

La revue
des spécialistes de
l'environnement
au Québec

Volume 53 • Numéro 4
Décembre 2020

Vecteur Environnement



DOSSIER
**VERS UNE MOBILITÉ
DURABLE : OPTIMISER
LE TRANSPORT**

- Kilomètres parcourus : aménager la ville des courtes distances
- Optimiser la livraison urbaine un vélo à la fois : retour d'expérience
- Projet pilote de navettes automatisées à Montréal : un allié au transport collectif
- Recherche opérationnelle et IA en transport de marchandises : une solution pour la crise climatique
- Société de transport de Laval : vers l'électrification du transport collectif

PUBLIÉE PAR :

EN LIGNE

De la
réflexion
à l'action

Americana

Forum sur l'environnement et Salon international
des technologies environnementales

22 et 23 MARS 2021

Pour la
première
fois en **virtuel**

Échanges B2B
avec nos
exposantes
et exposants
Réseautage
virtuel

Conférences
virtuelles
de **qualité**

CHRONIQUES

Tour d'horizon	44
Relève	46
L'exploitant	48
AWWA – Article technique	50
WEF	56
SWANA	58
Actualité internationale	60
À lire	61
À l'agenda	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

Éditrice

Meriem Chebaane

Comité de direction

Michel Beaulieu, secteur Sols et Eaux souterraines
Pierre Benabidès, secteur Matières résiduelles
Marie-Hélène Gravel, secteur Matières résiduelles
Joëlle Roy Lefrançois, secteur Biodiversité
Nicolas Trotter
Céline Vaneekhaute, secteur Eau

Avec la collaboration de :

Candice Baan, Gaëlle Bailon-Poujol, Antoine Beaumont, Yves Bernard, Pierre Bertrand, Rossana Borges Teixeira, Mickael Brard, Martine Caron, Martin Chevrier, Yves Comeau, Julie Cunningham, Francis Fortin, Bernard Gendron, Laura Ginoux, Frédéric Girard, Jordan Gosseries, Ariel Guindon-Grenon, Marion Harvey, Yannis Kachani, Mathieu Lacombe, Samuelle Landry Levesque, Pierre Laviguer, Charles Leclerc, François-Philippe Lefebvre, Jacques Léonard, Otmame Limouri, Dominique Maxime, Julien Pedneault, Amandine Rambert, Brigitte Regnier, François Sarrazin, François Saulnier, Vincent Taillard, Martin Trépanier.

Financé par le
gouvernement
du Canada



Abonnement annuel papier (55 \$) ou numérique (25 \$)

Les auteurs des articles publiés dans Vecteur Environnement sont libres de leurs opinions. La forme masculine est privilégiée sans intention discriminatoire et uniquement dans le but d'alléger les textes. Le contenu de Vecteur Environnement ne peut être reproduit, traduit ou adapté, en tout ou en partie, sans l'autorisation écrite de l'éditrice.

FSC position
pour Maska



100%



Dossier

Vers une mobilité durable : optimiser le transport

5

KILOMÈTRES PARCOURUS

Aménager la ville des courtes distances

6

OPTIMISER LA LIVRAISON URBAINE UN VÉLO À LA FOIS

Retour d'expérience

10

PROJET PILOTE DE NAVETTES AUTOMATISÉES À MONTRÉAL

Un allié au transport collectif

12

**RECHERCHE OPÉRATIONNELLE ET IA EN TRANSPORT
DE MARCHANDISES**

Une solution pour la crise climatique

16

SOCIÉTÉ DE TRANSPORT DE LAVAL

Vers l'électrification du transport collectif

20

MATIÈRES RÉSIDUELLES – Article technique

Matériaux, réutilisation et consigne

Analyse du cycle de vie des contenants de boisson

24

AIR, CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ÉNERGIE

Adaptation aux changements climatiques

Des fiches synthèses régionales pour passer à l'action

30

SOLS ET EAUX SOUTERRAINES

Traitement de sols contaminés au Nunavik

Les défis de la recherche d'une solution adaptée

34

BIODIVERSITÉ

Empierrement écologique de la baie de Rivière-du-Loup

Faire d'une pierre deux coups

36

ARTICLE TECHNIQUE

Production de compost avec l'objectif zéro déchet

La place du traitement mécano-biologique

38

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**Président**

Nicolas Turgeon
Investissement Québec – CRIQ

Président sortant

André Carange

Secrétaire-trésorier

Yves Gauthier

**Vice-président, secteur Air,
Changements climatiques et Énergie**

Dominic Aubé

Ville de Québec

Vice-président, secteur Biodiversité

Hugo Thibaudeau Robitaille

T² Environnement**Vice-présidente, secteur Eau**

Marie-Claude Besner

Ville de Montréal

**Vice-président
secteur Matières résiduelles**

Simon Naylor

Viridis Environnement

**Vice-président,
secteur Sols et Eaux souterraines**

Philippe Giasson

Enutech inc.

Administratrice

Karine Boies
Cain Lamarre

Administrateur

Robert Dubé
Atout Recrutement

Administratrice Relève

Mailys Carlin

Présidente du comité régional

Abitibi-Témiscamingue

Hassine Bouaff

Centre technologique des résidus industriels

Présidente du comité régional

Bas-Saint-Laurent /

Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine

Geneviève Pigeon

Ville de Rivière-du-Loup

Président du comité régional

Capitale-Nationale / Chaudière-

Appalaches

Jean-Louis Chamard

GMR International inc.

Présidente du comité régional

Côte-Nord

Christine Beaudoin

Ville de Baie-Comeau

Présidente du comité régional

Estrie

Léonie Lepage-Ouellette

Conseil régional de

l'environnement de l'Estrie

Président du comité régional

Outaouais

Martin Beaudry

Asisto

Présidente du comité régional

Mauricie / Centre-du-Québec

Jeanne Charbonneau

CNETE

Présidente du comité régional

Montréal

Elise Villeneuve

EnviroRcube

Présidente du comité régional

Saguenay-Lac-Saint-Jean

Josée Gauthier

Groupe Coderr

Présidente-directrice générale

de Réseau Environnement

Christiane Pelchat

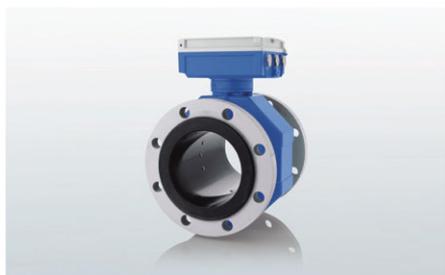
Nous savons que votre défi est d'optimiser l'efficacité des installations dans le respect des normes et des exigences légales.

RESPECTER + ECONOMISER

Vous atteignez vos objectifs d'efficacité et réduisez vos coûts sans compromis sur la qualité de l'eau.



Proline Promag W 0 x DN à passage intégral – Le premier débitmètre électromagnétique au monde pour des mesures sans restriction



- Mesure fiable – indépendamment du profil d'écoulement et de l'emplacement de montage
- Le premier et unique débitmètre électromagnétique sans longueur droite amont/aval (0 x DN), sans restriction du tube de mesure (passage intégral) et donc sans perte de charge
- Installation directement après des coudes, parfait pour un montage dans des espaces réduits et sur des skids

Vous voulez en savoir plus ?
www.ca.endress.com/5W4C

Endress+Hauser 

People for Process Automation



Vers une mobilité durable : optimiser le transport

En 2017, le seul secteur du transport émettait 43,3 % de tous les gaz à effet de serre (GES) émis au Québec. De plus, les émissions du secteur ont augmenté de 23 % entre 1990 et 2017, alors que celles de la plupart des autres secteurs ont diminué sur la même période (MELCC, 2019). Ainsi, le transport reste au cœur de l'enjeu climatique québécois et devra logiquement être le principal chantier de lutte aux changements climatiques au cours des 10 prochaines années. Comment guider les actions de ce chantier ? Par la mobilité durable. Découlant du concept de développement durable, la mobilité durable implique « une recherche d'équilibre, d'une part entre des enjeux environnementaux, économiques et sociaux, et d'autre part entre la satisfaction des besoins du présent et des générations futures » (Pour la solidarité, 2009).

En 2018, le Québec s'est doté d'une Politique de mobilité durable dont le plan d'action repose sur l'approche « Réduire – Transférer – Améliorer » (RTA). À l'instar du principe des 3RV-E dans le domaine des matières résiduelles, cette approche priorise les actions visant à rendre le secteur des transports plus durable :

- Réduire : diminuer les besoins de déplacements et les distances à parcourir ;
- Transférer : effectuer les mêmes déplacements, mais en utilisant des moyens de transport moins énergivores ;
- Améliorer : améliorer l'efficacité énergétique des véhicules.

Selon ce concept, il est donc préférable de réduire avant de transférer, de transférer plutôt que d'améliorer, et finalement d'améliorer seulement ce qui n'a pas pu être réduit ou transféré.

Ce dossier présente, sous le prisme de l'approche RTA, des initiatives et des stratégies mises en œuvre par différents acteurs désirant optimiser le transport afin d'atteindre une mobilité plus durable.

Références

MELCC (2019). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2017 et leur évolution depuis 1990*. En ligne : environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2017/inventaire1990-2017.pdf.

Pour la solidarité (2009). *Mobilité durable – Enjeux et pratiques en Europe*. En ligne : doczz.fr/doc/52389/mobilit%C3%A9-durable-enjeux-et-pratiques-en-europe.



Kilomètres parcourus

Aménager la ville des courtes distances

Le bilan carbone des transports résiste encore aux stratégies de réduction des émissions, une tendance corrélée à l'augmentation des kilomètres parcourus. Cette augmentation découle des milliers de décisions quotidiennes de déplacement, mais surtout de la manière dont le territoire est organisé. Pour l'enrayer, l'option la plus crédible à notre disposition consiste à créer un cadre qui permet et encourage la proximité.



PAR AMANDINE RAMBERT, Urb. OUC
Coordonnatrice – Aménagement et urbanisme,
Vivre en Ville

Une courbe à inverser

Au Québec, les automobiles et les camions légers émettent en une année 17 millions de tonnes d'équivalent en dioxyde de carbone (Mt éq. CO₂), soit 22 % du bilan carbone total. Alors qu'on mise sur une réduction de 43 % (15 Mt éq. CO₂) du bilan carbone des transports entre 2016 et 2030 (MDDELCC, 2015),

celui du parc automobile a augmenté de 22 % entre 1990 et 2016 (MELCC, 2018). Si l'on souhaite atteindre les cibles, il faut donc non seulement aplanir la courbe, mais bien l'inverser.

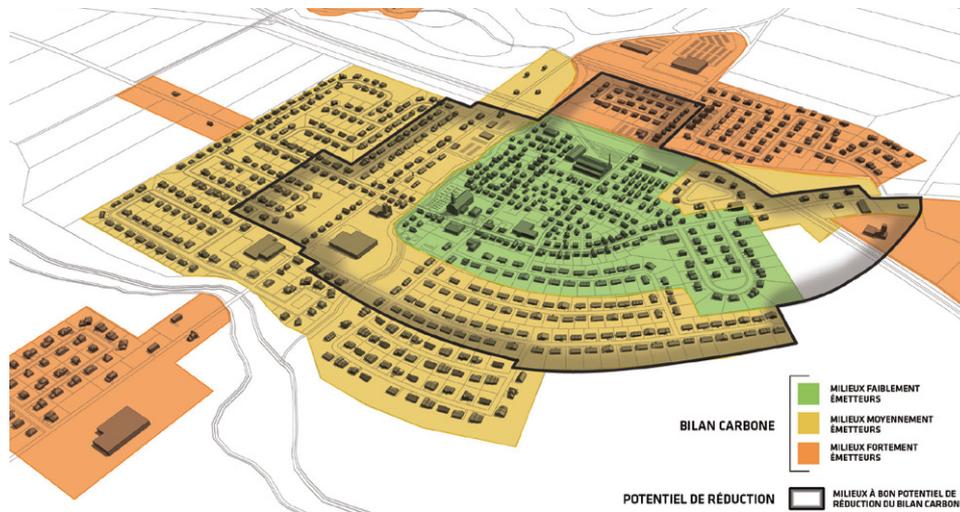
Les causes de ces émissions à la hausse sont à chercher en priorité dans l'augmentation du nombre de kilomètres parcourus par les véhicules motorisés. De 1990 à 2007, la distance moyenne annuelle parcourue en automobile par personne a augmenté de 29 %, et elle a atteint 10 927,5 km par Québécois en 2014.

La localisation à la racine du problème

Les distances parcourues sont étroitement liées à la localisation des points d'origine et de destination des déplacements. Or, ce qu'on observe encore souvent, partout au Québec, ce sont

FIGURE 1

L'endroit où on habite et l'emplacement des générateurs de déplacement conditionnent en grande partie les distances parcourues et le bilan carbone des déplacements (source : Vivre en Ville).



des lotissements qui sortent de terre de plus en plus loin des services et des emplois, dans des milieux de vie dépendants de l'automobile (figure 1). L'absence d'option crédible pour accéder à pied, à vélo ou en transport en commun aux destinations du quotidien fait en sorte qu'une proportion croissante de ménages utilise systématiquement l'automobile pour se déplacer : le nombre d'automobiles ou de camions légers de promenade en circulation au Québec a augmenté de 16 % entre 2008 et 2018 (SAAQ, 2019).

C'est la localisation des activités qui crée les besoins de mobilité : la finalité des déplacements est de se rendre et de revenir de son lieu de travail, d'études, de loisirs, d'un point de vente ou de services. Or, du côté des destinations, un phénomène similaire à celui des résidences est observé. Les commerces, les emplois et les équipements publics s'éloignent des noyaux traditionnels pour s'éparpiller dans un grand nombre de secteurs qui ne sont généralement accessibles qu'en automobile : les mégacentres commerciaux, les *strips* et les zones commerciales, les zones industrielles et les parcs d'affaires, ou encore les campus institutionnels. Puisqu'ils bénéficient d'une bonne accessibilité par le réseau routier supérieur (autoroutes et routes à numéro) et d'une accessibilité médiocre par les autres modes de transport, les déplacements qu'ils attirent sont majoritairement effectués en auto. Même au sein de ces zones qui concentrent les activités, la distance d'une porte à l'autre encourage à s'y déplacer en voiture, d'autant que les parcours d'une aire de stationnement à l'autre sont hostiles et que la traversée des routes d'accès est dangereuse.

L'augmentation des distances parcourues est ainsi largement alimentée par les choix de localisation des ménages et des activités : c'est un enjeu d'aménagement du territoire.

Comment raccourcir les déplacements domicile-travail ?

La réponse semble simple : on rapproche les origines et les destinations, donc les habitations et les activités. L'éparpillement des entreprises s'est d'ailleurs accompagné de l'espoir de réduire

les déplacements en rapprochant les activités des habitants des banlieues. Pourtant, pour chaque kilomètre d'éloignement du centre-ville, on mesure au contraire une augmentation d'environ 250 mètres de la distance moyenne de navettage et, pour chaque kilomètre d'éloignement d'un pôle d'emploi majeur, une augmentation de cette distance d'environ 380 mètres (VTPI, 2020).

L'emploi étant une destination non choisie, on parcourt généralement de plus longues distances pour y accéder. Puisque le bassin d'influence des pôles d'emploi s'étend souvent à l'échelle de la région, réduire les distances parcourues implique donc de localiser les emplois à proximité des principales concentrations de population, c'est-à-dire le plus près possible du centre et sur le réseau de transport collectif (figure 2, p. 8).

Il est d'autant plus important de localiser les emplois au centre, où l'on trouve une grande diversité de commerces et de services à distance de marche, car une telle localisation donne accès aux employés – le midi et le soir – à des destinations du quotidien et contribue ainsi à réduire leurs besoins de déplacements motorisés.

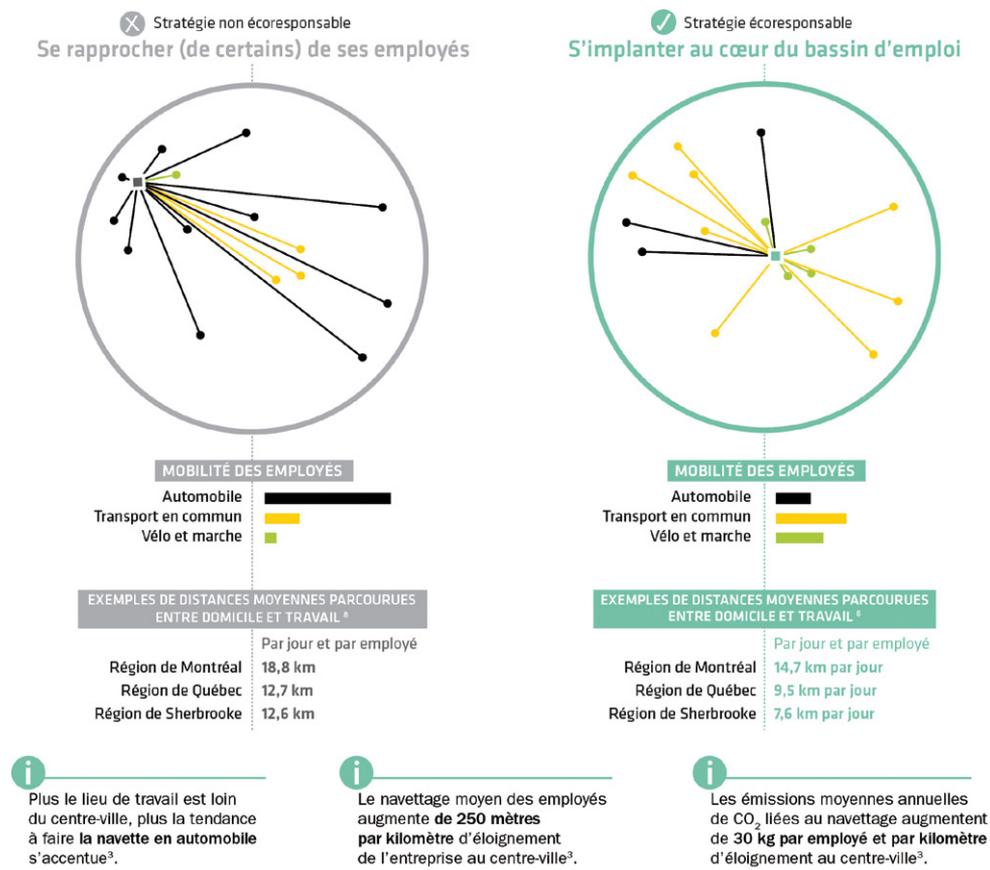
Mieux structurer le territoire autour de centralités

En revanche, entre deux commerces ou services similaires, c'est généralement le plus proche que l'on privilégie. Réduire les distances à parcourir passe donc par le renforcement ou le développement – au cœur de chaque milieu de vie – d'une centralité capable de répondre, dans un espace resserré, à tous les besoins du quotidien. Plus le milieu est densément habité, plus il peut viabiliser de services et d'activités : une école, un dépanneur ou une épicerie, une pharmacie, un bureau de poste, une banque, un café, un restaurant, un parc, un espace de rencontre, un CLSC, etc. (figure 3, p. 9).

Un milieu de vie où l'on peut habiter, faire ses achats et s'amuser sur place évite l'utilisation de la voiture ou réduit considérablement les distances pour s'y rendre, mais aussi les distances entre

FIGURE 2

La localisation de l'entreprise (point carré) au centre ou en périphérie a une incidence majeure sur les distances parcourues par ses employés et sur leur mode de déplacement (source : Vivre en Ville).



ces destinations. Un milieu de vie complet permet également d'éviter ou, du moins, de limiter les détours à faire entre les diverses destinations du quotidien.

Consolider les milieux les mieux desservis

Pour rapprocher la population des activités, une autre stratégie porteuse consiste à accueillir davantage de ménages dans les quartiers complets et à proximité du centre-ville. Ces résidents contribueront à la vitalité des services existants et à rentabiliser l'arrivée de nouveaux services.

Tous les milieux habités donnent à penser qu'ils sont pleins et qu'ils ont atteint leur plein potentiel. Alors, comment s'y prendre ? Après avoir fait l'exercice dans un grand nombre de milieux villageois, de petites et de grandes villes, Vivre en Ville s'est rendu compte qu'une analyse fine révèle systématiquement un nombre surprenant de terrains sous-utilisés. Il peut s'agir de terrains vacants accueillant un bâtiment vétuste ou de très faible valeur par rapport à la valeur du terrain, dotés d'aires de stationnement surdimensionnées, ou encore de terrains tellement grands qu'ils pourraient être divisés. L'existence de ce gisement de potentiel ne signifie pas qu'il est facile de le saisir, mais que si l'on s'en donne les moyens, il est possible de le faire.

La meilleure option dépend du contexte propre à chaque milieu, et peut consister à construire des bâtiments supplémentaires, à

en agrandir, à en remplacer ou encore à aménager un espace public convivial (figure 4). Ce qui compte, c'est que l'intervention contribue à répondre aux besoins de la population actuelle et attendue ainsi qu'à augmenter la qualité de son cadre de vie, tout en respectant le caractère du milieu existant.

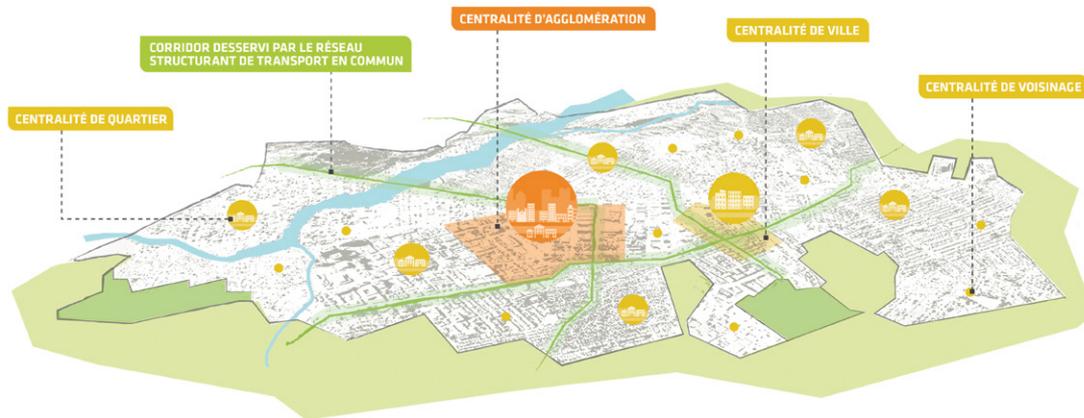
L'alternative à la consolidation des milieux complets, c'est le développement de terrains en périphérie des villes et des villages, dans lesquels les ménages sont contraints de se déplacer en automobile et sur de longues distances. Au sein de milieux de vie complets, ces ménages ont la possibilité d'accéder en moins de 10 à 15 minutes à un grand nombre de leurs destinations, et ce, sans voiture.

Qui a le pouvoir d'agir ?

Les municipalités et les MRC peuvent intervenir – à travers leur planification, leur réglementation d'urbanisme et leurs activités de développement économique – sur la localisation des activités et des projets immobiliers ainsi que sur leur densité. Le règlement de zonage, en particulier, permet d'assigner certaines activités à des zones et de les interdire ailleurs. La Ville de Sherbrooke a ainsi limité l'installation de cinémas à son seul centre-ville, ce qui lui permet d'y encourager l'industrie de la restauration. La municipalité peut également fixer un nombre maximal de cases de stationnement par bâtiment, de manière à encourager les modes de déplacement alternatifs à la voiture.

FIGURE 3

Un territoire bien structuré concentre ses commerces et ses services de proximité dans des centralités au cœur de chacun de ses quartiers (source : Vivre en Ville).



Des défis majeurs et des gains croissants

Les différentes stratégies d'aménagement du territoire pour réduire les distances sont connues des professionnels, mais leur mise en pratique tient encore largement de l'innovation. Elles supposent de changer des pratiques bien ancrées quant à la gestion de la transformation des milieux habités, et de promouvoir un mode de vie basé sur la proximité et le vivre-ensemble. Leur mise en œuvre se heurte à un autre défi : même si on sait que l'inaction mène à l'engorgement du réseau routier et qu'elle dégrade le bilan carbone en transport, on sait mal calculer l'impact attendu de l'action.

Ces stratégies génèrent pourtant des gains durables, dans la mesure où leur application démarre un cercle vertueux. En plus de réduire le kilométrage parcouru, la restructuration de la ville contribue à l'échelle humaine des milieux de vie, qui rend la mobilité active plus attrayante et réduit l'utilisation de l'automobile ainsi que la circulation. Elle entraîne aussi des bénéfices complémentaires dans la sécurité routière, la santé, l'attractivité du territoire, les finances publiques, etc.

Vers des modes de transport durables

Réduire les distances à parcourir est la clé pour réduire le kilométrage parcouru, mais c'est aussi un ingrédient indispensable au transfert de l'automobile vers des modes de déplacement plus durables. Les efforts en matière de localisation des résidences

et des activités gagneront donc à s'arrimer – de l'échelle du bâtiment à celle de la rue, du quartier et de la région – avec des aménagements favorables à la marche, au vélo et au transport en commun, de manière à encourager les déplacements sans recours à l'automobile. ●

Crédit de la photo de la page 6 : Vivre en Ville.

Références

MDDELCC (ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) (2015). *Cible de réduction d'émissions de gaz à effet de serre du Québec pour 2030 – Document de consultation*. En ligne : environnement.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/consultations/cible2030/consultationPost2020.pdf.

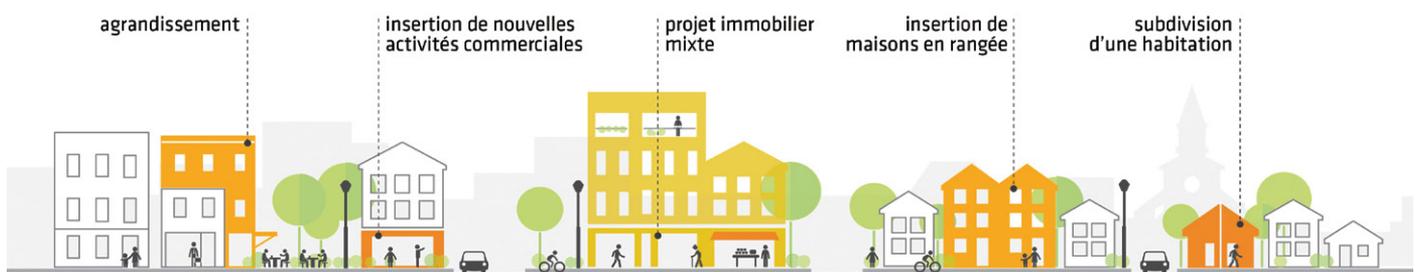
MELCC (ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) (2018). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2016 et leur évolution depuis 1990*. En ligne : environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2016/inventaire1990-2016.pdf.

SAAQ (Société de l'assurance automobile du Québec) (2019). *Nombre de véhicules en circulation selon le type d'utilisation et le type de véhicule, Québec, régions administratives et municipalités de résidence du propriétaire du véhicule*. En ligne : bdso.gouv.qc.ca/pls/ken/ken2122_navig_niv_2.page_niv2?p_iden_tran=REPERQKVPPS53585402870266mO*&p_id_ss_domn=718.

VTPI (Victoria Transport Policy Institute) (2020). *Land Use Impacts on Transport: How Land Use Factors Affect Travel Behavior*. En ligne : vtpi.org/landtravel.pdf.

FIGURE 4

L'espace des milieux les mieux desservis est optimisé pour accroître le nombre de personnes à distance de marche des services (source : Vivre en Ville).





Optimiser la livraison urbaine un vélo à la fois

Retour d'expérience

Au cœur de la première vague de la COVID-19, le projet pilote visant à soutenir les commerces locaux dans leurs activités de vente à distance avec une solution de livraison durable a aussi été l'occasion de se questionner sur l'optimisation de la logistique urbaine. Quels sont les enjeux et les freins à l'optimisation générale du système, et quels leviers utiliser pour rendre la mobilité des marchandises plus durable ?



