est désigné par Garant des forêts intactes<sup>®</sup> et certifié FSC<sup>®</sup>. Créer un avenir durable, une fibre recyclée à la fois.

100%

FSC position  
pour Maska

PCF



PERMANENT

# Colloque sur la gestion des matières résiduelles



Jeudi 17 octobre 2024

📍 Drummondville

Organisé par



# Symposium sur la gestion de l'eau

Mardi 22 octobre 2024

📍 Québec



Organisé par  Réseau Environnement

Partenaire présentateur  VILLE DE QUÉBEC l'accent d'Amérique

## CONTAMINANTS D'INTÉRÊT ÉMERGENT : ENJEUX ET PISTES DE SOLUTIONS



Les contaminants d'intérêt émergent (CIE) font de plus en plus parler d'eux au Québec, que ce soit dans le domaine des sols, de l'eau ou des matières résiduelles. En tant que professionnels en environnement, nous devons accorder une attention particulière à ces enjeux et aux nouveautés qui les concernent afin de vulgariser adéquatement le savoir technique et scientifique dont nous disposons pour la population.



Au sein des CIE, les principaux composés nocifs non normés (C3N) incluent l'azote total qui influe sur les écosystèmes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, les microplastiques, les perturbateurs endocriniens, les polluants organiques persistants et des biocides.

Alors que l'on planifie pour l'horizon 2030 une mise aux normes de nos stations de récupération des ressources de l'eau (StaRRE), d'importantes questions se posent sur la gestion des CIE au Québec. Des milliards doivent être investis dans cette modernisation. Dans cette perspective, comment concevoir le traitement de l'eau, en particulier le traitement biologique et possiblement le traitement tertiaire ou avancé? Comment mieux pratiquer l'épandage de biosolides à des fins agricoles? Quels sont les effets de ces composés sur la santé humaine? Où implanter d'autres mesures de traitement à la source?

La fiche 3 du guide des recommandations du groupe de travail Assainissement 2.0, publié en mars 2021 par Réseau Environnement,

traite de la question des C3N. Pour une meilleure compréhension des enjeux liés à ces contaminants non conventionnels, le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) a entrepris une caractérisation des affluents et des effluents de nos StaRRE ainsi que de leurs biosolides couvrant une grande quantité de contaminants non normés. Le MELCCFP a aussi créé, en mai dernier, une Table de consultation scientifique sur les C3N.

Les enjeux liés aux contaminants d'intérêt émergent sont on ne peut plus complexes. Le dossier de ce numéro de *Vecteur Environnement* veut vous aider à y voir plus clair.

Le premier article fait un tour d'horizon sur les CIE en mettant l'accent sur les PFAS, sur la toxicologie associée à ces composés et différentes méthodes de traitement de l'eau. Le second article présente la campagne de caractérisation initiale du MELCCFP ainsi que la mise en place de la Table de consultation scientifique sur les C3N, tandis que le troisième aborde le traitement thermique des biosolides avec une attention particulière accordée à la pyrolyse. De plus, plus loin dans ce numéro, les sections AWWA et WEF (p. 60 à 63) présentent, entre autres, les nouvelles normes pour les PFAS dans l'eau potable aux États-Unis et les recommandations équivalentes mises de l'avant au Canada.

Vous impliquer pour faire avancer les meilleures pratiques en matière de gestion des contaminants d'intérêt émergent vous intéresse? Contactez Iris Laforme à l'adresse [ilaforme@reseau-environnement.com](mailto:ilaforme@reseau-environnement.com).

### Mathieu Laneuville

Président-directeur général de Réseau Environnement

### Geneviève Pigeon

Présidente du conseil d'administration de Réseau Environnement

## Americana 2025

 Grand Quai du Port de Montréal

Forum sur l'environnement et  
Salon international des technologies environnementales

Les 12 et 13  
mars 2025

Organisé par  **Réseau**  
Environnement



# Retour sur le Salon des TEQ 2024 Sous le signe de l'innovation et de l'engagement!

La 15<sup>e</sup> édition du Salon des technologies environnementales du Québec (Salon des TEQ), qui s'est déroulée les 16 et 17 avril sur le thème « L'énergie de la transition », était à l'image des forces vives de Réseau Environnement, soit les membres qui sont de plus en plus nombreux. Cet événement incontournable pour les professionnelles et professionnels en environnement, tenu pour la première fois à Lévis, a rassemblé des spécialistes, des entreprises et des titulaires de charges publiques autour de discussions inspirantes et d'innovations prometteuses dans nos cinq secteurs.

Encore cette année, 82 kiosques (présents au traditionnel salon des exposants) et plus de 60 conférences offraient une plateforme exceptionnelle pour partager les meilleures pratiques environnementales aux plus de 1 200 personnes présentes à l'événement.

## Le temps du travail en vase clos est révolu

La séance d'ouverture, animée par Mathieu Laneuville, président-directeur général de Réseau Environnement, a mis en lumière les réalisations marquantes de l'association depuis la précédente édition. « Depuis 2022, nous avons plus que doublé le nombre de membres! », s'est notamment exclamé M. Laneuville, soulignant l'engagement des spécialistes en environnement autour du nombre croissant de défis exigeant d'emprunter une approche multisectorielle. M. Laneuville en a profité pour inciter les participantes et participants – qu'ils proviennent des domaines public, privé ou universitaire – à éviter le travail en vase clos afin de favoriser l'émergence de solutions environnementales innovantes.

Depuis 2022, l'association a activement contribué à des initiatives majeures, comme l'animation de la Zone d'action publique de la COP15 sur la biodiversité, la mise en place du Fonds bleu et la révision du système de redevances sur l'utilisation de l'eau, en plus d'avoir fait le pont entre l'expertise technique et les politiques publiques avec des prises de position distinctives auprès des instances gouvernementales et dans les médias.

Le thème de cette 15<sup>e</sup> édition, « L'énergie de la transition », a d'ailleurs été choisi pour illustrer la force motrice qu'incarnent les membres de Réseau Environnement ainsi que les participantes et participants au Salon des TEQ en faveur de la transition climatique et énergétique : « Les solutions à nos défis environnementaux, nous les connaissons déjà, elles sont ici. Maintenant, nous devons les partager et les mettre en œuvre. Telle est la mission du Salon des TEQ, et l'engagement de Réseau Environnement dans la transition vers une économie verte », a conclu M. Laneuville.

## Des échanges enrichissants

La séance d'ouverture a été ponctuée de nombreuses présentations et discussions, notamment celle de Mathieu Payeur du ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, et de Christian



© Photos : Marc-Antoine Helle Photographie



Paré, directeur de l'environnement de la Ville de Lévis. Marie-Josée Asselin, de la Ville de Québec, a également pris la parole, rappelant l'engagement constant de la Ville dans les programmes d'excellence de Réseau Environnement. Soula Chronopoulos, présidente d'AquaAction, a parlé de nombreuses initiatives soutenant la relève et les jeunes pousses dans le secteur de l'eau, soulignant ainsi l'importance de l'innovation pour relever les défis environnementaux de notre époque.

Tristan-E. Landry, directeur régional d'Environnement et Changement climatique Canada, a également participé à un échange enrichissant avec M. Laneuville. Ils ont abordé les priorités du gouvernement fédéral en matière de climat et de biodiversité, les mesures de protection des eaux du Saint-Laurent, l'importance de l'adaptation aux changements climatiques, ainsi que le rôle crucial de l'innovation et des technologies environnementales.

## Encourager l'innovation en eau

Le concours *Œil du Dragon*, présenté par AquaAction, a été un autre moment fort de l'événement. Animé par l'enthousiaste Luc Sirois, innovateur en chef du Québec, ce concours était destiné aux jeunes entreprises œuvrant dans le secteur de l'eau. Il a mis en lumière les solutions innovantes développées par de jeunes pousses québécoises, prouvant une fois de plus que le Québec regorge de talents et de solutions prometteuses pour mieux gérer et protéger notre or bleu. Nous en profitons pour féliciter à nouveau RegenEAU et BioAlert Solutions pour leur victoire!

## Des conférences remarquées

Plusieurs conférences ont stimulé les discussions dans les corridors du Salon des TEQ cette année. Par exemple, notons le



panel « Tisser les liens entre santé planétaire et santé humaine » avec Rémi Quirion (scientifique en chef du Québec), Julie Jodoin (Espace pour la vie), Melody Porlier (Association québécoise des médecins pour l'environnement), modéré par Janique Lambert (commissaire au développement durable au Vérificateur général du Québec). Mentionnons également le panel « Encadrement des produits à l'usage unique, partage d'expériences d'implantation » avec Véronique Allard (Palais des congrès de Montréal), Andréanne Fiola (Ville de Terrebonne), Frédérick Marceau (Ville de Prévost), modéré par Marie-Caroline Bourg (EnviroRcube). Le panel de clôture de l'événement, consacré à l'avenir énergétique du Québec, a été précédé d'une allocution enregistrée du ministre de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, M. Pierre Fitzgibbon. Le panel réunissait le professeur Pierre-Olivier Pineau (titulaire de la Chaire de gestion de l'énergie à HEC Montréal), Lauriane Déry (Boralex) ainsi que Catherine Houde (Énergir).

## Une cérémonie des Distinctions inspirante

La cérémonie des prix Distinctions 2024 a été, quant à elle, l'occasion de saluer l'engagement exceptionnel des membres de Réseau Environnement. S'étant distingués parmi les 43 candidatures reçues, les finalistes et les lauréats ont été célébrés pour leurs réalisations remarquables en faveur de l'économie verte. M. Laneuville a rappelé à juste titre que la principale richesse de Réseau Environnement réside dans la diversité et l'expertise de ses membres, qui nous permet de viser l'excellence environnementale dans tous nos secteurs.



## Des partenariats essentiels

Le succès du Salon des TEQ repose évidemment sur le soutien de nombreux partenaires. Parmi eux, nous remercions nos partenaires présentateurs (AquaAction et la Ville de Québec), de même que nos partenaires gouvernementaux (le gouvernement du Québec, le gouvernement du Canada et la Ville de Lévis) et nos partenaires de secteurs (Investissement Québec, le Fonds de solidarité FTQ, Cain Lamarre, Nordikeau, RECYC-QUÉBEC et Éco Entreprises Québec). ●

## À vos agendas!

Le prochain salon d'envergure organisé par Réseau Environnement sera Americana – le plus grand événement environnemental multisectoriel en Amérique du Nord –, qui aura lieu les 12 et 13 mars 2025 au Grand Quai du Port de Montréal. C'est un rendez-vous!



# Contaminants d'intérêt émergent et PFAS

## La bête... et ce qu'on peut faire

Les contaminants d'intérêt émergent (CIE) sont des composés pour lesquels les pratiques de gestion et de traitement ainsi que l'encadrement réglementaire n'ont pas encore – ou pas suffisamment – rattrapé la science. Coup d'œil sur cette question d'actualité au Québec et ailleurs dans le monde.



PAR **MARTIN BUREAU**, ing., Ph. D., M. Sc. A.  
Vice-président – Innovation, ALTRA | SANEXEN



PAR **MARIE-ODILE FOUCHÉCOURT**, Ph. D.  
Directrice adjointe – Analyse de risques,  
ALTRA | SANEXEN

ET PAR **JEAN PAQUIN**, ing. ÉESA®  
Aviser technique, ALTRA | SANEXEN  
jpaquin@sanexen.com

En fait, il ne s'agit pas d'une bête, mais de tout un troupeau, avec des milliers d'individus et de familles qui se sont invités à la fête. On parle aussi souvent de micropolluants, parce que même des concentrations très faibles de ces composés (ex. : de l'ordre du nanogramme [ng] par litre d'eau) peuvent avoir des effets sur la santé humaine et les écosystèmes.

La famille des biphényles polychlorés (BPC) et des dioxines et furannes chlorés (DF) est un exemple de contaminants dont la toxicité chez l'humain a été révélée par les effets d'une contamination en 1968 au Japon (Murray, 1994). Les auteurs de cet article travaillent pour une entreprise qui a participé au traitement et à l'élimination de ces composés au cours des 40 dernières années. L'éveil à d'autres familles de composés posant des problématiques semblables est devenu une évidence au cours des 15 dernières années. On pense notamment aux substances perfluoroalkylées et

polyfluoroalkylées (PFAS), ces « polluants éternels » persistants et toxiques chez l'humain, produits et utilisés depuis des décennies en dépit de leurs effets sur la santé (Bilott, 2019).

### Pourquoi les CIE sont-ils passés sous le radar ?

Au 20<sup>e</sup> siècle, les CIE sont passés inaperçus en partie parce que leur toxicité s'exprime de façon subtile, entraînant des effets à long terme (voire sur plusieurs générations), qui ne peuvent pas toujours être détectés par les essais habituellement requis dans un contexte réglementaire. Ainsi, la toxicité des CIE a le plus souvent été révélée par des investigations plus approfondies permettant de détecter des effets à faible dose après une exposition de longue durée. Bien que les modes d'action toxiques ne soient pas toujours élucidés, la perturbation des systèmes hormonaux est souvent impliquée ; on parle alors de perturbateurs endocriniens. Par exemple, la substance peut entraîner une modification des niveaux d'hormones thyroïdiennes chez la mère, ce qui affecte le neurodéveloppement de l'enfant à de très faibles doses.

Certains CIE sont persistants et ont aussi la capacité de se bioaccumuler dans les organismes, ce qui conduit à une augmentation des concentrations le long de la chaîne alimentaire et à une exposition accrue chez les espèces au sommet de la chaîne trophique.

### Santé humaine et santé des écosystèmes

L'exposition à des CIE peut entraîner une grande variété d'effets néfastes : diminution de la fertilité, problèmes de développement cognitif, diabète, obésité, cancers hormonodépendants (ex. : cancer

du sein ou de la prostate), perturbation du système immunitaire, etc. (Eales et collab., 2022 ; Gomes et collab., 2024 ; Gupta et collab., 2024). Dans les écosystèmes, on observe aussi plusieurs phénomènes inquiétants comme une féminisation chez des poissons ou une mortalité accrue à la naissance chez les bélugas, qui peuvent être causés par des perturbateurs endocriniens.

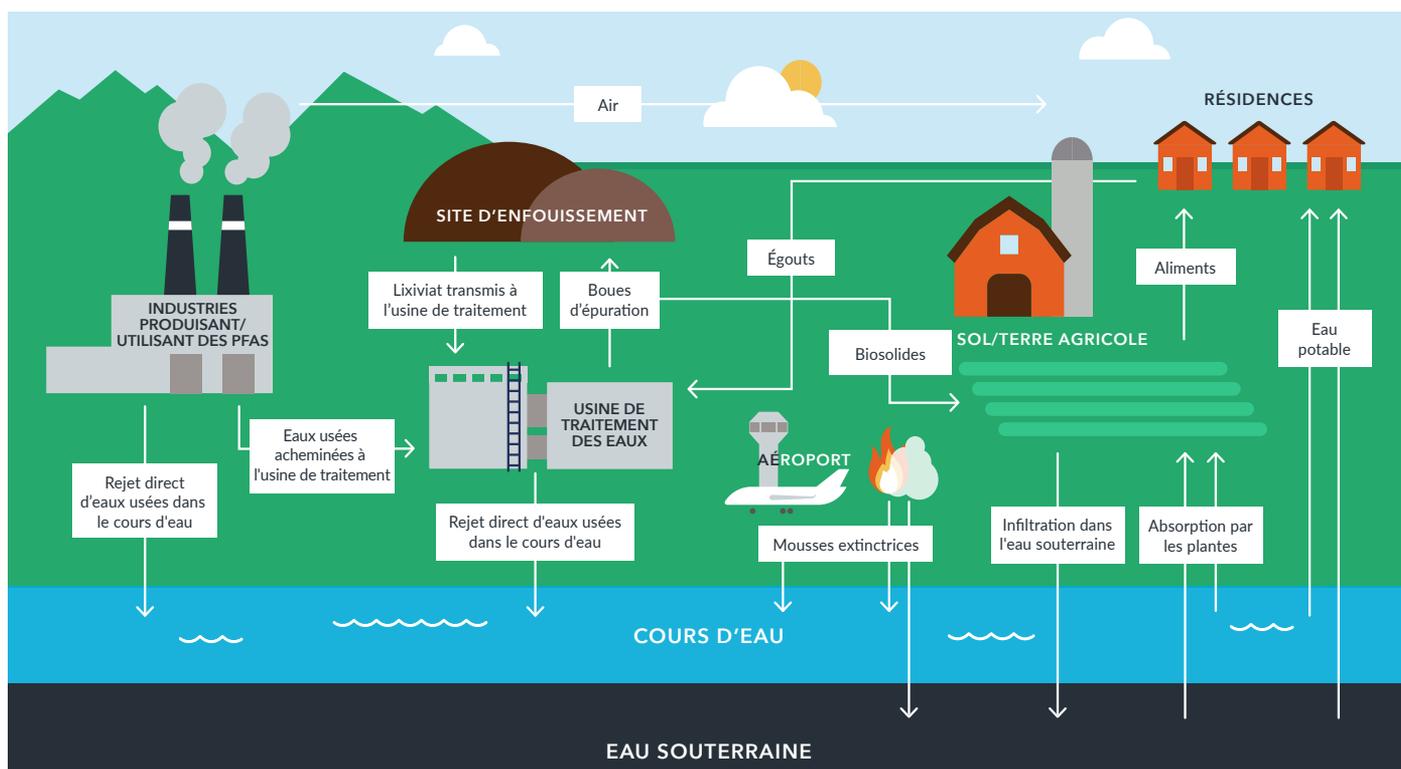
Plusieurs CIE (ex. : phtalates, bisphénols, médicaments) ne sont pas très persistants et peuvent être dégradés dans l'environnement à relativement court terme (ex. : quelques mois). À l'inverse, les composés persistants, bioaccumulables et toxiques, qui peuvent subsister dans l'environnement durant des décennies, représentent une catégorie de CIE particulièrement préoccupante. Elle inclut notamment des familles de composés comme les PFAS, les BPC et les retardateurs de flamme bromés.

Les PFAS étant au cœur de l'actualité, quelques-uns des enjeux qu'ils représentent sont abordés à titre d'illustration.

### Des PFAS chez nous : d'où viennent-ils et où sont-ils ?

Les PFAS constituent une famille de plusieurs milliers de composés qui ne cesse de s'agrandir (OECD, 2021 ; U.S. EPA, 2022). Leurs multiples utilisations depuis des décennies, combinées à leur caractère persistant, ont conduit à la pollution de tous les milieux (eau, air, sols, sédiments) et de la chaîne alimentaire sur l'ensemble de la planète (figure 1), sans épargner les régions éloignées (du fait de leur transport sur de longues distances dans l'atmosphère ou via les courants océaniques). Il est donc impossible d'y échapper ! Les concentrations les plus élevées sont généralement retrouvées à proximité des points de rejet

FIGURE 1  
Les PFAS sont partout : portrait d'ensemble (adaptée de Michigan Department of EGLE, 2019)



en raison de certaines mousses anti-incendie et d'activités industrielles, ainsi que dans le lixiviat des sites d'enfouissement et dans les effluents de stations de traitement des eaux usées (Gouvernement du Canada, 2023).

Les PFAS sont aussi présentes dans le corps de l'ensemble de la population canadienne, incluant chez les jeunes enfants. Selon les données de biosurveillance les plus récentes, les concentrations moyennes de plusieurs PFAS (notamment le PFOA, le PFOS et le PFHxS) sont de l'ordre de quelques ng/ml dans le sérum des Canadiens (Santé Canada, 2021). Ces concentrations dépassent la valeur de 2 ng/ml en dessous de laquelle aucun effet nocif sur la santé n'est attendu (NASEM, 2022). Une réduction de l'exposition est donc souhaitable.

### Quels sont les effets des PFAS sur la santé humaine ?

Les effets des PFAS sur la santé humaine ont fait l'objet de plusieurs revues qui sont accessibles au public (ex. : Fenton et collab., 2021 ; Gouvernement du Canada, 2023 ; OEHHA, 2024 ; U.S. EPA, 2023a à 2024b).

Chez l'humain, plusieurs études ont mis en évidence des associations entre les concentrations de quelques PFAS mesurées dans le sérum et une panoplie d'effets néfastes (réduction de la réponse aux vaccins chez les enfants, bébés ayant un faible poids à la naissance, augmentation du taux de cholestérol, dommages au foie, maladies thyroïdiennes, risque accru de cancer du rein ou des testicules, etc.). Dans plusieurs cas, ces associations ont pu être observées dans la population générale, c'est-à-dire chez des personnes qui n'avaient pas été exposées à une contamination particulière de PFAS. Des effets similaires ainsi que d'autres effets néfastes sur la fertilité, le déroulement de la grossesse, le développement du système nerveux et le métabolisme (diabète, obésité) ont aussi été observés chez des animaux de laboratoire, généralement exposés à des doses plus élevées.

L'humain est beaucoup plus sensible que les rats ou les souris aux effets toxiques des PFAS, ce qui complique grandement l'évaluation de leur potentiel toxique pour l'humain. Cette plus grande sensibilité s'explique principalement par le fait que les PFAS sont éliminés moins rapidement du corps humain. Le temps de demi-vie du PFOS est de plusieurs années chez l'humain et de quelques semaines chez le rat. Cette élimination très lente fait en sorte que le PFOS s'accumule dans le corps humain, ce qui augmente sa capacité à induire des effets toxiques. En raison de la capacité des PFAS à traverser la barrière placentaire et à passer dans le lait maternel, l'exposition aux PFAS débute dès la conception, puis se poursuit durant la grossesse et après la naissance via l'alimentation et les autres voies d'exposition. L'exposition d'une génération donnée a donc des répercussions sur la génération suivante.

Il importe de garder à l'esprit que la toxicité de moins de 50 PFAS (sur des milliers) a été étudiée chez l'humain et l'animal, et que la grande majorité des recherches portait principalement sur le PFOA et le PFOS. On ne connaît donc que la partie visible de l'iceberg. Puisque les PFAS étudiées ont démontré des effets communs, il serait prudent de considérer que les effets des PFAS sont cumulatifs lors de l'élaboration de critères ou de normes visant à protéger la santé humaine.

### Combattre les PFAS aujourd'hui : comment le faire ?

Pas une journée ne passe sans un bulletin d'information ou des nouvelles mentionnant les PFAS, et ces substances sont devenues en l'espace de deux ans une préoccupation majeure du grand public et des médias.

Au Canada et au Québec, aucune norme ayant force de loi n'a encore été établie (seuls quelques critères ou recommandations existent pour certaines PFAS). Il existe depuis août 2024 au Canada un objectif pour la qualité de l'eau potable de 30 ng/L pour la somme des concentrations de 25 PFAS.

Les États-Unis, quant à eux, ont récemment légiféré sur plusieurs tableaux au printemps 2024 (U.S. EPA, 2024c). Dans l'eau potable, une norme ciblant six PFAS individuellement ou en mélange (PFOA, PFOS, PFNA, HFPO-DA, PFBS, PFHxS) a été annoncée. Le PFOA et le PFOS sont désormais désignés comme substances dangereuses sous le *Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act* (CERCLA), ce qui implique la nécessité de réhabiliter les sites contaminés par ces derniers. De plus, il est proposé que neuf PFAS (PFOA, PFOS, PFBS, HFPO-DA, PFNA, PFHxS, PFDA, PFHxA et PFBA) soient gérés selon le *Resource Conservation and Recovery Act* (RCRA) à la suite de la déclaration de leur statut de substances dangereuses. Cette loi exige des propriétaires et des opérateurs d'installations qui comportent des substances listées sous le RCRA de les traiter, d'en disposer, de les entreposer, et éventuellement de les détruire.

Bref, le gouvernement américain impose aux sites comportant des PFAS d'être gérés selon de nouveaux barèmes. Pour les usines publiques de traitement d'eaux usées et d'eau potable, cela représente des investissements colossaux, estimés entre 2,5 et 3,2 milliards \$ US par année aux États-Unis (AWWA, 2023). Au Minnesota seulement, on estime ces coûts à 14 milliards \$ US sur 20 ans (Barr Engineering Co., 2023). Pour ces récepteurs passifs – qui n'ont ni utilisé ni produit ces PFAS, mais les ont reçues à leurs installations –, le législateur consent à surseoir à l'application stricte de ces mesures pour une durée indéterminée. Dans tous les cas, c'est à la fin de la chaîne que l'intervention législative se concentre présentement. Il est possible que le Canada et le Québec adoptent une approche de même nature dans un avenir plus ou moins éloigné, en dépit du fait que des spécialistes, dont Réseau Environnement, ont recommandé de traiter les PFAS à la source plutôt qu'en fin de chaîne de valeur.

### Qu'est-ce qui peut être fait ?

Les moyens pour nous débarrasser de ces contaminants dans les usines d'eau potable ou d'eaux usées sont limités, du moins pour l'instant. La difficulté tient principalement au fait que ces moyens devraient être utilisés à très grande échelle, compte tenu des volumes gérés (une usine de traitement d'eau de moyenne taille d'une ville de 100 000 habitants peut traiter plus de 60 000 m<sup>3</sup> par jour) pour réduire des PFAS à des concentrations très faibles (typiquement < 100 ng/L) (Munoz et collab., 2023).

L'U.S. EPA indique que le charbon actif granulaire (CAG) ou en poudre, les résines échangeuses d'ions et les technologies membranaires sont des moyens efficaces d'endiguer les PFAS

en appliquant les recommandations de l'American Water Works Association (AWWA) et de l'U.S. EPA (Speth et collab., 2020; MPCA, 2023) – mais est-ce vraiment le cas? Les sommes qui devront être allouées pour atteindre les normes pour l'eau potable seraient majeures; on parle de centaines de milliers de dollars par jour en charbon actif pour une usine de taille moyenne. Pour les sites d'enfouissement, on estime à quelques centaines de milliers de dollars par mois les sommes nécessaires pour le traitement des PFAS dans leurs lixiviats (conversations personnelles des auteurs), compte tenu de la composition complexe des lixiviats et de leurs concentrations élevées en PFAS.

Bref, bien qu'elles fonctionnent, ces solutions n'apparaissent pas applicables dans les moyennes et les grandes installations de traitement d'eau potable, d'un point de vue économique et de la capacité de payer des communautés.

La solution efficace consiste à attaquer le problème à sa source. L'utilisation des PFAS comme famille de substances doit premièrement être déclarée, contrôlée et éventuellement bannie. La source se tarissant, la présence des PFAS au fil des années diminuera progressivement (et il y a des précédents : BPC, plomb, CFC, plastiques à usage unique, etc.). En Europe, la France a notamment pris cette direction, en exigeant la mesure des PFAS dans les effluents des installations classées pour la protection de l'environnement (MTECT, 2023). Ces décisions sont entre les mains de nos gouvernements.

Des solutions économiquement viables sont à notre portée pour traiter les PFAS le plus en amont possible, afin de réduire leur dissémination dans l'environnement, voire de les éliminer avant le prélèvement d'eau par nos usines publiques d'eau potable.

Ces technologies visent la capture des PFAS à même les sources (ex. : effluents industriels, lixiviats de sites d'enfouissement,

eaux de surface ou souterraines émanant de sites contaminés, notamment militaires et aéroportuaires). Les technologies membranaires permettent de séparer efficacement les PFAS, mais génèrent un volume de rejets liquides pouvant représenter jusqu'à 30 % du volume initial, ce qui rend une telle approche largement impraticable. Une technologie utilisée depuis plus de 10 ans par les autorités militaires aux États-Unis est une adsorption sur CAG. Des résines d'échange ionique sont aussi utilisées. À débit moindre et à des concentrations plus élevées à ces endroits, les coûts sont beaucoup moins élevés.

Une autre technologie prenant de l'ampleur est le fractionnement par moussage. Cette méthode consiste à séparer sélectivement les molécules aérophiles – nos PFAS – d'un effluent liquide, par le biais de bulles d'air dans une colonne à contre-courant avec l'eau. Les PFAS ainsi séparées sont récupérées dans un concentrat devant être disposé ou détruit.

Cette méthode a fait ses preuves il y a plus de 20 ans pour le traitement des PFAS dans l'eau d'une base militaire au Canada, et depuis 10 ans dans les eaux souterraines issues de bases aériennes en Australie. Cette approche gagne du terrain aux États-Unis pour le traitement des PFAS dans les lixiviats de sites d'enfouissement. Cette méthode a fait l'objet d'ententes annoncées publiquement (ALTRA | SANEXEN, 2023). Les résultats d'au moins une usine de traitement des PFAS dans les lixiviats (Bureau, 2024a et 2024b) montrent qu'il est possible de satisfaire à des critères d'abattement sévères, tout en générant un faible volume (moins de 1 %) de concentrat.

Les méthodes visant l'enlèvement des PFAS dans l'eau ont démontré, en plus d'une séparation efficace, leur faisabilité économique. Des opérations commerciales voient maintenant le jour pour traiter des effluents liquides concentrés en PFAS, montrant qu'il est possible de gérer ces PFAS à la source et de réduire grandement leur présence en aval.



Installation de traitement des PFAS dans des lixiviats d'un site d'enfouissement (Rosemount, Minnesota).

## Que faire avec le concentrat ?

Le concentrat de PFAS doit évidemment être géré adéquatement. Certains sites américains choisissent actuellement d'en disposer par enfouissement, après solidification dans un béton cimentaire formulé pour fixer les PFAS. D'autres utilisent des injections en puits profonds. Bien qu'il ne s'agisse pas réellement de méthodes d'élimination, ces options sont considérées comme sécuritaires lorsque les sites de réception sont adéquatement conçus. Comme pour les BPC, une destruction thermique efficace des PFAS est aussi possible. Dans ce cas, les installations doivent démontrer une efficacité de destruction supérieure à 99,9999 % (avec une température, une turbulence et un temps de résidence élevés).

De nombreuses entreprises sont nées dans les dernières années afin de commercialiser des technologies d'élimination des PFAS. On peut compter de nombreuses variantes d'oxydation avancée, soit par rayonnement UV, plasma froid ou électro-oxydation. Ces dernières sont prometteuses, mais comportent des limites notamment quant à la destruction complète des PFAS.

D'autres approches font parfois appel à des températures et à des pressions élevées (Levéé, 2023) et utilisent des agents chimiques puissants. Ces techniques démontrent généralement une efficacité de destruction élevée, mais doivent être bien maîtrisées et encadrées en raison des conditions physicochimiques relativement extrêmes qu'elles utilisent. Ces conditions sont de nature à limiter l'utilisation de ces techniques sur le terrain, par opposition à des centres de traitement fixes (Krause et collab., 2021; Hao et collab., 2023).

Des études pilotes sont en cours dans plusieurs sites en Amérique du Nord pour évaluer et valider ces technologies. Il est vraisemblable que quelques technologies percent le marché avant la fin de l'année 2024, dans des contextes spécifiques d'utilisation.

## Quel est le rôle de l'industrie ?

Les développeurs de technologies jouent un rôle clé en stimulant la recherche et en innovant, afin de mettre sur le marché des solutions permettant de régler le problème des PFAS.

Le choix d'une technologie de traitement efficace, rentable et adaptée aux besoins selon la contamination s'avère crucial. Les questions et les considérations relatives au traitement des PFAS sont complexes et en constante évolution – elles diffèrent selon les lieux, la provenance et la composition des contaminants. Un travail d'analyse approfondie est de mise afin de trouver la solution d'élimination des PFAS la plus adaptée à un site donné.

Avec des milliers de sites contaminés, des solutions éprouvées pour gérer les PFAS sont de plus en plus nécessaires. Il sera possible de reproduire la situation qu'on a vécue lors des années 80, alors qu'on éliminait les BPC de nos bâtiments et de l'eau avant d'avoir des options commerciales de destruction, ce qui est venu quelques années plus tard.

