

Octobre 2021
Numéro 03

Le Climat *oscope*

**PORTRAIT DES AVANCÉES
SCIENTIFIQUES SUR LES
CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

CLIMATOSCOPE.CA

Dans ce numéro

**DOSSIER SPÉCIAL
ÉLECTIONS MUNICIPALES**

**BILAN CLIMATIQUE DE JUSTIN TRUDEAU
NOUVEAUTÉ : « LES JEUNES POUSSES »**

L'OBSOLESCENCE PRÉMATURÉE

**RÉDUCTION DES GES
DU SECTEUR AGRICOLE**

**PERSONNES HANDICAPÉES
ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

**IMPACTS DES CHANGEMENTS
CLIMATIQUES SUR LA RESSOURCE
EN EAU AU QUÉBEC**

**LE VÉLO D'HIVER : INFRASTRUCTURES
CONTRE TEMPÉRATURE**

03

Le Climatoscope

À propos

Le Climatoscope est une revue francophone de vulgarisation scientifique portant sur les changements climatiques, publiée annuellement et s'adressant à un lectorat averti, mais non expert. Rassemblant des articles produits par des chercheurs et des chercheuses de toutes disciplines, *Le Climatoscope* dresse un état des connaissances scientifiques et présente les toutes dernières initiatives et innovations en matière de changements climatiques. Fondée par une équipe de professeurs et professeures de l'Université de Sherbrooke, la revue favorise la diffusion et la sensibilisation face aux plus récentes avancées scientifiques en la matière, contribuant ainsi au développement des capacités et à la réflexion sur les problèmes, les enjeux, les défis et les solutions pour faire face à cette réalité.

© Le Climatoscope

Dépôt légal : quatrième trimestre 2021
Bibliothèque et Archives Canada
Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISSN 2562-8011

Crédit photo couverture : Mehmet Turgut Kirkgo

LE CLIMATOSCOPE

2500, boulevard de l'Université
Sherbrooke (Québec) J1K 2R1

CLIMATOSCOPE.CA



DIRECTION

Annie Chaloux, Professeure à l'École de politique appliquée de l'Université de Sherbrooke

COMITÉ SCIENTIFIQUE

Gabriel Blouin-Genest, Professeur à l'École de politique appliquée de l'Université de Sherbrooke

Annie Chaloux, Professeure à l'École de politique appliquée de l'Université de Sherbrooke

Dominique Gravel, Professeur au Département de biologie de l'Université de Sherbrooke

Alain Webster, Professeur à l'École de gestion de l'Université de Sherbrooke

COORDONNATEUR

Sylvain Vigier

RÉVISION LINGUISTIQUE

Jeanne Séguin-Laflamme

Catherine Dussault Frenette

REMERCIEMENTS

Nous remercions sincèrement tous les évaluateurs et toutes les évaluatrices ayant contribué à ce numéro.

PARTENAIRES PRINCIPAUX



Centre universitaire de formation en environnement et développement durable



Conseil de recherches en sciences humaines du Canada

Social Sciences and Humanities Research Council of Canada



PARTENAIRES

gériq : Groupe d'études et de recherche sur l'international en la Québécois



Table des matières

INTRODUCTION

Aube ou crépuscule ? L'équipe du Climatoscope	5
---	---

ÉDITORIAL

Uni.e.s dans la science... Pour le climat Alain Webster et Corine Le Quéré	7
--	---

PERSPECTIVES

« Alerte rouge pour l'humanité » : ce qu'il faut retenir du plus récent rapport du GIEC Philippe Simard	10
---	----

Is Canada really back? Un état des lieux de l'ambition climatique du Canada sous l'ère du gouvernement de Justin Trudeau Étienne Pomerleau-Landry, Philippe Simard et Annie Chaloux	14
---	----

L'obsolescence prématurée de nos produits de consommation : Un débat à remodeler Anaïs Michel	20
---	----

Quand publicité automobile et cibles climatiques ne font pas bon ménage Andréanne Brazeau et Julie-Christine Denoncourt	25
---	----

SCIENCES ET TECHNOLOGIES

L'agroforesterie, une mesure d'adaptation contre les changements climatiques Geneviève Gagné	32
--	----

Agriculture et agriculture biologique : sols en culture, émissions de N₂O et transition agroécologique Gilles Gagné	37
--	----

Portrait des allergies au pollen chez la population québécoise Magalie Canuel, Pierre Valois, Maxime Tessier, Louis-Philippe Boulet, Jean-Nicolas Boursiquot et Denis Talbot	43
--	----

Les alliés invisibles des érablières Joey Chamard	49
---	----

Changements de population associés aux événements climatiques dans les basses terres mayas Benjamin Keenan	53
--	----

Conséquences du réchauffement climatique sur les structures de protection côtière Sergio Croquer, Pilar Díaz-Carrasco, Vahid Tamimi, Jay Lacey et Sébastien Poncet	57
--	----

L'amélioration de la résilience des forêts face aux épisodes climatiques extrêmes : savoir lire entre les cernes Claire Depardieu, Martin Girardin, Simon Nadeau, Sébastien Gérard, Patrick Lenz, Manuel Lamothe, Jean Bousquet et Nathalie Isabel	64
--	----

Les métaux lourds et les changements climatiques : Une histoire complexe qui continue à s'écrire Jean-Philippe Bellenger, Céline Gueguen et Debra Hausladen	70
---	----

Impact des changements climatiques sur la recharge des eaux souterraines dans le sud du Québec Emmanuel Dubois, Marie Larocque et Sylvain Gagné	76
---	----

DROIT ET POLITIQUE

Le Québec et sa lutte contre les changements climatiques : mise en œuvre de l'Accord de Paris 82
Annie Chaloux, Philippe Simard et Jennyfer Boudreau

Un modèle de gouvernance de l'adaptation globale praticable au plan d'une MRC 88
Alain Létourneau

L'adaptation de la gestion des barrages aux changements climatiques 95
Catherine Choquette, Mélanie Trudel, Robert Leconte, Julia Santos Silva et Ayoub Hammoudi

LES JEUNES POUSSÉS

Victimes de la mode 102
La « fast fashion » n'est plus tendance

La cour de récré 103
Convertir les cours d'école minérales en oasis de fraîcheur

2041 : l'Odyssée numérique 103
Télétravailler en région est-il un scénario d'avenir ?

De quel bois j'me chauffe 103
Le chauffage au bois est-il une option pour diminuer les émissions de GES au Québec ?

Attrape-moi si tu peux 104
Enjeux de la captation du carbone

Le service est offert 104
Donner un prix à la Nature

Une pratique durable du génie 105
Intégrer le développement durable au cursus en génie civil

DOSSIER : PERSPECTIVES MUNICIPALES

La démocratie municipale : pilier de la transition écologique en milieu rural 106
Pierre-Luc Baril

L'adaptation aux changements climatiques dans la planification urbaine : enseignements du Labo Climat Montréal 111
Alexis Guillemard et Hélène Madénian

Réflexion entourant l'intégration de la gestion durable et *in situ* des eaux de pluie dans les outils réglementaires 117
Catherine Fournier et Michel Rochefort

Lutter contre les îlots de chaleur urbains dans un contexte de changements climatiques 124
Laurie-Maude Drapeau

ENJEUX DE SOCIÉTÉ

Les personnes handicapées dans le contexte de la crise climatique 131
Sébastien Jodoin, Jean-Philippe Lemay, Nilani Ananthamoorthy et Katherine Lofts

Faire d'une pierre trois coups avec le vélo d'hiver : Plaisir, santé et lutte aux changements climatiques 136
Joanie Gervais, Josyane Lapointe, Célia Kinsbury et Paquito Bernard

La sensibilisation aux changements climatiques au prisme de la preuve photographique : le cas des groupes environnementaux 142
Elyse Boivin

Les changements climatiques comme inégalités sociales de santé : le cas des milieux urbains au Québec 147
Léa Ilardo

INTRODUCTION : AUBE OU CRÉPUSCULE ?

Crédit photo : Karsten Wurth

Indonations historiques, records de températures, feux de forêts aux quatre coins du globe, sécheresses, pertes de rendement agricoles dans plusieurs régions, pluies diluviennes... L'année 2021 nous rappelle avec force les conséquences des changements climatiques.

Les activités humaines sont désormais considérées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) comme étant « incontestablement » responsables des changements climatiques observés sur la planète et des bouleversements climatiques qui les accompagnent. Qui plus est, les premières victimes sont les populations humaines, et au premier chef, celles qui souffrent déjà de pauvreté et de grande vulnérabilité.

Le premier volet du 6^e rapport du GIEC, paru en août dernier, est clair à ce sujet : nous devons cohabiter avec ces phénomènes climatiques extrêmes pendant encore des décennies, car notre planète s'est déjà réchauffée de plus de 1,1°C depuis l'ère préindustrielle et nos émissions ne cessent d'augmenter. Et les défis politiques et économiques semblent insurmontables pour ne pas excéder un réchauffement de plus de 1,5°C d'ici la fin du siècle.

Pourtant, les connaissances et innovations scientifiques n'ont jamais été aussi nombreuses et accessibles. Des chercheur.e.s de tout horizon travaillent d'arrache-pied pour nous donner les moyens d'atténuer nos émissions et de nous adapter à ce monde en transformation. Des solutions sont à portée de main, et c'est aussi à nous, comme citoyen.ne, décideur.e ou entrepreneur.e, de les saisir et d'en faire des leviers de changements, tant à l'échelle individuelle que collective, pour que nous puissions atteindre les objectifs que nous nous sommes fixés collectivement.

L'automne 2021 est d'ailleurs une occasion de faire avancer ces changements : élections générales au Canada, élections municipales à travers le Québec, Conférence sur le climat de Glasgow (CdP26). Les occasions ne manquent pas pour prendre conscience de l'importance de ces questions et mettre en place de véritables dynamiques de transformation collective.

Ce troisième numéro du *Climatoscope* propose un portrait des avancées scientifiques et des nouvelles connaissances sur les changements climatiques qu'il vous revient, cher public, de saisir pour en faire de véritables leviers de changement. Il propose des réflexions innovantes sur une variété de sujets et enjeux entourant les changements climatiques, allant de la reforestation et la séquestration du carbone dans les systèmes agricoles, aux impacts de la publicité automobile, le défi de l'obsolescence prématurée ou la mise en œuvre de l'Accord de Paris par le Québec. Autant de connaissances et d'avancées scientifiques qui nous permettent de réfléchir et de répondre à l'urgence actuelle.

Dans ces pages, vous trouverez également un dossier spécial « perspectives municipales ». Un rappel des échéances électorales et de l'importance des paliers de gouvernance locaux dans l'élaboration de stratégies pour répondre concrètement et collectivement à l'urgence climatique. Des articles portant sur la démocratie municipale, l'adaptation aux changements climatiques dans la planification urbaine ou concernant les îlots de chaleur urbains sont ainsi abordés, donnant encore ici aux citoyennes et citoyens des leviers d'action et de réflexion concrets pour faire face à la situation actuelle.

Enfin, dans ce numéro, nous vous proposons une nouveauté. Alors que le travail de recherche réalisé par les étudiant.e.s à la maîtrise et au doctorat est un élément essentiel à la production de données et connaissances scientifiques des universités, nous avons voulu cette année offrir un espace de diffusion à ces travaux dans une nouvelle section s'intitulant « Les jeunes pousses ». Par cette lecture, vous pourrez ainsi constater l'intelligence, l'innovation et l'engagement de la relève scientifique qui arrive sur le marché du travail.

Nous vous souhaitons donc de belles lectures, et nous serons heureuses et heureux de pouvoir continuer à échanger via notre site web et nos médias sociaux ainsi que lors de nos différentes activités qui seront offertes cette année.

L'équipe du Climatoscope

VISEZ L'EXCELLENCE EN RECHERCHE

L'UdeS représente plus que jamais une force stratégique en recherche.

Nous sommes l'université canadienne ayant connu la plus grande progression de ses activités de recherche au cours des 10 dernières années, faisant ainsi partie des 15 universités affichant les plus importants revenus de recherche au pays. Notre indice de citation dans les ouvrages savants est élevé et l'intensité de nos activités de recherche est reconnue et enviée dans de nombreuses filières.

Pour la recherche, choisissez l'UdeS.



UNI.E.S DANS LA SCIENCE... POUR LE CLIMAT

Alain Webster

Président du Comité consultatif sur les changements climatiques (Québec)
Professeur, École de gestion
Université de Sherbrooke

Corine Le Quéré

Présidente du Haut conseil pour le climat (France)
Professeure, School of Environmental Sciences
University of East Anglia

Membre du comité scientifique du *Climatoscope* depuis sa création, Alain Webster a été nommé par le gouvernement du Québec début 2021 président du comité consultatif sur les changements climatiques. C'est avec cette nouvelle casquette de « conseiller sur les politiques et les stratégies en matière de lutte contre les changements climatiques, en tenant compte de l'évolution des connaissances scientifiques et technologiques » que *Le Climatoscope* accueille son éditorial pour le 3^e numéro de la revue.

Il a convié son homologue française présidente du Haut conseil pour le climat, Mme Corine Le Quéré, à co-signer ce texte, pour rappeler que la lutte aux changements climatiques n'a pas de frontière et que *Le Climatoscope* s'adresse à toute la francophonie.

Le titre allait de soi pour un éditorial dans une revue comme *Le Climatoscope* consacrée à la diffusion de la recherche scientifique dans le domaine des changements climatiques. La communauté scientifique est en effet unie dans la science par un large consensus entourant la gravité de cette transformation climatique et par une collaboration exceptionnelle couvrant les multiples aspects de cette problématique. Et elle est également unie pour le climat, dans une démarche consistant à identifier des voies de passage contribuant à limiter ce risque de désastre écologique et humain. Nous avons donc conclu que nous allions écrire cet éditorial sur un ton positif!

Le titre fait également référence au rapport *United in Science 2021* publié par l'Organisation météorologique mondiale (OMM, 2021). Ce rapport illustre bien cette collaboration puisqu'il a été réalisé par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le Projet mondial sur le carbone, le Programme mondial de recherche sur le climat et le Met Office du Royaume-Uni. Ces organisations présentent, collectivement, le constat scientifique sur l'urgence climatique.

Dans l'avant-propos du rapport, le Secrétaire général de l'ONU, António Guterres, expose la gravité de la situation : « Nous restons très en retard sur les objectifs de l'Accord de Paris. Cette année, les émissions émanant de combustibles fossiles ont rebondi, les concentrations de gaz



Crédit photo : Vlad Tchompalov

à effet de serre ont continué à augmenter et de graves phénomènes météorologiques amplifiés par les activités humaines ont affecté la santé, les vies et les moyens de subsistance des populations de chaque continent. À moins d'une réduction immédiate, rapide et à grande échelle des émissions de gaz à effet de serre, il sera impossible de limiter le réchauffement à 1,5 °C, ce qui aura des conséquences catastrophiques pour les populations et la planète dont nous dépendons ».

Sur une note plus optimiste, le rapport mentionne que : « L'un des développements les plus importants et les plus encourageants de la politique climatique de 2020 est le nombre croissant de pays qui se sont engagés à atteindre l'objectif zéro émission nette d'ici le milieu du siècle [...]. Pour faire des progrès significatifs vers la réalisation de l'objectif à long terme de l'Accord de Paris d'ici 2030, deux étapes sont requises de toute urgence. Premièrement, davantage de pays doivent élaborer des stratégies à long terme conformes à l'Accord de Paris; et deuxièmement, les engagements nets zéro doivent être traduits en politiques et actions fortes à court terme et reflétés dans les CDN de 2030. La manière dont les pays choisissent de concevoir et de mettre en œuvre les plans de relance COVID-19 est susceptible d'être cruciale dans ce contexte » (OMM, 2021, p.30).

Cet appel commun de plusieurs organismes se retrouve également de façon éloquente dans la décision de plus de 200 revues scientifiques du domaine de la santé de publier conjointement un éditorial démontrant là aussi l'ampleur de ces perturbations et leurs implications majeures sur la santé. Le constat est clair : « La plus grande menace pour la santé publique mondiale est l'échec continu des dirigeants mondiaux à maintenir la hausse de la température mondiale en dessous de 1,5 °C et à restaurer la nature » (The Lancet, 2021).

Cette collaboration scientifique s'illustre également dans le rapport conjoint de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) et du GIEC, sur la biodiversité et les changements climatiques paru en 2021. Bien que ces deux grandes priorités soient généralement traitées en parallèle, une approche plus coordonnée peut être porteuse puisque des politiques de réduction des émissions ambitieuses de GES permettent de protéger la biodiversité et les contributions apportées par la nature permettent d'atténuer le changement climatique (IPBES, 2021).

Des rapports du GIEC à ceux de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), de l'OMS, du Fonds monétaire international (FMI), de la Banque mondiale ou de la Commission mondiale sur l'économie et le climat, un large consensus scientifique se dessine sur les risques climatiques. Cette modification du climat mondial, causée par l'activité humaine,

engendre ou contribue à accentuer les principaux phénomènes climatiques en plus de contribuer fortement à la dégradation de la biodiversité.

Les contributions scientifiques, dont notamment le rapport spécial du GIEC en 2018, aura ainsi permis de comprendre que : « toute augmentation supplémentaire de la température, aussi minime soit-elle, a son importance, d'autant plus qu'un réchauffement de 1,5 °C ou plus augmentera le risque associé à des changements pérennes ou irréversibles, tels que la disparition de certains écosystèmes » (GIEC, 2018).

L'ensemble de ces synthèses scientifiques nous confronte à une réalité qui heureusement n'est pas inéluctable. Pour Valérie Masson-Delmotte, coprésidente du Groupe de travail I du GIEC : « nous avons aujourd'hui une image beaucoup plus claire du climat passé, présent et futur, ce qui est essentiel pour comprendre ce vers quoi nous allons, ce qui peut être fait et comment nous préparer » (GIEC, 2021). Dans ce contexte, les travaux du GIEC et notamment le rapport de 2021, contribuent à préciser les limites physiques à ne pas dépasser. Pour se conformer à l'objectif de l'Accord de Paris visant à « poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C », nous disposons collectivement d'un budget résiduel de carbone limité à 500 Gt de CO₂, un niveau qui sera atteint dès la décennie 2030 au rythme actuel. La voie de passage vers le respect de cet objectif est donc très étroite, mais toujours possible. Elle passe inévitablement par une transformation complète de notre système énergétique pour atteindre, en trois décennies, une neutralité carbone.

De plus, le rapport spécial de l'Agence internationale de l'Énergie (AIE), « Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector » décrit une trajectoire techniquement et économiquement faisable pour atteindre cette neutralité carbone. Les réductions des émissions devant être effectuées d'ici 2030 proviennent dans l'ensemble de technologies facilement disponibles. Mais ensuite, près de la moitié des réductions devra provenir de technologies qui n'en sont actuellement qu'à la phase de démonstration ou de prototype. « Cela exige que les gouvernements augmentent et redéfinissent rapidement leurs dépenses en recherche et développement - ainsi que pour la démonstration et le déploiement de technologies énergétiques propres - en les plaçant au cœur de la politique énergétique et climatique » (Agence internationale de l'énergie, 2021).

Cette mobilisation de la communauté scientifique sera donc encore plus essentielle dans les prochaines années afin de réaliser cette transition vers une économie carboneutre et de mettre en œuvre les mesures d'adaptation adéquates pour limiter les impacts actuels et futurs des perturbations climatiques. L'ampleur de cette recherche consacrée au climat s'illustre notamment

par la décision de l'Union européenne d'investir « jusqu'à 35 % de son budget Horizon Europe de 95,5 milliards d'euros dans la recherche et l'innovation pour lutter contre le changement climatique » (Commission européenne, 2021).

Cette mobilisation de la communauté scientifique est bien sûr insuffisante pour relever, seule, cette transformation de nos sociétés. Elle se double heureusement d'une mobilisation citoyenne majeure, notamment au niveau de la jeunesse, qui contribue à faire de cet enjeu une priorité nationale et internationale en s'alimentant de ce consensus scientifique. De nombreux acteurs du milieu économique et financier contribuent également à mettre en œuvre cette nouvelle économie reposant sur la neutralité carbone en déployant l'innovation nécessaire à cette transition. Les différents paliers de gouvernements ont aussi un rôle fondamental à jouer. Ainsi, comme le rappelle l'AIE : « Les initiatives émanant des particuliers, de la société civile, des entreprises et des investisseurs sont déterminantes, mais ce sont les gouvernements qui disposent de la plus grande capacité à façonner notre destin énergétique. Ce sont eux qui fixent les conditions qui déterminent les innovations et les investissements dans le secteur de l'énergie. C'est vers eux que le monde se tourne pour obtenir des signaux clairs et une orientation sans équivoque quant à la trajectoire à suivre » (Agence internationale de l'énergie, 2019).

Dans cette gestion gouvernementale, la communauté scientifique est également amenée à jouer un rôle de mieux en mieux reconnu. Ainsi, à l'instar du Royaume-Uni qui a créé dès 2008 le *Climate Change Committee*, la France s'est dotée également en 2018 d'un comité scientifique indépendant, le *Haut conseil pour le climat*, chargé d'émettre des avis et recommandations sur la mise en œuvre des politiques et mesures publiques pour réduire les émissions de GES (Haut conseil pour le climat, 2021). Le Québec a fait de même en 2020, à la suite de l'adoption de la loi 44, avec la création du *Comité consultatif sur les changements climatiques* (Gouvernement du Québec, 2020). Plus récemment, l'Union européenne s'est également dotée d'un *Conseil consultatif scientifique européen sur le changement climatique*. Pour l'Union européenne, ces comités « peuvent jouer un rôle important, en fournissant notamment des avis scientifiques spécialisés sur la politique climatique aux autorités nationales compétentes » (Union européenne, 2021).

La communauté scientifique aura été, est et sera encore plus interpellée, à travers toutes les disciplines, à contribuer à la conception de voies d'avenir permettant de mieux concrétiser cette lutte contre les changements climatiques. Face à cette menace existentielle, le défi reste colossal. Mais promouvoir des démarches basées sur la science qui alimenteront le débat

démocratique ne peut que maximiser nos chances de définir adéquatement ces étroites voies de transition nous menant, en trois petites décennies, à des sociétés neutres en carbone et résilientes.

RÉFÉRENCES

Agence internationale de l'Énergie. (2019). *World Energy Outlook 2019*.

Agence internationale de l'Énergie. (2021). *Pathway to critical and formidable goal of net-zero emissions by 2050 is narrow but brings huge benefits, according to IEA special report*. Communiqué de presse, 18 mai 2021.

Commission européenne. (2021). *EU to establish climate change science advisory board*. EURAXESS, 26 avril 2021.

Gouvernement du Québec. (2020). *Loi visant principalement la gouvernance efficace de la lutte contre les changements climatiques et à favoriser l'électrification*.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2018). *Approbation par les gouvernements du Résumé à l'intention des décideurs relatif au Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C*. Communiqué de presse. 2018/24/PR, 8 octobre 2018.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2021). *Changement climatique généralisé et rapide, d'intensité croissante*. Communiqué de presse. 2021/17/PR, 9 août 2021.

Haut conseil pour le climat. (2021). *Renforcer l'atténuation, engager l'adaptation*.

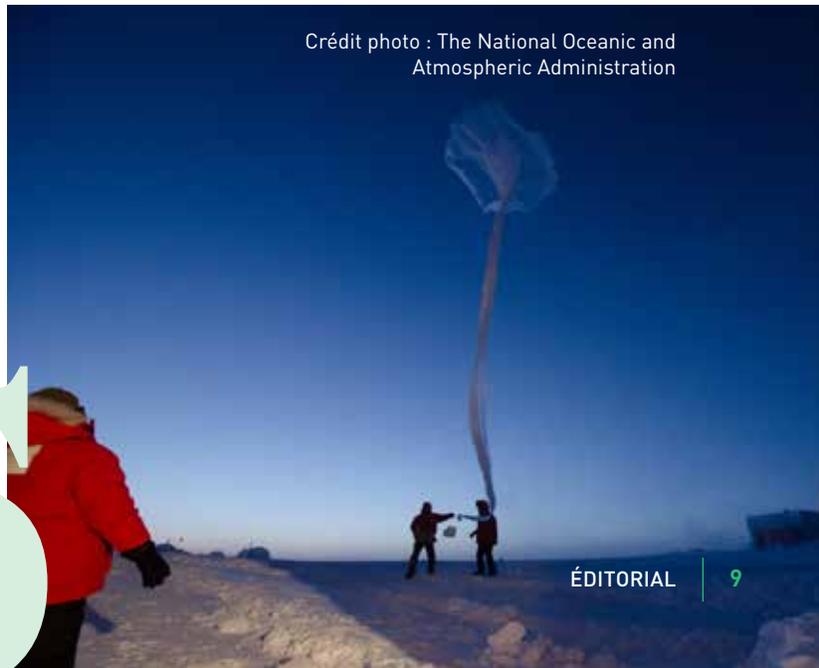
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (2021). *IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change*.

Organisation Météorologique Mondiale. (2021). *United in Science*.

The Lancet. (2021). *Call for emergency action to limit global temperature increases, restore biodiversity, and protect health*. 6 septembre 2021.

Union européenne. (2021). Règlement établissant le cadre requis pour parvenir à la neutralité climatique et modifiant les règlements (CE) n° 401/2009 et (UE) 2018/1999. Règlement (UE) n° 2021/1119 du 30/06/21

Crédit photo : The National Oceanic and Atmospheric Administration



Perspectives

« ALERTE ROUGE POUR L'HUMANITÉ » : CE QU'IL FAUT RETENIR DU PLUS RÉCENT RAPPORT DU GIEC

Philippe Simard

Professionnel de recherche
École de politique appliquée
Université de Sherbrooke

Le 9 août 2021, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a publié le premier volet de son 6^e Rapport d'évaluation sur les changements climatiques. Intitulé *Changement climatique : les éléments scientifiques*, cette publication expose les connaissances scientifiques les plus à jour sur le système climatique et les changements climatiques. Il sera suivi du volet « Conséquences, adaptation et vulnérabilité » en février 2022 et du volet « Atténuation » en mars 2022.

Qualifié d'« alerte rouge pour l'humanité » par le Secrétaire général des Nations Unies, ce rapport dresse un portrait sombre et inquiétant du monde de demain si nous ne parvenons pas à réduire immédiatement, rapidement et massivement les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES).

À la lumière des bouleversements climatiques actuels et à venir, il est essentiel de comprendre la teneur et les implications de ce rapport. Dans ce court texte, nous présentons cinq éléments à retenir de ce premier volet du 6^e Rapport d'évaluation du GIEC :

1. La Terre se réchauffe et la responsabilité humaine est sans équivoque ;
2. Le réchauffement climatique affecte déjà toutes les régions du monde ;

3. Selon tous les scénarios envisagés, la Terre continuera de se réchauffer ;
4. Plus la Terre se réchauffera, plus les conséquences seront importantes ; et
5. Limiter la hausse des températures est toujours possible.

Cette lecture en cinq points du rapport du GIEC permet de comprendre l'évolution dangereuse du climat causée par les activités humaines et de constater l'ampleur du travail à accomplir pour éviter le pire.

La Terre se réchauffe et la responsabilité humaine est sans équivoque

Dès les premières pages du rapport, les experts du GIEC sont sans équivoque : le rôle des activités humaines dans le réchauffement de l'atmosphère, des océans et des surfaces terrestres est « incontestable » (IPCC, 2021, p. 5). Depuis l'ère préindustrielle, les activités humaines, et notamment l'utilisation de combustibles fossiles et la déforestation, ont mené à l'augmentation des concentrations de

GES dans l'atmosphère, ce qui a réchauffé la planète. La température moyenne mondiale a déjà augmenté de 1,07 °C depuis 1850-1900, et chacune des quatre dernières décennies a été successivement plus chaude que sa précédente, et ce, depuis 1850.

Comme l'illustre la Figure 1, ce réchauffement planétaire est sans précédent depuis au moins les 2000 dernières années (a) et les activités humaines en sont les principales responsables (b).

Le réchauffement climatique affecte déjà toutes les régions du monde

Le réchauffement de la planète a causé plusieurs changements rapides et généralisés dans l'atmosphère, les océans, la cryosphère et la biosphère. Notons notamment le recul global des glaciers, la diminution de la superficie de la banquise arctique, la diminution de la couverture neigeuse printanière dans l'hémisphère nord, la fonte de la calotte glaciaire du Groenland, le réchauffement de la couche supérieure des océans et l'augmentation globale du niveau de la mer (IPCC, 2021, p. 6).

Depuis les années 1950, les vagues de chaleur, les sécheresses et les pluies intenses ont augmenté en nombre et en intensité dans la plupart des régions du monde (IPCC, 2021, p. 10-13). La fréquence des événements météorologiques extrêmes combinés a aussi augmenté, comme les vagues de chaleur et sécheresses

simultanées, les feux de forêt causés par du temps chaud, sec et venteux ou encore les inondations causées par des tempêtes et des pluies intenses. Par ailleurs, les cyclones tropicaux de force majeure (catégories 3-5) ont connu une augmentation depuis les 40 dernières années. Les vagues de froid extrême sont quant à elles moins fréquentes et moins intenses depuis les années 1950.

Selon tous les scénarios envisagés, la Terre continuera de se réchauffer

Le rapport du GIEC présente cinq scénarios possibles des émissions mondiales de GES à l'horizon de 2100, du moins émetteur au plus émetteur (voir Tableau 1).

Même dans le scénario le **plus optimiste** (SSP1-1.9 : réduction immédiate et drastique des émissions et carboneutralité vers 2050), la température risque d'atteindre, voire de dépasser la barre du +1,5 °C par rapport à l'ère préindustrielle d'ici les dix à vingt prochaines années. La température pourrait ensuite diminuer vers la fin du siècle.

Selon les scénarios **plus pessimistes** (SSP3-7.0 et SSP5-8.5 : augmentation des émissions), le réchauffement climatique pourrait même atteindre des niveaux extrêmes (et catastrophiques) de +3,6 °C à +4,4 °C, d'ici la fin du siècle.

Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

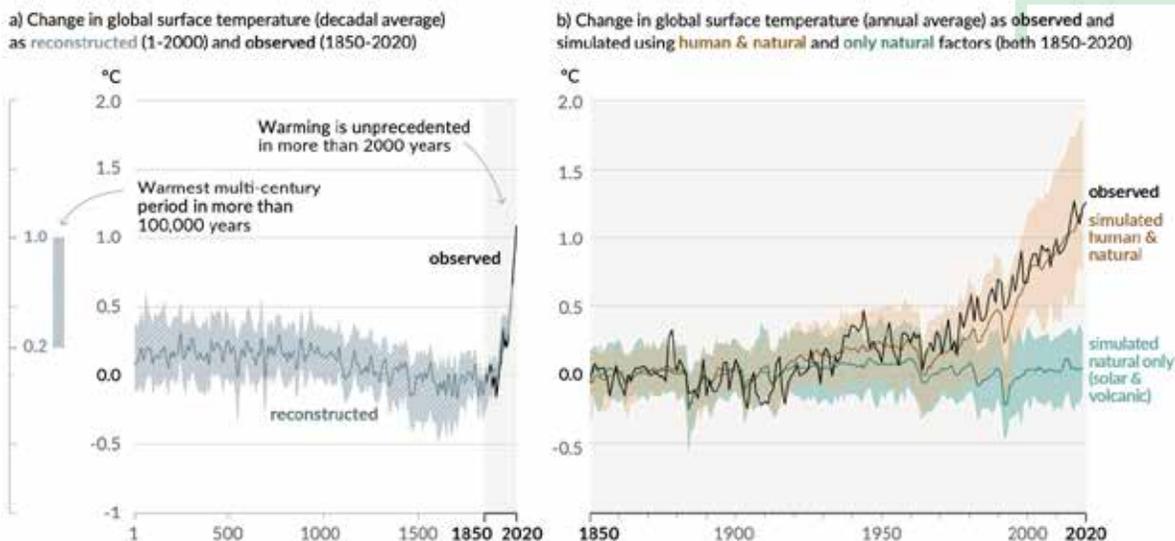


Figure 1. Changements de la température mondiale par rapport à 1850-1900. Source : IPCC, 2021.

Plus la Terre se réchauffera, plus les conséquences seront importantes

Il existe une relation directe entre le réchauffement du climat et l'amplification des changements climatiques. Même avec un réchauffement de 1,5 °C, il y aura plus de vagues de chaleur, les saisons chaudes seront plus longues et les saisons froides seront écourtées (GIEC, 2021, p. 2).

Selon les experts du GIEC, chaque augmentation supplémentaire du réchauffement climatique mènera notamment à une :

- Augmentation de l'intensité et de la fréquence des extrêmes de chaleur, y compris des vagues de chaleur, des précipitations intenses, ainsi que des sécheresses agricoles et écologiques dans certaines régions;
- Augmentation de la fréquence des vagues de chaleur océaniques;
- Augmentation de la proportion des cyclones tropicaux de catégories 4 et 5;
- Amplification du dégel du pergélisol et de la perte de la couverture neigeuse saisonnière, de la glace terrestre et de la glace de mer arctique;
- Intensification des événements climatiques très humides et très secs pouvant provoquer inondations et sécheresses; et
- Diminution de l'efficacité des puits de carbone naturels, jusqu'à une possible saturation (IPCC, 2021, p. 19-26).

Ces conséquences varieront selon les régions, mais toutes les régions du monde seront affectées. Certains changements, comme le réchauffement et l'acidification des océans, la fonte des glaciers, la perte de carbone du pergélisol à la suite de son dégel ou encore l'élévation du niveau de la mer seront irréversibles pendant des siècles, voire des millénaires (IPCC, 2021, p. 28).

Limiter la hausse des températures est toujours possible

Selon le GIEC, il est toujours possible de limiter le réchauffement climatique de sorte à éviter les impacts catastrophiques des changements climatiques. À cet égard, seules les trajectoires d'émissions compatibles avec un réchauffement limité à 1,5 °C et en dessous de 2 °C (voir scénarios SSP1-1.9 et SSP1-2.6 du Tableau 1) sont compatibles avec l'Accord de Paris et permettront de limiter les fortes précipitations et les inondations, le dépassement des seuils de chaleur dangereux ainsi que l'augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes liés à l'élévation du niveau de la mer (IPCC, 2021, p. 40-41).

Comme présenté à la Figure 2, limiter le réchauffement climatique en dessous de 2 °C (trait bleu foncé) exigerait une réduction immédiate et soutenue des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et l'atteinte de la carboneutralité vers 2075-2080. Le limiter à 1,5 °C (trait bleu pâle) exigerait plutôt une réduction immédiate, rapide et massive des émissions mondiales de CO₂ (environ de moitié d'ici 2030), puis l'atteinte de la carboneutralité vers 2050.

	Court terme 2021-2040	Moyen terme 2041-2060	Long terme 2081-2100
Scénarios	Estimations du réchauffement planétaire (°C)		
SSP1-1.9	1,5	1,6	1,4
SSP1-2.6	1,5	1,7	1,8
SSP2-4.5	1,5	2,0	2,7
SSP3-7.0	1,5	2,1	3,6
SSP5-8.5	1,6	2,4	4,4

Source : Adapté de IPCC, 2021, p. 18.

Tableau 1. Changements de la température mondiale selon cinq scénarios d'émissions.

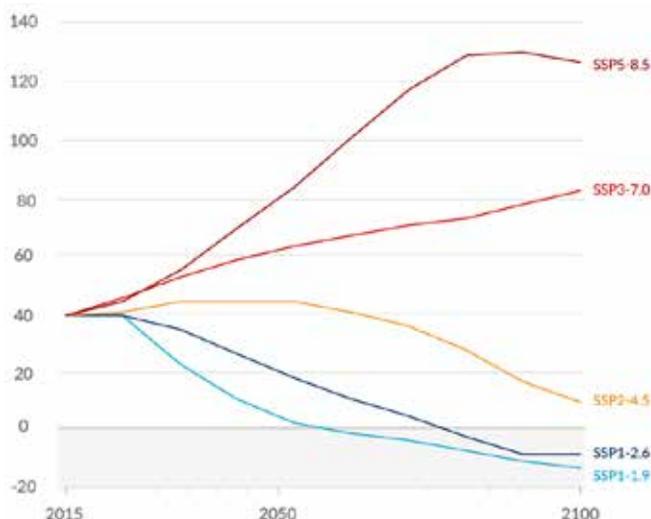


Figure 2. Évolution des émissions mondiales de CO₂ selon les cinq scénarios d'émissions (GtCO₂ par année). Source : IPCC, 2021, p. 16.