PAR MICKAEL BRARD
Conseiller en mobilité urbaine, Jalon

Le 16 mars 2020. Les commerces non essentiels s'apprêtent à fermer boutique, alors que les autres mettent en place les premières mesures de distanciation physique. Les citoyens les plus vulnérables sont invités à rester chez eux. Pendant ce temps, l'embryon d'écosystème de la logistique durable à vélo, mis sur pied par le projet Colibri, se mobilise. Objectif : aider les commerçants locaux à livrer au domicile de leurs clients habituels les achats faits à distance. Deux semaines de collaboration plus tard, les entreprises de cyclo-logistique (Courant Plus, La roue libre, Livraison Vélo Montréal, puis Chasseurs Courrier) sont sur

la route, accompagnées par Jalon, la Coop Carbone ainsi que des sociétés de développement commercial (SDC) de Montréal. Une initiative applaudie par la Ville. Le but du projet est d'offrir aux commerçants de proximité un service de livraison durable, rapide et à un prix abordable pour leurs clients locaux.

Le concept

À la fois service d'urgence et projet expérimental, le concept s'inscrivait en plein dans les trois principes de la mobilité durable : réduire, transférer et améliorer. D'abord, la réduction des distances parcourues via le principe de livraison « point à point » opposé aux méthodes classiques. En effet, lorsqu'un commerce veut faire livrer un article à un client à proximité (à moins de 5 à 10 km), en faisant appel à un transporteur classique, son colis passera par un centre de tri probablement situé à une vingtaine de kilomètres. Le colis aura alors parcouru le double de cette distance, alors que celle entre l'expéditeur et le client

ne dépasse pas 10 km. Ensuite, le *transfert* modal des camions ou des voitures vers des vélos-cargos. Enfin, l'*amélioration* par l'organisation des tournées (incluant ramassages et livraisons), mais aussi par la coordination et la collaboration entre les acteurs qui ont fait la différence.

En complément, pour le but de l'expérimentation, les entreprises de livraison ont été payées à l'heure plutôt que par colis livré. L'objectif était de faire bénéficier à l'écosystème des commerçants (portés principalement par les SDC dans le cadre du projet) les économies d'échelle atteintes en densifiant les livraisons : une seule tournée de ramassage et un seul livreur par secteur. Ce modèle permettait aussi de mesurer précisément le coût de la livraison.

Apprentissages et résultats

Le service a été surtout utilisé pendant deux mois, durant la fermeture des commerces non essentiels. Une centaine de commerçants l'ont utilisé régulièrement. Sur la base de 8 000 livraisons, divers enseignements ont pu être tirés. Au plus fort du projet, le coût de revient pour le commerçant a atteint 7 \$ à 9 \$ pour des colis allant jusqu'à 8 kg, livrés le jour même. Le service a ainsi battu les offres équivalentes de type « Uber », tout en étant décarboné et avec des livreurs employés.

Pour des délais plus longs, les transporteurs classiques peuvent être moins chers, mais l'épisode du printemps a montré certaines de leurs limites face aux événements (TVA Nouvelles, 2020).

Les commentaires des commerçants pourraient se regrouper en trois thèmes. L'originalité du service, à savoir en vélos-cargos, qui a finalement attiré la sympathie et a même été parfois utilisé en argument de vente. Les conditions de service qui, pour certains commerçants non expérimentés, étaient difficiles à respecter : des tournées de ramassage à partir de 13 h imposant de préparer son colis avant l'arrivée du livreur pendant la journée, le fait de vérifier si les adresses sont correctement inscrites et de respecter les limites de poids... Et, enfin, la simplicité d'utilisation qui faisait défaut : pas d'intégration avec les solutions de commerce en ligne, une plateforme Web à part pour les livraisons de proximité imposant aux commerçants de jongler avec plusieurs outils, et des tournées de ramassage en journée plutôt qu'en fin d'après-midi.

Ainsi, mis à part l'argument « marketing » invoqué ponctuellement, l'utilisation de vélos-cargos avec une approche de consolidation n'a pas de conséquence et ne diffère que marginalement – tant pour le client que pour le commerçant – par rapport aux autres services de livraison. Les commentaires portaient davantage sur le côté « artisanal » de la solution qui, rappelons-le, a été mise en place en deux semaines. D'ailleurs, la nouvelle version du service, qui a pour nom Envoi Montréal, a été annoncée au début du mois de novembre dernier (www.envoiMontreal.com).

Optimiser des sous-systèmes ne rend pas un système optimal

Les performances brutes mesurées par le projet sont bonnes (10 à 15 arrêts de ramassage ou livraison par heure), le tout dans un contexte très expérimental au regard des délais de préparation. La marge de progression opérationnelle est énorme !

Pour ce faire, les quatre entreprises ont été considérées comme une seule, sans se faire concurrence sur un même territoire (l'une des entreprises sous-traitant aux autres). Les demandes des commerçants ont aussi été regroupées pour une unique tournée quotidienne de ramassage. Les tournées ont pu ainsi être optimisées, les colis d'un même secteur étant confiés à une seule entreprise de livraison bénéficiant alors de la densité géographique.

Il s'agit d'une application concrète d'un principe d'optimisation des systèmes qui consiste à montrer que l'optimisation indépendante des parties du système (en l'occurrence de chaque transporteur) rendra le système général moins optimal que s'il est abordé dans son ensemble.

Optimiser la livraison urbaine et la rendre plus durable

La question de l'optimum se pose en point de départ : que veut-on optimiser ? Le prix ou l'empreinte environnementale ? La livraison jusqu'au pas de la porte est-elle vraiment souhaitable ? Doit-elle se faire forcément en moins de 24 h ou 48 h ? Enfin, la meilleure mobilité étant l'immobilité, dans le cas des marchandises, est-il vraiment optimal de se faire livrer un article quand on peut se le procurer en moins de 15 minutes à pied ?

Une réponse assez évidente est qu'avec une croissance annuelle (hors COVID-19) de 15 % à 20 % pour le commerce en ligne (CEFRIQ, 2019), nous fonçons dans un mur si nous ne remettons pas en question ce qu'Amazon a érigé comme nouvelle norme de consommation : tout à portée de clics, chez soi en moins de 24 h et sans frais de livraison...

Repenser l'ensemble du système logistique urbain

Optimiser la livraison locale, du point de vue environnemental, ne revient pas uniquement à trouver des solutions qui réduisent l'empreinte des véhicules ou des entreprises de transport. Cela revient d'abord à remettre en question les besoins et les normes imposées aux acteurs locaux par les plus gros joueurs.

De plus, sur la base de l'exemple cité, cette optimisation revient aussi à penser le système logistique urbain dans son ensemble, et donc à favoriser les pratiques d'échanges, de collaboration et de mutualisation. Face à une activité en très forte croissance, plutôt que de se contenter d'électrifier des parcs de véhicules ou de construire des routes, investir dans des communs physiques (mini-hubs) et numériques (plateforme intégrée d'échanges), et mettre en place les règles incitant à la mutualisation nous semble une meilleure avenue. ●

Références

CEFRIQ (2019). *NETendances 2019 – Le commerce électronique au Québec*. En ligne : transformation-numerique.ulaval.ca/wp-content/uploads/2020/09/netendances-2019-commerce-electronique-au-quebec.pdf.

TVA Nouvelles (2020). *Postes Canada croûle sous les colis*. En ligne : tvanouvelles.ca/2020/05/23/postes-canada-croule-sous-les-colis.



Projet pilote de navettes automatisées à Montréal

Un allié au transport collectif

L'arrivée des navettes automatisées joue un rôle clé dans la transformation des transports et dans l'amélioration de la mobilité des citoyens. Elle se veut un véritable vecteur de changement dans l'offre de transport collectif. Voici comment le projet pilote de Stantec et de la Ville de Montréal a ouvert la voie à la mobilité de demain.



PAR MARTIN CHEVRIER
Directeur Environnement, géomatique
et STI, Stantec
martin.chevrier@stantec.com



ET PAR JACQUES LÉONARD
Chef d'équipe, STI et feux de circulation,
Stantec

La Ville de Montréal, avec l'appui de l'équipe d'ingénierie de Stantec, a relevé le défi de faire circuler des navettes automatisées dans un secteur urbain dense – une première au Canada. Ces véhicules, sans conducteur, ont transporté avec succès des passagers entre le stade olympique (métro Pie-IX) et le Marché Maisonneuve dans l'arrondissement Mercier-Hochelaga-Maisonneuve.

La Ville a pu tester l'interaction des navettes automatisées dans un environnement mixte, c'est-à-dire en présence de voitures, d'autobus, de vélos et de piétons. Ce projet pilote a permis de mieux comprendre les possibilités et les limites de cette nouvelle technologie, dans l'optique de déterminer le rôle qu'elle peut jouer dans une offre de transport diversifiée et de mobilité durable. La Ville cherchait aussi à initier les Montréalais à ce nouveau mode de transport et à recueillir leurs impressions et leurs commentaires, une étape essentielle au succès d'un tel projet.

Stantec a donc fourni une assistance technique en systèmes de transport intelligents (STI), et effectué l'ensemble des travaux d'ingénierie pour rendre le trajet sécuritaire et conforme aux normes. Le projet de la Ville de Montréal a été réalisé en partenariat avec le ministère des Transports du Québec, la Société de l'assurance automobile du Québec, l'opérateur Transdev et la Régie des installations olympiques.

Qu'est-ce qu'une navette automatisée ?

Il s'agit d'un véhicule doté de fonctions de conduite automatisée qui lui permettent de se déplacer sans intervention humaine. La navette se déplace le long d'un trajet prédéterminé qui a été cartographié avec des technologies géospatiales d'une grande précision. Cela permet de créer une base de données cartographiques en 3D du trajet. La navette est équipée de nombreux capteurs et d'équipements de positionnement (p. ex. : lidars, GPS, caméras et autres détecteurs) qui agissent comme des organes sensoriels. Elle est aussi dotée d'équipements permettant la communication avec d'autres infrastructures, aussi munies d'équipements adaptés (p. ex. : les feux de circulation).

Tous ces capteurs recueillent un ensemble de données qui sont traitées en temps réel par de puissantes applications. Celles-ci, utilisant des concepts d'intelligence artificielle, permettent d'identifier toute différence saisie par les capteurs en comparaison avec la cartographie initiale en 3D du trajet. Dès qu'une différence est identifiée, elle est traitée par d'autres applications et la navette y réagit instantanément, comme le ferait un humain. La navette automatisée est donc très sensible à tout changement dans son environnement.

Une navette automatisée en milieu urbain

À l'été 2019, pendant six semaines, des navettes automatisées ont alors transporté gratuitement des passagers sur un parcours de 2,6 kilomètres. Elles circulaient à une vitesse moyenne de 13 km/h et pouvaient accueillir jusqu'à 12 personnes. Équipées de GPS, de caméras et de lidars, elles s'arrêtaient aux intersections et détectaient les obstacles sur son chemin. Bien que les navettes aient circulé de façon automatisée, un opérateur était à bord pour accueillir les usagers et intervenir au besoin.

La sécurité des passagers et des usagers de la route étant la priorité de tous les intervenants du projet, des contrôleurs de feux de circulation compatibles avec la technologie CDCP (communications dédiées à courte portée / *Dedicated Short Range Communications*) ont été installés sur les feux qui se trouvaient sur le parcours de la navette. En envoyant des signaux à la navette, ces dispositifs permettent de transmettre l'état du feu de circulation (vert ou rouge) pour savoir à quel moment traverser l'intersection. En plus d'assurer la sécurité des passagers à bord de la navette et des autres usagers de la route, cette interaction a permis de maintenir la fluidité de la circulation. Cette première canadienne a ainsi permis de tester les communications entre les navettes et les infrastructures impliquées sur son passage.



Vue de l'intérieur de la navette.



La navette peut accueillir jusqu'à 12 passagers.

« Les navettes se veulent un complément à l'offre de transport collectif et, surtout, une solution de rechange à l'utilisation de la voiture solo. »

L'équipe de Stantec a aussi effectué l'analyse et l'optimisation du tracé ainsi que la validation des concepts de communication entre le véhicule et les infrastructures de transport. La vitesse de ce véhicule étant limitée à 15 km/h, des panneaux de signalisation ont été installés à des endroits stratégiques du parcours afin de signaler – aux automobilistes, aux cyclistes et aux piétons – la présence d'une navette automatisée qui pourrait les obliger à ralentir ou attendre que celle-ci traverse la rue avant de pouvoir poursuivre leur chemin.

Moins de voitures, plus de fluidité

Les navettes se veulent un complément à l'offre de transport collectif et, surtout, une solution de rechange à l'utilisation



Panneau d'arrêt de la navette, avec une fréquence de passage toutes les 10 minutes.



Panneau de signalisation indiquant la présence de la navette sur la route.

de la voiture solo. En effet, elles représentent une option très efficace pour effectuer la première ou la dernière partie d'un trajet de transport collectif (premier et dernier kilomètre). Si un pôle de transfert modal, tel qu'une station de métro ou de train, se trouve à proximité d'un secteur à forte densité de population, la navette pourrait devenir le mode de transport privilégié pour les résidents désirant se déplacer vers ce pôle sans utiliser leur voiture.

En plus de faire évoluer l'expérience de transport collectif, la navette automatisée améliore la mobilité des citoyens ainsi que la fluidité des déplacements. D'ailleurs, la conduite automatisée

« En plus de faire évoluer l'expérience de transport collectif, la navette automatisée améliore la mobilité des citoyens ainsi que la fluidité des déplacements. »

pourrait devenir un moyen de transport très utilisé dans les zones denses, principalement pour amener des utilisateurs de leur domicile vers des arrêts d'autobus ou de train, réduisant ainsi le nombre de voitures sur la route.

Entièrement électriques, les navettes contribuent directement à l'amélioration de la qualité de l'environnement, tout en réduisant la pollution sonore et atmosphérique.

Propulser la mobilité

Grâce à la planification minutieuse de l'itinéraire, aux mesures de prévention et aux campagnes de communication mises en place, le projet pilote de Montréal s'est déroulé de façon sécuritaire ainsi qu'à la satisfaction des citoyens et de toutes les parties prenantes. Par ailleurs, selon un sondage réalisé par Jalon, les utilisateurs se sont montrés majoritairement très emballés par les navettes. Après avoir reçu plus d'information sur le véhicule, les utilisateurs étaient beaucoup moins préoccupés par le comportement de la navette que par celui des autres usagers de la route. Finalement, les résidents de la rue où circulaient les navettes ont perçu positivement le ralentissement

de la circulation occasionné par la présence des véhicules automatisés.

L'arrivée de ce type de véhicules contribue sans aucun doute à la révolution des transports. Les résultats obtenus permettront aux équipes techniques de mieux préparer la Ville à l'arrivée de ces véhicules afin de mieux les intégrer dans le contexte bâti de nos collectivités. ●

Photo de la page 12 : La navette automatisée se déplaçait du Marché Maisonneuve jusqu'au stade olympique à Montréal. Crédit : Stantec.

« Entièrement électriques, les navettes contribuent directement à l'amélioration de la qualité de l'environnement, tout en réduisant la pollution sonore et atmosphérique. »

RECYC-QUÉBEC Québec

Quoi faire de vos matières?

Recyclage - Compost - Écocentre.
Avec Ça va où?, on sait où ça va!

Télécharger dans l'App Store

DISPONIBLE SUR Google Play

ÇA VA OÙ?



Recherche opérationnelle et IA en transport de marchandises

Une solution pour la crise climatique

Le transport de marchandises est une activité cruciale pour le bon fonctionnement au quotidien des zones urbaines. Il assure l'approvisionnement des détaillants et implique une multiplicité de produits, tels que la nourriture, les biens de consommation ou les matières dangereuses, lesquels doivent souvent être transportés par des véhicules spécifiques.



PAR **FRANÇOIS SARRAZIN**, Ph. D.
Chercheur postdoctoral, Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT)
francois.sarrazin.2@umontreal.ca



PAR **BERNARD GENDRON**, Ph. D.
Professeur titulaire, Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal (CIRRELT)

ET PAR **MARTIN TRÉPANIÉ**, ing., Ph. D.
Professeur titulaire, Département de mathématiques et de génie industriel, Polytechnique Montréal (CIRRELT)

Complexité de l'industrie du camionnage

La logistique urbaine s'intéresse au transport de marchandises au cœur des zones urbaines, en particulier le « dernier kilomètre », qui représente le maillon ultime de la plupart des chaînes d'approvisionnement. Pour mesurer l'importance du transport de marchandises et de la logistique urbaine, notons qu'environ la moitié de la population mondiale vit dans les villes (Taniguchi et collab., 2014). Cette concentration d'habitants ainsi que la forte croissance du commerce électronique et des livraisons à domicile exacerbent les phénomènes de congestion et de pollution, d'autant que les marchandises et les personnes partagent le même réseau routier. Ces phénomènes peuvent également alimenter la crainte que les villes soient peu sécuritaires.

Par ailleurs, le transport de marchandises a connu une forte croissance de sa consommation d'énergie, soit 44 % entre 1990 et 2017 au Québec (Whitmore et Pineau, 2020). Jusqu'à 30 % de la consommation énergétique est représenté par ce secteur au Québec, et plus du tiers de celui-ci – soit 37 % (voir figure 1) – est représenté par le camionnage, pour un total de 11,1 % ($37\% \times 30\% = 11,1\%$). Ces données mettent en relief l'importance de ce secteur dans tout plan de lutte au réchauffement climatique, d'autant qu'il consomme essentiellement (97 %) des énergies fossiles (Whitmore et Pineau, 2020).

L'industrie du camionnage est fractionnée du fait qu'elle possède peu de barrières à l'entrée. Elle subit ainsi un rapport de force défavorable par rapport aux secteurs de la production et de la distribution. Cette dernière est souvent gérée de manière décentralisée et sans égard au reste du système logistique, ce qui entraîne des décisions préjudiciables par rapport aux objectifs « globaux » du système, tels l'atténuation de la congestion et des émissions polluantes.

Le nombre de solutions possibles aux problèmes de transport a tendance à augmenter exponentiellement selon la taille du réseau, ce qui rend difficile leur gestion manuelle. La recherche opérationnelle (RO) est un instrument privilégié pour améliorer les opérations logistiques. Ainsi, les modèles d'optimisation permettent d'obtenir la solution optimale à des problèmes comprenant parfois plus de variables qu'il y a d'atomes dans l'univers (Baillargeon, 2013). La simulation est une autre technique de RO utilisée pour comprendre le comportement des usagers des réseaux de transport. Les méthodes de RO sont souvent couplées aux techniques de l'intelligence artificielle (IA), ne serait-ce qu'en raison du très grand volume de données pouvant être récoltées en transport (voir la section « Liens avec l'intelligence artificielle »).

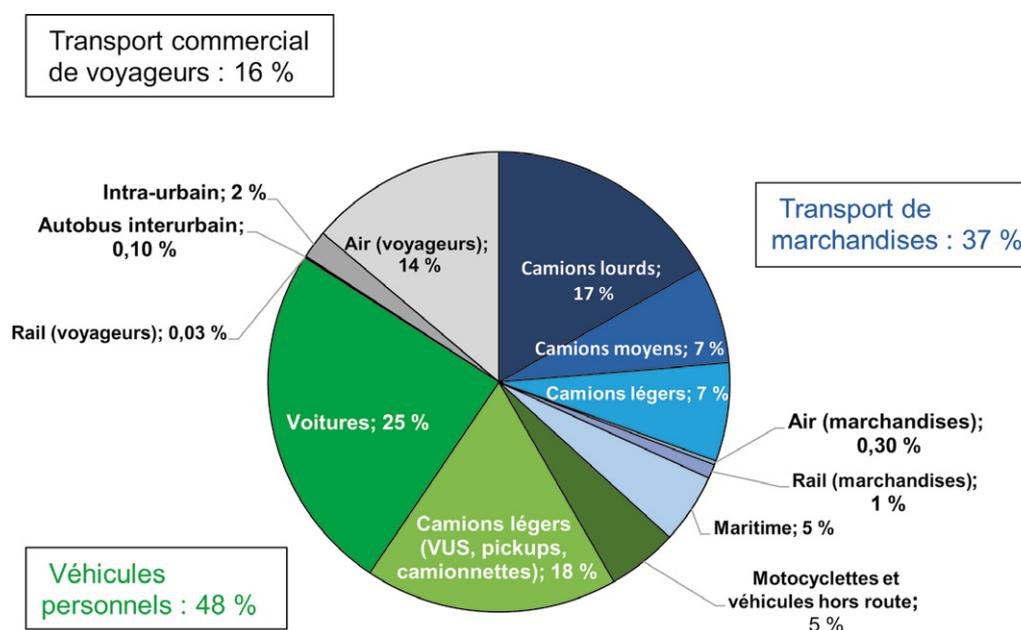
Origine et fonctionnement de la RO

Les débuts de la RO en Grande-Bretagne remontent à la Seconde Guerre mondiale, où elle a été utilisée pour contrer la Luftwaffe et les U-Boats allemands (Rau, 2005). Elle a ensuite été appliquée à la production au Royaume-Uni et au domaine du marketing aux États-Unis.

La RO est souvent utilisée dans l'optimisation des opérations de transport, à travers notamment la résolution des problèmes de tournées de véhicules (où on cherche le meilleur ordre de visite des clients), ainsi que de localisation de centres logistiques et de minimisation des retours à vide. Sa méthodologie, selon Churchman (1970), consiste à : a) observer un système; b) formuler un problème; c) générer un modèle permettant de décrire comment le système fonctionnera en mode « optimal » si un certain nombre de changements sont effectués; d) rassembler les données; e) estimer à partir du modèle les changements nécessaires à la « maximisation » du système. Les problèmes étant souvent d'une très grande taille, la conception d'algorithmes de résolution constitue un champ de recherche très important des professionnels du domaine.

En modélisation, on cherchera à optimiser une fonction mathématique en s'assurant de respecter un certain nombre de contraintes. Cette optimisation prendra la forme soit d'une maximisation (des revenus, des profits) ou d'une minimisation (des coûts, des émissions de CO₂, etc.). Les modèles de RO alimentent des systèmes informatisés d'aide à la décision (*Decision support systems*; Drake et collab., 2011), ce qui implique une réflexion ultérieure. En simulation, on cherchera plutôt à représenter le comportement général d'un système compte tenu d'un certain nombre de données et de paramètres.

FIGURE 1
Utilisation de l'énergie en transports par véhicule pour le transport personnel et commercial, 2017 (adapté de Whitmore et Pineau, 2020).



Note : Les totaux ne s'additionnent pas parfaitement en raison d'arrondissement.

RO en transport de marchandises

Les modèles de planification de transport de marchandises s'appliquent à des problèmes de nature stratégique (long terme), tactique (moyen terme) et opérationnelle (court terme), incluant des problèmes à résoudre en temps réel. La planification stratégique s'intéresse notamment à la localisation d'usines ou de centres de transbordement, lesquels peuvent aider à combiner des livraisons et à réduire le transport à vide. La planification tactique inclut les affectations de moyen terme comme celles de clients à des centres de transbordement. Les tournées de véhicules sont un des problèmes les plus opérationnels, et les affectations de véhicules pour le transport le jour même sont généralement effectuées en temps réel. Vous trouverez ci-dessous une liste des différents niveaux de planification et de quelques problèmes correspondants :

- Stratégique : planification des infrastructures; localisation d'usines ou d'entrepôts;
- Tactique : affectation de clients à des usines ou à des centres de distribution;
- Opérationnel : tournées de véhicules;
- Temps réel : affectation de véhicules pour le transport le jour même.

Les techniques de simulation, comme le modèle FRETURB développé en France, permettent d'évaluer le volume des flux de marchandises en se basant sur le nombre d'employés et la surface des commerces (Gerardin et collab., 2000). Le modèle utilise la notion de « véhicule équivalent » pour estimer l'utilisation totale du réseau routier par différents véhicules. Ce modèle peut ainsi permettre de comparer l'effet de différentes formes de distribution spatiale des commerces et de l'impact de changements de zonage sur les émissions de gaz à effet de serre (GES).

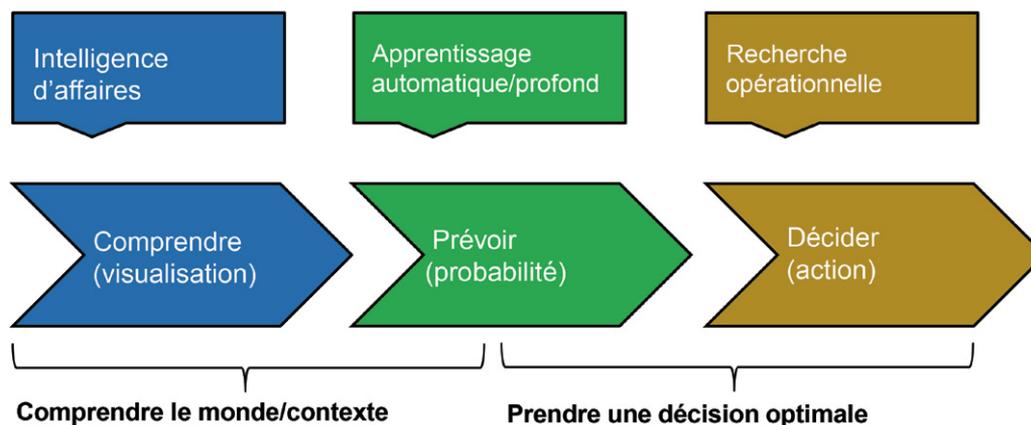
Les problèmes de gestion du parc de véhicules représentent des problèmes d'optimisation particulièrement difficile à résoudre,

notamment lorsque – pour des problèmes plus opérationnels – on intégrera les fenêtres temporelles. On visera typiquement à minimiser les coûts à travers les distances parcourues, ce qui permet normalement de réduire les émissions de CO₂. La majorité des modèles présentés dans la littérature scientifique sont déterministes, c'est-à-dire que toutes les données sont supposées connues avec certitude (Taniguchi et Thompson, 2002). L'intégration de l'incertitude, que ce soit le niveau d'activité prévu (la demande) ou les temps de voyage (causés par les congestions), peut apporter des améliorations importantes aux solutions obtenues. L'intégration de l'incertitude implique cependant une plus grande complexité des modèles et des temps de résolution plus longs. Les progrès des algorithmes et de l'informatique permettent néanmoins de résoudre des problèmes de plus en plus difficiles.

Facteurs environnementaux en optimisation du transport

L'approche classique pour tenir compte de facteurs difficilement quantifiables en montant d'argent est d'imposer des contraintes (ex. : on fixera une limite aux GES émis par un parc de véhicules). Elle a cependant l'inconvénient de rendre plus difficile la résolution des problèmes, certains ne comportant même aucune solution réalisable. Une autre approche consiste à développer des modèles intégrant plusieurs critères, qu'on classera selon une hiérarchie. Les critères en question peuvent être purement objectifs, mais la manière de les classer en relation les uns avec les autres est plutôt subjective. Ainsi, quelle valeur accorder aux coûts environnementaux du transport (comme les émissions de CO₂) par rapport aux coûts économiques? Le but n'est donc plus de trouver la solution « objectivement optimale », mais bien une bonne solution qui soit « raisonnable » ou « appropriée pour les parties ». Une autre approche permettant de réaliser certains arbitrages revient à tester plusieurs scénarios selon deux axes, un économique (coûts, profits) et l'autre écologique (émissions de CO₂, NO_x). On peut ainsi tester l'effet de différents niveaux de contrainte en matière d'émissions sur les coûts (ou

FIGURE 2
Intelligence artificielle et recherche opérationnelle.



vice versa). Notons que, pour un article recensé (Behnke et Kirschstein, 2017), la minimisation du CO₂ a permis une réduction supplémentaire des émissions de 4 % par rapport à la situation où les distances étaient minimisées.

Liens avec l'intelligence artificielle

L'IA peut servir à prédire des phénomènes à partir de données, et donc aider à la définition des paramètres d'un modèle de RO et à la conception d'une base de données utilisée dans un problème d'optimisation. L'IA comprend notamment l'intelligence d'affaires, de nature descriptive et qui permet de comprendre et de visualiser une situation, et l'apprentissage automatique, qui permet d'effectuer des prévisions à l'aide de méthodes statistiques (voir figure 2) et dont l'une des approches les plus répandues de nos jours est l'apprentissage profond. L'IA peut aussi être utilisée dans les algorithmes de RO. Ainsi, il existe des algorithmes utilisant l'IA pour déterminer quel est le meilleur algorithme pour résoudre un problème donné, compte tenu des paramètres et de la base de données utilisée. Le phénomène inverse est aussi vrai, c'est-à-dire que la RO est utilisée dans des algorithmes d'IA pour optimiser les prédictions accomplies par l'IA. Parmi le type de données que l'IA peut aider à traiter, mentionnons les transactions de paiement, les comptages de camions et les données opérationnelles comme les horaires et la réglementation. Cependant, l'IA ne peut pas faire tout ce que font les modèles de RO, soit l'optimisation de modèles spécifiques permettant de prendre des décisions et qui est donc de nature prescriptive.