Le rôle principal des utilisateurs de PFAS consiste toutefois à cesser d'utiliser ces composés ainsi que les autres composés nocifs similaires. Pour prendre l'exemple des mousses anti-

incendie, il n'est maintenant plus requis ni approprié d'utiliser des PFAS dans leur formulation (Miller, 2024). ●

## Références

ALTRA | SANEXEN (2023). *ALTRA | SANEXEN remporte le premier contrat dans son genre auprès de Waste Connections pour lutter contre les PFAS*. En ligne : [altragroup.com/fr/2023/04/06/altra-sanexen-remporte-le-premier-contrat-dans-son-genre-aupres-de-waste-connections-pour-lutter-contre-les-pfas](http://altragroup.com/fr/2023/04/06/altra-sanexen-remporte-le-premier-contrat-dans-son-genre-aupres-de-waste-connections-pour-lutter-contre-les-pfas).

AWWA (2023). *Comments on the Proposed PFAS National Primary Drinking Water Regulation Rulemaking*. En ligne : [awwa.org/Portals/0/AWWA/Government/AWWA-Comments-on-Proposed-NPDWR-for-PFAS-excl-Appendix-E.pdf](http://awwa.org/Portals/0/AWWA/Government/AWWA-Comments-on-Proposed-NPDWR-for-PFAS-excl-Appendix-E.pdf).

Barr Engineering Co., H. and S. (2023). *Evaluation of Current Alternatives and Estimated Cost Curves for PFAS Removal and Destruction from Municipal Wastewater, Biosolids, Landfill Leachate, and Compost Contact Water*. En ligne : [pca.state.mn.us/sites/default/files/c-pfcl-26.pdf](http://pca.state.mn.us/sites/default/files/c-pfcl-26.pdf).

Bilott, R. (2019). *Exposure: Poisoned Water, Corporate Greed, and One Lawyer's Twenty-Year Battle against DuPont*. Simon & Schuster UK Limited.

Bureau, M. (2024a). *PFAS Foam Fractionation and Destruction – Rising to the Occasion*. SOAR, SWANA, 15 avril 2024, Phoenix (AZ).

Bureau, M. (2024b). *Des solutions pour les problèmes d'aujourd'hui et de demain*. Webinaire, Réseau Environnement, 7 février 2024.

Eales, J., et collab. (2022). « Human health impacts of exposure to phthalate plasticizers: An overview of reviews ». *Environment International*, vol. 158, 106903.

Fenton, S. E., et collab. (2021). « Per- and Polyfluoroalkyl Substance Toxicity and Human Health Review: Current State of Knowledge and Strategies for Informing Future Research ». *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 40, n° 3, p. 606-630.

Gomes, J., et collab. (2024). « Polybrominated diphenyl ether (PBDE) exposure and adverse maternal and infant health outcomes: Systematic review ». *Chemosphere*, vol. 347, 140367.

Gouvernement du Canada (2023). *Ébauche du rapport sur l'état des substances perfluoroalkyliques et polyfluoroalkyliques (SPFA)*. En ligne : [canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/evaluation-substances-existantes/ebauche-rapport-etat-substances-perfluoroalkyliques-polyfluoroalkyliques.html](http://canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/evaluation-substances-existantes/ebauche-rapport-etat-substances-perfluoroalkyliques-polyfluoroalkyliques.html).

Gupta, A., et collab. (2024). « Impact of Bisphenol-A in the environment and its removal through biological agents: A review ». *Environmental Quality Management*, vol. 34, n° 1.

Hao, S., et collab. (2023). « Hydrothermal Alkaline Treatment (HALT) of Foam Fractionation Concentrate Derived from PFAS-Contaminated Groundwater ». *Environmental Science & Technology*, vol. 57, n° 44, p. 17154-17165.

Krause, M. J., et collab. (2021). « Supercritical Water Oxidation as an Innovative Technology for PFAS Destruction ». *Journal Environmental Engineering*, vol. 148, n° 2, p. 1-8.

Levéé, V. (2023). *Le pouvoir décontaminant de l'eau supercritique*. En ligne : [oiq.qc.ca/publication/le-pouvoir-decontaminant-de-leau-supercritique](http://oiq.qc.ca/publication/le-pouvoir-decontaminant-de-leau-supercritique).

Michigan Department of EGLE (Environment, Great Lakes, and Energy) (2019). *IPP PFAS Initiative*. En ligne : [michigan.gov/egle/about/organization/water-resources/industrial-pretreatment/pfas-initiative](http://michigan.gov/egle/about/organization/water-resources/industrial-pretreatment/pfas-initiative).

Miller, M. (2024). *Fluorine-free foam flows to Air Force bases as DoD removes PFAS from firefighting activities*. En ligne : [arpc.afrc.af.mil/News/Article-Display/Article/3734963/fluorine-free-foam-flows-to-air-force-bases-as-dod-removes-pfas-from-firefighti](http://arpc.afrc.af.mil/News/Article-Display/Article/3734963/fluorine-free-foam-flows-to-air-force-bases-as-dod-removes-pfas-from-firefighti).

MPCA (Minnesota Pollution Control Agency) (2023). *Groundbreaking study shows unaffordable costs of PFAS cleanup from wastewater*. En ligne : [pca.state.mn.us/news-and-stories/groundbreaking-study-shows-unaffordable-costs-of-pfas-cleanup-from-wastewater](http://pca.state.mn.us/news-and-stories/groundbreaking-study-shows-unaffordable-costs-of-pfas-cleanup-from-wastewater).

MTECT (Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires) (2023). *Arrêté du 20 juin 2023 relatif à l'analyse des substances per- et polyfluoroalkylées dans les rejets aqueux des installations classées pour la protection de l'environnement relevant du régime de l'autorisation*. En ligne : [legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047739535](http://legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047739535).

Munoz, G., et collab. (2023). « Target and nontarget screening of PFAS in drinking water for a large-scale survey of urban and rural communities in Québec, Canada ». *Water Research*, vol. 233, 119750.

Murray, W. (1994). *Santé humaine et environnement : les risques posés par les BPC. Division des sciences et de la technologie*. En ligne : publications.gc.ca/Collection-R/LoPBdP/BP/bp392-f.htm.

NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine) (2022). *Guidance on PFAS Exposure, Testing, and Clinical Follow-Up*. En ligne : pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35939564.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2021). *Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance*. En ligne : oecd.org/en/publications/reconciling-terminology-of-the-universe-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances\_e458e796-en.html.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment) (2024). *Public Health Goals for Perfluorooctanoic Acid and Perfluorooctane Sulfonic Acid in Drinking Water*. En ligne : oehha.ca.gov/media/downloads/air/public-health-goal-document/pfoapfosphgfinaldraft040524.pdf.

Santé Canada (2021). *Sixième rapport sur la biosurveillance humaine des substances chimiques de l'environnement au Canada*. En ligne : canada.ca/fr/sante-canada/services/sante-environnement-milieu-travail/rapports-publications/contaminants-environnementaux/sixieme-rapport-biosurveillance-humaine.html.

Speth, T., et collab. (2020). *Cost of POU vs Centralized Treatment*. En ligne : cfpub.epa.gov/si/si\_public\_record\_report.cfm?Lab=CESER&dirEntryId=348941.

U.S. EPA (2022). *PFASIEPA: PFAS structures in DSSTox (update August 2022)*. En ligne : comptox.epa.gov/dashboard/chemical-lists/PFASSTRUCTV5.

U.S. EPA (2023a). *IRIS Toxicological Review of Perfluorodecanoic Acid [PFDA, CASRN 335-76-2] and Related Salts*. En ligne : cfpub.epa.gov/nceal/iris\_drafts/recordisplay.cfm?deid=354408.

U.S. EPA (2023b). *IRIS Toxicological Review of Perfluorohexanesulfonic Acid (PFHxS, CASRN 335-46-4) and Related Salts*. En ligne : cfpub.epa.gov/nceal/iris\_drafts/recordisplay.cfm?deid=355410.

U.S. EPA (2023c). *ORD Human Health Toxicity Value for Lithium bis [(trifluoromethyl)sulfonyl]azanide (HQ-115) (CASRN 90076-65-6 | DTXSID8044468)*. En ligne : cfpub.epa.gov/si/si\_public\_record\_Report.cfm?dirEntryId=358288&Lab=CPHEA.

U.S. EPA (2023d). *ORD Human Health Toxicity Value for Perfluoropropanoic Acid (CASRN 422-64-0 | DTXSID8059970)*. En ligne : cfpub.epa.gov/si/si\_public\_record\_Report.cfm?dirEntryId=358291&Lab=CPHEA.

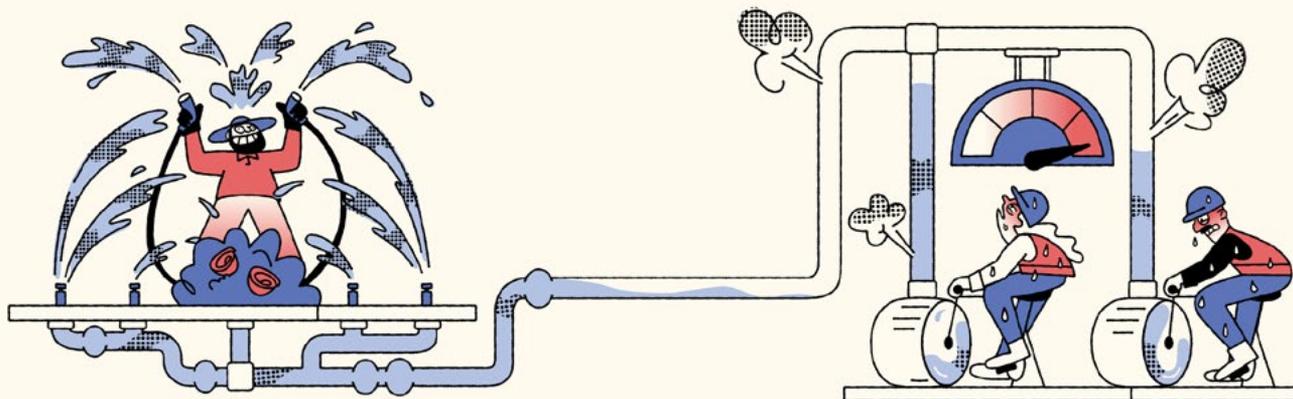
U.S. EPA (2023e). *IRIS Toxicological Review of Perfluorohexanoic Acid (PFHxA) and Related Salts (Final Report, 2023)*. En ligne : cfpub.epa.gov/nceal/iris\_drafts/recordisplay.cfm?deid=357314.

U.S. EPA (2024a). *Human Health Toxicity Assessment for Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Related Salts*. En ligne : epa.gov/system/files/documents/2024-04/main\_final-toxicity-assessment-for-pfoa\_2024-04-09-refs-formatted.pdf.

U.S. EPA (2024b). *Maximum Contaminant Level Goals for Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS) in Drinking Water*. En ligne : epa.gov/system/files/documents/2024-04/mclg-doc-for-pfoa-pfos\_final-508.pdf.

U.S. EPA (2024c). *Key EPA Actions to Address PFAS*. En ligne : epa.gov/pfas/key-epa-actions-address-pfas.

## Votre eau, c'est notre eau à tous.



Québec.ca/empreinte-bleue

Votre  
gouvernement

Québec



## Eaux usées municipales

# Réduire la présence des contaminants émergents

Avec la caractérisation initiale visant à identifier et à recenser les contaminants qui se retrouvent dans les eaux usées traitées des plus grandes stations d'épuration du Québec, le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) acquiert présentement de précieuses connaissances sur le type de pollution auquel font face les cours d'eau.



PAR JUSTINE LACOMBE BERGERON, M. Env.  
Biologiste, Direction des eaux usées  
municipales, ministère de l'Environnement, de  
la Lutte contre les changements climatiques,  
de la Faune et des Parcs

### Le contenu des eaux usées, d'hier à aujourd'hui

Dans le cadre du Programme d'assainissement des eaux du Québec, mis en place en 1978, les stations d'épuration avaient un but assez simple : traiter la matière organique contenue dans les eaux usées qui proviennent de nos toilettes

et de nos usages domestiques. Avec le développement de la chimie des dernières décennies, c'est maintenant un vrai cocktail de substances qui se retrouvent dans les eaux usées : composés pharmaceutiques, antibiotiques, hormones, substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (les fameux PFAS ou polluants éternels), retardateurs de flammes, micro et nanoplastiques et plusieurs autres. Ces contaminants émergents, aussi appelés micropolluants, proviennent de notre consommation quotidienne, du lavage des vêtements en fibres synthétiques, des cosmétiques et des produits d'hygiène personnelle, mais aussi des industries et des commerces qui rejettent leurs eaux dans les réseaux d'égouts municipaux. Ces contaminants – peu ou pas biodégradables – sont donc difficiles à retirer des eaux usées par les traitements conventionnels primaires ou secondaires.

« Ainsi, ce projet collaboratif permet d'acquérir des informations précieuses pour le Québec, qui pourront être partagées avec la population et les scientifiques par l'entremise de Données Québec. »

## Première étape : l'acquisition de connaissances

Des articles scientifiques d'ici et de partout dans le monde démontrent que les eaux usées municipales contiennent une panoplie de contaminants d'intérêt émergent et même des contaminants plus anciens comme des biphényles polychlorés (BPC), et différents types de surfactants utilisés dans les savons et les détergents. Pour brosser un portrait des contaminants retrouvés dans les eaux usées du Québec, le MELCCFP a mis sur pied un projet d'acquisition de connaissances d'une grande envergure visant la caractérisation initiale des effluents qui concerne les 42 plus grandes stations du Québec dont les volumes sont de plus de 17 500 m<sup>3</sup>/j. À elles seules, ces 42 stations rejettent environ 80 % des eaux usées du Québec.

## Un projet très attendu

Ce projet a débuté en 2022, et une période de 5 ans est prévue pour caractériser les effluents des 42 stations visées au Québec. Au total, c'est 457 composés qui seront analysés quatre fois par année dans les effluents. Des échantillonnages aux affluents et dans les boues des stations d'épuration seront également effectués. Une bonne collaboration avec plusieurs partenaires permet à ce projet de bien fonctionner : les municipalités, le Centre d'expertise en analyses environnementales du Québec du MELCCFP et les laboratoires privés accrédités qui réalisent les analyses, le Centre des technologies de l'eau (Cteau) et les employés du MELCCFP qui réalisent l'échantillonnage, et qui s'assureront de l'analyse et de la diffusion de cette grande quantité de données.

## Un objectif collectif

Ainsi, ce projet collaboratif permet d'acquérir des informations précieuses pour le Québec, qui pourront être partagées avec la population et les scientifiques par l'entremise de Données Québec.

À partir des données des 2 premières années concernant 12 stations (qui seront prochainement rendues publiques), il est possible de constater que plusieurs contaminants sont détectés fréquemment. Entre autres, certains composés pharmaceutiques comme des antidépresseurs, des anti-inflammatoires et des antibiotiques ont été retrouvés de manière omniprésente aux effluents de toutes les stations échantillonnées. Les surfactants utilisés dans une large gamme de produits d'hygiène personnelle et de produits nettoyants ont aussi été retrouvés très fréquemment et à de hautes concentrations, dépassant souvent leur critère de qualité de l'eau de surface. Sur la base de ces informations, quelles solutions devrait-on privilégier pour réduire la présence de micropolluants dans les eaux usées municipales? Le MELCCFP a demandé la collaboration de chercheuses et chercheurs québécois ainsi que de spécialistes du domaine de l'eau pour répondre à cette question importante et qui est une source de préoccupation au sein de la population.

## À la recherche des meilleures solutions pour le Québec

Des chercheuses et chercheurs en ingénierie, en écotoxicologie et en chimie analytique de neuf universités au Québec, des professionnels de la santé de l'Institut national de santé publique du Québec, des spécialistes en eaux usées des grandes villes, de Réseau Environnement et du Cteau : c'est cette impressionnante équipe que le MELCCFP a rassemblée pour se pencher sur les solutions de réduction des contaminants dans les eaux usées municipales. Ce groupe, dont les travaux sont coordonnés par la Direction des eaux usées municipales du MELCCFP, porte le nom de « Table de consultation scientifique sur les contaminants nocifs non normés dans les eaux usées municipales » et a comme objectif d'identifier les solutions efficaces pour réduire la présence de ces contaminants.

## Une réflexion en profondeur, mais rapide!

Comme mentionné précédemment, les traitements primaires ou secondaires retrouvés dans les stations d'épuration du Québec ne peuvent pas retirer efficacement les micropolluants. Pour ce faire, il faut plutôt se tourner vers les traitements avancés qui comprennent, par exemple, l'ozonation ou l'adsorption sur charbon activé. Ces traitements sont connus pour avoir une bonne efficacité pour retirer les micropolluants. Toutefois, les coûts de mise en place et de fonctionnement de ces traitements peuvent être importants, ce qui incite à considérer également d'autres solutions, comme le bannissement de certains produits chimiques, l'optimisation des traitements existants, l'innovation dans la conception des biens de consommation, ou la réduction à la source à l'échelle des industries et des commerces. Il est en effet beaucoup plus simple de ne pas rejeter un contaminant dans le réseau d'égout que d'essayer de le traiter.

De tels enjeux seront abordés par la Table dans les prochains mois. La première rencontre a eu lieu le 13 juin, et le début de l'année 2025 est visé pour la remise d'un rapport au MELCCFP. Ce court échéancier s'inscrit dans le contexte de modernisation de plusieurs stations d'épuration. Pour optimiser les investissements nécessaires à la modernisation des stations, la réflexion sur les orientations du Québec quant à la réduction des micropolluants dans les eaux usées municipales doit être avancée.

## Protéger la ressource en eau du Québec

Même si les eaux usées municipales ne sont qu'une des multiples portes d'entrée des contaminants dans l'environnement, la caractérisation initiale et la Table de consultation scientifique démontrent la volonté du MELCCFP, des villes et des scientifiques de s'allier pour proposer des solutions qui permettront d'améliorer la qualité des rejets d'eaux usées. La problématique de la réduction des contaminants émergents dans les eaux usées est complexe, mais c'est un défi que le MELCCFP désire relever en collaborant avec les scientifiques et spécialistes de la Table. ●



## Contaminants émergents dans les biosolides

# Le potentiel de la pyrolyse et des procédés thermiques

**Le traitement des contaminants d'intérêt émergent (CIE) est régulièrement abordé dans une perspective de traitement des eaux, mais moins souvent dans une perspective de traitement des biosolides. Parmi les procédés de traitement thermique, le séchage, l'incinération et la pyrolyse seront abordés; le potentiel de cette dernière – la moins connue des trois – mérite d'y accorder plus d'attention.**



PAR FRANCIS GUAY, ing.  
Ingénieur, Eau, Traitement et pompage,  
STANTEC  
Francis.Guay@stantec.com

### Importance du recyclage

Les boues générées, une fois déshydratées, deviennent des biosolides. Ces derniers représentent des matières résiduelles fertilisantes (MRF) qui sont encadrées par un guide sur leur recyclage (Hébert, 2015). Ils représentent le plus grand sous-

produit d'une station d'épuration, tant du point de vue massique que du point de vue volumique. En date de 2015, il était évalué que près de 300 000 tonnes humides ont été recyclées par épandage agricole. Cette quantité représente 42 % des biosolides municipaux. Encore 9 % des biosolides prennent la direction de l'enfouissement et 49 % sont incinérées (Hébert, 2016). La proportion de biosolides incinérés est élevée puisque trois des cinq plus grandes villes du Québec utilisent ce mode de gestion.

Le recyclage des biosolides est essentiel pour maintenir un équilibre biogéochimique puisqu'ils sont composés, entre autres, des nutriments essentiels que sont l'azote et le phosphore (Zheng et collab., 2020). Le Stockholm Resilience Centre (SRC) illustre le suivi de différentes limites planétaires (figure 1), dont

l'équilibre biogéochimique (SRC, 2023). En 2023, les résultats démontrent que l'activité humaine dérègle le cycle naturel du phosphore et de l'azote au-delà des limites planétaires. Ce dépassement est essentiellement dû à l'usage intensif de fertilisant synthétique en agriculture. La production de fertilisant synthétique convertit l'azote et le phosphore biologiquement séquestré en forme réactive (les engrais) à un rythme excessif (Havukainen et collab., 2018; Springmann et collab., 2018).

En réponse à cet enjeu, la Commission européenne a catégorisé le phosphore comme l'une des 30 matières premières critiques, et l'Allemagne a prévu rendre obligatoire le recyclage du phosphore issu des biosolides d'ici 2029 puisqu'elle évalue qu'il s'agit du plus grand potentiel de recyclage sur son territoire (Grenzebach, s. d.).

En 2021, le Québec comptait 833 stations de récupération des ressources de l'eau (StaRRE), dont 725 sont non mécanisées et

108 sont mécanisées. Malgré le fait que les stations mécanisées ne représentent que 13 % des StaRRE du Québec, elles traitent plus de 75 % du débit d'eaux usées (tableau 1, p. 18). Les cinq plus grandes StaRRE du Québec représentent à elles seules la majorité du débit des stations mécanisées au Québec. Les quantités de biosolides suivent cette même tendance. Les très grandes StaRRE du Québec ont une influence significative sur les statistiques qui concernent les biosolides.

### Traitement des biosolides au Québec

La gestion des boues se fait différemment si une StaRRE est mécanisée ou non. Les stations non mécanisées sont conçues pour accumuler les boues sur une période prolongée qui s'étend généralement sur plusieurs années. L'accumulation des boues favorise leur digestion et leur épaissement. Au terme de l'accumulation, les boues sont extraites pour ensuite être

FIGURE 1  
**Limites biogéochimiques évaluées par le Stockholm Resilience Centre (SRC, 2023 [traduction libre] – Azote for Stockholm Resilience Centre, based on analysis in Richardson et al., 2023)**

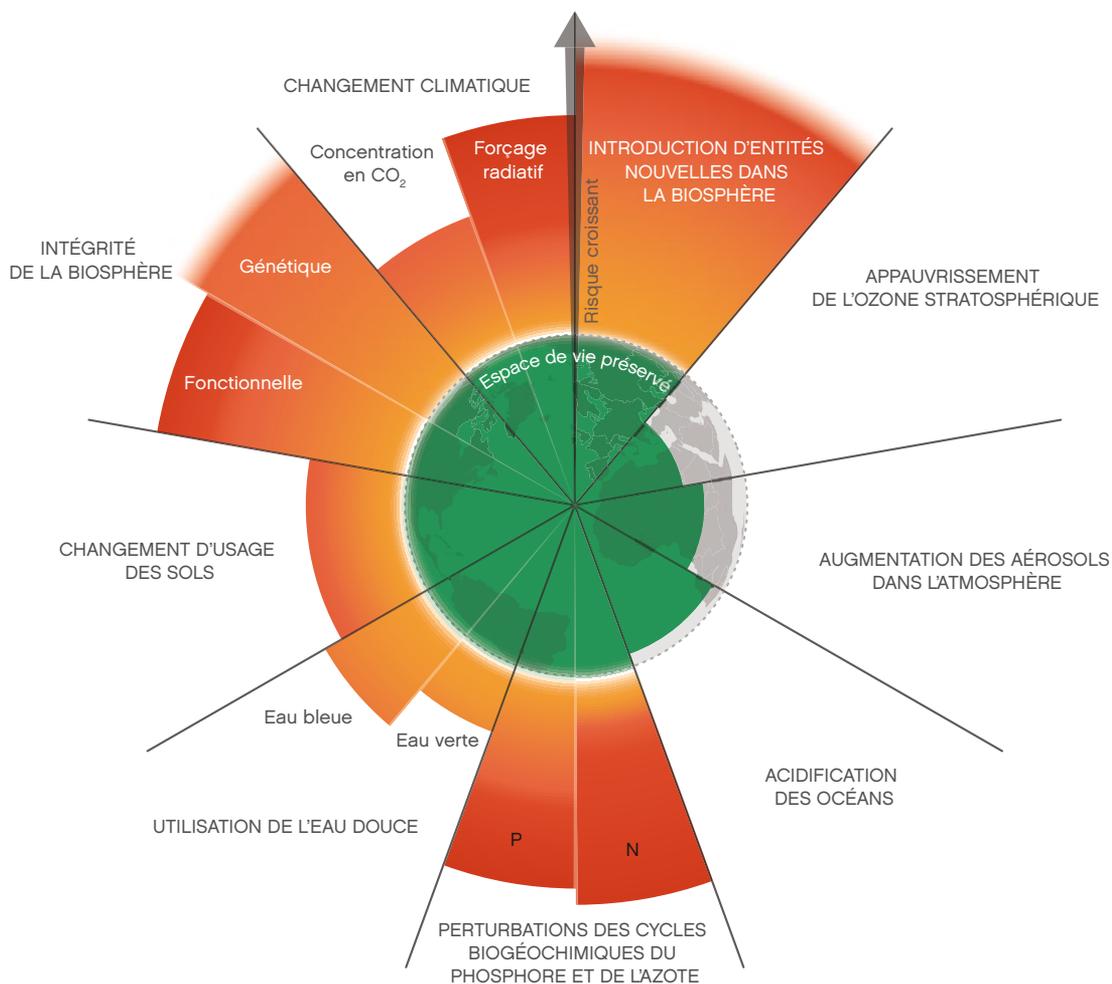


TABLEAU 1

StaRRE du Québec (tiré du bilan de performance des OMAEU pour l'année 2020) (MELCCFP, 2022)

TYPE DE StaRRE	NOMBRE DE StaRRE	DÉBIT DE CONCEPTION (m <sup>3</sup> /d)
Stations non mécanisées	725	1 641 217
Stations mécanisées	108	5 016 769

Notes :

- Les stations mécanisées incluent les boues activées, les biodisques, la biofiltration, les traitements physico-chimiques et les réacteurs biologiques.
- Les stations non mécanisées incluent les étangs aérés, les étangs à rétention réduite, les étangs non aérés et les technologies spécifiques.

déshydratées sur site ou directement transportées sous forme liquide vers un lieu de traitement, de recyclage ou de disposition.

Dans le cas d'une station mécanisée, les boues sont initialement épaissies afin d'atteindre une siccité entre 1 % et 5 % pour ensuite être déshydratées et atteindre une siccité de 15 % à plus de 30 % selon leurs caractéristiques (Metcalf & Eddy | AECOM, 2014).

Les boues sont généralement déshydratées, puisque dans le cas où le recyclage des boues n'était pas possible, l'article 4 du *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* requiert que les biosolides des StaRRE municipales qui sont enfouis doivent avoir une siccité supérieure à 15 % (quelques exceptions s'appliquent) (Légis Québec, 2024). La déshydratation ajoute une résilience aux opérations d'une StaRRE lorsque les boues ne peuvent pas être recyclées (ex. : boues non conformes ou aucune réponse à un appel d'offres pour recycler les boues), en plus de réduire considérablement le volume de boues à transporter.

L'épaississement et la déshydratation des boues sont des procédés qui permettent d'augmenter la concentration de solides des boues par des processus chimiques, physiques ou mécaniques.

Dans le cas des très grandes StaRRE, des étapes supplémentaires sont généralement mises en place afin de réduire davantage le volume des boues. Les villes ont notamment recours à la digestion anaérobie, au séchage ou à l'incinération.

La contamination des biosolides par des CIE peut donner mauvaise presse à leur recyclage. Ce fut le cas notamment du recyclage de biosolides issus du Maine, dont la concentration en PFAS était élevée. Les événements ont notamment mené au

moratoire interdisant l'importation de biosolides provenant des États-Unis au Québec. L'Agence canadienne d'inspection des aliments a participé à l'élaboration d'une norme provisoire qui exige que les biosolides contiennent moins de 50 parties par milliard de PFOS (un type de PFAS). Les biosolides municipaux du Québec qui ont été testés par le MELCCFP respecteraient cette norme provisoire (MELCCFP, s. d.).

La présence de CIE dans les biosolides est influencée par de nombreuses variables, dont le type de procédé de traitement sur la filière liquide, les industries desservies par le réseau, le type de réseau (unitaire ou séparatif); leur présence est indéniable. Le temps venu, les procédés thermiques peuvent offrir des avantages pour traiter les CIE et éviter leur propagation dans l'environnement.

### Traitement thermique des biosolides

Les procédés thermiques opèrent à différentes plages de température qui influencent directement le traitement des CIE et la MRF générée (tableau 2). Ces procédés transforment les biosolides en différents produits dont les propriétés diffèrent. Comme le séchage et l'incinération sont mieux connus, davantage d'attention est accordée à la pyrolyse.

La pyrolyse consiste en la décomposition chimique d'une matière sous l'action de la chaleur, effectuée dans un environnement dépourvu d'oxygène. Ce procédé permet de produire du « biochar », des liquides pyrolytiques (py-liquides) et des gaz (py-gaz) issus de la décomposition thermique (figure 2). Les gaz et les liquides produits peuvent être brûlés afin de produire la chaleur nécessaire à la pyrolyse et une fraction de la chaleur requise pour le séchage. La pyrolyse est un procédé qui a le potentiel d'être autonome du point de vue énergétique. Pour ce faire, les boues alimentées à la pyrolyse doivent idéalement

TABLEAU 2

Température d'opération des procédés thermiques abordés et de la MRF générée (WEF, 2024; Metcalf &amp; Eddy | AECOM, 2014)

	SÉCHAGE	PYROLYSE	INCINÉRATION
Température d'opération	85-120 °C	500-800 °C	700-1 200 °C
Produit (MRF)	Granules	Biochar	Cendres

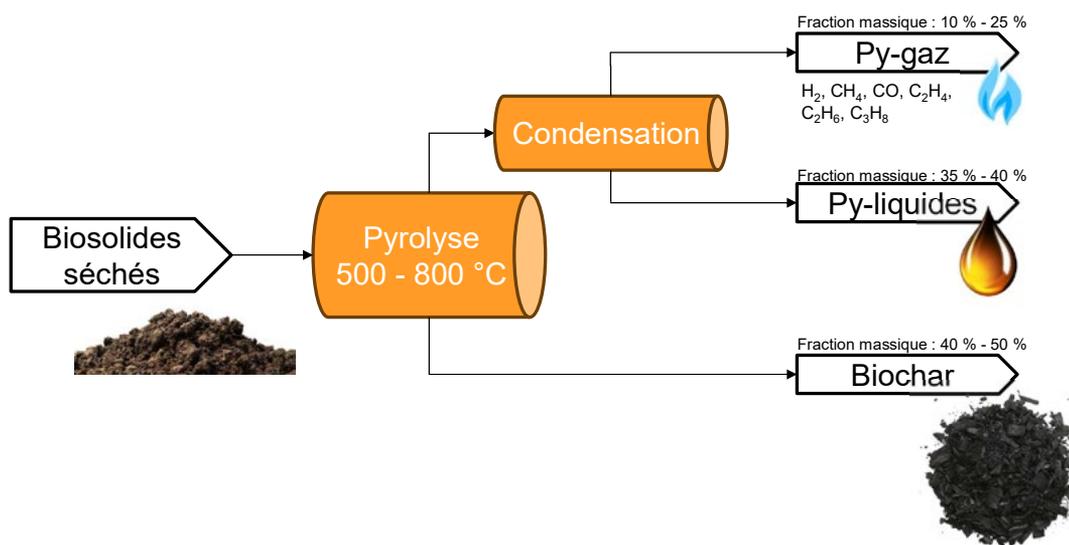
avoir une siccité d'au moins 80 % ; un séchage préalable des boues est donc requis. La digestion anaérobie en amont n'est pas nécessaire, mais elle permettrait de maintenir une qualité de biosolides plus constante pour alimenter la pyrolyse (McNamara et collab., 2023). La pyrolyse n'est pas sans défaut. Un risque important demeure la conversion d'un contaminant en un autre contaminant plus ou moins nocif. De plus, la présence de contaminants dans le condensat peut complexifier ou nuire à la réalisation d'un tel projet.

La décomposition thermique qui se produit durant la pyrolyse diffère de l'incinération par le fait qu'une partie importante de carbone est séquestrée dans le biochar. En fait, le biochar est une forme stable de carbone qui permet un relargage

lent des nutriments lorsqu'il est recyclé en épandage agricole (Hagemann et collab., 2017). Le biochar possède différents avantages agronomiques, mais peut aussi être recyclé ou revalorisé différemment. L'utilisation du biochar pour remplacer le charbon activé en poudre ou le charbon activé granulaire est d'ailleurs étudiée et pourrait permettre de réduire l'utilisation de charbon d'origine fossile, en plus de diminuer le coût du traitement des CIE dans les eaux usées (Oliveira et collab., 2017). Le contexte législatif pourrait d'ailleurs ouvrir la porte au remplacement du charbon d'origine fossile par du biochar utilisé dans certaines industries (comme les aciéries).