Conclusion

En adoptant l'Accord de Paris en 2015, la communauté internationale s'est engagée à déployer des efforts pour contenir le réchauffement climatique en dessous de 2 °C, voire à 1,5 °C [Accord de Paris, 2015, art. 2.1]. Or, ce premier volet du 6^e Rapport d'évaluation du GIEC est un dur rappel à la réalité : un écart immense sépare l'action politique actuelle de ce qui est nécessaire pour limiter le réchauffement climatique, surtout à 1,5 °C. Selon les trajectoires des émissions mondiales de GES actuelles, nous nous dirigeons droit vers un dépassement du seuil des 3 °C (PNUE, 2020, p. 11).

En novembre 2021, lors de la 26^e Conférence des Parties (CdP) à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, les gouvernements devront arriver à la table des négociations avec des engagements plus ambitieux de réduction des émissions de GES. À cette occasion, il sera essentiel de viser le seuil de 1,5 °C si nous souhaitons collectivement limiter les pires impacts des changements climatiques. Pour ce faire, les gouvernements devront cibler une diminution de moitié de leurs émissions de GES d'ici la fin de la décennie et viser la carboneutralité vers 2050.

Atteindre la carboneutralité vers 2050 est possible, mais exigera des changements profonds dans la manière dont nous consommons notre énergie. Actuellement, les combustibles fossiles (c.-à-d. : charbon, pétrole et gaz naturel) répondent à environ 80 % de nos besoins en énergie (AIE, 2021, p. 57). Pour devenir carboneutre en 2050, cette part devra passer à 20 %. Cela n'exigera rien de moins qu'une mise au rencart de tout nouveau champ pétrolier ou gazier, et de toute nouvelle mine

de charbon au-delà des projets déjà sur les rails aujourd'hui, estime l'Agence internationale de l'énergie (AIE, 2021, p. 21).

En définitive, rappelons que, même en limitant le réchauffement climatique à 1,5 °C, les événements météorologiques extrêmes s'intensifieront dans toutes les régions du monde. Et donc, au-delà des efforts de réduction des émissions de GES, des efforts gigantesques devront être déployés à tous les paliers gouvernementaux pour permettre aux communautés, surtout aux plus vulnérables, de s'adapter aux impacts des changements climatiques. Mais pour l'instant, l'adaptation demeure l'enfant pauvre de la lutte contre les changements climatiques. L'alerte rouge sonne fort... très fort !

RÉFÉRENCES

Accord de Paris. (2015).

https://unfccc.int/sites/default/files/french_paris_agreement.pdf

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GIEC]. (2021).

Communiqué de presse, 9 août. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release_fr.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2021).

Summary for Policymakers. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

Programme des Nations Unies pour l'environnement [PNUE].

(2020). *Rapport 2020 sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions*. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34438/EGR20ESF.pdf?sequence=28>



Crédit photo : Markus Spiske



Perspectives

IS CANADA REALLY BACK?

UN ÉTAT DES LIEUX DE L'AMBITION CLIMATIQUE DU CANADA SOUS L'ÈRE DU GOUVERNEMENT DE JUSTIN TRUDEAU

Étienne Pomerleau-Landry

Conseiller COPTICOM, stratégies et relations publiques

Philippe Simard

Professionnel de recherche
École de politique appliquée
Université de Sherbrooke

Annie Chaloux

Professeure
École de politique appliquée
Université de Sherbrooke

En décembre 2015, 195 pays ont adopté l'Accord de Paris à la 21^e Conférence des Parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), la plus vaste entente mondiale jamais conclue en matière de climat. Ce nouvel accord a pour objectif de renforcer les efforts pour contenir l'augmentation de la température moyenne mondiale en dessous de 2 °C et de poursuivre les actions pour limiter le réchauffement planétaire à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels.

Du côté canadien, l'adoption de ce nouvel accord international s'est faite dans un contexte de changement de gouvernement. Élu alors depuis à peine un mois, le nouveau gouvernement libéral de Justin Trudeau fait de l'enjeu climatique l'une de ses priorités, ce qui se traduira par une phrase qui deviendra célèbre ensuite : « *Canada is back my friends, and we are here to help* ». Ce moment marquera un virage symbolique sur la question du climat vis-à-vis du précédent gouvernement conservateur de Stephen Harper. Plus de cinq ans après

l'entrée en vigueur de l'Accord de Paris et à quelques semaines de la COP26 de Glasgow (1^{er} au 12 novembre 2021), peut-on affirmer que le Canada est véritablement « de retour » pour le climat ?

Afin de répondre à cette question, nous présentons un bref état des lieux de l'ambition climatique du Canada depuis l'arrivée de Justin Trudeau au pouvoir en 2015. Pour ce faire, nous définissons d'abord le niveau d'ambition climatique du Canada à la lumière de ses cibles antérieures, actuelles et futures de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Nous mesurons ensuite ce niveau d'ambition à partir des trois principaux instruments de l'action climatique canadienne des cinq dernières années, soit le *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques* (2016), le *Plan climatique renforcé* (2020) et le projet de loi C-12 sur l'atteinte de la carboneutralité (2020). Nous abordons finalement la principale faille de l'ambition climatique du Canada sous l'ère Trudeau, soit la poursuite du soutien politique et financier au secteur pétrolier et gazier.

Les cibles climatiques du Canada

Pour définir l'ambition climatique du Canada, il est nécessaire, d'une part, de revenir sur ses engagements climatiques historiques - de 1990 à aujourd'hui - et, d'autre part, de s'attarder aux cibles qu'il s'est fixées aux horizons 2030 et 2050.

LES CIBLES ANTÉRIEURES

Jusqu'à aujourd'hui, le Canada a pris plusieurs engagements visant l'atténuation des émissions de GES qui n'ont jamais été respectés (VGC, 2017). En 1992, en signant la CCNUCC, le Canada s'engageait à réduire ses émissions de GES pour les ramener aux niveaux de 1990 d'ici 2000 (613 mégatonnes d'équivalent de CO₂). En 2005, lors de l'entrée en vigueur du Protocole de Kyoto, le Canada avait pris l'engagement de diminuer ses émissions annuelles de GES de 6 % sous le niveau de 1990, pour la période 2008 à 2012 (576 mégatonnes). Or, ses émissions ont plutôt bondi de 17,7 % sur la période 1990 à 2012. En décembre 2011, le Canada s'est même retiré du Protocole de Kyoto; retrait qui est devenu effectif en 2012.

Puis, lors de la Conférence de Copenhague, en 2009, le Canada a présenté une cible de réduction de ses émissions pour 2020 établie à 17 % sous le niveau de

2005 (620 mégatonnes). Selon les dernières projections, cette cible n'a pas non plus été atteinte (ECCC, 2021a). En 2019, le Canada n'avait réduit ses émissions que de 9 mégatonnes (Mt), ou 1,1 % sous le niveau de 2005. Cela représente une augmentation nette de 21,2 % par rapport à 1990.

QU'EN EST-IL DES CIBLES ACTUELLES ?

Jusqu'à tout récemment, la cible du Canada pour 2030 était une réduction de 30 % des émissions annuelles de GES sous le niveau de 2005 (523 mégatonnes), une cible adoptée par le gouvernement Harper en 2015. En avril 2021, lors du Sommet mondial sur le climat organisé par le président américain Joe Biden récemment élu, le Canada a annoncé une nouvelle cible plus ambitieuse pour 2030, comprise entre 40 et 45 % sous le niveau de 2005 (438 à 401 mégatonnes) (ECCC, 2021b).

De même, en novembre 2019, le Canada s'est engagé à atteindre la carboneutralité d'ici 2050, cible d'atténuation actuellement inscrite dans le projet de loi C-12, *Loi concernant la transparence et la responsabilité du Canada dans le cadre de ses efforts pour atteindre la carboneutralité en 2050* (ECCC, 2021b)¹.

En somme, malgré une hausse récente de l'ambition de ses engagements climatiques, le Canada n'en a respecté aucun depuis 1990 (voir Tableau 1). Les promesses du gouvernement Trudeau se traduiront-elles par des actions concrètes menant à l'atteinte de ses nouveaux objectifs ?

Accords internationaux		Cibles (émissions en Mt)	Résultats (Mt)
Sommet de la Terre de Rio (année cible : 2000)		613 (niveau de 1990)	738
Protocole de Kyoto (années cibles : 2008-2012)		576 (moyenne de 6 % sous le niveau de 1990)	708
Accord de Copenhague (année cible : 2020)		620 (17 % sous le niveau de 2005)	730 (en 2019 ²)
Accord de Paris (année cible : 2030)	<i>Avant le 22 avril 2021</i>	523 (30 % sous le niveau de 2005)	-
	<i>Depuis le 22 avril 2021</i>	438 à 401 40 %-45 % sous le niveau de 2005	-
Objectifs à long terme (année cible : 2050)	<i>Avant C-12</i>	80 % sous le niveau de 2005	-
	<i>Depuis C-12</i>	Carboneutralité (cibles intermédiaires 2035, 2040 et 2045)	-

Tableau 1. Sommaire des cibles du Canada en matière de réduction de GES

1. Depuis la rédaction de cet article, le projet de loi C-12 a été sanctionné le 29 juin 2021.
2. Selon le dernier inventaire disponible (ECCC, 2021a).

Les trois principaux instruments de l'action climatique de l'ère Trudeau

Pour mesurer l'ambition climatique du gouvernement Trudeau, il est nécessaire d'examiner les principaux instruments qu'il a adoptés depuis 2015 pour atteindre les cibles susmentionnées, ainsi que ceux qu'il compte mettre en œuvre prochainement.

LE CADRE PANCANADIEN SUR LA CROISSANCE PROPRE ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Pour honorer ses engagements envers l'Accord de Paris (-30 % d'ici 2030), le Canada a publié, en 2016, le *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements*

climatiques (ci-après « Cadre pancanadien ») (ECCC, 2016), élaboré de concert avec les gouvernements provinciaux et territoriaux. À travers ce plan, le Canada a investi plus de 60 milliards \$ entre 2015 et 2019 dans des mesures de lutte contre les changements climatiques (voir Tableau 2). La contribution projetée des mesures du Cadre pancanadien à la réduction de GES est de 227 Mt. Une telle réduction équivaldrait à une réduction de 19 % des émissions de GES d'ici 2030 (ECCC, 2021b).

LE PLAN UN ENVIRONNEMENT SAIN ET UNE ÉCONOMIE SAIN

En décembre 2020, le Cadre pancanadien a été bonifié par le Plan *Un environnement sain et une économie saine* (ci-après « Plan climatique renforcé ») (ECCC, 2020). Celui-ci prévoit 64 nouvelles mesures ainsi que des investissements supplémentaires de l'ordre de 15 milliards \$ (voir Tableau 3). Il dédie aussi 6 milliards \$ à la Banque de l'Infrastructure du Canada pour des projets d'infrastructures vertes.

Réglementations/Mécanismes	Introduction de la première tarification du carbone à l'échelle canadienne, allant de 20 \$/tonne en 2019 à 50 \$/tonne en 2022
	Adoption de la <i>Norme sur les combustibles propres</i> , incluant l'essence et le diésel
	Resserrement des normes d'efficacité énergétique des véhicules
	Resserrement des normes des véhicules lourds
Cibles sectorielles	Adoption d'un nouveau code du bâtiment à consommation énergétique zéro émission
	Élimination des centrales thermiques au charbon d'ici 2030
Investissements	Réduction de 40 à 45 % des émissions de méthane du secteur pétrolier et gazier d'ici 2025 sous le niveau de 2012
	Incentifs à l'achat de véhicules « zéro émission »
	Investissements de près de 29 milliards \$ dans les infrastructures de transport en commun
	Investissements de plus de 9 milliards \$ dans les infrastructures vertes
	Création d'un Fonds pour une économie à faibles émissions de carbone de 2 milliards \$
	Création d'un Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophe de 2 milliards \$

Tableau 2. Sommaire des principales mesures du *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques* (2016)

Réglementations/Mécanismes	Hausse de la tarification du carbone, de 50 \$/tonne en 2022 à 170 \$/tonne en 2030
	Resserrement de la <i>Norme sur les combustibles propres</i>
	Harmonisation nord-américaine de la réglementation canadienne sur les véhicules légers pour l'après-2025
	Adoption de la Première stratégie d'adaptation aux changements climatiques
Investissements	Stratégie canadienne de l'hydrogène
	Financement permanent destiné au transport en commun
	Financement supplémentaire pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments
	Création d'un Fonds d'accélération de la carboneutralité misant sur les technologies propres de 3 milliards \$
	Création d'un Fonds pour les combustibles à faible teneur en carbone de 1,5 milliard \$

Tableau 3. Sommaire des principales mesures du Plan climatique renforcé (2020)

LE PROJET DE LOI C-12, LOI CANADIENNE SUR LA RESPONSABILITÉ EN MATIÈRE DE CARBONEUTRALITÉ

À la fin 2019, le gouvernement de Justin Trudeau a déposé le projet de loi C-12 (Parlement du Canada, 2019), *Loi concernant la transparence et la responsabilité du Canada dans le cadre de ses efforts pour atteindre la carboneutralité en 2050*. Ce projet de loi vise à accroître l'imputabilité du gouvernement fédéral en matière de climat. Il prévoit plusieurs mécanismes de suivi des mesures implantées par le gouvernement fédéral pour respecter ses cibles et corriger le tir, le cas échéant (voir Tableau 4).

Le projet de loi C-12 est un bon point de départ pour renforcer l'ambition climatique du Canada à moyen et à long termes. Il présente néanmoins certaines lacunes, notamment sur le plan des mécanismes de transparence, d'imputabilité et de reddition de compte. Ceux-ci pourraient être grandement bonifiés à la lumière des meilleures pratiques internationales en gouvernance climatique, telles que celles des modèles britannique, finlandais et néozélandais.

En somme, les trois principaux instruments de l'action climatique du gouvernement Trudeau ont permis au Canada de progresser en matière de gouvernance, de réglementation, d'investissements et de cibles pour le climat. On estime que la mise en œuvre intégrale du Cadre pancanadien, du Plan climatique renforcé et des dernières mesures du budget de mars 2021 permettrait au Canada de réduire ses émissions de GES de 36 % sous

le niveau de 2005 (ECCC, 2021b), le rapprochant ainsi de sa nouvelle cible pour 2030 établie à 40-45 % sous le niveau de 2005³.

Plusieurs groupes environnementaux et de la société civile jugent ces résultats insuffisants et demandent des efforts supplémentaires de la part du Canada pour qu'il atteigne ses objectifs pour 2030 et 2050. Notons que selon l'Indice de performance en matière de changement climatique (CCPI, 2020), le Canada se retrouve en queue de peloton de la communauté internationale, soit au 58^e rang sur 61, en ce qui concerne la mise en œuvre des objectifs de l'Accord de Paris⁴.

3. D'après une source gouvernementale, l'atteinte des 4-5% restants dépendra des efforts déployés par les provinces.

4. L'indice utilise des indicateurs tels que les émissions gaz à effet de serre par habitant, la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique, la consommation énergétique par habitant, les politiques climatiques.



Fixation de cibles intermédiaires de réduction des émissions de GES pour 2030, 2035, 2040 et 2045, en vue de l'atteinte de la carboneutralité par le Canada d'ici 2050 ⁵
Obligation ministérielle qu'un plan, un rapport d'étape et un rapport d'évaluation sur chaque cible soient déposés devant les deux chambres du Parlement ⁶
Création d'un organisme consultatif qui fournira des conseils au ministre de l'Environnement et du Changement climatique sur l'atteinte de la carboneutralité d'ici 2050
Obligation envers le ministre des Finances de préparer un rapport annuel portant sur les principales mesures entreprises par l'administration publique fédérale afin de gérer ses risques et occasions d'ordre financier liés aux changements climatiques
Mandat confié au Commissaire à l'environnement et au développement durable pour qu'il examine, au moins une fois tous les cinq ans, la mise en œuvre des mesures entreprises par le Gouvernement du Canada pour atténuer les changements climatiques et qu'il en fasse rapport

Tableau 4. Sommaire des mécanismes prévus par le projet de loi C-12

L'appui au secteur pétrolier et gazier, un double discours qui nuit à l'ambition climatique du gouvernement fédéral

La principale faille de l'ambition climatique du Canada sous l'ère Trudeau demeure le maintien de son appui politique et financier au secteur pétrolier et gazier. Cet appui entache non seulement son bilan, il nuit également à l'atteinte de ses objectifs climatiques⁷.

L'exemple le plus marquant est la décision du gouvernement du Canada, en 2018, d'acheter, d'agrandir, d'exploiter puis de céder le pipeline *Trans Mountain*, un projet qui vise à accroître le flux de pétrole en provenance de l'Alberta vers la Colombie-Britannique, pour accéder aux marchés étrangers (Bureau du Directeur parlementaire du budget, 2020). Cette décision

du gouvernement fédéral repose sur des scénarios incompatibles avec le respect de l'Accord de Paris et l'atteinte de la carboneutralité (Régie de l'énergie du Canada, 2020 ; AIE, 2021).

En parallèle, Justin Trudeau s'était engagé - lors du Sommet des leaders nord-américains en 2016 - à mettre fin aux subventions « inefficaces » octroyées aux combustibles fossiles d'ici 2025. Or, peu d'actions concrètes ont été prises en ce sens depuis les dernières années (FMI, 2019 ; VGC, 2019). Le Canada demeure parmi les pays du G20 qui financent le plus les combustibles fossiles.

En conclusion

Donc, *Is Canada really back?* Répondre de manière définitive à cette question n'est pas chose simple. Un tel exercice exigerait une analyse beaucoup plus approfondie et exhaustive de la politique climatique canadienne depuis 2015.

Chose certaine, néanmoins, l'arrivée du gouvernement de Justin Trudeau a permis au Canada d'accomplir des progrès en matière de gouvernance climatique, de renforcement des réglementations, d'investissements bonifiés et de rehaussement des cibles climatiques à moyen et à long termes. Plus largement, il a ramené l'idée d'une responsabilité accrue du Canada à l'égard de la communauté internationale en matière de climat. La distinction avec l'ancien gouvernement Harper est d'ailleurs notable, ne serait-ce qu'au niveau du rehaussement des cibles climatiques (Chaloux, 2019). Elle l'est également en matière de tarification carbone, pour laquelle la Cour suprême du Canada a donné raison au gouvernement Trudeau au début de l'année 2021.

En revanche, force est de constater que des mesures plus robustes devront être implantées au cours des prochaines années pour permettre au Canada d'atteindre sa nouvelle cible pour 2030 et de maintenir une trajectoire compatible avec la carboneutralité. L'un des véritables tests de crédibilité sera son niveau d'appui au secteur pétrolier et gazier qui, pour l'instant, nuit toujours à l'ambition climatique canadienne.

La prochaine élection fédérale prévue à l'automne 2021 sera plus que jamais marquée par la nécessité d'agir davantage pour lutter adéquatement contre la crise climatique. À l'approche de la COP26 de Glasgow, la question ne sera plus de savoir si le Canada est réellement « de retour » pour le climat, mais bien de savoir s'il fera sa juste part.

5. Ainsi qu'un objectif intérimaire en 2026 (qui n'est pas une cible).

6. Des modifications ont été apportées au cours de l'étude du projet de loi afin d'augmenter la fréquence des rapports du ministre.

7. Pour plus de détails sur un volet complémentaire de l'appui du gouvernement fédéral à ce secteur, consultez Chaloux, Annie. (2019). Les deux visages de Janus : la politique étrangère canadienne en matière de climat à l'ère Trudeau. 10.2307/j.ctv10qxxz6.12

RÉFÉRENCES

Agence internationale de l'énergie (2021). *Net zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector.* <https://bit.ly/2U2mK8m>

Bureau du Directeur parlementaire du budget (2020). *Le pipeline Trans Mountain – Considérations financières et économiques – Mise à jour.* <https://bit.ly/3vjvjsf>

Chaloux, A. Les deux visages de Janus: la politique étrangère canadienne en matière de climat à l'ère Trudeau. **Dans A. Chaloux et H. Séguin (dir.)** *Le fédéralisme canadien face aux enjeux environnementaux: Le Canada: un État ingouvernable ?* (2019), pp. 69-83, Québec, Presses de l'Université du Québec.

Climate Change Performance Index (CCPI) 2021. *Results – Climate Mitigation Efforts of 57 Countries plus the EU. Covering 90% Global Greenhouse Gas Emissions.* Décembre 2020. <https://bit.ly/2VrZSjj>

Environnement et Changement Climatique Canada (2016). *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques.* <https://bit.ly/2Tvhrhq>

Environnement et Changement Climatique Canada (2020). *Un environnement sain et une économie saine.* <https://bit.ly/3yR4IWD>

Environnement et Changement Climatique Canada (2021a). *Rapport d'inventaire national 1990-2019 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada – La déclaration du Canada à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques – Sommaire.* 12 avril 2021. <https://bit.ly/2Ruws2l>

Environnement et Changement Climatique Canada (2021b). *La contribution déterminée au niveau national du Canada revue à la hausse.* 23 avril 2021. <https://bit.ly/34ygsPD>

Fonds monétaire international (2019). Coady, D., Le Parry, I., Nghia-Piotr, L. et Shang, B. (2019). *Global fossil fuel subsidies remain large: An update based on country-level estimates* (IMF Working Paper no WP/19/89). <https://bit.ly/3wmEae8>

Graham Research Institute on Climate Change and the Environment (2018). *Policy brief Global trends in climate change legislation and litigation: 2018 snapshot.* <https://bit.ly/2U7BFhH>

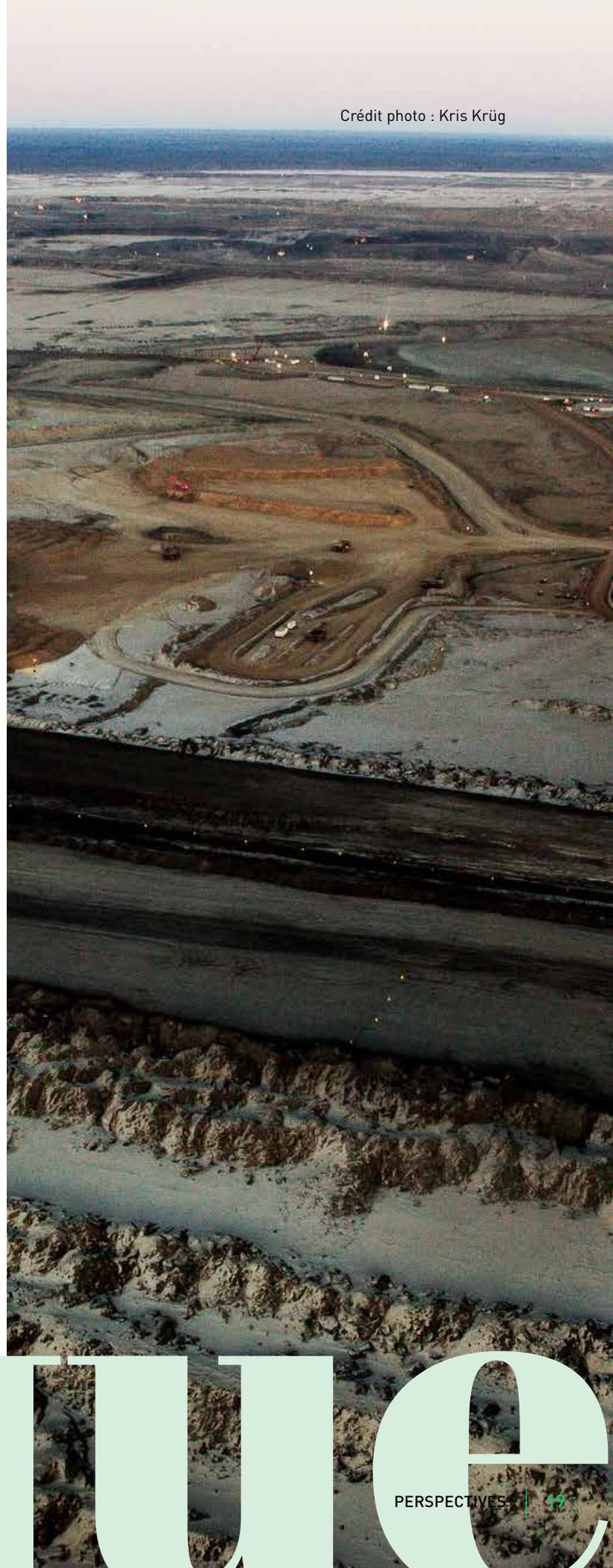
Parlement du Canada (2020). *C-12 : Loi concernant la transparence et la responsabilité du Canada dans le cadre de ses efforts pour atteindre la carboneutralité en 2050.* <https://bit.ly/3iE8ltd>

Régie de l'énergie du Canada (2020). *Avenir énergétique du Canada en 2020.* <https://bit.ly/35f0ISb>

Vérificateur général du Canada (2017). *Rapport 1 : Progrès vers la réduction des gaz à effet de serre — Environnement et Changement climatique Canada.* <https://bit.ly/3wv8Xom>

Vérificateur général du Canada (2019). *Rapport 3 : les subventions fiscales aux combustibles fossiles.* <https://bit.ly/3xd1iM2>

Crédit photo : Kris Krüg



L'OBsolescence PRÉMATURÉE DE NOS PRODUITS DE CONSOMMATION : UN DÉBAT À REMODELER

Crédit photo : Michael Dales

Anaïs Michel¹

Doctorante

Katholieke Universiteit Leuven

Actuellement, un sentiment grandit dans la population que nos biens de consommation ne durent pas aussi longtemps qu'ils le devraient. Cette impression s'est révélée fondée par de nombreuses études dont les résultats indiquent un véritable déclin de la durée de vie de certains produits (Prakash et al., 2016). Pour expliquer ce phénomène, certains évoquent la théorie de l'obsolescence programmée selon laquelle la fin de vie de nos produits de consommation serait « programmée » par les fabricants.

Prélude sur l'obsolescence programmée

Si l'obsolescence programmée a déjà fait l'objet de discussions par le passé (London, 1932), les préoccupations environnementales questionnant les modes de production et de consommation actuels suscitent un regain d'intérêt pour le sujet. Le terme « obsolescence programmée » est d'ailleurs de plus en plus utilisé dans les médias pour marquer la tendance. Dans ces articles de presse et les discussions populaires, le scénario proposé met en scène un véritable conflit opposant producteurs et consommateurs. Les premiers sont accusés de planifier la fin de vie des produits afin d'inciter les seconds à remplacer prématurément leurs produits et de créer *in fine* des bénéfices économiques. Pour consolider leur argumentation, les partisans de la théorie du complot font souvent référence au cartel *Phoebus*, identifié comme le premier cas confirmé d'obsolescence programmée. Formé au début du 20^e siècle, ce cartel rassemblait les leaders du marché des ampoules électriques qui s'étaient accordés pour les rendre plus fragiles et diminuer ainsi leur durée de vie à 1000 heures (au lieu de 2500 heures). Ainsi,

on remarque une tendance des adeptes de la théorie du complot à focaliser sur les cas d'obsolescence qui relèvent de l'agissement et de la volonté des producteurs.

Le concept d'« obsolescence programmée » fait néanmoins l'objet de plus en plus de critiques, soulevées non seulement par les fabricants, mais aussi par de nombreux académiciens. La critique relève, d'une part, du manque de preuves concrètes de telles pratiques. Certains vont même jusqu'à réfuter la possibilité de programmer la fin de vie des produits (Longmuss et Poppe, 2017). D'autre part, la critique souligne que, contrairement à ce que le débat public laisse suggérer, les producteurs sont loin d'être les seuls acteurs en cause. Afin de saisir toute la complexité du phénomène amenant à l'obsolescence prématurée des produits, il est indispensable de prendre en compte le comportement d'autres acteurs, notamment des consommateurs. En effet, il a été démontré que la manière dont ces derniers choisissent, utilisent et entretiennent leurs produits influence grandement la durée de vie desdits produits. Or, il a été constaté que certains consommateurs négligent ou sont indifférents en regard à la réparation ou l'entretien de leurs produits, entraînant leur remplacement trop rapide et fréquent (Evans et Cooper, 2010). Un tel comportement peut s'expliquer par le fait que ces tâches sont considérées comme trop exigeantes

1. Doctorante à la KU Leuven (campus Bruxelles) et à l'UCLouvain, aspirante FWO, membre de l'Institut Consumer, Competition & Market et du Cedie, préparant une thèse intitulée « Premature Obsolescence : In Search of a Refined Legal Framework » sous la supervision des Prof. Dr. Bert Keirsbilck (KUL) et Prof. Dr. Anne-Lise Sibony (UCL).

par les consommateurs, puisqu'elles requièrent du temps, de l'argent, un effort physique et cognitif et ne font parfois pas partie de la routine (L. Ackermann et al., 2018). En outre, des études ont révélé que la décision de remplacement n'était pas forcément motivée par un défaut du produit, mais aussi par d'autres facteurs tels que l'effet de mode ou le désir de nouveauté (Van Nes et Cramer, 2005 ; Girard et al., 2018).

Le concept d'obsolescence prématurée

Au vu de la controverse entourant le concept d'« obsolescence programmée » et du constat de la responsabilité partagée entre le producteur et le consommateur quant à la durée de vie des produits, il apparaît préférable de se référer plutôt à la notion d'« obsolescence prématurée ». En comparaison avec la notion d'« obsolescence programmée », le concept d'« obsolescence prématurée » a l'avantage d'être neutre et général. Il ne se limite pas à pointer du doigt le comportement des producteurs, qui ne constitue qu'une facette de la problématique, mais permet d'englober l'ensemble des comportements indésirables.

Différents types d'obsolescence prématurée peuvent écourter la durée de vie des produits. Sur la base de la doctrine et des pratiques existantes, il est possible de dégager quatre catégories distinctes d'obsolescence prématurée. Il y a d'abord l'**obsolescence matérielle**, qui affecte la qualité matérielle du produit. Cette catégorie inclut les produits conçus avec un dispositif électronique bloquant le fonctionnement de l'appareil après une certaine période d'utilisation², ceux fabriqués avec une composante plus fragile³ ou encore ceux dont les pièces défectueuses sont (presque) inaccessibles⁴. Un produit peut ensuite être **technologiquement obsolète** par l'incompatibilité ou la non-disponibilité des pièces de rechange ou accessoires. Une troisième catégorie consiste à rendre le produit **économiquement obsolète**, lorsque le prix d'entretien et de réparation est perçu comme trop élevé comparé à la valeur résiduelle du produit et au prix d'achat d'un nouvel appareil⁵. Enfin, un dernier cas d'**obsolescence dit psychologique** correspond aux produits devenus non-attractifs et insatisfaisants aux yeux des consommateurs. Ces catégories d'obsolescence prématurée ne sont pas étanches. Il est possible que la mort prématurée de produits soit due à

une combinaison de plusieurs d'entre elles, ce qui rend le phénomène d'autant plus complexe à appréhender.

Pour lutter efficacement contre ce phénomène, il est crucial de recentrer le débat sur le concept d'obsolescence prématurée, que ce soit dans le cadre de discussions informelles ou lors de l'élaboration de lois sur le sujet. D'une part, une telle base conceptuelle permet d'avoir une perspective globale sur la problématique et de considérer toutes les mesures nécessaires à prendre pour couvrir ses différents aspects. Comme l'a justement expliqué J. Cox, pour initier un changement radical vers une consommation durable, il ne suffit pas d'améliorer la durabilité des produits au stade de leur conception et de leur fabrication, car cela revient à fermer les yeux sur les facteurs psychologiques, émotionnels et sociaux qui influencent significativement la fin de vie accélérée des produits (Cox, 2013). D'autre part, la requalification du débat sur l'obsolescence prématurée permet d'éviter des perceptions trompeuses sur la problématique, ce qui est particulièrement important pour un sujet aussi controversé. À l'inverse, se focaliser sur l'obsolescence programmée nourrit le sentiment de méfiance, de mécontentement et de déresponsabilisation du côté des consommateurs en plus de stigmatiser le secteur entrepreneurial et commercial, entravant tout dialogue constructif sur le sujet. En ce sens, T. Brönneke souligne à juste titre que l'existence d'une intention d'abrèger la durée de vie des produits n'a pas d'incidence particulière sur les objectifs de protection des consommateurs et de l'environnement puisque les répercussions sur les consommateurs et l'environnement restent identiques, qu'il y ait intention ou pas. Ce qui est à déplorer, c'est le fait que les produits ne durent pas aussi longtemps qu'ils le devraient (Brönneke, 2017).

Émergence du concept dans le droit

Si le sujet de l'obsolescence prématurée ne fait encore que quelques apparitions timides dans le vocabulaire des législateurs⁶, il convient de préciser que l'idée générale promouvant des produits durables ne date pas d'hier. Les préoccupations environnementales ont progressivement trouvé écho dans les agendas politiques, notamment à travers l'idée de « développement durable ».

2. L'un des cas les plus cités concerne les imprimantes dotées d'une puce intelligente (*smartchip*).

3. On pense ici aux ampoules du cartel Phoebus, mais aussi à d'autres produits plus récents tels que les ordinateurs fabriqués avec des écrans, batteries et câbles plus fragiles.

4. Certains smartphones, tablettes et ordinateurs portables sont conçus avec une batterie ou un écran fixé avec de la colle industrielle ou avec des vis non-standard, ou avec de petits composants soudés aux composants principaux ou encore avec un faisceau de câbles rubans longs et fins reliant les différentes parties de l'appareil. Pour des exemples concrets, voyez <https://www.ifixit.com/Right-to-Repair/Repairable-Products>.

5. Un exemple pourrait être de fixer le prix de remplacement d'un écran cassé proportionnellement plus cher par rapport au prix d'un nouveau smartphone.

6. Voy. par ex. la Décision de la Commission européenne du 27 octobre 2017 sur le programme cadre Horizon 2020 – Work Programme 2018-2020, C(2017)7124, ainsi que la Communication de la Commission du 11 mars 2020 au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions, Un nouveau plan d'action pour une économie circulaire Pour une Europe plus propre et plus compétitive, COM/2020/98 final, p. 4 et p. 6.

De nombreux pays industrialisés se sont intéressés et même engagés à l'élaboration d'alternatives au modèle croissantiel et linéaire. Une étape majeure est l'adoption de l'Agenda 21 par les Nations unies en 1992, avec pour but d'atténuer les impacts environnementaux causés par l'activité humaine aux niveaux global, national et local. Ces principes seront réaffirmés durant le Sommet du Développement Durable de 2015, en particulier dans l'Objectif n°12 consacré aux modes de production et de consommation responsables. C'est dans cet élan que naîtra le concept d'« économie circulaire », qui vise à transformer les produits en fin de vie en ressources pour d'autres produits, fermant la boucle de l'écosystème industriel et minimisant les déchets produits (Stahel, 2016). La lutte contre l'obsolescence prématurée sera souvent englobée dans ce projet à long terme, comme l'illustrent les plans d'action de l'Union européenne de 2015 et de 2019 en faveur de l'économie circulaire (respectivement COM (2015) 614 final et COM (2020) 98 final).

Il n'existe, à ce jour, qu'un seul texte de loi se référant explicitement à l'obsolescence prématurée des produits. Celui-ci se trouve à l'Article L. 441-2 du Code français de la consommation. Cet article interdit les pratiques d'« obsolescence programmée », définie comme « le recours à des techniques par lesquelles le responsable de la mise sur le marché d'un produit vise à en réduire délibérément la durée de vie pour en augmenter le taux de remplacement ». Cette législation a nourri le débat juridique sur le sujet et a servi d'inspiration à de nombreux projets de loi, que ce soit dans les pays voisins, comme la Belgique⁷, au niveau européen⁸, ou même de l'autre côté de l'Atlantique⁹.