Perspectives d'avenir

La question du réchauffement climatique oblige les acteurs de l'industrie du transport de marchandises à trouver de nouvelles techniques pour réduire les émissions de GES. Une multiplicité de solutions est testée et implémentée pour améliorer la structure des réseaux ou mieux optimiser leur état actuel, notamment par les initiatives en logistique urbaine. Le fil conducteur de ces initiatives est une meilleure utilisation de la capacité, que ce soit dans le temps ou l'espace.

Une réflexion plus poussée doit être faite quant aux meilleures façons d'intégrer les aspects environnementaux dans l'optimisation et la simulation des opérations de transport. Entre autres, il serait important d'explorer plus à fond l'influence de facteurs comme les variations temporelles dans le niveau de congestion. De plus, des facteurs comme le relief du réseau routier et les pentes (descendantes et ascendantes) des artères peuvent aussi avoir une influence déterminante sur la consommation de carburant, et commencent à être pris en compte par les modèles, tout autant que les distances. ●

Références

Baillargeon, S. (2013). « Transport de marchandises – Mille milliards de milliards de solutions ». *Le Devoir*, 7 décembre 2013. En ligne : ledevoir.com/societe/science/394608/mille-milliards-de-milliards-de-solutions.

Behnke, M., et T. Kirschstein (2017). « The impact of path selection on GHG emissions in city logistics ». *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 106, n° 10, p. 320-336.

Churchman, C.W. (1970). « Operations Research as a Profession ». *Management Science*, vol. 17, n° 2, p. B37-B53.

Drake, M., et collab. (2011). « Socially Responsible Modeling: A Stakeholder Approach to the Implementation of Ethical Modeling in Operations Research ». *OR Spectrum*, vol. 33, n° 1, p. 1-26.

Gerardin, B., et collab. (2000). *Programme national « Marchandises en ville » – Diagnostic du transport de marchandises dans une agglomération*. En ligne : temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0073/Temis-0073359/13782.pdf.

Rau, E.P. (2005). « Combat Science: The Emergence of Operational Research in World War II ». *Endeavour*, vol. 29, n° 4, p. 156-161.

Taniguchi, E., et R.G. Thompson (2002). « Modeling city logistics ». *Transportation research record*, vol. 1790, n° 1, p. 45-51.

Taniguchi, E., R.G. Thompson et Y. Tadashi (2014). « Recent Trends and Innovations in Modelling City Logistics ». *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 125, p. 4-14.

Whitmore, J., et P.-O. Pineau (2020). *État de l'énergie au Québec*. Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal et Transition énergétique. En ligne : energie.hec.ca/wp-content/uploads/2020/03/EEQ2020_WEB.pdf.



DAIGNEAULT
AVOCATS INC.

Maîtres de votre environnement

www.daigneaultinc.com

Depuis bientôt 20 ans, votre cabinet boutique en droit de l'environnement

Pour un soutien professionnel préventif
Pour des conseils judicieux
Pour une représentation efficace
Pour des relations avocat-client conviviales



Société de transport de Laval Vers l'électrification du transport collectif

Le transport est une source importante d'émission de gaz à effet de serre, particulièrement au Québec. La STL s'est fixé l'objectif ambitieux de réduire ses émissions de 45 % d'ici 2028 par rapport à 2018. Pour ce faire, elle procède au remplacement progressif des autobus au diesel par des autobus hybrides et électriques. Dès 2021, 10 autobus 100 % électriques seront mis en service à Laval.



PAR **MATHIEU LACOMBE**, M. Sc. A.
Conseiller, développement et partenariat,
Société de transport de Laval (STL)



ET PAR **PIERRE LAVIGUEUR**, M. Sc. A.
Directeur principal, Développement et
innovation, STL

(L'article a été rédigé en collaboration avec
l'équipe de la STL.)

Transport collectif : l'avenir passe par l'électrification

L'électrification des transports, notamment des transports publics, est un pas à franchir dans la lutte aux changements climatiques, et la transition électrique mondiale est déjà amorcée. Toutefois, elle varie beaucoup d'un pays à l'autre, avec un chef de file chinois (plus de 16 000 autobus électriques à Shenzhen seulement) et des Européens en avance sur l'innovation nord-américaine – avec respectivement 2 500 et 300 autobus en Europe et aux États-Unis (Haggiag, 2019) – et quelques dizaines d'autobus au Canada. Les prévisions estiment que nous verrons le marché mondial des autobus électriques tripler d'ici 2025; augmentation attribuable au marché chinois qui dépassera, selon les prévisions d'un rapport de Wood Mackenzie Power & Renewables, le million d'autobus électriques d'ici 2023 (Wood Mackenzie, 2019). On peut

« Depuis plus de 10 ans, la transition vers l'électrification des transports publics est d'actualité à la STL. Dès 2012, un autobus électrique a été acquis, puis intégré au service régulier après un protocole de tests rigoureux. »

imaginer que cette fulgurante progression sera aussi stimulée par les politiques publiques, la baisse du coût des batteries et l'augmentation de leur autonomie (Gavrilovic, 2019), mais surtout par notre ingéniosité, notre capacité à absorber et intégrer les nouvelles connaissances ainsi que les nouveaux paradigmes liés à la gestion de réseaux d'autobus (avancées technologiques, recharge, entretien et recyclage des batteries, etc.).

Vers une mobilité électrique à Laval

Depuis plus de 10 ans, la transition vers l'électrification des transports publics est d'actualité à la STL. Dès 2012, un autobus électrique a été acquis, puis intégré au service régulier après un protocole de tests rigoureux. Avec la capacité de la batterie de ce modèle (autonomie d'environ 90 km en pointe du matin) conçu par DesignLine, et considérant une recharge partielle pendant la journée pour une deuxième sortie en pointe de l'après-midi (correspondant à 70 km), il était déjà envisageable de remplacer 25 % des autobus de la STL ayant une charge de travail quotidienne comparable.

Or, depuis ce premier pas, la technologie n'a cessé d'évoluer et trois chantiers ont été mis en œuvre pour électrifier le transport public lavallois. Tout d'abord, l'élaboration d'une vision du programme d'électrification impliquant des choix technologiques (recharge lente ou rapide, sur le réseau ou au garage, etc.) et de multiples tests afin de pouvoir préparer l'électrification complète d'une première ligne d'autobus. Ensuite, l'idéation d'un modèle d'affaires innovant, et finalement la préparation à une mobilisation complète de la STL afin d'électrifier l'entièreté du parc d'autobus.

Maximiser les bénéfices de l'autobus électrique

Un premier chantier, très concret, impose la recherche d'autobus qui permettent d'offrir un service ayant l'empreinte environnementale la plus faible, sans ajouter de contraintes opérationnelles coûteuses dans la gestion quotidienne du parc. Pour ce faire, la solution idéale passe par l'acquisition d'autobus électriques ayant une autonomie permettant de répondre au maximum de kilométrages réalisés par un autobus de la STL en



Autobus électrique acquis par la STL en 2012.



Un des dix autobus électriques de la compagnie New Flyer acquis en 2019.

une journée, soit environ 450 km. Or, malgré l'avancement rapide de la technologie, un tel véhicule n'est pas encore accessible, quoique des annonces récentes de certains manufacturiers permettent déjà d'entrevoir des autonomies entre 300 et 500 km.

En attendant, la solution se trouve dans l'acquisition graduelle d'autobus avec une autonomie de plus en plus importante, en suivant le rythme de l'évolution des batteries et des modèles proposés par le marché, tout en tenant compte des contraintes associées aux rigueurs de notre climat.

Dans le cadre de ce premier chantier devant mener vers l'électrification complète du parc d'autobus de la STL, plusieurs autobus électriques sillonneront les rues de Laval en 2021. Dix autobus électriques récemment acquis de la compagnie New Flyer assureront le service. Plusieurs étapes importantes doivent être réalisées pour y arriver. Il faut judicieusement choisir les affectations à électrifier en considérant l'achalandage, le tracé, le niveau de service, etc. De plus, il faut préparer les véhicules électriques, installer les bornes de recharge requises correspondant à la technologie retenue, adapter les infrastructures, constituer un système de contrôle et d'optimisation de la recharge et bien évaluer les coûts, tout en s'assurant que la clientèle reçoit un service qui correspond à ses attentes.

Finalement, comme il existe plusieurs technologies de recharge, la vision de la STL doit s'appuyer sur celle qui répond le mieux à ses besoins et à ses défis. Ainsi, le comité de l'électrification de l'Association du transport urbain du Québec a mandaté le transporteur lavallois pour analyser deux cas types, soit ceux de Montréal et de Laval, afin de documenter des scénarios d'électrification pour trois versions d'autobus (recharge lente, rapide ou permettant

« Pour un transporteur public, le changement des véhicules alimentés au diesel pour une technologie électrique est un défi de taille. »

les deux). Il en est ressorti que la recharge au garage (donc lente) est celle devant être privilégiée dans un environnement comme Laval. Fait intéressant, l'autobus de 2012 prenait environ neuf heures pour recharger ses batteries d'une capacité deux fois moindre que celle des autobus acquis plus récemment, qui se rechargent en seulement trois heures! La recharge « lente » l'est donc de moins en moins...

Un modèle d'affaires spécifique à l'autobus électrique

Le projet de mise en service de 10 autobus est une première étape somme toute modeste. Le défi du deuxième chantier consiste à développer un modèle d'affaires et à mettre en action une électrification de masse. Pour un transporteur public, le changement des véhicules alimentés au diesel pour une technologie électrique est un défi de taille. Il ne s'agit pas seulement de changements sur le plan des véhicules ainsi que de la structure d'exploitation et d'entretien, mais aussi du *modus operandi* des équipes. Ce choix impose une préparation bien orchestrée passant par une étude stratégique, qui permet d'apporter un éclairage sur les différents aspects liés à l'électrification d'un réseau de transport public.

Cette étape importante se fait par l'ajout d'infrastructures permettant de s'arrimer sur les nouveaux besoins des autobus électriques. À la suite de l'implantation d'une première ligne électrifiée en 2021, les autobus acquis en 2025 devraient être 100 % électriques et localisés dans un nouveau garage conçu spécifiquement pour accueillir ce type de véhicules. Ce dernier est en préparation à la STL avec un programme fonctionnel et technique pratiquement terminé. Comme les autobus urbains



Les bornes de recharge seront déployées à l'intérieur du garage de la STL.

ont une durée de vie de 16 ans, il est prévu que la conversion complète du parc s'échelonne sur 16 ans – par exemple, si le dernier autobus hybride est acquis en 2024, il sera mis au rancart en 2040. Nous sommes donc face à un changement de paradigme complet, mais étalé sur plusieurs années et s'appuyant sur un horizon d'électrification 2025-2040.

Les défis des technologies à venir

Finalement, le troisième chantier mené en parallèle est celui qui encadre ce grand pas vers le futur. Il impose de bien positionner la société de transport dans cette perspective d'avenir en impliquant toutes les équipes et en suivant la bonne trajectoire. Plusieurs questions émergent lorsque l'on regarde à long terme. Une électrification complète du parc en 2040 est-elle un choix judicieux? Ne vaudrait-il pas mieux diversifier la technologie alimentant les autobus de la STL? Est-ce que l'hydrogène ou une autre solution serait un bon compromis? Si c'est le cas, quel serait le pourcentage idéal d'autobus pour chaque technologie? Comment devront évoluer nos infrastructures? Quels seront nos besoins en alimentation électrique? Qu'en est-il de la redondance des systèmes pour assurer la fiabilité du service jour après jour? Bref, il y a beaucoup de matière à réflexion. Afin d'y voir plus clair, une étude destinée à analyser ces enjeux et à préciser la feuille de route vers 2040 sera lancée en janvier 2021. Cette feuille de route devra pouvoir s'adapter aux changements technologiques que nous vivons au cours des 20 prochaines années. Les équipes de travail de la STL sont bien conscientes que le portrait de 2040 qui sera dressé en 2021 ne sera pas meilleur que le portrait de 2020 qui aurait pu être brossé au tournant du millénaire, quand l'autobus électrique moderne n'existait pas encore... Humilité et prudence seront donc à l'ordre du jour!

S'adapter et apprendre

Même si l'électrification du parc d'autobus de la STL ne sera pas complétée demain matin, ses enjeux font déjà partie du quotidien. Le futur est complexe et la rapidité avec laquelle les avancées technologiques émergent impose une agilité ainsi que des capacités d'adaptation et d'apprentissage hors du commun. L'électrification des transports est un défi extraordinaire pour le Québec qui dispose d'une électricité propre. C'est plus que jamais l'occasion de développer nos expertises et de poser des gestes qui vont dans le sens d'une vraie mobilité durable et conforme aux enjeux importants du 21^e siècle. On pense ici surtout aux changements climatiques qui auront des répercussions énormes sur les générations futures. Comme le dit si bien Alvin Toffler, écrivain, sociologue et futurologue américain : « L'illettré du futur ne sera pas celui qui ne sait pas lire. Ce sera celui qui ne sait pas apprendre. » ●

Crédit de la photo de page 20 : STL.

Références

Gavrilovic, T. (2019). *Global Electric Bus Adoption to Triple by 2025*. En ligne : greentechmedia.com/articles/read/global-electric-bus-adoption-is-set-to-triple-by-2025#gs.46hw5n.

Haggiag, A. (2019). *Five Predictions About The Future Of Transit And Mobility In 2019*. En ligne : optibus.com/five-predictions-about-the-future-of-transit-and-mobility-in-2019.

Wood Mackenzie (2019). *The growing global e-bus landscape in China and beyond: E-bus and infrastructure forecast for China, Europe and the US*. En ligne : woodmac.com/our-expertise/focus/Power--Renewables/ebus-landscape-2019/?utm_source=gtmarticle&utm_medium=web&utm_campaign=wmpr_ebus2019.

Les contenants multicouches peuvent maintenant être recyclés ici, au Québec

Contactez-nous pour en tirer profit



RecycleCartons.ca



Conseil canadien des
manufacturiers de
contenants multicouches



ifaucher@recyclecartons.ca



CONSEIL DES
MANUFACTURIERS
DE CONTENANTS
MULTICOUCHES

Matériaux, réutilisation et consigne

Analyse du cycle de vie des contenants de boisson



PAR JULIEN PEDNEAULT, M. Sc.
Doctorant, CIRAIG



PAR FRANÇOIS SAULNIER, M. Sc.
Associé de recherche et analyste, CIRAIG

PAR ROSSANA BORGES TEIXEIRA, M. Sc.
Doctorante, CIRAIG

ET PAR DOMINIQUE MAXIME, Ph. D.
Associé de recherche et analyste, CIRAIG



Avec l'engouement pour les produits et les emballages « verts », l'offre de matériaux dits écologiques a grandement augmenté. Comment s'y retrouver? Quel choix est le plus approprié? L'analyse du cycle de vie est un outil d'estimation des impacts environnementaux permettant d'y voir plus clair. La méthodologie est expliquée puis appliquée aux contenants de bière les plus populaires au Québec.

Analyse du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie (ACV), aussi appelée écobilan, est une méthodologie quantitative d'évaluation des impacts environnementaux potentiels générés par un produit (ou un procédé ou un service) tout au long de son cycle de vie. On retrouve au cœur de l'ACV la pensée cycle de vie qui consiste à élargir le cadre d'analyse pour y inclure l'ensemble des étapes de la vie du produit étudié. Comme le montre la figure 1, les principales étapes sont l'extraction des ressources naturelles, leur transformation en matériaux et produits intermédiaires, la fabrication, la distribution, l'utilisation et la fin de vie du produit.

Cette approche holistique permet, par exemple, d'éviter qu'une action envisagée pour réduire les impacts de l'approvisionnement en matières premières ne vienne en contrepartie augmenter les impacts de l'étape d'utilisation ou à une autre étape du cycle de vie. Un tel déplacement pourrait annuler l'amélioration souhaitée, voire empirer la situation. L'ACV permet de distinguer les étapes du cycle de vie qui vont contribuer le plus aux impacts

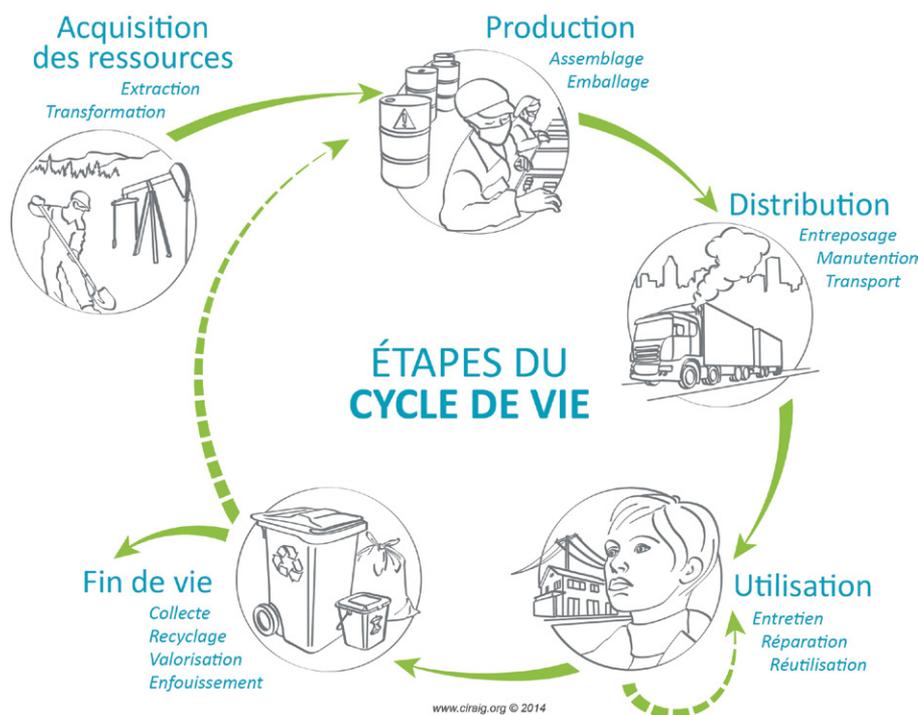
environnementaux du produit. Elle offre aux concepteurs la possibilité de guider et de prioriser les décisions afin de réduire le plus efficacement les impacts du produit, même au-delà de leur sphère d'intervention et de contrôle direct. Elle peut également aider à la décision à plus grande échelle, comme pour les orientations et les stratégies politiques sur l'énergie, la mobilité, la gestion des matières résiduelles, etc.

Alors qu'une empreinte carbone ne s'intéresse qu'aux émissions de gaz à effet de serre (GES), donc à l'enjeu du changement climatique, l'ACV cherche à couvrir un plus large éventail d'impacts et d'enjeux, tels l'épuisement des ressources non renouvelables, l'utilisation des terres et de l'eau, les atteintes à la biodiversité et à la qualité des écosystèmes, les pollutions atmosphériques dommageables pour la santé humaine, l'eutrophisation et l'acidification des eaux et des sols, l'écotoxicité, pour ne nommer que ceux-ci.

Dans une ACV comparative, on compare des systèmes différents répondant à la même fonction. La référence quantitative à laquelle se rapportent l'analyse et l'évaluation des impacts de l'ACV est appelée unité fonctionnelle. Il s'agit plus précisément de la définition et de la quantification de la fonction du système de produit. Par exemple, une ACV comparant l'aluminium et le verre pour le conditionnement d'une boisson ne compare pas simplement 1 kg de l'un à 1 kg de l'autre matériau, mais plutôt la quantité d'aluminium nécessaire pour conditionner 1 litre de boisson par rapport à la quantité de verre pour répondre à cette même unité fonctionnelle.

FIGURE 1

La pensée cycle de vie consiste à aborder une situation selon toutes les étapes du cycle de vie d'un système (produit, service, technologie).



L'ACV est régie par la série de normes ISO 14 040:44 (ISO, 2006) qui définit, entre autres, qu'une ACV est réalisée de façon itérative selon les quatre phases suivantes :

- **Définition des objectifs et du champ de l'étude** : la phase initiale consiste avant tout à cadrer l'analyse au regard des questions posées, du ou des produits ou services considérés et de l'objectif. La fonction, l'unité fonctionnelle et les frontières de système (c'est-à-dire quelles étapes du cycle de vie seront considérées) sont ensuite définies lors de cette phase.
- **Analyse de l'inventaire du cycle de vie (ICV)** : la seconde phase d'une ACV consiste à identifier et à quantifier tous les flux entrants (extraction de matières premières, les ressources naturelles) et sortants (émissions de polluants dans les différents compartiments de l'environnement : sol, air, eau) tout au long du cycle de vie du système à l'étude. Idéalement, des données de terrain sont utilisées puis complétées à l'aide de bases de données ICV.
- **Évaluation des impacts du cycle de vie** : cette phase consiste à convertir l'inventaire du cycle de vie en impacts environnementaux potentiels à l'aide d'une méthode d'évaluation des impacts. Une telle méthode contient des facteurs de caractérisation développés en évaluant le devenir, l'exposition et les effets des différents polluants émis dans l'environnement.
- **Interprétation des résultats** : la dernière phase consiste à réaliser différentes analyses de contribution, mais aussi de sensibilité, d'incertitude et de qualité des données pour tester la robustesse des résultats, puis des recommandations sont formulées selon les objectifs et le champ de l'étude.

ACV comparative de contenants de bière

Introduction

Chaque année, près de 1,5 milliard de contenants de bière sont mis sur le marché québécois (RECYC-QUÉBEC, 2019). On retrouve deux catégories de contenants : les contenants à remplissage multiple (CRM) et les contenants à remplissage unique (CRU). Les CRM sont typiquement les bouteilles de bière en verre brun de 341 ml. Grâce au système de consigne privée, ces CRM sont retournés aux brasseurs pour être nettoyés, désinfectés puis remplis à nouveau pour un minimum de 10 cycles d'utilisation (RECYC-QUÉBEC, 2018). Les CRU sont des contenants en aluminium, en verre (brun, vert, clair) ou même en polyéthylène téréphtalate (PET) qui sont majoritairement récupérés par la collecte sélective (et principalement par la consigne publique) pour être triés puis envoyés dans les filières de recyclage des matières, tout comme le sont les CRM une fois atteint le nombre de réutilisations maximal. On observe une forte augmentation de la part des CRU sur le marché au détriment des CRM. La quantité de CRM vendus au Québec entre 2008 et 2015 a diminué de moitié (RECYC-QUÉBEC, 2018). Le taux de récupération des CRM atteint plus de 95 %, alors que celui des CRU – variable selon le contenant et son volume – était en moyenne de 72 % en 2015 (RECYC-QUÉBEC, 2019).

Un autre type de bouteille, fait de PET, a été développé pour remplacer les bouteilles en verre, avec l'avantage d'une masse fortement réduite à l'instar de la canette. Des CRU consignés en PET existent sur le marché québécois depuis quelques années, mais ils restent encore marginaux et, de surcroît, encore très mal récupérés (RECYC-QUÉBEC, 2018).

D'un point de vue environnemental, la bouteille peut représenter jusqu'à 50 % des impacts environnementaux du cycle de vie d'une bière (Amienyo et Azapagic, 2016). Toutefois, cette valeur sera fortement influencée par des paramètres tels que la masse relative du contenant, les distances de transport, le nombre de réutilisations des CRM, les taux de récupération des contenants et de recyclage de la matière, etc. Afin d'avoir un portrait plus clair en contexte québécois, RECYC-QUÉBEC a mandaté le CIRAIG, en 2014, pour la réalisation d'une ACV portant sur les contenants de bière au Québec (CIRAIG, 2015). Ce qui suit est donc représentatif d'un contexte datant de quelques années.

Objectifs et champ de l'étude

L'objectif de l'étude est de comparer les impacts environnementaux de différents CRM et CRU de bière de petit format « du berceau au tombeau », soit de la production des contenants jusqu'à la gestion de leur fin de vie. Un total de treize types de contenants sont étudiés et comparés, différents par leur type, leur matériau et leur provenance, puisque les importations sont une part importante de la consommation de bière au Québec :

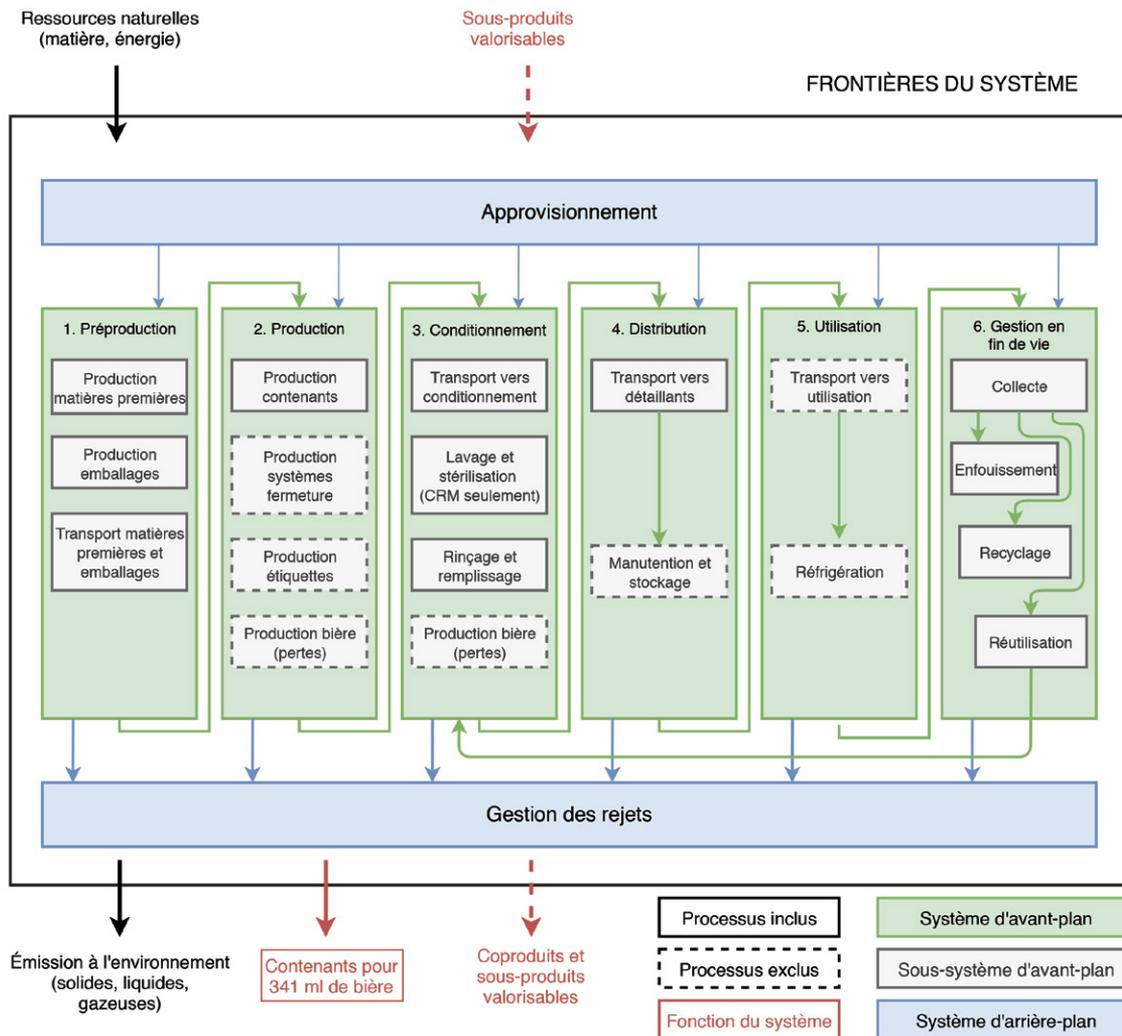
1. CRM – Bouteille en verre fabriquée au Québec;
2. CRU – Bouteille en verre fabriquée : a) au Québec, b) au Mexique, c) aux Pays-Bas, d) en Belgique, e) en Amérique du Nord (hors Québec);
3. CRU – Canette d'aluminium fabriquée : a) au Québec; b) aux États-Unis; c) en Ontario; d) au Mexique, e) aux Pays-Bas;
4. CRU – Bouteille d'aluminium fabriquée au Québec;
5. CRU – Bouteille en plastique (PET) fabriquée en Ontario.