La température d'opération élevée de la pyrolyse permet de traiter une vaste gamme de CIE. Dans le cas des microplastiques, il

FIGURE 2  
Schéma illustrant le fonctionnement de la pyrolyse (McNamara et collab., 2023)



UMQ Union des municipalités du Québec

Découvrez notre  
**PARCOURS DE DÉCARBONATION**

Balayez le code QR pour en savoir plus

est évalué qu'une température d'opération supérieure à 450 °C permettrait un enlèvement complet (> 99 %) (Ni et collab., 2020).

Dans le contexte américain, les différents procédés thermiques ont été étudiés afin de définir leur performance par rapport au traitement des PFAS qui contaminent les biosolides. En fait, la situation a mené à l'élaboration d'une base de données sur le traitement thermique des PFAS par l'agence de protection de l'environnement des États-Unis (U.S. EPA, s. d.). La pyrolyse permet aussi de traiter une vaste gamme de CIE avec un pourcentage d'enlèvement supérieur à 90 % (Ross, 2014).

### Perspectives pour la pyrolyse

Lorsqu'on la compare au séchage des boues, la pyrolyse présente certains avantages, dont sa capacité à éliminer une quantité significative de CIE ainsi qu'à réduire davantage la quantité de matière résiduelle à transporter. Si on compare avec l'incinération, elle a l'avantage de réduire les émissions de GES et de produire du biochar qui a des qualités agronomiques et une valeur ajoutée supérieures aux cendres.

Le tableau 3 présente une analyse des forces, des faiblesses, des possibilités et des menaces (FFPM) de la pyrolyse. L'intérêt pour cette technologie dans un contexte de resserrement législatif des PFAS aux États-Unis permet d'accélérer son développement et l'acquisition de connaissances. Le Québec aurait intérêt à suivre de près les développements qui pourraient mener à des perspectives intéressantes pour les StaRRE municipales. ●

### Références

Grenzebach (s. d.). *Phosphorus recycling from sewage sludge*. En ligne : grenzebach.com/en/markets/recycling/phosphorus-recycling.

Hagemann, N., et collab. (2017). « Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility ». *Nature Communications*, 8, article n° 1089.

Havukainen, J., et collab. (2018). « Carbon footprint evaluation of biofertilizers ». *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 13, n° 8, p. 1050-1060.

Hébert, M. (2015). *Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes – Critères de référence et normes réglementaires*. En ligne : numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2980774.

Hébert, M. (2016). *Bilan 2015 du recyclage des matières résiduelles fertilisantes*. En ligne : environnement.gouv.qc.ca/matieres/mat\_res\_fertilisantes/Bilan2015.pdf.

Légis Québec (2024). Q-2, r. 19 – *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles*. En ligne : legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/Q-2,%20r.%2019.

McNamara, P., et collab. (2023). « Pyrolysis—A tool in the wastewater solids handling portfolio, not a silver bullet: Benefits, drawbacks, and future directions ». *Water Environment Research*, vol. 95, n° 5, e10863.

MELCCFP (2022). *Bilan de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées pour l'année 2020*. En ligne : environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/bilan-performance-omaeu-2020.pdf.

MELCCFP (s. d.). *Biosolides et substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS)*. En ligne : environnement.gouv.qc.ca/matieres/mat\_res/fertilisantes/biosolides-pfas.htm.

Metcalf & Eddy | AECOM (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw Hill, 2048 p.

Ni, B.-J., et collab. (2020). « Microplastics Mitigation in Sewage Sludge through Pyrolysis: The Role of Pyrolysis Temperature ». *Environmental Sciences & Technology letters*, vol. 7, n° 12, p. 961-967.

Oliveira, F. R., et collab. (2017). « Environmental application of biochar: Current status and perspectives ». *Bioresource Technology*, 246, p. 110-122.

Ross, J. (2014). *Fate of Micropollutants During Pyrolysis of Biosolids*. Mémoire de maîtrise, Marquette University. En ligne : epublications.marquette.edu/theses\_\_open/286.

Springmann, M., et collab. (2018). « Options for keeping the food system within environmental limits ». *Nature*, vol. 562, p. 519-525.

SRC (2023). *Planetary boundaries*. En ligne : stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html.

U.S. EPA (s. d.). *PFAS Thermal Treatment Database*. En ligne : pfastt.epa.gov/lords/pfastt/f?p=178:1.

WEF (2024). *State of Thermal Treatment of PFAS in Residuals*. En ligne : wef.org/events--education/webcasts/upcoming-webcasts/state-of-thermal-treatment-of-pfas-in-residuals.

Zheng, X., et collab. (2020). « Migration and Transformation of Phosphorus during Hydrothermal Carbonization of Sewage Sludge: Focusing on the Role of pH and Calcium Additive and the Transformation Mechanism ». *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, vol. 8, n° 21, p. 7806-7814.

TABLEAU 3  
Analyse FFPM de la pyrolyse (adapté de : McNamara et collab., 2023)

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des GES;</li> <li>• Aucune combustion;</li> <li>• Fraction de la masse des biosolides convertie en énergie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peu d'installation de grande taille;</li> <li>• Investissement initial élevé en l'absence de séchage des boues;</li> <li>• Faisabilité opérationnelle à long terme n'est pas encore démontrée.</li> </ul>
POSSIBILITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement des CIE;</li> <li>• Récupération de chaleur pour le séchage;</li> <li>• Produit à valeur ajoutée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encadrement réglementaire incertain;</li> <li>• Connaissances et maîtrise de la technologie encore peu développées.</li> </ul>

# LE FONDS ÉCOLEADER

Pour les entreprises désireuses d'adopter des pratiques d'affaires écoresponsables et des technologies propres.

## Soutien financier

pouvant aller jusqu'à **60 000 \$** par entreprise pour **augmenter votre performance** et **réduire votre impact environnemental**.



## Conseils d'experts

pour mettre en place des pratiques écoresponsables et vous préparer à l'acquisition de **technologies vertes**.

**Soumettez votre projet dès aujourd'hui et prenez part à la transition écologique du Québec!**

Ce programme est rendu possible grâce à une subvention du ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie.

# DUALE

## L'éloge de la biodiversité par l'art



PAR **ETIENNE SAINT-AMANT**, M. Sc.  
Artiste technologique et scientifique,  
PDG des Studios Chaoscopia  
info@chaoscopia.com

Dans un monde où la nature est de plus en plus menacée par les activités humaines, Etienne Saint-Amant et Éric Dupont ont choisi une voie unique et inspirante. Leur série artistique **DUALE** célèbre la biodiversité par l'évocation esthétique et romantique des formes de vie. Cette démarche, ancrée dans une sensibilité écologique, vise à susciter une prise de conscience et à encourager une attitude proactive de protection.

### Une approche constructive

Avec **DUALE**, les artistes ont délibérément choisi de ne pas s'appesantir sur les aspects négatifs de la crise écologique. Au lieu de cela, ils mettent en lumière la beauté et la diversité de la vie sur Terre. En célébrant les formes de vie de manière esthétique et romantique, ils espèrent toucher le cœur du public et sensibiliser de façon positive, durable et profonde.

Leur objectif est de faire ressentir la nécessité de protéger notre environnement non pas par la culpabilité, mais par l'émerveillement et l'admiration. Les plaisirs simples – tels que pêcher dans une mer poissonneuse, manger de la neige pure ou contempler un ciel étoilé sans pollution – sont des expériences de plus en plus rares, et nous rappellent l'importance de préserver notre planète. Les artistes croient que le chemin vers la restauration de la biodiversité peut être doux et enrichissant pour l'âme de notre civilisation. Comme un enfant qui souhaite protéger un insecte, ils aspirent à raviver cette sensibilité dans nos cœurs d'adultes.

« Leur objectif est de faire ressentir la nécessité de protéger notre environnement non pas par la culpabilité, mais par l'émerveillement et l'admiration. »



### Et une approche phylogénétique

L'originalité de **DUALE** réside également dans l'approche scientifique. La phylogénétique (ou l'étude de l'arbre de la vie) joue un rôle central dans le processus créatif. Cette discipline scientifique cherche à comprendre les connexions génétiques qui unissent toutes les formes de vie sur Terre, des bactéries aux arbres, en passant par les champignons, les mammifères et les oiseaux.

L'histoire de la vie sur notre planète, qui s'étend sur au moins 3,5 milliards d'années, est au cœur de la démarche des artistes. En s'inspirant de la phylogénétique, ils adoptent une perspective globale et ambitieuse. Ils intègrent toutes les formes de vie dans leurs œuvres, soulignant ainsi l'interconnexion et la dépendance mutuelle de tous les êtres vivants.



Œuvre *Stromatolite* de la série **DUALE**.

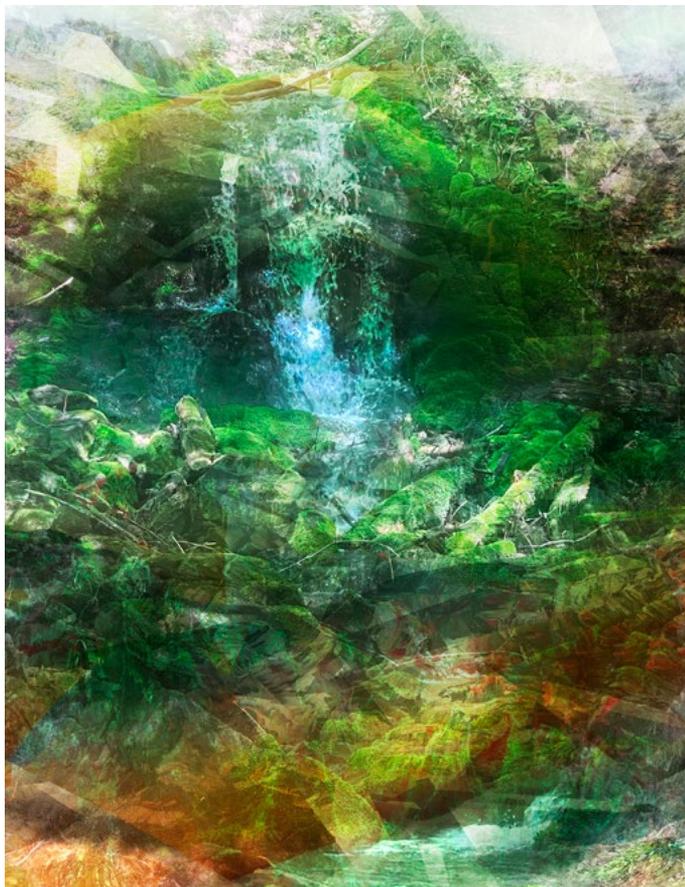
© Etienne Saint-Amant et Éric Dupont

Cette approche transdisciplinaire fusionne la peinture à l'huile avec l'art mathématique, ainsi que l'imagerie et la photographie. En combinant ces différentes techniques, les artistes créent des œuvres d'une profondeur et d'une complexité remarquables, qui invitent le public à réfléchir sur la richesse et la diversité de la vie.

### Dualité : au cœur de la création

Le concept de dualité est au centre de cette série. Le titre DUALE reflète le polymorphisme et la multiplicité des dualités que les artistes explorent. La collaboration entre eux – artiste-mathématicien et artiste-plasticien – est en elle-même une expression de cette dualité. Ils sont également scientifiques, explorant les dimensions infiniment grandes et infiniment petites de la vie.

Ils travaillent avec des concepts mathématiques tels que l'algèbre et la géométrie, tandis qu'ils découvrent aussi que les gestes sont intuitifs et intrinsèquement fractals. Ils associent émotion et esthétisme, mouvement et statisme, créant des œuvres qui transcendent la simple figuration ou abstraction. Leurs créations visent une évocation subjective, où le rationnel et l'émotionnel s'entrelacent harmonieusement.



Œuvre *Bryophyta* de la série DUALE.

« En fin de compte, la série DUALE est un appel à l'engagement et à la sensibilisation. Les artistes espèrent que leur art inspirera les spectatrices et spectateurs à adopter une attitude proactive pour la protection de la biodiversité. »

La force évolutive et créatrice du chaos, une autre dualité, est également une source d'inspiration majeure. Comme dans l'arbre phylogénétique, le chaos est perçu non pas comme une force destructrice, mais comme un moteur de créativité et de transformation. Les œuvres de la série DUALE brouillent les frontières entre figuration et abstraction, entre rationalité et émotion, invitant le public à une contemplation méditative et introspective.

### Un message d'espoir et d'engagement

En fin de compte, la série DUALE est un appel à l'engagement et à la sensibilisation. Les artistes espèrent que leur art inspirera les spectatrices et spectateurs à adopter une attitude proactive pour la protection de la biodiversité. En célébrant la beauté et la complexité de la vie sur Terre, ils cherchent à raviver un sens de responsabilité et de connexion avec la nature.

La série DUALE nous rappelle que la restauration de notre environnement peut être une démarche enrichissante et porteuse de sens. Elle invite chacun de nous à redécouvrir la sensibilité de notre cœur d'enfant et à s'engager dans la préservation de notre patrimoine naturel avec joie et émerveillement. ●

*Photo de la page 22 : Éric Dupont et Etienne Saint-Amant devant l'œuvre Nymphaea. Source : Jean-Michel Naud, photographe.*

#### DUALE

À travers leur démarche artistique, les artistes Etienne Saint-Amant et Éric Dupont offrent une vision poétique et inspirante de la biodiversité. Leur série DUALE est un hommage vibrant à la vie, un témoignage de la beauté et de la fragilité de notre planète, et un appel puissant à l'action pour un avenir plus respectueux et harmonieux avec la nature.

La série, présentée dans les musées et les lieux d'exposition, se développe aussi sur les réseaux sociaux et sur le site officiel ([lesdualistes.com/collections/serie-duale](https://lesdualistes.com/collections/serie-duale)). Ses œuvres s'unissent également à chaque chapitre du livre *La Terre, la vie et nous : parlons d'espoir et de solutions* (Éditions Édito).

# Conservation des chaussées du réseau routier

## Observations de la commissaire au développement durable



PAR **JANIQUE LAMBERT**, FCPA auditrice  
Commissaire au développement durable,  
Vérificateur général du Québec  
janique.lambert@vgq.qc.ca

En complément au rapport d'audit *Conservation des chaussées du réseau routier* du Vérificateur général du Québec (VGQ, 2023a), la commissaire au développement durable expose sa réflexion sur l'importance d'adapter les travaux routiers afin d'atténuer les coûts sociaux et économiques associés aux changements climatiques, de protéger l'environnement et de préserver la biodiversité (VGQ, 2023b).

### Effets des changements climatiques sur les chaussées

Il est reconnu que les chaussées sont vulnérables aux changements climatiques, qui touchent désormais tous les pays, perturbent les économies et affectent des vies. L'adaptation aux changements climatiques est un défi identifié comme prioritaire et transversal dans la Stratégie gouvernementale de développement durable 2023-2028. Afin de bien cibler les actions à entreprendre pour adapter les chaussées, il est essentiel d'identifier les répercussions des changements climatiques que celles-ci peuvent subir.

Les changements climatiques sont susceptibles d'augmenter la fréquence, la durée et la gravité des phénomènes climatiques et météorologiques (ex. : vagues de chaleur, précipitations intenses) pouvant accélérer l'usure des chaussées (O'Sullivan et Tyler, 2022). De plus, lorsqu'une route est soumise à plusieurs de ces phénomènes, sa durée de vie est influencée par leurs effets combinés. Par exemple :

- Les épisodes de canicule peuvent provoquer le ramollissement et la perte de résistance des chaussées, ce qui risque notamment d'entraîner la formation d'ornières;
- Les cycles de gel-dégel plus fréquents accentuent l'apparition de nids-de-poule, attribuables à des infiltrations d'eau dans la chaussée qui, lorsqu'elles gèlent, prennent de l'expansion et soulèvent la chaussée.



### Conséquences socioéconomiques de la dégradation des chaussées

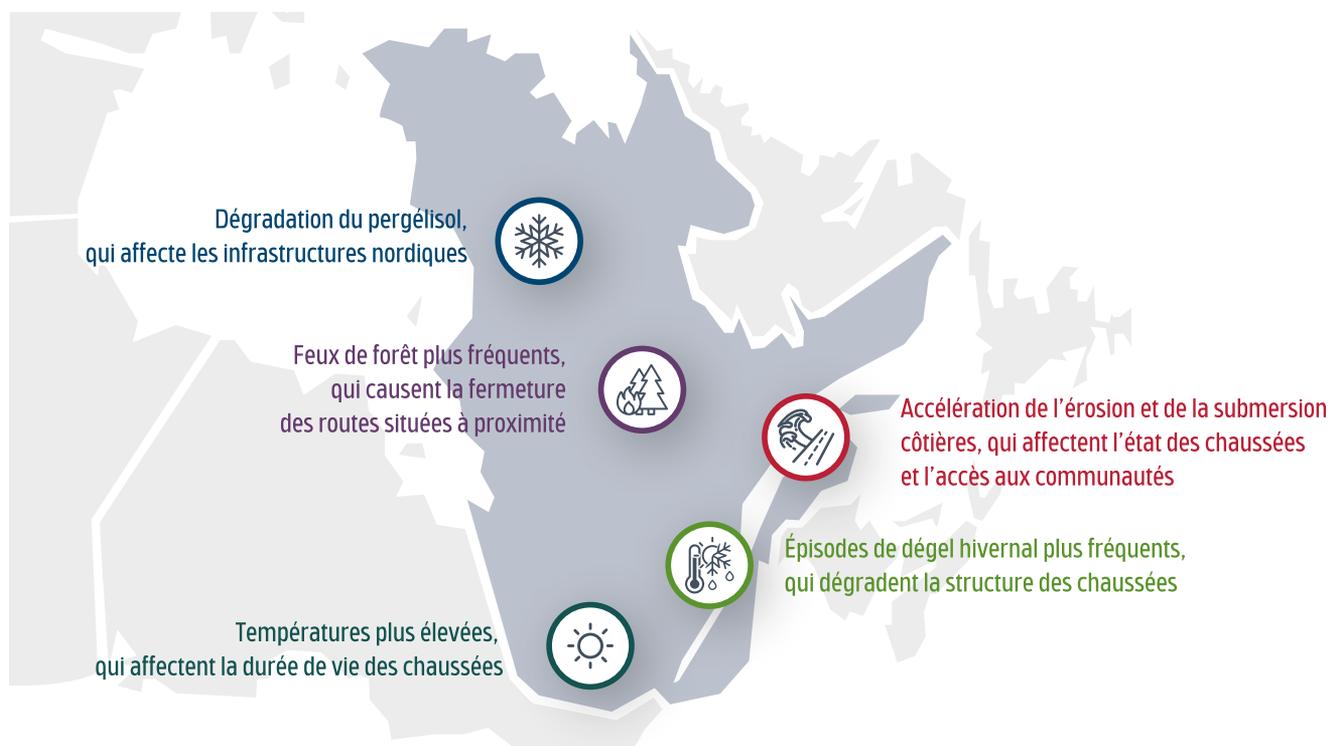
Le Vérificateur général indiquait dans son rapport que si le niveau d'investissement actuel reste le même, le déficit de maintien d'actifs du réseau routier augmentera de façon importante, et les générations futures risquent de devoir assumer le coût des interventions.

La sensibilité des chaussées aux changements climatiques peut aussi donner lieu à une augmentation considérable du coût des travaux visant à rétablir l'état des routes du Québec (Doré et collab., 2014). L'augmentation anticipée du nombre de cycles de gel-dégel, par exemple, peut endommager les couches plus profondes des chaussées, qui nécessiteront alors des interventions beaucoup plus coûteuses que celles réalisées pour les réparations de surface. Sans oublier que la dégradation des chaussées peut faire grimper les coûts engagés par les automobilistes pour la réparation de leur voiture.

Au Québec, les défis liés aux changements climatiques diffèrent d'une région à l'autre (figure 1), entraînant une variété de conséquences socioéconomiques. En fait, certaines collectivités risquent de subir plus fortement que d'autres les effets de ces changements sur leurs routes, celles-ci étant considérées comme le type d'infrastructure le plus gravement touché (Warren et Lulham, 2021).

FIGURE 1

## Conséquences liées aux changements climatiques dans différentes régions



À cet égard, dans le rapport d'audit *Adaptation aux changements climatiques : risques liés à l'érosion et à la submersion côtières* de la commissaire au développement durable, publié en avril 2023, il était souligné que la protection des routes contre les risques liés à l'érosion et à la submersion côtières est primordiale, notamment pour garantir l'accès aux communautés situées à l'est de Québec et leur desserte en situation d'urgence (VGQ, 2023c). Il était mentionné que les changements climatiques constituent les principales causes de l'accroissement – déjà observé et prévu – de la fréquence et de l'intensité de l'érosion et de la submersion côtières au Québec. Il était cependant relevé que les investissements du ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD) dans les régions côtières à l'est de Québec demeurent principalement réalisés en réaction à des dommages subis.

### COÛTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN ZONE CÔTIÈRE

Les régions du Bas-Saint-Laurent, de la Gaspésie, de la Côte-Nord et des Îles-de-la-Madeleine, où l'essentiel du développement socioéconomique s'est effectué le long des côtes, sont particulièrement touchées par les effets de l'érosion et de la submersion côtières, qui mettent à risque les communautés et les infrastructures.

Si aucune mesure d'adaptation n'est mise en place, plus de 5 000 bâtiments et près de 300 km de routes pourraient être exposés à l'érosion d'ici 2065, avec des coûts potentiels de près de 1,5 milliard de dollars durant cette période (Gouvernement du Québec, 2020).

Les communautés du Nunavik aussi sont vulnérables aux effets des changements climatiques, car le Canada se réchauffe deux fois plus vite que l'ensemble de la planète, et ce taux est encore plus élevé dans l'Arctique canadien. En effet, au Québec, la limite du pergélisol s'est déplacée de 130 km vers le nord depuis 1950. Les projections climatiques indiquent par ailleurs une hausse des précipitations extrêmes et hivernales sous forme de pluie, ce qui aura pour conséquence d'accélérer le dégel du pergélisol (Alberti-Dufort et collab., 2022).

Les changements climatiques engendrent un risque important pour l'intégrité des routes nordiques, conçues en fonction de la stabilité du pergélisol (Baron Hernandez, 2020). Cela peut notamment affecter les déplacements sur le territoire. L'accès aux communautés du Nunavik n'étant parfois possible que par avion, les routes d'accès aux aéroports locaux sont nécessaires pour assurer le développement social et économique de ces communautés, ainsi que pour leur permettre d'importer des aliments et des biens essentiels.

### Adaptation des chaussées aux changements climatiques

À l'international, il y a un consensus quant au besoin d'accélérer les mesures d'adaptation aux changements climatiques (GIEC, 2022). Le gouvernement du Canada mentionne que l'urgence d'agir est particulièrement évidente quand les décisions d'investissement prises aujourd'hui entraînent des répercussions qui s'étendront sur plusieurs décennies, ce qui est le cas pour les décisions concernant les infrastructures routières (Warren et Lulham, 2021).

« [...] chaque dollar investi en adaptation permet d'éviter en moyenne entre 13 et 15 dollars en dommages directs résultant de sinistres et en dommages indirects pour l'économie [...]. »

Le Québec a tout intérêt à prévenir les effets des changements climatiques et leurs coûts, afin d'éviter qu'ils augmentent de façon importante au cours des prochaines années et décennies. En tenant compte des bénéfices qui découlent de la mise en place de solutions d'adaptation, plusieurs investissements peuvent même s'avérer rentables. Une étude de l'Institut climatique du Canada (2022) révèle que chaque dollar investi en adaptation permet d'éviter en moyenne entre 13 et 15 dollars en dommages directs résultant de sinistres et en dommages indirects pour l'économie (ex. : perturbation des chaînes d'approvisionnement).

Voici des exemples de mesures préventives qui permettent d'améliorer la résilience des routes face aux changements climatiques :

- Intensifier l'entretien (ex. : scellement des fissures, nettoyage plus fréquent des fossés) pour éviter que l'eau des précipitations et de la fonte des neiges s'infilte dans les structures des chaussées et les endommage prématurément;
- Améliorer la résistance à l'orniérage, par exemple par un épaissement du revêtement ou encore en utilisant un bitume résistant aux variations de température.

Dans son rapport, le Vérificateur général constate que la dégradation des chaussées du réseau routier s'accroît et que le MTMD n'a pas évalué les investissements nécessaires pour maîtriser le déficit de maintien d'actifs. Cette lacune est encore plus problématique dans un contexte de changements climatiques, qui risque d'accroître l'ampleur des investissements requis pour contrôler ce déficit.

### L'innovation pour une gestion durable des chaussées

Comme le mentionne le Vérificateur général dans son rapport, les innovations pourraient permettre d'améliorer la durabilité et la qualité des travaux routiers, prolongeant ainsi la durée de vie des chaussées et favorisant la pérennité du réseau routier. Par ailleurs, lorsqu'elles soutiennent une utilisation plus efficiente des ressources, les innovations permettent de générer des gains économiques (Debre, 2018).

Les interventions réalisées sur le réseau routier peuvent avoir d'importantes conséquences sur l'environnement, par exemple le fractionnement de milieux naturels, la propagation d'espèces exotiques envahissantes et la contamination des milieux naturels (Raibaldi, s. d.). Ces conséquences engendrent une dégradation de l'environnement et contribuent à la perte de biodiversité.

Les spécialistes en écologie routière soulignent l'importance de réfléchir de façon globale en mettant en place des stratégies concertées d'aménagement du territoire afin non seulement d'atténuer les vulnérabilités du système routier, mais aussi de protéger l'environnement (Bourduas Crouhen et collab., 2019). Il est par ailleurs avantageux de prévoir des mesures d'adaptation aux changements climatiques dès la conception d'une route, parce que cela permet de minimiser ses impacts environnementaux avant même sa mise en service.

Certaines bonnes pratiques permettent, entre autres, de limiter l'expansion d'espèces exotiques envahissantes tout en prenant soin de ne pas exacerber la vulnérabilité du milieu aux changements climatiques. Par exemple, dans le cas où une espèce exotique profiterait de températures plus clémentes pour se propager, un traitement chimique permettrait d'éliminer l'espèce, mais dégraderait la qualité de l'environnement et sa résilience devant les aléas climatiques. Dans ce cas, d'autres mesures peuvent être envisagées, telles que la plantation d'espèces indigènes à croissance rapide.

Qui plus est, devant l'urgence climatique, plusieurs experts soulignent la nécessité de repenser les outils traditionnels d'aide à la décision en y intégrant, par exemple, un cycle continu d'évaluation. La gestion adaptative des risques, entre autres, est reconnue pour permettre aux décideurs de tenir compte d'une large gamme de critères lors de la formulation de stratégies d'adaptation, ce qui apparaît particulièrement utile dans le contexte incertain des changements climatiques (Warren et Lulham, 2021). Cette méthode de gestion peut permettre de faire preuve de flexibilité et de prendre des décisions rapides, afin de mieux faire face aux situations d'incertitude (Cordonnier et Gosselin, 2009).

En matière d'économie circulaire, les innovations permettent de mettre au point des solutions qui réduisent la consommation de ressources et contribuent à protéger les écosystèmes qui génèrent ces ressources. Par exemple, l'utilisation de granulats recyclés lors de la reconstruction des routes peut engendrer des retombées environnementales et économiques bénéfiques.

En somme, les travaux routiers peuvent avoir d'importantes conséquences pour l'environnement et la biodiversité. La voie de l'innovation invite à envisager différemment et plus globalement les conséquences engendrées par ces travaux afin que les solutions proposées soient durables pour l'environnement, la société et l'économie, particulièrement dans un contexte de changements climatiques. ●

### Références

Alberti-Dufort, A., et collab. (2022). *Le Canada dans un climat en changement – Le rapport sur les Perspectives régionales. Chapitre 2 : Québec*. En ligne : [changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/4/2020/11/QC\\_CHAPITRE\\_FR\\_v7.pdf](https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/4/2020/11/QC_CHAPITRE_FR_v7.pdf).

Baron Hernandez, M. F. (2020). *Adaptation des infrastructures de transport du MTQ au Nunavik : bilan de la performance et validation de la méthode de conception thermique*. Mémoire de maîtrise en génie civil sous la direction de Doré, G. et M. Allard, Université Laval, 127 p.

Bourduas Crouhen, V., et collab. (2019). « Les changements climatiques attendus et leurs impacts potentiels sur l'écologie routière au Québec ». *Le Naturaliste canadien*, vol. 143, n° 1, p. 18-24.

Cordonnier, T., et F. Gosselin (2009). « La gestion forestière adaptative : intégrer l'acquisition de connaissances parmi les objectifs de gestion ». *Revue forestière française*, vol. 61, n° 2, p. 131-144.

Debref, R. (2018). *Innovation environnementale et écoconception : certitudes et controverses*. Volume 14, série Smart Innovations, ISTE Editions Ltd, 176 p.

Doré, G., et collab. (2014). *Impact des changements climatiques sur les chaussées des réseaux routiers québécois*, Ouranos, 63 p.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. En ligne : [ipcc.ch/report/ar6/wg2](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2).

Gouvernement du Québec (2020). *Plan pour une économie verte 2030 – Politique-cadre d'électrification et de lutte contre les changements climatiques*, 128 p.

Institut climatique du Canada (2022). *Limiter les dégâts : réduire les coûts des répercussions climatiques au Canada*. Série de rapports « Coûts des changements climatiques », 86 p. En ligne : [institutclimatique.ca/wp-content/uploads/2022/09/Limiter-les-degats\\_FR\\_0927.pdf](https://www.institutclimatique.ca/wp-content/uploads/2022/09/Limiter-les-degats_FR_0927.pdf).

O'Sullivan, S., et K. Tyler (2022). *Les routes du futur : comment utiliser les données climatiques pour adapter nos routes à un climat en changement*. En ligne : [donneesclimatiques.ca/les-routes-du-futur-comment-utiliser-les-donnees-climatiques-pour-adapter-nos-routes-a-un-climat-en-changement](https://donneesclimatiques.ca/les-routes-du-futur-comment-utiliser-les-donnees-climatiques-pour-adapter-nos-routes-a-un-climat-en-changement).

Raibaldi, A. (s. d.). *L'écologie routière, alliée sous exploitée de la mobilité durable*. En ligne : [mobi-o.ca/lecologie-routiere-alliee-sous-exploitee-de-la-mobilite-durable](https://mobi-o.ca/lecologie-routiere-alliee-sous-exploitee-de-la-mobilite-durable).

VGQ (2023a). *Conservation des chaussées du réseau routier*. Rapport du Vérificateur général du Québec, Chapitre 2. En ligne : [vgq.qc.ca/Fichiers/Publications/rapport-annuel/204/VGQ\\_nov2023\\_ch2\\_Chausse.pdf](https://vgq.qc.ca/Fichiers/Publications/rapport-annuel/204/VGQ_nov2023_ch2_Chausse.pdf).

VGQ (2023b). *Conservation des chaussées du réseau routier*. Observations de la commissaire au développement durable. En ligne : [vgq.qc.ca/Fichiers/Publications/rapport-annuel/204/VGQ\\_nov2023\\_ch2\\_Chausse\\_annexe.pdf](https://vgq.qc.ca/Fichiers/Publications/rapport-annuel/204/VGQ_nov2023_ch2_Chausse_annexe.pdf).

VGQ (2023c). *Adaptation aux changements climatiques : risques liés à l'érosion et à la submersion côtières*. Rapport de la commissaire au développement durable, Chapitre 2. En ligne : [vgq.qc.ca/Fichiers/Publications/rapport-cdd/202/02\\_cdd\\_ch02\\_avril2023\\_web.pdf](https://vgq.qc.ca/Fichiers/Publications/rapport-cdd/202/02_cdd_ch02_avril2023_web.pdf).

Warren, F., et N. Lulham (2021). *Le Canada dans un climat en changement – Rapport sur les enjeux nationaux*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 826 p.