Réponses juridiques au problème de l'obsolescence prématurée

Outre la législation française spécifique à l'obsolescence programmée, il existe une panoplie de mesures contribuant à prolonger la durée de vie des produits. Celles-ci encadrent les différentes étapes du cycle de vie des produits. Certaines règles ont un domaine d'application général, tandis que d'autres s'appliquent à des groupes spécifiques de produits. Prenons l'exemple d'un ordinateur portable. Sa phase de conception est règlementée par des normes européennes d'écoconception qui exigent, entre autres, que les techniques d'assemblage, de fixation ou de scellage n'empêchent pas le désassemblage, à des fins de réparation ou de réutilisation, de certains composants (comme la batterie ou la mémoire) ou encore que la dernière mise à jour de sécurité des micrologiciels (*firmware*) soit disponible pendant une période minimum¹⁰. La phase marketing est encadrée par des règles sur l'étiquetage, comme celles imposant un index de réparabilité¹¹, ou encore par la législation européenne sur les pratiques commerciales déloyales¹². Une fois acheté, l'ordinateur est couvert par la législation européenne sur la garantie des biens de consommation qui confère au consommateur, pendant une période (minimale) de deux ans, un droit à réparation en cas de défaut¹³. Ces avancées juridiques ont néanmoins donné lieu à une fragmentation du droit en la matière, ce qui n'est pas sans poser des risques de vides juridiques, de contradictions, d'incohérence et de chevauchement entre les différentes normes applicables.

7. Il y a aujourd'hui trois propositions de loi relatives à l'obsolescence prématurée sur la table du législateur belge. Voy. Proposition de loi visant à lutter contre l'obsolescence programmée et à soutenir l'économie de la réparation, *Doc. parl., Ch.*, 2019, 19 juillet 2019, n° 0193/001 ; Proposition de loi modifiant le Code civil et le Code de droit économique, visant à lutter contre l'obsolescence programmée et l'obsolescence prématurée et à augmenter les possibilités de réparation, *Doc. parl., Ch.*, 2019-2020, 19 novembre 2019, n° 0771/001 ; Proposition de loi visant à lutter contre l'obsolescence organisée et à soutenir l'économie circulaire, *Doc. parl., Ch.*, 2019-2020, 7 janvier 2020, n° 0914/001.

8. La Commission envisage de « présenter une proposition législative visant à donner aux consommateurs les moyens de participer à la transition écologique en les informant mieux sur la durabilité des produits et en leur garantissant une meilleure protection contre certaines pratiques telles que [...] l'obsolescence prématurée ». Voy. l'Action n° 4 de la Communication de la Commission du 13 novembre 2020 au Parlement européen et au Conseil, Nouvel agenda du consommateur visant à renforcer la résilience des consommateurs en vue d'une reprise durable, COM(2020) 696 final, p.11.

9. Voy. Loi québécoise modifiant la Loi sur la protection du consommateur afin de lutter contre l'obsolescence programmée et de faire valoir le droit à la réparation des biens, projet de loi 197 (adoption du principe – 13 avril 2021), 1re sess., 42e légis. (Qc).

10. Voy. Annexe II du Règlement (UE) 2019/424 de la Commission du 15 mars 2019 établissant des exigences d'écoconception applicables aux serveurs et aux produits de stockage de données conformément à la directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil et modifiant le règlement (UE) n° 617/2013 de la Commission, OJ L 74, 18.3.2019, p. 46-66.

11. Art. 16 de la Loi française n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, JORF n°0035 du 11 février 2020.

12. Directive 2005/29/CE du Parlement européen et du Conseil du 11 mai 2005 relative aux pratiques commerciales déloyales des entreprises vis-à-vis des consommateurs dans le marché intérieur et modifiant la directive 84/450/CEE du Conseil et les directives 97/7/CE, 98/27/CE et 2002/65/CE du Parlement européen et du Conseil et le règlement (CE) n° 2006/2004 du Parlement européen et du Conseil, OJ L 149, 11.6.2005, p. 22-39.

13. Directive 1999/44/CE du Parlement européen et du Conseil, du 25 mai 1999, sur certains aspects de la vente et des garanties des biens de consommation, OJ L 171, 7.7.1999, p. 12-16 ; Directive (UE) 2019/771 du Parlement européen et du Conseil du 20 mai 2019 relative à certains aspects concernant les contrats de vente de biens, modifiant le règlement (UE) 2017/2394 et la directive 2009/22/CE et abrogeant la directive 1999/44/CE, OJ L 136, 22.5.2019, p. 28-50.

L'obsolescence prématurée face au juge

L'obsolescence prématurée s'est déjà retrouvée à maintes reprises face au juge. Parmi les affaires récentes les plus marquantes, il y a les décisions prises par l'Autorité italienne de la consommation contre *Apple* et *Samsung* de septembre 2018¹⁴. Les deux affaires concernaient des problèmes survenus après la sortie de mises à jour pour les téléphones intelligents. Alors que les consommateurs avaient été fortement encouragés par ces deux fabricants à installer ces mises à jour, celles-ci auraient réduit les performances des anciennes versions des appareils encore utilisés par les consommateurs, sans qu'ils aient été informés des risques ou des solutions par rapport à ces mises à jour. Les deux entreprises seront finalement condamnées à une amende administrative d'un montant de dix millions d'euros pour *Apple* et cinq millions d'euros pour *Samsung* sur la base de la législation sur les pratiques commerciales déloyales. *Apple* sera par la suite condamnée à une amende transactionnelle de vingt-cinq millions d'euros pour les mêmes faits par l'Autorité française de la concurrence¹⁵. L'affaire a aussi récemment été portée devant les tribunaux belges par l'organisation de consommateurs Test-Achats qui a engagé une action collective contre la firme. Dans un même registre, le Bureau européen des unions de consommateurs (BEUC) a introduit une plainte contre *Nintendo* en janvier 2021 pour dénoncer la durée de vie limitée des manettes de la console *Switch (Joy Con)*¹⁶.

Conclusion

L'obsolescence prématurée de nos produits est un phénomène particulièrement préoccupant. Il est temps de passer à l'action, en évitant cependant de tomber dans le piège de la stigmatisation et en recentrant le débat sur le concept d'obsolescence prématurée. Une telle approche permet non seulement de cerner tous les aspects de la problématique, mais aussi d'impliquer tous les acteurs concernés dans les discussions.

14. Autorita Garante della Concorrenza e del Mercato, 25 septembre 2018, *Apple*; Autorita Garante della Concorrenza e del Mercato, 25 septembre 2018, *Samsung*.

15. Voy. le communiqué de presse relatif à cette décision disponible sur : www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/dgccrf/presse/communiquel/2020/CP-Ralentissement-fonctionnement-iPhone200207.pdf.

16. Voy. le communiqué de presse du BEUC publié le 27 Janvier 2021, 'BEUC launches Europe-wide complaint against Nintendo for premature obsolescence', BEUC-PR-2021-002, disponible sur: https://www.beuc.eu/publications/beuc-pr-2021-002_beuc_launches_europe-wide_complaint_against_nintendo_for_premature_obsolescence.pdf.

À l'égard du cadre légal existant, on constate qu'il existe d'ores et déjà un arsenal de règles contribuant à la lutte contre l'obsolescence prématurée. De ce fait, il semble préférable d'utiliser et (si besoin) d'adapter cette législation existante plutôt que d'ajouter une nouvelle loi à ce casse-tête législatif déjà très complexe. Cela peut par exemple consister à étendre le champ d'application des normes d'écoconception à d'autres produits (comme les vêtements), à renforcer la législation en matière de garantie et d'information du consommateur ou encore à faciliter l'accès aux recours des consommateurs victimes de pratiques d'obsolescence prématurée. Quant à la fragmentation juridique en la matière, celle-ci n'est pas problématique en soi puisque le phénomène concerne plusieurs domaines du droit. Les risques de vides juridiques, de contradictions, d'incohérence et de chevauchement entre les différentes normes applicables peuvent être évités par l'introduction d'un plus grand nombre de références et de liens entre les différents instruments juridiques.

Crédit photo : Bertrant Gondouin





RÉFÉRENCES

Ackermann, L., Mugge R. et Schoormanset, J. (2018). Consumers' perspective on product care: An exploratory study of motivators, ability factors, and triggers. *Journal of Cleaner Production*, 183, 380-391. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.099

Brönneke, T. (2017). Premature Obsolescence: Suggestions for Legislative Counter-measures in German and European Sales & Consumer Law. *Journal for European Environmental & Planning Law*, 14 (3-4), 361-372. doi: 10.1163/18760104-01403006

Cooper, T. (2004). Inadequate life? Evidence of consumer attitudes to product obsolescence. *Journal of Consumer Policy*, 27, 421-449. doi: 10.1007/s10603-004-2284-6

Cox J. et al., (2013). Consumer understanding of product lifetimes. *Resources, Conservation and Recycling*, 79, 21-29.

Evans, S. et Cooper, T. (2010). Consumer influences on product life-spans. Dans T. Cooper (dir.), *Longer lasting products: Alternatives to the throwaway society*. Gower. p. 326 at p. 330

Girard, A., Thorpe, C., Durif, F. et Robinot, E. (2018, mai). *Obsolescence des appareils électroménagers et électroniques : quel rôle pour le consommateur ?* Équiterre. https://www.equiterre.org/sites/fichiers/fr_rapportobsolescence_equiterremai2018.pdf.

Longmuss, J. et Poppe, E. (2017). Planned obsolescence: who are those planners? Dans C. Bakker et R. Mugge (dir.), *Product Lifetimes And The Environment 2017 – Conference Proceedings*. IOS Press.

London, B. (1932). *Ending the depression through planned obsolescence*. Accessible sur : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/27/London_\(1932\)_Ending_the_depression_through_planned_obsolescence.pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/27/London_(1932)_Ending_the_depression_through_planned_obsolescence.pdf).

Prakash, S., Dehoust, G., Gsell, M., Schleicher, T. et Stamminger, R. (2016, février). *Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung – Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“*. Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_11_2016_einfluss_der_nutzungsdauer_von_produkten_obsoleszenz.pdf.

Stahel, W. (2016). The circular economy. *Nature*, 531, 435-438. doi: 10.1038/531435a

Van Nes, N. et Cramer J. (2005). Influencing product lifetime through product design. *Business Strategy and Environment*, 14, 286-299. doi: 10.1002/bse.491

Perspectives

QUAND PUBLICITÉ AUTOMOBILE ET CIBLES CLIMATIQUES NE FONT PAS BON MÉNAGE¹

Andréanne Brazeau

Analyste en mobilité chez Équiterre et candidate à la maîtrise en études politiques appliquées Université de Sherbrooke

Julie-Christine Denoncourt

Conseillère en recherche chez Équiterre et candidate à la maîtrise en études politiques appliquées Université de Sherbrooke

Au Canada, les transports représentent l'un des rares secteurs dont les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont en augmentation. La popularité croissante des camions légers – véhicules utilitaires sport (VUS), multisegments, camionnettes et fourgonnettes – est un des phénomènes contribuant largement à cette hausse. En 2020, ils représentaient 79,9 % des véhicules neufs vendus, un record battu annuellement depuis une dizaine d'années (*DesRosiers Automotive*, 2021). Parallèlement, leur promotion est omniprésente et stimulée par des sommes colossales en publicité, un constat pourtant incohérent avec les objectifs gouvernementaux de ventes de véhicules zéro émission (VZE), l'interdiction de la vente des véhicules à essence en 2035 et les cibles de réduction des émissions de GES.

À travers une analyse de contenu des publicités de camions légers et du cadre réglementaire applicable à la publicité automobile, cet article révèle l'incohérence entre ces messages publicitaires et la volonté des gouvernements de réduire leurs émissions de GES.

1. Cette recherche fait partie d'une série d'études intitulée « Comprendre la hausse des camions légers au Canada afin de renverser la tendance » menée par Équiterre en collaboration avec la Chaire Mobilité de Polytechnique Montréal, le Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations (CIRANO) en collaboration avec HEC Montréal et *Horizon Advisor*.

La hausse des camions légers : une tendance alarmante

La popularité croissante de ces véhicules au Canada est réelle : leur nombre dans le parc automobile a augmenté de 280 % entre 1990 et 2018 et de 86 % entre 2005 et 2018, comparativement à 10 % et 7 % pour les voitures standards (Environnement et Changement Climatique Canada [ECCC] 2018, 40-42). Cette hausse s'accompagne toutefois de lourdes conséquences climatiques, sans compter les multiples impacts socio-économiques, comme le risque qu'ils posent pour la sécurité des usagers de la route, la perte d'espaces urbains qu'entraîne leur taille surdimensionnée ainsi que le poids sur la dette des ménages dû à leur prix plus élevé.

La hausse des émissions du secteur des transports – qui représentent d'ailleurs 30 % du bilan de GES du Canada – s'explique majoritairement par la multiplication des camions légers, comme le montre la figure 1. Émettant en moyenne 31 % plus de GES par kilomètre qu'une voiture standard, ces véhicules menacent l'atteinte des cibles climatiques que s'est donné le gouvernement canadien.

Ces véhicules mettent également des entraves à l'atteinte des objectifs de ventes de VZE et de véhicules électriques (VÉ) : la diminution de la demande en pétrole résultant de la vente de ces derniers est compensée par la hausse de celle des camions légers. À titre d'exemple, si la demande mondiale pour les VUS continue de croître au même rythme qu'entre 2010 et 2020, ces véhicules ajouteront deux millions de barils de pétrole par jour à la demande d'ici 2040, annulant ainsi les économies de carburant de près de 150 millions de voitures électriques (Cozzi & Petropoulos 2019).

Sur le plan sanitaire, ces véhicules énergivores contribuent considérablement à la pollution atmosphérique et, conséquemment, aux maladies et décès qui en résultent (Gouvernement du Canada 2020; Vohra et al. 2021). Puisque la congestion routière exacerbe ces risques sanitaires (Zhang et Batterman 2013), et qu'en raison de leur taille, les camions légers contribuent à accroître cette congestion, on peut affirmer qu'ils représentent une menace à la santé publique.

Mégatonnes d'équivalent en dioxyde de carbone

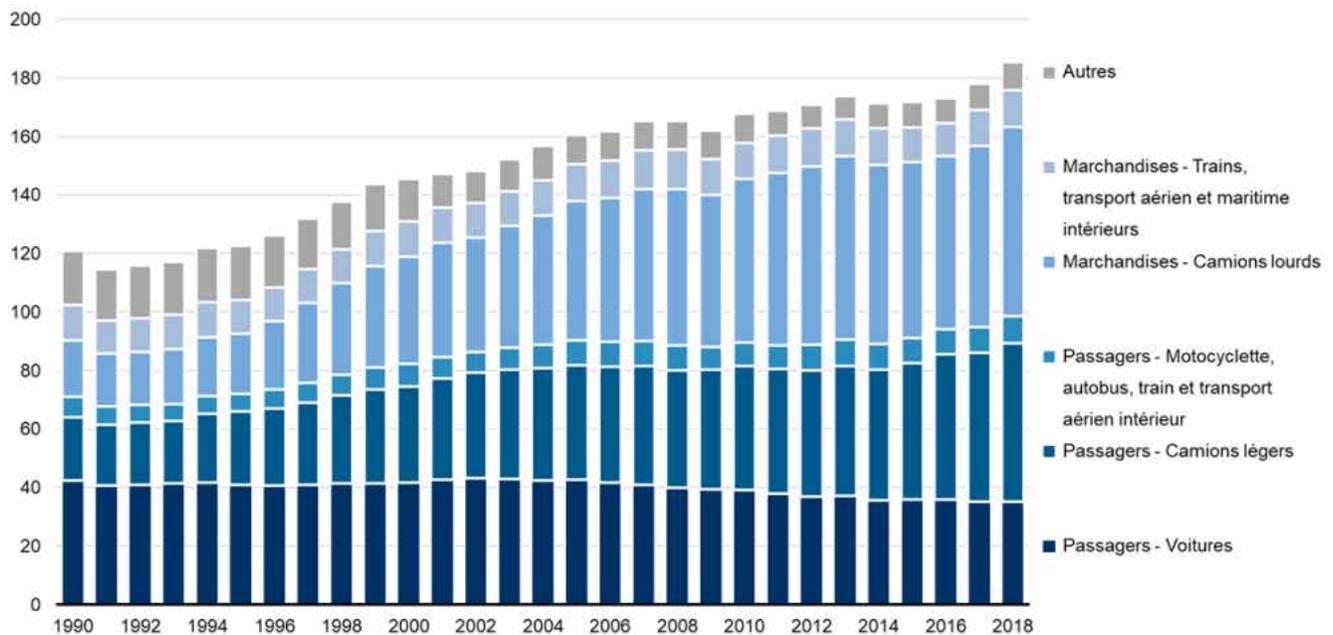


Figure 1. Évolution des émissions de GES du secteur des transports au Canada, 1990-2018
Source : ECCC 2020, 9.

La publicité automobile : turbomoteur des choix de consommation

Motivée par l'efficacité de la publicité et propulsée par des investissements colossaux, l'omniprésence de la publicité automobile dans la société est incontestable et son influence sur les habitudes de consommation est manifeste : elle fait déjà l'objet d'un consensus scientifique. Elle peut notamment contrôler les perceptions personnelles et les choix de consommation, encourager l'achat de biens dont un individu n'a pas besoin et associer un produit à des valeurs sociales, ce qui explique pourquoi l'industrie automobile canadienne investit des sommes vertigineuses en promotion. En 2019, pour la publicité numérique seulement, cette industrie représentait 19 % des investissements au Canada – soit 1,6 milliard de dollars –, la plaçant au deuxième rang du palmarès des parts d'investissement des secteurs industriels en publicité numérique au Canada (EMarketer, 2019; Briggs, 2020).

Les stratégies publicitaires déployées avec ces sommes sont profitables à l'industrie automobile : presque la moitié des acheteurs de nouveaux véhicules se dit influencée par les médias et plusieurs recherchent de l'information dans les médias imprimés (Médias d'Info Canada, 2016 ; Médias d'Info Canada, 2017).

Face aux constats concernant les multiples impacts de la hausse des camions légers et l'importance de la publicité automobile, il est justifié d'explorer le contenu de ces messages publicitaires ainsi que le cadre réglementaire auquel est soumise l'industrie.

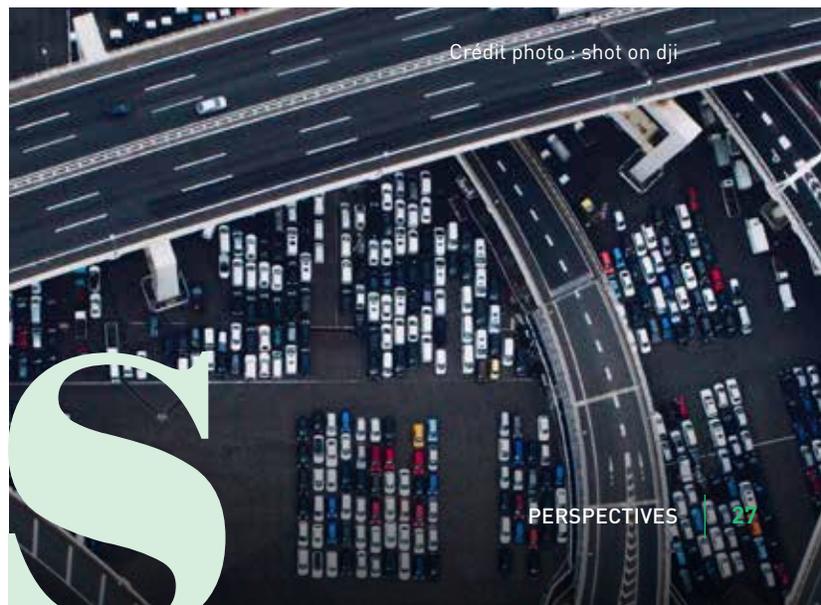
Méthodologie

D'abord, une analyse de contenu de 132 publicités de camions légers issues de journaux et de magazines canadiens publiés entre le 1^{er} janvier 2019 et le 1^{er} mai 2020 a été réalisée dans le but d'identifier les stratégies utilisées par l'industrie automobile canadienne pour vendre ces véhicules. La grille suivante a été mise sur pied afin d'analyser ces publicités et les résultats de cette analyse ont été traités avec un logiciel statistique.

Ensuite, une revue des lois et des normes fédérales et provinciales a été réalisée ainsi qu'un tour d'horizon des pratiques internationales, dans l'intention de comparer les mesures canadiennes à celles d'autres juridictions.

Catégories	Variables	Description de la variable
1. Contexte présenté par la publicité	1.1 Référence à la saison	Présence d'éléments liés à une fête, un jour férié, une saison, ou un temps spécifique de l'année
	1.2 Ville mise en avant	Espace occupé par la ville
	1.3 Banlieue mise en avant	Espace occupé par la banlieue
2. Messages lancés par la publicité	2.1 Domination de l'environnement	Présence textuelle/visuelle de la force du véhicule sur la nature
	2.2 Aventure, exploration ou découverte	Présence textuelle/visuelle d'éléments liés à l'aventure, l'exploration, la découverte, etc.
	2.3 Convenable pour la famille	Mention textuelle/visuelle d'expression liée à la famille
	2.4 Activités en milieu urbain	Présence textuelle/visuelle de chargement de matériel, de vente de garage, déménagement, sortie en ville, etc.
	2.5 Activités sportives ou de plein-air à l'extérieur de la ville	Présence textuelle/visuelle d'activités sportives en plein air
	2.6 Rareté	Mention d'une vente de courte durée, quantité limitée, événement X, exclusivité, etc.
3. Caractéristiques mises en avant	3.1 Confort	Mention visuelle/textuelle d'éléments associés au confort : volant et/ou sièges chauffants, intérieur spacieux, cuir, etc.
	3.2 Luxe	Présence de mots associés à la richesse, à la sophistication, au raffinement, à la luxure, etc.
	3.3 Nombre de sièges	Mention textuelle du nombre de sièges/rangées disponibles
	3.4 Espace de rangement ou du coffre	Mention textuelle/visuelle de l'espace de rangement ou du coffre
	3.5 Technologie	Présence de détecteurs, d'appareils de divertissement, de technologie d'assistance routière, etc.
	3.6 Puissance ou force du véhicule	Mention textuelle/visuelle de la capacité à porter de lourdes charges, puissance du moteur, etc.
	3.7 Plaisir de conduire	Mention textuelle/visuelle de plaisir, nouvelle expérience, etc.
	3.8 Sécurité	Présence textuelle/visuelle d'éléments liés à la sécurité (routière et/ou pour passager.ère.s, traction intégrale, etc.)
	3.9 Performance et adrénaline	Mention visuelle/textuelle de notions de sport, d'adrénaline, de sensations fortes, de performance, etc.
	3.10 Esthétisme	Mention de beauté, de style, d'élégance, de couleur ou d'un matériau du véhicule, etc.
	3.11 Gagnant d'un prix ou d'une reconnaissance	Mention d'un prix ou d'une reconnaissance remporté par le véhicule
4. Informations financières	4.1 Économie de carburant	Mention textuelle/visuelle d'efficacité énergétique, d'économie d'essence, etc.
	4.2 Coût du véhicule annoncé	Présence du coût total du véhicule
	4.3 Garantie	Mention d'une garantie
	4.4 Financement	Espace occupé par différentes stratégies de financement (taux d'intérêt, versements, acompte, paiements reportés, etc.)
5. Autres caractéristiques	5.1 Présence d'humains et/ou d'animaux de compagnie	Présence d'humains ou d'animaux de compagnie
	5.2 Référence à un groupe de consommateurs	Mention textuelle/visuelle d'un sous-groupe de la population
	5.3 Référence à une valeur environnementale ou sociale	Mention d'une valeur environnementale/sociale (réduction des émissions de GES, inclusion sociale, solidarité, partage, etc.)

Figure 2. Grille d'analyse des publicités



Crédit photo : shot on dji

La publicité automobile : un terrain de jeu peu régulé

D'abord, 79 % des publicités des médias étudiés présentent des camions légers, un constat alarmant étant donné leurs multiples impacts négatifs sur la santé et l'environnement. Parmi les camions légers, les VUS et leur version plus petite, les multisegments, se démarquent par leur forte présence dans les publicités. Également, une corrélation apparaît entre les marques et modèles les plus vendus au Canada et les publicisés, confirmant l'apport de celles-ci dans les choix de consommation.

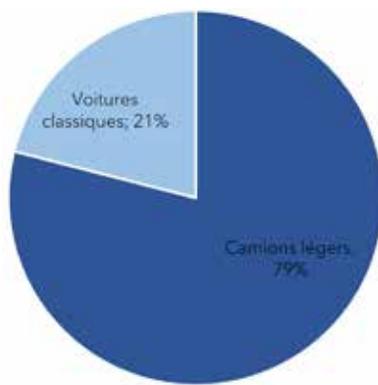


Figure 3. Catégories de véhicules présentés dans les publicités automobiles recensées

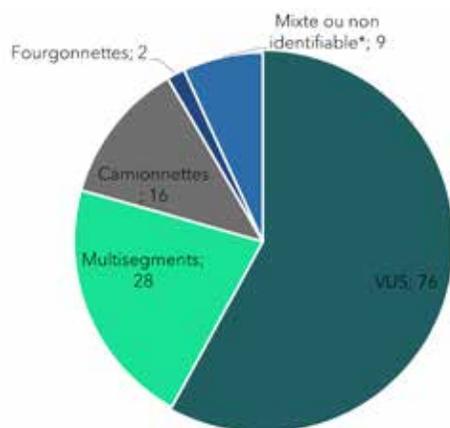


Figure 4. Types de véhicules représentés dans les publicités analysées

* La catégorie « Mixte ou non identifiable » désigne des publicités dans lesquelles plusieurs types de camions légers sont présentés ou des publicités dans lesquelles il est impossible de déterminer s'il s'agit d'un VUS ou d'un multisegment, ces types de véhicules étant parfois difficiles à différencier.

CONTENU DES PUBLICITÉS DE CAMIONS LÉGERS

Parmi les stratégies publicitaires les plus utilisées, la référence à **divers événements ou périodes annuels** se retrouve dans le tiers des publicités, les plus souvent mentionnés étant des fêtes commerciales (Vendredi fou et *Boxing Day*). Ces périodes de l'année sont d'ailleurs fréquemment associées, soit dans 65,9 % des cas, à **une offre spéciale**. Par ailleurs, la **rareté** est un thème revenant fréquemment dans les publicités de quotidiens (43,2 %).

En comparaison avec la ville et la banlieue, les **représentations de la nature** sont de loin les plus abondantes: près de sept publicités sur dix affichent un ou des élément(s) naturel(s). La forêt, les arbres, la montagne, la neige et les étendues d'eau sont les éléments les plus utilisés. En plus, près d'une fois sur deux, la nature est affichée comme pouvant être dominée ou contrôlée par le véhicule, une image incompatible avec les objectifs environnementaux visant sa protection. **La ville et la banlieue** sont moins présentes (22 % et 8,3 %) et, conséquemment, les activités urbaines sont très peu fréquentes, alors que celles en dehors de la ville sont plus récurrentes. Les VUS sont toutefois davantage dépeints dans ces trois environnements que les autres camions légers, laissant croire qu'ils sont polyvalents et expliquant partiellement leur popularité.

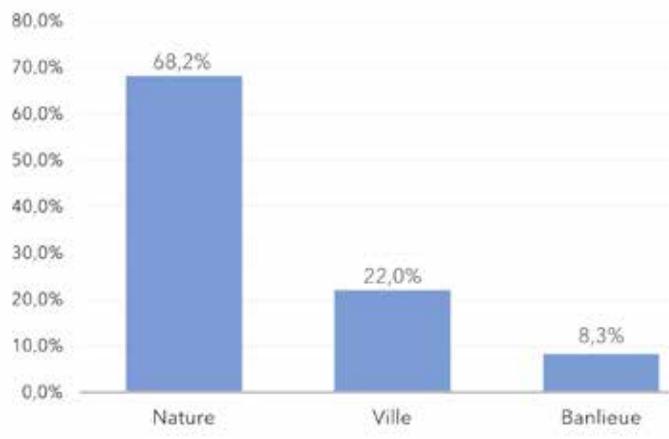


Figure 5. Milieux présentés dans les publicités de camions légers

La **famille** est très peu visée (5,3 %), mais elle peut être séduite par ces véhicules grâce à d'autres éléments affichés : l'**aspect technologique** qui revient dans 83,3 % des publicités, le **confort** (28 %), l'**espace de rangement** (22,8 %) et le **nombre de sièges** (15,2 %). Ainsi, les camions légers sont décrits comme étant bien plus qu'un simple véhicule : ils offrent une expérience. D'ailleurs, si les publicités de VUS sont les seules à mentionner le nombre de sièges, elles sont aussi les seules à souligner l'**aspect luxueux** du véhicule, témoignant encore une fois de sa polyvalence: raffiné, mais également familial. De plus, les familles peuvent être attirées par l'apparence de **sécurité** de ces véhicules qui est souvent soulignée (66,6 %). Au contraire, la **performance** du véhicule est peu mentionnée (12,2 %).

Pour les informations financières, le **prix de détail** du véhicule est affiché dans moins de la moitié des publicités (40,9 %) alors que les **modalités de financement** occupent une place beaucoup plus importante (76,5 %). Dans le même ordre d'idées, les **offres spéciales** sont rarement accompagnées du prix total du véhicule. Les offres de financement représentent donc une des principales stratégies pour vendre les camions légers. Quant à l'**économie de carburant**, elle est peu présente (5,3 %) et certains messages sont même imprécis : ils soulignent l'« efficacité énergétique exceptionnelle » du véhicule, sans toutefois mentionner sa consommation en carburant.

CADRE RÉGLEMENTAIRE DE LA PUBLICITÉ AU CANADA

La publicité est d'abord réglementée par les Normes canadiennes de la publicité (NCP), un organisme d'autorégulation qui se sert du Code canadien des normes de la publicité pour évaluer les messages visés par des plaintes. Il comprend notamment des articles interdisant la représentation trompeuse et l'utilisation de messages montrant une conduite dangereuse ou illégale (NCP, 2019). Les résultats précédemment abordés démontrent que ce dernier article, introduit à la suite d'inquiétudes en matière de sécurité publique, a forcé l'industrie à délaissier les messages faisant la promotion de la vitesse. Ainsi, un nouveau resserrement du cadre réglementaire, qui intégrerait des composantes environnementales, aurait le potentiel d'influencer le contenu publicitaire. Ce même article démontre également que les normes sont en mesure d'évoluer en fonction des différents enjeux de société qui émergent. De plus, certains secteurs – dont l'industrie automobile ne fait pas partie – doivent respecter des codes spécifiques. Néanmoins, il n'y a aucun contrôle en amont de la diffusion des publicités, sauf pour celles destinées aux enfants. Un message ne respectant pas le code n'est que retiré, sans autre conséquence pour l'annonceur (NCP, 2021).

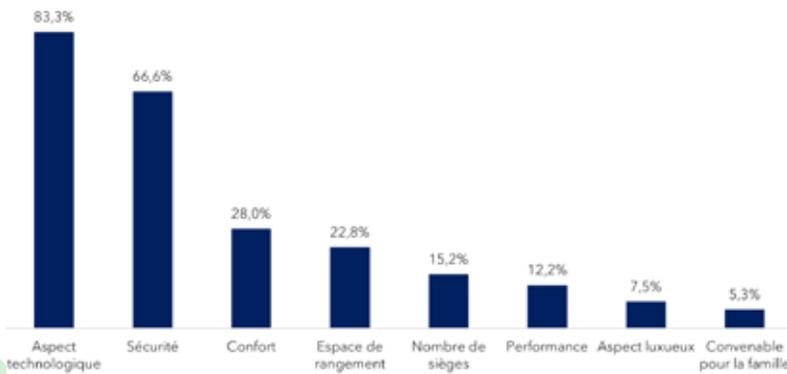


Figure 6. Caractéristiques et messages lancés par les publicités de camions légers

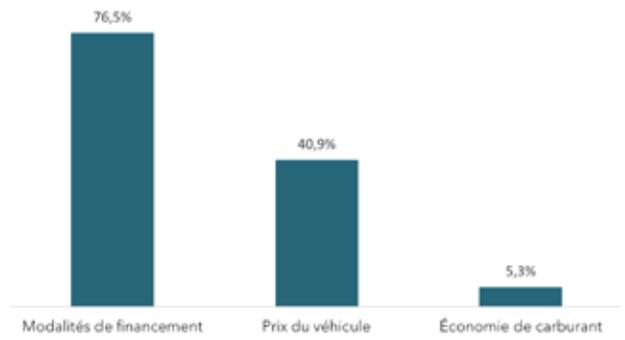


Figure 7. Informations financières dans les publicités de camions légers

Du côté légal, des outils fédéraux et provinciaux existent. À l'échelle canadienne, la *Loi sur la concurrence* interdit les indications fausses ou trompeuses. Encore une fois, les messages ne sont examinés qu'après la réception d'une plainte, mais en cas d'infraction, des peines sont prévues (Gouvernement du Canada, 2015). Par ailleurs, aucune législation fédérale spécifique à la publicité automobile n'existe, alors que d'autres secteurs ont été soumis à des lois, comme la publicité des produits du tabac et celle destinée aux enfants, après la reconnaissance de leurs effets négatifs sur le bien-être de la société. Les véhicules énergivores n'ont encore fait l'objet d'aucun encadrement, malgré leurs conséquences néfastes précédemment démontrées.

Des lois provinciales interdisant la publicité mensongère ou trompeuse existent également. L'affichage du prix du véhicule et des modalités de financement est aussi encadré. Qui plus est, une législation québécoise interdit de montrer des gestes illégaux, ce qui devrait inclure la représentation d'un véhicule sur les rives des cours d'eau puisqu'il est interdit d'y circuler. Ces messages pourraient potentiellement être qualifiés de trompeurs : ils donnent l'impression qu'il est permis de se rendre dans ces milieux avec son véhicule, alors que ce n'est pas le cas. D'ailleurs, près du quart des publicités représentant des éléments naturels montre un véhicule près d'un plan d'eau. Cependant, aucune sanction n'est appliquée aux annonceurs qui présentent une voiture dans ces espaces naturels.

À l'heure actuelle, comme les questions environnementales sont exclues des normes et de la législation supervisant la publicité automobile, le cadre réglementaire canadien entourant cette dernière n'est pas arrivé aux objectifs climatiques gouvernementaux. Toutefois, les autorités publiques ont le pouvoir de le resserrer comme elles l'ont déjà fait pour d'autres enjeux.

DES PAYS À L'AVANT-GARDE

Certaines autorités encadrent plus sévèrement la publicité automobile. La Belgique et le Royaume-Uni exigent que les publicités mentionnent la consommation d'essence et les émissions de CO₂ du véhicule. Les normes belges, néo-zélandaises et australiennes interdisent qu'une publicité incite à un comportement dommageable pour l'environnement. Une autre norme belge, également présente en Suède, interdit de tromper le public sur les impacts environnementaux d'un produit. Enfin, la Belgique empêche de montrer un véhicule dans un lieu n'appartenant pas au réseau public routier et, en France, une compagnie automobile a déjà été condamnée à retirer ses publicités où des véhicules apparaissaient dans un milieu naturel. Elles étaient considérées comme trompeuses puisqu'il n'est pas permis de circuler dans ces lieux.

Cette analyse met en lumière l'inadéquation qui existe entre, d'un côté, le contenu et le cadre réglementaire de la publicité automobile au Canada et, de l'autre, les engagements environnementaux des gouvernements.



Quelles sont les solutions ?

Face à cette incohérence, plusieurs pistes de solution existent. D'abord, face aux multiples conséquences qu'elle entraîne, la hausse des camions légers dans le parc automobile canadien doit être reconnue comme un problème de santé publique et de sécurité publique. Un comité consultatif indépendant pourrait ensuite être formé afin de déterminer la voie à suivre pour répondre à l'enjeu : s'inspirer de restrictions existantes – comme celles sur la publicité des produits du tabac et celles entourant la publicité destinée aux enfants – et resserrer progressivement le cadre réglementaire entourant la publicité automobile, en plus d'accroître la promotion de la mobilité durable.