Ces types de contenants et leur provenance ont été sélectionnés, car ils représentent ce qui se trouvait en 2013 sur le marché québécois. À cette date, les CRU de verre et d'aluminium fabriqués au Québec (2a et 3a) ainsi que les bouteilles en aluminium et en plastique (4 et 5) sont des scénarios hypothétiques. Un atout supplémentaire de l'ACV est de pouvoir simuler ces scénarios afin d'évaluer quels seraient les impacts de tels contenants s'ils existaient.

Fonction et unité fonctionnelle

La fonction étudiée est de « distribuer au consommateur une quantité de bière emballée et protégée » et l'unité fonctionnelle

FIGURE 2
Système étudié et ses frontières.



est de « mettre à disposition du consommateur 341 ml de bière emballée et protégée pendant 6 mois minimum dans des contenants ne dépassant pas 450 ml, au Québec, en 2013 ». Les 13 systèmes de contenants décrits précédemment sont modélisés et dimensionnés afin de satisfaire à cette unité fonctionnelle.

Systèmes étudiés

Une représentation générique des systèmes étudiés est montrée à la figure 2. Les sous-étapes de production des étiquettes, de manutention et de stockage lors de la distribution, de transport entre détaillant et consommateur ainsi que de réfrigération ont été exclues, car il a été démontré qu'elles étaient équivalentes entre les systèmes et/ou peu contributrices et donc négligeables. La sous-étape de la production de la bière a été exclue par défaut (identique à tous les systèmes), mais considérée cependant lors d'une analyse de sensibilité sur le bris de contenants. Le système couvre toutefois l'entièreté du cycle de vie des contenants. Pour chaque opération des étapes d'avant-plan du système sont aussi considérés les approvisionnements d'énergie, d'électricité, d'eau et de matériaux auxiliaires, ainsi que la gestion de rejets tels que les eaux usées et les déchets de production et d'emballage.

Source de données et inventaire du cycle de vie

La collecte de données, étape primordiale en ACV, a été réalisée de manière itérative entre le CIRAIG, RECYC-QUÉBEC et d'autres parties prenantes identifiées (p. ex. : les brasseurs). Les données manquantes, incomplètes ou non facilement accessibles sont issues et adaptées de la base de données ICV commerciale ecoinvent (Wernet et collab., 2016), de bases de données publiques disponibles, d'une revue de littérature et de jugements d'experts. L'inventaire du cycle de vie de chaque système à l'étude a donc été construit à partir de ces différentes sources de données primaires et secondaires.

Méthode d'évaluation des impacts

Afin de traduire l'inventaire du cycle de vie en impacts environnementaux, la méthode IMPACT 2002+ a été utilisée (Jolliet et collab., 2003). Cette méthode d'évaluation des impacts

donne ultimement les impacts environnementaux selon les quatre indicateurs suivants : santé humaine, qualité des écosystèmes, ressources primaires non renouvelables (énergies fossiles, métaux et minéraux) et changement climatique (c'est-à-dire les émissions de GES – CO₂, CH₄, N₂O et chlorofluorocarbones – exprimées en grammes d'équivalent CO₂ (g éq. CO₂) selon les potentiels de réchauffement climatique publiés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat en 2013. L'indicateur « dommages sur la santé humaine » prend en compte les substances ayant des effets toxiques (cancérogènes et non cancérogènes) et respiratoires, produisant des radiations ionisantes, contribuant à la destruction de la couche d'ozone et affectant la santé. L'indicateur « qualité des écosystèmes » regroupe les impacts liés à la toxicité aquatique et terrestre, à l'acidification et à l'eutrophisation aquatique, à l'acidification et à l'eutrophisation terrestre ainsi qu'à l'occupation des terres (dommages sur la biodiversité).

Résultats

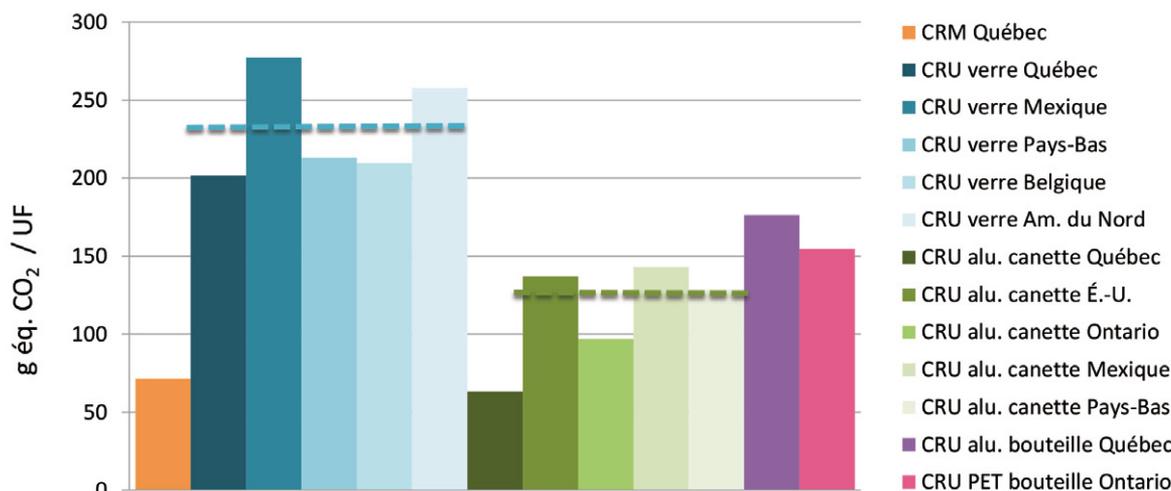
Les résultats présentés à la figure 3 pour l'indicateur « changement climatique » montrent que le CRM en verre est l'option la plus favorable de tous les contenants sur le marché, suivi des CRU en aluminium. Les bouteilles en PET suivent en 3^e position et les CRU en verre sont les pires options pour cet indicateur. Il est intéressant d'observer toutefois que le scénario hypothétique de la canette en aluminium fabriquée au Québec serait un peu plus performant qu'un CRM.

La différence de résultats entre les lieux de provenance des CRU en verre et en aluminium s'explique par les divers types d'approvisionnement énergétique et électrique des pays de fabrication. L'écart pour les CRU en aluminium est plus marqué étant donné que la fabrication de l'aluminium consomme beaucoup d'électricité et que l'électricité québécoise a une empreinte carbone (g éq. CO₂/kWh) très faible en comparaison des autres pays à l'étude.

Seul l'indicateur « changement climatique » est illustré et discuté plus en profondeur dans cet article, mais la tendance

FIGURE 3

Comparaison des contenants pour l'indicateur « changement climatique ». Les traits pointillés représentent la moyenne des CRU en verre et des CRU en aluminium (hors Québec).



est semblable pour les indicateurs « dommages sur la santé humaine » et « ressources primaires ». L'indicateur de la « qualité des écosystèmes » est toutefois plus mitigé, car les écarts entre les options sont jugés trop faibles pour pouvoir conclure qu'un type de contenant est moins dommageable qu'un autre avec un degré de confiance suffisant. Le lecteur intéressé pourra consulter l'étude pour plus de détails (CIRAIG, 2015).

Analyse de contribution

La source des impacts dans le cycle de vie est identifiée lors de l'analyse de contribution (figure 4). On remarque que pour tous les contenants, sauf le CRM, la production des contenants est l'étape largement dominante (de 73 % à 89 % du total des GES). La production comprend ici toutes les opérations depuis l'extraction des matières premières jusqu'aux produits finis (préproduction et production des contenants, voir figure 2). Pour les CRM, la faible contribution de la production des contenants s'explique par le fait que les bouteilles sont réutilisées en moyenne 15 fois, donc que 1/15 de contenant doit être produit pour remplir l'unité fonctionnelle. Toujours pour les CRM, l'étape de stérilisation et de remplissage représente 22 % des GES sur le cycle de vie. Il est notable que les emballages contribuent significativement, quel que soit le contenant. Ces emballages incluent les cartons et les palettes nécessaires pour le transport des contenants vides et pleins, et lors des retours des CRM.

L'impact associé au transport des contenants vides et pleins, ainsi que de leur retour pour le lavage dans le cas des CRM, est négligeable pour tous les contenants à l'exception des CRU en verre. La masse de ces derniers étant plus importante que celle des canettes, elle affecte à la hausse l'impact du transport pour les pays où la distance parcourue est particulièrement importante.

Analyse de sensibilité

Le nombre d'utilisations de la bouteille en verre pouvant faire varier grandement les résultats, une étude de sensibilité a été

réalisée sur ce paramètre. On observe à la figure 5a qu'à partir de cinq utilisations, le CRM est un meilleur choix que le minimum des CRU étudiés pour l'indicateur « changement climatique ». La figure 5b montre la même analyse pour l'indicateur « qualité des écosystèmes ». La tendance est la même et le CRM devient une meilleure option dès trois remplissages. D'autres analyses de sensibilité ont été conduites (taux de pertes (bris), contenu en aluminium recyclé des canettes, méthode d'évaluation des impacts, etc. (CIRAIG, 2015)).

Qualité, cohérence et complétude

Une évaluation de la qualité de données a été effectuée. Selon la norme ISO (ISO, 2016), les exigences relatives à la qualité des données devraient au minimum en assurer la validité dans le contexte de l'étude, ce qui concerne ici leur représentativité quant à l'âge, à la provenance géographique et à la représentativité technologique. La qualité s'évalue selon des critères de fiabilité, de représentativité et de complétude. Les données utilisées pour l'analyse ont été jugées acceptables, mais des améliorations seraient possibles concernant les scénarios hypothétiques de la canette en aluminium du Québec et de la bouteille en PET. Les autres données à améliorer pour accroître encore la robustesse des conclusions concernent les taux de pertes à la distribution des contenants, les données des opérations de rinçage et de remplissage, ainsi que celles des emballages pour le transport.

Limites de l'étude

Les études ACV comportent toutes des limitations, et c'est pourquoi on dit qu'elles permettent de calculer des impacts environnementaux potentiels et non des impacts ni des risques réels. Les limites sont intrinsèques à la méthodologie, mais aussi reliées aux données utilisées et aux hypothèses posées. Spécifiquement, les principales limitations de cette étude sont associées à l'utilisation en partie de données secondaires provenant de bases de données, aux estimations et aux hypothèses concernant les distances de transport, et aux

FIGURE 4
Contribution des étapes du cycle de vie des contenants pour l'indicateur « changement climatique » (les résultats pour les CRU en verre et les CRU en aluminium autres que Québec ont été moyennés comme présenté à la figure 3).

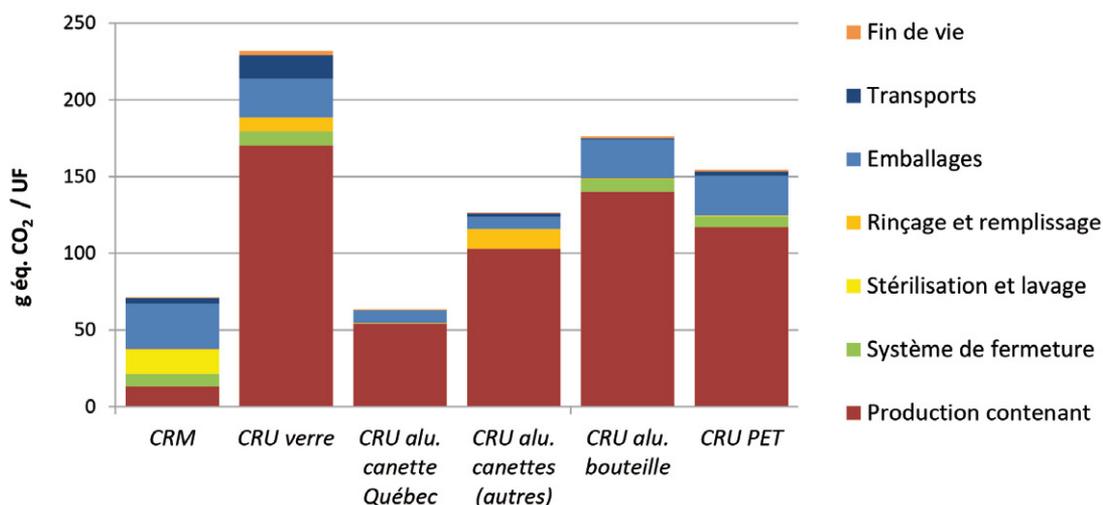
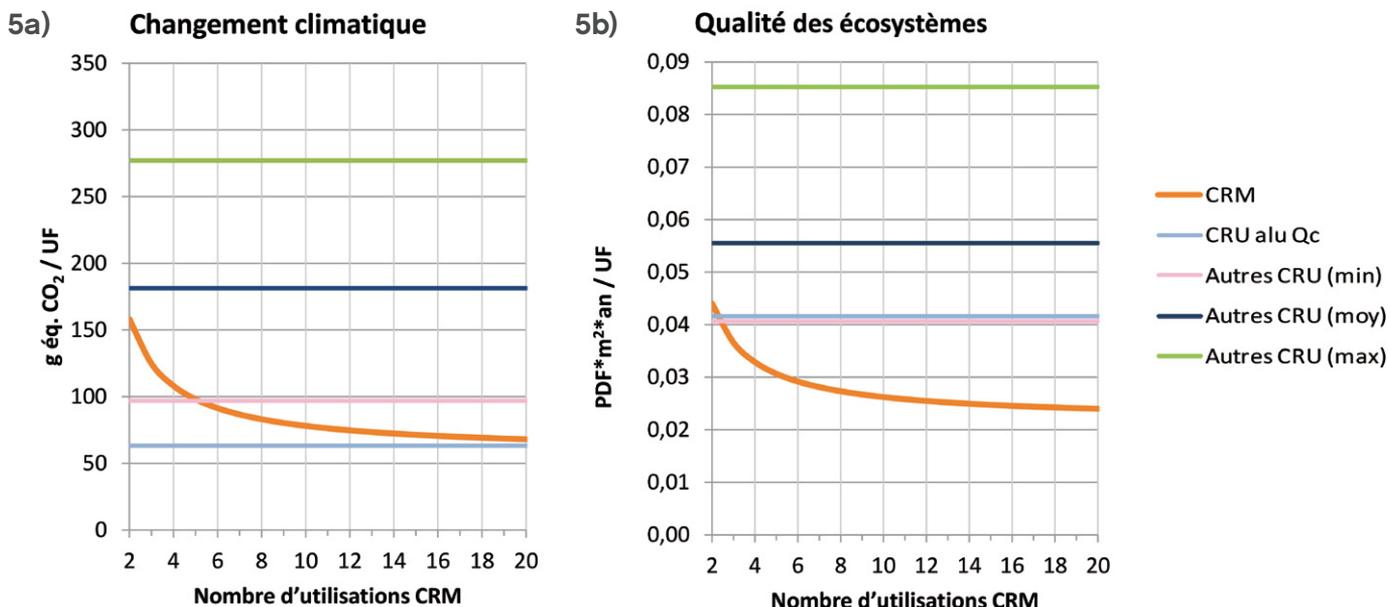


FIGURE 5

Sensibilité des résultats d'impact au nombre d'utilisations des CRM : a) indicateur « changement climatique » ; b) indicateur « qualité des écosystèmes ».



limitations mentionnées à la section sur la qualité des données. L'ensemble des analyses de sensibilité réalisées permet toutefois de s'assurer de la robustesse des conclusions malgré ces limitations (CIRAIG, 2015). On rappelle enfin que ces résultats sont représentatifs du contexte québécois de 2013, et qu'il est supposé que tous les contenants à l'étude offrent des performances techniques équivalentes vis-à-vis de la barrière à l'oxydation et du maintien des qualités organoleptiques de la bière durant la période de conservation de six mois considérée.

Conclusion

À la lumière de l'ensemble des résultats et des analyses de sensibilité, l'étude ne permet pas de recommander hors de tout doute une hiérarchie entre les contenants, car les résultats ne sont pas significativement différents pour l'indicateur « qualité des écosystèmes ». Pour les trois autres indicateurs, le CRM en verre se positionne toutefois comme l'option la moins dommageable dès cinq utilisations de la bouteille. La canette ainsi que la bouteille en aluminium fabriquées au Québec pourraient être des options à considérer, mais le bénéfice est fortement dépendant de la structure du marché de l'aluminium recyclé en Amérique du Nord. Il est aussi recommandé de renforcer les collaborations entre les parties prenantes pour accroître les connaissances des processus de lavage, de stérilisation, de rinçage et de remplissage, ainsi que de la logistique (emballages, transport pour la livraison des produits et la collecte des CRM).

L'ACV est une méthode basée sur la science qui apporte une vision holistique et systémique à un problème. Dans le contexte actuel où l'on cherche à accroître la circularité des flux de matière dans l'économie pour prévenir l'épuisement des ressources, l'ACV se positionne comme un des outils de l'économie circulaire afin d'identifier le potentiel environnemental des différentes options de réutilisation ou de valorisation de la

matière. C'est une méthode reconnue, scientifique et quantitative, qui peut être appliquée sur le choix des matériaux et des logistiques comme l'a montré cette étude sur les contenants de bière. Dans un contexte d'élargissement de la consigne au Québec (RECYC-QUÉBEC, 2020), l'ACV se positionne comme un incontournable dans la boîte à outils d'aide à la décision. ●

Références

- Amienyo, D., et A. Azapagic (2016). « Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK ». *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 21, n° 4, p. 492-509.
- CIRAIG (2015). *Mise à jour d'une analyse du cycle de vie de contenants de bière au Québec*. Montréal, Québec. En ligne : recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/acv-contenants-biere-rapport-2015.pdf.
- ISO (2006). *ISO 14040:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*.
- Jolliet, O., et collab. (2003). « IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology ». *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 8, n° 6, p. 324-330.
- RECYC-QUÉBEC (2018). *Système de consignment*. En ligne : recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/Fiche-info-consigne.pdf.
- RECYC-QUÉBEC (2019). *Tableau des ventes et de la récupération des contenants consignés (Bière et Boissons gazeuses)*. En ligne : recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/statistiques-ventes-recuperation-cru.pdf.
- RECYC-QUÉBEC (2020). *Foire aux questions*. En ligne : recyc-quebec.gouv.qc.ca/entreprises-organismes/mieux-gerer/consigne/foire-aux-questions.
- Wernet, G., et collab. (2016). « The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology ». *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 21, p. 1218-1230.

Adaptation aux changements climatiques

Des fiches synthèses régionales pour passer à l'action



PAR JULIE CUNNINGHAM
Spécialiste en vulgarisation scientifique,
rédaction et transfert des connaissances,
Ouranos

Coordonnant à la fois le soutien à la population lors d'événements climatiques extrêmes et la planification de mesures visant à accroître la résilience climatique, les gestionnaires municipaux sont aux premières loges de l'adaptation aux changements climatiques. Afin de les soutenir, Ouranos a produit des fiches synthèses régionales communiquant une information climatique à jour et pertinente pour leur milieu.

Rassembler, synthétiser et vulgariser

La réalisation des fiches synthèses (MAMH, s. d.) est l'une des initiatives pilotées par le ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH), en collaboration avec le ministère de la Sécurité publique (MSP), et financées dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Elles visent à sensibiliser ainsi qu'à informer les élus et les gestionnaires municipaux face aux enjeux que posent les changements climatiques. Le format « fiches synthèses » a été choisi en réponse à un constat : bien que l'information climatique soit plus qu'abondante, elle est rarement présentée dans un format facilement utilisable par les acteurs du milieu municipal.

« Le format « fiches synthèses » a été choisi en réponse à un constat : bien que l'information climatique soit plus qu'abondante, elle est rarement présentée dans un format facilement utilisable par les acteurs du milieu municipal. »



Face à ce besoin, un travail de recension de la littérature portant sur les conséquences et les possibilités découlant des changements climatiques pour 15 régions québécoises a été effectué. Il est à noter que les régions de Montréal et de Laval ont été regroupées dans une même fiche, et que le Nord-du-Québec fait l'objet de recherches spécifiques réalisées par le Centre d'études nordiques de l'Université Laval (en collaboration avec le MAMH) jusqu'à la fin de l'année 2020. Ces informations ont ensuite été regroupées par thématiques puis synthétisées. Par ailleurs, des solutions d'adaptation pour chacune des thématiques ont été répertoriées, documentées et reconstituées. Cette synthèse a été par la suite soumise aux commentaires d'intervenants des directions régionales du MAMH et du MSP afin de s'assurer de leur adéquation avec les réalités régionales.

À quoi doivent s'attendre les régions ?

Les thématiques abordées dans chaque fiche reflètent les vulnérabilités régionales aux différents aléas climatiques. Ainsi, les régions les plus densément peuplées ou situées près de cours d'eau ont pour principales thématiques la santé publique (en particulier les vagues de chaleur et les effets d'îlots de chaleur urbains) et l'eau (dont la gestion de l'eau de pluie et la disponibilité de l'eau potable). Pour les régions côtières, les

FIGURE 1
Exemple de fiche régionale : Saguenay–Lac-Saint-Jean.



effets actuels et anticipés de l'érosion et de la submersion sur les infrastructures sont plus particulièrement détaillés. Les enjeux de sécurité publique sont soulevés à travers ces différentes thématiques. Dans les régions rurales, les effets attendus des changements climatiques sur l'agriculture et la forêt sont abordés, puisque ces secteurs risquent de faire face à des défis dans le maintien de leurs activités économiques dans le futur. Enfin, pour de nombreuses régions, les conséquences des changements climatiques sur le tourisme sont aussi décrites, car elles créent à la fois des défis et des occasions d'affaires pour ce secteur.

Valoriser les initiatives pour inspirer les autres

En fonction de la documentation disponible, les solutions d'adaptation présentées dans les fiches sont représentatives de l'état d'avancement des initiatives des parties prenantes, incluant le secteur municipal, pour accroître la résilience climatique des collectivités. En conséquence, les exemples répertoriés varient quant à leur portée : certains concernent la sensibilisation aux risques, tandis que d'autres traitent de la mise en œuvre de solutions concrètes. Les solutions d'adaptation générant plusieurs cobénéfices sur les plans social et environnemental ont fait l'objet d'une attention particulière. Par exemple, le verdissement ou la restauration des milieux naturels comportent plusieurs avantages pour la santé mentale et physique de la population, en plus de permettre une gestion plus durable de l'eau de pluie et de favoriser la réduction des effets d'îlots de chaleur urbains.

Tableau-synthèse des projections climatiques par région

En parallèle, un travail de mise en forme graphique des indices climatiques courants pour chaque saison (températures et précipitations) et de nouveaux indices développés spécifiquement pour ce projet par Ouranos (vagues de chaleur, indice de gel-dégel) a été effectué. Ces représentations graphiques

permettent de faciliter la compréhension des implications potentielles des changements climatiques sur une échelle temporelle à moyen et à plus long terme. Le tableau-synthèse des projections climatiques comprend aussi des définitions de la terminologie utilisée, ainsi que des messages clés en ce qui a trait aux tendances saisonnières appréhendées.

Pistes pour intégrer des mesures d'adaptation

Enfin, en plus de collaborer étroitement à la validation et à l'amélioration des contenus, le MAMH et le MSP ont aussi développé un tableau dressant un panorama non exhaustif des possibilités d'intégration de mesures d'adaptation dans la planification municipale existante. Ce tableau permet de constater en un coup d'œil l'éventail de mesures pouvant s'insérer dans les outils de planification, qu'ils soient réglementaires ou non (schéma d'aménagement et de développement, stratégie de conservation de l'eau potable, plan de mobilité durable, règlements d'urbanisme, plan municipal de sécurité civile, etc.).

Des outils pour passer à l'action

Dans un contexte où les demandes formulées à l'endroit des gestionnaires municipaux se multiplient, il est important que des informations climatiques et des solutions d'adaptation pertinentes pour le milieu municipal soient facilement accessibles. Ainsi, ces fiches sont un outil permettant d'entamer un travail d'analyse à la base des processus d'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans la planification et la gestion municipales. Par ailleurs, le développement de formations plus approfondies en adaptation connaît une effervescence qui pourrait se traduire par un renforcement des capacités, ainsi que par des efforts d'adaptation plus soutenus et systématiques par la suite. Ensemble, ces ressources favorisent l'élargissement du bassin d'acteurs municipaux de l'adaptation sur laquelle repose la résilience future des collectivités québécoises. ●

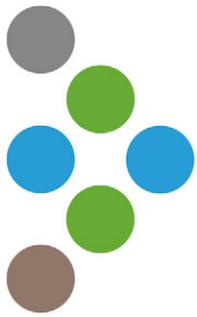
Référence

MAMH (s. d.). *Fiches synthèses régionales d'adaptation aux changements climatiques*. En ligne : mamh.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/lutte-contre-les-changements-climatiques/fiches-syntheses-regionales-dadaptation-aux-changements-climatiques.

AUTRES OUTILS PERTINENTS

Voici deux ressources intéressantes et complémentaires aux fiches synthèses régionales pouvant être utiles aux élus et aux gestionnaires municipaux :

- *Il faut s'en parler : un guide de discussion pour les gouvernements locaux sur l'adaptation aux changements climatiques*. En ligne : data.fcm.ca/documents/resources/MCIP/il-faut-sen-parler-guide-de-discussion.pdf.
- *Outils de gestion des risques pour les municipalités*. En ligne : quebec.ca/securite-situations-urgence/securite-civile/soutien-municipalites/appreciation-risques/outil-gestion-risques.



RÉSEAUTAGE EXPERTISE INFORMATION

DEVENEZ MEMBRE DE RÉSEAU ENVIRONNEMENT

CATALYSEUR DE L'ÉCONOMIE VERTE
AU QUÉBEC



Être membre, c'est...

- Joindre un comité sectoriel pour partager votre expertise en collaborant à l'élaboration de ressources techniques, de formations et de prises de position afin que les politiques publiques répondent au développement durable;
- Faire partie d'un comité régional et participer au dynamisme de votre région;
- Recevoir *À la Une*, l'infolettre de l'actualité environnementale;
- Recevoir *Vecteur Environnement*, la revue trimestrielle en environnement;
- Bénéficier d'activités de réseautage et d'événements à coût préférentiel, dont Americana et le Salon des TEQ;
- Être admissible aux prix Distinctions remis annuellement;
- Bénéficier des nombreuses occasions de réseautage, d'un accès au répertoire d'entreprises dans votre secteur et bien plus encore!



Traitement de sols contaminés au Nunavik

Les défis de la recherche d'une solution adaptée



PAR **VINCENT TAILLARD**, ing.
Étudiant Ph. D., Institut national de la
recherche scientifique – Centre Eau Terre
Environnement (INRS-ETE)
Vincent.taillard@ete.inrs.ca



ET PAR **GAËLLE BAÏLON-POUJOL**
Spécialiste en environnement, Administration
régionale Kativik



Au Nunavik, les risques de déversements d'hydrocarbures sont extrêmement élevés puisque chaque bâtiment est muni de son propre réservoir de mazout. Les sols contaminés sont habituellement excavés puis transportés à grands frais vers des centres de traitement à l'extérieur de la région. Le Nunavik a grandement besoin d'une solution alternative efficace et adaptée à la réalité nordique.

La population du Nunavik est répartie dans 14 villages nordiques isolés les uns des autres, accessibles seulement par avion ou par bateau. Ces communautés dépendent des produits pétroliers comme unique source énergétique pour la production d'électricité et le chauffage. Des conditions climatiques extrêmes, un manque de main-d'œuvre qualifiée et une maintenance insuffisante des équipements font en sorte que le potentiel de déversements d'hydrocarbures est très élevé sur ce territoire majoritairement pergélisolé. Bien qu'il existe de nombreuses technologies de traitement disponibles dans le sud de la province, le contexte de région froide éloignée rend la majorité de ces technologies difficiles, voire impossibles à implanter et à utiliser. À ce jour, l'excavation des sols contaminés s'affiche comme le mode de réhabilitation le plus fréquent au Nunavik.