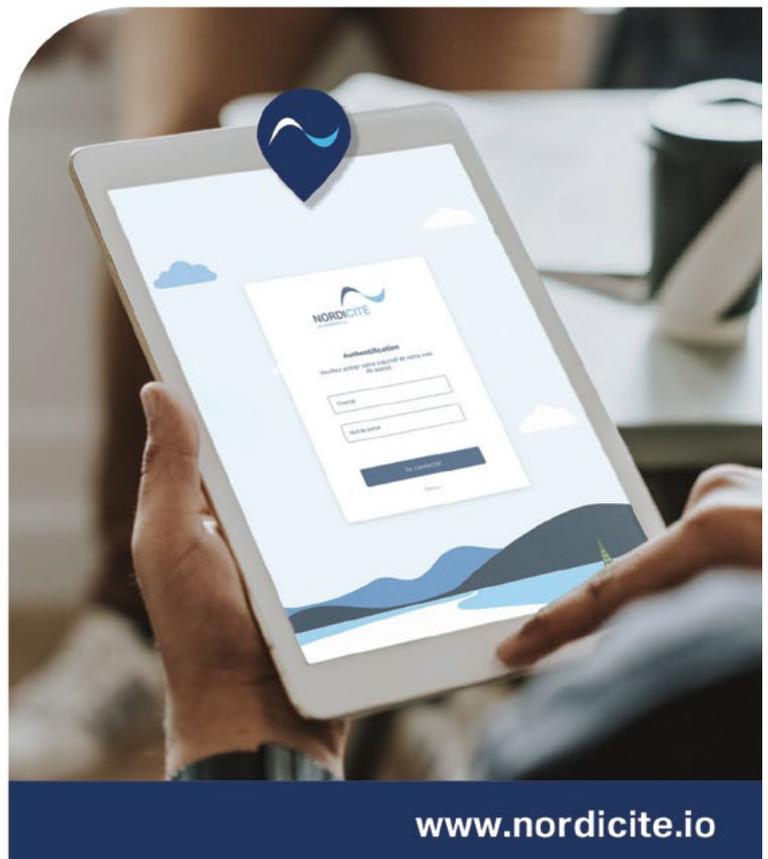
  
NORDICITÉ

75

**municipalités québécoises  
déjà connectées !**

**Prenez le contrôle de  
vos infrastructures d'eau  
grâce à Nordicité !**

 [info@nordicite.io](mailto:info@nordicite.io)



[www.nordicite.io](https://www.nordicite.io)

# Adaptation aux changements climatiques

## L'importance du cycle local de l'eau



PAR GABRIELLE ROY-GRÉGOIRE, M. Sc. Env.  
Chargée de projet, Eau Secours  
communautebleue@eausecours.org

**La vapeur d'eau est le gaz à effet de serre prédominant dans l'atmosphère (Daniel, 1999). L'eau et son cycle jouent un rôle déterminant dans la circulation et la transformation de l'énergie solaire. Face aux dérèglements climatiques croissants, il est impératif de s'intéresser au rôle de l'eau dans la régulation climatique et de l'intégrer dans l'adaptation des villes et municipalités au Québec.**

Le cycle de l'eau, globalement, suit le mouvement de l'eau dans les larges échanges entre les océans et la terre; il s'agit du grand cycle de l'eau. Le petit cycle de l'eau, pour sa part, est un cycle local qui décrit la circulation de l'eau dans une même zone. Influencés par la morphologie d'une région, par l'humidité et par les interactions avec les cycles environnants, les cycles locaux font circuler l'eau à travers les grandes étapes du cycle de l'eau – l'évaporation, la condensation et les précipitations – dans un même environnement. Il s'agit d'une circulation dite fermée.

Ce petit cycle de l'eau est crucial à notre approvisionnement en eau sur le territoire puisqu'il est estimé que 50 % à 65 % des précipitations annuelles sont engendrées par cette circulation locale (Kravčík et collab., 2007). La terre reçoit annuellement en moyenne 720 mm de précipitations, et plus de la moitié (soit 410 mm) proviendrait de l'évaporation locale de ses propres sols (Kravčík et collab., 2007, p. 17). Ce processus d'évaporation dépend de la disponibilité de l'eau dans les sols, alors que cette disponibilité est liée à la qualité du sol qui reçoit les précipitations. La bonne circulation locale de l'eau – qui engendre des effets refroidissants naturels sur un territoire et contribue à un climat stable – est donc étroitement reliée aux efforts de protection et de maintien des espaces naturels.

### Des processus de climatisation naturels

Walter Jehne explique que l'eau gouverne 95 % des dynamiques thermiques de la planète (Jehne, 2017). Le cycle de l'eau contribue à la régulation du climat avec des mécanismes de réchauffement, notamment par l'effet de serre (la vapeur d'eau



représente de 1 % à 4 % des gaz atmosphériques) (Jehne, 2017). Afin de limiter un effet de serre extrême, le cycle de l'eau permet également des mécanismes de refroidissement. Les nuages représentent le premier processus de refroidissement important du cycle de l'eau, et ce, pour trois raisons. D'abord, leur formation permet de retirer la vapeur d'eau chargée d'énergie de l'atmosphère en créant ces énormes masses d'eau dans le ciel. Ce changement d'état physique par condensation permet effectivement de transférer l'énergie de l'air aux nuages, retirant ainsi la chaleur de l'air. Ensuite, ceux-ci créent un effet d'albédo et réfléchissent une grande partie du rayonnement incident vers l'espace (Feldman, 2023). Il est estimé que 50 % de la planète est – en tout temps – recouverte de nuages qui réfléchissent en moyenne 120 watts par mètre carré (Kravčík et collab., 2007; Jehne, 2022). Finalement, les nuages causent les précipitations qui refroidissent la surface terrestre (Schwartz, 2018; Jehne, 2017).

Le second mécanisme de refroidissement du cycle de l'eau est l'évapotranspiration au sol. L'évaporation constitue un processus par lequel les sols et les surfaces humides transforment l'eau liquide en vapeur d'eau atmosphérique. La transpiration fait référence au procédé propre aux plantes de transpirer leur eau pour évacuer la chaleur. Les plantes emmagasinent de l'eau par leurs racines et la relâchent par les pores de leurs feuilles, appelés stomates. L'évapotranspiration, ce processus cumulatif d'évaporation d'eau, requiert 590 calories d'énergie (2 400 joules) pour chaque gramme d'eau transformé de l'état

liquide à l'état gazeux. Cela permet de transférer cette énergie thermique des plantes et du sol à la vapeur d'eau, qui l'emporte en altitude, où l'air ambiant est plus frais. Avec une disponibilité d'eau suffisante, certaines plantes peuvent évaporer plus de 20 litres d'eau par mètre carré au cours d'une journée ensoleillée, ce qui représente un transfert de plus de 11 millions de calories d'énergie (par m<sup>2</sup>) (Kučerová et collab., 2001). Ce système d'air conditionné naturel, porté par les végétaux, a un effet refroidissant exceptionnellement efficace. Finalement, l'eau – sous forme de vapeur – est transportée à des zones d'air plus frais où des noyaux de précipitations se forment grâce à la condensation, qui forment les nuages.

## Des conditions au maintien du cycle de l'eau

L'évapotranspiration et la stabilité du cycle de l'eau ne sont possibles qu'à condition d'avoir une disponibilité d'eau dans le sol, d'où l'importance des sols riches et de végétations qui permettent l'infiltration. Les sols agissent comme des éponges; ils permettent la rétention d'eau et assurent sa disponibilité pour la croissance des végétaux ainsi que pour alimenter le cycle hydrologique (Feldman, 2023). Plus les sols sont appauvris et asséchés, plus l'infiltration de l'eau en profondeur est difficile, ce qui engendre un ruissellement. Le cycle de l'eau fait donc face au défi de rétention de l'eau sur un territoire. Les nombreux usages du territoire (déforestation, agriculture intensive et urbanisation) ont mené à l'appauvrissement, à l'aridification et à la minéralisation des sols. Dans les villes et municipalités, la prédominance de béton et de bitume imperméabilise les sols et augmente de manière significative le ruissellement des eaux de pluie vers l'océan, hors de l'écosystème local.

Cet aménagement du territoire pose non seulement des risques en matière d'événements météorologiques extrêmes, mais cause un « déséquilibre permanent et systémique de l'eau sur un territoire » (Kravčík et collab., 2007, p. 50). Un effet de synergie mène à une intensification tangible, rapide et continue de changement climatique à une échelle régionale comme globale. Pour le climat, la végétation terrestre est essentielle pour la transformation de l'énergie solaire (Kravčík et collab., 2007). Sans les plantes, la majorité de cette énergie est transformée en chaleur sensible, ce qui accroît de manière considérable la température. La présence de végétation permet de convertir l'énergie solaire en chaleur latente (Kravčík et collab., 2007). Ce

phénomène, combiné à l'ombrage procuré par la canopée, permet cette fraîcheur caractéristique des espaces naturels et boisés.

## Vers une résilience territoriale

La restauration du cycle de l'eau est nécessaire et peut se faire en maintenant l'eau de précipitations dans le même environnement. Comme mentionné précédemment, un cycle de l'eau optimal propose des apports significatifs à l'adaptation aux changements climatiques qui bouleversent les modes de vie. En privilégiant les espaces végétalisés en milieu urbain et en restaurant la végétation sur le territoire, les populations du Québec peuvent bénéficier d'environnements mieux adaptés aux aléas climatiques et plus résilients aux événements météorologiques extrêmes. Des initiatives telles que Ville éponge sont intéressantes, mais la restauration du cycle de l'eau dans les communautés humaines demande de rompre avec les approches fragmentées, et exige une gestion intégrée et intersectorielle pour une transformation systémique. ●

## Références

- Daniel, J.-Y. (dir.) (1999). *Sciences de la Terre et de l'Univers*. Éditions Vuibert, Paris, 371 p.
- Feldman, J. (dir.). (2023). *Regenerating life* [Documentaire]. Hummingbird Films. En ligne : [hummingbirdfilms.com/regeneratinglife/story](https://hummingbirdfilms.com/regeneratinglife/story).
- Jehne, W. (2017). *Restoring Water Cycles to Naturally Cool Climates and Reverse Global Warming* [Communication orale]. Ateliers au Lake Morey Resort, au Vermont : Changements climatiques et mitigation climatique. En ligne : [youtube.com/watch?v=K4ygsdHJjdl](https://youtube.com/watch?v=K4ygsdHJjdl).
- Jehne, W. (2022). *Cooling the Climate Mess with Through Soil and Water* [Communication orale]. Série de conférences à Cambridge, au Massachusetts : *Biodiversity for a Livable Climate* en partenariat avec Life Saves the Planet. En ligne : [youtube.com/watch?v=t3rIkYUVq5c](https://youtube.com/watch?v=t3rIkYUVq5c).
- Kravčík, M., et collab. (2007). *Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm*. Krupa Print, Žilina, 94 p.
- Kučerová, A., et collab. (2001). « Evapotranspiration of small-scale constructed wetlands planted with ligneous species ». Dans : Vymazal, J. (dir.), *Transformations of nutrients in natural and constricted wetlands*, Backhuys, p. 413-427.
- Schwartz, J. (2018). *Climate Opportunities in Plain Sight: The Role of Water* [Communication orale]. Symposium à l'Université Concordia, à Montréal : *Living Soils Symposium*. En ligne : [youtube.com/watch?v=YFS0aOayNgs&t=1040s](https://youtube.com/watch?v=YFS0aOayNgs&t=1040s).

**STRATZER**  
CRÉATEUR DE SOLUTIONS  
EN ÉCONOMIE CIRCULAIRE ET  
EN GESTION DES MATIÈRES  
RÉSIDUELLES

[stratzer.ca](https://stratzer.ca)

# Gestion des résidus de CRD

## Le rôle crucial des municipalités



PAR **SANDRA MESSIH**, biol., M. Sc. Env.  
Cheffe de division, Stratzer  
s.messih@stratzer.ca

**Près du tiers des matières enfouies proviennent directement des chantiers de construction, de rénovation et de démolition (CRD). Les yeux sont tournés vers le gouvernement pour changer les choses, quoique cela puisse prendre des années avant de voir les changements réglementaires espérés. Toutefois, l'urgence d'agir est immédiate... Et si une partie de la solution provenait des municipalités?**

Les résidus de CRD font beaucoup parler d'eux depuis quelques années et, malheureusement, ce n'est pas toujours pour les bonnes raisons. En plus d'être éliminés en grande quantité, il n'est pas rare de lire des coupures de presse portant sur la disposition illégale de ces résidus par certains joueurs peu recommandables. Cette situation demeure préoccupante, malgré les objectifs de récupération ciblés par la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles et la Stratégie de valorisation de la matière organique (qui porte aussi sur le bois et les fibres) du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. Malgré une hausse du coût des redevances à l'enfouissement, la récupération des résidus de CRD n'est pas systématique dans plusieurs régions du Québec, et ce, en raison des tarifs plus avantageux pour l'élimination. En attendant des changements réglementaires qui s'imposent, les centres de tri de résidus de CRD subissent une pression sans précédent.

Or, plusieurs études ont été réalisées au cours des dernières années afin de mieux connaître la chaîne de valeur et le rôle des différentes parties prenantes qui la compose. Bien sûr, les centres de tri de résidus de CRD, les recycleurs et les conditionneurs en font partie, mais également les citoyens, les gestionnaires d'écocentres, les entrepreneurs ainsi que les donneurs d'ouvrage. Et c'est ici que les municipalités entrent en scène.

### Agir en amont

Certaines villes du Québec ont dû gérer quelques cas de disposition illégale de résidus de CRD : il s'agit de situations



coûteuses pouvant présenter des effets collatéraux importants (nuisances, contaminations possibles, risque sur la santé humaine, etc.). Souvent, des entrepreneurs confient leurs résidus de chantiers à une entreprise de location de conteneurs, étant certains que les matières seraient récupérées dans un centre de tri, alors que ce n'est pas le cas. Les failles du système actuel sont nombreuses et encouragent ce type de comportement.

Le Conseil des entreprises en technologies environnementales du Québec (CETEQ) a fait du contrôle environnemental l'un de



Nettoyage d'un terrain à Mascouche, où plus de 50 000 tonnes de résidus de CRD ont été entreposées illégalement.

« Or, le meilleur contrôle environnemental est celui qui n'a pas besoin d'être réalisé. Un site illégal d'entreposage coûte des millions de dollars à la société pour le nettoyage, alors que certaines actions à mettre en place en amont représentent un coût minime. »

ses principaux chantiers. « Ces entreprises malveillantes font mal à l'industrie, qui doit constamment se battre contre elles. Leurs comportements nivellent vers le bas les initiatives de nos membres et fragilisent l'ensemble de la chaîne de valeur », souligne Kevin Morin, directeur général du CETEQ.

Or, le meilleur contrôle environnemental est celui qui n'a pas besoin d'être réalisé. Un site illégal d'entreposage coûte des millions de dollars à la société pour le nettoyage, alors que certaines actions à mettre en place en amont représentent un coût minime.

### Des actions concrètes et accessibles pour les municipalités

Bien que les récents plans de gestion des matières résiduelles (PGMR) adoptés par les MRC du Québec visent concrètement des objectifs de valorisation des résidus de CRD, leur application est souvent de compétence municipale. En effet, plusieurs mesures dans les différents PGMR visent des actions d'écofiscalité ou des exigences de valorisation en lien avec l'émission de permis de construction. Or, peu de cas sont existants à ce niveau au Québec, malgré la bonne volonté des organisations municipales.

Mais agir en amont peut également se présenter autrement : en prêchant par l'exemple et en réglementant certaines exigences aux donneurs d'ouvrage sur le territoire de la municipalité. En tant que donneur d'ordres, les municipalités peuvent :

- **Exiger la traçabilité des matières résiduelles d'un chantier** : la plus importante erreur est de croire que les conteneurs d'un chantier se rendront à un centre de tri, et ce, sans validation. Un billet de pesée pourrait suffire, mais des validations doivent être faites en matière de nombres de conteneurs, du respect de la destination identifiée dans les documents d'appel d'offres, des quantités acheminées, etc. De plus, une récente étude réalisée pour le compte de RECYC-QUÉBEC a permis de démontrer l'importance et la faisabilité de la traçabilité dans l'industrie (Stratzer, 2023a). L'un des importants constats de ce projet a permis de confirmer que les centres de tri de résidus de CRD – reconnus par le programme de reconnaissance de RECYC-QUÉBEC (RECYC-QUÉBEC, 2023) – possédaient tous un système de traçabilité efficace et fiable.
- **Exiger la production d'un plan de gestion de résidus de construction (PGRC) à l'entrepreneur** : une récente étude commandée par l'Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec a permis de démontrer la pertinence d'une telle démarche (Stratzer, 2023b). Les entrepreneurs doivent déclarer, à l'aide d'un formulaire

à remplir, les matières résiduelles qui seront générées lors du chantier et des modes de gestion prévus pour chacune. La structure du PGRC se doit d'être rapide à remplir, mais le simple exercice force l'entrepreneur à réaliser certaines validations et à prendre de meilleures décisions.

- **Favoriser l'usage d'appels d'offres qualitatifs (permettant d'inclure des critères environnementaux)** : en effet, l'adjudication de contrats municipaux au plus bas soumissionnaire conforme favorise les entreprises potentiellement délinquantes. Les municipalités possèdent tous les outils pour contrer ce phénomène. Par exemple, le mode d'adjudication de contrat qualitatif à une enveloppe (dont le prix fait partie des critères) s'applique très bien à ce contexte.
- **Comprendre les répercussions des exigences du devis technique** : il est essentiel de garder en tête le contexte de l'industrie afin d'exiger des résultats réalistes. Par exemple, si un écocentre fait un excellent tri à la source du bois et du métal, il est peu réaliste d'exiger un taux de valorisation élevé pour le conteneur de résidus de CRD pêle-mêle envoyé en centre de tri.

### De bonnes pratiques qui peuvent changer les choses

Bien qu'une prise de conscience soit de plus en plus observée dans l'industrie de la construction, les démarches entreprises demeurent volontaires. Or, pour favoriser un changement de masse et ne pas viser seulement les entrepreneurs les plus motivés, opter pour une intégration de ces exigences dans les devis techniques, par les donneurs d'ouvrage, représente une solution qui a déjà fait ses preuves. Si l'encadrement des pratiques sur le territoire d'une municipalité peut paraître d'abord complexe et qu'une coordination à plus grande échelle peut prendre du temps, l'application de ces bonnes pratiques pour les chantiers municipaux serait une première étape logique, en prêchant par l'exemple. Et il n'est pas question ici de bâtiments certifiés LEED, souvent plus dispendieux. Il est plutôt question de bonnes pratiques à moindre coût, mais qui donnent des résultats concluants et structurants pour toute une industrie. ●

### Références

RECYC-QUÉBEC (2023). *Programme de reconnaissance des centres de tri de résidus de construction, rénovation et démolition (CRD)*. En ligne : [recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/programme-reconnaissance-centre-de-tri-description.pdf](https://recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/programme-reconnaissance-centre-de-tri-description.pdf).

Stratzer (2023a). *Projets pilotes de traçabilité des résidus de construction – rénovation – démolition*. En ligne : [recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/projets-pilotes-tracabilite-crd-stratzer.pdf](https://recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/projets-pilotes-tracabilite-crd-stratzer.pdf).

Stratzer (2023b). *Projet pilote de tri sur chantier*. En ligne : [apchq.com/download/ab367e1f61f7f3f59cd8068262876a04ae480cc5.pdf](https://apchq.com/download/ab367e1f61f7f3f59cd8068262876a04ae480cc5.pdf).

# Mutualisation logistique Pour diminuer les émissions de GES!



PAR **MATHILDE VINCENT**  
Étudiante à la maîtrise en environnement,  
Centre universitaire de formation en  
environnement et développement durable,  
Université de Sherbrooke  
mathilde.vincent@usherbrooke.ca



ET PAR **ANA OLIVEIRA**  
Enseignante au Centre universitaire de  
formation en environnement et développement  
durable, Université de Sherbrooke

**Entre l'électrification des transports et la recherche dans le développement de nouvelles énergies vertes, les stratégies d'efficacité énergétique restent souvent à l'arrière-plan. Or, la mutualisation logistique constitue un moyen concret et novateur de diminuer les émissions de gaz à effet de serre (GES) générées par le transport de marchandises.**

Le concept de la mutualisation logistique intègre les notions de consolidation des flux de matières et de collaboration à un niveau supérieur entre des entreprises : on parle d'une véritable coalition entre les acteurs servant à gérer les activités de logistique de l'ensemble des entreprises impliquées, comme si elles ne formaient qu'un tout. Ces entreprises s'engagent donc dans une démarche de coconception d'un réseau logistique partagé (Pan, 2010).

## Grands principes de la mutualisation logistique

La mutualisation logistique est une façon de fusionner les chaînes d'approvisionnement – qui sont actuellement considérées de manière distincte – pour l'atteinte d'un optimum environnemental, social et économique, de sorte à trouver des redondances de

« La mutualisation logistique est une façon de fusionner les chaînes d'approvisionnement – qui sont actuellement considérées de manière distincte – pour l'atteinte d'un optimum environnemental, social et économique [...] »



trajets et ainsi « massifier » les flux sur les chemins récurrents. L'objectif est donc de diminuer les distances parcourues, le nombre de camions sur les routes et les émissions de GES générées par le transport de marchandises.

Plusieurs questions se posent lors de la mise sur pied d'un projet de mutualisation : quelles entreprises peuvent se joindre à la coalition ; comment répartir les bénéfices réalisés ou les économies ; comment arriver à l'équité entre des membres qui ont des apports différents à la relation commune ; quel réseau logistique est le plus optimal ? Pour certaines de ces questions, la théorie des jeux collaboratifs offre des pistes de réponse satisfaisantes.

L'initiation d'une telle démarche peut être faite par un regroupement d'entreprises ou par un prestataire logistique tiers. Au départ, l'entité initiatrice calcule l'apport à la mutualisation de chacune des entreprises qu'elle prévoit approcher pour intégrer le projet, soit la réduction des coûts et les gains

TABLEAU 1

**Principes généraux de conception d'un réseau mutualisé (Pan, 2010)**

PRINCIPE	EXPLICATION
Mutualisation par famille de produit	Regroupement des flux compatibles pour le transport et pour le stockage.
Mutualisation des entrepôts par proximité des expéditions	Mutualisation des fournisseurs pour réduire les distances parcourues en amont.
Mutualisation des plateformes par proximité des livraisons	Mutualisation en aval des plateformes qui desservent des points de vente d'une même zone.
Mutualisation des moyens de transport	Optimisation des moyens de transport nécessaires à la coalition.
Mutualisation des réseaux logistiques	Identification des chemins logistiques récurrents.

financiers qu'il sera possible de réaliser grâce au nouveau réseau d'activités logistiques. Elle pourra ensuite approcher de potentiels partenaires dans un ordre qui garantit l'amélioration des gains, individuellement et collectivement. La conception d'un tel réseau logistique mutualisé se base sur les stratégies présentées au tableau 1.

**Avantages environnementaux**

Du point de vue environnemental, l'instauration d'une mutualisation logistique permet la réduction des émissions de GES associées au transport de marchandises. En effet, l'installation d'entrepôts et de plateformes mutualisées ainsi que la planification optimale des tournées de clients sont des stratégies permettant la réduction du nombre de kilomètres parcourus, ce qui implique une diminution dans la consommation de carburant et donc une réduction des émissions des GES (Pan et collab., 2013; Sanchez et collab., 2016).

**Avantages sociétaux**

Du point de vue sociétal, un système de mutualisation logistique permet, en réduisant les distances parcourues ainsi que le nombre de camions lourds sur la route, de diminuer par le fait même le nombre d'accidents et la congestion sur les routes et aux abords des zones logistiques. Bien que ces dernières soient rarement situées dans des aires résidentielles, l'accentuation du blocage des rues et des nuisances sonores peut se faire ressentir bien à l'extérieur de ces zones, ce qui crée des nuisances à la population générale (Moutaoukil et collab., 2013).

**Avantages économiques**

Sur le plan économique, la mise en place d'une mutualisation logistique permet la diminution des coûts totaux associés à la logistique. En effet, la mutualisation logistique implique une diminution de la fréquence de l'utilisation des ressources et du nombre de ressources utilisées, en réalisant un partage entre les entités participantes. Ce partage permet donc aux entreprises de se diviser les coûts de logistique, d'augmenter le taux de remplissage des camions, et donc de réduire leurs coûts logistiques comparativement à la gestion d'un réseau logistique individualisé. Des économies d'échelle, de meilleurs

niveaux de service ainsi qu'une meilleure estimation de la demande du client final à travers la chaîne sont aussi des effets à prévoir (Dirksen et Magnin, 2017).

**L'avenir de la mutualisation logistique au Québec**

La mutualisation logistique est une technique d'optimisation des réseaux encore peu utilisée dans les pratiques québécoises de logistique. Cette façon nouvelle de concevoir les chaînes d'approvisionnement comme un tout interrelié – plutôt qu'en silo – présente une solution intéressante aux enjeux du développement durable. De plus, dans l'application de la mutualisation logistique, un système à plus large échelle serait à considérer. En effet, les itérations les plus complexes actuelles sont établies entre quelques entreprises seulement, alors qu'il serait intéressant de considérer le besoin de transport à l'échelle des parcs industriels, puisque d'importants volumes transitent chaque jour depuis et vers ces espaces. Cette optimisation des réseaux logistiques pourrait faire partie d'un arsenal complémentaire de stratégies visant à contribuer aux efforts du gouvernement à réduire l'impact des industries sur l'environnement. ●

**Références**

Dirksen, M., et G. Magnin (2017). « Evaluation of synergy potentials in transportation networks managed by a fourth party logistics provider ». *Transportation Research Procedia*, vol. 25, p. 824-841.

Moutaoukil, A., et collab. (2013). *Modélisation d'une stratégie de mutualisation logistique en intégrant les objectifs de développement durable pour des PME agroalimentaires*. En ligne : hal.science/hal-00961521.

Pan, S. (2010). *Contribution à la définition et à l'évaluation de la mutualisation de chaînes logistiques pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du transport : application au cas de la grande distribution*, Thèse (Ph. D.), École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 267 p.

Pan, S., et collab. (2013). « The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains ». *International Journal of Production Economics*, vol. 143, n° 1, p. 86-94.

Sanchez, M., et collab. (2016). « Reducing the carbon footprint in a vehicle routing problem by pooling resources from different companies ». *NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking*, vol. 17, n° 1, p. 29-45.

# Traçabilité des sols contaminés

## Un concept devenu réalité



PAR GHISLAIN VALLÉE  
Conseiller en environnement, Attestra  
gvallee@attestra.com

Depuis les années 1990, la gestion des sols contaminés et les déversements illégaux sont des préoccupations croissantes au Québec en raison des risques environnementaux, économiques et sanitaires qu'ils représentent. En réponse à ces problématiques, la création d'un système de traçabilité a vu le jour. Voici un survol des données de Traces Québec, la première solution intégrée de traçabilité des sols contaminés au Québec.

En réponse à la problématique des déversements illégaux de sols contaminés, l'idée de la création d'un système de traçabilité a vu le jour au ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) et chez Réseau Environnement en 2016. Le concept de traçabilité a été par la suite intégré au Plan d'action 2017-2021 de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés.

À l'automne 2017, Réseau Environnement a présenté Traces Québec au colloque du secteur Sols et Eaux souterraines. Traces Québec offre alors la première solution intégrée de traçabilité des sols contaminés au Québec.

### Projet pilote : ancienne cour de voirie d'Outremont

En mars 2018, la Ville de Montréal – en collaboration avec le MELCCFP – a participé au 1<sup>er</sup> projet pilote permettant de suivre le déplacement des sols contaminés, dans le cadre des travaux de réhabilitation de l'ancienne cour de voirie d'Outremont. Réseau Environnement a été mandaté pour effectuer la traçabilité avec le système Traces Québec (le nom et le logo de Traces Québec sont désormais la propriété du MELCCFP). Le gouvernement québécois visait ainsi à recueillir des données, afin de lui permettre notamment d'élaborer une nouvelle réglementation à ce sujet.

Lors du projet pilote, plus de 80 000 tonnes (t) de sols ont été tracées. Les données recueillies ont permis de démontrer l'efficacité d'un système de traçabilité pour les sols contaminés.

L'ensemble des projets réalisés avant la mise en vigueur du *Règlement concernant la traçabilité des sols contaminés*



excavés (RCTSCE), le 1<sup>er</sup> novembre 2021, a permis de tracer plus 450 000 t de sols contaminés et de matières résiduelles.

### Pourquoi la traçabilité ?

La traçabilité des sols contaminés permet de suivre le parcours des sols depuis leur lieu d'excavation jusqu'à leur destination finale. Cela est crucial pour plusieurs raisons :

- La traçabilité permet de suivre les mouvements de sols contaminés et de s'assurer que ces derniers ne sont pas déplacés ou réutilisés dans des contextes inappropriés ;
- Elle permet de réduire les risques pour la santé humaine en contrôlant les sites où les sols contaminés sont entreposés, traités, valorisés ou éliminés ;
- Les entreprises et les organismes doivent rendre compte de la gestion des sols contaminés, ce qui favorise la transparence et la responsabilité ;
- Dans un cadre réglementaire strict, la traçabilité permet de réduire les déversements illégaux ;
- Elle permet d'obtenir un portrait clair et précis sur la gestion des sols contaminés au Québec.

### Analyse des données au Québec

Grâce à l'analyse des données provenant de la traçabilité, il est maintenant possible d'estimer le volume annuel de sols contaminés excavés et transportés hors des terrains d'origine, selon la plage de contamination et les types de contaminants.

Chaque année, environ 7 millions de tonnes de sols contaminés sont excavées et transportées hors du terrain d'origine. Ces sols proviennent de diverses sources, notamment des sites industriels, des travaux de construction et de réhabilitation de terrains. La quantité exacte peut varier, mais les efforts pour gérer ces sols de manière responsable sont constants.

Dans le contexte de l'économie circulaire, l'analyse des données pour les sols contaminés peut jouer un rôle important en contribuant à une gestion plus efficace et durable des ressources.

### Données statistiques

Avec la mise en vigueur progressive du RCTSCE, les données recueillies ont fourni un aperçu de la situation des sols contaminés au Québec (ces données excluent les volumes de sols sortant des lieux récepteurs participants à des projets).

### Nombre de projets : mise en vigueur progressive 2022-2023

En comparant le nombre de projets inscrits entre 2022 et 2023, les données montrent que les projets de moins de 1 000 t représentent 89 % des projets. Le nombre de projets actifs a été multiplié par huit en 2023 (figure 1).

### Tonnage : mise en vigueur progressive 2022-2023

Le tonnage inscrit aux bordereaux de suivi par les lieux récepteurs, pour la période du 1<sup>er</sup> janvier 2022 au 31 décembre 2023, démontre que les projets de moins de 1 000 t représentent 50 % des sols contaminés tracés (figure 2).

### Tonnage tracé par mois

Les données recueillies montrent qu'en fonction de la mise en vigueur progressive du RCTSCE, les volumes tracés suivent la même courbe de projection, mais avec une augmentation des volumes (qui devrait être comparable pour 2023 et 2024).