Alors que la multiplication des camions légers au Canada nuit au mieux-être de la population et à l'atteinte des objectifs climatiques des gouvernements, il est urgent de freiner la popularité de ces véhicules. Bien que la publicité n'explique pas ce phénomène à elle seule, il est impératif de repenser le cadre réglementaire de la publicité automobile afin de réorienter les choix de consommation vers des modes de transport durables. En pleine crise climatique et dans le contexte où les émissions de GES du secteur des transports continuent de croître, ne serait-il pas judicieux d'user du pouvoir d'influence de la publicité pour contribuer à atteindre les objectifs climatiques au Canada ?



Crédit photo : Sven D

RÉFÉRENCES

- Briggs, P. (2020).** Canada Digital Ad Spending Update Q2 2020. <https://content-na1.emarketer.com/canada-digital-ad-spending-update-q2-2020>
- Cozzi Laura et Apostolos Petropoulos. (2019).** Growing reference for SUVs challenges emissions reductions in passenger car market. <https://www.iea.org/commentaries/growing-preference-for-suv-challenges-emissions-reductions-in-passenger-car-market>
- DesRosiers Automotive Consultants Inc. (2021).** *Automotive report. Market snapshot.*
- EMarketer. (2019).** Digital Ad Spending Share in Canada, by Industry, 2019. <https://chart-na1.emarketer.com/241917/digital-ad-spending-share-canada-by-industry-2019-of-total>
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2018).** *Rapport d'inventaire national 1990-2018 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada.* https://publications.gc.ca/collections/collection_2020/eccc/En81-4-2018-1-fra.pdf
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2020).** *Émissions de gaz à effet de serre : Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement.* <https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/cesindicators/ghg-emissions/2020/emissions-gaz-effet-serre-fr.pdf>
- Gouvernement du Canada. (2015).** Indications fausses ou trompeuses et pratiques commerciales trompeuses. <https://www.bureaudelaconcurrence.gc.ca/eic/site/cb-bc.nsf/fra/03133.html#publicite>
- Gouvernement du Canada. (2020).** Pollution atmosphérique : facteurs et incidences. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/pollution-atmospherique-facteurs-incidences.html>
- Médias d'Info Canada. (2016).** *Les journaux : moteurs de ventes d'automobiles – Édition 2016 Acheteurs de nouveaux véhicules.* <https://nmc-mic.ca/wp-content/uploads/2016/06/Newspaper-Media-Drive-Automotive-Sales-FACT-SHEET-New-Car-Buyers-FRENCH.pdf>
- Médias d'Info Canada. (2017).** *Les journaux régionaux : moteurs de résultats – Acheteurs de véhicules 2017.* https://nmc-mic.ca/wp-content/uploads/2017/04/FACT_SHEET_Auto-CommunityNewspapersDriveResults-2017_FR_FINAL.pdf
- Normes canadiennes de la publicité (NCP). (2019).** Interprétation du Code. <https://adstandards.ca/fr/codecanadien/interpretation-du-code/>
- Normes canadiennes de la publicité (NCP). (2021).** Préapprobation de la publicité. <https://adstandards.ca/fr/preapprobation/>
- Vohra, Karn et al. (2021).** « Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem », *Environmental Research*. doi : 10.1016/j.envres.2021.110754
- Zhang, Kai et Stuart Batterman. (2013).** « Air pollution and health risks due to vehicle traffic ». *Science of the Total Environment*. Vol. 450-451, 307-308. doi : 10.1016/j.scitotenv.2013.01.074



Sciences et technologies

L'AGROFORESTERIE, UNE MESURE D'ADAPTATION CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Crédit photo : Emiel Molenaar

Geneviève Gagné

Étudiante au doctorat en agroforesterie
Université du Québec en Outaouais

L'agriculture est un secteur d'activité qui dépend grandement des conditions climatiques. Les prédictions sur le climat annoncent une augmentation des températures de l'air variant entre 2 à 4 °C pour la région de la vallée du Saint-Laurent entre 2041 et 2070 (Ouranos, 2015). La modification des patrons des précipitations apporterait un allongement de la durée des épisodes de sécheresse, spécialement en été, ce qui augmenterait les risques de stress hydrique des cultures, entraînant une diminution des rendements (Vogel *et al.* 2019). De plus, les changements climatiques peuvent modifier les interactions entre les cultures et les insectes pollinisateurs, les ravageurs et les maladies. Face à ces prédictions, l'adoption de mesures d'adaptation est nécessaire pour assurer le maintien de l'approvisionnement en denrées alimentaires.

Parmi les solutions étudiées, se trouve l'agroforesterie. Les systèmes agroforestiers font partie d'une approche agroécologique de l'agriculture qui augmente la résilience des écosystèmes en favorisant des pratiques agricoles régénératrices. Les systèmes agroforestiers, et plus particulièrement les systèmes agroforestiers intercalaires (Figure 1), connaissent un intérêt grandissant. Ils présentent un potentiel pour favoriser l'adaptation des agroécosystèmes aux changements climatiques. Par exemple, des recherches menées au Québec et en Ontario suggèrent que les systèmes agroforestiers intercalaires pourraient diminuer le stress des cultures face à des fluctuations importantes des précipitations (Nasielski *et al.*, 2015; Rivest *et al.*, 2013).

Dans cet article, nous traiterons des interactions entre les arbres et les cultures qui pourraient avoir des impacts positifs sur les problématiques agricoles reliées aux changements climatiques. Nous avons regroupé les impacts des interactions en trois grands enjeux agricoles : la disponibilité de l'eau, la santé des sols et la biodiversité.



Figure 1. Exemple d'un système agroforestier intercalaire situé à Baie-du-Febvre.

Qu'est-ce que l'agroforesterie ?

L'agroforesterie est définie par le Comité agroforesterie du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) comme étant : « *un système intégré qui repose sur l'association intentionnelle d'arbres ou d'arbustes à des cultures ou à des élevages, et dont l'interaction permet de générer des bénéfices économiques, environnementaux et sociaux* » (Anel et al. 2017). Il existe plusieurs types d'agroforesterie à travers le monde qui répondent à différents besoins. L'agroforesterie de subsistance pratiquée dans les zones tropicales est très différente de l'agroforesterie des régions tempérées. Le comité propose de classer les systèmes agroforestiers les plus susceptibles de se retrouver au Québec en deux principaux groupes : les haies (rangées d'arbres et/ou d'arbustes en bordure de champs) et les systèmes intra parcellaires (rangées d'arbres dans la parcelle). Les haies incluent les haies brise-vent, les haies brise-odeur, les bandes riveraines, les haies sylvicoles, etc. Les systèmes agroforestiers intra parcellaires incluent les systèmes sylvopastoraux où les animaux bénéficient d'un pâturage arboré et les systèmes agroforestiers intercalaires (figure 1) qui consistent en la plantation d'arbres dans les champs de grandes cultures comme le soya et le maïs ou de maraichage.

L'eau et le rendement

Le rendement des cultures et l'utilisation de l'eau par les plantes sont dictés par le bon fonctionnement du processus de photosynthèse. La photosynthèse, processus par lequel les plantes captent l'énergie de la lumière du soleil pour en faire des sucres et croître, nécessite un équilibre entre l'apport en lumière, en eau et éléments nutritifs, et l'apport en dioxyde de carbone (CO_2). Les plantes sont munies de petites ouvertures sur leurs feuilles nommées stomates. Les stomates s'ouvrent pour permettre les échanges gazeux : l'entrée de CO_2 et la sortie de l'oxygène (O_2). Lorsque les stomates sont ouverts, la plante perd de l'eau par transpiration, ce qui fait monter l'eau dans la plante à partir des poils racinaires. Plus la température ambiante s'élève ou plus le vent souffle, plus la quantité d'eau évaporée est grande et plus la plante absorbe l'eau qui est contenue dans le sol. Si la force exercée par la plante n'arrive plus à faire monter l'eau, les stomates se ferment, empêchant ainsi l'entrée de CO_2 . La fermeture des stomates est un mécanisme de défense des plantes contre le stress hydrique. Le processus de photosynthèse se retrouve entravé, ce qui bloque la production de sucre, la croissance des plantes et la production des grains. La disponibilité de l'eau est donc un enjeu important pour la photosynthèse et les prédictions climatiques annoncent une diminution de la disponibilité de l'eau durant la saison de croissance.

En modifiant les conditions climatiques locales, les systèmes agroforestiers agissent sur des mécanismes qui régulent l'utilisation de l'eau par les cultures. Les microclimats qu'ils créent protègent les cultures des effets néfastes des changements climatiques comme le stress hydrique. Le paramètre climatique modifié qui est le plus évident est la diminution de la vitesse du vent. À lui seul, ce paramètre a plusieurs impacts

sur l'utilisation de l'eau par les plantes. Une diminution de la vitesse du vent due à la présence de système agroforestier est associée à une diminution de la demande évaporative des cultures (Kanzler, 2019) et une diminution de l'évaporation de l'eau contenue dans les sols. De plus, la réduction de la vitesse du vent diminue l'érosion éolienne, baissant par le fait même les risques de dommages causés aux feuilles par l'abrasion des particules de sol. Dans les systèmes agroforestiers on note une diminution des écarts des températures de l'air. Les températures plus chaudes augmentent le taux de transpiration des plantes. En agissant sur la vitesse du vent et les fluctuations des températures, les systèmes agroforestiers agissent sur plusieurs paramètres qui diminuent la perte d'eau par évaporation des plantes et du sol, ce qui augmente l'efficacité d'utilisation de l'eau par les plantes.

L'agroforesterie et la santé des sols

Un sol en santé permet une meilleure résilience des agroécosystèmes face aux changements climatiques. Il augmente la disponibilité de l'eau du sol pour les plantes par différents mécanismes interreliés que nous avons regroupés en trois phénomènes principaux : l'apport en matière organique, la participation de la structure du sol et l'augmentation de la biodiversité du sol. L'apport en matière organique provenant des feuilles qui tombent à l'automne et des sucres excrétés par le système racinaire accroît la capacité du sol à retenir l'eau et favorise sa structure, via la formation d'humus. La structure du sol est l'arrangement et la cohésion entre elles des particules qui constituent le sol. Un sol bien structuré est composé d'agrégats, c'est-à-dire de particules de sol collées ensemble par des gels microbiens créant des grumeaux poreux. Il contient également des micropores, à l'intérieur des agrégats, et des macropores entre les agrégats ce qui augmente l'infiltration de l'eau dans le sol et sa capacité à emmagasiner cette eau. De plus, la présence de racines d'arbres augmente la diversité et l'abondance des microorganismes (Marsden *et al.* 2020). Les agrégats sont des habitats idéaux pour les microorganismes eux-mêmes. Les systèmes agroforestiers sont susceptibles d'augmenter la présence de mycorhizes dans les sols. Les mycorhizes sont des champignons qui forment des associations symbiotiques avec les racines de nombreuses cultures. Ils deviennent un peu comme une extension des racines permettant, entre autres, l'exploration d'un plus grand volume de sol pour acquérir de l'eau et des éléments nutritifs.

L'agroforesterie et la biodiversité dans les agroécosystèmes

L'incidence des changements climatiques sur les ravageurs des cultures a déjà fait l'objet d'un article paru dans *Le Climatoscope* (Saguez, 2020). Rappelons ici que les modifications du climat pourraient favoriser une augmentation des densités des populations de ravageurs, une augmentation du nombre de générations par année, une plus grande aire de distribution des espèces et un meilleur taux de survie hivernale. L'augmentation du CO₂ dans l'air pourrait entraîner une diminution de la production de composés de défense à base d'azote par les plantes. De plus, le taux d'herbivorie pourrait être augmenté, car les ravageurs ont besoin d'azote et si les tissus des plantes contiennent plus de carbone, ils seront dans l'obligation d'en consommer davantage pour combler leurs besoins en azote (Gagnon *et al.* 2011). Les pollinisateurs et les cultures ont une relation synchronisée. Les semis plus hâtifs entraînant des floraisons plus hâtives modifieront les interactions avec les pollinisateurs. L'abondance de pollinisateurs est également un enjeu, car l'environnement agricole



peut parfois être hostile, notamment avec l'utilisation de pesticides, la raréfaction et le morcellement des habitats et sources de nourriture.

Ces problématiques provoquées par les changements climatiques peuvent être atténuées par une plus grande diversité dans les agroécosystèmes. Les systèmes agroforestiers augmentent la biodiversité en complexifiant le paysage dans le temps et dans l'espace. La présence d'arbres parmi les plantes annuelles augmente le nombre de niches écologiques au sein de l'agrosystème, permettant l'hivernation et apportant des sources alternatives de nourriture pour les populations d'arthropodes (Altieri, 2004). Les populations d'ennemis naturels répondent positivement à la complexification du paysage. Une méta-analyse menée par Pumarino *et al.* 2015, portant sur différents systèmes agroforestiers à travers le monde révèle que l'agroforesterie est bénéfique pour maîtriser les ennemis des cultures. L'étude démontre une diminution des dommages causés par les ravageurs et les maladies dans les systèmes agroforestiers, même si l'abondance des ravageurs n'était pas significativement réduite. Ces résultats ne sont probablement pas directement transposables à tous les systèmes agroforestiers, car les espèces d'arbres et les cultures sont très variables et la maîtrise des ennemis des cultures dépend de plusieurs facteurs.

Néanmoins, il est justifié de penser que l'augmentation de la complexité du paysage par l'adoption de l'agroforesterie augmente la biodiversité, ce qui est un atout pour maîtriser les ennemis des cultures.

L'agroforesterie peut favoriser la présence de pollinisateurs dans l'agroécosystème. Les espèces ligneuses des systèmes agroforestiers sont des sources de nourriture et d'habitats qui aident le maintien des populations de pollinisateurs (Bentrup *et al.* 2019). Également, les microclimats créés peuvent rendre possible l'augmentation des niches et des types d'habitats, ce qui crée des écosystèmes adéquats pour la ponte et l'alimentation. La diversité d'un paysage procure des sources variées de nourriture dans le temps et dans l'espace.

Conclusion

Les systèmes agroforestiers bien aménagés démontrent un potentiel pour augmenter la résilience des agroécosystèmes dans un climat futur. Malgré tous les bénéfices potentiels, nous remarquons que les systèmes agroforestiers demeurent peu présents sur le territoire québécois. Les raisons de ce constat sont multiples et incluent l'incompatibilité des subventions et programmes



Crédit photo : Trey Musk

d'aide financière pour les agriculteurs et la perception que les systèmes agroforestiers sont difficilement compatibles avec les méthodes agricoles dites conventionnelles (Laroche et al. 2019). Également, le manque de connaissances et d'informations concernant la régie de ces systèmes est évoqué. Les systèmes agroforestiers proposent des solutions pour diminuer les impacts négatifs sur le rendement des cultures dans un climat futur. De plus, l'adoption de pratiques agroforestières pourrait transformer le territoire agricole en puits de carbone, car les arbres sont excellents pour stocker du carbone dans le sol et évidemment dans leur biomasse aérienne. L'adoption de systèmes agroforestiers est une opportunité intéressante pour le Québec et l'augmentation de la recherche sur les terres québécoises clarifierait les bénéfices de ces systèmes, ce qui pourrait favoriser l'intégration de ces pratiques sur l'ensemble de la province.

Crédit photo : Ivan Bandura

RÉFÉRENCES

- Altieri, M.A et Nicholls, C.I. (2004).** Effects of agroforestry systems on the ecology and management of insect pest populations. Dans Gurr, G., Wratten, S. et Altieri M.A (dir.), *Ecological engineering for pest management: advances in habitat manipulation for arthropods*. (p. 143-154), CSIRO
- Anel B., Cogliastro A., Olivier, A. et Rivest, D. (2017).** Une agroforesterie pour le Québec. Document de réflexion et d'orientation. Comité agroforesterie, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec. 73 p.
- Bentrup, G., Hopwood, J., Adamson, N. L., & Vaughan, M. (2019).** Temperate agroforestry systems and insect pollinators: A review. *Forests*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/f10110981>
- Gagnon, A.-È., Roy, M., & Roy, A. (2011).** Document synthèse : Impacts directs et indirects des changements climatiques sur les ennemis des cultures, 80.
- Kanzler, M., Böhm, C., Mirck, J., Schmitt, D., & Veste, M. (2019).** Microclimate effects on evaporation and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield within a temperate agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 93(5), 1821-1841. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0289-4>
- Laroche, G., Démon, G., Gélinas, N. & Olivier, A. (2019).** Integrating agroforestry intercropping systems in contrasted agricultural landscapes: a SWOT-AHP analysis of stakeholders' perceptions. *Agroforest Syst* 93, 947-959. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0191-0>
- Marsden, C., Martin-Chave, A., Cortet, J., Hedde, M. & Capowiez, Y. (2020).** How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review. *Plant Soil* 453, 29-44. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04322-4>
- Ministère du Développement durable de l'Environnement de la Faune et des Parcs (MDDEFP). (2019).** Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2018 et leur évolution depuis 1990. Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2018/inventaire1990-2018.pdf>
- Nasielski, J., Furze, J.R., Tan, J., Bargaz, A., Thavathasan, N.V. & Isaac, M.E. (2015).** Agroforestry promotes soybean yield stability and N₂-fixation under water stress. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 1541-1549.
- Ouranos (2015).** *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec*. Édition 2015. Montréal, Québec : Ouranos.
- Pumariño, L., Sileshi, G. W., Gripenberg, S., Kaartinen, R., Barrios, E., Muchane, M. N., ... Jonsson, M. (2015).** Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: A meta-analysis. *Basic and Applied Ecology*, 16(7), 573-582. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.08.006>
- Rivest, D., Lorente, M., Olivier, A. & Messier, C. (2013).** Soil biochemical properties and microbial resilience in agroforestry systems: effects on wheat growth under controlled drought and flooding conditions. *Science of the Total Environment* 463-464: 51-60.
- Saguez, J. (2020).** Impacts et défis liés aux changements climatiques pour la gestion des ennemis des grandes cultures au Québec. *Le Climatoscope*, 2. Repéré à <https://climatoscope.ca/article/impacts-et-defis-lies-aux-changements-climatiques-pour-la-gestion-des-ennemis-des-grandes-cultures-au-quebec/>
- Vogel, E., Donat, M. G., Alexander, L. V., Meinshausen, M., Ray, D. K., Karoly, D., ... Frieler, K. (2019).** The effects of climate extremes on global agricultural yields. *Environmental Research Letters*, 14(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab154b>

Sciences et technologies

AGRICULTURE ET AGRICULTURE BIOLOGIQUE : SOLS EN CULTURE, ÉMISSIONS DE N₂O ET TRANSITION AGROÉCOLOGIQUE

Gilles Gagné

Agronome et chercheur, Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité (CETAB+) Institut nationale d'agriculture biologique Cégep de Victoriaville

Le secteur de l'agriculture est un important émetteur de gaz à effet de serre (GES). Il est possible de réduire les émissions de ce secteur grâce, entre autres, à une meilleure gestion des sols en culture. L'agriculture en mode biologique présente un fort potentiel de réduction des émissions de GES, notamment car l'utilisation d'engrais azotés de synthèse est interdite. Des travaux de recherche visent à documenter et comparer différents itinéraires agronomiques en grandes cultures biologiques en regard de leurs émissions de GES. Dans cet article, ces aspects seront sommairement présentés.

Les émissions de GES provenant de l'agriculture représentent 12 % des émissions anthropiques mondiales et 35 % de celles-ci sont associées au protoxyde d'azote (N₂O). Si les émissions de GES reliées aux activités de pré- et de post-production dans le système alimentaire mondial sont incluses, celles-ci seraient responsables de 21 à 37 % des émissions (GIEC, 2019). L'agriculture engendrerait 70 % des émissions mondiales de N₂O d'origine humaine et celles-ci sont surtout reliées aux apports d'azote sur les sols en culture. Le N₂O est un puissant GES avec un potentiel de réchauffement global 298 fois plus élevé sur 100 ans qu'une molécule de dioxyde de carbone (CO₂), en plus d'affecter

la couche d'ozone. Selon l'Organisation météorologique mondiale, il contribue à 7 % du forçage radiatif positif, soit l'équilibre entre le rayonnement solaire entrant et les émissions de rayonnements infrarouges sortant de l'atmosphère, et sa concentration augmente annuellement.

Au Canada, en 2018, 10 % des émissions anthropiques de GES provenait de l'agriculture (ECC, 2020). L'application d'engrais azotés de synthèse représentait 15 % de ce pourcentage via les émissions de N_2O associées, soit 11 Mt équivalent CO_2 . Les sources directes d'émissions de N_2O attribuables aux sols agricoles sont les engrais azotés de synthèse, les engrais azotés organiques, les déjections animales, les enclos des animaux, les résidus de culture, la minéralisation de matières organiques du sol et la culture en sol organique. Pour cette même année au Québec, le secteur de l'agriculture a contribué pour 9,6 % des émissions de GES (MELCC, 2020). Le N_2O contribue à hauteur de 40 % de ces émissions et celles-ci proviennent à 79 % de la gestion des sols agricoles et à 21 % de la gestion des engrais de ferme. De 1990 à 2018, les émissions liées à la gestion des sols agricoles ont augmenté de 25 %. Cette hausse serait principalement due à la progression annuelle des applications d'engrais azotés de synthèse ainsi qu'au changement de techniques de travail du sol, soit l'augmentation du travail minimal du sol.

Émissions de N_2O et sols en culture

Tous les sols dégagent de manière naturelle du N_2O , mais les sols en culture en émettent davantage en raison principalement des applications d'azote sous forme d'engrais de synthèse et d'engrais de ferme (fumiers, lisiers, purins, composts). Ces émissions sont liées à deux principaux processus microbiologiques : la nitrification (oxydation de l'ammonium NH_4^+ en nitrate NO_3^-) et la dénitrification incomplète (réduction du nitrate NO_3^- en N_2O). Selon Le Gall et al. (2014), plusieurs microorganismes possèdent la faculté de transformer les nitrates en nitrites (NO_2^-), mais seule une petite partie est capable de transformer les nitrites en composés gazeux, à savoir en N_2O puis en N_2 . En particulier, la capacité des microorganismes à réduire le N_2O en N_2 serait relativement rare, ce qui se traduit donc par des émissions de N_2O (Figure 1).

La nitrification et la dénitrification dépendent des conditions du milieu, en particulier de la température et de l'humidité du sol, ainsi que de la disponibilité en substrats (azote minéral ou organique et carbone organique) et en oxygène. Pour la dénitrification, la saturation en eau du sol est l'un des paramètres les plus importants puisqu'elle réduit la disponibilité

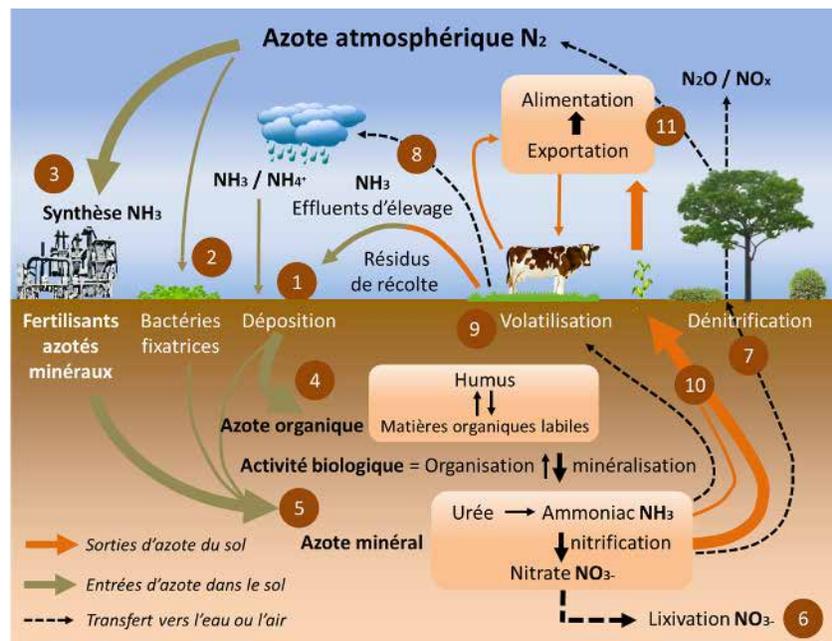


Figure 1. Le cycle de l'azote. Source : Brouquisse et Puppo (2019)

de l'oxygène dans le sol, les nitrates étant alors utilisés par des microorganismes comme source d'oxygène. Les émissions de N₂O varient selon les précipitations, les cultures et le drainage, la température et les propriétés du sol (Rochette et al., 2018) dont la compaction, qu'elle soit naturelle ou anthropique. Des modèles d'émission ont été développés afin de préciser le *facteur d'émission*, un facteur utilisé dans les inventaires de GES. Ainsi, le logiciel *Holos* développé par Agriculture et Agroalimentaire Canada permet d'obtenir une estimation des émissions de N₂O pour une entreprise agricole et de dégager des pratiques qui réduisent ou augmentent celles-ci.

Peu importe qu'il s'agisse d'une molécule de NO₃⁻ provenant d'un engrais de synthèse ou organique, puisqu'il n'y a chimiquement aucune différence entre celles-ci : plus il y a d'azote apporté, plus il y a émission de N₂O, et ce, d'autant plus lorsqu'aucun couvert végétal n'est présent pour utiliser cet azote comme nutriment. C'est pourquoi beaucoup d'efforts sont consacrés pour éviter les apports excessifs d'azote en tentant de synchroniser les besoins des cultures avec les apports, notamment pour la culture du maïs-grain étant donné son importante superficie et son besoin élevé en azote. Depuis les années 1980, ces efforts sont constants au Québec, bien avant la reconnaissance des conséquences des émissions de N₂O sur le climat. Les excès d'apports d'azote et de phosphore sous forme minérale ou organique par rapport au besoin des cultures et à la capacité d'adsorption des sols avaient alors entraîné une forte dégradation de plans d'eau (eutrophisation) et de nappes phréatiques (nitrates) et la volatilisation d'ammoniac (pollution de l'air et acidification des sols). Et cela, sans compter la perte économique que représente l'ajout d'engrais inutilisé par la culture.

Les grandes cultures du Québec selon le mode de production

Les grandes cultures annuelles du Québec triées par ordre d'importance en termes de superficie cultivée en 2019 sont le maïs-grain (382 500 ha), le soya (366 700 ha), les céréales à paille (blé, avoine et orge, 218 200 ha)

et le canola (12 100 ha), soit la culture des grains, qui sont principalement destinés à l'alimentation animale. Au total, 979 500 ha ont été semés en 2019, soit plus de la moitié de la superficie totale en culture du Québec. Pour cette même année et ces mêmes cultures au Québec, la superficie cultivée en mode biologique a été de 38 932 ha selon le Portail Bio Québec, soit 4 % de l'ensemble. Il s'agit d'un pourcentage en constante progression puisque celui-ci était de 2,4 % en 2016¹.

L'agriculture biologique

La Fédération internationale des mouvements pour l'agriculture biologique (IFOAM) définit l'agriculture biologique comme : « *un système de production qui soutient la santé des sols, des écosystèmes et des personnes. Elle repose sur des processus écologiques, une biodiversité et des cycles adaptés aux conditions locales, plutôt que sur l'utilisation d'intrants ayant des effets néfastes. L'agriculture biologique combine la tradition, l'innovation et la science pour bénéficier de l'environnement partagé et promouvoir des relations équitables et une bonne qualité de vie pour tous les acteurs* ». Les engrais de synthèse, pesticides de synthèse et plantes OGM (organisme génétiquement modifié) sont interdits. Pour distinguer agriculture conventionnelle et biologique, on pourrait donc utiliser les termes *Agriculture avec intrants de synthèse et plantes OGM* et *Agriculture sans intrants de synthèse et plantes OGM*. Cette interdiction est définie dans la *Norme biologique canadienne*. Le respect de celle-ci est assuré par des organismes de certification, autant pour les aliments produits au Québec que pour ceux importés. Ce processus garantit en finalité aux consommateurs que le mode biologique a été respecté. Ainsi, par rapport à d'autres agrosystèmes non normés et non certifiés dits durables et associés à l'agriculture conventionnelle (Larbodière et al., 2020), ce processus assure l'obtention de gains en termes de réduction des GES et d'autres impacts sur l'environnement, des externalités dites négatives. La conversion d'une superficie de culture en mode conventionnel au mode biologique présente ainsi un bénéfice quantifiable et vérifiable en termes de réduction de la détérioration de l'environnement sur cette surface. Nous reviendrons sur les comparaisons environnementales entre les modes de production conventionnelle et biologique sur la base d'unités de surface et d'unités de rendement.

1. Pour plus d'information sur l'évolution et le soutien du mode de production biologique au Québec et ailleurs, le lecteur peut consulter un rapport de l'Union des producteurs agricoles du Québec. https://www.upa.qc.ca/wp-content/uploads/filebase/Analyse_soutien_AG_BIO_QC-CAN-Internationale_PUBLICATION_UPA_2021-03-08.pdf

Une expérimentation sur les émissions de GES en grandes cultures biologiques

En 2018 et 2019, nous avons effectué une expérimentation sur la ferme du Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité (CETAB+) située à l'Institut national d'agriculture biologique (INAB) du Cégep de Victoriaville, afin de mesurer les émissions directes saisonnières de GES selon différentes pratiques agricoles (Gagné et al., 2020). L'objectif du projet était de documenter et comparer des itinéraires agronomiques utilisés en grandes cultures biologiques durant la période de transition (trois ans) d'une terre conventionnelle au biologique en regard de ses émissions de GES dans le cadre d'une rotation annuelle typique céréales, maïs-grain et soya.

Les trois itinéraires agronomiques en parcelles selon les trois années ont été les suivants :

A : Orge avec trèfle rouge, fumier de poulet au printemps suivi d'un labour avant le maïs-grain, labour au printemps avant le soya;

B : Orge avec trèfle rouge et labour à l'automne, fumier de poulet au printemps et incorporation de celui-ci en surface avant le maïs-grain, labour au printemps avant le soya;

C : Orge avec trèfle rouge fauchée à épiaison et labour à l'automne, aucune application de fumier l'année du maïs-grain, labour au printemps avant le soya.

Étonnamment, les rendements du maïs-grain ont été équivalents peu importe le traitement, soit une excellente moyenne 10,5 t/ha. Il faut cependant noter que la fertilité naturelle du sol de ce site est élevée : bonne porosité (aération), forte teneur en matière organique et bonne

minéralisation de l'azote organique associée à une activité biologique élevée, drainage naturel favorable, etc. Avoir une excellente fertilité naturelle du sol est un objectif primordial en mode biologique, particulièrement pour la nutrition en azote de cultures exigeantes comme le maïs-grain. L'utilisation d'un sol dégradé ou avec une faible fertilité naturelle est non viable.

Les résultats en termes d'émissions de N_2O pour le maïs-grain en 2018 selon les trois traitements sur une base de surface sont présentés à la Figure 2, et sur une base d'unité de rendement à la Figure 3.

En résumé, avec les conditions climatiques de 2018, les émissions de N_2O ont été les plus élevées pour le traitement A, soit l'incorporation du fumier par labour; suivi du traitement B, soit l'incorporation superficielle du fumier; et les plus faibles pour le traitement C, sans fumier, soit avec seulement les engrais verts enfouis l'année précédente comme source externe de fertilisant azoté.

Ainsi, il est possible de réduire les émissions de N_2O tout en obtenant des rendements économiquement viables sans utiliser d'engrais azotés de synthèse (et idéalement avec peu ou sans engrais de ferme). Cette situation se retrouve déjà chez de nombreuses entreprises en grandes cultures biologiques. Il faut noter que les coûts d'achat des engrais et pesticides de synthèse sont élevés et leur utilisation inefficace peut donc diminuer les marges de rentabilité chez les entreprises en grandes cultures conventionnelles. De plus, les producteurs en mode biologique reçoivent un montant plus élevé (une prime) pour leur production de grains et celui-ci est justifié par l'offre et la demande puisque les consommateurs achètent à des prix souvent plus élevés des aliments produits selon ce mode de production. Ainsi, bien que produisant actuellement des rendements souvent inférieurs, les producteurs de grandes cultures biologiques obtiennent des revenus adéquats par rapport aux coûts de production.

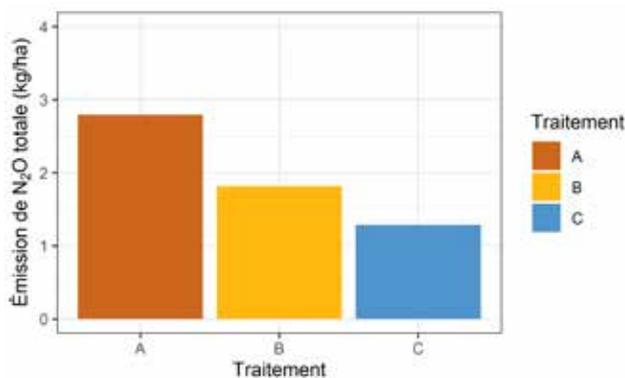


Figure 2. Histogramme des émissions saisonnières de N_2O en 2018 par traitement (kg/ha) pour le maïs-grain.

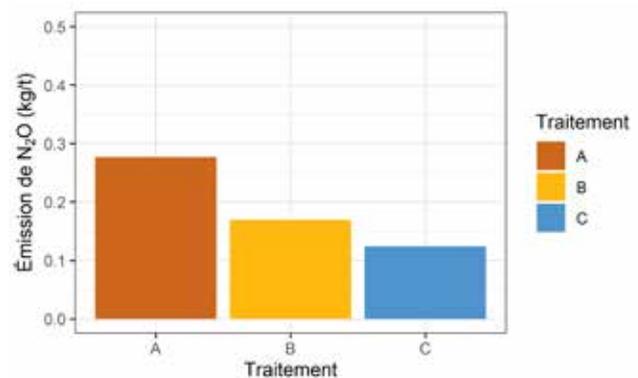


Figure 3. Histogramme des émissions saisonnières de N_2O en 2018 par traitement (kg/tonne de rendement) pour le maïs-grain.

En complément, nous avons évalué l'incidence de la conversion en mode biologique de la culture du maïs-grain pour l'ensemble du Québec sur la réduction des émissions de N_2O en comparant les émissions saisonnières directes mesurées lors de ce projet avec les émissions directes de cette culture selon une estimation obtenue avec le logiciel *Holos*, soit 3,7 kg N_2O /ha pour du maïs-grain cultivé avec des engrais azotés de synthèse. Cette réduction théorique est considérable, et ce, sans tenir compte des émissions de GES évitées associées à la fabrication des engrais azotés avec le procédé Haber-Bosch (encadré 1). Une réduction qui justifierait la mise en place d'un système de crédit compensatoire collectif associé au mode biologique. Nous poursuivons actuellement nos recherches par la mesure d'émissions de GES et de teneurs en carbone organique du sol dans le cadre d'un dispositif longue durée en grandes cultures biologiques où plusieurs itinéraires agronomiques (rotation, fertilisation, travail du sol) sont expérimentés (Figure 4).



Figure 4. Le dispositif longue durée en grandes cultures biologiques du CETAB+ à l'INAB (crédit photo : CinéOr)

Conclusion

Il est reconnu, et personne ne le conteste, que les rendements en mode biologique sont souvent plus faibles que ceux en mode conventionnel. Les centaines d'études qui comparent les deux modes arrivent globalement aux mêmes conclusions : les impacts environnementaux du mode biologique, dont les émissions de GES, sont généralement moindres sur une base d'unités de surface (Sautereau et Benoit, 2016; Skinner *et al.*, 2019) et cette diminution est beaucoup moins évidente sur une base d'unités de rendement (Clark et Tilman, 2017). Cette question de plus faibles rendements a récemment fait l'objet de quelques débats au Québec. L'agronome Louis Robert a bien résumé ceux-ci dans un article d'opinion².