Une solution loin d'être optimale

L'excavation de l'entièreté des sols contaminés est souvent freinée par des contraintes techniques importantes, telles que la présence de pergélisol et le manque d'expertise ou d'équipements adaptés à cette tâche. De plus, les déversements s'étendent souvent sous les bâtiments, rendant impossible

la réhabilitation de la totalité du site affecté sans nécessiter des travaux complexes et onéreux comme le déplacement du bâtiment. L'avancement des travaux est également ralenti par l'envoi d'échantillons par avion et l'attente des résultats d'analyse. Finalement, l'absence de centre de traitement sur le territoire nécessite de transporter les sols contaminés par bateau à des coûts exorbitants.

C'est face à cette problématique récurrente que l'Administration régionale Kativik (ARK) a proposé à l'équipe de recherche en technologies environnementales de l'INRS-ETE de vérifier la pertinence et la faisabilité d'un projet de recherche et développement afin de développer une solution commerciale applicable à la réalité du Nunavik. Il était indispensable que la solution proposée considère la réalité d'un village nordique : une logistique et une expertise limitée sur place, une période d'intervention estivale courte dans un climat difficile, la nécessité de préserver la présence de pergélisol, et enfin le transport par bateau et/ou avion des équipements et des produits chimiques nécessaires.

Recherche au Nord : des défis hors du commun

Cette recherche ambitieuse pour trouver un procédé innovant de traitement des sols contaminés sous bâtiment devait nécessairement inclure une étape de tests sur site, dans un village du Nunavik. La préparation pour une intervention terrain en région éloignée comporte son lot de défis et doit être rigoureuse pour tenir compte des particularités de la réalité nordique.

1. Consultation des organismes ayant développé des expertises spécifiques : durant la revue littéraire scientifique, il est primordial de s'attarder aux particularités de la région, tels le climat et la géologie, mais il faut aussi s'intéresser aux aspects logistiques des expériences de terrain, car la recherche

en milieu éloigné comporte des limites quant au transport, aux sources d'énergie et aux ressources disponibles sur place. Cette étape a donc permis d'identifier des contraintes potentielles et de les intégrer dans la définition du projet. Le rapprochement avec la communauté scientifique spécialisée dans la recherche nordique, comme le Centre d'études nordique et l'Institut nordique du Québec (INQ), a permis d'obtenir des informations indispensables et d'éviter de reproduire les erreurs du passé.

2. Étude des aspects socioculturels et éthiques de la recherche en milieu autochtone : une étape indispensable est la consultation des guides de bonnes pratiques de la recherche en milieu nordique publiés par différents organismes et groupes d'études (ITK, 2007 ; APNQL, 2014 ; INQ, 2017). Une lecture attentive de ces guides permet de mieux comprendre les enjeux que représente le déroulement d'un projet au Nunavik. Outre les recommandations concernant l'éthique et la déontologie, ces guides mettent de l'avant des conseils sur l'attitude et le comportement à adopter pour s'assurer un respect réciproque entre les intervenants et la communauté locale. Pour éviter un choc culturel et faciliter l'intégration et la collaboration avec la communauté, il est préférable de s'informer correctement sur l'histoire, le contexte socioéconomique de la région (Rodon, 2020), la culture locale et les savoirs traditionnels. Suivre des cours d'initiation à la langue inuktitut (Chamberland-Poulin, 2020) et être capable d'échanger quelques mots une fois sur place est très bien vu en plus d'être utile.

3. Définition des rôles des différents collaborateurs : l'implication de chacun des partenaires a été une des clés de la réussite du projet. Par exemple, l'ARK a agi comme agent facilitateur dans les démarches administratives, et l'Office municipal d'habitation Kativik a fourni un soutien logistique et technique indispensable une fois sur place.

Intervention terrain : de nouveaux obstacles

En 2018, la première intervention a permis de se présenter et de rencontrer les collaborateurs locaux ainsi que les différents organismes et institutions afin de mieux connaître leurs rôles et leurs mandats respectifs. Cette étape a été très utile pour comprendre les différences existant entre le Nunavik et le reste du Québec, pour ensuite ajuster le projet en conséquence. L'intervention de 2019 a permis la préparation du site et la réception du matériel nécessaire.

En 2020, en raison de la pandémie mondiale, l'accès au Nunavik a été très limité au cours du printemps, et le travail terrain initialement

prévu pour quatre mois a dû être écourté à deux mois. Malgré cela, les tests de traitement in situ se sont bien déroulés et ont permis la collecte de l'ensemble des données nécessaires.

Une intervention en personne était prévue à l'hiver 2021 afin de présenter les résultats à la communauté dans le cadre d'activités de sensibilisation à différentes problématiques environnementales. Étant donné l'aspect fondamental du partage de connaissances avec les collaborateurs locaux, il sera essentiel de trouver un mode alternatif de présentation, par visioconférence par exemple.

Vers une solution durable

Particulièrement adaptée aux déversements localisés sous les bâtiments, la solution proposée consiste en un traitement par oxydation chimique in situ, dont la méthode d'application permet de se passer d'équipements de forage et d'intervenir dans les horizons de sols non saturés. Les produits chimiques impliqués sont suffisamment réactifs pour assurer un traitement efficace en limitant considérablement l'élévation de température dans le sous-sol afin de protéger le pergélisol. Après une période de paramétrage sous la supervision d'experts, des opérateurs locaux pourront appliquer le traitement grâce à une unité mobile d'intervention (un conteneur maritime acheminé sur le site à traiter). Une fois le projet de recherche et développement terminé, le déploiement de la technologie permettra donc d'offrir un outil de traitement qui sera non seulement adapté au contexte particulier du Nunavik, mais également exploitable par la communauté locale. ●

Références

APNQL (2014). *Protocole de recherche des Premières Nations au Québec et au Labrador*. En ligne : cerpe.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/29/2016/08/Protocole-de-recherche-des-Premieres-Nations-au-Quebec-Labrador-2014.pdf.

Chamberland-Poulin, J. (2020). *Initiation à l'inuktitut*. Cours INU-1010, Université Laval, Québec.

INQ (2017). *Lignes directrices pour la recherche*. En ligne : inq.ulaval.ca/fr/outils/lignes-directrices.

ITK (Inuit Tapiriit Kanatami) (2007). *Negotiating research relationships with inuit communities. A guide for researchers*. En ligne : itk.ca/negotiating-research-relationships-guide.

Rodon, T. (2020). *Le Québec nordique : enjeux, espaces et cultures*. Cours en ligne ouvert à tous, Université Laval. En ligne : ulaval.ca/les-etudes/mooc-formation-en-ligne-ouverte-a-tous/le-quebec-nordique-enjeux-espaces-et-cultures.

POUR RÉUSSIR UN PROJET DE RECHERCHE AU NUNAVIK

- Assurer des retombées locales et des bénéfices pour la population et les organisations régionales ;
- Communiquer, échanger et développer des collaborations ;
- Être ouvert, patient, compréhensif et respectueux ;
- Se faire connaître, développer des liens de confiance : s'intéresser et s'impliquer dans la vie quotidienne et dans la culture locale ;
- Prévoir un budget approprié et des délais suffisants ;
- Être indépendant en expertise, en énergie et en équipements ;
- Être polyvalent, s'adapter rapidement et être résilient ;
- Prévoir des plans B, C, D, E... On ne sait jamais ce qu'il peut se passer dans le Nord !

Empierrement écologique de la baie de Rivière-du-Loup

Faire d'une pierre deux coups



PAR **PIERRE BERTRAND**, M. Sc.
Expert consultant
info@pierrebertrand.ca

L'érosion des rives du Saint-Laurent est une problématique documentée depuis au moins une trentaine d'années. Les impacts négatifs se font de plus en plus sentir et les plus récentes projections n'annoncent rien de bon pour l'avenir (Rondeau-Genesse, 2020). Dans la baie de Rivière-du-Loup, un projet inspiré d'une approche néerlandaise a été mis en place pour protéger les rives et restaurer un milieu écologique.

L'estuaire, un milieu écologique riche

La section estuarienne du Saint-Laurent – caractérisée par la présence de vastes battures et de marais littoraux, des milieux naturels pourtant reconnus pour leur grande richesse écologique – demeure souvent orpheline de techniques d'intervention aguerries. Les conditions salines et glacielles d'une partie des eaux de l'estuaire du Saint-Laurent et de l'ensemble du golfe du Saint-Laurent ne permettent pas d'appliquer des techniques relevant du génie végétal afin d'assurer la protection des rives de ces environnements particuliers, de sorte que trop souvent les techniques d'intervention demeurent limitées à l'empierrement massif en rives.

C'est dans ce contexte que le projet de la baie de Rivière-du-Loup trouve son intérêt, car il s'agit d'un des rares projets d'intervention ayant été mis en place dans l'estuaire du Saint-Laurent pour protéger une infrastructure routière, l'autoroute Jean-Lesage, tout en restaurant un marais littoral lourdement affecté par l'érosion.

Un bouchon vaseux

Une des caractéristiques originales des eaux estuariennes est la présence de fortes concentrations de matières en suspension qui s'agglomèrent pour former de plus grosses particules, facilitant ainsi leur sédimentation sur les battures. C'est ce processus qui explique la présence des marais et des vastes estrans vaseux dans l'estuaire.



Comme cela a été démontré aux Pays-Bas, il est possible de capter ces vases et de les coloniser pour en favoriser la stabilisation et l'accrétion (Verger, 1983). C'est à partir de ce constat qu'un premier projet de démonstration a été mis en place dans la baie de Rivière-du-Loup. Les résultats obtenus ont montré un taux de sédimentation nettement supérieur à ceux mesurés sur des sites témoins situés à l'extérieur de l'aménagement (Bertrand et collab., 1996).

Du projet de démonstration au projet pilote

Fort de ces résultats, le ministère des Transports a construit en 2010 un ouvrage inspiré de la conception du projet de démonstration, afin d'assurer la protection de l'autoroute Jean-Lesage tout en réhabilitant une partie du marais littoral de la baie de Rivière-du-Loup.

Le projet a consisté à mettre en place sur la batture, au niveau de la haute slikke (tableau 1) à environ 120 mètres du rivage, un brise-lames submersible de 330 mètres de longueur disposé parallèlement au rivage, et relié à la rive par une digue transversale pour en faciliter l'accès, créant ainsi deux unités indépendantes de sédimentation (figure 1).

Les marais littoraux de l'estuaire du Saint-Laurent présentent une zonation altitudinale. Chaque zone présente des caractéristiques singulières, mais ce sont les temps de submersion qui conditionnent leur développement (tableau 1).

La digue submersible a été aménagée dans le marais inférieur (ou haute slikke), soit dans la zone présentant des taux de

TABLEAU 1

Principales caractéristiques biophysiques de l'estran.

COMPOSANTES	SLIKKE	HAUTE SLIKKE ²	SCHORRE
Végétation dominante	<i>Fucus vesiculosus</i>	<i>Spartina alterniflora</i>	<i>Spartina pectinata</i>
Temps de submersion annuel	Entre 50 % à 100 % du temps	Entre 5 % et 50 % du temps	Entre 0 % et 5 % du temps
Marées ¹	NMM (2,5 m)	PMM (4,1 m)	PMVEE (5,2 m)

¹ Niveau moyen de la mer (NMM); pleine mer moyenne (PMM); pleine mer de vives eaux d'équinoxe (PMVEE).

² Localisation de l'aménagement.

submersion inférieurs à 50 % du temps annuellement. Cela a pour objectif, lors de marées hautes, de limiter les risques de remise en suspension des vases captées par l'aménagement.

Éco-ingénierie : le double objectif de l'aménagement

Le projet de protection et de restauration du marais de la baie de Rivière-du-Loup est un projet typique de cette nouvelle mouvance interdisciplinaire qui consiste à faire converger l'écologie appliquée et le génie dans le but d'apporter des solutions à des problèmes environnementaux. Le génie végétal utilisé pour stabiliser ou protéger des rives, ou encore la construction de marais pour traiter les eaux de pluie sont autant de projets de convergence entre le génie et l'écologie.

Rappelons que le concept du projet consistait à utiliser une composante naturelle du secteur, soit la présence de fortes concentrations de matières en suspension dans les eaux estuariennes pour émuler, à l'aide d'une digue, le processus naturel de développement de marais littoraux tout en mettant en place des aménagements susceptibles de protéger l'autoroute Jean-Lesage.

Un avenir prometteur

De 2012 à 2016, le projet a fait l'objet d'un programme de suivi détaillé portant sur les principales composantes de l'aménagement (Englobe, 2016). Les résultats obtenus démontrent que l'aménagement a contribué à accentuer les dépôts de sédiments dans sa zone d'influence. En effet, dans la zone aménagée, l'épaisseur des sédiments non consolidés (plus de 20 cm) était nettement supérieure aux sites de référence.

FIGURE 1
Parc de sédimentation dans la baie de Rivière-du-Loup.



Lors de la dernière année du programme de suivi, soit en 2016, les herbiers à spartine alterniflore colonisaient le revers interne du brise-lames, un site parmi les plus protégés des aléas hydrodynamiques du secteur (voir la photo de la page 36). Des observations réalisées en 2019 suggèrent que la colonisation des vases récemment consolidées se poursuit, aidée par des radeaux de végétation arrachés ici et là dans la baie par l'activité glacielle, qui favorise l'implantation de colonies de spartine alterniflore. Le processus de sédimentation semble bel et bien enclenché.

La création de marais supérieurs demeure cependant un processus à long terme. À partir d'analyses C14 réalisées sur des débris végétaux récoltés sous les marais supérieurs de la région, il a été possible d'interpoler un taux d'accrétion des marais de l'ordre de 1 mm par année au cours des 400 dernières années (Bertrand, 1984), ce qui correspond aux résultats obtenus dans l'étude de suivi du projet (Englobe, 2016).

Le projet a été construit dans le secteur du bouchon vaseux de l'estuaire présentant les plus faibles taux de solides en suspension, soit des taux variant entre 40 et 80 mg/L (Couillard, 1982). Installé dans des secteurs plus favorables, notamment dans des sections présentant des concentrations de 300 mg/L de solides en suspension, nul doute que ce type d'aménagement mi-terrestre, mi-aquatique peut devenir une technique alternative à l'empierrement passif des rives de l'estuaire tout en créant de nouveaux habitats fauniques. ●

Photo de la page 36 : Développement des herbiers à spartine alterniflore dans le revers interne du brise-lames. Crédit : Pierre Bertrand.

Références

Bertrand, P. (1984). *Le secteur côtier Cacouna-Isle-verte : étude géomorphologique et classification des sols*. Rapport pour l'obtention du grade de maître en sciences. Université Laval, Québec, Canada.

Bertrand, P., et collab. (1996). *Artificial silting of shore marshes: the example of the Bay of Rivière-du-Loup, Québec, Canada*. Eco-hydraulics 2000: proceedings 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics, Québec, Canada.

Couillard, D. (1982). « Géologie et géochimie du fleuve, de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (Canada) ». *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 19, n° 7, p. 1492-1506.

Englobe (2016). *Protection de l'autoroute 20 et restauration du marais de Rivière-du-Loup*. Pour le ministère des Transports.

Rondeau-Genesse, G. (2020). *Impact des changements climatiques sur les facteurs hydroclimatiques influençant les inondations et les processus d'érosion des berges du tronçon fluvial du Saint-Laurent*. En ligne : ouranos.ca/publication-scientifique/RapportRondeau-Genesse2020.pdf.

Verger, F. (1983). *Marais et Wadden du littoral français : étude géomorphologique*. Minard, 549 p.

Production de compost avec l'objectif zéro déchet

La place du traitement mécano-biologique

Traiter des ordures ménagères issues de la collecte à deux voies tout en produisant un compost de bonne qualité, sans tri manuel à la maison, est-ce possible? Les résultats d'un projet pilote réalisé d'avril 2017 à septembre 2019 par le Centre de recherche industrielle du Québec (désormais intégré à Investissement Québec), de concert avec plusieurs collaborateurs, mettent en lumière les vastes possibilités de cette approche.



PAR YVES BERNARD, ing.
Responsable de projet,
Investissement Québec – CRIQ

Mise en contexte

Depuis plusieurs années, les municipalités du Québec sont invitées par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC, 2020) à mettre en place des modes de recyclage de la matière organique. Certaines hésitent à se tourner vers la collecte à trois voies (3V) en considérant les frais supplémentaires qui pourraient être générés et les réticences que peuvent avoir leurs citoyens à utiliser le bac brun, et ce, particulièrement pour les territoires de faible densité de population.

Travaux antérieurs au projet de démonstration pilote

Le CRIQ a entrepris, en 2014, le développement d'une nouvelle approche de traitement mécano-biologique (TMB) afin de permettre la récupération d'un maximum de matières organiques issues de la collecte à deux voies (2V). Celle-ci est basée sur l'analyse de la proportion massique des ordures ménagères en fonction des sous-catégories de matières (28) et de leur granulométrie, représentant la première étude de caractérisation aussi fine des ordures ménagères (Adler, 2012). Cette phase de développement du procédé a permis de développer une manière efficace et originale de fractionner les ordures ménagères. Pour récupérer un maximum de matières recyclables, l'approche développée s'assure de ne pas broyer la matière, ainsi que d'ouvrir et de vider une très grande proportion de sacs. L'intérêt de séparer en trois fractions les ordures ménagères a été mis en lumière dès le début du projet.

Ce projet donnait l'occasion de définir une variable qui permet d'évaluer chacune des fractions issues du TMB d'ordures



ménagères (OM), soit l'indice MO/MIO. Cet indice est défini comme suit :

$$\text{Indice MO/MIO} = \frac{\sum \text{sous-catégories des matières organiques compostables (MO)}}{\sum \text{sous-catégories des matières inertes (non compostables-inorganiques) (MIO)}}$$

Cette variable a orienté le développement et a permis d'obtenir la quantité maximale de compost ayant un indice MO/MIO élevé, soit supérieur à 100, voire une valeur de 200 correspondant aux critères B et A respectivement de la norme BNQ (CAN/BNQ 0413-200, 1996), alors que l'indice MO/MIO des OM-2V se situait entre 1 et 2 (Bernard, 2016). Une grande proportion de la matière compostable contenue dans les ordures ménagères brutes pouvait se retrouver dans la fraction fine (avec un indice MO/MIO égal ou supérieur à 4), alors que les matières recyclables sèches – telles que des pièces de métal, des films et morceaux de plastique, ainsi que des feuilles de papier et des boîtes de carton – pouvaient se retrouver dans une fraction plus

grossière ayant un indice MO/MIO inférieur à 0,5. Par la suite, les équipements les plus appropriés de TMB pour faire ce fractionnement ont été sélectionnés.

Des équipements et un procédé simples

Deux types d'équipements (figure 1) ont été identifiés – pour le fractionnement des ordures ménagères et pour l'affinage du compost – et mis à l'essai durant le projet pilote (les travaux réalisés dans le cadre du projet sont résumés au tableau 1 à la p. 40).

Les principaux éléments du TMB sont les suivants :

- Aucun broyage;
- Tri mécanisé des encombrants;
- Ouverture des sacs avec des équipements spécialisés;
- Tri granulométrique des fractions (fine, intermédiaire et grossière) avec un tambour rotatif (trommel);
- Compostage à l'intérieur d'une enceinte aérée de la fraction fine et intermédiaire;
- Maturation du compost;
- Affinage du compost avec des équipements adaptés.

FIGURE 1
Équipements utilisés pour le projet pilote de TMB.



TABLEAU 1

Travaux réalisés dans le cadre du projet pilote.

DESCRIPTION	MÉTHODOLOGIE	COMMENTAIRES
Fractionnement des OM avec des équipements de TMB	Fractionnement de 1 860 tonnes d'OM durant les quatre saisons. Mise en activité : automne 2017 et hiver 2018. Évaluation de la performance.	Équipements industriels commerciaux. Plus de 150 camions d'ordures ont été fractionnés, soit entre 40 à 100 tonnes/semaine. Principale problématique d'opération constatée au départ avec l'ouverture de sacs.
Compostage de 600 tonnes de fractions fines	Dans une enceinte intérieure avec aération et brassage optimisé du compost.	Optimisation du compostage (température, débit d'aération et brassage) pour obtenir un compost facile à affiner (sec).
Bilan de matière complet du TMB	Évaluation statistique du bilan de matière sur une base hebdomadaire (proportion massique des OM dans la fraction fine) et mensuelle (bilan de matière complet). Caractérisation des quatre fractions en termes de : <ul style="list-style-type: none"> • Mesure de la masse et volume de chacune des fractions; • Analyse : MVA, TEE, MOT¹, indice MO/MIO; • Échantillons d'un volume de 100 à 500 L. 	Indice MO/MIO mesuré en faisant un tri manuel pour déterminer les sous-catégories de matières composant chacun des échantillons. Le volume d'échantillons dépend de l'hétérogénéité plus ou moins grande de chacune des fractions (OM, fractions fines, intermédiaires et grossières) selon les critères de la norme AFNOR (2006).
Essais d'affinage de compost	Réalisés avec trois types d'équipements industriels utilisés commercialement pour affiner du compost (voir figure 1, p. 39) par principe granulométrique et balistique.	Échantillonnage représentatif des composts en entrée et en sortie des équipements d'affinage selon la norme CAN/BNQ 0413-200, 2016.
Caractérisation finale du compost	Paramètres de la norme BNQ sur les composts (CAN/BNQ 0413-200, 2016) et aussi critères du MELCC pour la valorisation des matières résiduelles fertilisantes.	Analyse de la teneur en corps étrangers du compost pour en optimiser la qualité. Analyse des 11 métaux lourds (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se et Zn) de la norme BNQ sur 31 échantillons de compost. Analyses de la teneur en éléments fertilisants majeurs (N, P, K) ainsi qu'en oligo-éléments.
Traitement des odeurs du TMB et du compostage	Biofiltration sur support organique de type Biosor ^{MD} . Aspiration des odeurs à la source de l'intérieur du hangar abritant la chaîne de TMB vers le biofiltre à l'extérieur.	Technologie de biofiltration d'effluents gazeux malodorants.
OM-3V	Caractérisation et essais de TMB avec OM-3V. Réalisé à trois reprises (août, octobre et janvier).	OM en provenance d'un partenaire municipal ayant implanté cette collecte depuis plus de 10 ans. Total de 78 tonnes d'OM-3V.

¹ MVA : masse volumique apparente; TEE : teneur en eau; MOT : teneur en matière organique totale.

Lors de l'implantation d'un procédé de TMB, il faut fortement considérer la mise en place de moyens pour obtenir une plus grande efficacité de la collecte des résidus domestiques dangereux (RDD), de manière à réduire le risque de contamination du compost. Augmenter la fréquence de collecte et le nombre de lieux de disposition des RDD dans la municipalité concernée pourrait permettre d'atteindre cet objectif.

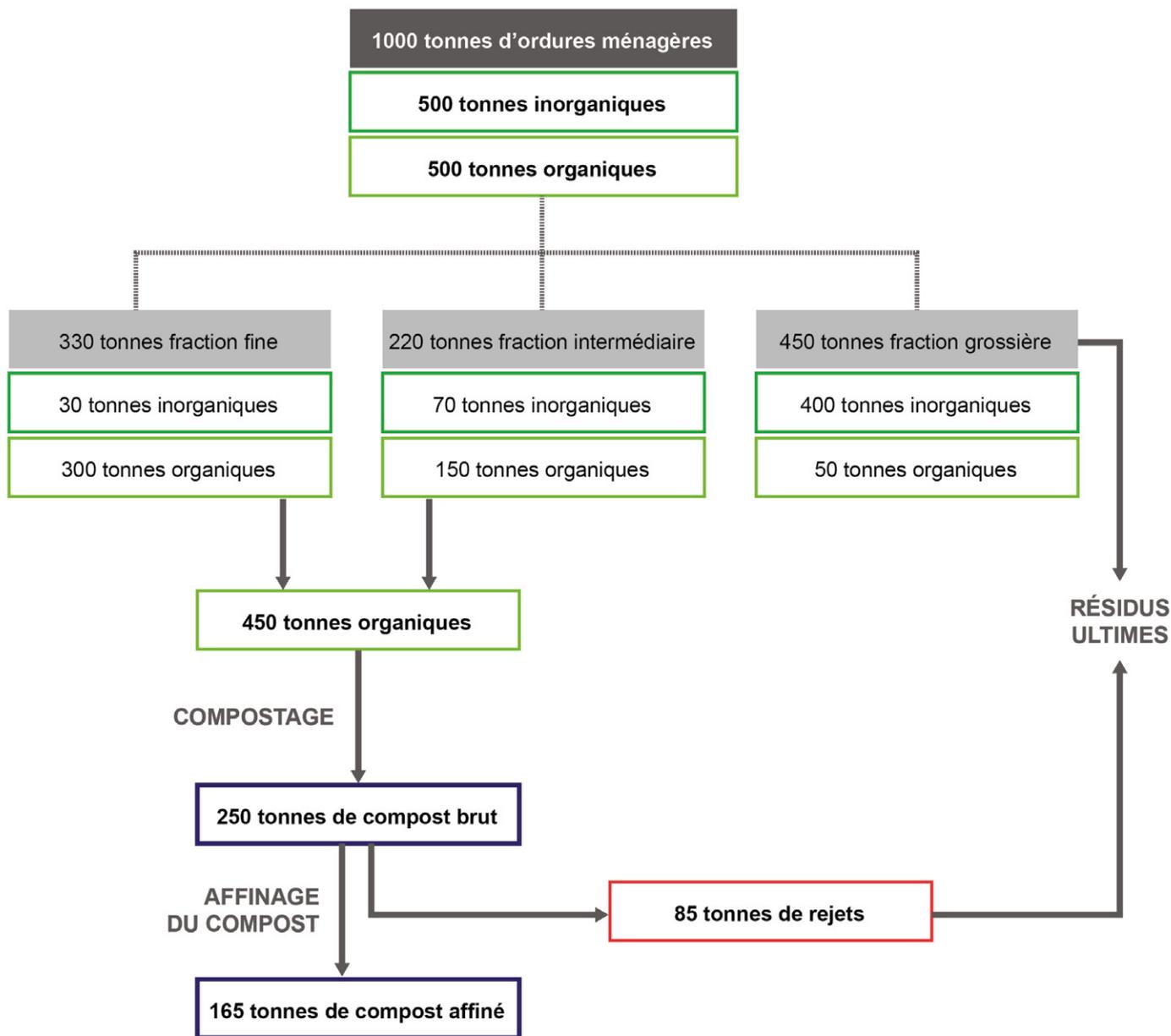
Résultats

Dans ce projet, les ordures ménagères de la collecte à 2V étaient composées sur une base massique de 49 ± 10 % de matières organiques compostables avec une teneur similaire à d'autres études (RECYC-QUÉBEC et ÉEQ, 2015). Elles avaient une masse volumique apparente de 228 ± 43 kg/m³. La teneur en eau était d'environ 50 ± 3 %. En général, lors de la réception des ordures ménagères, il n'y avait aucun écoulement de lixiviat. En hiver, les ordures n'étaient pas prises dans des blocs de glace bien que la présence de neige ait été constatée à quelques reprises. La variabilité saisonnière des OM-2V ne s'est donc pas avérée une contrainte opérationnelle.

La figure 2 présente le bilan de matières du projet pilote de TMB. Pour faciliter la lecture et l'interprétation des résultats, il est présenté sur une base de 1 000 tonnes d'ordures ménagères traitées. La fraction fine a représenté une proportion massique de $32,8 \pm 5$ % des ordures ménagères et une proportion volumique de 14 ± 4 %. Elle était constituée en moyenne de plus de $90,5 \pm 4,1$ % de matières compostables. Des particules de verre, des films de plastique et des métaux constituent les principales particules de corps étrangers de cette fraction fine pour un total d'environ $9,5 \pm 4,1$ %. Une proportion massique de 58 ± 9 % de la matière compostable initialement présente dans les ordures brutes s'est retrouvée dans la fraction fine. Cette fraction fine s'est avérée une matière facile à composter, ne nécessitant aucun ajout de matières carbonées absorbantes et structurantes.