FIGURE 1  
Projets – Mise en vigueur progressive

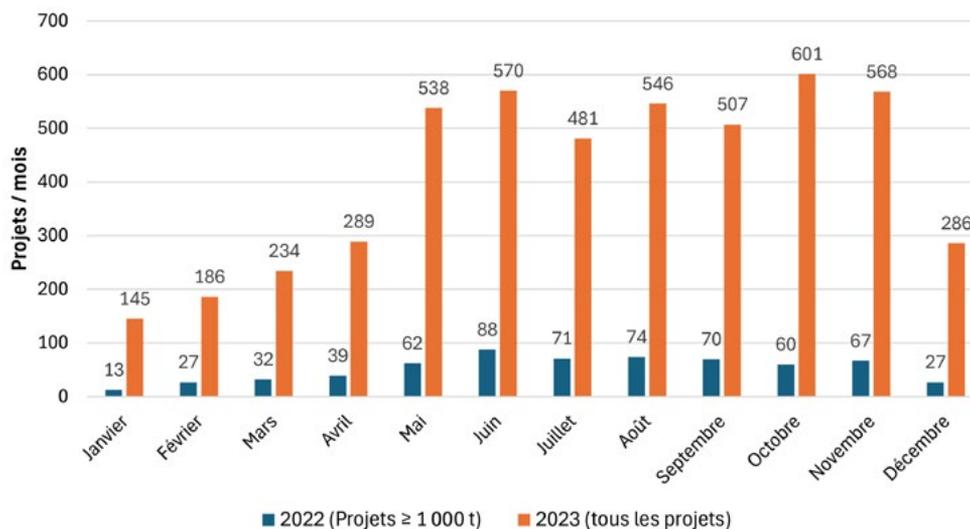
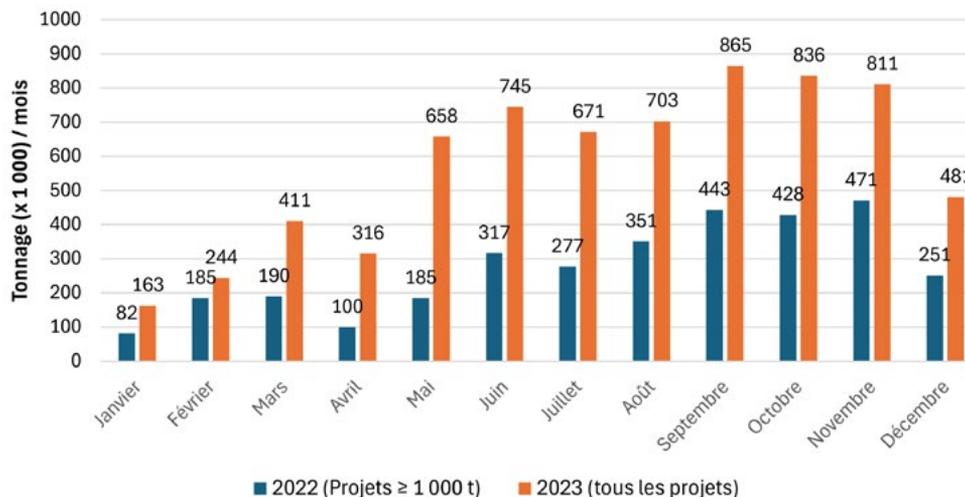


FIGURE 2  
Tonnage – Mise en vigueur progressive



À partir des données recueillies, la période la plus active pour les travaux d'excavation s'échelonne de mai à novembre (figure 3). Pour l'année 2022, la période la moins active – de décembre à avril – représente environ 24,6 % des sols tracés, et pour l'année 2023, elle représente 18,8 %. Cette information indique que les projets de moins de 1 000 t sont exécutés majoritairement en haute saison.

### Tonnage selon la plage de contamination

Pour tous les types de projets en 2023, les données recueillies montrent que les sols A-B représentent 64 % des

sols tracés (figure 4). Les sols « découverte fortuite/inconnu » représenteraient 1 % des sols tracés. Il est à noter que 59 % de ces sols proviennent des projets de type « rejets accidentels ».

### Tonnage selon la plage de contaminations

Pour les projets de type « rejets accidentels » réalisés en 2023, les données recueillies démontrent que les sols dont la plage de contamination est « inconnue » représentent 59 % des sols tracés, mais seulement 1 % du tonnage annuel pour tous les types de projets (figure 5). ●

FIGURE 3  
Tonnage tracé – Novembre 2021 à mars 2024

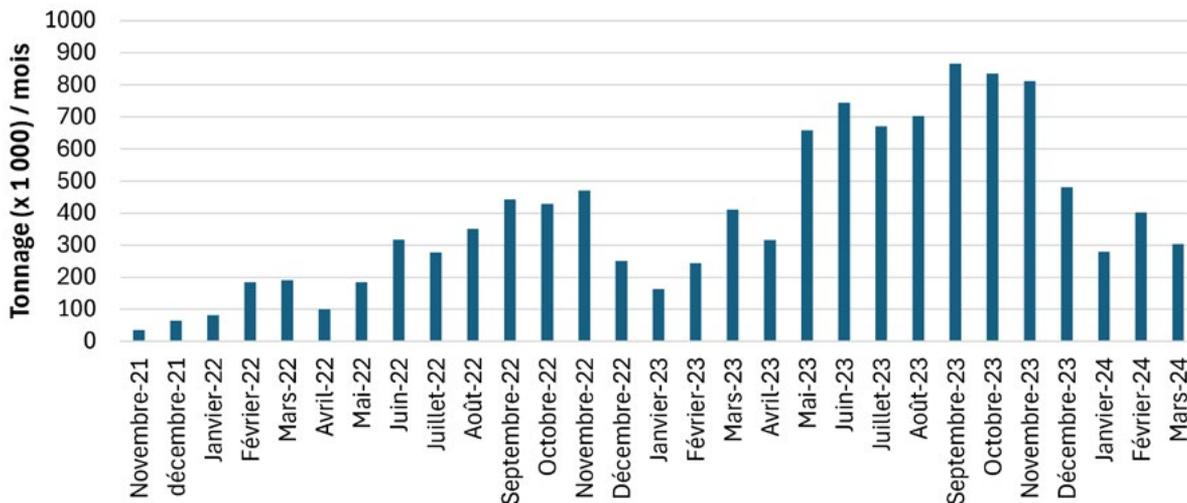


FIGURE 4  
Sols provenant de projets selon la plage de contamination pour l'année 2023

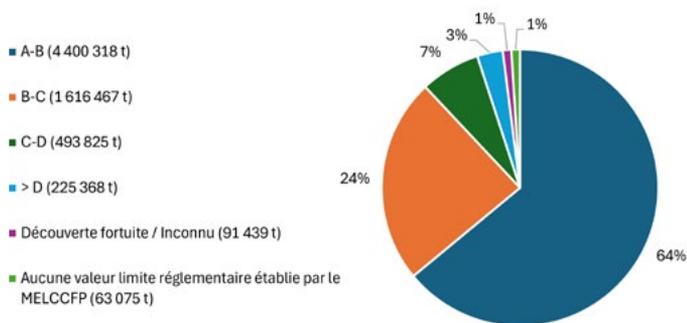
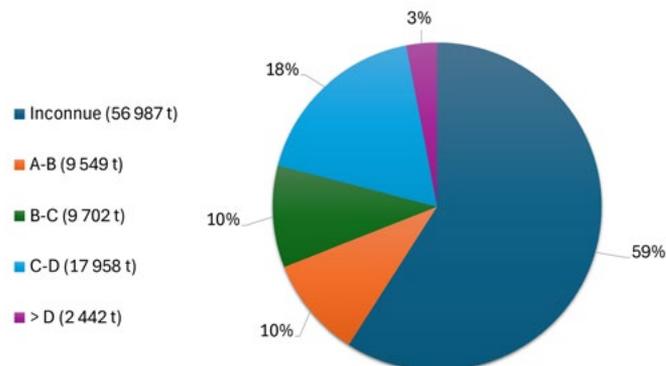


FIGURE 5  
Sols provenant de projets de type « rejets accidentels » selon la plage de contamination pour l'année 2023



## ASSURER UN MEILLEUR CONTRÔLE DE LA TRAÇABILITÉ

### Par le secteur Sols et Eaux souterraines de Réseau Environnement

Le 15 décembre dernier, Réseau Environnement et le Conseil des entreprises en technologies environnementales du Québec transmettaient au MELCCFP une lettre pour l'amélioration du RCTSCE qui se résume en cinq points :

1. Cibler des vérifications sur les chantiers et les publiciser;
2. Impliquer les contrôleurs routiers;
3. Mettre en place un signalement automatique des excavations;
4. Sensibiliser les propriétaires de terres agricoles et de sablières;
5. Intervenir fortement dès maintenant.

Malheureusement, il continue d'y avoir de la disposition de sols dans des milieux sensibles et des terres agricoles sans qu'il y ait de contrôle. À la suite de certaines conférences au Salon des technologies environnementales du Québec, les statistiques analytiques démontrent que la majorité des sols en milieux urbains sont contaminés au-delà du critère générique « A ». Cette statistique implique que tous les sols en provenance de milieux urbains devraient être tracés.

Certains terrains qui ne sont pas visés par des caractérisations obligatoires sont prétendus non contaminés par leur propriétaire – sans aucune analyse pour appuyer leurs dires –, et ils sont disposés dans la nature.

Ainsi, Réseau Environnement recommande que tout lieu récepteur de sols de plus de 200 tonnes, peu importe le critère des sols, ait l'obligation de contrôler par des analyses chimiques le niveau de contamination des sols reçus, comme mentionné dans la procédure décrite dans le RCTSCE. Cette recommandation devrait se faire par réglementation pour donner les pouvoirs au MELCCFP d'intervenir sur les lieux récepteurs de sols.

« Ainsi, Réseau Environnement recommande que tout lieu récepteur de sols de plus de 200 tonnes, peu importe le critère des sols, ait l'obligation de contrôler par des analyses chimiques le niveau de contamination des sols reçus, comme mentionné dans la procédure décrite dans le RCTSCE. »



## ENSEMBLE POUR RÉUSSIR

Avec une présence dans **14 places d'affaires** réparties dans **8 régions du Québec**, Cain Lamarre offre un niveau d'expertise élevé ainsi qu'une compréhension approfondie des contextes locaux.

Son équipe de **professionnels spécialisés en droit environnemental et économie verte** travaille quotidiennement avec une multitude de lois spécifiques, garantissant le respect de ces règlements devant les tribunaux afin de répondre aux besoins variés de sa clientèle.



CAIN LAMARRE.CA

# Résilience aux changements climatiques

## Création d'une forêt sur d'anciennes terres agricoles



PAR **DANIEL KNEESHAW**  
Professeur au Département des sciences biologiques de l'UQAM, codirecteur du Centre d'étude de la forêt  
kneeshaw.daniel@uqam.ca



ET PAR **DOMINIQUE TARDIF**, biologiste  
Professionnelle de recherche, Centre d'étude de la forêt



**Le sud du Québec abrite la plus grande biodiversité de la province, mais est également ciblé pour la construction de nouvelles infrastructures. Les répercussions de ce développement peuvent entraîner des conséquences désastreuses sur la biodiversité et les services écosystémiques. La perte des milieux naturels dans les régions anthropomorphisées est un enjeu d'envergure pour lequel des solutions doivent être mises en place.**

### Détruire pour mieux reconstruire ?

Les zones de conservation dans les régions peuplées au sud de la province sont souvent sous les normes internationales de conservation, et l'accélération de la construction d'infrastructures humaines continue à diminuer le pourcentage d'écosystèmes naturels (Kraus et Hebb, 2020). Pour pallier ces enjeux, de plus en plus de projets de compensation et de restauration voient le jour comme complément à l'établissement des aires de conservation (Jackson, 1992). Néanmoins, ces projets ne prennent souvent en compte que la plantation d'individus ligneux et omettent de considérer les autres valeurs qui composent une forêt, soit la diversité végétale, faunique et du sol. À ce propos, la nouvelle loi québécoise sur l'aménagement durable du territoire forestier met maintenant en évidence le fait qu'un aménagement écosystémique doit être mis de l'avant dans le cadre de projets de compensation afin de contribuer à un aménagement durable des forêts.

### Une approche écosystémique : élargir ses horizons

Pour remplir les fonctions écologiques et servir d'habitat aux espèces sauvages adaptées aux forêts matures, il est nécessaire

d'accélérer la succession et de créer rapidement des forêts. Cependant, de nombreux défenseurs de l'environnement mettent en garde contre cette pratique, estimant que les raccourcis sont rarement couronnés de succès (Hilderbrand et collab., 2005). En contrepartie (et en appui avec l'approche écosystémique), la foresterie s'efforce – depuis quelques décennies – de laisser des arbres de rétention dans les zones de coupe pour servir de bouées de sauvetage à la biodiversité (Mori et Kitagawa, 2014). Le concept est que les arbres isolés et les groupes d'arbres matures serviront de base structurelle à la forêt en développement et maintiendront ainsi certains habitats et certaines fonctions. Inspirée par cette approche et armée de connaissances sur l'importance des éléments structurels (tels que les grands arbres vivants et morts pour la biodiversité et le fonctionnement de l'écosystème), l'équipe a souhaité créer une telle structure verticale et horizontale sur d'anciennes terres agricoles. Il est surprenant de constater qu'aussi convaincant que soit ce concept, il n'avait pas été testé dans le cadre de restauration écologique.

### Faire preuve de créativité : des pratiques innovantes

Sur un site où la construction d'une autoroute a entraîné un déboisement des forêts présentes sur le tracé routier, l'occasion de tester cette approche s'est présentée. Une partie du test consistait à déplacer de grands arbres (jusqu'à 25 cm de diamètre), qui autrement auraient été coupés, à l'aide d'une transplanteuse d'arbres matures jusqu'au lot agricole (voir la

photo dans le bas de la page). Les patrons de plantations pour ces arbres étaient alors inspirés du concept de rétention forestière où certains arbres matures transplantés étaient regroupés et d'autres isolés. À travers ces arbres matures, une plantation d'arbres de différentes dimensions (incluant des espèces à statut) en sous-étage a été réalisée pour assurer le développement d'une forêt multiétage.

Certains des arbres qui ne pouvaient pas être déplacés (trop gros, systèmes racinaires entrelacés, poussant dans des endroits rocheux, etc.) ont été coupés et déplacés en tant que débris ligneux typiques des environnements forestiers. Des legs biologiques similaires (branches, feuilles, sol forestier et organismes vivants dans le sol comme les mycorhizes et les bactéries) ont également été déplacés de l'intérieur des forêts adjacentes vers le site de restauration. Déjà après quelques années, des espèces à statut et présentes dans la forêt adjacente ont été retrouvées parmi la flore installée dans les traitements testés. Accessoirement, plusieurs oiseaux ont été observés dans la parcelle agricole restaurée et des nidifications ont été constatées dans cette nouvelle forêt.

Au fil des années et à plus grande échelle, une diversité d'arbres de différentes espèces plantées à de multiples densités est à faire pour augmenter la résilience de la nouvelle forêt à différents ravageurs et aux aléas climatiques. L'équipe de recherche évaluera non seulement l'effet des densités de plantation, des compositions d'espèces (diversité par rapport aux stades de

« Déjà après quelques années, des espèces à statut et présentes dans la forêt adjacente ont été retrouvées parmi la flore installée dans les traitements testés. »

succession) et des provenances (jardin commun de différentes populations) sur la structure forestière et la résilience aux changements globaux, mais aussi sur la réponse faunique et le bilan de carbone du site.

### Inclusivité et perspectives

Cette approche écosystémique appliquée pour compenser la construction d'une autoroute apporte son lot d'innovations. Entre autres, jusqu'à présent, les plans de carboneutralité de plusieurs constructeurs ne prenaient en considération que le carbone terrestre, bien que ces projets d'infrastructures aient une incidence sur le carbone aquatique. De même, les projets d'infrastructures routières considèrent spécifiquement les effets du bruit sur les humains, alors qu'en campagne, c'est la faune qui est affectée quand les cris d'alertes, les chants pour attirer un partenaire ou encore l'écholocation sont masqués. Par conséquent, des mesures et des interventions d'atténuation de bruit doivent aussi être mises en place en région rurale. Habituellement, les projets de compensation ont également tendance à se concentrer davantage sur les composantes de la végétation plutôt que de se questionner de son utilité pour la faune, alors que l'amélioration de l'habitat pour la faune est souvent l'un des objectifs des projets de restauration. Une évaluation récente de projets menés dans quatre pays différents a montré qu'aucun d'entre eux n'avait permis de restaurer la biodiversité en raison de l'absence de politiques et d'objectifs clairs en la matière (Sonter et collab., 2020). C'est un vide que les recherches contribueront à combler, tout en insistant sur la structure et la résilience de la future forêt. ●

### Références

Hilderbrand, R. H., et collab. (2005). « The myths of restoration ecology ». *Ecology and society*, vol. 10, n° 1.

Jackson, L. L. (1992). « The role of ecological restoration in conservation biology ». Dans : Fiedler, P.L., et S. K. Jain (dir.), *Conservation Biology: The Theory and Practice of Nature Conservation Preservation and Management*, p. 433-451.

Kraus, D., et A. Hebb (2020). « Southern Canada's crisis ecoregions: identifying the most significant and threatened places for biodiversity conservation ». *Biodiversity and Conservation*, vol. 29, n° 13, p. 3573-3590.

Mori, A. S., et R. Kitagawa (2014). « Retention forestry as a major paradigm for safeguarding forest biodiversity in productive landscapes: A global meta-analysis ». *Biological Conservation*, vol. 175, p. 65-73.

Sonter, L. J., et collab. (2020). « Local conditions and policy design determine whether ecological compensation can achieve No Net Loss goals ». *Nature Communications*, vol. 11.



© Dominique Tardif

Transplanteuse en terre agricole.

# Municipalités et environnement

## Améliorons la formation des élues et élus



PAR **MARC-ANDRÉ GUERTIN**, M. Sc.  
Docteur en sciences de l'environnement,  
Université du Québec à Montréal



ET PAR **GENEVIÈVE RAJOTTE SAURIOL**, M. Env.  
Stratège, Bleu forêt, coop de communication  
responsable

**Les municipalités jouent un rôle primordial dans la transition écologique. Or, les personnes élues n'ont pas toujours le bagage nécessaire pour intervenir sur les questions environnementales. Pour écologiser le milieu municipal québécois, la formation relative à l'environnement des élues et élus doit être adaptée à son public et au contexte. C'est du moins ce que démontrent les résultats de travaux de recherche sur le sujet.**

### Faire face à la turbulence : des élues et élus peu préparés

Au Québec, plus de 8 000 personnes sont élues au sein de 1 107 municipalités. Fréquemment et intensément, elles sont interpellées par les manifestations de la crise climatique qui ont des répercussions à la fois sur l'environnement, les infrastructures, les activités économiques, la sécurité et la santé humaine.

Bien qu'on ait assisté à une vague de candidatures vertes en 2021, la légitimité démocratique n'est pas garante de compétences ni en affaires municipales ni en environnement (Grenier et Mévellec, 2016; Guertin et Rajotte Sauriol, 2022). Les mairesses et maires ainsi que les conseillères et conseillers sont catapultés dans l'arène politique sans exigence particulière. Pour compenser un certain manque d'habiletés sur le plan environnemental, des spécialistes du domaine de l'environnement s'affairent à former les personnes élues.

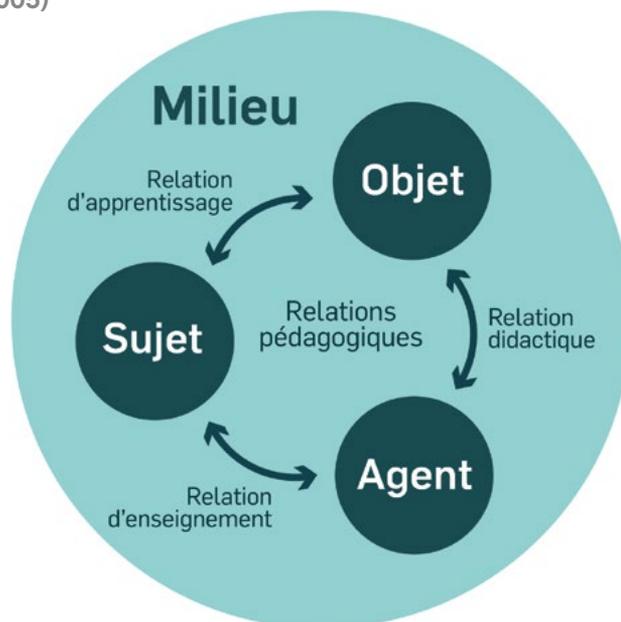
### Pleins feux sur l'objet

L'analyse des formations relatives à l'environnement offertes aux élues et élus permet de constater que celles-ci ne sont pas toujours



adaptées aux besoins des membres des conseils municipaux. L'accent est trop souvent mis sur l'objet (environnement) sans tenir compte du sujet (personne élue), de l'agent (personne qui forme) ou du milieu municipal (Guertin, 2021).

FIGURE 1  
Modèle SOMA de la situation pédagogique (Legendre, 2005)



« Pour amener les membres des conseils municipaux à développer des compétences critiques sur les questions environnementales, trois stratégies pédagogiques sont proposées, soit l'autoformation, la communauté d'apprentissage et la formation structurée en contexte non formel [...] »

Avec ce type de relation, on se retrouve davantage dans une dynamique de didactique et d'enseignement que dans une dynamique d'apprentissage ou de pédagogie (figure 1), campant les élues et élus dans un rôle passif. La croyance selon laquelle la simple transmission de connaissances est suffisante pour inciter les gens à passer à l'action est d'ailleurs un biais que l'on rencontre dans le domaine de l'environnement.

Trop souvent, la personne apprenante et son contexte professionnel ne sont pas considérés. Après avoir réalisé 24 entretiens semi-dirigés et 3 entretiens de groupe auprès des personnes élues, on arrive à dresser un portrait plus exhaustif des besoins et des contraintes de ce public particulier.

Les questions environnementales peuvent prendre des années à être maîtrisées et font appel à des savoirs de haut niveau. Les nouveaux membres du conseil doivent prioritairement comprendre le cadre légal municipal et sont submergés de rapports au quotidien. Par ailleurs, leur horaire et leur dispersion géographique rendent ardue la participation à des formations en présentiel. Sans oublier que les besoins spécifiques des milieux urbains et ruraux ne sont pas satisfaits par des formations génériques (Guertin, 2021).

### Accélérer la transition par la formation continue

La table est donc mise pour la troisième avenue en matière de formation relative à l'environnement qu'est la perspective pédagogique. Les pédagogues perçoivent l'éducation relative à l'environnement comme une invitation à améliorer les conditions d'apprentissage par l'écologisation des lieux de formation et des curriculums (Sauvé, 1997).

Pour amener les membres des conseils municipaux à développer des compétences critiques sur les questions environnementales, trois stratégies pédagogiques sont proposées, soit l'autoformation, la communauté d'apprentissage et la formation structurée en contexte non formel (Guertin et Rajotte Sauriol, 2022).

En premier lieu, l'autoformation vient d'une nécessité de se former à la suite d'une controverse qui requiert une solution. L'autoformation peut provenir des interactions avec les pairs, les fonctionnaires et la population, ou tout simplement de lectures variées. Les élues et élus rencontrés se disent favorables à des approches expérientielles, interdisciplinaires et collaboratives autodirigées qui peuvent prendre la forme de lecture de guides, d'articles de journaux et de mentorat qui les aideront à élaborer des politiques ou à mieux intervenir dans leur milieu.

En deuxième lieu, les personnes élues apprécient la communauté d'apprentissage, qui leur offre un espace sécuritaire et leur permet de devenir les protagonistes de leur formation. Cette stratégie présente des conditions favorables au développement de

compétences liées à la résolution de problèmes environnementaux et à l'écocitoyenneté (Sauvé, 2017). Autres avantages : elle permet d'échanger sur des thèmes d'intérêt, d'apprendre du succès et des erreurs des pairs et de créer des liens.

En troisième lieu, la formation structurée dans un contexte non formel peut prendre la forme d'un programme de formation continue. Les personnes élues ont un intérêt accru pour ce type de formation qui les place au centre de leurs apprentissages, répond à des besoins immédiats – soit un lieu de rencontre permettant de découvrir des solutions éprouvées par d'autres municipalités – et offre un espace sécuritaire propice à l'apprentissage actif, tant sur le plan cognitif que sur le plan affectif. Trois types d'approches sont donc recommandés : expérientielles (visites de lieux, simulations, études de cas, histoires à succès), interdisciplinaires (intégrant par exemple le génie civil, le droit municipal et les communications) et coopératives (faisant appel au dialogue entre diverses professions municipales).

### Vers un programme de formation adapté et innovant

En alliant ces trois stratégies pédagogiques, on obtient les bases d'un programme innovant de formation relative à l'environnement à la hauteur des défis auxquels les municipalités font face. Les champs d'études que sont l'éducation auprès des adultes et la formation continue peuvent certainement aider à rendre les villes plus vertes et résilientes! ●

Photo de la page 40 : Tadoussac. Source : Geneviève Rajotte Sauriol.

### Références

- Grenier, F., et A. Mévellec (2016). « Training Local Elected Officials: Professionalization Amid Tensions Between Democracy and Expertise ». *Lex Localis - Journal of Local Self-Government*, vol. 14, n° 1, p. 33-52.
- Guertin, M.-A. (2021). « Pour une formation des élus municipaux en matière d'environnement : observations et repères ». *Éducation relative à l'environnement*, vol. 16-1. En ligne : [journals.openedition.org/ere/6299](https://journals.openedition.org/ere/6299).
- Guertin, M.-A., et G. Rajotte Sauriol (2022). « Contextes et stratégies privilégiés par des élu.e.s de municipalités québécoises pour leur formation continue en matière d'environnement ». *Éducation relative à l'environnement*, vol 17-2. En ligne : [journals.openedition.org/ere/9734](https://journals.openedition.org/ere/9734).
- Legendre, R. (2005). *Dictionnaire actuel de l'éducation – 3<sup>e</sup> édition*. Éditions Guérin, 1584 p.
- Sauvé, L. (1997). *Pour une éducation relative à l'environnement : élément de design pédagogique – Guide de développement professionnel à l'intention des éducateurs* (2<sup>e</sup> éd.). Éditions Guérin, 361 p.
- Sauvé, L. (2017). « Une diversité de courants en éducation relative à l'environnement ». Dans Barthes, A., et J. M. Lange (dir.), *Dictionnaire critique des enjeux et concepts des Éducatons*, Éditions L'Harmattan, p. 113-124.

# Formations en milieu de travail

## Un atout essentiel!



PAR DOMINIQUE DODIER, B.A. CRIA  
Directrice générale, EnviroCompétences  
dominique.dodier@envirocompetences.org

Que l'on soit diplômé de l'université, du collégial ou d'une formation professionnelle, il est indispensable de se perfectionner tout au long de sa carrière, surtout à une époque marquée par d'importants changements. De nouvelles techniques d'apprentissage et méthodologies s'adaptent aux réalités actuelles, notamment avec la transition vers des formations en ligne, accentuée par la pandémie.

### Mise en pratique des acquis et impact significatif

Les programmes de formation continue, y compris les formations diplômantes, mettent désormais l'accent sur la mise en pratique des acquis, des connaissances et des compétences. Bien que l'aspect théorique reste fondamental, les études montrent que l'action et la mise en œuvre ont un impact bien plus significatif que la simple lecture ou l'écoute passive. Cette approche est d'autant plus cruciale face à la diversité des troubles d'apprentissage, touchant 1 Canadien sur 10, soit environ 3 millions de personnes (AFPED, 2001).

### Adaptation aux nouvelles méthodes d'apprentissage

Les grandes transformations sociétales, telles que la révolution numérique et l'évolution des technologies, exigent une agilité accrue des travailleuses et travailleurs. Cela passe par l'acquisition continue de compétences, nécessitant ainsi une adaptation constante de nos modes d'apprentissage et de leur diffusion.

De nombreux employeurs, ainsi que la communauté étudiante, réclament une meilleure adéquation entre les formations offertes et les besoins du marché du travail. Les nouvelles méthodes d'apprentissage, intégrant l'expérimentation et l'apprentissage par la pratique, favorisent l'évolution des connaissances.

### Importance des formations de courte durée

Face à la pénurie de main-d'œuvre, les formations de courte durée deviennent cruciales. Elles permettent de former le personnel rapidement et efficacement, combinant enseignement théorique, traditionnel et stages en milieu de travail réel. Cette approche a donné naissance à de nombreux programmes de formation en



alternance travail-études, notamment dans des secteurs clés comme le nettoyage industriel, le génie civil, l'assainissement de l'eau et la maintenance d'éoliennes au Québec.

EnviroCompétences, par exemple, a développé quatre de ces programmes parmi la cinquantaine disponibles au Québec. Ces initiatives offrent aux apprenants une immersion directe dans leur domaine d'études, tout en répondant aux besoins urgents en main-d'œuvre qualifiée.

### Programmes d'apprentissage en milieu de travail (PAMT)

Depuis plusieurs années, les PAMT gagnent en popularité. Ces programmes permettent à un apprenti, encadré par un compagnon expérimenté, de transférer efficacement les savoirs théoriques dans la pratique quotidienne du métier ou de la profession visée. Ils représentent ainsi une réponse tangible aux besoins croissants en main-d'œuvre qualifiée et diversifiée.

Peu importe la méthode d'apprentissage choisie, quatre piliers doivent être présents pour assurer la réussite : l'attention,

« Les nouvelles méthodes d'apprentissage, intégrant l'expérimentation et l'apprentissage par la pratique, favorisent l'évolution des connaissances. »

l'engagement actif, la rétroaction et la consolidation. Ensemble, ces éléments contribuent à renforcer l'apprentissage chez l'individu et à favoriser son développement continu au sein de son environnement professionnel.

### Adaptation stratégique des entreprises

Pour les entreprises, la polyvalence, l'acquisition de nouvelles compétences et le savoir-faire sont essentiels à leur pérennité et à leur compétitivité dans un environnement économique turbulent. Il est donc primordial de planifier efficacement les besoins en ressources humaines et en compétences, ainsi que de développer des parcours de formation alignés sur les objectifs organisationnels et individuels. Avec les tendances démographiques – telles qu'un faible taux de natalité et des départs massifs à la retraite – combinées à une forte croissance dans des secteurs comme la transition verte et numérique au Québec, les employeurs doivent repenser continuellement leurs modèles d'acquisition de compétences et de formation continue pour répondre aux défis du marché du travail en constante évolution.

### Préparer l'avenir

L'apprentissage tout au long de la vie au travail est devenu un impératif pour rester compétitif et adaptable dans un monde en perpétuel changement. Les nouvelles réalités, telles que la transition numérique et les défis démographiques, nécessitent des approches éducatives flexibles et innovantes. Les entreprises et les individus doivent s'engager activement dans le développement continu des compétences, en tirant parti des méthodes d'apprentissage modernes et en intégrant l'expérience pratique au cœur des formations. C'est ainsi que nous pourrions garantir une main-d'œuvre qualifiée, diversifiée et prête à relever les défis du futur. ●

### Référence

AFPED (Association francophone des troubles d'apprentissage) (2001). *Quelques statistiques*. En ligne : [afped.ca/quelques-statistiques](http://afped.ca/quelques-statistiques).

**Enviro Compétences**  
COMITÉ SECTORIEL DE MAIN-D'ŒUVRE DE L'ENVIRONNEMENT

**Nettoyage industriel**

**Génie civil**

**Assainissement de l'eau**

**Maintenance d'éoliennes**

# Économies d'eau potable Les effets sur l'assainissement autonome

## Résumé

Dans l'angle mort des stratégies de gestion de la consommation d'eau résidentielle se trouvent certaines problématiques devant être abordées. Bien que nécessaire, la diminution du volume d'eau utilisé dans les résidences québécoises entraîne une augmentation de la concentration des polluants rejetés. Or, les infrastructures de traitement sont-elles adaptées à cette situation? L'objectif de la présente étude était de répondre à cette question en se concentrant sur l'assainissement autonome, plus particulièrement les systèmes septiques avec un élément épurateur. Trois pilotes expérimentaux alimentés d'eaux usées de concentration en polluants différentes ont permis d'évaluer les performances du traitement en fonction de la réduction d'eau résidentielle consommée. Les résultats montrent que le traitement est significativement moins efficace pour l'enlèvement du  $\text{NH}_4^+$ . Les concentrations des eaux assainies infiltrées vers la nappe phréatique sont donc plus concentrées en polluant et pourraient représenter un risque pour la qualité de l'environnement.