Se nourrir est le premier besoin des humains. La demande mondiale actuelle et future en aliments pourrait être satisfaite si les diètes étaient composées de moins de viandes et de plus de végétaux (céréales et légumes), si les pertes et gaspillages d'aliments étaient réduits et si les aliments étaient distribués de manière plus équitable. Il s'agit d'objectifs ambitieux et leurs réalisations sont parsemées d'embûches. Notons également que 1,9 milliard d'adultes étaient en surpoids ou obèses en 2014 selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Le moment est propice à une transition écologique de notre système alimentaire complexe et mondialisé, mais des intérêts économiques importants sont en jeu. L'agriculture conventionnelle n'est pas nécessairement une catastrophe alors que l'agriculture biologique n'est pas la solution miracle bien qu'elle puisse grandement contribuer à réduire les impacts environnementaux associés à la production d'aliments (Barbieri *et al.*, 2021). Mais, au Québec, l'alternance maïs-grain et soya avec

LE PROCÉDÉ HABER-BOSCH

*Ce procédé inventé en 1913 consiste à produire de l'ammoniac (NH_3) à partir d'azote atmosphérique (N_2), un gaz qui représente 78 % de la composition de l'atmosphère, et d'hydrogène issu du méthane. Un pour cent des émissions anthropiques de GES proviendrait de ce procédé, alors qu'elle ne sont pas comptabilisées dans l'inventaire du Québec puisque générées hors Québec. Cette production d'ammoniac, de laquelle différentes formulations d'engrais azotés de synthèse sont ensuite dérivées, est essentielle étant donné sa contribution à la production d'aliments sur la planète. La synthèse biochimique de NH_3 via l'entremise de la fixation d'azote atmosphérique par des microorganismes est un mécanisme beaucoup moins énergivore et celle-ci concerne principalement des légumineuses comme le soya, le trèfle et le pois en symbiose avec des bactéries fixatrices via des nodosités situées sur leurs racines (Larbodière *et al.*, 2020). C'est cette synthèse qui est valorisée et favorisée dans les agrosystèmes biologiques via l'inclusion de légumineuses dans les rotations afin de fournir de l'azote au sol et subséquemment, via notamment la minéralisation de la matière organique du sol, aux plantes ne disposant pas de cette propriété. Il s'agit donc ici d'une substitution d'un intrant de synthèse par un processus biochimique.*

2. L'agriculture de demain sera-t-elle bio ou traditionnelle?
<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/monteregie/articles/production/Pages/agriculture-demain-bio-traditionnelle.aspx>

une forte utilisation d'engrais et pesticides de synthèse sans l'intégration de pratiques agroécologiques n'est pas un système de production durable. Un changement majeur ne sera possible qu'avec des politiques concertées selon l'intérêt public et soutenues par les populations et les organisations paragouvernementales (Mundler, 2020). La transition agroécologique de l'agriculture, dont le mode biologique, se met en place graduellement. Toutefois, considérant la forte contribution de l'agriculture aux émissions de GES, celle-ci devra s'effectuer plus rapidement face à l'urgence climatique.

Crédit photo : Markus Spiske



RÉFÉRENCES

Barbieri, P. et al. (2021). Global option space for organic agriculture is delimited by nitrogen availability. *Nat Food*, 2, 363–372 <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00276-y>

Brouquisse, R. et Puppo, A. (2019). *Des plantes qui vivent de l'air du temps*. Encyclopédie de l'environnement. Repéré à <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/plantes-air-du-temps/>

Clark, M. et Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environ. Res. Lett.*, 12(6) 1-11 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5>

Environnement et Changement climatique Canada (ECC). (2020). *Rapport d'inventaire national 1990–2018 : Sources et puits de gaz à effet de serre*. Repéré à <http://www.publications.gc.ca/site/fra/9.502402/publication.html>

Gagné, G. et al. (2020). Mesures de GES selon quatre itinéraires de transition en grandes cultures biologiques afin d'évaluer leur potentiel de réduction d'émissions. Repéré à <https://cetab.bio/wp-content/uploads/reduction-ges-transition-grandes-cultures-bio-rapport-gagne-cetab-2020.pdf>

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2019). *Changement climatique et terres émergées : Rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres*. Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCCL_SPM_fr.pdf

Larbodière, L. et al. (2020). *Notre terrain d'entente : rétablir la santé des terres pour une agriculture durable*. UICN. Repéré à <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-023-Fr.pdf>

Le Gall, C. et al. (2014). Analyser et estimer les émissions de N₂O dans les systèmes de grandes cultures français. *Innovations Agronomiques*, 34, 97-112. <https://www6.inrae.fr/ciag/content/download/5227/40871/file/Vol34-7-Legall.pdf>

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2020). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2018 et leur évolution depuis 1990*. 48 p. Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2018/inventaire1990-2018.pdf>

Mundler, P. (2020). *Nourrir, produire, protéger les personnes et les ressources. Les voies d'une transition agroécologique du système bioalimentaire québécois*. Rapport de projet. Cirano. 21 p. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/348602306_Mundler_2020_Nourrir_produire_proteger_les_personnes_et_les_ressources

Rochette, P. et al. (2018). Soil nitrous oxide emissions from agricultural soils in Canada: Exploring relationships with soil, crop and climatic variables. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254, 69-81. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.021>

Sautereau, N. et Benoit, M. (2016). *Quantification et chiffrage des externalités de l'agriculture biologique*. Rapport d'étude. ITAB. 136 p. Repéré à <http://itab.asso.fr/downloads/amenites/amenites-ab-rapport-nov2016.pdf>

Skinner, C. et al. (2019). The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions. *Sci. Rep.* 9:1702. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38207-w>

Sciences et technologies

PORTRAIT DES ALLERGIES AU POLLEN CHEZ LA POPULATION QUÉBÉCOISE

Magalie Canuel

Conseillère scientifique, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie
Institut national de santé publique

Pierre Valois

Directeur de l'Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques
Professeur, Faculté des sciences de l'éducation
Université Laval

Maxime Tessier

Professionnel de recherche, Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques
Université Laval

Louis-Philippe Boulet

Médecin, Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec
Professeur, Faculté de médecine
Université Laval

Jean-Nicolas Boursiquot

Médecin, CHU de Québec-Université Laval
Professeur, Faculté de médecine
Université Laval

Denis Talbot

Professeur, Faculté de médecine
Université Laval

L'arrivée du beau temps, même si toujours la bienvenue, marque également le début de la saison des allergies au pollen. Au Québec, un million de personnes souffrent chaque année de symptômes en découlant. Cet article vise principalement à présenter les résultats d'une étude réalisée en 2019 par l'Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques (OQACC, 2021). Cette enquête a été menée dans l'ensemble des régions du Québec auprès de 1 659 personnes âgées de 18 ans ou plus et ayant déclaré avoir des allergies au pollen. Le but de l'étude est de documenter les comportements adoptés par ces personnes pour diminuer leurs symptômes d'allergies.

L'allergie au pollen, communément appelée « rhume des foins », est une réaction du système immunitaire qui se produit après une exposition à une substance normalement inoffensive, telle que le pollen. De l'histamine est alors sécrétée par certaines cellules du système immunitaire, soit les mastocytes, ce qui déclenche une inflammation permettant au corps de se protéger de substances potentiellement dangereuses. Les symptômes de cette réponse du système immunitaire incluent de la congestion et de l'écoulement nasal, des éternuements et de l'irritation aux yeux.

Situation au Québec

Au Québec, la saison des allergies au pollen débute dès la fonte de la neige, en avril ou en mai. C'est le pollen des arbres et des arbustes qui prédomine à cette période de l'année. De mai à juillet, il cède sa place au pollen des graminées, comme le foin et le gazon (Canuel et Lebel, 2012). Cette famille de pollen déclenche des symptômes chez près de 63 % des personnes qui ont des allergies au pollen. De la fin juillet jusqu'aux premiers gels vers octobre, c'est le pollen des mauvaises herbes qui est présent, surtout celui de l'herbe à poux. À cet égard, le pollen de l'herbe à poux déclencherait des symptômes chez près de la moitié (47 %) des personnes allergiques au pollen.

Selon l'enquête de l'OQACC, près de 57 % des personnes allergiques déclarent avoir des allergies à au moins deux des trois grandes familles de pollen (arbres, graminées ou mauvaises herbes). Ainsi, les symptômes peuvent perdurer sur une longue période pour une grande proportion d'entre elles. Dans la même veine, un peu plus d'une personne allergique sur cinq (23 %) rapporte avoir des symptômes pour ces trois familles de pollen présentes au Québec.

Un lien avec les changements climatiques ?

En 2014-2015, l'Enquête québécoise sur la santé de la population estimait qu'environ un adulte sur sept (14 %) présentait des symptômes d'allergies au pollen (Ministère de la Santé et des Services sociaux, 2019).

Avec les changements climatiques, des printemps plus hâtifs et des premiers gels plus tardifs sont prévus, ce qui allongerait la période de présence de pollen dans l'air et la durée des symptômes. Selon une étude réalisée à Montréal, la floraison de l'herbe à poux est d'ailleurs passée de 42 jours en 1994 à 63 jours en 2002 (Demers, 2013). On prévoit aussi des étés plus chauds dans toutes les régions du Québec, ce qui favoriserait la propagation de certaines plantes comme l'herbe à poux dans des régions où leur présence est encore peu abondante. Les personnes habitant ces régions, notamment celles un peu plus au nord, se retrouveraient exposées à de nouveaux allergènes et pourraient ainsi développer des symptômes d'allergies compte tenu de ces nouvelles expositions (Demers, 2013).

La pollution atmosphérique a aussi un effet sur les allergies au pollen. Par exemple, une concentration plus élevée en dioxyde de carbone stimule la croissance des plantes et la production de pollen. La population est ainsi davantage exposée à des concentrations plus élevées de

pollen et risque de développer des allergies au pollen, en raison de la sensibilisation. Par ailleurs, les polluants de l'air comme l'ozone, le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre, le dioxyde de carbone et les particules fines dégraderaient la structure des pollens, entraînant ainsi la libération des allergènes qu'ils renferment.

Ils fragiliseraient les muqueuses nasales, rendant les personnes allergiques plus sensibles à l'action des pollens (Demers, 2013).

Effets des symptômes

Sur la base de la définition utilisée par l'initiative ARIA¹, dont l'expertise porte sur les allergies au pollen et sur l'asthme (Klimek *et al.*, 2019), les résultats de l'étude de l'OQACC montrent qu'un peu plus de la moitié (59 %) des personnes qui ont des allergies au pollen présentent des symptômes sévères. Parmi celles-ci, 58 % sont dérangées par leurs symptômes au nez et 52 % par ceux aux yeux, 40 % ont des troubles du sommeil, 36 % ont des troubles de concentration, 44 % ont des problèmes de productivité au travail ou à l'école et 34 % sont limitées dans leurs activités quotidiennes, de loisir ou de sport. De plus, environ 29 % des personnes ayant des symptômes sévères ont déclaré être irritables ou de mauvaise humeur (toujours ou souvent) lorsqu'elles ressentaient des symptômes. Enfin, 7 % ont dû s'absenter du travail ou de l'école à cause de leurs symptômes.

Traitement et médication

Les symptômes d'allergies au pollen peuvent être soulagés de plusieurs façons, par exemple en suivant un traitement de désensibilisation, en prenant des médicaments ou en limitant son exposition au pollen.

Le traitement le plus efficace reste le traitement de désensibilisation, surtout lorsque les symptômes d'allergies sont sévères. Il consiste à exposer régulièrement la personne allergique à de faibles doses d'allergènes, et ce, sur plusieurs années. Selon l'étude de l'OQACC réalisée au Québec en 2019 auprès de personnes ayant des allergies au pollen, 16 % des répondants suivaient un traitement de désensibilisation (figure 1) et près des trois quarts (71 %) trouvaient ce traitement très ou assez efficace pour diminuer leurs symptômes (figure 2).

1. Selon la définition de l'ARIA (*Allergic rhinitis and its impact on asthma*), une personne présente des symptômes sévères s'ils : ont dérangé ou perturbé son sommeil (toujours ou souvent) OU ont limité ses activités quotidiennes, de loisirs ou de sport (modérément ou beaucoup) OU ont occasionné des problèmes de concentration ou d'efficacité à l'école ou au travail (oui) OU ont dérangé la personne (très ou énormément).

La médication est très souvent employée pour soulager les symptômes d'allergies au pollen. En effet, environ 79 % des répondants de l'étude de l'OQACC rapportaient avoir pris des médicaments pour soulager leurs symptômes d'allergies. Plus précisément, 54 % d'entre eux ne prenaient que des médicaments en vente libre, 8 % ne prenaient que des médicaments prescrits et 17 % consommaient les deux types de médicaments (figure 1). Parmi les personnes allergiques qui ont rapporté prendre des médicaments prescrits ou en vente libre, neuf sur dix déclaraient les trouver très ou assez efficaces pour diminuer leurs symptômes d'allergies au pollen (figure 2). Les résultats de l'étude montrent aussi que plus des trois quarts des répondants rapportaient que leurs symptômes étaient entièrement ou beaucoup soulagés par la prise de médicaments, que ceux-ci soient en vente libre (77 %) ou prescrits (86 %) (ces résultats ne sont pas illustrés dans les figures).

Il est aussi intéressant de constater que, chez les personnes qui ont rapporté prendre les deux types de médicaments, 89 % trouvaient les médicaments prescrits très efficaces (41 %) ou assez efficaces (48 %), comparativement à 78 % qui trouvaient les médicaments en vente libre très efficaces (29 %) ou assez efficaces (49 %) (ces résultats ne sont pas illustrés dans la figure 2). Les résultats indiquent aussi que les personnes qui prenaient les deux types de médicaments déclaraient en plus grande proportion avoir ressenti des effets secondaires (38 %) que les personnes qui prenaient uniquement des médicaments en vente libre (23 %) ou uniquement des médicaments prescrits (29 %). En effet, qu'il s'agisse de médicaments en vente libre (p. ex. antihistaminique) ou prescrits (p. ex. corticostéroïde nasal), des effets secondaires ont été relevés. Selon la littérature, les antihistaminiques, surtout ceux de première génération (p.ex. Benadryl), peuvent causer de la somnolence.

Un plan de traitement personnalisé demeure un des avantages de consulter un professionnel de la santé lorsque des symptômes d'allergies au pollen se font ressentir. À cet effet, parmi les 26 % qui ont indiqué avoir consulté un professionnel de la santé au cours des trois dernières années (figure 1), environ 79 % considéraient que cette visite médicale avait conduit de façon efficace à une diminution de leurs symptômes d'allergies (figure 2).

Réduire son exposition au pollen

Puisque les médicaments ne sont pas toujours efficaces et qu'ils peuvent occasionner des effets secondaires, les spécialistes recommandent que les personnes allergiques adoptent des comportements préventifs pour

diminuer leur exposition au pollen. Les comportements qui sont généralement recommandés peuvent se faire à la maison ou lors d'activités à l'extérieur (Gouvernement du Québec, 2020). Il est notamment suggéré d'éviter d'aller à l'extérieur lorsque les concentrations de pollen sont élevées. Malgré cela, les résultats de l'étude de l'OQACC ont indiqué que seulement 20 % des personnes qui ont des allergies évitaient de sortir (figure 1).

Toutefois, des stratégies existent pour diminuer son exposition au pollen à l'extérieur, par exemple fermer les fenêtres de la voiture ou porter des lunettes de soleil, un masque à pollen ou un filtre nasal à pollen. Selon l'étude de l'OQACC, le port d'un masque ou d'un filtre nasal à pollen figure parmi les mesures les plus efficaces. L'étude a néanmoins montré que, bien que perçus comme les plus efficaces par les répondants, ces deux comportements étaient les moins souvent adoptés : seulement 6 % et 5 % des personnes qui ont des allergies portaient un masque à pollen et un filtre nasal à pollen, respectivement (figure 1). Soulignons que 77 % et 69 % des répondants qui ont utilisé le masque et le filtre nasal rapportaient le trouver très ou assez efficace pour diminuer leurs symptômes (figure 2).

À l'inverse, les résultats révèlent que, bien que le port de lunettes de soleil soit adopté par plus de la moitié (64 %) des personnes allergiques au pollen, seulement 32 % les trouvaient efficaces pour diminuer leurs symptômes. Effectivement, même s'il est possible que l'utilisation de lunettes de soleil permette de diminuer la quantité de pollen qui se dépose dans les yeux, leur efficacité dépend de plusieurs facteurs, dont la vitesse et la trajectoire du vent. De plus, les lunettes ne sont pas efficaces pour atténuer les symptômes nasaux associés au rhume des foins.

En outre, bien que les spécialistes recommandent de fermer les portes et les fenêtres du domicile au moment de la journée où les concentrations de pollen sont élevées, l'étude indique que seulement 51 % des répondants le faisaient. La ventilation du logement est également conseillée lorsque les concentrations de pollen sont plus faibles, soit avant le lever et après le coucher du soleil. À cet égard, 20 % des répondants pensaient, à tort, que les concentrations de pollen restaient les mêmes tout au long de la journée; 11 % ont quant à eux rapporté ignorer ce fait.

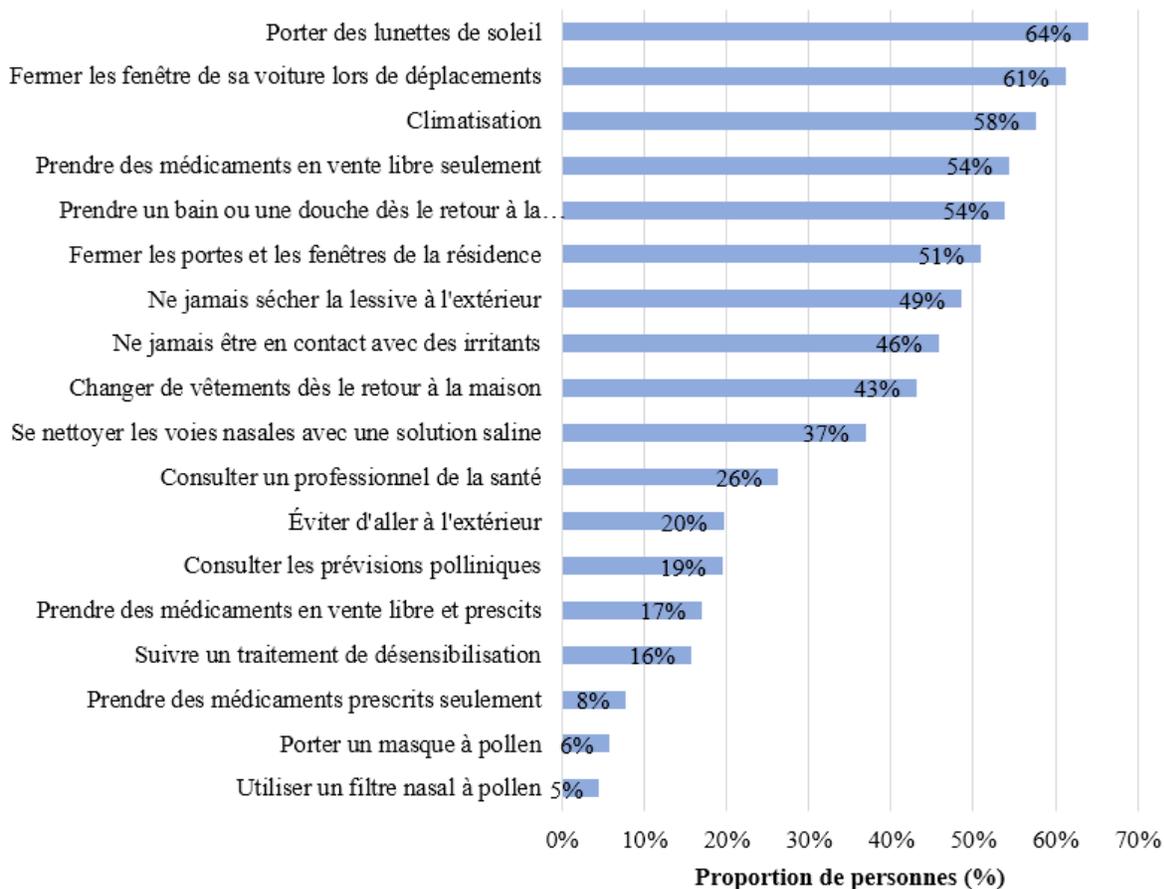


Figure 1. Proportion de personnes ayant des allergies au pollen et qui adoptent des comportements pour réduire leurs symptômes ou leur exposition au pollen.

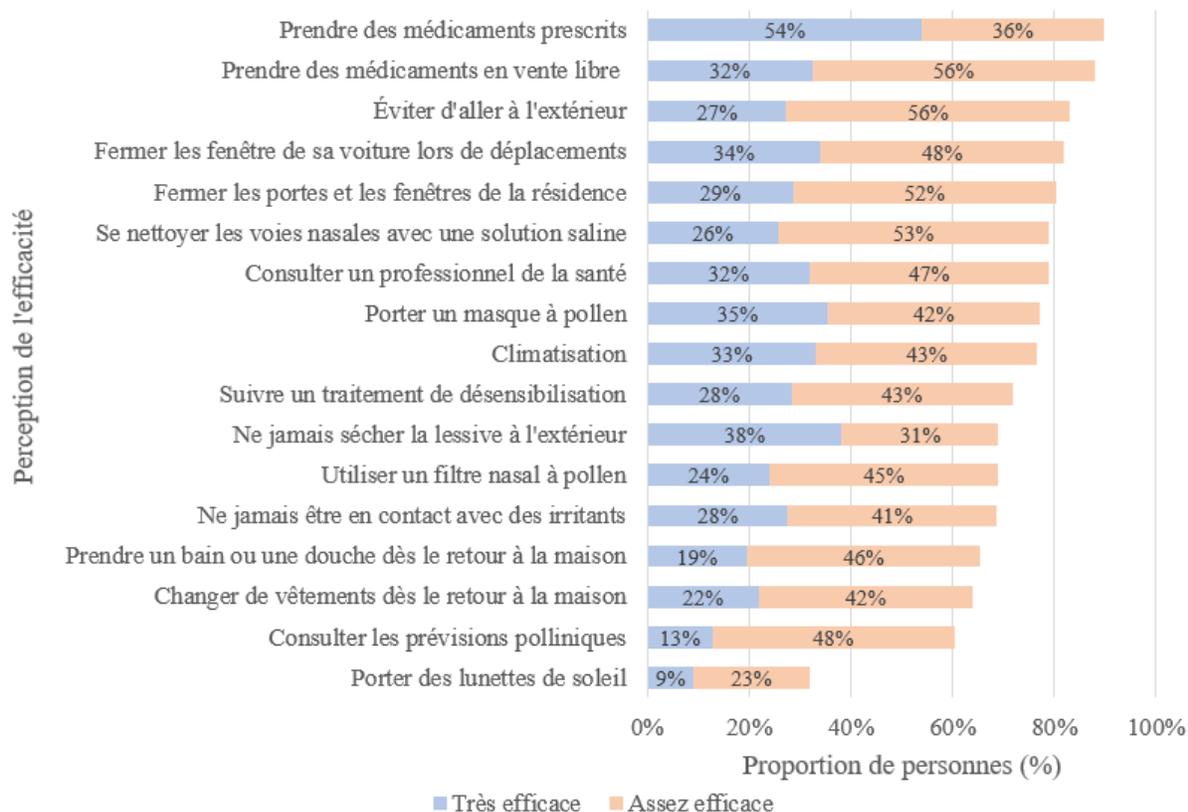


Figure 2. Proportion de personnes qui perçoivent très ou assez efficaces les comportements qu'ils ont adoptés.

La prise d'un bain ou d'une douche et le changement de vêtements immédiatement après avoir fait une activité extérieure sont d'autres comportements permettant de diminuer la quantité de pollen qui entre dans le logement. Ils ont été adoptés par 54 % et 43 % des répondants (figure 1), et 65 % et 64 % ont indiqué que ces comportements étaient efficaces pour diminuer leurs symptômes (figure 2).

Même si leur efficacité perçue par les répondants est bonne, d'autres mesures qui peuvent être appliquées à la maison ont été adoptées par moins de la moitié d'entre eux. Notamment, seulement 37 % se nettoyaient les voies nasales avec une solution saline et environ 49 % évitaient de faire sécher leur linge à l'extérieur lorsqu'il y avait des pollens. Parmi ces personnes, respectivement 79 % et 69 % trouvaient ces comportements très ou assez efficaces pour diminuer leurs symptômes. De plus, 46 % évitaient le contact avec d'autres irritants (p. ex. fumée de tabac, odeurs de bougie ou de parfum) (figure 1), et 69 % trouvaient cette stratégie très ou assez efficace (figure 2). Selon la littérature, ces substances peuvent aggraver les symptômes d'allergies.

Finalement, seulement 19 % des participants rapportaient consulter les prévisions polliniques (figure 1). Pourtant, ces prévisions permettent de déterminer le meilleur moment pour commencer à mettre en place des comportements préventifs. Toutefois, au Québec, seulement trois stations mesurent les concentrations polliniques pouvant rendre celles-ci moins précises pour certaines régions. Les spécialistes recommandent aussi de consulter les bulletins de pollution atmosphérique (comme les avertissements de smog), puisque ces épisodes de pollution peuvent exacerber les symptômes d'allergies au pollen. Ce dernier aspect n'a pas été mesuré dans l'enquête de l'OQACC.

En conclusion

Selon l'Enquête québécoise sur la santé de la population de 2014-2015, près d'une personne sur sept manifestait des symptômes d'allergies au pollen au Québec. Parmi celles-ci, moins de la moitié (44 %) avait reçu un diagnostic médical. Bien qu'une majorité des personnes ayant des allergies au pollen prenne de la médication pour diminuer leurs symptômes ou adopte des comportements préventifs pour diminuer leur exposition, plus de la moitié (59 %) ressentait tout de même des symptômes sévères d'allergies.

Les changements climatiques, incluant la pollution de l'air, influenceront probablement la prévalence des symptômes d'allergies au pollen et leur sévérité. Il serait donc pertinent que les gouvernements et les personnes œuvrant dans le système de santé agissent dès maintenant pour informer davantage les populations à risque sur les différents traitements disponibles. La sensibilisation des personnes allergiques aux comportements qu'elles peuvent adopter pour réduire leur exposition au pollen demeure essentielle.

Il ne faut pas oublier que l'ensemble de la population québécoise, allergique ou non, peut contribuer à réduire les quantités de pollen dans l'air. Des actions peuvent notamment être posées en contrôlant la croissance de l'herbe à poux dans sa cour et en évitant de planter près de secteurs à risque (grande densité de population) des espèces de plantes, d'arbres et d'arbustes dont le pollen est allergène (p.ex. bouleaux, peupliers, frênes).

RÉFÉRENCES

Canuel, M., Lebel, G. (2012). *Prévalence des symptômes et du diagnostic de la rhinite allergique chez les 15 ans et plus au Québec, 2008.* Repéré sur le site de l'Institut national de santé publique du Québec : https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1447_PrevalenceSymptDiagnosRhiniteAllerg15AnsEtPlusQc_2008.pdf

Demers, I. (2013). *État des connaissances sur le pollen et les allergies : les assises pour une gestion efficace.* Repéré sur le site de l'Institut national de santé publique du Québec : https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1678_EtatConnPollenAllergies_AssisesGestionEfficace.pdf

Gouvernement du Québec. (2020). Rhinite saisonnière (rhume des foins). Repéré à <https://www.quebec.ca/sante/problemes-de-sante/a-z/rhinite-saisonniere-rhume-des-foins/#:-:text=La%20rhinite%20saisonni%C3%A8re%2C%20aussi%20appel%C3%A9e,de%20l'herbe%20%C3%A0%20poux>

Klimek, L., Bachert, C., Pfaar, O., Becker, S., Bieber, T., Brehler, R., et al. (2019). ARIA guideline 2019: treatment of allergic rhinitis in the German health system. *Allergo Journal International*, 28, 255-276. doi: <https://doi.org/10.1007/s40629-019-00110-9>

Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2019). Flash Surveillance : la rhinite allergique en quelques chiffres. Repéré à <https://msss.gouv.qc.ca/professionnels/statistiques-donnees-sante-bien-etre/flash-surveillance/la-rhinite-allergique-en-quelques-chiffres/>

Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques. (2021). Allergies au Pollen. Repéré à <https://oqacc.aponia.ca/themes/allergies-au-pollen/>



Crédit photo : Brooke Novak



Sciences et technologies

LES ALLIÉS INVISIBLES DES ÉRABLIÈRES

Crédit photo : Diego V

Joey Chamard

Étudiant à la maîtrise, Département de biologie
Université de Sherbrooke

Le sirop d'érable serait-il en péril ?

Parmi la vaste diversité d'espèces végétales qui arborent nos forêts indigènes, l'érable à sucre constitue certainement l'essence ayant la plus grande importance culturelle et patrimoniale au Québec. Le délice de sa sève ainsi que la qualité de son bois confèrent à cette espèce des caractéristiques particulièrement intéressantes et reconnues à travers le monde. En 2019, la valeur des produits de l'érable à sucre a été estimée à environ 518 millions de dollars au Canada, représentant 75 % de la production mondiale de sirop d'érable (Statistiques Canada, 2020). Toutefois, les changements climatiques constituent un des principaux phénomènes pouvant menacer la productivité de nos érablières. Ces changements impliquent notamment une augmentation de la température moyenne annuelle ainsi qu'une intensification des phénomènes climatiques extrêmes, qui se traduisent par une plus grande fréquence de sécheresses et d'inondations. Les érables à sucre sont des organismes particulièrement vulnérables à ces changements climatiques puisqu'ils ont une longue espérance de vie, atteignent tardivement leur maturité sexuelle et migrent lentement.

Pour cette raison, la communauté scientifique s'intéresse à la dynamique des populations de l'érablé à sucre en réponse aux changements climatiques, par le développement de modèles pouvant prédire les distributions spatiales de cette espèce au cours des prochaines décennies. Ces modèles prévoient une migration graduelle de son aire de distribution vers le nord (Solarik *et al.*, 2018; Bergeron et Gravel, 2019). La perspective de cette migration entraîne une nouvelle question fondamentale : les sols en régions boréales et leurs communautés microbiennes permettront-ils à l'érablé à sucre de s'y établir et compétitionner avec d'autres essences forestières ?

Cet article constitue une présentation sommaire de l'importance des interactions plantes-microorganismes dans un contexte de changements climatiques. Il traite plus particulièrement de la situation de l'érablé à sucre au Québec, de l'écologie de ses symbiotes fongiques ainsi que des perspectives innovantes que représentent les communautés synthétiques.

Les secrets des interactions plantes-microorganismes

L'érablé à sucre, comme tout organisme vivant, est colonisé par des milliards de microorganismes qui contribuent activement au développement de son immunité, à l'assimilation d'éléments nutritifs essentiels, à réduire les risques d'infection par des agents pathogènes, en plus de lui conférer une tolérance à différentes sources de stress (Fitzpatrick *et al.*, 2020). Ces microorganismes tels que les bactéries, les champignons, les virus, les protistes et les archées, sont des colonisateurs hors-pair et forment des communautés connues sous le nom de microbiotes. Les microbiotes occupent différentes parties de l'érablé à sucre. On les retrouve sur les feuilles (la phyllosphère), les tiges (la caulosphère), les fleurs (l'anthosphère), les fruits (la carposphère), les graines (la spermosphère) ainsi que les racines (la rhizosphère). Les communautés microbiennes sont soit des épiphytes qui colonisent les surfaces externes de l'érablé à sucre, ou des endophytes qui colonisent les parties internes.

Parmi ces environnements, la rhizosphère constitue un compartiment fondamental à la survie ainsi qu'à la croissance de l'érablé à sucre puisque les racines sont responsables de l'absorption de l'eau et des nutriments. La rhizosphère est définie comme le volume du sol dont la chimie et la microbiologie sont modifiées par la présence des racines. La rhizosphère est un habitat hautement convoité par les microorganismes puisqu'elle est riche en sucres et autres substances énergétiques que l'érablé à sucre sécrète. Lorsque la rhizosphère

se fait coloniser par des communautés microbiennes, une myriade d'interactions bénéfiques survient en réponse aux fluctuations environnementales. Par exemple, ces interactions donnent un accès privilégié aux nutriments du sol, permettent de résister aux stress hydriques pendant des périodes de sécheresse et confèrent une protection contre les pathogènes. C'est notamment là où le travail des écologistes microbiens entre en jeu : tenter de caractériser les interactions entre plantes et microorganismes afin d'identifier les mécanismes conférant plus de résistance et de résilience aux agents de stress qu'imposent les changements climatiques.

LES RÉTROACTIONS PLANTE-SOL

La colonisation d'un site particulier par une espèce végétale (telle que l'érablé à sucre) change au fil du temps les propriétés du sol environnant. En effet, les plantes modifient autant les propriétés biotiques (les composantes vivantes tels que les microorganismes) qu'abiotiques (les composantes non-vivantes telle que la physico-chimie du sol) de leur environnement immédiat. Cette influence peut avoir un impact positif ou négatif sur l'établissement et la performance de l'espèce végétale. C'est ce qu'on appelle les rétroactions plante-sol. La disponibilité en nutriments, la présence d'espèces microbiennes pathogènes ou mutualistes, ainsi que la production de composés chimiques constituent les principaux mécanismes impliqués dans les rétroactions plante-sol (Bennett et Klironomos, 2019). Toutefois, les fluctuations climatiques sont un facteur déterminant qui a le potentiel de chambouler les rétroactions plante-sol actuelles. Pour l'érablé à sucre, il reste encore beaucoup à faire pour déterminer l'influence des changements climatiques sur ces rétroactions. Il sera notamment question d'étudier la capacité de cette espèce à s'adapter aux nouvelles conditions abiotiques ainsi qu'à s'établir dans de nouveaux habitats devenus favorables.

Les héroïnes méconnues du sous-sol forestier

Parmi les microorganismes de la rhizosphère, il existe un type de champignon particulièrement fascinant qui s'associe avec plus de 80 % des plantes terrestres (Smith et Read, 2008) : les mycorhizes arbusculaires. Ces champignons sont des symbiotes obligatoires, c'est-à-dire qu'ils dépendent de la plante hôte afin de croître et de compléter leur cycle vital. Cette relation de coopération est le résultat d'une longue évolution

et constitue à ce jour l'une des plus grandes réussites de l'évolution de la vie. En effet, ces champignons auraient notamment contribué à la migration des plantes du milieu aquatique vers le milieu terrestre il y a 400 millions d'années, une étape fondamentale à la diversification de la vie sur terre (Smith et Read, 2008).

Concrètement, cette relation de mutualisme est fondée sur un partage judicieux des ressources : la plante nourrit le champignon de sucres pour lui fournir de l'énergie, en échange des nutriments, tels que le phosphore, que le champignon puise dans le sol pour la plante. Une portion du champignon se faufile à l'intérieur des racines, pénètre à l'intérieur des cellules du cortex pour y former des arbuscules. Ces structures constituent l'interface d'échange entre la plante et son partenaire fongique. L'autre portion du champignon est composée de longs filaments (les hyphes) qui forment un dense réseau qu'on appelle le mycélium extra-racinaire. C'est ce mycélium qui explore les microenvironnements du sol pour y puiser de l'eau et des éléments nutritifs pour la plante. Les mycorhizes arbusculaires sont plus efficaces que les racines de la plante hôte, puisqu'elles constituent de redoutables colonisatrices du sol. Par exemple, on estime qu'il pourrait y avoir au-delà de 1 km d'hyphes fongiques dans une cuillère à soupe de sol (Selosse, 2017). Les mycorhizes arbusculaires constituent donc les sentinelles résidant à l'interface entre la plante et son environnement.