La fraction intermédiaire s'est également compostée puisqu'elle était constituée d'une proportion de 63 ± 11 % de matières organiques. Par rapport aux ordures ménagères brutes, la fraction intermédiaire a représenté une proportion massique de 22 ± 6 % et une proportion volumique de 14 ± 7 %. Après

FIGURE 2
Bilan de matières du TMB.



compostage, la fraction intermédiaire a été tamisée pour retirer davantage de matières organiques afin de la jumeler au compost constitué de la fraction fine.

La séquence des opérations du TMB a permis de réduire de 70 % le volume et l'espace requis pour le compostage des fractions fines et intermédiaires, qui sont plus denses que les ordures brutes.

Par ailleurs, les matières compostables observées dans la fraction grossière sont surtout constituées de branches, de bois

et de carton. La fraction grossière a été la plus sèche des trois fractions avec une teneur en eau d'environ 25 %.

D'un point de vue global, ce projet a permis d'estimer que 1 000 tonnes d'ordures ménagères 2V triées par la chaîne de TMB sont fractionnées selon les valeurs affichées à la figure 2. Une proportion d'environ 90 % de toutes les matières organiques présentes dans les ordures ménagères a été stabilisée biologiquement par le TMB, car elles se sont retrouvées compostées dans les fractions fine et intermédiaire, ce qui a réduit la génération de GES lors de l'enfouissement des résidus

« La teneur en eau du compost est d'environ 25 %, ce qui fait de cet amendement organique un produit sec et friable facile à transporter et à épandre. »

ultimes (rejets d'affinage ou fraction grossière). Par ce procédé de TMB, il y a eu une proportion des matières organiques (MO) qui s'est retrouvée dans les rejets de l'affinage du compost, mais au moins 72 % de la MO a été récupérée pour fabriquer un compost de qualité, ce qui se compare avantageusement au meilleur taux de récupération de la collecte à 3V actuellement constaté au Québec. Il serait envisageable de trier le bois, le carton et le papier qui se retrouvent dans la fraction grossière, et de récupérer encore davantage de résidus compostables en ajoutant un tri supplémentaire (optique ou autre).

Qualité du compost de TMB

La photo de la page 38 présente le compost obtenu issu du TMB de 1 860 tonnes d'OM-2V. À la fin du processus d'affinage du compost, une quantité totale de 307 tonnes d'un amendement organique d'une bonne qualité a été obtenue. La teneur en eau du compost est d'environ 25 %, ce qui fait de cet amendement organique un produit sec et friable facile à transporter et à épandre.

Le compost produit lors des essais a atteint les valeurs du critère A de la norme BNQ (CAN/BNQ 0413-200, 2016) pour la teneur en corps étrangers avec une teneur moyenne de $0,38 \pm 0,09$ %. L'aspect visuel du compost produit a été très intéressant, car l'ensemble des piles ainsi qu'une proportion très élevée des particules de verre et les films de plastique ont été retirés lors des étapes d'affinage. Les résidus ultimes issus de l'affinage du compost sont stabilisés biologiquement, séchés et désodorisés, et ceux-ci pourraient être disposés à un site d'enfouissement comme matériel de recouvrement. Ils représenteraient seulement 8,5 % de la masse des ordures initiales.

Pour la teneur en métaux lourds des composts, il appert que les valeurs moyennes (de 31 échantillons) mesurées des 11 paramètres normés ont respecté le critère B de la norme BNQ (et C2 du MELCC). De plus, il a été constaté que la teneur en métaux lourds de 7 des 11 valeurs obtenues (Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni et Se) était meilleure que le seuil du critère A. Pour les quatre autres métaux (As, Cd, Pb et Zn), les valeurs moyennes font en sorte que le critère A n'est pas respecté, mais que le critère B est respecté. Le plomb a été l'élément le plus variable et le seul à soulever un questionnement dans ce projet (pour 4 des 31 résultats). Il est possible que la présence de très petites grenailles dans ces quatre échantillons de compost explique la variabilité plus importante de ce paramètre. Il est également possible que ces résultats découlent de l'absence de mesures spécifiques en ce qui concerne la collecte de RDD. Les résultats

d'analyse du compost ont mis en lumière l'importance de réaliser plusieurs analyses de manière à bien interpréter la variabilité possible des échantillons. Il est pertinent de souligner que d'autres études ont également montré une certaine variabilité sur quelques échantillons, tant pour des composts de TMB que pour des composts de 3V (INERIS, 2012).

En moyenne, le compost de TMB a obtenu une teneur (en % sur base sèche) en azote, en phosphore (P_2O_5) et en potassium (K_2O) de 1,41, 0,93 et 1,31, ce qui se compare à des fumiers de ferme généralement plus humides que le compost de TMB (bovins, porcs et poulets; CRAAQ, 2020). De plus, la teneur en matière organique a respecté le critère B de la norme BNQ avec une valeur moyenne de 27 %. Finalement, le procédé de compostage utilisé a permis de respecter les critères de maturité et d'hygiénisation recommandés pour un compost par la norme BNQ. Plusieurs voies de valorisation sont envisageables : grandes cultures agricoles, foresterie, utilisation dans les parcs ou les aménagements routiers, revégétalisation des sites dégradés, etc.

En plus de permettre la valorisation du compost, le TMB pourrait limiter la gestion linéaire des ordures ménagères vers un lieu de disposition final. En effet, ce TMB concentre les matières recyclables dans une fraction (grossière) relativement accessible, sèche et facile à trier.

Dimensions d'une usine de TMB et estimation des coûts

Les résultats du bilan de matière réalisé ont été transposés pour estimer la taille d'une usine de TMB pouvant traiter 15 000 tonnes par année. L'ensemble des espaces intérieurs de cette usine serait réparti sur une surface utile d'environ 6 000 m². L'espace et les coûts les plus importants seraient consacrés à l'infrastructure de compostage des résidus organiques ainsi qu'à l'entreposage du compost mature sur une longue durée (18 mois) avant d'en faire usage. Les équipements pour le fractionnement des ordures ménagères n'occuperaient qu'une petite surface du bâtiment (moins de 10 % du total) et représenteraient moins du quart de tous les investissements. Toutefois, plusieurs facteurs pourraient faire varier les coûts, tels que le choix du site ainsi que les coûts de la main-d'œuvre et des matériaux lors de l'implantation. Au Québec, pour plusieurs MRC situées en dehors des grands centres, les coûts de transport et de disposition de leurs ordures ménagères à leur site d'enfouissement pourraient être supérieurs aux coûts de traitement par TMB. Pour les autres municipalités, une réflexion plus globale de la gestion de leurs matières résiduelles pourrait montrer d'autres avantages par rapport à l'implantation du TMB.

TMB des ordures ménagères de la collecte à 3V

À la demande des partenaires municipaux, le TMB des OM-3V a été réalisé à trois reprises (août, octobre et janvier) avec les équipements du projet pilote. Ceux-ci voulaient obtenir un portrait plus complet des différents scénarios de récupération et de valorisation de la matière organique. Il a été constaté que des matières compostables sont encore présentes dans les OM-3V pour une proportion massique comprise entre 50 % à 62 % (similaire à ce qu'on retrouve dans les OM-2V). Un projet réalisé avec la Ville de Montréal en 2009 avait également démontré des valeurs similaires (Bernard et collab., 2009). La principale différence entre les OM-2V et les OM-3V s'est établie dans la proportion massique plus faible de matières compostables qui se retrouve dans la fraction fine, soit 38 ± 14 % pour les OM-3V comparativement à 58 ± 9 % pour les OM-2V. La fraction fine des OM-3V est également compostable. Pour l'instant, toute affirmation d'efficacité de scénario de récupération de la matière organique entre un contexte de TMB des OM-2V par rapport à la collecte séparée des matières organiques par bacs bruns demanderait une investigation beaucoup plus détaillée pour en tirer des conclusions formelles, puisque ni la quantité de matière résiduelle produite ni les secteurs de collecte ne sont comparables.

Conclusion

Ce projet pilote a permis de tirer de bons enseignements sur les diverses problématiques et les solutions associées à la mise en place d'un procédé de TMB. Des équipements d'affinage disponibles sur le marché ont permis de produire un compost de qualité pouvant être valorisé sur des sols comme amendement organique. Les principaux constats de ce projet pilote sont que :

- Les performances de récupération de la matière compostable ainsi que la qualité du compost issu de procédés de TMB mis au point sont relativement constantes et respectent les critères acceptés par les autorités compétentes (MELCC et BNQ);
- La proportion de matière organique compostée et stabilisée par le TMB est élevée et en lien avec les objectifs de recyclage de la matière organique du gouvernement du Québec;
- La simplicité du TMB mis à l'essai dans le projet pilote pourrait intéresser plusieurs municipalités au Québec – tant celles qui font la collecte à 2V qu'à 3V – voulant récupérer davantage de matières organiques ainsi que réduire leurs émissions de GES.

La prochaine étape dans le développement du TMB serait d'adopter à la chaîne de traitement une étape de tri des matières recyclables, de manière à valoriser encore plus de matières et ainsi diminuer les volumes enfouis.

Remerciements

L'auteur tient à remercier Gazon Savard, les MRC de l'Érable, de L'Islet et de Bellechasse, la Régie intermunicipale de gestion intégrée des déchets Bécancour-Nicolet-Yamaska, le MELCC, le Fonds municipal vert de la Fédération canadienne des municipalités et la Ville de Saguenay. ●

Références

Adler (2012). *Vade-macum des traitements mécano-biologiques des déchets ménagers*. ASTEE, 1^{re} édition (juin 2012), 249 p.

AFNOR (2006). *Déchets ménagers et assimilés – Constitution d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés contenus dans une benne à ordures ménagères*. NF X30-413, mars 2006.

Bernard, Y., et collab. (2009). *Traitement mécano-biologique des ordures ménagères*. Rapport final, 5 août 2009. Dossier CRIQ n° PE38910-R1.

Bernard, Y. (2016). *Faisabilité technico-économique du tamisage des ordures ménagères*. Rapport final, 16 mai 2016. Dossier CRIQ n° PE49665, 63 p.

BNQ (2016). *Norme canadienne sur les composts* (CAN/BNQ 0413-200, 2016).

CRAAQ (2020). *Valeurs références pour les volumes et les concentrations d'éléments fertilisants dans les effluents d'élevage*. En ligne : craaq.qc.ca/documents/files/MDGAT024_MDDELCC_simpl/Doc_complet_Final_depot.pdf.

INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) (2012). *Étude comparative de la qualité de composts et de digestats issus de la fraction fermentescible d'ordures ménagères, collectées séparément ou en mélange*. En ligne : ineris.fr/fr/etude-comparative-qualite-composts-digestats-issus-fraction-fermentescible-ordures-menageres.

MELCC (2020). *Stratégie de valorisation de la matière organique*. En ligne : environnement.gouv.qc.ca/matieres/organique/strategie-valorisation-matiere-organique.pdf.

RECYC-QUÉBEC et ÉEQ (2015). *Rapport synthèse – Caractérisation des matières résiduelles du secteur résidentiel 2012-2013*. En ligne : recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/carac-2012-2013-rapport-synthese.pdf.

« La simplicité du TMB mis à l'essai dans le projet pilote pourrait intéresser plusieurs municipalités au Québec – tant celles qui font la collecte à 2V qu'à 3V – voulant récupérer davantage de matières organiques et réduire leurs émissions de GES. »

L'EAU, NOTRE RESSOURCE LA PLUS PRÉCIEUSE



Même si le mois de l'eau se déroulait en juin dernier, l'automne chez Réseau Environnement a été orienté sous le signe du Verseau. Des webinaires sur le maintien des actifs et des ateliers en gestion des eaux pluviales, aux lettres adressées aux gouvernements du Québec et du Canada, en passant par le 43^e Symposium eau, notre équipe a travaillé fort en cet automne de deuxième vague.



Réseau Environnement est fier d'avoir cosigné une lettre adressée au premier ministre Justin Trudeau qui soulignait la nécessité d'intégrer la gestion de l'eau dans le discours du trône. Cet appel a été entendu le 23 septembre dernier, et consolide la vision d'un Canada plus vert. L'association a poursuivi – et poursuit toujours – son combat pour une meilleure prise en compte du secteur de l'eau dans les diverses mesures des gouvernements. L'eau étant notre

ressource la plus précieuse, notre document de relance verte (publié en juin dernier) soulignait à quel point il est primordial d'investir dans les infrastructures en eau pour le bien-être de la planète et des êtres humains. Sinon, comment faire face à la deuxième vague de la pandémie sans eau? Comment tendre vers une économie verte* sans prise en compte de la gestion de l'eau?

Celle-ci a continué d'être au cœur des préoccupations de Réseau Environnement cet automne avec la présentation de notre célèbre Symposium eau, réalisé virtuellement pour la première fois depuis plus de 40 ans. Nous tenons à remercier l'ensemble de notre équipe et de nos membres pour l'organisation et leur participation à ce bel événement. L'eau aura également une place importante à Americana 2021 – ayant pour thème « De la réflexion à l'action » –, car le secteur doit lui aussi s'adapter aux enjeux des changements climatiques.

Nous vous souhaitons un bon mois de décembre et de belles fêtes de fin d'année. Prenez soin de vous et de vos proches!



M^e Christiane Pelchat
Présidente-directrice générale de Réseau Environnement



M. Nicolas Turgeon
Président du conseil d'administration de Réseau Environnement

* Comme le mentionne l'Institut de la Francophonie pour le développement durable dans son rapport intitulé *Économie verte – Guide pratique pour l'intégration des stratégies de l'économie verte dans les politiques de développement* (2015) : « Une économie verte est un véhicule pour le développement durable. C'est une économie qui se traduit par une amélioration du bien-être humain et de l'équité sociale, tout en réduisant considérablement les risques environnementaux et les pénuries écologiques. »

Webinaires

Cet automne, Réseau Environnement a présenté de nouveaux webinaires dans ses différents secteurs. En octobre, un webinaire de deux jours a été organisé en collaboration avec le Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU), qui visait à fournir aux gestionnaires, aux ingénieurs, au personnel technique et aux intervenants municipaux les outils nécessaires pour comprendre les infrastructures linéaires et ponctuelles en eau, ainsi que pour mieux planifier leur renouvellement. En décembre, l'association présentera un webinaire en collaboration avec la section québécoise de la Solid Waste Association of North America. De plus, Réseau Environnement offrira son tout premier webinaire sur la biodiversité. Restez à l'affût sur nos réseaux sociaux et notre site Web, car d'autres webinaires sont également prévus en 2021!

Ateliers gratuits sur la gestion des eaux pluviales

Réseau Environnement a présenté au cours de l'automne ses premiers ateliers gratuits sur la gestion des eaux pluviales, en collaboration avec le Regroupement des organismes de bassins versants du Québec. Ces ateliers sont réalisés grâce à la contribution financière du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Ils ont pour objectif de présenter les outils et les mesures à adopter pour des pratiques favorables à une gestion durable des eaux pluviales, ainsi que de renforcer l'adaptation aux changements climatiques dans la gestion des risques liés à l'eau. Restez à l'affût : de nouveaux ateliers seront présentés dans les prochains mois!

Nouvelles des régions

En octobre, le comité de la région Capitale-Nationale / Chaudière-Appalaches de Réseau Environnement et CentrEau se sont associés pour présenter le premier webinaire de la série *Parlons environnement!* – une série de conférences sur différents sujets d'actualité en environnement. Dans ce webinaire, un panel de spécialistes parlait du lien entre le virus SRAS-CoV-2 et l'eau.

NOUVEAUX MEMBRES DES PROGRAMMES D'EXCELLENCE DE RÉSEAU ENVIRONNEMENT

Programmes Partenaires dans la protection du climat

La Ville de L'Assomption, ainsi que les municipalités de Sainte-Sophie-de-Lévrard et de Saint-Charles-sur-Richelieu ont adhéré au programme Partenaires dans la protection du climat de la Fédération canadienne des municipalités et d'ICLEI Canada. Ce programme vise à outiller, à reconnaître et à stimuler les municipalités qui s'engagent dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), ainsi que dans la lutte et l'adaptation aux changements climatiques. Réseau Environnement agit à titre de conseiller régional auprès des membres québécois de ce programme et leur offre du soutien pour diminuer leurs émissions de GES.

La Municipalité de Saint-Luc-de-Vincennes a, quant à elle, franchi l'étape 1 du programme. Cette étape atteste qu'elle a réalisé un inventaire des émissions de GES, tant pour ses propres activités municipales que pour l'ensemble de la collectivité Lucoise. Bravo à toute l'équipe de Saint-Luc-de-Vincennes!

Programme d'excellence en gestion des eaux pluviales (PEXGEP)

Le PEXGEP vise à stimuler, à outiller et à reconnaître les municipalités et les administrations qui s'engagent en matière de gestion durable des eaux pluviales. Celui-ci a pour objectif de réduire la pression sur les infrastructures de gestion et de traitement des eaux ainsi que sur les milieux récepteurs. Le programme compte quatre nouveaux adhérents : la Ville de Gatineau, la Ville de Granby, la Ville de Trois-Rivières et la Ville de Laval.

Programme d'excellence en gestion des matières résiduelles (GMR Pro)

Le programme vise à stimuler, à outiller et à reconnaître les efforts des organisations municipales pour la réduction des matières envoyées dans les lieux d'élimination. Le programme compte un nouvel adhérent, soit la MRC de Marguerite-D'Youville.

RÉCENTES PRISES DE POSITION DE RÉSEAU ENVIRONNEMENT

Lettre au premier ministre Justin Trudeau sur la gestion de l'eau

À la fin du mois de septembre, Réseau Environnement et 36 autres organisations ont cosigné une lettre adressée au premier ministre Justin Trudeau qui soulignait la nécessité d'intégrer la gestion de l'eau dans le discours du trône, ce qu'il a fait le 23 septembre. Le discours spécifiait en effet la création d'une nouvelle Agence canadienne de l'eau pour assurer la sécurité, la propreté et la bonne gestion de nos eaux, et continuer de faire croître l'économie océanique du Canada.

Lettre au MTESS sur la pénurie de main-d'œuvre

Réseau Environnement a envoyé, en octobre dernier, une lettre adressée au ministre du Travail, de l'Emploi et de la Solidarité sociale, cosignée par neuf autres organisations, afin qu'il mette en place des actions pour contrer la pénurie de main-d'œuvre des secteurs de l'environnement. L'association rappelle dans sa lettre que la situation actuelle, accentuée par la crise sanitaire que nous vivons, est une occasion de favoriser la création des emplois en environnement, notamment dans les domaines de l'eau et des matières résiduelles. Elle mentionne également que le développement des compétences du personnel actuel sera un atout majeur pour les services municipaux et les entreprises afin de composer avec les nouvelles lois, tendances ou technologies environnementales.

Mémoire sur le projet de loi 65 et passage en commission parlementaire

Le 22 octobre dernier, Christiane Pelchat, présidente-directrice générale de Réseau Environnement, représentait l'association lors des consultations particulières sur le projet de loi 65 – Loi modifiant principalement la Loi sur la qualité de l'environnement en matière de consigne et de collecte sélective. Au cours de son témoignage, elle a salué la volonté du ministre d'appliquer le principe de responsabilité élargie des producteurs (REP) à la collecte sélective. Cependant, Réseau Environnement a constaté l'absence d'une obligation de traçabilité des matières dans le projet de loi, alors que la REP ainsi que l'économie circulaire sont tributaires de la traçabilité des matières résiduelles. L'association a également recommandé de rendre publiques les données concernant les matières et les coûts, tout en protégeant les données sensibles de l'industrie privée. Enfin, madame Pelchat a déclaré que le réemploi devait être priorisé sur la filière du recyclage afin de favoriser l'économie circulaire. Un mémoire a été rédigé sur le sujet et est disponible à l'adresse reseau-environnement.com (*section Mémoires de Réseau Environnement*).

Comité Relève

Des jeunes passionnés de l'environnement!



PAR MARION HARVEY, B. Sc., M. Ing.
Coordonnatrice générale du comité Relève

(L'article a été rédigé en collaboration avec tous les membres du comité Relève.)

Relève ● ● ● ●
Environnement

Pour cette nouvelle chronique de la revue *Vecteur Environnement* – entièrement créée par la relève –, voici la présentation du comité Relève de Réseau Environnement, créé à l'automne 2016. Son objectif? Faire rayonner la relève dans tous les domaines connexes à l'environnement. Composé d'une quinzaine de jeunes passionnés, ce comité a pour mission d'intégrer la relève à la communauté québécoise d'experts en environnement.

Pour réaliser sa mission, le comité offre des occasions à la relève pour qu'elle puisse s'exprimer, réseauter, prendre confiance et développer ses compétences, assurant ainsi une pérennité de l'expertise québécoise en environnement – les termes « relève » et « jeunes » regroupent les étudiantes et les étudiants ainsi que les jeunes professionnels âgés de 35 ans et moins œuvrant dans toute discipline touchant l'environnement.

Des sous-comités dynamiques

Afin d'atteindre ses objectifs, le comité Relève s'est doté de trois sous-comités très actifs : Événement, Mentorat ainsi que Stratégie et gouvernance.

Événement

Ce sous-comité a pour principal objectif de stimuler l'innovation et la créativité de la relève à travers des activités, telles que des événements de réseautage et de partage de connaissances (ex. : visites industrielles, conférences-réseautage, Défi Changements Climatiques [D2C, 2020]). Le D2C est une compétition vibrante donnant une occasion unique aux jeunes de la relève de s'exprimer en proposant des solutions innovantes, concrètes et durables à des problématiques d'actualité reliées à des



enjeux environnementaux réels qu'éprouvent les entreprises, les organisations ou les municipalités du Québec.

Mentorat

Ce sous-comité a pour fonction de gérer les initiatives de mentorat et de partage de connaissances du comité Relève. Il prépare tous les outils pertinents à ses objectifs et assure notamment la pérennité du programme de mentorat de Réseau Environnement. Pour y arriver, le recrutement et la gestion du couplage des participantes et des participants sont assurés par ce sous-comité.

Stratégie et gouvernance

Ce sous-comité a comme mandat de développer de nouveaux projets ayant pour but de faire rayonner la relève au sein de la communauté québécoise en environnement. Il s'implique actuellement dans plusieurs projets, tels que la création d'une boîte à outils destinée aux nouveaux membres de la relève et la rédaction d'articles dans la revue *Vecteur Environnement*!

Des membres actifs

Qui sont ces membres impliqués dans le comité Relève? Voici une courte biographie de Mailys Carlin, la représentante du comité au sein du conseil d'administration de Réseau Environnement, ainsi que des coordonnateurs de chacun des trois sous-comités, soit Catherine Gaulin, Jean-Philippe Lauzon et Thibaud Daoust.

Maïlys Carlin

Élue le 27 mai dernier lors de l'assemblée générale du comité Relève, Maïlys est maintenant l'administratrice Relève au sein du conseil d'administration de Réseau Environnement. Diplômée d'une maîtrise en gestion des ressources humaines, elle a ensuite travaillé dans la fonction publique en France en tant que chargée de projet pour la formation et le recrutement. Après avoir œuvré pendant deux ans dans le secteur de l'environnement en tant que conseillère en recrutement et ressources humaines, Maïlys a souhaité poursuivre dans ce domaine qui la passionne auprès du conseil d'administration de Réseau Environnement.



Catherine Gaulin

Coordonnatrice du sous-comité Événement pour la relève, Catherine a contribué à l'organisation de la compétition D2C en mars dernier. Elle est diplômée de la maîtrise en gestion de l'environnement de l'Université de Sherbrooke et se spécialise dans le développement durable des organisations. Elle occupe actuellement le poste de conseillère en développement durable à la Société d'aide au développement des collectivités de la Vallée de la Batiscan.



Jean-Philippe Lauzon

Coordonnateur du sous-comité Mentorat, Jean-Philippe contribue actuellement à la restructuration du programme mentorat de la relève. Il a fait un baccalauréat en psychologie, un certificat en administration et a terminé une maîtrise en sciences de la gestion à l'École des sciences de la gestion de l'Université du Québec à Montréal. Il entame une carrière en gestion des ressources humaines et en développement organisationnel.



Thibaud Daoust

Coordonnateur du sous-comité Stratégie et gouvernance, Thibaud est titulaire d'un baccalauréat en droit de l'Université Laval, profil développement durable. De plus, il est en voie d'obtenir son diplôme d'études supérieures spécialisées en environnement et développement durable à l'Université de Montréal. Bien qu'il ait commencé sa carrière en droit du travail et en droit administratif, la protection de l'environnement est l'enjeu le plus primordial à ses yeux. C'est la raison pour laquelle il s'est rapidement joint à l'équipe de Daigneault, avocats inc., un cabinet d'avocats spécialisé en droit de l'environnement.



Qu'est-ce que la chronique Relève ?

Dans cette nouvelle chronique Relève, qui sera publiée dans les prochains numéros de *Vecteur Environnement*, vous serez

informé de l'ensemble des activités à venir et de la façon d'y participer. N'ayant pas l'intention de se faire arrêter par la pandémie, le sous-comité Événement prévoit poursuivre – sans ralentir sa cadence – la totalité de ses activités en format virtuel. Un résumé et des photos des dernières activités du comité Relève y seront aussi présentés afin de partager ces beaux moments. Finalement, un portrait de trois membres de la relève vous sera présenté à chaque chronique, en espérant que cette équipe de jeunes passionnés saura vous motiver à prendre part activement à la relève québécoise en environnement! ●

Photo de la page 46 : Les découvertes de la relève – Cinq à sept au vignoble biologique Négondos en 2018. Crédit : Yan Kaczynski, Juste. Être.Dehors.

Référence

D2C (2020). *Compétition d'étude de cas concernant les changements climatiques*. En ligne : salon-teq.org/fr/programmation/d2c-defi-changements-climatiques.

ENVIE DE VOUS IMPLIQUER ?

Le comité Relève est toujours à la recherche de nouveaux membres voulant prendre part à ses nombreux projets. Les activités vous intéressent ? Écrivez à l'adresse releve@reseau-environnement.com !

UDES

ÉTUDIER EN ENVIRONNEMENT

Tout en travaillant!



Campus de Longueuil et cours à distance

- Gestion de l'environnement
- Médiation environnementale
- Vérification environnementale

USherbrooke.ca/environnement/formation-continue

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Formation sur mesure en traitement des eaux

Développer les compétences de vos employés!



PAR **MARTINE CARON**, ing.
Chef d'équipe du CFAC, Direction générale adjointe de l'eau et de la valorisation énergétique, Ville de Québec
martine.caron@ville.quebec.qc.ca



PAR **FRANÇOIS-PHILIPPE LEFEBVRE**
Technicien-opérateur, formateur et concepteur du matériel de formation

ET PAR **FRÉDÉRIC GIRARD**
Contremaître opération de la station des eaux usées Est



Au cours des dernières années, la pénurie de main-d'œuvre s'est fait sentir au sein de la Ville de Québec, particulièrement au Service du traitement des eaux (STE), d'où l'obligation d'embaucher de nouveaux diplômés. À cet effet, l'équipe du Centre de formation a dû élaborer du matériel pédagogique sur mesure afin de pallier le manque d'expérience des nouveaux employés et de s'assurer qu'ils reçoivent la formation adaptée aux opérations du STE.

Main-d'œuvre : état de la situation

Actuellement, la main-d'œuvre au sein du STE est décrite comme suit : 33 % des techniciens-opérateurs ont un diplôme d'études collégiales (DEC) en technologie de l'eau, 33 % ont une attestation d'études collégiales (AEC) en techniques de gestion des eaux, et 33 % ont un diplôme d'études professionnelles (DEP) en conduite de procédés de traitement de l'eau. Ainsi, l'objectif de la formation est d'uniformiser le niveau opérationnel des employés.

Formation standardisée et continue

Afin de développer les compétences des nouveaux employés, le Centre de formation et d'amélioration continue (CFAC) a été créé dans la Direction générale adjointe de l'eau et de la valorisation énergétique (DGA-EVE) en juillet 2019, et soutenu par Sylvain Langlois, directeur du STE, et Valérie Tremblay, directrice par

intérim des opérations du STE. Ce centre est composé d'une équipe de conseillères en développement organisationnel et de formateurs. Ces derniers sont des technicien(ne)s-opérateurs(-trices) en eaux usées et en eau potable qui ont été sélectionnés par affichage, et qui ont démontré des aptitudes et de l'intérêt à bâtir et à donner la formation.