**MOTS-CLÉS :** ASSAINISSEMENT AUTONOME, FOSSE SEPTIQUE, ÉLÉMENT ÉPURATEUR, ÉCONOMIES D'EAU POTABLE.

## Abstract

In the blind spot of residential water consumption management strategies lie certain issues that need to be addressed. While necessary, reducing the volume of water used in Québec's residences leads to an increase in the concentration of pollutants discharged. However, are the treatment infrastructures adapted to this situation? The objective of the present study was to answer this question by focusing on autonomous sanitation, specifically septic systems with a drainfield. Three experimental pilots fed with wastewater of varying pollutant concentrations were used to evaluate treatment performance based on the reduction of residential water consumption. The results show that the treatment is significantly less effective in removing  $\text{NH}_4^+$ . The concentrations of treated wastewater reaching groundwater are therefore more concentrated in pollutants and could pose a risk to environmental quality.

**Key words:** autonomous sanitation, septic tank, purification element, drinkable water savings.



PAR OLIVIER VERRETTE, stagiaire  
Étudiant au baccalauréat en génie civil,  
Polytechnique Montréal



ET PAR DOMINIQUE CLAVEAU-MALLET, ing., Ph. D.  
Professeure agrégée, Polytechnique Montréal  
dominique.claveau-mallet@polymtl.ca

## Introduction

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), une consommation d'eau « confortable » se situe à un minimum de 100 L/jour par personne (C.I.eau, s. d.). En 2019, au Québec, la consommation moyenne se situait à 262 L/jour par personne (Statistique Canada, 2021), ce qui correspond à une consommation d'eau « très confortable ».

Le Québec compte 3 % des ressources en eau douce mondiales pour seulement 0,1 % de la population mondiale. Malgré sa situation avantageuse à l'échelle internationale, le gouvernement québécois se penche sur la question de sa gestion de l'eau potable. En 2019, le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) publie sa Stratégie québécoise d'économie d'eau potable 2019-2025, dans laquelle on retrouve un objectif de réduction de la consommation d'eau totale de 20 % entre 2015 et 2025 (MELCCFP, 2019). En 2019, le Québec a atteint une baisse de 6,7 % par rapport à 2015 (Statistique Canada, 2021), donc l'objectif de 20 % semble atteignable si des efforts suffisants sont déployés d'ici 2025. Toutefois, bien qu'elle soit nécessaire du point de vue de l'économie de la ressource, cette stratégie entraîne des problèmes sur les plans technique, environnemental et économique.

En effet, la réduction de la consommation d'eau a des conséquences bien documentées sur les usines de traitement des eaux usées. Environnement Canada soutient qu'en contexte de réduction de la consommation d'eau, les usines de traitement des eaux usées doivent augmenter la qualité du traitement et la quantité totale de polluants enlevée, ce qui augmente du même coup les coûts associés au traitement (Environnement Canada, 1995). Effectivement, même si le volume d'eau consommé diminue, la masse de polluants dans celui-ci demeure constante. Il est donc nécessaire d'enlever une plus grande quantité de polluants à une eau initialement plus concentrée qu'à une eau moins concentrée pour obtenir une même concentration finale. De plus, la diminution du débit d'eaux usées amène d'autres enjeux, comme une augmentation de la corrosion des tuyaux, de la sédimentation des solides, des odeurs, etc. (Min et Yeats, 2011).

Or, la compréhension des effets des économies d'eau potable sur les systèmes d'assainissement autonome est quant à elle encore parcellaire, bien que 15 % de la population québécoise soit concernée par ces enjeux (Statistique Canada, 2020). L'assainissement autonome des eaux usées est appelé ainsi lorsque les eaux usées d'une résidence ou d'un commerce, par exemple, sont traitées sans avoir recours à un réseau d'égout et à un système de traitement centralisé. Ce type de système est particulièrement utilisé par les résidences isolées en dehors des grands centres urbains. La littérature montre que le phosphore, l'azote, les pathogènes (en particulier les virus) et les composés organiques traces sont les principaux contaminants qui peuvent migrer dans l'environnement après infiltration dans un élément épurateur (Lusk et collab., 2017). En

effet, des panaches de phosphates ont été observés sous les éléments épurateurs (Baer et collab., 2019) et la contribution des systèmes septiques en azote total peut être de l'ordre du million de kilogrammes d'azote par année à l'échelle d'une région ou d'un bassin versant (De et Toor, 2016). Alors que le phosphore est enlevé dans le sol principalement par sorption, l'azote est enlevé via des mécanismes biologiques, d'abord par la nitrification qui convertit le  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$  et ensuite la dénitrification qui convertit le  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{N}_2$ . La littérature montre que le  $\text{NH}_4^+$  est rapidement converti en  $\text{NO}_3^-$  dans les ouvrages d'infiltration (Katz et collab., 2010). Cependant, la dénitrification est inhibée dans la zone non saturée des ouvrages, ce qui fait en sorte que l'azote rejoint la nappe phréatique principalement sous forme de  $\text{NO}_3^-$  (Beal et collab., 2005).

Il est connu que l'hydraulique des installations septiques soumises à une réduction du volume d'eaux usées est affectée, notamment en raison de l'augmentation du colmatage des systèmes de traitement (Siegrist et Boyle, 1987). Toutefois, aucune information sur l'efficacité du traitement dans le contexte d'une réduction de la consommation d'eau résidentielle n'a été répertoriée.

Cet article porte sur l'effet d'une diminution de la consommation d'eau résidentielle sur l'efficacité du traitement autonome, plus particulièrement les systèmes septiques avec élément épurateur. À noter que l'étude ne couvre pas les effets sur l'hydraulique des systèmes d'assainissement autonomes.

## Matériel et méthodes

Trois pilotes expérimentaux identiques représentant un système septique à alimentation gravitaire en continu ont été exploités au courant de l'été 2023.

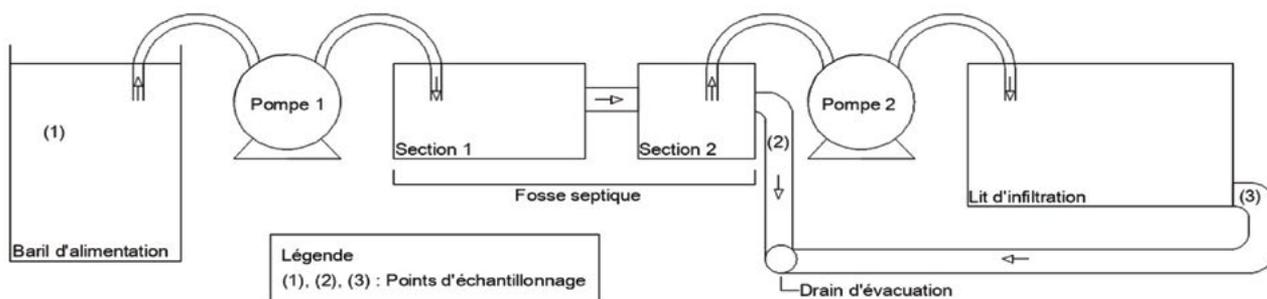
## Description des pilotes

Chaque pilote est composé d'une fosse septique et d'un lit d'infiltration à une échelle d'environ 1 : 10. Les pilotes ont été utilisés pour tester trois scénarios d'économie d'eau potable : 0 %, 17 % et 29 %. La figure 1 (p. 46) présente un schéma d'un des trois pilotes utilisés.

L'eau à traiter est contenue dans un baril d'alimentation. Elle est acheminée du baril d'alimentation vers la section 1 de la fosse septique à l'aide de la pompe 1. La fosse septique, composée de deux sections distinctes, a comme fonctions de décanter les matières organiques et de digérer les solides. Le niveau de l'eau dans la fosse septique est maintenu constant à l'aide d'un trop-plein situé dans la section 2.

Ensuite, une partie de l'eau dans la section 2 est transférée à l'aide de la pompe 2 vers le lit d'infiltration. Le lit d'infiltration contient 47,25 L de sable avec une conductivité hydraulique de 0,012 cm/s pour une hauteur de 0,45 m, une largeur de 0,15 m et une longueur de 0,70 m ; cela correspond à un taux de charge hydraulique de 28,6 L/m<sup>2</sup>/d, équivalent à un élément épurateur modifié. Le même taux de charge hydraulique a été utilisé pour les trois pilotes en posant l'hypothèse que dans les systèmes

FIGURE 1  
Représentation schématique d'un pilote



gravitaires, un moins grand volume d'eaux usées envoyé dans l'élément épurateur sollicite moins de surface d'infiltration. La figure 2 illustre ce principe à l'aide d'un tuyau de distribution utilisé dans un dispositif de lit d'infiltration. Le sens de la flèche et son épaisseur représentent le sens d'écoulement et l'importance du débit d'alimentation du tuyau.

Dans la figure 2, l'hypothèse du point « b » avec surface réduite est jugée la plus réaliste. Alors, l'hypothèse du point « c » est incorrecte puisqu'elle représente un cas où le débit est réparti également entre tous les trous, ce qui n'est pas réaliste dans les systèmes de distribution gravitaire. En effet, une étude a démontré que la répartition de l'affluent est uniforme dans les systèmes de distribution gravitaire seulement si le débit instantané est supérieur à 2 L/min, mais le débit instantané mesuré dans un système réel se situe entre 0,1 et 2 L/min pour 94 % du volume d'eau alimenté (Patel et collab., 2008). Ainsi, l'alimentation des trois systèmes de distribution des lits d'infiltration fonctionne avec le même taux de charge hydraulique.

Sur le sable est ajoutée une couche de gravier (2,5 à 10 mm) de 0,03 m de hauteur dans laquelle l'eau est distribuée également sur toute la surface du lit. La base du lit d'infiltration est placée

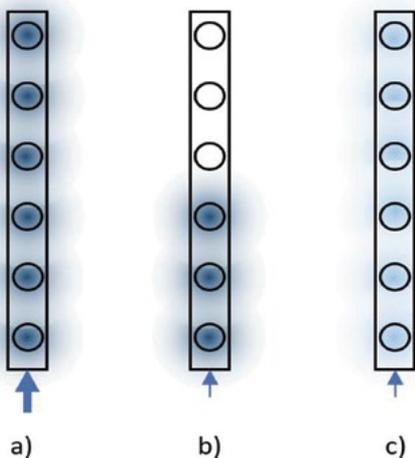
à une inclinaison d'environ 3° afin de faciliter le transit de l'eau vers un trou à la base du bac. En raison de cette géométrie de l'exutoire, l'eau traitée est transportée verticalement puis horizontalement vers le trou de sortie. Ainsi, comme l'eau est distribuée également sur toute la surface du lit, la distance diagonale moyenne parcourue par l'eau dans le sable est approximativement de 0,60 m.

L'alimentation des pilotes est effectuée à l'aide de pompes péristaltiques avec des cycles de six heures. Les deux pompes alimentent les trois pilotes simultanément. Le tableau 1 détaille le cycle des pompes.

TABLEAU 1  
Détail des cycles d'activité des pompes

	POMPE 1	POMPE 2
Débit (L/h)	2,23	60
Volume d'eau pompé (L)	2,23	0,75
Durée de l'alimentation (min)	60	0,75
Durée du cycle complet (h)	6	6

FIGURE 2  
Illustration de l'alimentation des lits d'infiltration :  
a) représentation de l'alimentation normale ;  
b) représentation correcte de l'alimentation réduite ;  
c) représentation erronée de l'alimentation réduite.



Le fonctionnement par cycle d'alimentation permet de mieux contrôler le débit d'évacuation, d'uniformiser les pics d'alimentation en effluent secondaire et d'éviter d'inonder le lit d'infiltration (Nelson, 2022).

### Description des recettes d'eaux usées synthétiques

Chaque pilote a été alimenté avec son propre affluent conservé dans une chambre froide à 4 °C. L'affluent 1 vise à reproduire les concentrations moyennes des polluants principaux – soit la concentration en DCO, en NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et en NH<sub>3</sub>N<sup>+</sup> – dans les eaux usées produites par les domiciles québécois avant d'économiser l'eau potable. Les deux autres affluents ont des concentrations 20 % et 40 % supérieures au premier, représentant une diminution du volume d'eaux usées produites de 17 % et de 29 %.

Le tableau 2 présente les composés chimiques utilisés dans les trois variantes de la recette d'eaux usées synthétiques. Il est à noter que cette dernière ne contient pas de matières en suspension (MES), alors que la concentration typique dans les eaux usées domestiques du Québec est de 300 mg/L (MELCCFP, 2015). Ce choix a été effectué parce que les enjeux de colmatage des installations septiques réelles sont difficilement

TABLEAU 2

### Liste des composés chimiques dans les différentes variations de la recette d'eaux usées synthétiques utilisées

NOM	FORMULE CHIMIQUE
Acétate de sodium trihydraté	$C_2H_3NaO_2 \cdot 3H_2O$
Acide borique	$H_2BO_3$
Amidon	-
Chlorure d'ammonium	$NH_4Cl$
Chlorure d'hydrogène	$HCl$
Chlorure de calcium	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$
Chlorure de cobalt(II) hexahydraté	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$
Chlorure de fer(III)	$FeCl_3$
Chlorure de manganèse(II) tétrahydraté	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$
EDTA	$C_{10}H_{16}N_2O_8$
Extrait de levure	-
Glucose	$C_6H_{12}O_6$
Iodure de potassium	$KI$
Molybdate de sodium dihydraté	$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$
Peptone de soya	-
Phosphate de monopotassium	$KH_2PO_4$
Phosphate dipotassique	$K_2HPO_4$
Propionate de sodium	$C_3H_5NaO_2$
Sulfate d'ammonium	$(NH_4)_2SO_4$
Sulfate de cuivre(II) pentahydraté	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$
Sulfate de magnésium	$MgSO_4$
Sulfate de zinc heptahydraté	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$

représentables à l'échelle du laboratoire; ainsi, on s'intéresse principalement aux composés solubles.

### Échantillonnage

Les pilotes ont été échantillonnés environ une fois par semaine sur une durée de 37 jours. L'alimentation des pilotes a débuté environ un mois avant le début de l'échantillonnage afin de permettre aux systèmes de se stabiliser. Selon la figure 1, chaque pilote comprend trois points d'échantillonnage. Le premier point est dans le contenant d'affluent primaire afin de valider les valeurs initiales des paramètres. Le second point est au bout du tube qui rejette l'effluent du trop-plein pour évaluer l'efficacité d'enlèvement des polluants de la fosse septique. Le troisième point est à l'exutoire du lit d'infiltration pour évaluer l'efficacité d'enlèvement des polluants du lit d'infiltration.

### Analyse des échantillons

Les échantillons d'eau ont été analysés pour connaître la concentration en MES, en DCO, en  $oPO_4^{3-}$ , en  $NO_2^-$ , en  $NO_3^-$  et en  $NH_4^+$ , ainsi que l'alcalinité et le pH. Les concentrations des anions et des cations ont été obtenus par colorimétrie (Hach, s. d.). Les concentrations de MES et de DCO ainsi que le pH et l'alcalinité ont été obtenus à l'aide de leur méthode standard respective (Standard Methods, 2023).

### Résultats

Les résultats obtenus pour les différents paramètres mesurés dans chacun des trois pilotes sont montrés au tableau 3 (p. 48). Dans ce tableau, l'efficacité d'enlèvement de la fosse septique est obtenue à l'aide de l'équation 1.

$$\text{Eff. enlèv. f. s.} = \frac{C_{\text{affluent f. s.}} - C_{\text{effluent f. s.}}}{C_{\text{affluent f. s.}}}$$

Équation 1 : Efficacité d'enlèvement de la fosse septique

L'équation 2 présente l'efficacité d'enlèvement du lit d'infiltration qui considère l'affluent du lit d'infiltration et non l'affluent primaire comme en ce qui concerne la fosse septique.

$$\text{Eff. enlèv. l. i.} = \frac{C_{\text{affluent l. i.}} - C_{\text{effluent}}}{C_{\text{affluent l. i.}}}$$

Équation 2 : Efficacité d'enlèvement du lit d'infiltration

Il est observé que les concentrations de DCO, de  $oPO_4^{3-}$  et de  $NH_4^+$  dans l'affluent des différents systèmes augmentent conformément à la hausse de la concentration dans les recettes d'eaux usées synthétiques. Cette tendance n'est pas observée pour les autres paramètres puisque ceux-ci ne sont pas contrôlés par les recettes d'eaux usées synthétiques.

Le pH et l'alcalinité ne suivent pas de tendance particulière sur la durée de l'expérience. Pour les trois systèmes, la fosse septique fait augmenter le pH et l'alcalinité alors que le lit d'infiltration les fait diminuer.

### Matières en suspension (MES)

Une concentration moyenne de 5,32 mg/L est observée dans les barils d'alimentation. La présence de MES dans le système est expliquée par des réactions de floculation dans les barils d'alimentation lorsque la recette d'eaux usées synthétiques est assemblée, notamment parce qu'elle contient de l'amidon et de la peptone de soya. Les valeurs non nulles de MES observées dans l'effluent des systèmes indiquent que du polissage est encore nécessaire.

### Demande chimique en oxygène (DCO)

Les fosses septiques des systèmes 1, 2 et 3 produisent respectivement un rabattement de la concentration de DCO de 72 %, de 75 % et de 75 %. L'efficacité de l'enlèvement de la DCO par les fosses septiques est donc satisfaisante. Les lits d'infiltration des systèmes 1, 2 et 3 produisent un rabattement de la concentration de DCO de plus de 96 %. Un élément épurateur à échelle réelle alimenté par des eaux usées résidentielles moyennes obtient un taux d'enlèvement moyen de 80 % (Bali et collab., 2010). L'efficacité des lits d'infiltration est donc satisfaisante et est caractérisée par des conditions de température élevée (température pièce) favorisant l'activité biologique, d'où l'écart important entre l'efficacité attendue et obtenue dans l'étude de Bali et ses collaborateurs (2010).

La figure 3 (p. 49) présente la concentration de DCO en fonction du pourcentage de réduction de la consommation d'eau résidentielle pour les effluents des fosses septiques et des lits d'infiltration. Selon le tableau 3 (p. 48), la concentration de

TABLEAU 3

Concentrations des polluants mesurées et efficacité d'enlèvement des fosses septiques et des lits d'infiltration ainsi que le pH et l'alcalinité (moyenne  $\pm$  écart-type)

	DCO (mg/L)	MES (mg/L)	oPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg P/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg N/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg N/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N/L)	pH	Alcalinité (mg/L)
<b>Système 1</b>								
Affluent fosse septique	434,7 $\pm$ 8,8	5,9 $\pm$ 1,3	11,4 $\pm$ 0,3	1,21 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,2	47,5 $\pm$ 2,3	6,62 $\pm$ 0,04	78,2 $\pm$ 5,2
Effluent fosse septique / Affluent lit d'infiltration	122,7 $\pm$ 4,8	4,2 $\pm$ 3,0	10,2 $\pm$ 0,3	4,43 $\pm$ 1,8	0,5 $\pm$ 0,2	47,3 $\pm$ 2,2	7,47 $\pm$ 0,07	150,9 $\pm$ 5,8
Effluent lit d'infiltration (à 0,57 m)	3,1 $\pm$ 0,4	3,5 $\pm$ 1,3	0,1 $\pm$ 0,0	21,97 $\pm$ 1,8	1,6 $\pm$ 0,2	3,1 $\pm$ 1,3	7,35 $\pm$ 0,10	36,2 $\pm$ 7,3
Efficacité d'enlèvement (fosse septique)	72 %		10 %			1 %		
Efficacité d'enlèvement (lit d'infiltration)	97 %		99 %			93 %		
<b>Système 2</b>								
Affluent fosse septique	523,6 $\pm$ 2,9	5,3 $\pm$ 1,6	14,1 $\pm$ 0,7	1,47 $\pm$ 0,2	0,4 $\pm$ 0,1	60,9 $\pm$ 0,7	6,61 $\pm$ 0,06	86,6 $\pm$ 6,5
Effluent fosse septique / Affluent lit d'infiltration	130,9 $\pm$ 12,4	6,8 $\pm$ 1,5	12,4 $\pm$ 0,4	5,65 $\pm$ 1,5	0,5 $\pm$ 0,1	59,4 $\pm$ 2,1	7,46 $\pm$ 0,11	183,2 $\pm$ 21,6
Effluent lit d'infiltration (à 0,57 m)	4,7 $\pm$ 1,0	4,9 $\pm$ 0,8	0,1 $\pm$ 0,0	26,07 $\pm$ 1,6	1,9 $\pm$ 0,4	8,3 $\pm$ 1,3	7,36 $\pm$ 0,05	31,4 $\pm$ 7,2
Efficacité d'enlèvement (fosse septique)	75 %		12 %			2 %		
Efficacité d'enlèvement (lit d'infiltration)	96 %		99 %			86 %		
<b>Système 3</b>								
Affluent fosse septique	619,3 $\pm$ 8,8	8 $\pm$ 1,6	16 $\pm$ 0,4	1,33 $\pm$ 0,2	0,4 $\pm$ 0,1	70,6 $\pm$ 2,3	6,58 $\pm$ 0,05	91,8 $\pm$ 11,0
Effluent fosse septique / Affluent lit d'infiltration	155,5 $\pm$ 7,2	8,1 $\pm$ 2,9	14,2 $\pm$ 0,6	6,46 $\pm$ 1,6	0,6 $\pm$ 0,3	69,6 $\pm$ 2,7	7,51 $\pm$ 0,07	201,65 $\pm$ 31,5
Effluent lit d'infiltration (à 0,57 m)	6,7 $\pm$ 0,8	5,2 $\pm$ 1,6	0,1 $\pm$ 0,0	31,69 $\pm$ 2,9	1,9 $\pm$ 0,4	10,4 $\pm$ 1,7	7,43 $\pm$ 0,13	35,4 $\pm$ 5,2
Efficacité d'enlèvement (fosse septique)	75 %		12 %			2 %		
Efficacité d'enlèvement (lit d'infiltration)	96 %		99 %			85 %		

DCO à la sortie des fosses septiques et des lits d'infiltration augmente en condition d'économie d'eau potable, mais pour les trois systèmes étudiés, elle demeure inférieure à 10 mg/L.

### Orthophosphate (oPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

Les concentrations obtenues d'orthophosphate sont égales à 0,1 mg P/L dans les effluents des lits d'infiltration des trois systèmes, sur toute la durée de l'expérience, soit 37 jours. Or, le traitement des orthophosphates dépend principalement de la capacité de sorption du sol, qui est spécifique à sa géochimie (Baer et collab., 2019); il est donc raisonnable d'affirmer que la percée des systèmes n'a pas été atteinte. Aucun essai de sorption du phosphore n'a été réalisé sur le sable, alors il n'est pas possible de tirer des conclusions sur l'efficacité des systèmes à retenir les orthophosphates.

### Azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

La concentration de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> est mise en relation avec le pourcentage de réduction de la consommation d'eau résidentielle à la figure 4. La concentration de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dans l'effluent du lit d'infiltration est très sensible à la diminution de la consommation d'eau résidentielle.

La relation identifiée montre qu'une petite diminution du volume d'eaux usées primaires peut entraîner une augmentation préoccupante de la concentration d'azote ammoniacal dans le milieu récepteur du lit d'infiltration, passant de 3 à 10 mg N/L.

### Nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Une concentration initiale minimale respective de 0,4 mg N/L et de 1,47 mg N/L est observée dans les affluents primaires des trois systèmes, ce qui correspond à la gamme de concentration attendue dans les eaux usées résidentielles du Québec de 0,1 mg N/L et 1,2 mg N/L (Mora Guerrero et collab., 2022). La concentration en nitrate dans les systèmes à l'étude ne suit pas de tendance qui l'associe à la diminution du volume de consommation d'eau résidentielle.

La figure 5 (p. 50) présente la concentration de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en fonction du pourcentage de réduction de la consommation d'eau résidentielle pour les effluents des fosses septiques et des lits d'infiltration. Une augmentation proportionnelle de la concentration de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> par rapport au pourcentage de réduction du volume d'eaux usées est notée dans l'affluent et l'effluent des lits d'infiltration.

FIGURE 3

Concentration de DCO en fonction du pourcentage de réduction de la consommation d'eau résidentielle à l'affluent et à l'effluent du lit d'infiltration

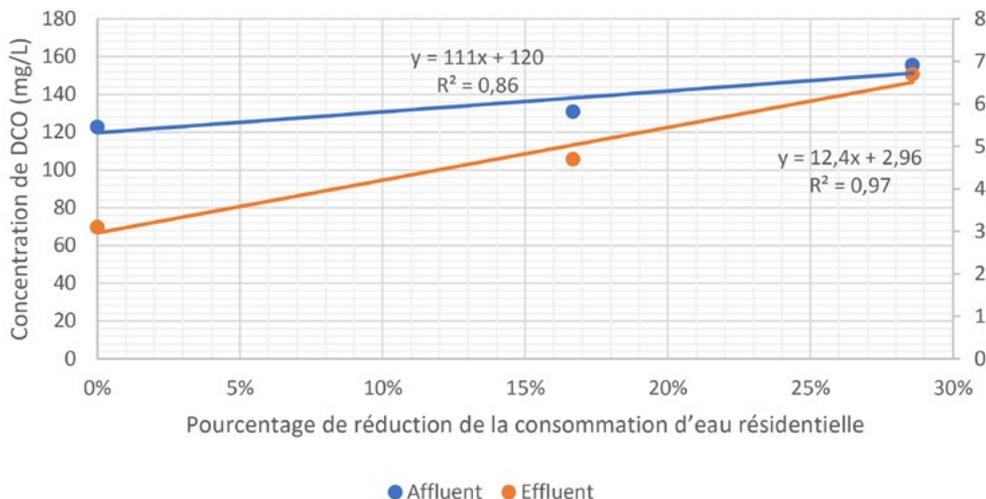
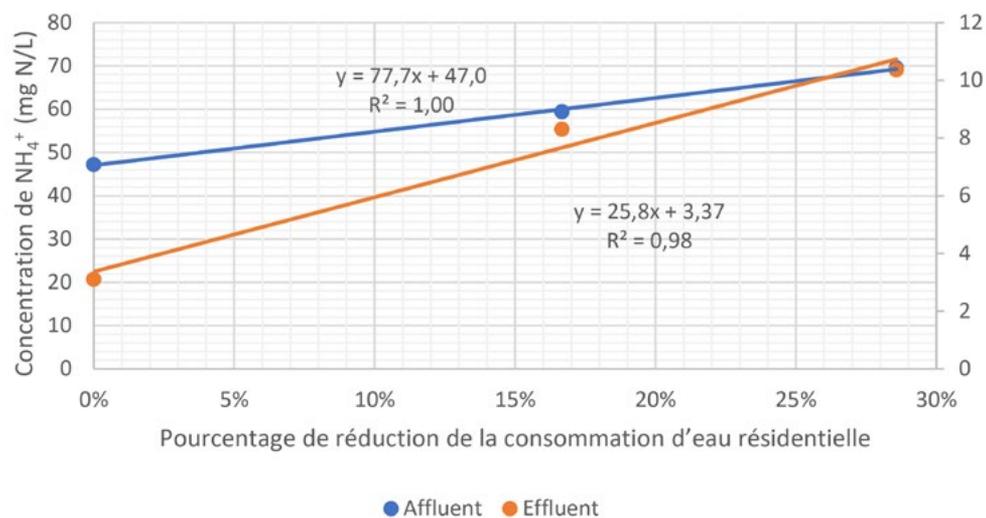


FIGURE 4

Concentration d'azote ammoniacal en fonction du pourcentage de réduction de la consommation d'eau résidentielle à l'affluent et à l'effluent du lit d'infiltration



### Discussion

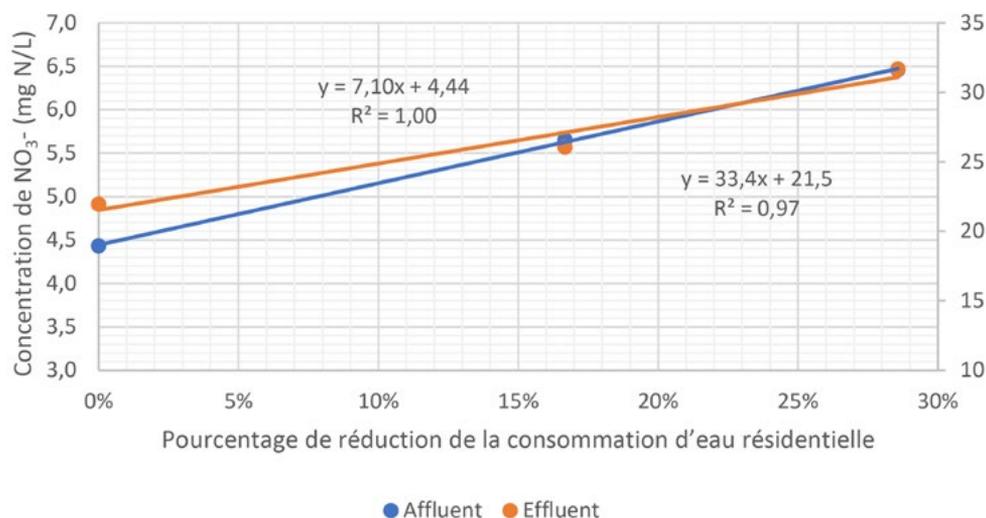
L'augmentation de polluants infiltrés à la base de l'élément épurateur est présentée dans le tableau 4 (p. 50) pour les scénarios de 17 % et de 29 % d'économie d'eau potable, en unité d'augmentation de la concentration et en unité d'augmentation de la masse.

Selon le tableau 4, une diminution du volume d'eau consommé de 17 % et de 29 % entraîne une augmentation significative de la concentration de NH<sub>4</sub> rejeté dans l'environnement à la base de l'élément épurateur de 168 % et de 235 %. Cette augmentation est également observée en termes de masse rejetée (122 % et 138 %). Ainsi, les résultats de l'étude indiquent que les économies d'eau potable représentent un risque d'augmentation des rejets en azote ammoniacal des installations septiques autonomes. L'autrice et l'auteur de cet article recommandent que l'enlèvement de l'azote ammoniacal soit documenté dans des installations réelles, en particulier pour les contextes hydrogéologiques

à risque avec une faible épaisseur de sédiments au-dessus du roc fracturé. Entre autres, les conditions d'oxygénation qui permettent la nitrification en profondeur devraient être étudiées, en particulier concernant le type de sol. Des études menées sur des éléments épurateurs réels ont montré que le type de sol et la stratigraphie influent fortement les patrons d'écoulement locaux sous les tranchées d'infiltration. Dans les sables, l'eau migre par les pores, alors que dans les sols plus fins et structurés, l'eau circule par des macropores (Amoozegar et collab., 2003). De plus, la profondeur minimale qui permet un enlèvement adéquat de l'azote ammoniacal au Québec devrait être établie suivant des scénarios d'économie d'eau potable. Dans la littérature, la nitrification complète a été observée dans des installations septiques à des profondeurs allant de 50 à 190 cm; toutefois, des conditions anaérobies peuvent l'inhiber et mener à des concentrations significatives de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mesurées dans un élément épurateur (Lusk et collab., 2017). Finalement,

FIGURE 5

**Concentration de nitrate en fonction du pourcentage de réduction de la consommation d'eau résidentielle à l'affluent et à l'effluent du lit d'infiltration**



l'utilisation des systèmes de distribution à faible pression, qui répartissent mieux l'eau que les systèmes gravitaires, pourrait potentiellement atténuer les risques posés par les économies d'eau potable.

Les économies d'eau potable de 17 % ou de 29 % n'ont pas augmenté la masse de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> infiltrée dans le sol, contrairement à ce que l'on observe pour l'azote ammoniacal. Toutefois, la concentration en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> à la base de l'élément épurateur a augmenté de 18 % et de 43 % par rapport au scénario de base. Ainsi, les économies d'eau potable n'augmentent pas la quantité de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> rejetée à l'échelle d'un bassin versant, mais elles pourraient représenter un risque dans les secteurs à forte densité d'installations septiques, où l'approvisionnement en eau potable est principalement assuré par des puits individuels. En effet, les concentrations plus fortes dans le cœur des panaches de contamination pourraient affecter le devenir des contaminants lorsqu'ils sont transportés dans l'eau souterraine en sachant

que les NO<sub>3</sub><sup>-</sup> représentent un risque de contamination des puits (Hoxley et Dudding, 1994).