En ce qui concerne l'érable à sucre, celui-ci a notamment évolué en association avec les mycorhizes arbusculaires caractérisées ci-haut, en opposition à de nombreuses autres espèces décidues et résineuses retrouvées au sein de son habitat qui entretiennent plutôt une association symbiotique avec les ectomycorhizes (se référer à l'encadré *La diversité des mycorhizes*). L'abondance ainsi que la diversité des espèces d'arbres en forêts tempérées, mixtes et boréales sont des variables à considérer en ce qui a trait à la disponibilité des symbiotes fongiques de l'érable à sucre. C'est donc en s'intéressant davantage aux facteurs influençant la structure des communautés de mycorhizes arbusculaires que les écologistes pourront mieux comprendre les mécanismes déterminants dans la migration graduelle de l'érable à sucre au nord de sa distribution actuelle.

Une alternative microbienne innovante

Les champignons mycorhiziens ne sont pas les seuls microorganismes à conférer des avantages fondamentaux en matière d'adaptation végétale, puisque les bactéries ont aussi un rôle important à jouer dans ce combat contre les effets du réchauffement global.

LA DIVERSITÉ DES MYCORHIZES

Les mycorhizes sont des organismes s'étant diversifiés parallèlement avec les plantes terrestres. Conséquemment, il existe plusieurs mycorhizes spécifiques à certains types de plantes et leur répartition varie selon les biomes terrestres. Les mycorhizes arbusculaires sont les plus généralistes et ubiquistes des sols, particulièrement abondantes au sein des communautés de plantes herbacées où elles permettent l'acquisition du phosphore. Les ectomycorhizes quant à elles ne font qu'envelopper les racines de leurs plants hôtes et sont en coopération avec les arbres des forêts décidues, mixtes et boréales. Dans ces écosystèmes, c'est plutôt l'azote qui se raréfie le long du gradient latitudinal. Plus au nord, près de la toundra, on retrouve les mycorhizes éricoïdes, en association avec les éricacées, tels que les plants de bleuets et de canneberges. Celles-ci sont notamment reconnues pour leurs caractéristiques de décomposeurs, étant fortement utiles pour la nutrition des plantes en climat nordique (Fortin, Plenchette et Piché, 2015). C'est donc au gré de l'évolution que ces champignons se sont spécialisés avec leurs partenaires en réponse à leurs besoins nutritifs ainsi qu'aux différentes conditions climatiques.

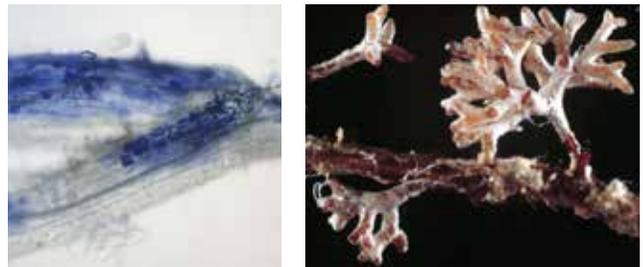


Figure 1 et 2. Les deux principaux types de mycorhizes

Depuis quelques années, les scientifiques montrent un intérêt grandissant quant à l'utilisation de communautés microbiennes synthétiques, communément appelées SynCom. Elles consistent en des communautés construites par des microbiologistes sélectionnant un assemblage de souches indigènes (généralement bactériennes) d'une plante d'intérêt, visant à étudier ou élucider certaines interactions plante-microorganismes afin d'en faire de potentielles applications agricoles (Vorholt *et al.*, 2017). Cette technique confère une panoplie d'avantages puisque, contrairement à ce qui est retrouvé dans la nature, les conditions expérimentales en laboratoire sont contrôlées, moins complexes et reproductibles. Il est donc possible d'identifier le rôle d'un seul microorganisme sur la santé de la plante en retirant, ajoutant ou substituant la souche de la communauté synthétique (Vorholt *et al.*, 2017). À titre

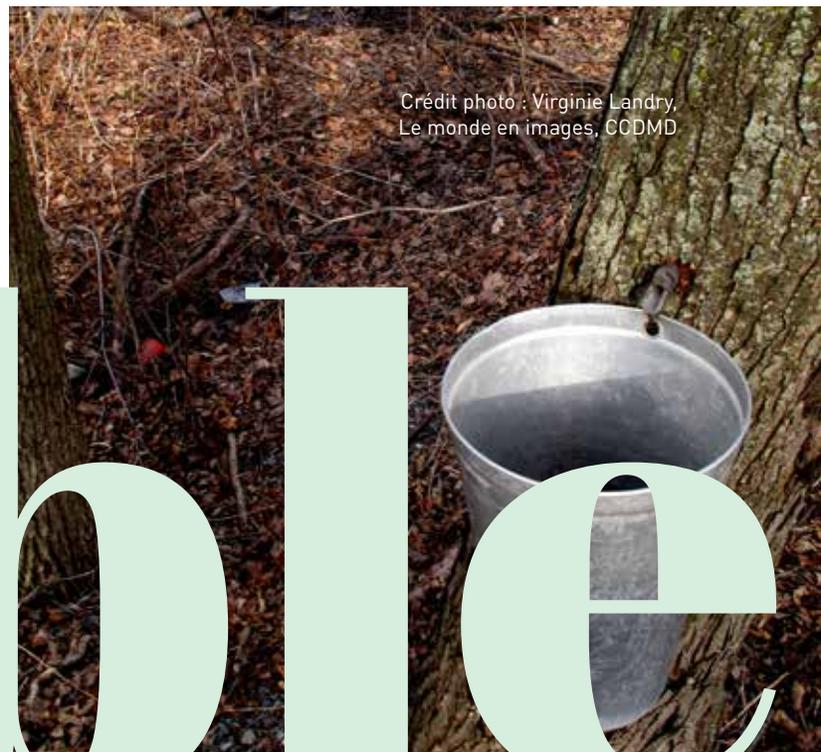
d'exemple, il serait possible d'isoler des souches bactériennes et fongiques provenant des différents microbiotes de l'érablé à sucre (e.g. phyllosphère et rhizosphère) afin de construire une SynCom sur mesure. Celle-ci pourrait être appliquée sur des semis d'érables cultivés en laboratoire et soumis à différentes conditions expérimentales, telles qu'un faible arrosage ou une température plus élevée. Bien que cette approche possède ses limites et n'est guère représentative de l'infinité des interactions se produisant à l'échelle micro et macroscopique, elle permet d'enrichir les connaissances collectives sur l'écologie des microorganismes. En plus, cette technique permet d'identifier des interactions au sein des communautés de même que certaines capacités insoupçonnées à assurer la santé et la productivité végétales (Saad, Eida et Hirt, 2020). De tous les organismes planétaires, les microorganismes sont de loin ceux démontrant la meilleure capacité d'adaptation devant les intempéries et les perturbations anthropogéniques, ce qui souligne l'importance de s'allier à ces populations invisibles. Dès lors, l'utilisation de SynCom permettrait dans un premier temps la démystification des réseaux d'interactions entre les microorganismes en plus de favoriser la découverte d'interactions plante-microorganisme bénéfiques dans un contexte de changements climatiques. Dans un deuxième temps, ces communautés sur mesure permettraient le développement d'applications agricoles qui pourraient non seulement contribuer à la pérennité de l'acériculture québécoise, mais également favoriser des pratiques agricoles durables et indépendantes des engrais chimiques. Les communautés synthétiques représentent conséquemment une alternative prometteuse afin d'assurer la sécurité alimentaire et économique des civilisations pour les décennies à venir.

Conclusion

Malgré les conséquences qu'engendreront les changements climatiques sur les peuplements forestiers, l'écologie microbienne est sans doute une discipline indispensable pour la conservation des érablières au Québec. Que ce soit via la création de communautés synthétiques ou l'étude fondamentale de l'écologie des mycorhizes, les scientifiques continueront de s'intéresser au microscopique afin de mieux comprendre et anticiper les divers phénomènes naturels à l'échelle macroscopique dans ce monde en constante évolution. Il reste encore à élucider comment les populations microbiennes en milieu naturel répondront au réchauffement global ainsi qu'à déterminer si ces dernières faciliteront l'établissement et la productivité des prochaines générations d'érables à sucre en territoire québécois.

RÉFÉRENCES

- Bennett, J. A., et Klironomos, J. (2019).** Mechanisms of plant-soil feedback: interactions among biotic and abiotic drivers. *New Phytologist*, 222, 91–96 doi:10.1111/nph.15603
- Bergeron G. et Gravel D. (2019).** Où trouver du sirop d'érable en 2100 ? *Le Climatoscope*, 1(1) 36–39.
- Fitzpatrick, C.R., Salas-González, I., Conway, J.M., Finkel, O.M., Gilbert, S., Russ, D., Teixeira P.J.P.L. et Dangl, J.L. (2020).** The Plant Microbiome: From Ecology to Reductionism and Beyond. *Annual Review of Microbiology*, 74(1) 81–100. doi:10.1146/annurev-micro-022620-014327
- Fortin, J.A., Plenchette, C. et Piché, Y. (2015).** Les Mycorhizes : l'essor de la nouvelle révolution verte. 2^e éd. Montréal (Qc): Éditions MultiMondes.
- Saad, M. M., Eida, A. A., et Hirt, H. (2020).** Tailoring Plant-Associated Microbial Inoculants in Agriculture - A Roadmap for Successful Application. *Journal of Experimental Botany*. doi:10.1093/jxb/eraa111
- Selosse M.-A. (2017).** Jamais seul : ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations. 1^{ère} éd. Arles (France): Actes Sud.
- Smith, S.E. and Read, D.J. (2008).** Mycorrhizal Symbiosis. 3rd Edition, Academic Press, London.
- Solarik, K.A., Messier, C., Ouimet, R., Bergeron, Y. et Gravel, D. (2018).** Local adaptation of trees at the range margins impacts range shifts in the face of climate change. *Global Ecol. Biogeogr.*, 27, 1507–1519.
- Statistiques Canada (2020).** Aperçu statistique de l'industrie de l'érable au Canada, 2019. Repéré au : <https://www.agr.gc.ca/fra/secteurs-agricoles-du-canada/horticulture/rapports-sur-l-industrie-horticole/apercu-statistique-de-l-industrie-de-l-erable-au-canada-2019/?id=1604326674902>
- Vorholt, J.A., Vogel, C., Carlström, C. I., & Müller, D. B. (2017).** Establishing Causality: Opportunities of Synthetic Communities for Plant Microbiome Research. *Cell Host & Microbe*, 22(2), 142–155. doi:10.1016/j.chom.2017.07.004



Crédit photo : Virginie Landry, Le monde en images, CCDMD



Crédit photo : Vessel, Mythological Scene_ The Michael C. Rockefeller Memorial Collection, Purchase, Nelson A. Rockefeller Gift, 1968

Sciences et technologies

CHANGEMENTS DE POPULATION ASSOCIÉS AUX ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES DANS LES BASSES TERRES MAYAS

Benjamin Keenan

Étudiant au doctorat, Département des sciences de la Terre et des planètes
Université McGill

Le phénomène de changement climatique n'est pas nouveau. Les sociétés qui nous ont précédé ont déjà fait face aux effets de changements climatiques et des leçons importantes peuvent être tirées en étudiant la réponse de ces sociétés aux modifications de leur environnement. L'une de ces civilisations, celle des anciens Mayas des basses terres de la mésoamérique, a été affectée par les stress environnementaux et sociopolitiques tout au long de son histoire et a connu un déclin démographique et politique majeur, parfois appelé un effondrement dans la littérature, pendant une période d'intenses sécheresses pluridécennales, entre environ 750 et 900 de notre ère (è.c.: ère commune) (Hodell, Curtis et Brenner 1995; Aimers 2007). Les effets de changements climatiques sur les sociétés anciennes ne sont généralement pas bien connus et demeurent incomplètement compris dans les basses terres mayas (Douglas, Brenner et Curtis 2016). Étudier les anciens Mayas afin de comprendre l'interaction entre les humains et leur environnement permettrait de nourrir la réponse contemporaine aux changements climatiques anthropiques.

Une façon d'estimer la réponse de la société au changement climatique consiste à examiner l'évolution démographique, mais les niveaux de population d'une société ne sont pas toujours facilement disponibles. Pour reconstruire l'évolution de la population sur 3300 ans dans un bassin versant des basses terres mayas du sud-ouest, Keenan et al. (2021) utilisent des stanols fécaux qui sont des biomarqueurs lipidiques trouvés dans les excréments d'animaux et transportés vers les sédiments lacustres (Figure 1). Un stanol fécal en particulier, le coprostanol, est le principal stérol présent dans les excréments humains. Le cholestérol est converti en coprostanol dans le tractus intestinal des humains, ainsi que chez d'autres mammifères comme le porc. Parce qu'il résiste à la dégradation, il persiste dans l'environnement et s'accumule au fil du temps dans les sédiments des lacs, qui peuvent être récupérés sous forme de carottes. Les stanols fécaux peuvent alors être extraits et quantifiés. Cette quantification, lorsqu'elle est effectuée dans toute la carotte, révèle les changements dans l'apport fécal dans le lac, et ainsi l'évolution d'une population peut en être déduite lorsque qu'une ville s'est établie proche du lac.

Pourquoi entreprendre la tâche laborieuse de collecter les sédiments dans un lieu exotique et investir beaucoup de temps et d'efforts pour extraire des molécules, quand les méthodes archéologiques existent déjà ? Il existe différentes manières d'estimer la population, mais chacune présente son lot de difficultés et

d'approximations. Grâce à l'inspection du sol et à l'excavation, les archéologues peuvent cartographier et compter les structures résidentielles et ainsi déduire un nombre d'occupants. Cette méthode est, bien sûr, limitée aux structures visibles en surface et s'avère compliquée dans les régions forestières comme celles d'Amérique centrale. Le lidar, une technique de télédétection capable de pénétrer la canopée forestière à l'aide de lasers, a permis d'identifier assez rapidement les structures cachées par la forêt. Toutefois, cela ne montre pas les tendances de l'évolution populationnelle dans le temps, car cela nécessiterait des fouilles archéologiques. La datation au radiocarbone des matériaux peut également indiquer des changements de population dans le temps, mais elle peut être coûteuse et limitée par la disponibilité des matériaux datables. Les stanols fécaux offrent donc la possibilité de contourner certains de ces problèmes et de compléter les méthodes archéologiques traditionnelles.

L'ancien centre de population d'Itzan se trouve au sommet d'un escarpement d'environ 7 km de long au-dessus de la *Laguna Itzan*, un cénote qui fait partie d'un système de lagunes marécageuses alimentées par deux sources et reliées par un système de ruisseaux et de marais au *Rio de la Pasion*. La concentration de stanols fécaux reflète donc la variation de l'apport de déchets fécaux au lac à partir de l'escarpement et de son versant est et ainsi donne accès à une estimation de la population sur cette zone du lac.

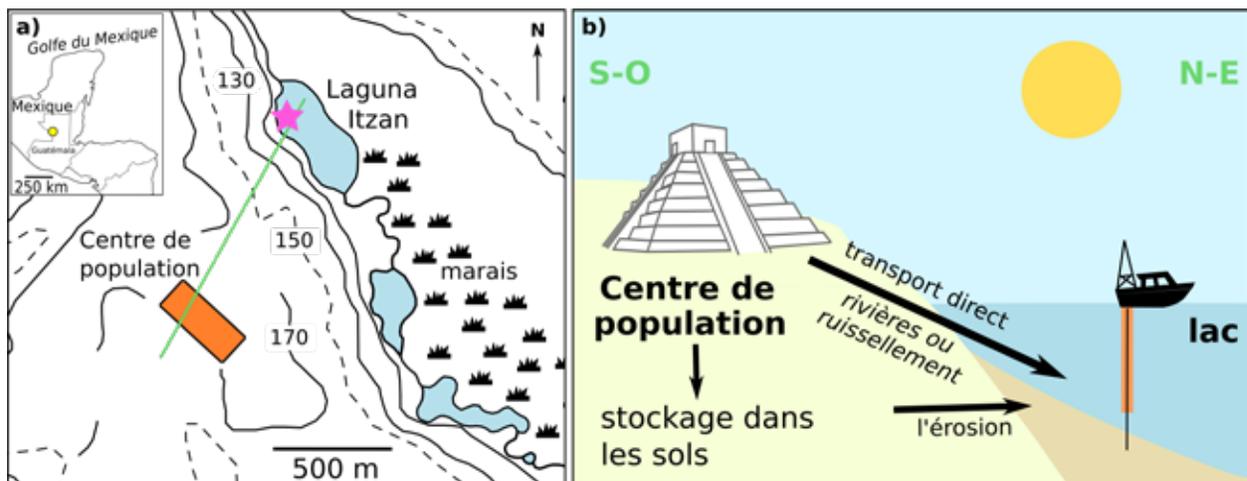


Figure 1. Localisation de la Laguna Itzan et de la zone des prélèvements de carottes de sédiment

- a) Carte de l'emplacement du site archéologique d'Itzan dans le nord du Guatemala (le sud-ouest des basses terres mayas, l'étoile violette indique la position du prélèvement de la carotte) ;
 - b) Coupe transversale idéalisée (ligne verte) montrant la production et le transport hypothétique du coprostanol depuis l'escarpement jusqu'au lac, où il s'accumule avec le temps et est collecté aujourd'hui sous forme de carotte lacustre.
- Source : Keenan *et al.* (2021)

La population et le climat

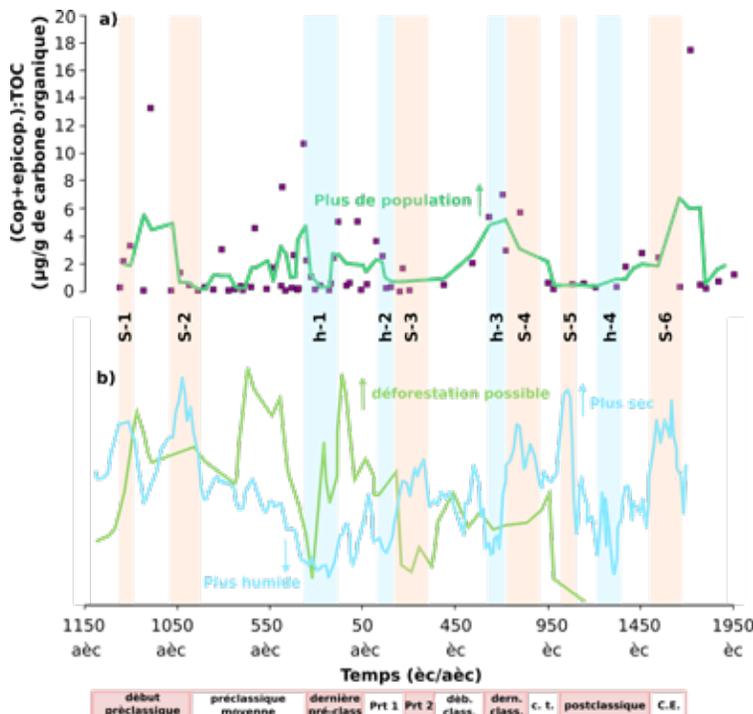
Lors de la transition entre le début la période préclassique et le préclassique moyen (identifiée à S-2 sur la Figure 2), on mesure une diminution du coprostanol dans les sédiments. Cette période coïncide avec les signes d'un climat sec dans les basses terres mayas du sud similaire à la sécheresse terminale classique qui aurait conduit à l'abandon de nombreux centres de population, bien que cette sécheresse soit moins documentée. La réduction de la population à *Itzan* en raison de cette sécheresse peut avoir été causée par une diminution des précipitations. L'escarpement n'était probablement peuplé que d'un petit nombre de chasseurs-cueilleurs mobiles à cette époque. Des conditions climatiques relativement stables ont suivi cette sécheresse et l'agriculture itinérante s'est installée. Cela veut dire que les gens restaient dans une zone pendant une courte période, déboisaient et plantaient les cultures, avant de repartir, entraînant d'intenses variations populationnelles du bassin versant, dont une augmentation jusqu'en 370 avant l'ère commune (av. J.-C.).

Une période anormalement humide (Figure 2 : période h-1) coïncide avec des mesures de concentrations faibles de coprostanol sur une période d'environ 150 ans, associées à la présence abondante de pollens de graminées au lac Puerto Arturo, un lac au nord de la *Laguna Itzan*. Ces données mises ensemble suggèrent un déclin de la population (faibles concentrations de coprostanol) et une déforestation régionale réduite (fortes concentrations de graminées). Ce fait est

intrigant, car il suggère que la société maya était également sensible à d'autres phénomènes climatiques extrêmes tels que les précipitations excessives.

Une période prolongée de conditions progressivement plus sèches (Figure 2 : période S-3) coïncide avec la réduction des concentrations de coprostanol à partir d'environ l'année 190 è.c. L'ampleur de cette période sèche est moindre que celle des deux autres sécheresses majeures enregistrées (Figure 2 : périodes S-2 et S-4 / S-5), mais représente un assèchement substantiel par rapport aux conditions humides de la période précédente. Les scientifiques ont constaté une faible abondance de pollen de graminées à la même période que le rétablissement de forêts régionales, période durant laquelle les populations étaient réduites ou dispersées (Wahl *et al.*, 2006).

La période classique terminal (c. t.) est marquée par une baisse des coprostanol qui survient dans le contexte d'une sécheresse bien documentée (Figure 2 : périodes S-4 et S-5). Un déclin et une restructuration sociopolitique se sont produits dans les basses terres mayas et on suppose qu'ils ont été la conséquence d'une diminution de l'approvisionnement en eau en raison de changements climatiques (Hodell *et al.*, 1995). Les faibles concentrations de coprostanol pendant la période postclassique, la période suivant la sécheresse classique terminale, suggèrent qu'*Itzan* n'a soutenu qu'une très petite population après l'abandon du site dans la période classique terminale. Les conditions sèches ont persisté jusqu'à environ l'an 1150 è.c. et ont pu contribuer à l'absence à long terme d'une population significative au début du postclassique (à partir de 950 è.c.).



L'association entre des changements climatiques et les concentrations de coprostanol mesurées pour les périodes postclassique et coloniale est moins évidente. L'arrivée des Espagnols dans la région et les maladies associées ont probablement ajouté des facteurs supplémentaires aux changements de populations, rendant plus floue la relation entre changement climatique et dynamique de la démographie humaine.

La plus forte concentration de coprostanol enregistrée est datée à 1715 è.c. et à peu près à la même époque (en 1697 è.c.), les soldats espagnols ont attaqué et vaincu le dernier bastion maya dans les basses terres du sud - *Nojpeten*, maintenant connu sous le nom de *Flores*, dans le lac *Peten-Itza*. Les habitants mayas des villes soumises au bord du lac se sont enfuis dans la forêt (Jones, 1998). Il est possible que certains de ces réfugiés, ou d'autres déplacés, aient migré vers le sud, notamment vers les rives de la *Laguna Itzan*, provoquant une augmentation significative, mais à court terme, de la population.

Conclusion

L'enregistrement des coprostanol fournit des preuves d'un déclin de la population humaine associé à trois périodes de sécheresse ainsi qu'à une période extrêmement humide. En utilisant une nouvelle méthode pour étudier la réponse d'une société ancienne, les Mayas, aux changements climatiques dans le passé, nous constatons que les humains ont été affectés par ceux-ci, et nous pourrions ainsi anticiper des impacts similaires, en particulier dans les environnements forestiers tropicaux, où les sécheresses se produisent déjà.

Les anciens Mayas reconnaissaient la nécessité de stratégies pour conserver l'eau et lutter contre la dégradation des sols. Malheureusement, ces stratégies ont été insuffisantes et de nombreuses villes mayas ont finalement été dépeuplées et abandonnées. Ainsi, la migration climatique était peut-être la stratégie d'adaptation ultime pour les anciens Mayas. Au XXI^e siècle, cette stratégie de migration climatique qui pourrait être également la plus utilisée par les populations pour leur survie si nous ne parvenons pas à maîtriser les changements climatiques anthropiques de notre époque.

RÉFÉRENCES

- Aimers, J. J. (2007).** Quel effondrement maya ? Variation classique terminale dans les basses terres mayas. *Journal of Archaeological Research*, 15(4), 329-77. <https://doi.org/10.1007/s10814-007-9015-x>
- Douglas, P. M. J., Brenner, M., et Curtis, J. H. (2016).** Méthodes et orientations futures pour la paléoclimatologie dans les basses terres mayas. *Global and Planetary Change* 138, 3-24. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.07.008>
- Hodell, D. A., Curtis, J. H., et Brenner, M. (1995).** Rôle possible du climat dans l'effondrement de la civilisation maya classique. *Nature* 375, 391-394 <https://doi.org/10.1038/375391a0>
- Jones, G. D. (1998).** La conquête du dernier royaume maya. *Stanford University Press*
- Keenan, B., Imfeld, A., Gélinas, Y., Johnston, K., Breckenridge, A., et Douglas, P. M. J. (2021).** Preuves moléculaires d'un changement de population humaine associé à des événements climatiques dans les basses terres mayas. *Quaternary Science Reviews* 258, 106904. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.106904>
- Kennett, D. J., Breitenbach, S. F. M., Aquino, V. V., Asmerom, Y., Awe, J., Baldini, J. U. L., Bartlein, P., et al. (2012).** Développement et désintégration des systèmes politiques mayas en réponse au changement climatique. *Science* 338 (6108), 788-91. <https://doi.org/10.1126/science.1226299>
- Rosenmeier, M. F., Hodell, D. A., Brenner, M., Curtis, J. H., et Guilderson, T. P. (2002).** Un enregistrement lacustre de 4000 ans de changements environnementaux dans les basses terres mayas du sud, Petén, Guatemala. *Quaternary Research* 57(2), 183-90. <https://doi.org/10.1006/qres.2001.2305>
- Wahl, D., Byrne, R., et Anderson, L. (2014).** Une reconstruction paléoclimatique de 8700 ans provenant des basses terres mayas du sud. *Quaternary Science Reviews* 103, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.08.004>
- Wahl, D., Byrne, R., Schreiner, T., et Hansen, R. (2006).** Changement de la végétation holocène dans le nord du Peten et ses implications pour la préhistoire maya. *Quaternary Research* 65(3), 380-89. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2005.10.004>

Credit photo : Chakalte' Relief with Enthroned Ruler, The Michael C. Rockefeller Memorial Collection, Bequest of Nelson A. Rockefeller, 1979



Sciences et technologies

CONSÉQUENCES DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LES STRUCTURES DE PROTECTION CÔTIÈRE

Pilar Díaz-Carrasco

Postdoctorante
Département de génie mécanique
Université de Sherbrooke

Sergio Croquer

Postdoctorant
Département de génie mécanique
Université de Sherbrooke

Vahid Tamimi

Postdoctorant
Département de génie mécanique
Université de Sherbrooke

Jay Lacey

Professeur
Département de génie civil
Université de Sherbrooke

Sébastien Poncet

Professeur
Département de génie mécanique
Université de Sherbrooke

Les changements climatiques de la planète entraînent une élévation progressive du niveau de la mer. Cela constitue l'un des plus grands défis auquel la population mondiale devra faire face au XXI^e siècle. C'est le résultat inévitable du réchauffement climatique et de l'intensification des activités humaines, des services et de la population dans les zones côtières. Cette perturbation du bilan d'énergie de la planète du fait des activités humaines est connue comme « forçage anthropique ». Selon Gehrels (2016), le forçage anthropique par les gaz à effet de serre (GES) est devenu une cause principale de l'augmentation du niveau de la mer. Toujours selon cet auteur, le niveau de la mer augmente à un rythme d'environ 3,0 à 3,2 mm par année depuis le début des années 1990. De plus, le réchauffement génère une expansion thermique des eaux océaniques et la fonte des glaces terrestres. Vousdoukas *et al.*, (2018) ont prédit qu'entre les années 2000 et 2100, l'augmentation mondiale des niveaux extrêmes de la mer variera entre 0,34 m et 0,76 m dans le cadre d'un scénario modéré et entre 0,58 m et 1,72 m dans le cadre d'un scénario de très fortes émissions de GES (Figure 1).

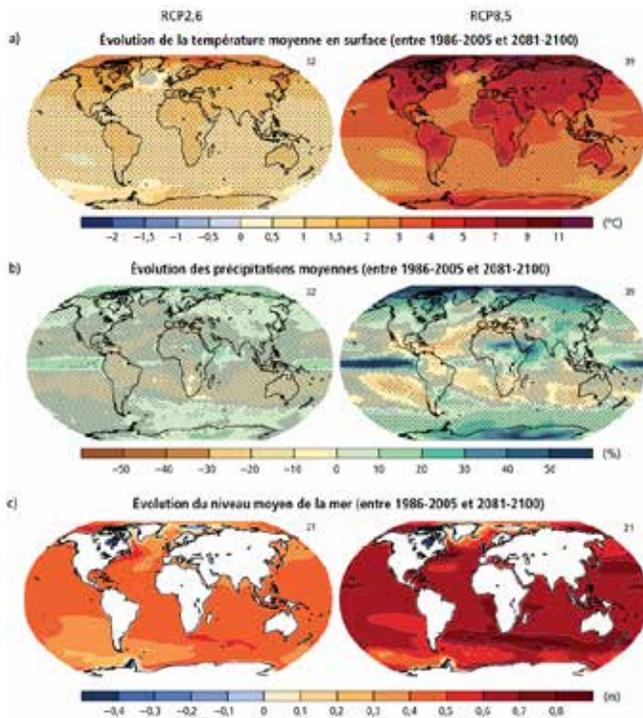


Figure 1. Prédiction des modèles du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2014) pour : (a) le changement de la température de surface, (b) le changement des précipitations moyennes, et (c) le changement du niveau moyen de la mer. Panneau de gauche - scénario modéré ; panneau de droite - scénario à très hautes émissions de GES. Adapté de la Figure 2.2 du chapitre 2 du Rapport de synthèse sur les changements climatiques (GIEC, 2014).

Les conséquences de cette élévation du niveau de la mer entraîneront des événements extrêmes plus nombreux et fréquents tels que des inondations, des dommages aux biens matériels et un risque plus élevé de pertes de vies humaines (Hinkel *et al.*, 2014). Cette situation sera également amplifiée dans les zones côtières, où les principaux impacts de l'élévation du niveau de la mer sont : l'augmentation du transport de sédiments, l'érosion des plages et les dommages aux structures marines, tels que les impacts sur les murs verticaux et les brise-lames. Les brise-lames et les murs verticaux (Figures 2(a) et 2(b) respectivement) sont les principales structures maritimes utilisées pour protéger les ports et les zones côtières. Le moyen de protéger la côte est de dissiper ou de réfléchir l'énergie de la mer, en particulier celle des vagues, et d'empêcher l'eau de déborder dans certaines zones côtières dans lesquelles les activités humaines (routes, ports, etc.) sont importantes. Selon la forme et les matériaux qui composent ces structures, elles dissiperont ou réfléchiront plus d'énergie (Figure 3). Ces structures ont généralement un coût et une complexité de conception élevée ainsi que des impacts environnementaux et socio-économiques. Les brise-lames sont divisés en trois typologies principales : (1) avec une pente et des manteaux de roche, (2) vertical avec un mur imperméable, et (3) mixte entre (1) et (2). Il existe des similitudes dans la conception des brise-lames et des murs verticaux, notamment dans la condition d'absence de débordement d'eau.



Figure 2. Structures côtières : (a) brise-lames en enrochement (Pilar Díaz-Carrasco, 2018) (b) mur vertical (Schotanus, 2008).

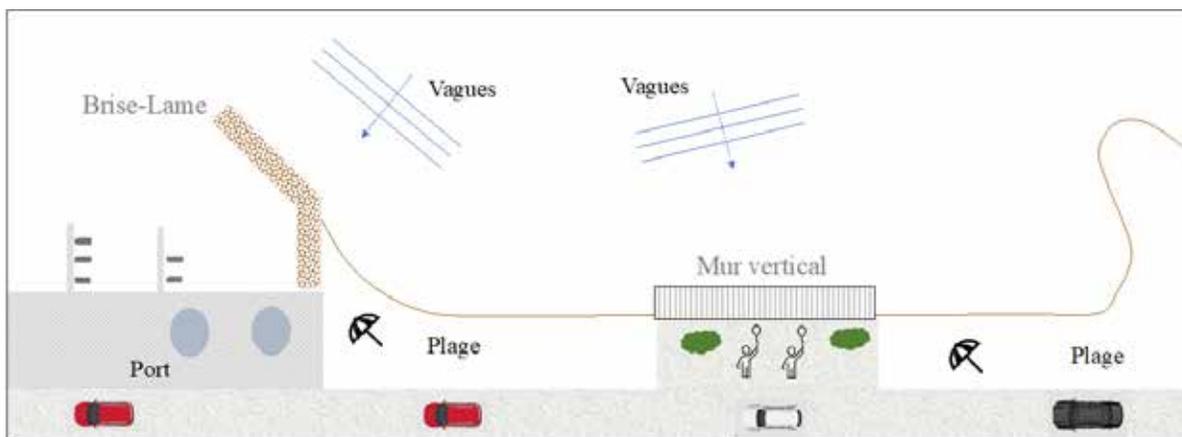


Figure 3. Schéma général de la fonction de protection des brise-lames et des murs verticaux.

Le choix approprié du type de structure à concevoir et des matériaux dépend des conditions de vagues dans la région côtière et des coûts. Il s'agit donc d'un équilibre entre la fonctionnalité et le coût. Les conséquences de l'augmentation du niveau de la mer sur les structures en mer se traduiront non seulement par une modification de la composition de la structure, mais aussi par une augmentation des coûts de construction et d'entretien. Le débordement de l'eau sur le brise-lame ou la rupture de la structure peut causer de graves dommages aux zones portuaires tels que : l'impossibilité d'effectuer des opérations de chargement et de déchargement dans le port ou l'impossibilité pour les navires d'accoster. Bien que la recherche sur les changements climatiques se soit accélérée ces dernières années, il reste beaucoup à faire pour comprendre comment les structures existantes se comporteront avec des niveaux de mer plus élevés et pour améliorer leur conception.

Dans ce contexte, le Québec a subi ces dernières années des tempêtes extrêmes qui ont provoqué d'importantes pertes de sédiments sur les plages et des dommages aux structures. Plusieurs kilomètres de routes près de la côte sont à risque en raison des effets des changements climatiques. Par exemple, sur les côtes du golfe du Saint-Laurent et de son estuaire, le recul moyen du trait de côte (limite muable entre la terre et la mer autant sous l'effet de processus naturels que de l'action de l'Homme) varie entre 0,5 et 2,0 mètres par année (Bernatchez et Dubois, 2004), en raison des tempêtes de plus en plus extrêmes qui surviennent chaque année.

Cet article se concentre sur l'impact potentiel de l'élévation du niveau de la mer sur la performance des brise-lames formés par un mur vertical et une berme

de matériaux rocheux, structure avec les plus grandes dimensions et la plus grande complexité de conception. À cette fin, plusieurs essais en laboratoire et simulations numériques ont été réalisés pour les scénarios d'élévation du niveau de la mer les plus risqués proposés par le GIEC (2014). Les résultats les plus significatifs concernent l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur les débits d'eau de débordement, la structure et les dommages causés à la pente et au mur du brise-lames sous l'action des vagues.

Comportement et principaux modes de défaillance des brise-lames

Les brise-lames protègent les ports et les régions côtières contre l'action des agents maritimes, principalement les vagues, qui sont l'agent le plus énergétique. En général, il existe trois types de brise-lames :

1. Vertical, construit à partir d'un caisson imperméable (caisson, Figure 4) qui reflète principalement l'énergie des vagues ;
2. Mixte, formé par un caisson imperméable et une berme de matériaux rocheux (berme, Figure 4). Leur principale fonction est de réfléchir et aussi de casser les vagues pour dissiper leur énergie.
3. De pente (grande berme), formé de matériaux rocheux ou de petits cubes de béton. Leur principale fonction est de dissiper toute l'énergie des vagues.