Le CFAC a donc développé un programme de formation standardisée sur mesure basé sur six grandes étapes : gestion par processus; profil de compétences; découpage pédagogique; élaboration du matériel de formation; évaluation des compétences; programme de formation par titre d'emploi (voir l'encadré).

Tout le matériel de formation a été développé par les formateurs, en collaboration avec les conseillères en développement organisationnel. Pour développer les profils et les évaluations de compétences, trois processus cognitifs ont été pris en compte :

- Le savoir : ce qui est appris par l'étude (formation théorique);
- Le savoir-faire : ce qui est appris grâce à l'expérience (formation pratique);
- Le savoir-être : la façon d'agir et de réagir à l'environnement (attitude et comportement : respect des règles de santé et de sécurité au travail, procédures, tâches, etc.).

Programme de formation sur mesure

Le programme de formation (figure 1) débute par le processus d'accueil des employés (outil de suivi en 120 points de contrôle). Par la suite, la formation théorique est diffusée et une évaluation est transmise pour mesurer l'apprentissage. Ensuite, la formation pratique est offerte dans l'usine et dans la salle de contrôle. Pour mesurer les compétences acquises, un journal de bord a

PROGRAMME DE FORMATION EN SIX ÉTAPES

- Gestion par processus** : identifier les processus ciblés et élaborer les sous-processus (ex. : processus d'opération et processus de gestion de l'entretien).
- Profil de compétences basé sur la taxonomie de Bloom (Université Laval, s. d.)** : pour chaque sous-processus, déterminer les compétences requises pour exécuter le travail.
- Découpage pédagogique** : Opération (4 modules) et Entretien (5 modules).
- Élaboration du matériel de formation pour chaque sous-processus** :
 - Suivi du développement des formations : matrice (avec heures estimées et heures réelles);
 - Fiche descriptive;
 - Manuel de formation (PowerPoint [PPT] incluant le guide du formateur);
 - Vidéo de formation (enregistrement des formations via PPT);
 - Évaluation sur les différents modules (outils Forms);
 - Évaluations théorique et pratique (journal de bord).
- Évaluation des compétences** :
 - Employés manuels : selon la convention collective, 1 040 heures sont nécessaires pour émettre une évaluation finale;
 - Évaluation par le contremaître à 300, à 600 et à 900 heures de formation (savoir-être et savoir-faire);
 - Évaluation théorique par le formateur après 300 heures et évaluation pratique après 600 heures (savoir et savoir-faire);
 - Plan de formation personnalisé dans le cas où le formateur considère que les compétences ciblées ne sont pas acquises.
- Programme de formation par titre d'emploi** : opérateur EU, opérateur EP, électrotechnicien (incinérateur).

des apprentissages théoriques et pratiques sont réalisées afin de mesurer toutes les compétences acquises. Si le formateur considère que les objectifs ciblés ne sont pas atteints, un programme de formation sur mesure est développé pour l'apprenant afin de finaliser la formation. L'évaluation finale pour le savoir, le savoir-faire et le savoir-être est réalisée par le contremaître, en collaboration avec le formateur.

Ce programme de formation permettra d'atteindre les phases supérieures des programmes d'excellence de Réseau Environnement, et sera étendu aux autres divisions de la DGA (ex. : incinérateur, entretien et centre de biométhanisation).

De multiples avantages

Les bénéfices de ce programme sont immenses. Par exemple, le fait que l'apprentissage est structuré et que les compétences sont mesurées permet aux nouveaux employés d'être plus performants, efficaces et compétents dès leur arrivée en poste. De plus, il est très important de noter que le programme ne s'adresse pas seulement aux nouveaux diplômés; les employés déjà en poste désirent recevoir de la formation continue peuvent ainsi parfaire leurs compétences!

Remerciements

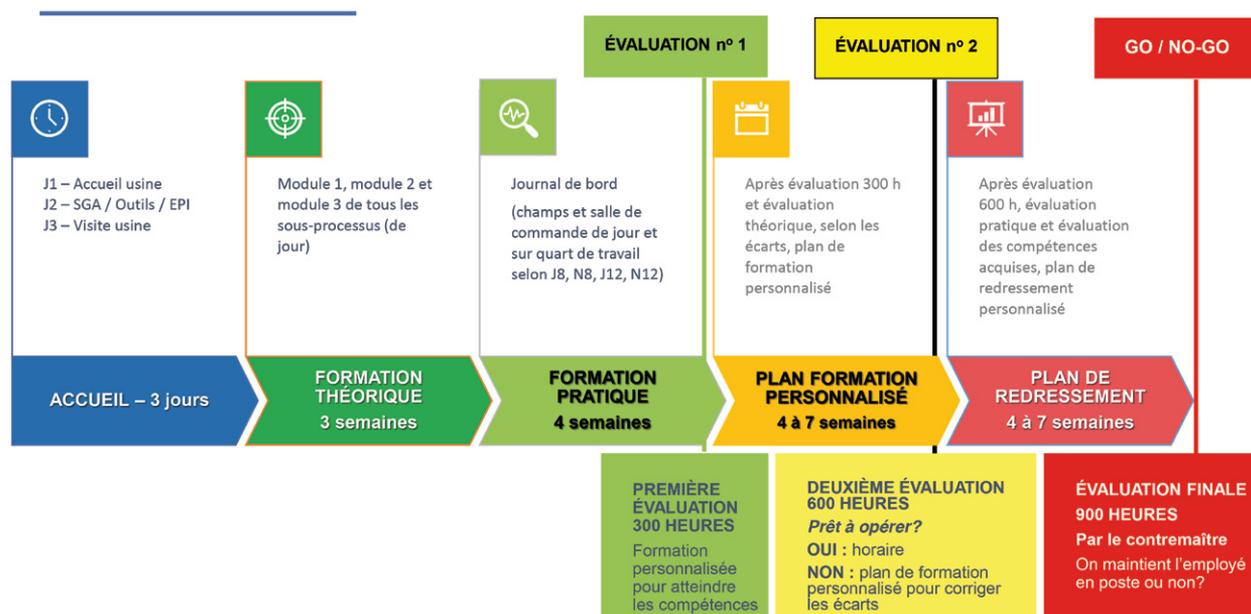
Merci à Frédéric Girard, contremaître aux opérations des eaux usées, pour son soutien et son implication dans la mise en œuvre de ce programme. Un merci spécial à nos formateurs – François-Philippe Lefebvre, Abby DuTremble et Vicki Mathieu-Desjardins – ainsi qu'à nos conseillères en développement organisationnel – Marie Dumas et Jessica Goulet – qui ont fait un travail acharné avec rigueur et intensité. Bravo à toute l'équipe! ●

Référence

Université Laval – Bureau de soutien à l'enseignement (s. d.). *Taxonomie de Bloom*. En ligne : enseigner.ulaval.ca/system/files/taxonomie_cognitif.pdf.

été développé (incluant toutes les tâches à réaliser en usine) ainsi que les études de cas réels vécus à partir des pages-écrans. Par conséquent, il y a trois étapes d'évaluation, soit à 300 heures, à 600 heures et à 900 heures. Les évaluations

FIGURE 1
Programme de formation technique sur mesure.



Stratégie québécoise d'économie d'eau potable

Développement de l'horizon 2019-2025



PAR YANNIS KACHANI, ing., M. Sc.
Chargé de projets – Stratégie québécoise
d'économie d'eau potable, ministère des
Affaires municipales et de l'Habitation
yannis.kachani@mamh.gouv.qc.ca

Le Québec dispose de 3 % des eaux douces renouvelables de la planète, mais compte seulement 0,1 % de la population mondiale. En raison, entre autres, d'une perception d'abondance et de gratuité de l'eau largement répandue au Québec, la quantité d'eau distribuée par personne est beaucoup plus élevée qu'ailleurs au Canada (MAMH, 2019).

Afin de s'attaquer à cette problématique, la Stratégie québécoise d'économie d'eau potable 2011-2017 a été mise en œuvre par le ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH) en partenariat avec les associations municipales. Elle a permis aux municipalités d'acquérir les outils nécessaires afin de poser un diagnostic clair et précis sur l'utilisation de l'eau dans chaque territoire par rapport aux normes reconnues.

Depuis 2011, des données sur la quantité d'eau distribuée et sur les pertes d'eau sont recueillies chaque année selon la même méthodologie partout à travers la province. Étant donné que seulement 29 % des bâtiments non résidentiels et 9 % des bâtiments résidentiels étaient équipés de compteurs d'eau en 2011, les pertes d'eau ont été évaluées en procédant à des analyses de débit de nuit minimum de 2011 à 2017. Grâce aux efforts de tous les partenaires, les résultats de 2017 montrent que :

- 85 % des 800 municipalités participantes à la Stratégie ont vérifié la précision de leurs débitmètres;
- 90 % des 43 000 kilomètres de conduite des réseaux de distribution d'eau potable de la province ont été auscultés;
- Plus de 55 000 fuites ont été réparées depuis 2012;
- Selon les plans d'action des municipalités, la consommation de plus de 90 % des immeubles non résidentiels sera mesurée, tandis que la consommation des immeubles résidentiels sera estimée par échantillonnage ou par secteurs de suivi de la consommation (SSC) dans les prochaines années.

Comme illustré aux figures 1 et 2, depuis le lancement de la Stratégie, la quantité d'eau distribuée par personne par jour au Québec a diminué de 32 % entre 2001 et 2017. De plus, les



pertes d'eau potentielles dans les réseaux de distribution d'eau potable, évaluées selon une analyse de débit de nuit minimum, sont passées de 28 à 24 mètres cubes par jour par kilomètre de conduite ($m^3/d/km$) de 2011 à 2017 (MAMH, 2019).

Ces résultats encourageants, qui sont le fruit des efforts considérables déployés par les municipalités de toutes tailles, ont permis de définir les bases de la Stratégie 2019-2025. D'ailleurs, celle-ci est portée par un ensemble de partenaires,

FIGURE 1
Évolution annuelle de la quantité d'eau distribuée par personne par jour (MAMH, 2019).

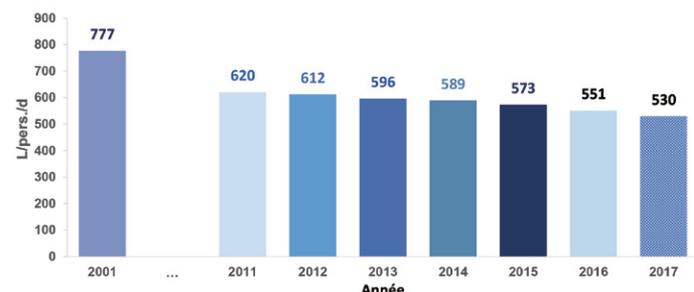
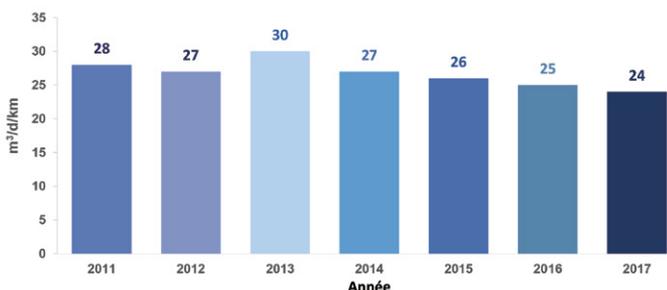


FIGURE 2

Évolution annuelle des pertes d'eau potentielles par jour par kilomètre de conduite.



dont notamment des représentants de la Fédération québécoise des municipalités, de l'Union des municipalités du Québec, de la Ville de Montréal, de la Ville de Québec, du MAMH et de Réseau Environnement.

C'est à l'occasion de la Journée mondiale de l'eau, le 22 mars 2019, que la ministre des Affaires municipales et de l'Habitation a annoncé le renouvellement de la Stratégie québécoise d'économie d'eau potable pour l'horizon 2019-2025. La figure 3 résume les nouveaux indicateurs de performance et les objectifs de la Stratégie 2019-2025.

Consommation résidentielle

L'ensemble des municipalités ont comme objectif d'atteindre une consommation résidentielle égale ou inférieure à la moyenne canadienne ou ontarienne. En effet, l'objectif varie selon les particularités des municipalités, notamment selon l'indice de

demande limitée par la capacité. Celui-ci est attribué aux municipalités pour lesquelles la demande en eau est ou sera potentiellement limitée par la capacité des infrastructures ou de la ressource. Les réseaux municipaux qui ont un indice de demande limitée par la capacité sont ceux qui répondent à au moins l'un des trois critères suivants :

- Critère 1 : L'ensemble des installations de production d'eau potable a fonctionné au moins une journée à plus de 90 % de sa capacité maximale nominale au cours de la dernière année.
- Critère 2 : Au moins deux avis de restriction d'utilisation d'eau ont été émis lors d'une sécheresse au cours des cinq dernières années.
- Critère 3 : Des investissements, dont l'objectif est d'augmenter la capacité des installations de production d'eau potable d'un réseau, sont prévus dans les 10 prochaines années.

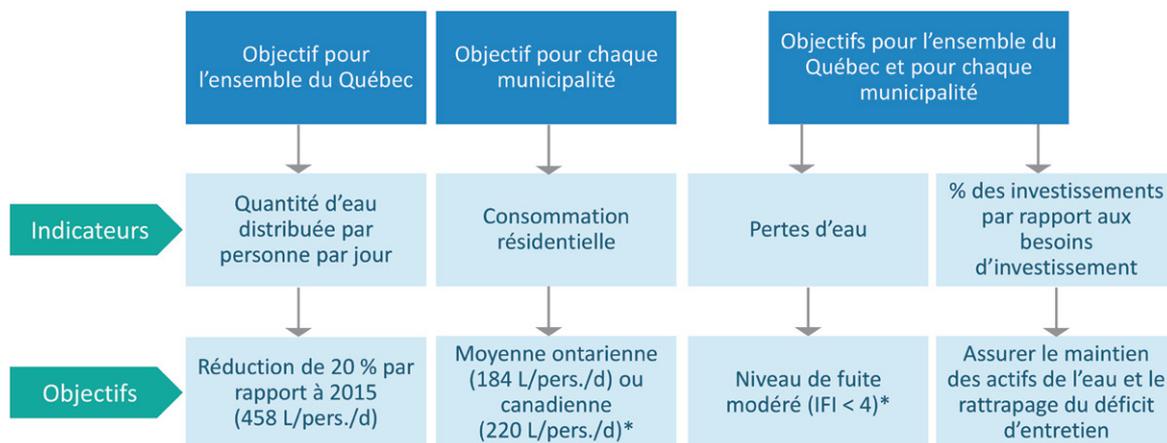
En 2017, les moyennes de consommation résidentielle canadienne et ontarienne étaient estimées respectivement à 220 L/pers./d et à 184 L/pers./d (Statistique Canada, 2019). À noter que ces objectifs seront réajustés tous les deux ans, en fonction des mises à jour des données de Statistique Canada.

La moyenne canadienne a été choisie comme objectif de base puisqu'elle est ambitieuse, mais atteignable pour la majorité des municipalités. Cependant, les municipalités dont la demande en eau est limitée par la capacité des infrastructures ou de la ressource visent une cible plus difficile pour encourager la mise en œuvre de programmes d'économie d'eau.

Si l'objectif de consommation résidentielle n'est pas atteint, les actions suivantes doivent être mises en œuvre par les municipalités :

FIGURE 3

Indicateurs et objectifs de la Stratégie 2019-2025.



* Objectifs adaptés selon les particularités de chaque municipalité.

- Sensibiliser les citoyens à la valeur de l'eau (ex. : participer à des programmes éducatifs, adopter des règlements sur l'utilisation de l'eau, offrir des incitatifs financiers pour l'installation d'équipements certifiés WaterSense, etc.);
- Montrer l'exemple en matière de saine gestion de l'eau en tant que municipalité (ex. : installer des points d'approvisionnement en eau brute);
- Mesurer la consommation des immeubles non résidentiels et estimer la consommation des autres immeubles par échantillonnage ou par SSC.

Pertes d'eau

Dans le cadre de la Stratégie 2011-2017, les pertes d'eau étaient évaluées en pourcentage de l'eau distribuée et en mètres cubes par jour par kilomètre de conduite. Cependant, ces indicateurs comportent certaines lacunes, notamment lorsqu'ils sont utilisés pour comparer la performance des réseaux entre eux. Afin de remédier à cette situation, l'indicateur de pertes d'eau utilisé dans la Stratégie 2019-2025 est maintenant l'indice de fuites dans les infrastructures (IFI). Celui-ci est recommandé par l'International Water Association (IWA), l'American Water Works Association (AWWA) et la Banque mondiale. Ainsi, les municipalités québécoises participant à la Stratégie sont évaluées sur la base de standards internationaux.

L'IFI représente le ratio des pertes d'eau réelles (PER) sur les pertes d'eau réelles inévitables (PERI). Ces dernières constituent le niveau le plus bas des pertes d'eau techniquement atteignable. L'IFI a pour avantage de prendre en considération les caractéristiques propres à chaque réseau de distribution d'eau potable. Il est calculé à l'aide du logiciel d'audit de l'eau de l'AWWA (AWWA, 2014).

L'utilisation de l'IFI améliorera l'évaluation des pertes en eau à travers la province, car il s'agit de l'un des indicateurs de performance les plus rigoureux techniquement disponibles. Lorsqu'il est présenté avec la pression moyenne du réseau associé, l'IFI peut être utilisé pour faire un suivi annuel de l'évolution des résultats de chaque réseau municipal et pour comparer les réseaux entre eux. Bien qu'apparemment complexe, l'IFI peut être rapidement traduit en catégories plus facilement compréhensibles par les différents intervenants, comme indiqué au tableau 1.

TABLEAU 1
Niveaux de fuite pour chaque réseau de distribution.

INDICE DE FUITES DANS LES INFRASTRUCTURES	NIVEAU DE FUITE	CATÉGORIE DE PERFORMANCE INTERNATIONALE
Inférieur à 2	Faible	A
Entre 2 et 4	Modéré	B
Entre 4 et 8	Élevé	C
Supérieur à 8	Très élevé	D

TABLEAU 2
Objectifs de pertes d'eau selon le nombre de branchements de service dans un réseau de distribution.

NOMBRE DE BRANCHEMENTS DE SERVICE	OBJECTIF D'IFI
1 000 et moins	3
1 001 à 99 999	3-4 (régression linéaire)
100 000 et plus	4

L'objectif, qui se rattache aux pertes d'eau pour chaque réseau de distribution municipal, est une valeur visée de l'indice de fuites dans les infrastructures qui est modulée en fonction des particularités des réseaux. L'objectif est d'obtenir un niveau de fuite modéré, ce qui correspond à un IFI de catégorie B, mais pour lequel la valeur ciblée varie selon le nombre de branchements de service et l'indice de demande limitée par la capacité d'une municipalité. Les objectifs de pertes d'eau sont présentés au tableau 2.

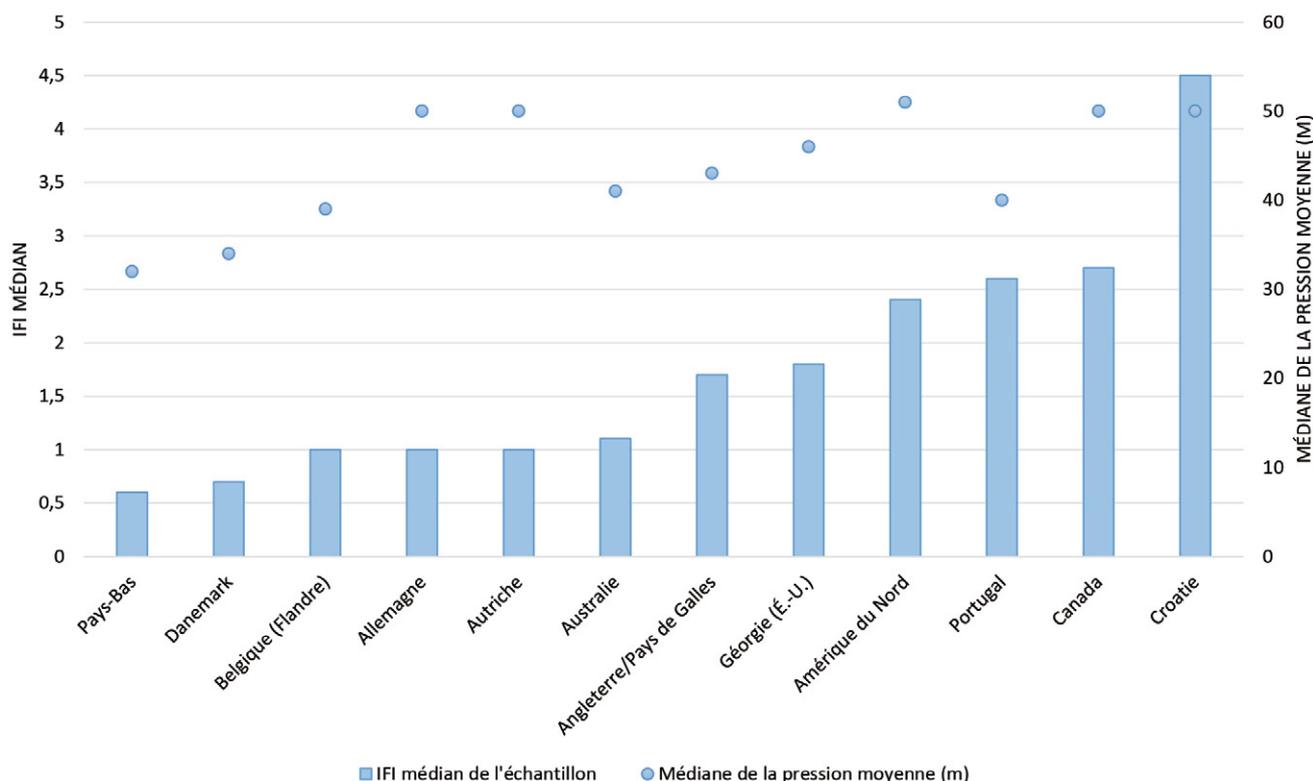
Les objectifs se rattachant à l'IFI ont été fixés à la suite d'une analyse préliminaire des niveaux de pertes d'eau actuels au Québec. Les PER ont été calculées à partir des analyses de débit de nuit minimum. Les PERI ont été estimées grâce à des données collectées (longueur du réseau et nombre de branchements de service) et à des hypothèses de calcul (pression moyenne de 50 mètres et longueur des branchements de service côté privé de 5 mètres). L'IFI moyen (non pondéré) pour le Québec était de 4 et l'IFI médian de 2. De plus, la figure 4 montre que l'IFI médian de 11 des 12 pays étudiés était inférieur à 4, tandis que l'IFI médian canadien était d'environ 2,7 (LEAKSSuite Library, 2019).

Si les objectifs de pertes d'eau ne sont pas atteints, les actions suivantes sont à réaliser :

- Réduire le délai moyen de réparation de fuites à un maximum de 5 jours ouvrables du côté municipal (conduites, poteaux d'incendie et branchements de service) et à un maximum de 20 jours ouvrables sur les branchements privés d'ici 2023 ;
- Éliminer les fuites et les débordements constatés aux réservoirs d'ici 2023 ;

FIGURE 4

IFI médian et médiane de la pression moyenne (m) d'un échantillon de services d'eau dans 12 pays/États (LEAKSSuite Library, 2019).



- Mesurer la consommation des immeubles non résidentiels et estimer la consommation des autres immeubles par échantillonnage ou par SSC;
- Réaliser une analyse de rentabilité concernant la mise en place d'un secteur de régulation de pression (SRP) d'ici 2023 si la pression moyenne au point représentatif de zone est supérieure à 588 kPa (85 psi; 60 m) (MAMH, 2019). Si cela est rentable, procéder ensuite à sa mise en place dans un délai de trois ans;
- Réaliser un contrôle actif des fuites sur l'équivalent de 200 % de la longueur du réseau par l'entremise de secteurs de suivi de la distribution (SSD), d'enregistreurs de bruits, d'une écoute systématique aux poteaux d'incendie ou à tous points de contact accessibles.

Il est intéressant de noter que les municipalités peuvent choisir les actions à mettre en œuvre pour le contrôle actif des fuites en fonction de celles qui seront les plus rentables sur leur territoire. De plus, lorsque des SSD, des enregistreurs de bruits permanents ou une écoute systématique à tous points de contact accessibles sont mis en œuvre, chaque kilomètre du réseau où ces actions ont été mises en place compte pour deux kilomètres. Un contrôle actif sur l'équivalent de 200 % de la longueur des réseaux de distribution peut donc être réalisé plus rapidement grâce à ces actions.

Enfin, parmi les autres jalons qui seront atteints avec la Stratégie 2019-2025, la carte présentée à la figure 5 (voir p. 54) illustre les niveaux de politique pour suivre et réduire les pertes d'eau des réseaux de distribution d'eau potable au Canada et aux États-Unis (NRDC, 2018). La Stratégie 2019-2025 prévoit l'utilisation d'un rapport annuel avec le logiciel d'audit de l'eau de l'AWWA, la validation de niveau 1 de cet audit et des objectifs de réduction spécifiques à chaque réseau de distribution. Avec ces nouvelles pratiques, le Québec fait maintenant partie des trois provinces ou États nord-américains ayant une politique de premier niveau pour suivre et réduire les pertes d'eau des réseaux de distribution; il est aussi la première province canadienne à atteindre ce niveau.

Vers un programme de validation de niveau 1

Lors de l'élaboration de la Stratégie 2019-2025, plusieurs parties prenantes ont reconnu la nécessité de passer d'un audit de l'eau interne rudimentaire à une norme internationalement reconnue. Le gouvernement du Québec étant membre de l'AWWA et actif au sein du *Water Loss Control Committee*, l'audit de l'eau de l'AWWA était déjà connu par l'équipe de la Stratégie. De plus, la consommation de plus de 90 % des immeubles non résidentiels sera mesurée, tandis que la consommation des immeubles résidentiels sera estimée par échantillonnage ou

aux audits de l'eau réalisés par les municipalités. De plus, elle a permis aux auditeurs de discuter de situations spécifiques liées au contexte local et d'ajuster leur méthodologie de validation en conséquence. Les formateurs ont partagé des expériences pratiques de validation avec l'équipe, lui donnant des exemples concrets d'un processus de validation de niveau 1 et des défis auxquels elle pouvait s'attendre. Enfin, les méthodologies de l'AWWA ont pu être adaptées au contexte québécois, ce qui a constitué un avantage majeur de la formation.

L'utilisation de la méthodologie d'audit de l'eau et du *Manuel M36 – Audits, bilans d'eau et programmes de réduction des pertes* (AWWA, 2015) renforce la crédibilité de la Stratégie. Le fait de savoir que cet outil est utilisé dans de nombreuses autres juridictions renforce l'acceptation du projet par les acteurs municipaux et techniques. L'utilisation d'un outil développé par des professionnels expérimentés et des experts en la matière assure également une normalisation et un contrôle de la qualité des audits de l'eau québécois.

Équipe de soutien technique

Composée d'ingénieurs et d'étudiants en génie, l'équipe de soutien technique de la Stratégie a été créée pour accompagner les municipalités dans leurs démarches d'économie d'eau. L'équipe valide les audits de l'eau réalisés par les municipalités et produit des outils d'accompagnement, des formations, des modèles de réglementation et de devis. Depuis 2011, des étudiants en génie provenant d'universités québécoises ont été recrutés et formés pour analyser et approuver les bilans des municipalités. Ils reçoivent des crédits universitaires pour ces stages tout en étant exposés aux meilleures pratiques de gestion en matière d'économie d'eau potable et d'évaluation des pertes d'eau. De plus, chaque cohorte de stagiaires participe à la formation de la cohorte suivante, renforçant un modèle d'éducation par les pairs, réduisant le coût global du programme et augmentant le nombre de professionnels de l'industrie ayant acquis des connaissances sur le sujet. Des approches similaires pourraient être adoptées ailleurs à travers le monde pour répondre à un manque de ressources humaines et financières (WRF, 2017).