On remarque que les scénarios d'économie d'eau potable de 17 % et de 29 % augmentent la masse de DCO infiltrée vers la nappe phréatique de 30 % et de 66 %. A priori, ces augmentations correspondent à des concentrations à la base de l'élément épurateur très faibles, soit 4,7 et 7 mg/L. Ces concentrations, bien que corrélées avec le pourcentage d'économie d'eau potable, indiquent un très bon niveau d'enlèvement de la DCO; on peut donc conclure que l'enlèvement de la matière organique n'est pas influencé par les économies d'eau. Toutefois, il serait intéressant de documenter dans de futures études comment les concentrations en contaminants traces sont affectées par les économies d'eau potable (médicaments, pesticides, hormones, etc.).

Finalement, en raison de la courte durée de l'expérience (environ deux mois), les résultats représentent les conditions de mise en

TABLEAU 4

**Pourcentage d'augmentation de la concentration et de la masse de polluants en fonction du cas de réduction de la consommation d'eau résidentielle**

	SCÉNARIO DE BASE			SCÉNARIO DE DIMINUTION DE 17 %			SCÉNARIO DE DIMINUTION DE 29 %		
	DCO (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg N/L)	DCO (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg N/L)	DCO (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg N/L)
<b>Concentration à la surface de l'élément épurateur</b>	123	48	19,5	131	59	25	156	70	28
<b>% Augmentation concentration</b>	-	-	-	6 %	23 %	28 %	21 %	46 %	44 %
<b>% Augmentation masse</b>	-	-	-	-12 %	2 %	6 %	-10 %	4 %	2 %
<b>Concentration à 0,60 m de profondeur dans le sol</b>	3	3,1	97	4,7	8,3	114	7	10,4	139
<b>% Augmentation concentration</b>	-	-	-	36 %	168 %	18 %	57 %	235 %	43 %
<b>% Augmentation masse</b>	-	-	-	30 %	122 %	-2 %	66 %	138 %	2 %

place initiale du biofilm. Ainsi, les résultats ne représentent pas le comportement à long terme. En effet, le temps nécessaire pour former un « biomat » mature, soit une boue de biomatériaux se formant dans le sol d'un élément épurateur, peut être de 20 semaines à 4 ans (Jenssen et Siegrist, 1991). Des essais à long terme sur des systèmes réels seront nécessaires afin de quantifier les risques réels associés aux économies d'eau potable.

## Conclusion

La concentration de différents polluants a été mesurée à trois points d'échantillonnage sur les trois pilotes expérimentaux alimentés avec des concentrations différentes d'eaux usées. La diminution de la consommation d'eau résidentielle a été corrélée à l'augmentation de la concentration dans l'effluent secondaire de trois polluants, soit la DCO, le  $\text{NO}_3^-$  et le  $\text{NH}_4^+$ . Les résultats obtenus démontrent qu'il y a un risque préoccupant d'augmentation de la pollution de l'environnement, particulièrement par le  $\text{NH}_4^+$ , associé à une diminution de la consommation d'eau des résidences isolées. Ainsi, l'efficacité de l'assainissement autonome est diminuée de manière importante lorsque le volume d'eaux usées produit est réduit.

L'étude n'a pas permis de conclure sur la corrélation entre l'efficacité du traitement des MES ainsi que du  $\text{oPO}_4^{3-}$  et du  $\text{NO}_2^-$  et la concentration des eaux usées primaires. Pour résoudre ce problème, les nouvelles installations d'assainissement autonome pourraient être conçues pour des eaux usées plus concentrées que la moyenne québécoise actuelle et pour des volumes réduits. Plus particulièrement, l'autrice et l'auteur de cet article recommandent d'évaluer en quoi l'utilisation des systèmes de distribution sous faible pression permettrait d'atténuer ces risques par rapport à l'utilisation des systèmes de distribution gravitaires.

## Remerciements

Ce projet a été mis sur pied dans le cadre d'un stage d'été réalisé au laboratoire CREDEAU de Polytechnique Montréal, en collaboration avec Allan Costa Nunes, étudiant au doctorat à Polytechnique Montréal. L'autrice et l'auteur de cet article remercient Allan qui a permis le bon déroulement de la phase expérimentale du projet et Mélanie Bolduc pour le soutien aux analyses. Ce projet a été financé par la Chaire de recherche du Canada en traitement décentralisé et à petite échelle de l'eau et par le programme d'initiation à la recherche de Polytechnique Montréal (programme UPIR). ●

## Références

Amoozegar, A., et collab. (2003). « Field Assessment of Water Flow from Trenches of Septic Systems ». *Soil Science Society of North Carolina*, XLVI, p. 54-61.

Baer, S., et collab. (2019). « Phosphorus and nitrogen loading to Lake Huron from septic systems at Grand Bend, ON ». *Journal of Great Lakes Research*, vol. 45, n° 3, p. 642-650.

Bali, M., et collab. (2010). « Treatment of secondary wastewater effluents by infiltration percolation ». *Desalination*, vol. 258, n°s 1-3.

Beal, C. D., et collab. (2005). « Process, performance, and pollution potential: A review of septic tanks-soil absorption systems ». *Soil Research*, vol. 43, n° 7, p. 781-802.

C.I.eau (s. d.). *La consommation d'eau domestique est-elle la même à travers le monde ?*. En ligne : [cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/la-consommation-deau-domestique-est-elle-la-meme-a-travers-le-monde](http://cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/la-consommation-deau-domestique-est-elle-la-meme-a-travers-le-monde).

De, M., et G. S. Toor (2016). « Mass balance of water and nitrogen in the mounded drainfield of a drip-dispersal septic system ». *Journal of Environmental Quality*, vol. 45, n° 4, p. 1392-1399.

Environnement Canada (1995). *Study of Water Conservation as a Means to Improve Wastewater Treatment and Reduce Treatment Costs*.

Hach (s. d.). *Méthodes utilisées : 8039, 8048, 8153, 10031*. En ligne : [ca.hach.com](http://ca.hach.com).

Hoxley, G., et M. Dudding (1994). *Groundwater contamination by septic tank effluent: two case studies in Victoria, Australia*. National Conference Publication, Institution of Engineers, Australia.

Jenssen, P., et R. Siegrist (1991). *Integrated loading rate determination for wastewater infiltration system sizing*. Oak Ridge National Laboratory.

Katz, B. G., et collab. (2010). « Fate of effluent-borne contaminants beneath septic tank drainfields overlying a karst aquifer ». *Journal of Environmental Quality*, vol. 39, n° 4, p. 1181-1195.

Lusk, M. G., et collab. (2017). « A review of the fate and transport of nitrogen, phosphorus, pathogens, and trace organic chemicals in septic systems ». *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 47, n° 7, p. 455-541.

MELCCFP (2015). *Guide technique sur le traitement des eaux usées des résidences isolées*. En ligne : [environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/residences\\_isolees/guide\\_interpretation](http://environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/residences_isolees/guide_interpretation).

MELCCFP (2019). *Stratégie québécoise d'économie d'eau potable – Horizon 2019-2025*. En ligne : [cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/infrastructures/strategie\\_quebecoise\\_eau\\_potable/strategie\\_eau\\_potable.pdf](http://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/infrastructures/strategie_quebecoise_eau_potable/strategie_eau_potable.pdf).

Min, K., et S. A. Yeats (2011). « Water conservation efforts changing future wastewater treatment facility needs ». *Florida water resources journal*, p. 39-41.

Mora Guerrero, M. X., et collab. (2022). *Critères de conception d'installations septiques autonomes alimentées en eaux ménagères et bilan de pollution d'installations septiques non conformes*. Rapport technique remis au MELCCFP.

Nelson, R. (2022). *How does a septic system and dosing system work?*. En ligne : [hunker.com/12319957/how-does-a-septic-system-dosing-system-work](http://hunker.com/12319957/how-does-a-septic-system-dosing-system-work).

Patel, T., et collab. (2008). « The efficiency of gravity distribution devices for on-site wastewater treatment systems ». *Water Science & Technology*, vol. 58, n° 2, p. 459-465.

Siegrist, R. L., et W. C. Boyle (1987). « Wastewater-induced soil clogging development ». *Journal of Environmental Engineering*, vol. 13, n° 3, p. 550-566.

Standard Methods (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. En ligne : [standardmethods.org](http://standardmethods.org).

Statistique Canada (2020). *Population desservie par les systèmes de traitement des eaux usées municipales*. Québec, Canada. En ligne : [www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3810011901](http://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3810011901).

Statistique Canada (2021). *Utilisation d'eau potable selon le secteur et utilisation quotidienne moyenne*. En ligne : [www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv.action?pid=3810027101](http://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv.action?pid=3810027101).

# Optimisation des usines de biométhanisation

## Pour une phase de démarrage efficace

Depuis des siècles, la biométhanisation est appliquée pour transformer les déchets organiques en énergie verte et en fertilisant. Malgré ses avantages, les défis opérationnels persistent, freinant une efficacité optimale. Découvrez comment la recherche scientifique s'attelle à améliorer la phase de démarrage pour permettre aux usines de biométhanisation de fonctionner de manière plus efficace et durable.



PAR **AMAL HMAISSIA**, M. Sc.  
Candidate au doctorat, Université Laval  
amal.hmaissia.1@ulaval.ca



ET PAR **CÉLINE VANECKHAUTE**  
Professeure agrégée, génie chimique,  
Université Laval



### Extraire de l'énergie par biométhanisation

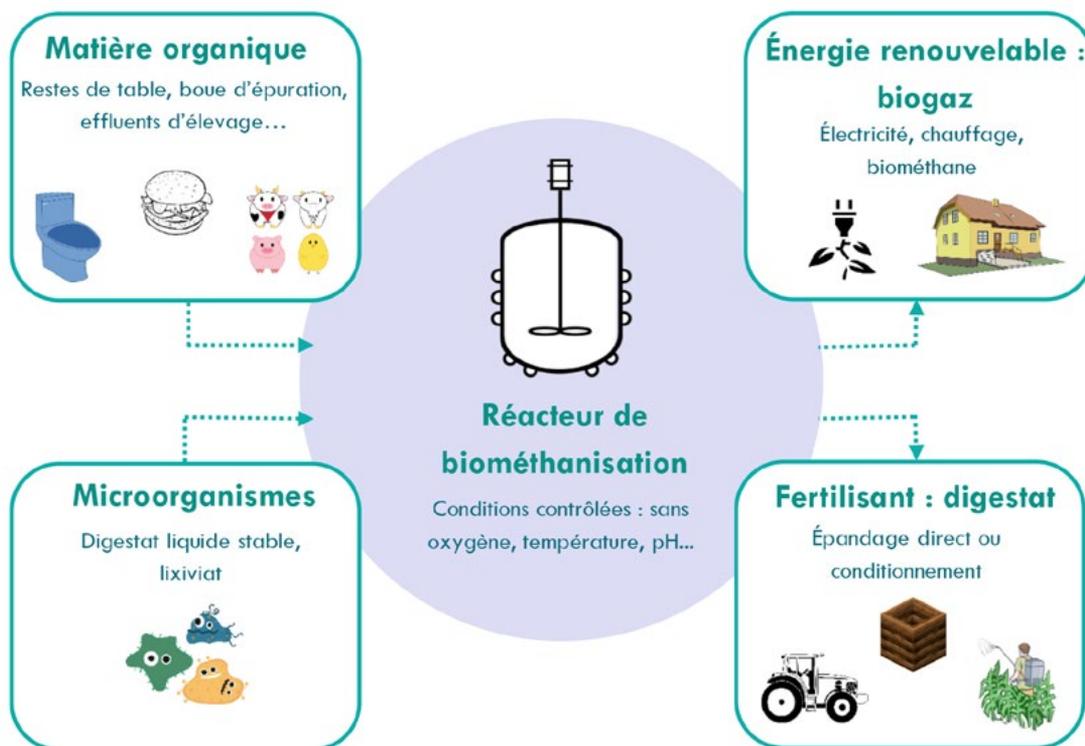
Dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques et de la transition vers une économie verte, une nouvelle activité économique basée sur la biométhanisation a émergé au Québec (Gouvernement du Québec, 2011, p. 6). La biométhanisation est un processus biochimique dans lequel des matières organiques sont décomposées par des microorganismes spécifiques en l'absence d'oxygène. Ce procédé – appliqué aux résidus organiques municipaux, agro-industriels et agricoles – permet de produire de l'énergie renouvelable tout en stabilisant et en réduisant les matières résiduelles organiques. Pendant ce processus, les microorganismes produisent un gaz appelé biogaz, riche en méthane, qui sert de source d'énergie renouvelable. La captation du méthane permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre, et le digestat produit réduit l'utilisation d'engrais minéraux pour la fertilisation des sols (Primmer, 2021). La figure 1 illustre les entrées (*inputs*) et les sorties (*outputs*) d'un réacteur de biométhanisation.

### Phase de démarrage : brève mais cruciale à maîtriser

Si toutes les quantités de matières organiques disponibles sont collectées et biométhanisées, il serait possible de diminuer les émissions de gaz à effet de serre de 10 %, de produire de

16 % à 22 % de la consommation mondiale d'électricité, et de compenser l'utilisation de fertilisants inorganiques de 5 % à 7 % (Primmer, 2021; IEA/OECD, 2018; The World Bank, 2021). Malgré son potentiel important et son efficacité, le procédé de biométhanisation demeure sous-utilisé, car il demande une attention particulière à certaines étapes cruciales, notamment lors de sa mise en service. Pendant la phase de démarrage d'un réacteur de biométhanisation, le processus est instable et les risques d'inhibition de la croissance des microorganismes en raison d'un excès de matière organique sont très élevés (Ahmed et Rodríguez, 2020). Ces excès peuvent prolonger le temps de démarrage du réacteur, obligeant à réduire le débit de déchets à traiter, voire à vider complètement le réacteur pour recommencer. Cela entraîne des pertes économiques dues à l'accumulation de déchets organiques et aux coûts d'exploitation non optimaux de l'usine de biométhanisation (chauffage, moteurs, etc.). Pour cette raison, il est crucial de minimiser la durée de l'étape de démarrage afin d'améliorer la viabilité économique et environnementale d'un projet de biométhanisation. Toutefois, en raison de la complexité des dynamiques biologiques impliquées dans cette phase, l'élaboration d'un protocole de démarrage optimisé est difficile :

FIGURE 1  
Schéma illustrant les entrées (*inputs*) et les sorties (*outputs*) du processus de biométhanisation



chaque décision est importante, car la phase de démarrage ne s'opère qu'une seule fois dans la vie d'un réacteur de biométhanisation.

Par exemple, le démarrage d'un réacteur de biométhanisation à Prague a nécessité une année complète, et ce, sans atteindre la capacité de production de méthane requise en raison de l'application d'une stratégie d'augmentation de température non optimale (Zábranská et collab., 2000). Malgré l'importance de l'étape de démarrage dans les projets de biométhanisation, les connaissances sur ce sujet restent insuffisantes, et les décisions prises sont souvent arbitraires ou basées sur la littérature scientifique. De plus, l'application directe des résultats bruts tirés de la littérature scientifique pour élaborer un protocole de démarrage optimisé est difficile, voire impossible, car les études disponibles sur le démarrage sont souvent non normalisées, non concluantes et parfois contradictoires (Lim et collab., 2020).

### Nouvelles approches pour optimiser la phase de démarrage

Dans ce contexte, la Ville de Québec collabore depuis 2019 avec l'équipe de recherche BioEngine, sous la direction de la professeure Céline Vaneeckhaute, pour bénéficier de son expertise dans le domaine et appuyer ses décisions. Ainsi, l'étudiante Amal Hmaissia a mené des recherches à l'Université Laval pour développer des approches visant à optimiser la phase de démarrage des réacteurs de biométhanisation. La méthodologie employée s'est articulée autour de deux étapes principales : 1) le développement d'une base de données

consolidée regroupant diverses conditions de démarrage de réacteurs de biométhanisation, collectées de la littérature scientifique; et 2) l'optimisation des stratégies d'ensemencement de microorganismes (c.-à-d. inoculation) dans les réacteurs de biométhanisation par le biais d'expériences en laboratoire et à l'échelle pilote.

Les approches développées reposent sur l'utilisation d'outils statistiques et d'intelligence artificielle, l'étude de l'abondance des microorganismes impliqués dans la biométhanisation, ainsi que l'analyse économique de l'incidence de certaines décisions prises pendant la planification de démarrage des installations de biométhanisation.

### Des résultats résumés dans une base de données

En se concentrant sur des études de démarrage de réacteurs humides à agitation continue en une étape pour la biométhanisation des déchets agricoles, industriels et municipaux, une base de données englobant 75 cas de démarrage et 16 paramètres opérationnels a été élaborée. Toutes les unités des paramètres reportés ont été normalisées, et les valeurs manquantes pour certains paramètres ont été calculées lorsque les informations disponibles étaient suffisantes. Le tableau 1 (p. 54) présente un résumé des paramètres de la base de données.

L'exploitation de la base de données développée a facilité l'identification des paramètres les plus influents pour garantir un démarrage réussi des réacteurs de biométhanisation. Un algorithme de « forêts aléatoires » a été utilisé pour analyser les

TABLEAU 1

Description des variables de la base de données (tiré de : Hmaissia et collab., 2024)

PARAMÈTRE	ANNOTATION	UNITÉ/CATÉGORIES
Échelle du réacteur	Échelle_R	Échelle laboratoire ou réelle
Stratégie d'augmentation de la charge organique	Stratégie_CO	Constante, progressive ou dynamique
Type d'inoculum	Type_ino	Lisier, digestat, boue municipale ou mélange
Stratégie d'augmentation de température	Stratégie_T	Constante, progressive ou directe
Acclimatation de l'inoculum aux conditions initiales de biométhanisation	Acclimatation_ino	Oui ou non
Types de déchets biométhanisés	Déchet	Lisier, boue municipale ou déchet organique solide
Température initiale	T_i	°C
Température finale	T_f	°C
Volume opérationnel du réacteur	Volume_op	L
Solides totaux du déchet	ST	$g_{\text{matière brute}} \cdot L^{-1}$
Solides totaux volatils	STV	$g_{\text{matière brute}} \cdot L^{-1}$
Charge organique maximale appliquée	CO_max	$g \text{ STV} \cdot j^{-1} \cdot L_{\text{réacteur}}^{-1}$
Charge organique moyenne	CO_moy	$g \text{ STV} \cdot j^{-1} \cdot L_{\text{réacteur}}^{-1}$
Temps de séjour hydraulique initial	TSH_ini	j
Temps de séjour hydraulique final	TSH_fin	j
Durée de démarrage	T_dém	j

variables sélectionnées de la base de données et évaluer l'effet de chaque paramètre opérationnel sur la durée de la phase de démarrage. Trois indicateurs de cet effet – aussi appelés mesures de l'importance des variables – ont été calculés. Ces indicateurs, intrinsèques à l'algorithme de « forêts aléatoires », sont : la profondeur minimale moyenne (Ishwaran et collab., 2010); l'erreur quadratique moyenne après permutation; et l'augmentation de la pureté des nœuds (Hastie et collab., 2009). Ces indicateurs ont permis d'attribuer un score à chacun des paramètres du tableau 1, excepté la durée de démarrage du réacteur de biométhanisation. Plus d'informations sur les résultats du calcul de ces indicateurs peuvent être trouvées en consultant l'adresse [amalhmaiss.github.io/DatabaseProcess](https://amalhmaiss.github.io/DatabaseProcess). Un score global a été ainsi déduit en utilisant l'équation suivante :

$$R_j = \frac{EQMAP_j}{\max.(EQMAP)} + \frac{APN_j}{\max.(APN)} + \frac{1}{\frac{PMM_j}{\min.(PMM)}} \quad (1)$$

Où :  $EQMAP_j$ ,  $APN_j$  et  $PMM_j$  sont respectivement l'erreur quadratique moyenne après permutation, l'augmentation de la pureté des nœuds et la profondeur minimale moyenne du variable  $j$ . « Max. » et « min. » sont les valeurs maximales et minimales de chacune de ces mesures d'importance pour toutes les variables de la base de données.

### Paramètres les plus influents sur la durée de démarrage

Le calcul du score global pour chaque paramètre de la phase de démarrage a permis de les classer par ordre décroissant selon leurs effets respectifs sur la durée de démarrage (figure 2).

Le temps de séjour hydraulique et la teneur en solides totaux volatils des déchets organiques à « biométhaniser » ont obtenu les scores les plus élevés, indiquant leur incidence significative sur le temps nécessaire pour atteindre la stabilité de la production de méthane. Ces deux paramètres sont liés par la dilution des déchets organiques, qui entraîne une diminution de la teneur en solides totaux volatils et une augmentation du temps de séjour hydraulique. Cette procédure est couramment mise en œuvre pendant la phase de démarrage pour atténuer les inhibitions causées par l'accumulation de produits indésirables dans le réacteur de biométhanisation, tels que l'ammoniac et les acides gras volatils (Yangin-Gomec et collab., 2018; Ghanimeh et collab., 2020). Cependant, cela engendre également la dilution de l'alcalinité dans le réacteur pendant la phase de démarrage, nécessaire pour protéger les bactéries productrices de méthane d'une éventuelle acidification.

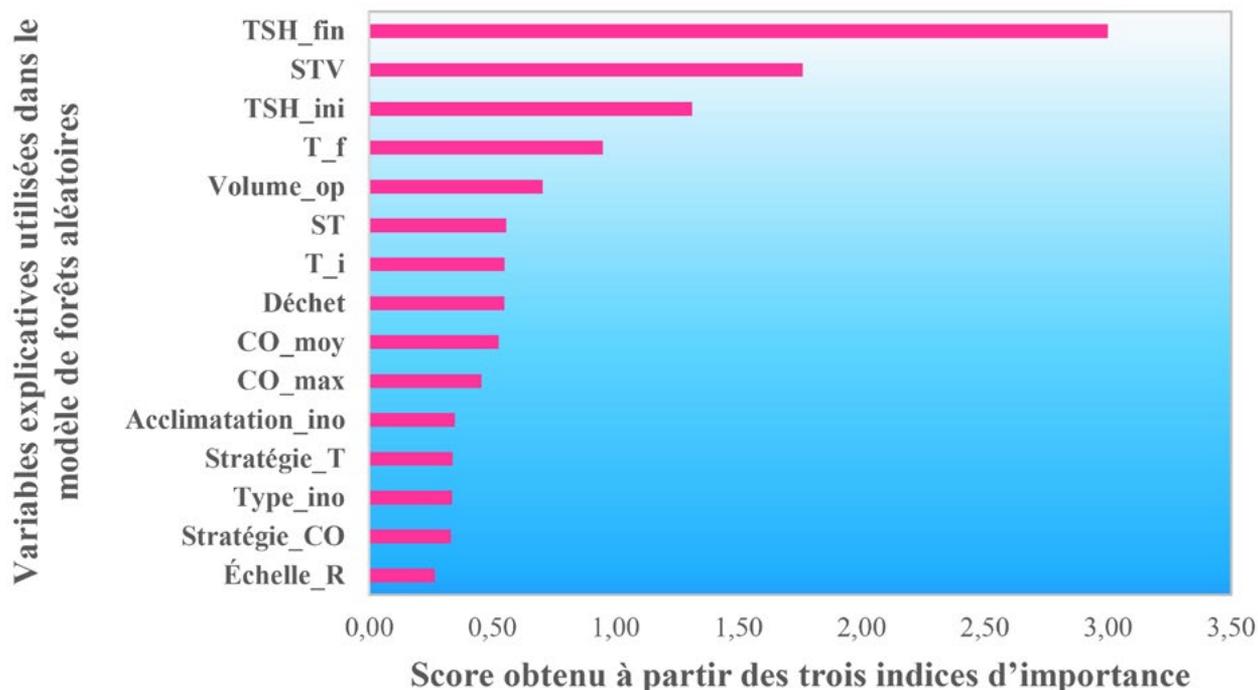
En outre, le classement a mis en évidence l'effet significatif de la température de fonctionnement sur la durée de démarrage, reflétant le temps supplémentaire nécessaire aux microorganismes anaérobies pour s'acclimater aux températures thermophiles (Tian et collab., 2015; Xu et collab., 2018). L'analyse souligne l'importance cruciale de considérer le temps de séjour hydraulique et la teneur en solides volatils comme des paramètres primordiaux. Cela signifie également qu'il est important d'éviter la dilution excessive des résidus organiques ajoutés au réacteur de biométhanisation.

### Effet de la température sur la performance de l'inoculum

Pendant la deuxième étape de cette recherche, des essais expérimentaux ont été menés pour évaluer l'ampleur de l'effet

FIGURE 2

Classification des paramètres de démarrage de réacteurs de biométhanisation selon leur effet sur la durée de démarrage



de la température sur l'activité de l'inoculum en utilisant la cinétique de production de méthane de la boue municipale avec trois inoculums distincts (I1, I2 et I3) à deux températures de biométhanisation (37 °C et 55 °C). L'inoculum I1 provient d'un processus de biométhanisation thermophile à 55 °C, tandis que les inoculums I2 et I3 proviennent de processus mésophiles à 37,5 °C et à 37 °C.

L'effet de la température sur la performance des inoculums a été évalué en utilisant le temps nécessaire pour atteindre 80 % de la production ultime de méthane de la boue municipale, noté  $t_{80}$ . Les conditions expérimentales et les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 2.

La performance supérieure de l'inoculum I2 a été démontrée sous les deux températures thermophile et mésophile, atteignant respectivement  $83,3 \pm 3,4$  % et  $85 \pm 0,9$  % de la production ultime de méthane en  $6,3 \pm 0,6$  jours et  $3 \pm 0$  jours. Contrairement à I1 et à I3, I2 n'a pas été affecté par la température, ce qui a favorisé une production rapide de méthane même sous une température thermophile, malgré son adaptation initiale à une température mésophile (I2 a été échantillonné d'un processus mésophile).

### Indicateurs simples pour des dynamiques complexes

Les caractéristiques physicochimiques des trois inoculums ont montré une faible teneur en inhibiteurs (ammoniac et

TABLEAU 2

Conditions opérationnelles et résultats de la cinétique de production de méthane à partir de la boue municipale

INOCULUM	TEMPÉRATURE DE L'INOCULUM (°C)	TEMPÉRATURE DE BIOMÉTHANISATION (°C)	$t_{80}$ (j)*	MÉTHANE ULTIME ATTEINT (%)
I1	55	55	$6,5^a \pm 0,7$	$85,5 \pm 0,9$
I2	37	55	$6,3^a \pm 0,6$	$83,3 \pm 3,4$
I3	37	55	$14^b \pm 1,4$	$83 \pm 3,2$
I1	55	37	$20^c \pm 1,4$	$81,4 \pm 0,7$
I2	37	37	$3^d \pm 0$	$85 \pm 0,9$
I3	37	37	$3^d \pm 0$	$85,3 \pm 1,2$

\* Les lettres en exposant sur  $t_{80}$  indiquent la significativité de la différence entre les trois inoculums.

acides gras volatils) pour I2 par rapport à I1 et à I3. De plus, l'identification des abondances relatives et de la diversité des microorganismes dans I1, I2 et I3 a permis de mettre en évidence la corrélation entre les indices de diversité des populations bactériennes dans les inoculums, la cinétique de production ultime de méthane ( $t_{80}$ ) et la concentration des inhibiteurs. Ainsi, des indicateurs fiables et simples à mesurer, reflétant la complexité des dynamiques microbiologiques pendant le démarrage des réacteurs, ont été déterminés. Les corrélations pertinentes sont présentées dans le tableau 3.

Ces résultats démontrent l'effet négatif de concentrations excessivement élevées en ammoniac et en alcalinité dans l'inoculum sur sa diversité bactérienne, avec des coefficients de corrélation négatifs et significativement élevés (respectivement -0,93 et -0,92). De plus, des concentrations élevées en acides gras volatils ont été associées à des délais significatifs pour atteindre la production ultime de méthane, avec une corrélation de 0,91 entre ce paramètre et  $t_{80}$ .

Ces approches permettront aux opérateurs d'installations de biométhanisation de rationaliser leurs choix lors du démarrage, en favorisant le choix d'un inoculum présentant des concentrations minimales en inhibiteurs pour garantir une diversité bactérienne élevée et un démarrage rapide.

### Inoculation avec du digestat : combien gagne-t-on ?

Le démarrage avec un inoculum contenant des microorganismes actifs (digestat) entraîne souvent, outre le coût d'achat du digestat, des frais de transport de celui-ci depuis sa source vers la nouvelle station de biométhanisation. En revanche, plusieurs études ont démontré la possibilité d'éviter ces coûts en utilisant la boue brute (El-Fadel et collab., 2013). En effet, cette substance contient des microorganismes capables d'effectuer le processus de biométhanisation, bien qu'en proportions réduites (Lens et collab., 1995). La meilleure disponibilité de la boue municipale et sa gratuité comparées au digestat en font une option fiable pour le démarrage des réacteurs de biométhanisation. Cependant, une question sur l'ampleur de la différence entre un démarrage avec un inoculum contenant des microorganismes actifs comme le digestat et un démarrage avec de la boue brute demeure encore sans réponse.

Ainsi, la comparaison économique entre deux réacteurs de biométhanisation démarrés avec du digestat et de la boue municipale, et alimentés par un mélange de boue et de résidus de table, a permis de quantifier l'incidence du choix de l'inoculum sur les coûts d'exploitation pendant la phase de démarrage.

Cette comparaison a pris en compte les exigences énergétiques pour faire fonctionner deux réacteurs de biométhanisation (y compris l'énergie de chauffage et d'agitation). Initialement, le démarrage avec du digestat a permis une production de méthane 2,27 fois plus élevée en une période plus courte par rapport à un démarrage avec de la boue municipale. Un réacteur démarré avec du digestat nécessite trois fois moins de coûts d'exploitation pour « biométhaniser » un kilogramme de matière organique par rapport à un réacteur démarré avec une solution moins biologiquement active (boue brute).

### Démarrage au laboratoire pendant 117 jours

Malgré le rôle de l'expérimentation dans la prédiction des événements indésirables lors du démarrage de réacteurs de biométhanisation et l'évaluation de conditions opérationnelles bien précises, l'alimentation en continu au laboratoire reste un défi. En effet, les réacteurs de biométhanisation de laboratoire sont le plus souvent équipés de pompes péristaltiques, ce qui limite le choix des déchets à tester au laboratoire, car l'alimentation continue en substrat hétérogène peut bloquer la pompe ou limiter sa circulation dans les tubes d'alimentation (Usack et collab., 2012). Pour éviter ces problèmes, un système de réacteurs de biométhanisation avec alimentation continue semi-automatisée par des seringues a été utilisé pour tester l'effet de certaines décisions prises pendant le démarrage de réacteurs à pleine échelle au laboratoire, garantissant ainsi la reproduction des conditions sur le terrain (figure 3).

Ainsi, le démarrage de deux réacteurs de biométhanisation en continu pendant 117 jours a permis de tester une stratégie d'augmentation de température directe vers 55 °C en une journée et d'augmentation progressive de la charge organique jusqu'à 4 g STV·j<sup>-1</sup>·L<sub>réacteur</sub><sup>-1</sup>. Cette stratégie a permis d'atteindre une production de méthane de 0,32 m<sup>3</sup>·j<sup>-1</sup>·kg STV<sup>-1</sup>, représentant 71,55 ± 6,62 % de la production ultime de la boue municipale biométhanisée. Par conséquent, les résultats obtenus ont permis aux opérateurs du centre de biométhanisation de la Ville de Québec d'anticiper certains aspects opérationnels, tels que la quantité et la composition du biogaz à être produit pendant la phase de démarrage, ainsi que la vitesse de production des inhibiteurs.