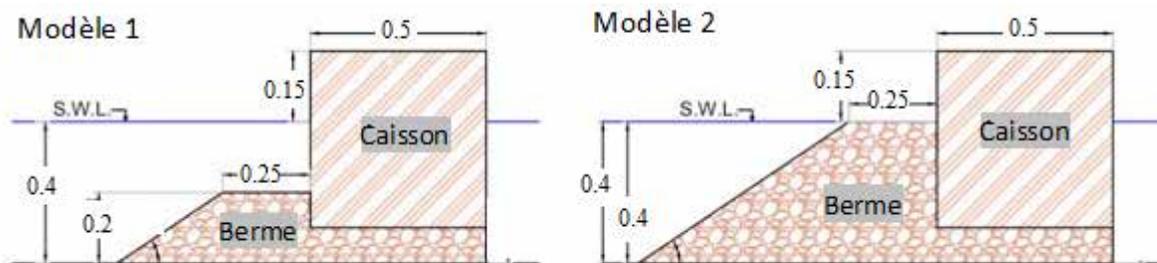


Figure 4. Modèles physiques de brise-lames testés en laboratoire.

Lorsque les vagues incidentes heurtent le brise-lame, elles sont transformées et peuvent causer des dommages (modes de défaillance) à la structure maritime. Deux des principaux modes de défaillance de ces structures sont (Figure 5) :

- A. Le débordement, c'est-à-dire, lorsque de l'eau passe au-dessus de la structure et inonde les zones que la structure maritime protège de la mer.
- B. Le renversement ou la rupture de la paroi verticale du brise-lames. Elle est causée par le fort impact des vagues sur la structure, souvent mesuré par les forces horizontales et verticales des vagues sur le mur, respectivement.

Des outils pour prédire les effets du niveau de la mer sur les structures

À partir de la réalisation d'essais expérimentaux et de simulations numériques, il est possible d'avoir une idée de l'effet de l'augmentation du niveau de la mer sur les structures de protection. Dans ce qui suit, les principaux résultats d'une série d'expériences réalisées au Laboratoire d'hydraulique de l'Université de Grenade (Espagne) seront comparés à des calculs numériques réalisés à l'Université de Sherbrooke.

Pour le volet expérimental, deux modèles différents de brise-lames ont été testés (Figure 4). Ceux-ci permettent de tester l'effet de certains paramètres géométriques des brise-lames (par ex. : la taille de la berme par rapport au niveau de la mer). Deux profondeurs d'eau ont été testées afin de simuler l'élévation du niveau de la mer :

- Scénario 0 : niveau actuel de la mer, $h_0 = 0,4$ m,
- Scénario 1 : niveau de la mer le plus risqué, $h_1 = 0,445$ m.

L'augmentation entre les deux scénarios (0,045 m) correspond à 1 m d'élévation du niveau de la mer puisque le modèle a été construit à l'échelle de 1:22 (1 mètre au laboratoire correspond à 22 mètres en réalité).

En parallèle, un modèle numérique a été développé en se basant sur la résolution des équations qui décrivent le mouvement des vagues et leurs interactions avec la structure. Les avantages de cette approche sont : (1) le haut niveau de détails que l'on peut obtenir; (2) la comparaison de plusieurs scénarios en un temps restreint sans avoir recours à des campagnes expérimentales longues et coûteuses.

Une fois validé, le modèle a été adapté pour représenter les deux scénarios d'élévation du niveau de la mer évoqués précédemment en considérant la plus grande hauteur de vague testée en laboratoire : $H_l = 0,12$ m. Ceci équivaut, à l'échelle réelle, à une vague de 2,64 m proche de la côte. Le domaine simulé est aperçu dans la Figure 6, qui correspond aux mêmes mesures que le canal expérimental de 20 m de long, 0,65 m de large et 1 m de haut.

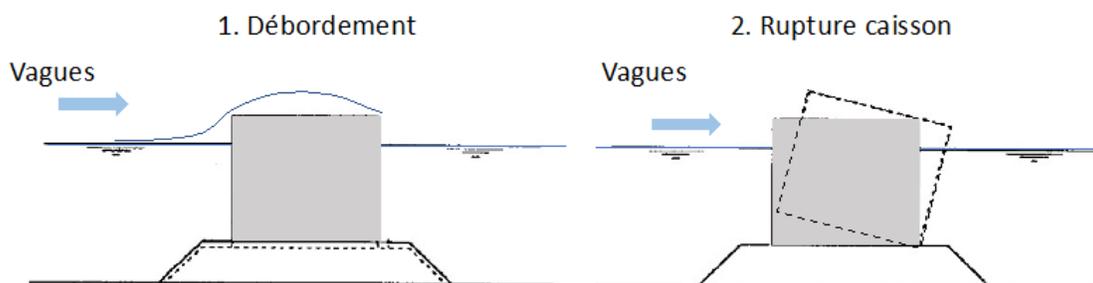


Figure 5. Principaux modes de défaillance des brise-lames côtiers (adapté d'Oumeraci *et al.*, 2001).

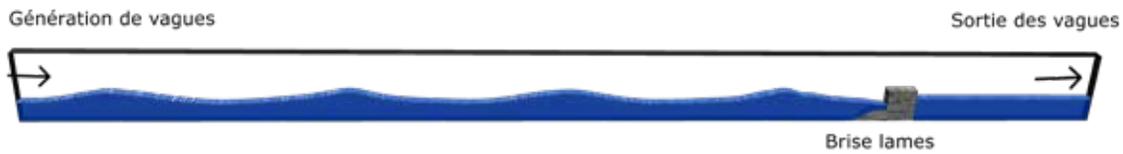


Figure 6. Présentation du domaine de calcul pour le modèle numérique.

Les calculs ont été réalisés sur le superordinateur *Cedar* de l'Université Simon-Fraser (Colombie-Britannique), disponible par le biais du réseau *Compute Canada* et de son équivalent provincial *Calcul Québec*.

Conséquences de l'élévation du niveau de la mer

La Figure 7 présente les données expérimentales et montre comment l'élévation du niveau de la mer produit des débits de débordement plus importants par rapport au scénario de base. Sur cette figure, les régions bleue et grise correspondent à différentes conditions expérimentales, respectivement pour les scénarios 0 (scénario de base) et 1 (une élévation du niveau de la mer de 0,045 m). Deux effets sont clairement aperçus. En premier lieu, l'augmentation du niveau de la mer conduirait à des débits de débordement beaucoup plus importants. Les conséquences de cette augmentation des débordements sont des dommages aux zones côtières, aux opérations portuaires (comme l'accostage

des navires), aux routes et à la destruction de bâtiments construits sur le trait de côte. En deuxième lieu, la hauteur des vagues incidentes exercerait une influence plus importante sur le débordement. Ainsi, des débits plus grands seront observés même pour des vagues plus petites (celles qui sont normalement plus fréquentes). Par exemple, le débit obtenu pour le scénario 1 et une vague de 0,05 m (1,1 m à l'échelle réelle) dépasserait le débit observé pour le scénario 0 et une vague de 0,07 m (1,54 m à l'échelle réelle). Par conséquent, la conception de nouvelles structures devra prendre en compte qu'il y aura des débordements non seulement plus importants mais aussi plus fréquents.

Toujours d'après les résultats expérimentaux, l'augmentation du niveau de la mer aurait aussi un effet sur les forces agissant sur le brise-lames lors des impacts des vagues. Comme le montre la Figure 8, pour une même hauteur de vague incidente qui frappe la structure, l'élévation la plus haute du niveau de la mer (scénario 1) génère des forces horizontales et verticales plus importantes sur le mur de la structure. Même si les valeurs semblent proches, la force horizontale pour le scénario 1 (Figure 8 (à gauche), région grise) peut être

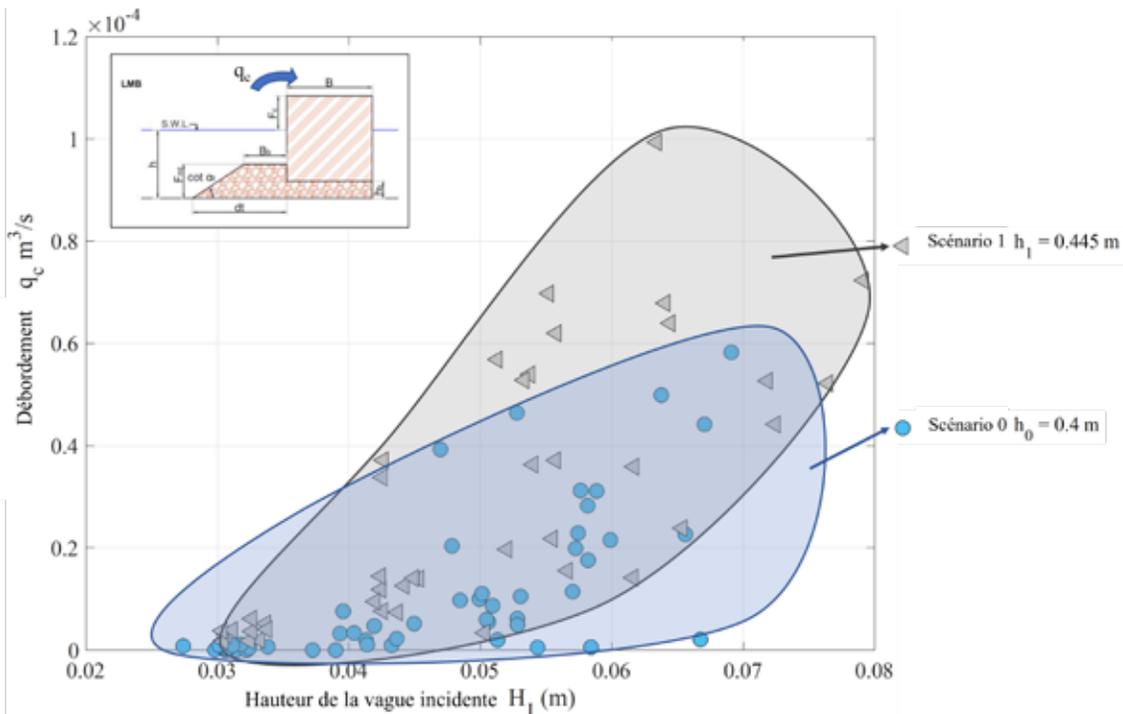


Figure 7. Débordement en fonction de la hauteur de la vague incidente pour les deux scénarios de profondeur d'eau. Valeurs expérimentales pour le brise-lames avec FMT = 0,2 m (modèle 1).

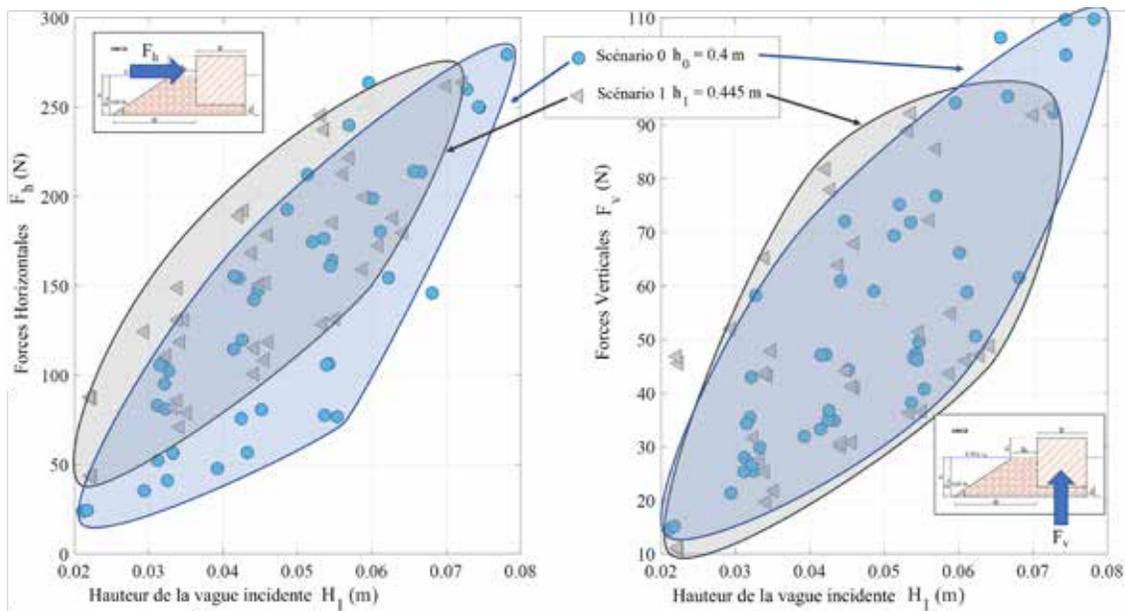


Figure 8. Force horizontales (figure de gauche) et force verticale (figure de droite) en fonction de la hauteur de la vague incidente pour les deux scénarios de profondeur d'eau. Valeurs expérimentales pour le brise-lames avec FMT = 0,4 m (modèle 2).

environ 50 % plus grande. De la même façon, la force verticale (Figure 8 (à droite)) augmente de 30 %. L'impact accru sur le mur provoque des dommages importants à la structure, ce qui implique que les structures futures devront être capables de supporter des forces plus élevées, et donc l'investissement requis sera plus important.

L'augmentation de la force peut entraîner une plus grande ascension des vagues et, par conséquent, un plus grand débordement. Ceci est observé sur la Figure 9, où l'élévation maximale en face du mur obtenue par le modèle numérique est présentée pour les deux scénarios. Ainsi, pour une même hauteur de vague incidente, l'élévation du niveau de la mer mène à des types de déferlement différents. En effet, pour le scénario 0 (bleu), l'influence du fond sur la vague provoque sa rupture en face du mur. En revanche, pour le scénario 1 (rouge), la vague ne casse pas et elle dépasse facilement la structure.

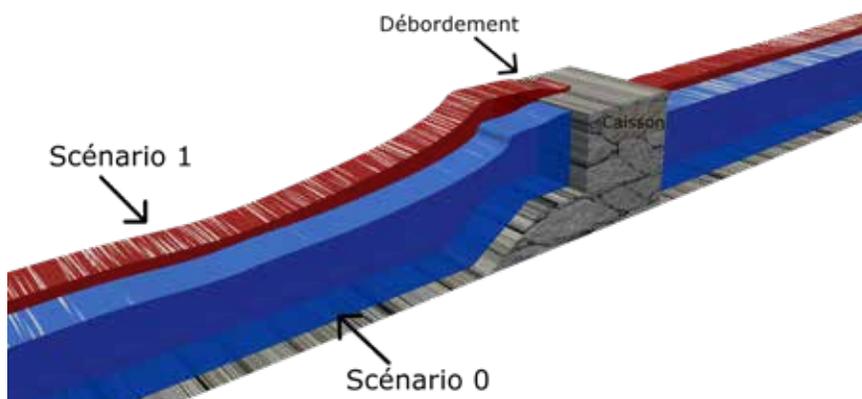


Figure 9. Comparaison de l'élévation maximale en face du mur pour les deux scénarios. Résultats obtenus avec le modèle numérique.

Conclusion et perspectives

Les brise-lames sont des structures maritimes souvent utilisées pour protéger les ports, les routes littorales et les côtes en général. Bien qu'au cours des dernières années, les recherches sur les changements climatiques se soient accélérées, il reste encore beaucoup à faire pour comprendre comment les structures existantes fonctionneront avec un niveau de mer plus élevé et pour améliorer leur conception et leur modélisation.

Cet article montre les conséquences potentielles de l'élévation du niveau des mers sur la performance des brise-lames. Pour cela, plusieurs tests en laboratoire et simulations numériques ont été réalisés pour deux scénarios d'élévation du niveau des mers proposés par le GIEC (2014). Comme prévu, les résultats montrent que,

même pour une hauteur de vague incidente égale, une augmentation d'environ un mètre du niveau de la mer (échelle réelle) entraîne des conditions plus exigeantes pour les brise-lames. Les forces accrues et les débits de débordement qui en résultent dépendent non seulement du niveau de la mer et de la taille des vagues incidentes, mais aussi des interactions entre ces vagues et la structure. Ces interactions étant complexes, il est très difficile d'estimer avec précision la défaillance des structures existantes.

SOLUTIONS À L'ÉLEVATION DU NIVEAU DE LA MER

Les régions côtières sont soumises à des risques croissants, principalement en raison des inondations et de l'érosion côtière résultant de l'élévation du niveau de la mer et de phénomènes météorologiques extrêmes. Il est donc nécessaire de gérer les risques en adoptant des mesures d'adaptation pour la protection des côtes contre les changements climatiques. Bien que les solutions optimales pour atténuer l'élévation du niveau de la mer n'aient pas encore été trouvées, il existe plusieurs solutions (A) naturelles et (B) artificielles :

(A) Les solutions fondées sur la nature consistent à planter des systèmes de mangroves et/ou d'autres types de végétation qui réduisent l'énergie des vagues et, par conséquent, leur soulèvement éventuel et le débordement des structures en mer (Maza *et al.*, 2021). Cependant, pour ce type de solutions, le coût et l'efficacité à long terme ne font pas l'unanimité.

(B) Les protections artificielles (construction dans la mer, brise-lames, remblais, murs verticaux et barrières anti-tempêtes) sont économiquement rentables dans la plupart des contextes urbains confrontés à la rareté des terres (confiance élevée), mais peuvent conduire à une exposition accrue à long terme. Ces mesures sont très répandues et offrent des niveaux de sécurité prévisibles dans le nord-ouest de l'Europe, en Asie de l'Est et autour de nombreuses villes et deltas côtiers.

PERSPECTIVES

L'investissement dans des essais pilotes et des mesures visant à atténuer les conséquences du changement climatique deviennent critiques pour la bonne conception des futures structures. Plus précisément, afin de poursuivre ces travaux, il est prévu d'effectuer davantage de tests en laboratoire pour différents types de brise-lames. En outre, d'autres structures telles que les épis et les murs verticaux sont à étudier. Ces deux dernières structures maritimes sont les plus fréquentes sur la côte québécoise (régions côtières du golfe du Saint-Laurent) et ont pour but de protéger le littoral.

RÉFÉRENCES

Bernatchez, Pascal, and Jean-Marie Dubois. (2004). « Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. » *Géographie physique et Quaternaire.*, 58(1), 45-71.

Gehrels, R. (2016). Chapter 16 - Rising Sea Levels. Dans T. M. Letcher, *Climate Change* (Second Edition, p. 241-252). Boston: Elsevier.

GIEC. (2014). : Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.

Hinkel, J., Lincke, D., Vafeidis, A.T., Perrette, M., Nicholls, R.J., Tol, R.S., et al. (2014). Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 3292-3297.

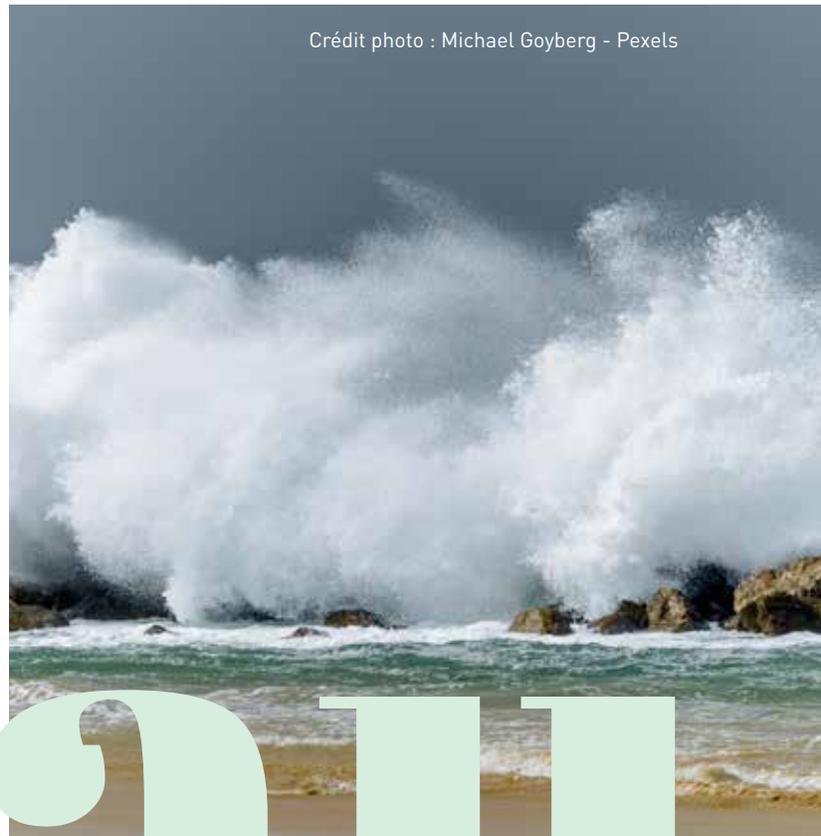
Maza, M., Lara, J.L. et Losada, I. (2021). Predicting the evolution of coastal protection service with mangrove forest age, *Coastal Engineering*, Volume 168, 103922.

Oumeraci, H., Kortenhaus, A., Allsop, W., de Groot, M., Crouch, R., Vrijling, H., & Voortman, H. (2001). Probabilistic design tools for vertical breakwaters. CRC Press.

Schotanus, G. (2008). <https://www.flickr.com/photos/22410227@N04/2741781286/>

Vousdoukas, M. I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M., Jevrejeva, S., Jackson, L. P., & Feyen, L. (2018). Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nature communications*, 9(1), 1-12.

Crédit photo : Michael Goyberg - Pexels



Sciences et technologies

L'AMÉLIORATION DE LA RÉSILIENCE DES FORÊTS FACE AUX ÉPISODES CLIMATIQUES EXTRÊMES : SAVOIR LIRE ENTRE LES CERNES

Claire Depardieu

Postdoctorante
Institut de biologie intégrative
et des systèmes
Université Laval

Martin Girardin

Chercheur scientifique
Ressources naturelles Canada

Simon Nadeau

Biologiste
Ressources naturelles Canada

Manuel Lamothe

Biologiste
Ressources naturelles Canada

Sébastien Gérardi

Professionnel de recherche
Institut de biologie intégrative
et des systèmes
Université Laval

Patrick Lenz

Chercheur scientifique
Ressources naturelles Canada
Institut de biologie intégrative
et des systèmes
Université Laval

Jean Bousquet

Professeur
Chaire de recherche du Canada
en génomique forestière
Institut de biologie intégrative
et des systèmes
Université Laval

Nathalie Isabel

Chercheuse scientifique
Ressources naturelles Canada
Institut de biologie intégrative
et des systèmes
Université Laval

Les changements climatiques, la sécheresse et la forêt boréale

En plus de fournir des services écologiques primordiaux, les forêts du Canada constituent d'importants moteurs de développement économique et social. Cependant, les feux, les attaques d'insectes ainsi que tous les facteurs de stress induits par les événements climatiques extrêmes sont autant de menaces qui impactent de plus en plus nos forêts. À l'échelle mondiale, la réduction de la disponibilité en eau du sol devient l'un des facteurs les plus critiques responsables de la vulnérabilité croissante des arbres forestiers. Au Canada, la situation est d'autant plus inquiétante que l'on observe de plus en plus de dépérissements d'arbres

à la suite de sécheresses. En effet, étant donné le rythme accéléré des changements climatiques, certains arbres bien adaptés à leurs conditions environnementales en début de vie éprouvent des difficultés à s'acclimater aux nouvelles conditions qui prévalent après quelques décennies. Afin d'assurer leur survie, les arbres peuvent s'adapter localement, de leur vivant, à ces nouvelles conditions, c'est-à-dire s'acclimater à très court terme. Mais il y a des limites aux mécanismes physiologiques impliqués dans la réaction aux stress environnementaux. Ils peuvent aussi produire localement des descendants qui seront génétiquement mieux adaptés à ces nouvelles conditions. Cependant, cette capacité d'adaptation, de type génétique, est particulièrement limitée par la longue durée des générations d'arbres. Aussi, il est estimé que le rythme des changements climatiques devrait être de 10 à 100 fois plus rapide que la capacité d'adaptation naturelle des forêts. Les espèces peuvent aussi migrer vers des conditions plus favorables, mais il y a là aussi des limites à la capacité de migration rapide. De plus, malgré la grande capacité de dispersion des arbres forestiers via la dissémination du pollen et des graines, il est probable que certaines populations rencontreront dans le futur des conditions environnementales qui n'existent pas actuellement et qui nécessiteront donc une part d'adaptation afin de garantir leur survie.

Mais alors, quelles approches concrètes peut-on développer pour tenter d'adapter nos forêts aux changements climatiques ? Avant de répondre à cette question, il est nécessaire de rappeler que la capacité d'adaptation des espèces d'arbres dépend de leur diversité génétique, une grande diversité génétique étant synonyme d'un potentiel d'adaptation élevé. Étant donné qu'au Canada, la plupart des espèces d'arbres de la forêt boréale et tempérée possèdent de très grandes tailles de populations, leur niveau de diversité génétique est généralement considérable. Il est donc pertinent d'identifier la variabilité génétique naturelle des espèces en lien avec leurs capacités d'adaptation génétique pour sélectionner et planter des arbres plus résilients aux futures contraintes climatiques. Le problème, c'est que l'on manque encore de connaissances sur le rôle de la variabilité génétique dans la tolérance aux variations climatiques et sur l'évolution des populations chez les arbres, et tout particulièrement chez les conifères qui sont prédominants dans plusieurs forêts canadiennes. Sachant que les événements climatiques extrêmes sont de plus en plus fréquents et qu'ils constituent une forte pression de sélection sur les populations, il est urgent de mieux caractériser la variabilité génétique impliquée dans la réponse des arbres à ces perturbations et stress extrêmes.

La dendroécologie et les plantations comparatives : des outils puissants pour étudier l'adaptation à la sécheresse

Sur quel phénotype, *i.e.* l'ensemble des caractères apparents d'un arbre, peut-on se baser pour identifier et sélectionner un arbre plus tolérant à la sécheresse ? Sachant que la tolérance à la sécheresse est un caractère complexe déterminé par de nombreux mécanismes physiologiques souvent peu ou pas caractérisés, la réponse n'est pas simple. Jusqu'à présent, les études portant sur la variabilité génétique responsable de la tolérance à la sécheresse chez les conifères se sont principalement concentrées sur le carbone 13 (^{13}C), un indicateur de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. D'autres caractères plus conventionnels, comme la hauteur et le diamètre de l'arbre, sont fréquemment utilisés dans les études de tolérance à la sécheresse, même s'ils ne reflètent pas directement la réponse des arbres aux sécheresses. Dans ce contexte, l'évaluation de nouveaux caractères reflétant plus adéquatement la réponse des arbres aux sécheresses apparaît cruciale.

Sous climats tempérés, le bois forme chaque année au niveau du tronc de l'arbre un cerne annuel de croissance. La dendroécologie est une discipline utilisant l'ensemble des caractères mesurables sur les cernes de croissance pour analyser les processus écologiques historiques qui affectent la croissance et la physiologie des arbres. De fines « carottes » de sondage prélevées dans le tronc permettent d'étudier ces cernes de croissance et d'obtenir des informations clés pour comprendre l'adaptation à la sécheresse chez les conifères (Housset *et al.*, 2018; Depardieu *et al.*, 2020). Ces carottes de bois constituent de véritables archives biologiques et permettent une évaluation rétrospective de l'effet des sécheresses sur les caractères du bois, tels que la croissance radiale annuelle et l'anatomie des trachéides (éléments constitutifs du bois chez les conifères qui permettent le transport de l'eau des racines vers les extrémités et le soutien mécanique du bois; voir Figure 1; Lloret *et al.*, 2011). En complément de cette analyse rétrospective, les plantations comparatives, aussi appelées tests génécologiques, constituent une véritable mine d'or pour quantifier le contrôle et la variabilité génétique des caractères

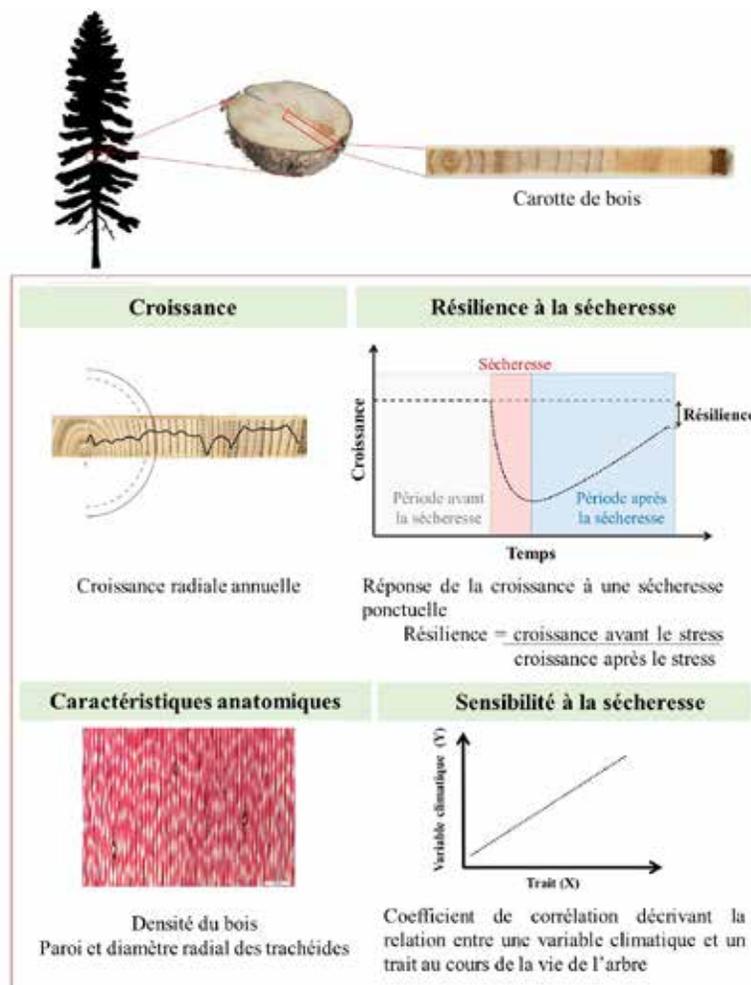


Figure 1. Types de caractères phénotypiques provenant des carottes de bois et testés dans le cadre du projet *Spruce-Up*.

du bois potentiellement impliqués dans l'adaptation à la sécheresse. Ces dispositifs expérimentaux sont constitués de jeunes arbres de différentes origines géographiques (ou provenances) plantés dans un environnement commun et homogène. Ils permettent de quantifier la variabilité génétique associée aux caractères d'intérêt au sein et parmi les populations établies sur un même site. Lorsque plusieurs familles d'arbres sont plantées sur le site, on peut également estimer l'héritabilité des caractères (*i.e.* à quel point le caractère est héréditaire, donc transmissible à la descendance), via l'estimation du degré de contrôle génétique sur un caractère phénotypique donné. Ainsi, lors du processus d'amélioration de l'adaptation à la sécheresse d'une espèce, on cherche non seulement à identifier des caractères qui confèrent une certaine tolérance à ce stress, mais également des caractères qui soient transmis d'une génération à une autre de façon à pouvoir préserver cette caractéristique d'intérêt dans le temps, par exemple, lors de la production des semis de reboisement provenant d'arbres plus résistants à la sécheresse.

Dans le cadre du projet pancanadien *Spruce-Up* (<https://spruce-up.ca/fr/>), des recherches ont notamment été menées sur près de 1500 arbres provenant d'une quarantaine de populations d'épinettes blanches au Québec (Figure 2). Parmi les caractères phénotypiques mesurés sur le site, la résilience à la sécheresse s'est révélée être un caractère particulièrement héritable (Figure 2, section Observations). De plus, les populations issues des régions au climat plus sec affichaient une plus grande résilience à la sécheresse que celles issues de provenances au climat plus humide, indiquant que les populations étaient préalablement adaptées génétiquement aux conditions climatiques de leurs lieux d'origine. Il est aussi intéressant de remarquer que les populations les plus résilientes étaient aussi les plus productives sur le site (Figure 2, section Observations), indiquant la possibilité de sélectionner des arbres plus résilients à la sécheresse tout en assurant une bonne croissance à long terme.

GÉNOMIQUE 101 : QUELQUES DÉFINITIONS...

- ✓ **La génomique** : science qui vise à élucider et à comprendre l'information génétique d'un organisme qui est codée dans son ADN.
- ✓ **Diversité génétique** : variabilité génétique présente chez une population ou une espèce donnée.
- ✓ **Phénotype** : ensemble des caractéristiques qui peuvent être observées chez un organisme.
- ✓ **Caractère phénotypique (ou trait phénotypique)** : désigne une variation d'un caractère ou d'un trait au sein d'un grand nombre d'individus. Un caractère phénotypique est une caractéristique évidente et mesurable, qui correspond à l'expression de gènes d'une manière observable. Il peut être hérité ou déterminé environnementalement, mais se produit généralement comme une combinaison des deux.
- ✓ **Allèle** : variation d'un gène occupant une place précise sur ce dernier, et qui peut donc varier d'un individu à l'autre.
- ✓ **Locus (pluriel « loci »)** : position fixe d'un gène ou d'un marqueur génétique sur l'ADN. Une variante d'un gène situé à un locus donné est un allèle.
- ✓ **Génotype** : Identité des allèles qui caractérise l'ensemble de l'information génétique d'un individu. Par exemple, l'adaptation à la sécheresse est un caractère complexe qui dépend à la fois de plusieurs gènes et de l'influence de l'environnement, donc le génotype pour ce caractère regrouperait l'identité des allèles à plusieurs loci sur le génome.
- ✓ **Héritabilité** : mesure qui permet de déterminer la part de variabilité d'un trait phénotypique qui est dû aux différences génétiques entre les individus, dans une population donnée, et qui peut être transmis de façon héréditaire. En pratique, l'héritabilité est estimée grâce à une modélisation mathématique des relations entre les génotypes et les phénotypes.
- ✓ **SNP (single-nucleotide polymorphism en anglais) ou polymorphisme nucléotidique** : type de marqueur moléculaire correspondant à la variation d'une seule paire de bases d'ADN du génome entre les individus d'une même espèce.
- ✓ **Trachéide** : Cellule allongée constitutive des tissus ligneux, ayant un rôle de soutien, qui conduit la sève brute (composée d'eau et de sels minéraux) dans les parties vivantes d'une plante ou d'un arbre.

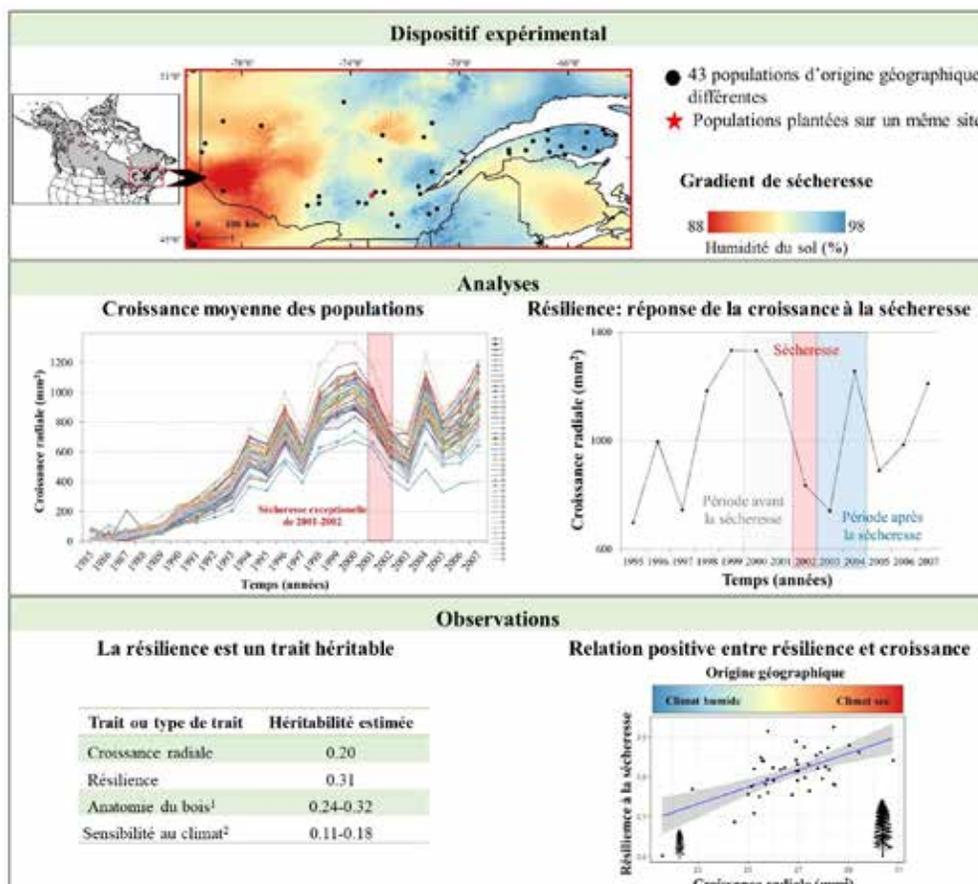


Figure 2. Représentation synthétique de la conception expérimentale, des analyses et des observations obtenues dans le cadre de cette étude.