En fin de compte, le rôle de l'équipe a évolué au-delà de la validation des audits de l'eau vers un soutien des municipalités dans leurs démarches d'économie d'eau. Un accompagnement accru est apporté aux municipalités ayant moins de 500 branchements, soit 47 % des municipalités de la province. Les analystes appuient ces municipalités afin de réaliser une partie importante du processus d'audit de l'eau lors de conférences téléphoniques.

À venir

Au courant de l'année 2020, le gouvernement du Québec a publié son premier rapport annuel pour la Stratégie 2019-2025 (MAMH, 2020). Les trois indicateurs de performance sont calculés pour la province et comparés aux objectifs fixés. Pour

la première fois, la consommation d'eau résidentielle moyenne et l'IFI de la province sont calculés, permettant d'établir des comparaisons internationales.

Après un an d'expérience dans la validation des audits de l'eau, les ingénieurs certifiés de l'équipe de soutien technique prévoient recevoir la formation *Train the Trainers* offerte par les experts en audit de l'eau de l'AWWA à l'hiver 2021. Cette formation leur donnera les moyens de former de nouveaux ingénieurs et étudiants en ingénierie à la validation des audits de l'eau.

Enfin, la Stratégie québécoise d'économie d'eau potable 2019-2025 permettra aux municipalités de mieux comprendre l'état de leurs infrastructures et de leurs ressources en eau potable. Une telle approche favoriserait la pérennité des services d'eau face à l'accroissement de la population et aux changements climatiques, qui augmentent la pression sur les ressources en eau. L'implication dans l'élaboration de la Stratégie 2019-2025 de partenaires provenant d'horizons variés montre comment la collaboration locale et internationale peut mener à la mise en place de meilleures pratiques permettant de relever des défis en matière d'économie d'eau potable et de gestion d'actifs.

Remerciements

L'auteur remercie Marie-Josée Barriault, directrice de la Direction des infrastructures Montréal au MAMH, ses collègues Pierre-Olivier Kwemi et Yasmine Iguer, ainsi que les stagiaires ingénieurs pour leur collaboration et leur travail dans ce projet, notamment Jordan Gosseries pour son apport à la traduction de cet article. L'auteur remercie également Mathieu Laneuville et Will Jernigan pour leur collaboration à la rédaction de cet article. ●

Références

AWWA (2014). *Logiciel d'audit de l'eau 5.0*. En ligne : awwa.org/Resources-Tools/Resource-Topics/Water-Loss-Control/le-logiciel-daudit-de-leau-50.

AWWA (2015). *Manuel M36 – Audits, bilans d'eau et programmes de réduction des pertes*. En ligne : reseau-environnement.com/audits-bilans-deau-programmes-de-reduction-pertes-manuel-m36.

LEAKSSuite Library (2019). *Overviews of Leakage by Country Using Reported ILI Data*. En ligne : leakssuitelibrary.com/ili-overviews-by-country.

MAMH (2019). *Stratégie québécoise d'économie d'eau potable*. En ligne : mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/grands_dossiers/strategie_eau/strategie_eau_potable.pdf.

MAMH (2020). *Rapport 2018 de l'usage de l'eau potable*. En ligne : mamh.gouv.qc.ca/infrastructures/strategie/cartographie-et-rapports-annuels.

NRDC (Natural Resources Defense Council) (2018). *Cutting Our Losses: State Policies to Track and Reduce Leakage from Public Water System*. En ligne : nrdc.org/resources/cutting-our-losses.

Statistique Canada (2019). *Enquête biennale sur les usines de traitement de l'eau potable*. En ligne : www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV_f.pl?Function=getSurvey&SDDS=5149.

WRF (Water Research Foundation) (2017). *Utility Water Audit Validation: Principles and Programs*. En ligne : waterf.org/resource/utility-water-audit-validation-principles-and-programs.

WEFTEC

Retour sur l'édition 2020 !



PAR YVES COMEAU
Ing., M. Sc. A., Ph. D., directeur Water
Environment Federation
de Réseau Environnement

From
wefhq
Leading-edge updates from the
Water Environment Federation



La 93^e édition de la Water Environment Federation's Annual Technical Exhibition and Conference (WEFTEC), qui devait se tenir à La Nouvelle-Orléans en Louisiane en octobre, s'est plutôt déroulée de façon virtuelle pour la première fois de son histoire en raison de la COVID-19. Retour sur cette expérience hors du commun !

La WEFTEC 2020, qui s'est déroulée du 5 au 9 octobre dernier par le biais de la plateforme WEFTEC Connect, a permis de réunir 5 800 personnes provenant de 47 pays ainsi que 280 exposants. Ainsi, au lieu de se bâtir autour d'un « lieu » de rencontre, cet événement s'est plutôt déroulé autour d'un nouvel « espace » virtuel. Les principaux inconvénients, tels que des occasions de réseautage réduites et un engagement moindre à participer aux multiples activités offertes depuis la maison ou le bureau, ont en partie été compensés. En effet, un des avantages de ce mode virtuel est que les quelque 500 présentations ont été enregistrées à l'avance, qu'elles pouvaient être écoutées pendant ou après leur séance prévue, et qu'elles sont maintenant disponibles pour une durée d'une année complète jusqu'à la prochaine édition de la WEFTEC, qui aura lieu à Chicago, en Illinois, du 16 au 20 octobre 2021.

Les sujets couverts incluaient l'opération et l'entretien, les biosolides, les systèmes de collecte des eaux usées, les eaux pluviales, les membranes, la réutilisation de l'eau, la désinfection et la gestion des services publics. Il y a aussi eu la Galerie des exposants (présentant plus de 200 entreprises à l'avant-garde du domaine de l'eau), des occasions de réseautage avec des pairs et des experts, une compétition virtuelle des opérateurs (*Operations Challenge*), une compétition virtuelle étudiante, un film sur l'eau et un spectacle de jazz par un groupe de La Nouvelle-Orléans afin de clôturer l'événement.

Sélections de WEFTEC 2020

Conférence d'ouverture

La clarté par la crise (Clarity through crisis) était le titre de la conférence d'ouverture présentée par René Rodriguez. Ce formateur original et influent se base sur la psychologie comportementale et la neurobiologie pour aider à résoudre les problèmes les plus difficiles de leadership, de vente et de changement. Il a ainsi présenté la théorie du cerveau triunique qui propose que l'humain ait successivement acquis au cours de son évolution trois cerveaux distincts, du plus primitif au plus complexe : le cerveau reptilien, le cerveau limbique et le cerveau cortical (néocortex). Bien que simplifiée, cette théorie permet d'expliquer plusieurs comportements humains. Le cerveau reptilien, le plus ancien, est le siège de nos instincts de survie et de nos besoins fondamentaux. Il serait à la base de nos comportements primitifs de situation, tels que l'agressivité et l'hostilité face à des personnes différentes, et ne peut pratiquement pas s'adapter. Le cerveau limbique est le siège des émotions, des intuitions et des croyances. Il permet d'interagir avec les autres et est lentement adaptable. Le cerveau cortical est le siège de l'analyse, du langage et de la créativité. Il réagit plus lentement que les deux premiers cerveaux, mais peut les maîtriser par sa faculté de conscience. Dans nos sociétés

« [...] un des avantages de ce mode virtuel est que les quelque 500 présentations ont été enregistrées à l'avance, qu'elles pouvaient être écoutées pendant ou après leur séance prévue, et qu'elles sont maintenant disponibles pour une durée d'une année complète [...] »

modernes, la prise de conscience de nos émotions permet d'agir non seulement de façon situationnelle ou émotionnelle, mais aussi de façon consciente, réfléchie et responsable (Mùelenaere, 2019). Bref, monsieur Rodriguez a enseigné aux professionnels de l'eau comment recadrer l'adversité et exploiter leurs ressources innées pour devenir des leaders plus réfléchis, engagés et flexibles aussi bien en temps normal qu'en période de crise.

Technologies novatrices pour l'enlèvement des nutriments

Le programme Leaders Innovation Forum for Technology (LIFT) de la WEF a permis d'identifier quelques technologies prometteuses d'enlèvement des nutriments par filière liquide au stade « démonstration » ou « implantation » (précédant le stade « conventionnel »). Parmi celles-ci se trouve le procédé des boues granulaires aérobies qui facilite le développement de granules de taille supérieure à 200 microns à décantation rapide. Cette technologie permet de s'affranchir d'un décanteur secondaire et de réaliser l'enlèvement simultané de la matière organique, de l'azote et du phosphore par déphosphatation biologique. Des boues granulaires aérobies peuvent être obtenues dans un procédé de boues activées, favorisant une densification des boues qui améliore leur décantabilité, par l'utilisation de zones non aérées en série, de la fermentation de la liqueur mixte et de la recirculation sélective de boues rapidement décantables, notamment par l'utilisation d'hydrocyclones. Les bioréacteurs à membranes aérées fournissent de l'air par les membranes permettant le développement d'un biofilm aérobie et anoxie à leur surface, et augmentant grandement l'efficacité de transfert d'oxygène. Les membranes d'ultrafiltration FibrePlate™ sont conçues sur une base hybride de fibres creuses et de plaques filtrantes permettant de réduire l'espace requis pour l'implantation d'un bioréacteur à membranes. Le contrôle de l'aération selon des consignes simultanées d'ammoniacque et d'azote oxydé (nitrate + nitrite) permet de réaliser la déammonification par le processus anammox, réduisant grandement les besoins en aération, en alcalinité et en matière organique.

Initiatives en lien avec la mission de la WEF

La mission de la WEF est de mettre en relation les professionnels de l'eau, d'enrichir leur expertise, d'accroître la conscience et l'importance de la valeur de l'eau, et d'offrir une plateforme pour l'innovation dans le domaine. Le réseautage des professionnels de l'eau est réalisé en devenant membre de la WEF. Cette adhésion donne accès à un vaste bassin d'experts du domaine, permet de participer à des comités techniques et gouvernementaux, ainsi que de prendre part aux activités des étudiants et des jeunes professionnels de l'eau.

L'enrichissement de l'expertise des professionnels de l'eau se concrétise de différentes façons : participation à des conférences telles que la WEFTEC, à des conférences spécialisées, à des webinaires et à de l'apprentissage en ligne ; publications techniques (dont *Water Environment & Technology*) ; programmes de formation et certification des opérateurs ; accès à une importante banque de ressources techniques et à une librairie sur demande concernant le domaine de l'eau.

L'accroissement de la conscience de la valeur de l'eau passe par des campagnes de sensibilisation auprès du public (*The Value of Water*, *Water's Worth It*, le film *Brave Blue World*), la

promotion des carrières du domaine de l'eau et le prix Stockholm Junior Water Prize.

Les plateformes pour l'innovation dans le domaine de l'eau sont variées et peuvent être divisées en huit initiatives :

- Émergence de solutions innovantes favorisée par le programme LIFT en collaboration avec la Water Research Foundation ;
- Gestion efficace des services publics favorisée par une collaboration avec quatre autres organismes majeurs du domaine de l'eau ;
- Programme des stations de récupération des ressources de l'eau (StaRRE) du futur visant l'évolution des services de l'eau dans une perspective de développement durable ;
- Récupération des ressources de l'eau (qui incluent l'eau, l'énergie, les nutriments et les biosolides) considérant la gestion intégrée de l'eau ;
- Matières résiduelles et biosolides gérés dans une perspective de protection de la santé publique et de l'environnement ;
- Institut du leadership de l'eau encourageant l'innovation, l'entrepreneuriat et l'implication professionnelle des futurs leaders ;
- Institut des eaux pluviales de la WEF constituant un centre d'excellence et d'innovation pour cet important secteur ;
- Programme national de certification des infrastructures vertes établissant des normes nationales de construction, d'inspection et d'entretien pour celles-ci. ●

Référence

Mùelenaere, E. (2019). *Comment mieux gérer nos émotions en comprenant le fonctionnement de notre cerveau*. En ligne : medium.com/essentiels.

UDES

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT



Sherbrooke et Longueuil

- Stage rémunéré
- Parcours axés sur la pratique
- Approche interdisciplinaire

USherbrooke.ca/environnement/maitrise


UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Rétention du personnel dans les centres de tri

Enjeux et pistes de solutions



PAR ANTOINE BEAUMONT, CPI
Coordonnateur adjoint au secteur technique,
Réseau Environnement



ET PAR FRANCIS FORTIN
Président de la section québécoise de la
SWANA; président-directeur général,
Chamard stratégies environnementales

Chaque semaine, de très grandes quantités de matières recyclables quittent nos domiciles et nos lieux de travail et sont dirigées vers les centres de tri afin d'être traitées puis récupérées. Bien loin de nos regards, une réalité échappe cependant à plusieurs : les centres de tri connaissent actuellement une pénurie de main-d'œuvre sans précédent.

Le travail dans un centre de tri

La majorité des centres de tri effectue leurs activités en semaine, mais quelques-uns sont également ouverts les fins de semaine. Bien que la plupart des opérations sont habituellement réalisées selon des horaires de jour, certains travailleurs peuvent avoir des horaires de soir ou de nuit. L'horaire hebdomadaire est établi sur une période d'environ 40 heures (parfois 50) et une grande portion des travailleurs est employée à temps plein. Réception des matières pêle-mêle, alimentation des zones de tri, gestion des opérations, maintenance des équipements, triage des matières, entreposage des matières triées – la diversité des postes est nécessaire pour assurer le bon déroulement du triage.

Main-d'œuvre en déficit

Malgré cette grande variété d'emplois, le nombre de postes à pourvoir continue d'augmenter dans les centres de tri. Selon une enquête réalisée par EnviroCompétences (2020), c'est un peu plus de la moitié des 86 centres de tri interrogés qui ont rapporté avoir des difficultés à recruter et à conserver leur main-d'œuvre. Cela est encore plus flagrant pour les postes de trieurs – représentant 63 % de la main-d'œuvre des centres de tri –, qui ont un taux de rétention moyen de 61 %. Le taux de



rétention moyen baisse aussi bas que 46 % dans le cas des centres de tri de matériaux de construction, de rénovation et de démolition (CRD). Le rapport de l'enquête lie cette faible rétention d'emploi aux conditions du poste de trieur : ce travail est exigeant physiquement et le salaire est bas, en plus de n'offrir que peu ou pas de possibilités d'augmentation. De plus, pour certains centres de tri, l'arrêt des opérations pendant plus de deux mois l'hiver (centres de tri de matériaux de CRD) n'offre pas la stabilité que certains travailleurs recherchent dans un emploi et augmente le taux de roulement.

Un recrutement difficile

Toujours selon l'enquête d'EnviroCompétences, les centres de tri ont rapporté que depuis plus de trois ans, une diminution de la main-d'œuvre disponible est observable et le nombre de postes à pourvoir augmente, surtout dans les régions plus éloignées. Étant donné les conditions de travail associées aux postes, trouver de la main-d'œuvre n'est pas toujours facile. Les conditions salariales, la nature des tâches et l'instabilité

« [...] c'est un peu plus de la moitié des 86 centres de tri interrogés qui ont rapporté avoir des difficultés à recruter et à conserver leur main-d'œuvre. »

de l'emploi – notamment pour les postes de trieurs – incitent peu à garder cet emploi et rendent plus difficile le recrutement surtout en situation de plein-emploi. Cela pousse environ la moitié des centres de tri à avoir recours à des agences de placement pour pourvoir une partie de leurs postes restés vacants principalement en raison d'un manque de main-d'œuvre dans leur région.

Une performance affectée

Malgré l'automatisation de plus en plus grande des centres de tri, l'efficacité de la chaîne de tri repose en grande partie sur la main-d'œuvre qui y travaille. Actuellement, le manque de personnel sur la ligne de tri affecte directement la vitesse des convoyeurs. Pour conserver un débit de matière acceptable et traiter le plus possible de matières reçues, les employés se doivent de travailler plus rapidement et plus longtemps. Ces deux éléments diminuent la qualité des matières recyclables traitées. La qualité des matières est directement liée à la valeur des matières sur le marché du recyclage et cette diminution de qualité mènera vraisemblablement à une perte de revenus qui pourra mettre en péril la rentabilité des centres de tri. Le temps consacré à donner des formations à répétition aux nouveaux employés en raison du faible taux de rétention a aussi un impact négatif sur le rendement. De plus, avec une prise de conscience de plus en plus marquée des générateurs

de matières résiduelles pour le recyclage, les quantités de matières reçues dans les centres de tri ne risquent pas de diminuer prochainement.

Des pistes de solutions

Avec un besoin de main-d'œuvre immédiat et en croissance, il est évident que des actions doivent être prises par les centres de tri pour augmenter l'intérêt pour leurs postes vacants, les pourvoir et accroître la rétention des employés. L'ajout de conditions de travail plus avantageuses, d'avantages sociaux, de primes et d'une meilleure stabilité d'emploi pourrait être un facteur décisif dans l'intérêt porté à ces types de postes. Il serait tout à fait possible également, grâce aux nouvelles avancées technologiques, d'apporter un plus haut niveau d'automatisation dans la mécanique de tri, ce qui réduirait le besoin de main-d'œuvre dans ce secteur. Ce changement représenterait toutefois un investissement considérable et ne pourrait se faire du jour au lendemain. Il est à noter qu'EnviroCompétences prépare un plan d'action pour soutenir les entreprises du secteur face à ces enjeux. ●

Référence

EnviroCompétences (2020). *Études sur les besoins de main-d'œuvre dans les centres de tri au Québec*. En ligne : envirocompetences.org/media/publications/RF_Etude_besoinsmaindoeuvre_VF2020-05-29.pdf.



NOTRE MISSION EST DE SAUVER LE ROC DE L'ENFOUISSEMENT EN LE TRANSFORMANT EN PIERRE CLASSIFIÉE TEL QUE LA POPULAIRE M620 MTQ ET DB

**NOTRE FORCE : RÉCUPÉRER LE ROC SUR L'ÎLE DE MONTRÉAL, LE TRANSFORMER
ET LE VALORISER AFIN DE FOURNIR LES PROJETS MÉTROPOLITAINS**

NOUS AVONS 300 000 TONNES DE ROC DISPONIBLE. AU COIN DE L'AUTOROUTE 15 ET LA 40 (ROYAL MOUNT)

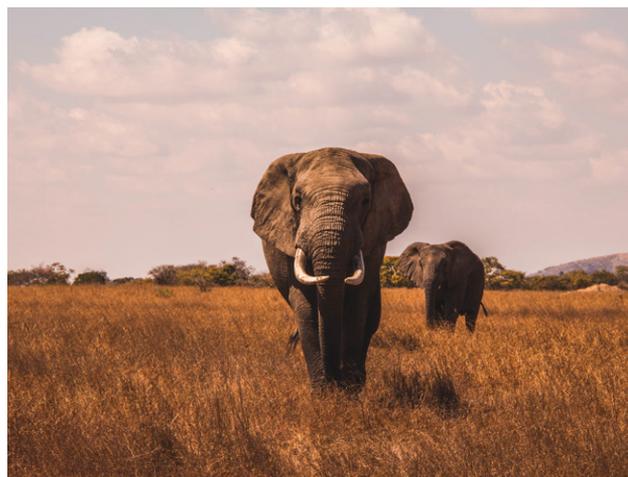
VOUS ÉLIMINEREZ DES MILLIERS D'HEURES DE CAMIONNAGE EN VOUS APPROVISIONNANT CHEZ NOUS.





Sommet sur le climat

L'Organisation des Nations Unies (ONU) et Londres convoquent un Sommet sur le climat le 12 décembre, cinq ans jour pour jour après l'Accord de Paris. L'événement, coorganisé par le secrétaire général de l'ONU, Antonio Guterres, et le premier ministre britannique, Boris Johnson, rassemblera les dirigeantes et les dirigeants des pays les plus ambitieux sur les enjeux climatiques. Si, selon l'Accord de Paris, chaque pays fixe ses propres objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, il est à noter que ces objectifs doivent être régulièrement revus à la hausse afin de réussir à limiter le réchauffement de la planète à 1,5 °C par rapport à la fin du XIX^e siècle. Les pays concernés seront donc invités à présenter des plans pour le climat actualisés en prévision de la COP26 qui se tiendra en novembre 2021 à Glasgow.



Premier sommet de l'ONU sur la biodiversité

Le 30 septembre dernier se tenait le premier sommet de l'ONU sur la biodiversité. Lors de son discours d'ouverture, le secrétaire général de l'ONU, Antonio Guterres, a souligné l'importance pour l'être humain de protéger les milieux naturels afin de bâtir un monde plus durable et résilient. Ce dernier a déploré que les efforts mis en place pour atteindre les objectifs mondiaux en matière de biodiversité – fixés pour 2020 – n'aient pas été suffisants. L'enjeu principal de ce sommet était donc de créer une « dynamique politique » permettant la mise en place d'un cadre ambitieux pour la biodiversité dans l'après-2020. Antonio Guterres estime qu'une relance verte mettant l'accent sur la protection de nos écosystèmes encouragera une économie plus verte.



La plus grande réserve aquifère d'Afrique du Nord est menacée

Le système aquifère du Sahara septentrional est parmi les plus grands du monde et assure la vie de 4,8 millions d'habitants. Cette réserve naturelle en eau s'étend sur plus d'un million de kilomètres dans un environnement très aride, ce qui le rend particulièrement vulnérable. Afin de préserver cette gigantesque réserve d'eau douce, la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe souligne l'importance d'une coopération intersectorielle et transfrontalière. Parmi les solutions à adopter, l'agence onusienne appelle à accroître l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles en recourant au dessalement, au traitement des eaux usées, et au traitement ou à la réutilisation des eaux de drainage. Par ailleurs, le rapport recommande l'adoption d'un ensemble intégré de 15 solutions intersectorielles prioritaires. Celles-ci vont de la mise en œuvre de changements de gouvernance, à l'adoption d'instruments économiques et politiques, en passant par l'investissement en infrastructures et l'innovation.

15 solutions intersectorielles prioritaires. Celles-ci vont de la mise en œuvre de changements de gouvernance, à l'adoption d'instruments économiques et politiques, en passant par l'investissement en infrastructures et l'innovation.

La crise climatique à l'aube d'un monde incertain

Collectif – Presses de l'Université du Québec – 176 pages

Cet ouvrage dresse un état des lieux du monde pré-COVID-19 que nous venons de quitter, et offre des clés de compréhension des principaux enjeux climatiques et énergétiques actuels.

Il analyse les bouleversements dans l'économie politique mondiale générés par les mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre, et passe en revue les objectifs de l'Accord de Paris, la montée des énergies renouvelables, la détérioration de l'environnement d'affaire des industries fossiles, la mise en place de grandes politiques publiques, ainsi que les nombreuses incohérences et incompatibilités entre les engagements politiques et les réalités sur le terrain.



Comment l'écologie réinvente la politique : pour une économie des satisfactions

Jean Haëntjens – Rue de l'échiquier – 160 pages

Présentation d'une économie alternative dans laquelle les responsables politiques sont affranchis des notions de PIB, de croissance et de pouvoir d'achat, afin d'adopter une société écologique, humaine et compatible avec les limites de la Terre.



La contamination du monde : une histoire des pollutions à l'âge industriel

François Jarrige et Thomas Le Roux – Seuil – 480 pages

Une analyse historique de la pollution et des effets de l'activité humaine sur l'environnement. Les auteurs explorent les conflits politiques liés à cette question à l'âge industriel ainsi que l'évolution des mentalités vers une modernité capitaliste.



L'aventure du caca : égouts et gestion des eaux

Scott McKay – Somme toute – 144 pages

Cet ouvrage est non seulement une plongée dans nos égouts, mais aussi une histoire de l'hygiène publique, un panorama des avancées scientifiques et technologiques ayant permis de limiter la propagation de nombreuses maladies, et un manifeste pour une meilleure gestion des eaux usées. Scott McKay est un spécialiste de l'eau et des sciences de l'environnement qui compte plus de 25 ans d'expérience dans les milieux gouvernementaux, des affaires et de la consultation.



Envie de lecture pertinente en environnement ?

Abonnez-vous à *Vecteur Environnement* pour seulement 55 \$ par année!

Vous êtes plutôt du genre techno ?

Choisissez la version électronique pour seulement 25 \$.

Visitez le www.reseau-environnement.com.

Vecteur Environnement est publiée quatre fois par année.



DÉCEMBRE 2020, JANVIER ET FÉVRIER 2021

QUÉBEC ET CANADA

Les eaux souterraines à Québec : cachées mais pas méconnues!

Événement virtuel
9 décembre
centreau.ulaval.ca/evenements/les-eaux-souterraines-a-quebec-cachees-mais-pas-meconnues

CentrEau hebdo'Eau : Les eaux usées pour le suivi de la COVID-19 | Le cas de l'Université d'Arizona

Événement virtuel
10 décembre
centreau.ulaval.ca/evenements/centreau-hebdeau-les-eaux-usees-pour-le-suivi-de-la-covid-19-le-cas-de-luniversite-darizona

Les eaux souterraines à Québec : utiles pour la gestion des sources d'eau potable de surface ?

Événement virtuel
16 décembre
centreau.ulaval.ca/evenements/les-eaux-souterraines-a-quebec-utiles-pour-la-gestion-des-sources-deau-potable-de-surface

Le ruissellement dans les rocheuses canadiennes du sud durant les débits de pointe

Événement virtuel
12 janvier
centreau.ulaval.ca/evenements/webinaire-le-ruissellement-dans-les-rocheuses-canadiennes-du-sud-durant-les-debits-de-pointe

Progrès de l'irrigation de précision des grandes cultures dans le sud de l'Alberta

Événement virtuel
21 janvier
centreau.ulaval.ca/evenements/progres-de-lirrigation-de-precision-des-grandes-cultures-dans-le-sud-de-lalberta

ÉTATS-UNIS

Chesapeake WEA Stormwater Seminar

Événement virtuel
9 et 10 décembre
wef.org/events/meetings--other-events/upcoming-member-association-events/chesapeake-wea-stormwater-seminar

Regulatory Update

Événement virtuel
Denver (Colorado)
16 décembre
awwa.org/Events/AWWA-Events-Calendar/Meeting-Details?productId=81421464

NCSE Drawdown 2021 Conference

Événement virtuel
5 au 9 janvier
ncseglobal.org/conference

A&WMA ACTP/Intercouncil Meetings

Orlando (Floride)
21 au 24 janvier
www.awma.org/ev_calendar_day.asp?date=2021-01-24&eventid=180

Compost 2021 – US Composting Council Tradeshow and Conference

Événement virtuel
26 et 27 janvier
compostconference.com

38th International Conference on Thermal Treatment Technologies and Hazardous Waste Combustors

Événement virtuel
27 et 28 janvier
awma.org/it3

4th International Conference on Economic Management and Green Development 2021

Stanford (Californie)
28 janvier
icemgd.org

INTERNATIONAL

Photovoltafrica

Événement virtuel
9 et 10 décembre
photovoltaica.ma

EnerGaïa – Le Forum européen des énergies renouvelables

Événement virtuel
9 et 10 décembre
energaia.fr

Sustainable Cities and Landscapes Conference and PhD Symposium

Événement virtuel
14 au 18 décembre
apru-scl-2020.org

Assises européennes de la transition énergétique

Dunkerque (France)
12 au 14 janvier
assises-energie.net

Climate Adaptation Summit Online

Événement virtuel
25 janvier
climateadaptationsummit.gca.org

34^e Congrès annuel AMORCE

Troyes (France)
3 au 5 février
amorce.asso.fr/evenement/amorce-congres-annuel-2021

CHANGEMENTS CLIMATIQUES IMPACTS LOCAUX RÉSILIENCE MUNICIPALE PLANS D'ACTION

CLASSE VIRTUELLE

DANS L'ACTION CLIMATIQUE PAR L'ADAPTATION

UNE APPROCHE
LUDIQUE UNIQUE :
LE JEU CLIMAT
EN MODE VIRTUEL!
**INSCRIPTION
GRATUITE!**
UMQ.QC.CA/FORMATIONS



La voix des GOUVERNEMENTS de proximité



Une activité financée grâce au Fonds vert dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques.

LA TOILETTE, c'est pas une POUBELLE



Les lingettes, les tampons, les serviettes sanitaires et tous les autres déchets ne doivent jamais être jetés à la toilette.

Pour connaître les bons gestes et tester vos connaissances, visitez :

**PENSEZ
BLEU.com**

FIERS PARTENAIRES :