### Pour prendre des décisions rationnelles pendant le démarrage

En conclusion, la base de données développée améliore non seulement la compréhension des effets des stratégies de démarrage sur le temps nécessaire à la stabilisation, mais

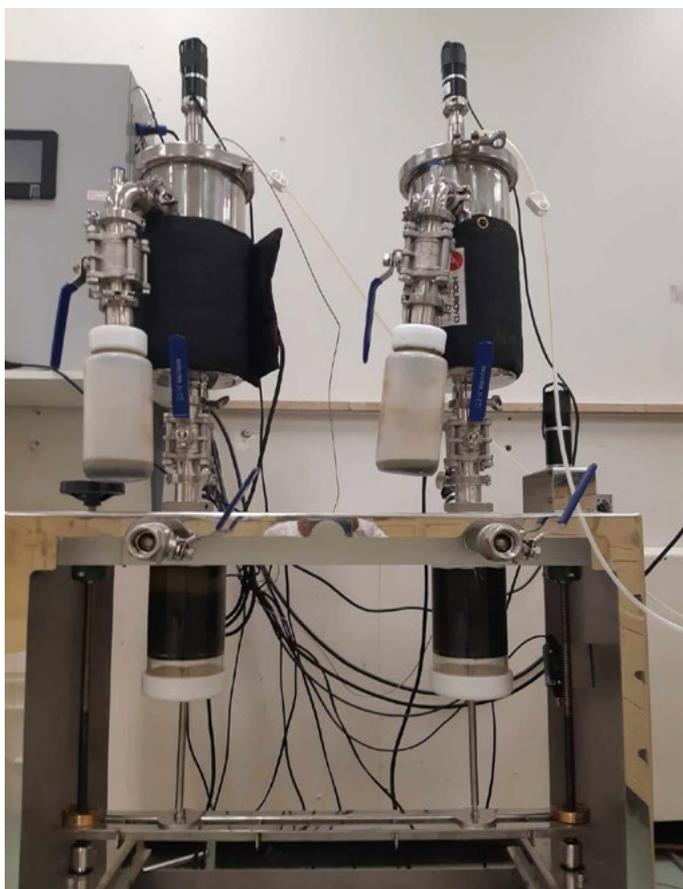
TABLEAU 3

**Corrélations entre les concentrations des inhibiteurs dans l'inoculum (ammoniac, alcalinité et acides gras volatils) et l'indice de diversité des populations bactériennes ainsi que le temps pour atteindre 80 % de la production ultime de méthane ( $t_{80}$ )**

	INDICE DE DIVERSITÉ	$t_{80}$
Ammoniac	-0,93*	NS
Alcalinité	-0,92*	NS
Acides gras volatils	NS	0,91*

\* Les astérisques indiquent des corrélations significatives et « NS » des corrélations non significatives.

FIGURE 3  
Système de deux réacteurs de biométhanisation



elle peut également servir de référence pour rationaliser les décisions prises pendant cette phase cruciale. En effet, son utilisation est pertinente d'un point de vue qualitatif pour déterminer le scénario le plus adapté en fonction du type de déchets à « biométhaniser », des conditions opérationnelles souhaitées et des contraintes spécifiques au site. À partir de la base de données, le contrôle du temps de séjour et de la teneur en STV des déchets organiques peut réduire la durée de démarrage des stations de biométhanisation.

Les indicateurs de risque développés pendant la phase expérimentale permettront aux opérateurs de réacteurs de biométhanisation de planifier la phase de démarrage avec plus de certitude et en analysant moins de paramètres. En effet, l'analyse des populations bactériennes des inoculum s'avère être le meilleur indicateur de performance, facilitant ainsi leur sélection pour garantir un démarrage réussi et le plus rapide possible. Cependant, ces analyses sont souvent coûteuses et prennent du temps. Les recherches entreprises dans le cadre de ce projet ont démontré que la simple analyse des caractéristiques physicochimiques de base de l'inoculum (teneurs en ammoniac, acides gras volatils et alcalinité) peut suffire à optimiser le choix de l'inoculum. La méthodologie d'évaluation économique – permettant d'évaluer l'effet du choix de l'inoculum sur les coûts d'exploitation des réacteurs de biométhanisation – représente également un indicateur

puissant pour l'optimisation de la phase de démarrage en évaluant l'argent économisé si on utilise le digestat comme inoculum. ●

### Références

Ahmed, W., et J. Rodríguez (2020). « A model predictive optimal control system for the practical automatic start-up of anaerobic digesters ». *Water Research*, vol. 174, 115599.

El-Fadel, M., et collab. (2013). « Startup and stability of thermophilic anaerobic digestion of OFMSW ». *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 43, n° 24, p. 2685-2721.

Ghanimeh, S., et collab. (2020). « Comparison of Single-Stage and Two-Stage Thermophilic Anaerobic Digestion of SS-OFMSW During the Start-Up Phase ». *Waste and Biomass Valorization*, vol. 11, n° 12, p. 6709-6716.

Gouvernement du Québec (2011). *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles – Plan d'action 2011-2015*. En ligne : [environnement.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/presentation.pdf](http://environnement.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/presentation.pdf).

Hastie, T., et collab. (2009). *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction – Second Edition*. New York: Springer, 758 p.

Hmaissia, A., Y. Bareha et C. Vaneeckhaute (2024). « Correlations and impact of anaerobic digestion operating parameters on the start-up duration: Database construction for robust start-up guidelines ». *Journal of Environmental Management*, vol. 359, 121068.

IEA/OECD (2018). *World Energy Outlook*, Paris. En ligne : [iea.org/reports/world-energy-outlook-2018](http://iea.org/reports/world-energy-outlook-2018).

Ishwaran, H., et collab. (2010). « High-dimensional variable selection for survival data ». *Journal of the American Statistical Association*, vol. 105, n° 489, p. 205-217.

Lens, P. N., et collab. (1995). « Sulfate reducing and methane producing bacteria in aerobic wastewater treatment systems ». *Water Research*, vol. 29, n° 3, p. 871-880.

Lim, J. W., et collab. (2020). « Effect of seed sludge source and start-up strategy on the performance and microbial communities of thermophilic anaerobic digestion of food waste ». *Energy*, vol. 203, 117922.

Primmer, N. (2021). *Biogas: pathways to 2030*. En ligne : [worldbiogasassociation.org/pathwaysto2030](http://worldbiogasassociation.org/pathwaysto2030).

Tian, Z., et collab. (2015). « Rapid establishment of thermophilic anaerobic microbial community during the one-step startup of thermophilic anaerobic digestion from a mesophilic digester ». *Water Research*, vol. 69, p. 9-19.

The World Bank (2021). *Fertilizer consumption (kilograms per hectare of arable land)*. En ligne : [data.worldbank.org/indicator/ag.con.fert.zs](http://data.worldbank.org/indicator/ag.con.fert.zs).

Usack, J. G., et collab. (2012). « Continuously-stirred anaerobic digester to convert organic wastes into biogas: system setup and basic operation ». *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, n° 65, e3978.

Xu, R., et collab. (2018). « Rapid startup of thermophilic anaerobic digester to remove tetracycline and sulfonamides resistance genes from sewage sludge ». *Science of the Total Environment*, vol. 612, p. 788-798.

Yangin-Gomec, C., et collab. (2018). « Impact of inoculum acclimation on energy recovery and investigation of microbial community changes during anaerobic digestion of the chicken manure ». *Environmental technology*, vol. 41, n° 1, p. 49-58.

Zábranská, J., et collab. (2000). « Thermophilic process and enhancement of excess activated sludge degradability—two ways of intensification of sludge treatment in the Prague central wastewater treatment plant ». *Water Science & Technology*, vol. 41, n° 9, p. 265-272.

# Défi Changements Climatiques (D2C) Pour faire rayonner la relève en environnement!



PAR CATHERINE GAULIN  
Coordonnatrice du D2C 2024 du comité Relève  
de Réseau Environnement  
releve@reseau-environnement.com

**Le Défi Changements Climatiques (D2C) est une compétition d'étude de cas qui rassemble les jeunes de la relève – étudiantes et étudiants ainsi que professionnels âgés de 18 à 35 ans – dans des domaines liés à l'environnement. Cet événement annuel met de l'avant l'esprit d'initiative et la créativité de la relève, tout en répondant à un enjeu environnemental réel et concret qui préoccupe une organisation québécoise.**

## Déroulement typique

L'équipe organisatrice du D2C, composée de membres du comité Relève de Réseau Environnement, entreprend des démarches plusieurs mois avant la compétition pour sélectionner un partenaire d'étude de cas, planifier la logistique de l'événement et en faire la promotion sur les réseaux sociaux. Les personnes intéressées au concours sont invitées à s'inscrire en équipe de quatre à cinq personnes, en favorisant la multidisciplinarité des membres. Aucune préparation n'est requise jusqu'à 24 heures avant le lancement du concours, lorsque la documentation sur la thématique de l'étude de cas est remise aux participantes et participants.

Le vendredi soir, les équipes sont invitées à se présenter en personne au lieu de la compétition. La problématique à l'étude et les livrables attendus sont alors présentés par le partenaire qui répond également aux questions des personnes participantes. Pour clôturer la première journée, un événement de réseautage est organisé pour accueillir les équipes et créer des liens.

Le samedi, premier jour de compétition, les équipes travaillent sur l'étude de cas dans des salles prévues à cet effet. Des repas sont servis tout au long de la journée, ce qui permet aux participantes et participants de se concentrer sur le défi. Une séance d'accompagnement par le partenaire est offerte à celles et ceux qui le souhaitent.

Enfin, le dimanche est la journée de dépôt et de présentation des livrables. Une allocution est effectuée par chaque équipe devant



un jury qui délibère ensuite pour remettre les prix. Les équipes gagnantes sont finalement annoncées, et les participantes et participants peuvent enfin aller se reposer à la maison!

## Édition 2024

Pour la cinquième édition du D2C, le comité Relève de Réseau Environnement – en collaboration avec RECYC-QUÉBEC – a développé une étude de cas sur la thématique « Repenser la filière textile : tisser les liens d'un futur circulaire ». Ainsi, huit équipes se sont réunies dans les locaux de l'École de technologie supérieure, du 15 au 17 mars 2024, afin de résoudre cette problématique. La compétition s'est clôturée par la présentation de leurs solutions devant quatre membres du jury, soit des spécialistes de Réseau Environnement, de RECYC-QUÉBEC, de l'Association des ressourceries du Québec et de Mmode (la Grappe métropolitaine de mode). Les équipes ont donc été invitées à développer des recommandations d'actions visant à stimuler la circularité des matières dans la filière textile, en mobilisant divers acteurs dans le milieu. Leur plan d'action, composé de quatre mesures clés, devait pouvoir être mis en œuvre par RECYC-QUÉBEC et intégré à sa planification stratégique, en cours d'élaboration.

Trois équipes ont remporté des prix qui étaient offerts par le partenaire de cas. Les équipes gagnantes ont su se démarquer par l'originalité et l'aspect transversal des actions proposées. Les *Écotissés*, l'équipe qui a obtenu la première place de cette cinquième édition, était composée d'étudiantes et d'étudiants ainsi que de professionnels issus de divers domaines, dont l'environnement, le génie, le design et le monde des affaires.

« Les différentes pistes de solutions soulevées ont permis à RECYC-QUÉBEC de poursuivre sa réflexion sur l'élaboration d'une stratégie québécoise de la promotion de l'économie circulaire dans la filière textile. »

### Pistes de solutions soulevées

Les différentes pistes de solutions soulevées ont permis à RECYC-QUÉBEC de poursuivre sa réflexion sur l'élaboration d'une stratégie québécoise de la promotion de l'économie circulaire dans la filière textile. L'équipe ayant remporté la première place, les *Écotissés*, a présenté un plan d'action novateur mettant l'accent sur : le financement et la facilitation des synergies industrielles, l'éducation et la mobilisation des consommateurs, et l'intégration des principes de circularité dans le curriculum scolaire. Certaines solutions proposées par d'autres équipes se sont également démarquées. Parmi celles-ci, notons des initiatives de : mobilisation citoyenne, réemploi et réparation de vêtements, économie de fonctionnalité, promotion dans les événements de mode, financement aux projets d'innovation, recyclage des textiles pour en faire divers produits, et utilisation et promotion des fibres durables.

### Prochaine édition

La prochaine édition du D2C, qui se déroulera en 2025, est déjà en préparation! Une toute nouvelle étude de cas sera développée entre le partenaire de cas et les membres du comité Relève qui font partie du comité organisateur de cet événement.

D'ailleurs, le comité est à la recherche du prochain partenaire de cas et de membres de la relève prêts à contribuer à cet événement! Votre organisation a une problématique à résoudre



Les *Écotissés*, l'équipe gagnante de l'édition 2024 du D2C. De gauche à droite : Doriane Caradeux, Salomé Boutin, Hugo Caillet, Joséphine Jouslin et Noémie Videaud-Maillette.

et souhaite faire appel à la relève pour s'inspirer de leurs solutions? Vous souhaitez vous joindre au comité Relève pour contribuer à l'organisation du prochain D2C? Contactez le comité par courriel à [releve@reseau-environnement.com](mailto:releve@reseau-environnement.com).

### Jeunes de la relève : le D2C vous intéresse ?

Vous souhaitez participer au D2C en 2025? Restez à l'affût : consultez l'infolettre de Réseau Environnement, et abonnez-vous aux pages LinkedIn et Facebook du comité Relève! ●

**COMITÉ RELÈVE**

Le comité Relève de Réseau Environnement, composé d'une dizaine de membres actifs dans leur milieu, a été créé à l'automne 2016. Il vise l'intégration de la relève au sein de la communauté de spécialistes en environnement, en favorisant les échanges intergénérationnels et le partage des connaissances, assurant ainsi la pérennité de l'expertise québécoise en environnement. Le comité Relève est toujours à la recherche de nouveaux membres voulant prendre part à ses nombreux projets, dont l'organisation du prochain D2C. Ça vous intéresse? Écrivez à l'adresse [releve@reseau-environnement.com](mailto:releve@reseau-environnement.com)!

Plan pour une **économie verte**

**PROGRAMME OASIS**  
AMÉNAGER DES  
INFRASTRUCTURES VERTES  
POUR S'ADAPTER AUX  
CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Plus d'infos : [Quebec.ca/programme-oasis](https://Quebec.ca/programme-oasis)



# PFAS dans l'eau potable

## Nouvelles normes et recommandations



PAR JEAN PAQUIN, ing. ÉESA®  
Avisseur technique, ALTRA | SANEXEN  
jpaquin@sanexen.com

**De nouvelles normes et recommandations ont été mises de l'avant – en 2023 au Canada et en 2024 aux États-Unis – pour les contaminants organofluorés (PFAS) dans l'eau potable. Voici une brève présentation de ces critères.**

### Réglementation aux États-Unis

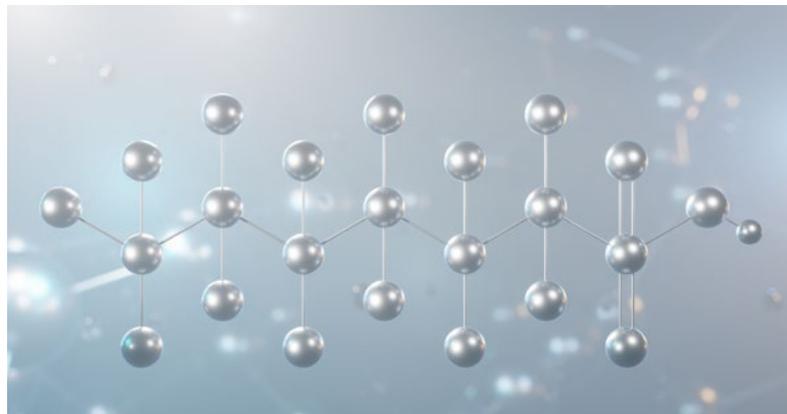
Une nouvelle réglementation a été promulguée par le U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA, 2024). En effet, l'EPA a publié, le 26 avril 2024, le *National Primary Drinking Water Regulation* pour les PFAS. Le règlement établit des normes d'eau potable pour six composés, et instaure des obligations de suivi et de notification publique pour les installations de pompage et de traitement d'eau. Les installations devront réaliser un échantillonnage trimestriel et devront maintenir une moyenne annuelle mobile sous les concentrations maximales de contaminant d'ici le 26 avril 2026 (AWWA, 2024). Le tableau 1 montre les composés ciblés ainsi que les concentrations à respecter en nanogrammes par litre (ng/L).

L'AWWA ainsi que l'Association of Metropolitan Water Agencies (AMWA) ont soumis, le 7 juin dernier, une pétition à la Cour d'appel du District de Columbia pour réviser ce règlement.

TABLEAU 1

#### Critères obligatoires pour six PFAS dans l'eau de consommation

COMPOSÉS	OBJECTIF DE NIVEAU MAXIMAL DE CONTAMINANTS (ng/L)	CONCENTRATION MAXIMALE (ng/L)
Acide perfluorooctanesulfonique (PFOS)	0	4
Acide pentadécafluorooctanoïque (PFOA)	0	4
Acide perfluorohexane sulfonique, ses sels et ses précurseurs (PFHxS)	10	10
Acide perfluorononanoïque (PFNA)	10	10
Acide dimère d'oxyde d'hexafluoropropylène (HFPO-DA)	10	10
Acide perfluorobutanesulfonique, PFNA, PFHxS et PFNA	1	1



L'AWWA et l'AMWA partagent l'objectif de l'EPA de protéger la santé publique. Les associations sont toutefois soucieuses concernant plusieurs enjeux, et particulièrement par rapport au fait que le règlement sous-estime les coûts à l'échelle du pays et implique des défis d'abordabilité sans atteindre les résultats de santé publique.

La position de l'AWWA est de : réduire l'introduction de PFAS dans l'eau en les contrôlant à la source et en tenant les entités derrière cette contamination responsables, tout en protégeant les récepteurs passifs de PFAS; renforcer le principe du pollueur-payeur. Une récente analyse par Black & Veatch a estimé que les coûts pour la mise en œuvre des normes proposées pouvaient dépasser une fourchette de 2,5 à 3,2 milliards \$ US (AWWA, 2024). Ce fardeau ne devrait pas incomber aux municipalités.

On peut noter que cette position rejoint celle mise de l'avant par Réseau Environnement qui est de favoriser le traitement à la

source; un tel traitement étant moins dispendieux en raison des débits moindres et des concentrations plus élevées à ces endroits.

Pour toute question au sujet des informations provenant de l'AWWA, il est possible de communiquer avec M. Guillaume Drolet, représentant pour la section Québec de l'AWWA.

## Objectif proposé au Canada

Le gouvernement canadien a publié l'an dernier un document – intitulé *Objectif proposé pour la qualité de l'eau potable au Canada pour les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées* – proposant un critère de 30 ng/L pour la somme des substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées couramment analysées dans l'eau potable (Santé Canada, 2023). Il est à noter que le gouvernement canadien utilise l'acronyme « SPFA » en français. L'acronyme anglais « PFAS » est aussi couramment utilisé par les acteurs dans le domaine de l'environnement; la grande majorité des publications étant en anglais, cela facilite les communications à l'international. Voici un extrait du document :

« Afin de réduire l'exposition par l'eau potable, il est proposé de fixer à 30 ng/L l'objectif pour la somme des concentrations de substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (SPFA) totales détectées dans l'eau potable. Les concentrations de SPFA totales devraient être calculées d'après la liste complète des substances figurant dans la méthode 533 ou 537.1 de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis (U.S. EPA), ou dans les deux [...]. Un secteur de compétence pourrait également valider et appliquer une autre méthode d'analyse qui quantifie un minimum de 18 SPFA. Aux fins de l'objectif proposé, un résultat de non-détection est considéré comme ayant une valeur de zéro. Il est recommandé que les stations de traitement s'efforcent de maintenir les concentrations de SPFA dans l'eau potable au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre (*as low as reasonably achievable*, ALARA). [...] Le présent document technique a été préparé en collaboration avec le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable (CEP) » (Santé Canada, 2023, p. 2).

Bien que cela semble différent de ce qui a été mis de l'avant aux États-Unis (l'addition des concentrations limites donne 39 ng/L aux É.-U.), les deux approches arrivent sensiblement au même résultat. L'approche est différente du fait que la réglementation sous-jacente n'est pas la même entre les deux pays.

Le gouvernement canadien a aussi publié un document très élaboré sur l'évaluation de cette famille de composés organofluorés (ECCC et Santé Canada, 2023).

Il est à noter que des critères ont aussi été mis de l'avant par le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs pour les biosolides. ●

## Références

AWWA (2024). *PFAS*. En ligne : [awwa.org/Resources-Tools/Resource-Topics/PFAS](http://awwa.org/Resources-Tools/Resource-Topics/PFAS).

ECCC (Environnement et Changement climatique Canada) et Santé Canada (2023). *Rapport sur l'état des substances perfluoroalkyliques et polyfluoroalkyliques (SPFA) – Ébauche*. En ligne : [canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/evaluation-substances-existantes/ebauche-rapport-etat-substances-perfluoroalkyliques-polyfluoroalkyliques.html](http://canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/evaluation-substances-existantes/ebauche-rapport-etat-substances-perfluoroalkyliques-polyfluoroalkyliques.html).

Santé Canada (2023). *Objectif proposé pour la qualité de l'eau potable au Canada pour les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées : Aperçu*. En ligne : [canada.ca/fr/sante-canada/programmes/consultation-objectif-propose-qualite-eau-potable-canada-substances-perfluoroalkylees-polyfluoroalkylees/apercu.html](http://canada.ca/fr/sante-canada/programmes/consultation-objectif-propose-qualite-eau-potable-canada-substances-perfluoroalkylees-polyfluoroalkylees/apercu.html).

U.S. EPA (2024). *Key EPA Actions to Address PFAS*. En ligne : [epa.gov/pfas/key-epa-actions-address-pfas](http://epa.gov/pfas/key-epa-actions-address-pfas).



American Water Works  
Association

Section Québec

Vous êtes un professionnel de l'eau? Vous voulez faire partie de la communauté de l'eau?

## DEVENEZ MEMBRE DE LA SECTION QUÉBÉCOISE DE L'AWWA!

L'American Water Works Association (AWWA), créé en 1881, est le plus important réseau de professionnels de l'eau au monde. Sa mission est de faire progresser la santé publique et d'assurer l'accessibilité à une eau de qualité en quantité suffisante. Pour ce faire, elle offre aux spécialistes du domaine de l'eau de l'information, des formations et des occasions de réseautage. Réseau Environnement est gestionnaire de la Section québécoise de l'AWWA.

### LE QUÉBEC POSSÈDE SA SECTION LOCALE

Ahrez à la Section québécoise de l'AWWA et bénéficiez de nombreux avantages :

#### Informez-vous

- Recevez le *Opflow*\* et le *Journal – American Water Works Association*\*
- Accédez à la *Water Library*\* pour une revue de la littérature
- Accédez à *Resource Communities*\*, une plateforme virtuelle d'échanges, de réseautage et d'information pour les professionnels
- Recevez l'*AWWA News*\* pour connaître les nouvelles de la communauté de l'eau

\* information en anglais seulement

#### Développez votre réseau

- Soyez en contact avec plus de 50 000 professionnels des 43 sections nord-américaines
- Impliquez-vous dans un comité technique selon votre spécialisation
- Joignez-vous aux activités de votre section locale

#### Élargissez vos connaissances

- Accédez à des dizaines de formations données annuellement à travers le monde
- Participez aux événements majeurs du domaine à prix avantageux
- Profitez de tarifs préférentiels pour l'achat de manuels et autres publications\*\*

\*\* la Section québécoise rend disponibles quelques publications en français

### ADHÉREZ DÈS MAINTENANT!

Pour connaître les cotisations d'adhésion en vigueur et devenir membre, consultez le [www.awwa.org](http://www.awwa.org)

Pour plus d'information, contactez-nous à [info@sqawwa.org](mailto:info@sqawwa.org)



# Planification des composés perfluorés Pour se préparer à la réglementation de demain



PAR YVAN BREAULT, ing., M. Env.  
Délégué de Réseau Environnement auprès de  
la WEF



(Traduction libre permise par la Water Environment Federation [WEF] de l'article suivant : Hunter, G., P. McNamara et L. Moss (2024). « Planning proactively for PFAS: How holistic planning today can prepare utilities for tomorrow's PFAS regulation ». *Water Environment & Technology*, p. 31-35.)



**Les stations de récupération des ressources de l'eau (StaRRE) sont confrontées à des défis croissants en ce qui concerne la gestion des composés perfluorés (PFAS), complexifiés par : un avenir réglementaire incertain ; la difficulté à comprendre les sources et à quantifier les PFAS à l'affluent ; et la difficulté à démontrer l'efficacité des technologies émergentes permettant de traiter ces composés.**

Les solutions pour gérer les PFAS doivent faire appel à différentes stratégies visant à réduire à la fois les PFAS entrant dans les stations à partir des systèmes de collecte et ceux qui en sortent. Dans le cadre d'un plan de gestion global, l'adoption de ces stratégies – associée à une compréhension de l'encadrement législatif à venir – contribue à améliorer la capacité des services publics à naviguer en évitant les écueils dans ce contexte d'incertitude.

## Réglementation des PFAS : aujourd'hui et demain

L'agence fédérale américaine de protection de l'environnement, soit l'Environmental Protection Agency (EPA), fait figure de proue dans la gestion des PFAS. Selon son calendrier de réalisations, un cadre réglementaire fédéral sur les PFAS est attendu en 2024. De plus, le 8 février dernier, la méthode de mesure 1633 des PFAS dans les eaux usées, les solides et les lixiviats des sites d'enfouissement et dans les tissus des poissons est entrée en vigueur, ayant franchi les étapes de validation et de déploiement.

L'application de cette méthode approuvée par l'EPA – une première permettant de mesurer 40 composés PFAS dans les eaux usées – marque un moment décisif pour la gestion des PFAS. L'approbation de la méthode 1633 a permis de réduire le niveau d'incertitude et déclenché des actions au niveau de certains États qui avaient été retenues dans l'attente de son approbation. La nouvelle méthode soutient également plus fortement la mise en œuvre des directives de l'EPA publiées en décembre 2022 pour évaluer et réduire les PFAS dans les eaux usées. Parallèlement à la méthode 1633, l'EPA a également approuvé la méthode 1621 permettant de mesurer le fluor organique total (FOT). Les premières réflexions étaient que cette méthode pourrait être utilisée à des fins de dépistage des PFAS. Cependant, des études récentes ont montré que les valeurs de FOT surestiment souvent les concentrations de PFAS, en particulier lorsque les échantillons présentent des concentrations élevées de fluorure. Dans ces situations, les mesures appliquées sans facteur correctif ne permettent pas une représentation raisonnable des concentrations de PFAS dans les eaux usées et des problèmes potentiels qui en découlent. Ainsi, à l'heure actuelle, l'utilisation de méthodes ciblées pour quantifier des PFAS spécifiques constitue le meilleur moyen de connaître le profil des différents composés perfluorés présents dans les eaux usées.

L'EPA va également de l'avant avec les modifications proposées dans la *Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act* (CERCLA) afin de gérer les enjeux environnementaux liés aux PFAS, les mises à jour devant être finalisées cette année. La CERCLA prévoit du financement fédéral pour nettoyer les sites de déchets dangereux non contrôlés ou abandonnés, ainsi que pour les accidents, les déversements et autres rejets d'urgence de polluants et de contaminants dans l'environnement. Elle permet également à

l'EPA de rechercher les parties responsables de tout rejet et d'assurer leur coopération au nettoyage.

De nouvelles lignes directrices afin de limiter les effluents de lixiviation des sites d'enfouissement sont également en cours de rédaction. Leur finalisation pourrait avoir un impact significatif sur les services de traitement des eaux usées qui enfouissent leurs rejets solides. Même si ce règlement vise à minimiser les rejets à l'environnement de PFAS provenant des sites d'enfouissement, cela pourrait avoir comme effet collatéral de relever les exigences de traitement des lixiviats, ce qui pourrait engendrer une augmentation des coûts d'enfouissement. De plus, certains sites pourraient refuser d'accepter les rejets solides des StaRRE et/ou exiger une caractérisation de ces rejets et établir des limites afin de minimiser leurs besoins de traitement.

Enfin, les résultats de l'évaluation des risques liés aux PFAS dans les biosolides – attendus au cours des prochains mois – pourraient apporter des éclaircissements sur les limites réglementaires potentielles pour ces composés. Cependant, si cela se justifie, le processus d'élaboration d'un cadre réglementaire s'étendrait probablement jusqu'en 2025 ou au-delà.

### **Gestion des PFAS : une approche proactive et globale**

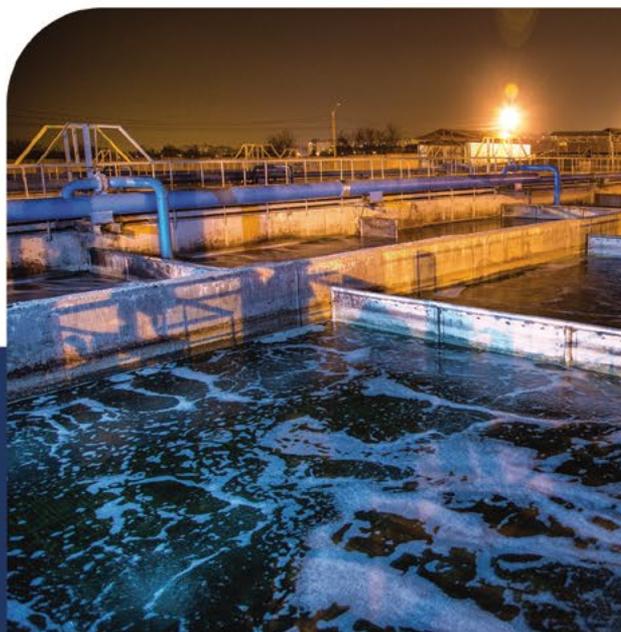
Malgré les incertitudes au sujet du futur cadre législatif entourant les PFAS, les services de traitement des eaux usées peuvent explorer trois stratégies – potentiellement mises en œuvre sous la forme d'un plan à multiples facettes – pour gérer les PFAS et atténuer les risques. D'abord, afin de limiter les rejets de PFAS, les autorités peuvent adopter différentes approches permettant de limiter la quantité de matières contenant des PFAS entrant dans le système de collecte des eaux usées. Ces approches multiples peuvent aller de la collaboration avec les industries utilisatrices à la mise en œuvre de pratiques limitant les PFAS dans les rejets, en passant par la promotion de la gestion responsable des produits et d'autres approches visant à réduire les PFAS dans les produits de consommation. Ensuite, les services de traitement des eaux usées peuvent examiner les technologies permettant de concentrer, de séparer et de détruire les PFAS afin de minimiser leur rejet à l'environnement. Enfin, des projets de recherches sur le devenir des PFAS, les coûts de traitement et la fiabilité des technologies de traitement peuvent être déployés. Les investissements dans la recherche, le développement et l'innovation – pour améliorer la compréhension des technologies de traitement qui peuvent affecter les concentrations de PFAS et leurs effets ultérieurs sur la santé humaine et l'environnement – seront essentiels afin que les services publics puissent évaluer s'ils doivent adopter ces processus.

Malgré la volonté des autorités à se préparer au mieux pour l'avenir, elles doivent toutefois demeurer conscientes des incertitudes associées au futur environnement législatif entourant les composés perfluorés, ainsi que des conséquences d'une action trop rapide et insuffisamment réfléchie. La réglementation sur l'utilisation des PFAS pourrait devenir plus stricte, et des exigences de prétraitement et l'interdiction d'utilisation de certains composés perfluorés dans les produits de consommation pourraient rendre les PFAS moins préoccupantes à l'avenir. Dans ce contexte incertain, les technologies de traitement mises en œuvre doivent avoir du sens d'un point de vue économique, énergétique et technique. ●



## **Une expertise globale au service du secteur municipal et industriel**

- Opération et optimisation de systèmes de traitement des eaux
- Remplacement ponctuel d'opérateurs (départ volontaire ou à la retraite)
- Service et assistance technique
- Expertise, instrumentation et mesure de boues
- Accompagnement dans le choix des technologies



**SERVICE D'ASSISTANCE 24/7**

**1 855 756 6227**

[www.nordikeau.com](http://www.nordikeau.com)

# On cajole vos cannes.



**Découvrez  
la gestion  
intelligente  
des déchets.**



ENVIRO  
CONNEXIONS