Le tableau dans la section Observations présente les héritabilités : (1) la gamme de valeurs d'héritabilité estimée correspond à trois caractères qui reflètent l'anatomie du bois : l'épaisseur de la paroi, le diamètre radial des trachéides de bois ainsi que la densité du bois; (2) la gamme de valeurs d'héritabilité estimée correspond à trois caractères qui reflètent la réponse à la sécheresse de la densité du bois, de l'épaisseur de la paroi et du diamètre radial des trachéides de bois.

Combiner la dendroécologie et la génomique pour documenter la nature génétique complexe de la tolérance à la sécheresse

Si la dendroécologie nous aide à identifier les caractères phénotypiques reflétant l'adaptation à la sécheresse, la génomique, elle, nous permet de déterminer quels gènes contrôlent ces caractères adaptatifs et héritables. En particulier, les études d'associations permettent, à travers l'étude de milliers de gènes, d'analyser les variations génétiques présentes chez de nombreux arbres et d'étudier leurs corrélations avec les caractères phénotypiques d'intérêt (associations génotype-phénotype, GPA) ou avec le climat d'origine des populations (associations génotype-environnement, GEA). Les variations génétiques (ou polymorphismes) étudiées sont généralement des SNPs de gènes, qui correspondent à des variations d'une seule paire de bases présentes dans la séquence d'ADN des individus

d'une espèce. Les analyses GEA permettent d'identifier des SNPs et leurs gènes porteurs qui sont favorables dans les conditions environnementales prévalant dans les provenances d'origine des populations, tandis que les GPA révèlent des SNPs et allèles favorables directement reliés au caractère mesuré sur les arbres établis dans la plantation comparative.

Ces deux analyses sont complémentaires, car elles capturent des aspects différents de l'adaptation génétique des arbres. Il est admis que des pressions sélectives peuvent s'exercer lors de conditions constantes et contraignantes pour la croissance de l'arbre, mais que les pressions de sélection sont plus fortes lors d'événements climatiques extrêmes (Grant *et al.*, 2017). De ce fait, dans le cadre spécifique de nos recherches (Figure 3), les analyses GEA ont permis de détecter des allèles favorables conférant un avantage sélectif dans des conditions climatiques plus sèches (cinq facteurs climatiques caractérisant un gradient d'aridité ont été testés), alors que les analyses GPA ont mis en lumière des allèles favorables à une meilleure résilience à la sécheresse en réponse à l'épisode de sécheresse exceptionnelle des années 2001 et 2002 qui a sévi sur le site de la plantation comparative étudiée. À partir d'un ensemble de 6153 SNPs localisés sur 2606

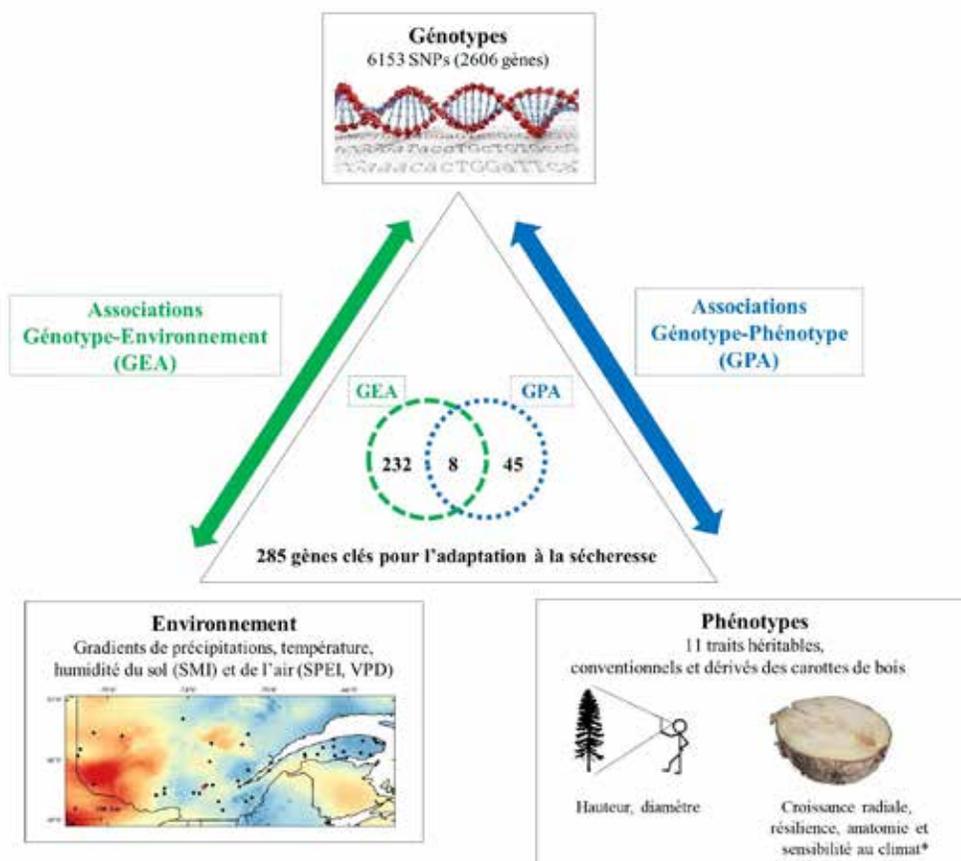


Figure 3. Illustration schématique de la combinaison des approches de dendroécologie et de génomique pour étudier les bases génétiques de l'adaptation à la sécheresse chez l'épinette blanche.

Les caractères testés pour l'étude d'associations génotype-phénotype (GPA) étaient la croissance radiale, la résilience à la sécheresse et deux indices dérivés de cet indice, l'anatomie du bois (la paroi et le diamètre radial des trachéides de bois ainsi que la densité du bois) ainsi que la sensibilité au climat (la réponse à la sécheresse de la densité du bois, de la paroi et du diamètre radial des trachéides de bois).

gènes candidats, les analyses GEA et GPA ont permis d'identifier 285 gènes comportant des allèles favorables à l'adaptation à la sécheresse chez l'épinette blanche. Sans surprise, seulement huit gènes ont été détectés par les deux analyses. Ces gènes sont dits adaptatifs en plus de participer au contrôle génétique d'un caractère phénotypique d'intérêt, et apparaissent donc jouer un rôle important dans l'adaptation génétique à la sécheresse.

Le futur de nos forêts face aux changements climatiques : perspectives et opportunités de recherche

Les travaux de recherches présentés dans cet article ont permis d'identifier des gènes clés pour l'adaptation génétique à la sécheresse chez une espèce de conifère, ce qui représente une avancée significative dans le domaine.

Ils suggèrent aussi que l'on peut améliorer la résilience à la sécheresse des épinettes, sans pour autant compromettre leur croissance à long terme. A-t-on pour autant trouvé la recette magique ? Certainement pas ! Nos observations doivent notamment être consolidées par l'analyse d'autres plantations comparatives représentatives de conditions environnementales observées dans l'aire de répartition de l'épinette blanche, et par l'analyse de populations supplémentaires afin d'assurer un échantillonnage représentatif de la diversité génétique présente chez cette espèce. Une fois les résultats validés par différentes approches complémentaires, les allèles favorables identifiés dans cette étude pourraient être utilisés comme marqueurs diagnostiques par les programmes de sélection et ceux de conservation des ressources génétiques naturelles pour en améliorer leur efficacité.

Afin d'assurer l'adaptation de nos forêts aux conditions climatiques futures, il sera primordial de mener des recherches multidisciplinaires et à de multiples échelles, impliquant une collaboration étroite entre les chercheurs et les différents intervenants du milieu forestier. L'utilisation de jeux de données de natures diverses et à grande échelle, ainsi que le développement et la combinaison d'approches complémentaires seront les clés pour atténuer les effets attendus des changements climatiques sur nos espèces d'arbres indigènes.

RÉFÉRENCES

Depardieu, C., Girardin, M. P., Nadeau, S., Lenz, P., Bousquet, J., & Isabel, N. (2020). Adaptive genetic variation to drought in a widely distributed conifer suggests a potential for increasing forest resilience in a drying climate. *New Phytologist*, 227(2), 427–439. <https://doi.org/10.1111/nph.16551>.

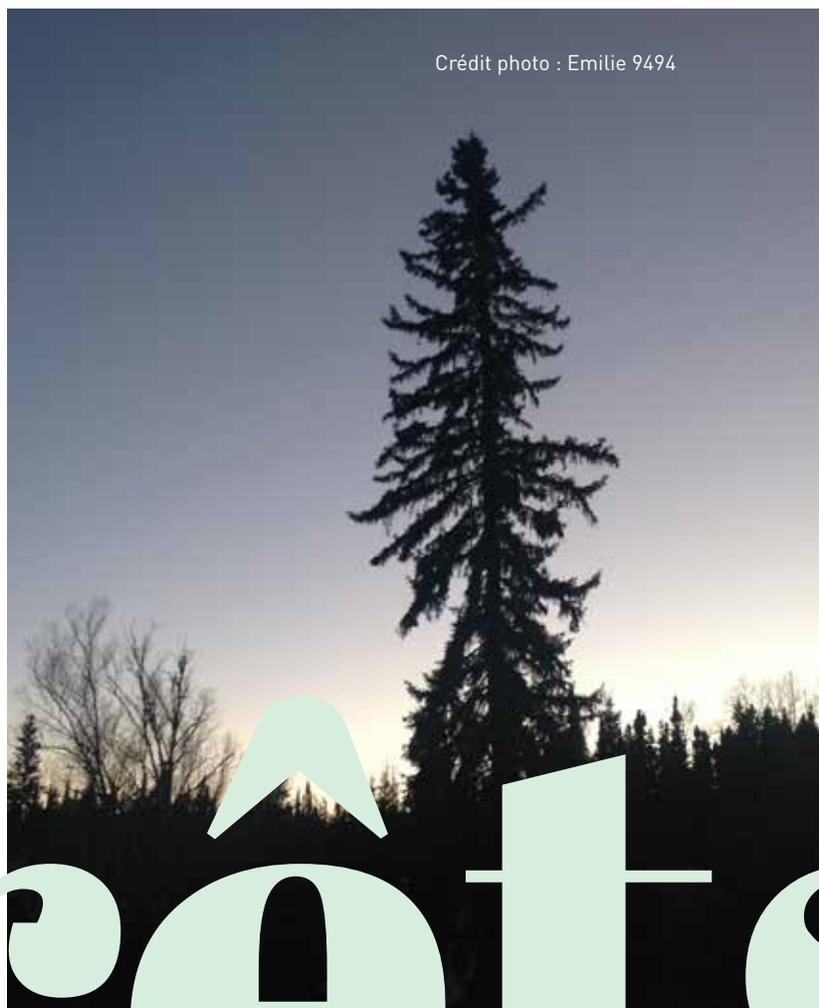
Depardieu, C., Gérardi, S., Nadeau, S., Parent, G., Mackay, J., Lenz, P., Bousquet, J. & Isabel, N. (2021). Connecting tree-ring phenotypes, association genomics, and transcriptomics to decipher the genomic architecture of drought tolerance in a widespread conifer. *Molecular Ecology*, 30: 3898–3917. <https://doi.org/10.1111/mec15846>

Grant, P. R., Grant, B. R., Huey, R. B., Johnson, M. T. J., Knoll, A. H., & Schmitt, J. (2017). Evolution caused by extreme events. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 372(1723), 20160146. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0146>.

Housset, J. M., Nadeau, S., Isabel, N., Depardieu, C., Duchesne, I., Lenz, P., & Girardin, M. P. (2018). Tree-rings provide a new class of phenotypes for genetic associations that foster insights into adaptation of conifers to climate change. *New Phytologist*, 218, 630–645. <https://doi.org/10.1111/nph.14968>.

Lloret, F., Keeling, E. G., & Sala, A. (2011). Components of tree resilience: Effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos*, 120, 1909–1920. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19372.x>.

Crédit photo : Emilie 9494



Sciences et technologies

LES MÉTAUX LOURDS ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES : UNE HISTOIRE COMPLEXE QUI CONTINUE À S'ÉCRIRE

Jean-Philippe Bellenger
Professeur
Département de Chimie
Université de Sherbrooke

Céline Gueguen
Professeure
Département de Chimie
Université de Sherbrooke

Debra Hausladen
Professeure
Département de Génie civil
Université de Sherbrooke

L'évolution de l'espèce humaine est jalonnée d'une succession d'avancées technologiques qui lui ont permis de s'élever à la position d'espèce dominante sur notre planète. La révolution industrielle a rimé avec le développement de la métallurgie et l'utilisation des énergies fossiles, favorisant la dispersion croissante de métaux dans l'environnement. Ces contaminations, d'abord locales, se sont rapidement étendues avec la révolution industrielle et le développement des sociétés modernes. Aujourd'hui, les contaminations métalliques d'origine anthropique (d'origine humaine) sont visibles sur l'ensemble de la planète, même dans les régions les plus reculées telles que les régions polaires. Ceci illustre à quel point l'Homme a perturbé de manière profonde les cycles naturels des métaux.

Les métaux, l’empreinte digitale de la dominance de l’Homme sur terre

L’iridium est un métal dont la présence dans les enregistrements géologiques a permis de dater l’impact de la météorite à l’origine de la disparition des dinosaures, il y a 65 millions d’années. De manière similaire, de nombreux métaux, comme le plomb et le vanadium, permettent aujourd’hui de dater et de localiser la présence d’activités humaines. Ces métaux présents en quantité faible à l’état naturel ont été exploités de manière intensive par l’activité humaine, créant des contaminations locales et diffuses identifiables dans les enregistrements sédimentaires et les carottes de glace (De Vleeschouwer *et al*, 2007; Weiss *et al*, 1999). Ces couches sédimentaires ou de glace enrichies en métaux sont un véritable code-barres révélant l’histoire des émissions anthropiques en métaux. Pour le plomb, par exemple, ces enregistrements montrent une augmentation croissante des émissions anthropiques au cours de son histoire moderne suivie d’une diminution importante dans les années 1980 et 1990 en réponse à la mise en place de réglementations plus sévères, telle que l’exclusion du plomb de l’essence. De nombreux métaux possèdent plusieurs isotopes (même élément chimique mais dont la masse est légèrement différente). Les sources naturelles et anthropiques sont parfois caractérisées par des compositions en isotopes différentes (signature isotopique) permettant de retracer l’origine du métal (naturel ou humain). Pour certains éléments, tel que le plomb, cette signature isotopique est caractéristique du gisement (lieu d’extraction) ou du procédé industriel, et permet de distinguer et retracer l’origine de diverses émissions anthropiques (Ferra *et al*, 2012).

Les métaux et la qualité de l’eau dans un contexte de changements climatiques

Garantir l’accès à l’eau potable est l’un des défis les plus urgents du XXI^{ème} siècle. Environ deux milliards de personnes n’ont toujours pas accès à l’eau potable. La hausse des températures, la variabilité accrue des événements météorologiques extrêmes comme les sécheresses, les inondations et la fonte du pergélisol (sol perpétuellement gelé des zones arctiques) et du couvert neigeux sont autant de nouveaux défis

pour la gestion des ressources en eau douce (Allan *et al*, 2013). Dans ce contexte de ressources limitées en eau et de changements climatiques, l’utilisation des eaux souterraines va s’intensifier. Les eaux souterraines fournissent de l’eau potable à au moins 50 % de la population mondiale et représentent 43 % de toute l’eau utilisée pour l’irrigation (UNESCO, 2015). L’intensification de son utilisation peut mener à des perturbations involontaires des cycles biogéochimiques des métaux affectant la qualité de l’eau. Par exemple, l’augmentation des sécheresses peut conduire à des pompages excessifs dans les nappes souterraines (aquifères), menant à une compaction des couches d’argile environnantes. Cette compaction peut entraîner l’expulsion d’eau contaminée en métaux habituellement retenue dans ses « éponges » naturelles. Ce phénomène contribue, par exemple, à la libération d’arsenic (Smith *et al*, 2018), un métalloïde (élément aux propriétés intermédiaires entre un métal et un non-métal) naturel d’origine minérale dans les eaux souterraines. Cette contamination en arsenic des eaux souterraines touche actuellement quelques 108 pays et plus de 230 millions de personnes (Shaji *et al*, 2021). De plus, l’intensification de l’utilisation des eaux souterraines pour soutenir la production agricole dans un contexte de sécheresse accrue peut également mener à des changements environnementaux mineurs comme des variations de la disponibilité de l’oxygène ou de l’apport de matière organique qui peuvent transformer des éléments bénéfiques en éléments toxiques. Par exemple, le chrome, septième élément le plus abondant de la Terre, existe principalement sous une forme réduite et peu soluble et est un nutriment essentiel pour les animaux et l’Homme. Il est impliqué notamment dans le métabolisme des lipides et le fonctionnement de récepteurs de l’insuline. Cependant, certains processus biologiques et chimiques naturels peuvent oxyder ce chrome, formant du chrome (hexavalent) qui est non seulement un composé extrêmement toxique, mais aussi un composé très soluble qui se déplace facilement dans l’environnement. L’activité agricole a été liée à des concentrations élevées de chrome dans les eaux souterraines, probablement en raison de l’irrigation qui favorise l’oxygénation des eaux du sol menant à une oxydation plus efficace du chrome qui est ensuite transféré sous forme soluble vers les aquifères sous-jacents (Hausladen, 2018). Les processus hydrologiques et biogéochimiques contrôlant la disponibilité et la mobilité d’autres contaminants métalliques naturels toxiques à de très faibles concentrations, tels que l’uranium, l’arsenic, le sélénium, le thallium et le manganèse, peuvent également être perturbés par les activités humaines liées à l’utilisation des terres et de l’eau. L’intensification de l’irrigation en réponse aux sécheresses va amplifier ce phénomène.

Impact des métaux sur la sécurité alimentaire dans un contexte de réchauffement climatique

Plus de la moitié de la population mondiale dépend du riz pour sa subsistance, et les effets des changements climatiques sur la culture du riz sont bien connus. Par exemple, une augmentation de la température est associée à la diminution des rendements (FAO, 2002). Les impacts du réchauffement climatique sur la contamination en métaux et métalloïdes sur les productions agricoles et la sécurité alimentaire restent quant à eux difficiles à prédire et sont peu pris en compte par les instances gouvernementales locales, nationales et internationales. De nombreuses régions productrices de riz sont contaminées par des niveaux élevés d'arsenic d'origine naturelle (Amini, 2008). Ces contaminations résultent d'années d'irrigation des récoltes avec des eaux souterraines riches en arsenic. Une étude récente a montré que les changements climatiques (température et CO₂ atmosphérique plus élevés) pourraient résulter en une augmentation par un facteur deux des concentrations en arsenic dans le riz d'ici 2100 (Muehe, 2019). Cette même étude estime que cet accroissement de la contamination en arsenic pourrait résulter en une diminution des rendements de production de riz de l'ordre de 40 % par rapport aux rendements actuels. Ceci illustre l'enjeu important de mieux comprendre comment la contamination métallique naturelle et anthropique influence la qualité et le rendement des cultures afin d'assurer la sécurité alimentaire d'une population mondiale grandissante.

Les métaux : bien plus que des éléments toxiques

Les métaux sont souvent perçus comme des éléments toxiques. Comme nous venons de le voir, cette perception est souvent justifiée. Cependant, il existe d'autres facettes à la contamination métallique de l'environnement. En effet, de très nombreux métaux potentiellement toxiques à haute concentration sont également des nutriments essentiels (oligoéléments) indispensables à la vie et au fonctionnement de la biosphère. L'impact et les rétroactions des contaminations anthropiques en métaux sur la biosphère et les changements

climatiques sont bien plus complexes que les simples cas de toxicité qui font régulièrement les manchettes. Les interactions complexes entre métaux, biosphère et changements climatiques dans les tourbières et les océans en sont des exemples probants.

LES MÉTAUX ET LA PRODUCTION DE MÉTHANE DANS LES TOURBIÈRES

Les tourbières, zones humides inondées ou partiellement inondées, sont des gigantesques réservoirs de matière organique dont la décomposition génère des émissions de carbone sous forme de CO₂ et de méthane. Une molécule de méthane contribue environ 30 fois plus au réchauffement climatique (effet de serre) qu'une molécule de CO₂. Ainsi, comprendre et prédire les émissions de méthane par les tourbières est primordial, car un changement même faible dans les émissions de méthane par les tourbières pourrait avoir des conséquences importantes sur les émissions de GES et donc sur le réchauffement de la planète. Les émissions de méthane (émissions nettes) sont le résultat d'une balance complexe entre la production de méthane par des microorganismes dits méthanogènes et sa consommation par d'autres microorganismes dits méthanotrophes. Les enzymes microbiennes contrôlant la production et la consommation du méthane requièrent des métaux (ex. nickel, cobalt) pour leur fonctionnement. Certains de ces métaux sont très peu disponibles pour les microorganismes à l'état naturel, notamment dans certaines tourbières pauvres en minéraux. L'accroissement des émissions de métaux combiné aux perturbations de la circulation atmosphérique dues au réchauffement climatique affectent et continueront d'affecter de manière importante l'intensité et la distribution mondiale des dépositions atmosphériques en métaux. Les effets et les rétroactions de ces dépositions atmosphériques de métaux sur les émissions nettes de méthane restent très difficiles à prédire. Seulement quelques études se sont penchées sur la question. Basiliko et Yavitt ont montré que l'ajout de métaux (ex. fer, nickel et cobalt) stimule les émissions nettes de méthane dans des tourbières pauvres en minéraux, alors qu'il les réduit dans des tourbières riches en minéraux (Basiliko et Yavitt, 2001). Ceci illustre les effets complexes des métaux, qui peuvent être limitants ou toxiques pour les microorganismes en fonction des écosystèmes et processus biologiques considérés. Mais surtout, cela illustre que la contamination en métaux d'origine anthropique peut avoir des effets importants (positifs et négatifs) sur la production nette de méthane, et donc sur les changements climatiques, et que cela demeure largement méconnu.

LA FERTILISATION DES OCÉANS PAR LES MÉTAUX

Bien que la forêt amazonienne soit souvent qualifiée de poumon de la Terre, le véritable poumon de notre planète est constitué de nos océans qui contribuent de manière importante à la production de dioxygène (O_2). La photosynthèse, qui permet de capturer le CO_2 et produire l' O_2 , résulte principalement de l'activité du phytoplancton (algues microscopiques photosynthétiques) dans les océans. Ces microorganismes sont la base de toute la chaîne alimentaire océanique et jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement de ces écosystèmes ainsi que pour le secteur de la pêche mondiale. Or, pour se développer, le phytoplancton a besoin de vitamines telles que le fer, le zinc et le cobalt. Ces métaux ne sont pas toujours présents en quantité suffisante à l'état naturel dans de nombreuses régions océaniques.

Dans l'océan Austral, l'océan Pacifique équatorial et le nord de l'océan Pacifique, les faibles concentrations de ces métaux limitent la photosynthèse et le développement du phytoplancton qui, à son tour, limite la chaîne alimentaire incluant les populations de poissons. Des expériences de fertilisation en fer de l'océan ont été réalisées dans les années 1990 et 2000. En 2012, une équipe financée par un homme d'affaires californien, Russ George, a déversé cent tonnes de sulfate de fer dans les eaux au large des côtes de la Colombie-Britannique (Tollefson, 2012). Cette expérience de fertilisation visait à enrichir en fer une région de l'océan afin de favoriser la croissance du phytoplancton et la capture de CO_2 de l'atmosphère par photosynthèse et la séquestration du carbone au fond de l'océan pour des centaines d'années. Russ George espérait ainsi vendre des crédits sur le marché du carbone. La biomasse phytoplanctonique a été augmentée rapidement de 40 % mais seulement de manière temporaire car les algues ont rapidement manqué de fer et d'autres vitamines pour maintenir la photosynthèse et donc la séquestration du CO_2 . Cette pratique de fertilisation en fer des océans est controversée, car elle bouleverse les équilibres biologiques et chimiques dans l'océan. Cependant, cette expérience illustre que la fertilisation des océans par les dépositions atmosphériques en métaux peut influencer de manière importante le phytoplancton et toute la chaîne alimentaire qui en dépend. Avec les changements climatiques et l'intensification de la circulation atmosphérique (vents), les transferts de particules (poussières riches en métaux) des continents vers les océans vont s'intensifier. Les impacts (positifs ou négatifs) de ces apports accrus de nutriments sur ces écosystèmes marins actuellement limités par l'accès aux métaux restent difficiles à estimer.

Credit photo : Das Sasha



Les métaux et l'atténuation des changements climatiques

L'exploitation et l'utilisation des métaux ont été au cœur de la majorité des avancées technologiques de l'histoire humaine depuis les premiers outils en bronze jusqu'à la conquête spatiale et l'apparition des nouvelles technologies qui inondent notre quotidien. La lutte contre les changements climatiques va demander des innovations technologiques qui sont encore en grande partie basées sur l'utilisation des métaux.

LE COÛT MÉTALLIQUE DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

De nombreuses technologies de production d'énergie dite verte et renouvelable, comme le solaire ou l'éolien, reposent sur des technologies nécessitant des métaux. Par exemple, les panneaux solaires contiennent d'importantes quantités de terres rares, métaux jusqu'alors peu utilisés par l'Homme. Au-delà de la production d'énergie, le stockage d'énergie est également un défi de taille pour une transition vers des énergies propres. Les batteries sont essentielles à la transition vers un transport routier électrique. Les batteries les plus efficaces actuellement en termes de large capacité de stockage, des temps de chargement rapide et d'une longue durée de vie, fonctionnent à base de lithium, un métal alcalin. L'intensification de leur utilisation, et par extension de l'exploitation de ces métaux (ex. terre rares, lithium), représente de nouvelles sources de contamination dont les impacts sur la qualité de notre environnement restent largement méconnus. Afin d'être réellement vertes et durables, les technologies de production d'énergie verte devront prendre en compte l'intégralité du cycle de vie de la technologie. Dans le cas des métaux, cela implique l'extraction, la transformation et le recyclage. Les avancées technologiques permettant une exploitation et une transformation plus écoresponsable des métaux se développent sous la pression des réglementations de plus en plus draconiennes dans de nombreux pays. Le

recyclage des métaux est quant à lui très inégal. Certains éléments comme le fer, le nickel et le chrome sont recyclés à plus de 50 % (UNEP, 2011). D'autres métaux comme le cadmium ou le tungstène le sont à moins de 10 %. Les terres rares et le lithium sont quant à eux recyclés à moins de 1 % (UNEP, 2011). Bien que le coût environnemental du 99 % restant demeure méconnu, l'empreinte environnementale métallique des nouvelles technologies ne peut être ignorée et la mise en place de pratiques responsables et durables de recyclage est indispensable pour une meilleure utilisation des ressources.

REVÉGÉTALISER LES ZONES D'EXTRACTION DE MINÉRAIS

Les sites miniers sont souvent des points chauds de contamination. Cependant, de nombreux pays resserrent les normes d'exploitation en imposant aux entreprises de réhabiliter les sites, souvent par une revégétalisation après la fermeture de la mine (MERN, 2017). Revégétaliser des sites miniers permet de limiter la dispersion des contaminants, améliore l'esthétique du paysage et vise à restaurer un écosystème fonctionnel. Ces pratiques peuvent également contribuer à lutter contre le réchauffement. Le site de Sudbury (Ontario) en est un bon exemple. Sur ce site, les émissions importantes de soufre et de métaux lourds durant des décennies ont résulté en une altération majeure de l'environnement. Les programmes de revégétalisation, ayant débuté dans les années 1970 et 1980, ont permis de reverdir les paysages lunaires de la région (Boerchers et al. 2016). Cependant, au-delà des aspects esthétiques, cette revégétalisation s'est également traduite par une accumulation importante de carbone dans la biomasse végétale réintroduite sur les sols, mais également dans les nombreux lacs réhabilités de la région (Meyer-Jacob et al. 2020; Rummey et al. 2021). La quantité de carbone séquestrée via ces programmes de revégétalisation de la région de Sudbury est estimée aujourd'hui à plus de 3,6 millions de tonnes. Considérant qu'un habitant d'un pays industrialisé produit environ dix tonnes de CO₂ par an, cela représente plus de deux ans d'émissions pour une ville de 160 000 habitants. La végétalisation des nombreux sites dégradés et orphelins au Canada représente un potentiel de séquestration de carbone important qui reste à être exploité.



RÉFÉRENCES

Allan C., Xia J., Pahl-Wostl C. (2013). Climate change and water security: challenges for adaptive water management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, volume(5), 625-632

Amini, M., Abbaspour, K. C., Berg, M., Winkel, L., Hug, S. J., Hoehn, H.E., Yang, H., Johnson, C.A. (2008). Statistical modeling of global geogenic arsenic contamination in groundwater. *Environmental science & technology*, volume(42), 3669-3675.

Basiliko, N., Yavitt J.B. (2001). Influence of Ni, Co, Fe and Na additions on methane production in Sphagnum-dominated Northern American peatlands. *Biogeochemistry*, volume(52), 133-153.

Boerchers, M., Fitzpatrick, P., Storie, C., Hostettler, G. (2016). Reinvention through greening: Examining environmental change in Sudbury, Ontario. *The Extractive Industries and Society*, volume(3), 793-801.

De Vleeschouwer, F., Gérard, L., Goormaghtigh, C., Mattielli, N., Le Roux, G., & Fagel, N. (2007). Atmospheric lead and heavy metal pollution records from a Belgian peat bog spanning the last two millennia: human impact on a regional to global scale. *Science of the Total Environment*, volume(377), 282-295.

FAO, International rice commission, (2002). Global climate changes and rice food security. (www.fao.org/forestry/15526-03ecb62366f779d1ed45287e698a44d2e.pdf).

Ferrat, M., Weiss, D.J., Dong, S., Large, D.J. Spiro, B., Sun, Y., Gallagher, K. (2012). Lead atmospheric deposition rates and isotopic trends in Asian dust during the last 9.5 kyr recorded in an ombrotrophic peat bog on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, volume(82), 4-22

Hausladen, D.M., Alexander-Ozinskas, A., McClain C., Fendorf S. (2018). Hexavalent Chromium Sources and Distribution in California Groundwater. *Environmental Science & Technology*, volume(52), 8242-8251.

Meyer-Jacob, C., Labaj, A., Paterson, A.M., Edwards, B.A., Keller, W.B., Cumming B.F., Smol J.P. (2020). Re-browning of Sudbury (Ontario, Canada) lakes now approaches pre-acid deposition lake-water dissolved organic carbon levels. *Science of the Total Environment*, volume(725), 138347

MERN (2017). *Guide de préparation du plan de réaménagement et de restauration des sites miniers au Québec*. (https://mern.gouv.qc.ca/mines/restauration/documents/Guide-restauration-sites-miniers_VF.pdf)

Muehe, E.M., Wang, T., Kerl, C.F. Planer-Friedrich, B., Fendorf S. (2019). Rice production threatened by coupled stresses of climate and soil arsenic. *Nature Communications*, volume(10), 4985.

Rumney, R.H.M., Preston, M.D., Jones, T., Basiliko, N., Gunn, J. (2021). Soil amendment improves carbon sequestration by trees on severely damaged acid and metal impacted landscape, but total storage remains low. *Forest Ecology and Management*, volume(483), 118896.

Shaji E., Santosh M., Pranav Prakash S.K.V., Deepchand V., Divya B.V. (2021). Arsenic contamination of groundwater: A global synopsis with focus on the Indian Peninsula. *Geoscience Frontiers*, volume(12), 101079.

Smith, R., Knight, R., Fendorf, S. (2018). Overpumping leads to California groundwater arsenic threat. *Nature Communications*, volume(9), 2089.

Tollefson, J. (2012). Ocean-fertilisation project off Canada sparks furore. *Nature*, volume(490), 458-459

UNEP (2011). *Recycling Rates of Metals – A status report, A report of the working group on the global metal flow to the international resource panel*. Greadel, T.E., Birat, J.P., Reck, B.K., Sibley, S.F., Sonnemann, G., Buchert, M., Hageluken, C.

UNESCO (2015). *The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world* (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>).

Weiss, D., Shotyky, W., Appleby, P. G., Kramers, J. D., & Cheburkin, A. K. (1999). Atmospheric Pb deposition since the industrial revolution recorded by five Swiss peat profiles: enrichment factors, fluxes, isotopic composition, and sources. *Environmental Science and Technology*, volume(33), 1340-1352.

Crédit photo : Jean Wimmerlin



Sciences et technologies

IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA RECHARGE DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE SUD DU QUÉBEC

Emmanuel Dubois^{1,2}

Étudiant au doctorat en hydrogéologie
Université du Québec à Montréal

Marie Larocque^{1,2}

Titulaire de la chaire de recherche
Eau et conservation du territoire
Université du Québec à Montréal

Sylvain Gagné¹

Agent de recherche en hydrogéologie
Université du Québec à Montréal

La ressource en eau souterraine et la gestion durable

L'eau souterraine représente la principale source d'eau potable en région rurale au Québec (Groupe Agéco, 2019). Elle est également exploitée pour l'industrie et l'agriculture. Afin d'éviter une surexploitation de cette ressource, il est nécessaire de connaître la recharge de l'eau souterraine, qui correspond au taux de renouvellement des nappes, ainsi que les volumes exploités (pompage) sur l'ensemble du territoire. Une surexploitation (plus de prélèvement que de recharge) entraînerait une baisse du niveau des nappes, l'assèchement de certains puits et une réduction des apports d'eau souterraine aux cours d'eau, aux milieux humides

1. Centre de recherche sur la dynamique du système Terre GEOTOP

2. Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie GRIL

et aux lacs. En plus du suivi des volumes exploités, la gestion à long terme de la ressource en eau souterraine nécessite une estimation réaliste de la recharge actuelle et future. Le but de cette étude est de simuler la recharge future en appliquant les conditions possibles de changements climatiques et d'améliorer la compréhension des impacts susceptibles d'affecter la dynamique annuelle et saisonnière de la recharge.

La recharge des eaux souterraines

Lors d'un événement de pluie ou de fonte de la neige, une partie de l'eau ruisselle à la surface par gravité jusqu'au réseau hydrographique (ruissellement de surface) (Figure 1). Une autre partie de l'eau est évaporée depuis les sols nus ou les surfaces d'eau libre telles que les marais, marécages, étangs, rivières, lacs ou directement depuis l'eau interceptée par la végétation (évaporation). Le reste de l'eau s'infiltré depuis la surface du sol et y circule principalement verticalement dans la zone non saturée où elle peut être prélevée par les plantes via leur réseau racinaire puis transpirée (transpiration). Évaporation et transpiration sont souvent estimées ensemble (évapotranspiration). Enfin, l'eau qui arrive à la base de la zone racinaire est considérée comme de la recharge potentielle. Celle-ci peut circuler peu profondément sous la surface, rejoindre les dépressions voisines et alimenter les milieux humides, cours d'eau et lacs (ruissellement de subsurface). Elle peut également percoler jusqu'à la nappe d'eau souterraine et représente alors le taux de renouvellement de l'eau souterraine (recharge réelle). La recharge rejoint éventuellement les réservoirs de surface (milieux humides, cours d'eau et lacs), après un parcours souterrain (écoulement en nappe). L'écoulement de l'eau souterraine peut ainsi rallonger le décalage entre un événement de pluie ou la fonte de la neige et l'arrivée dans les eaux superficielles de quelques jours à quelques millénaires (Saby *et al.* 2016).

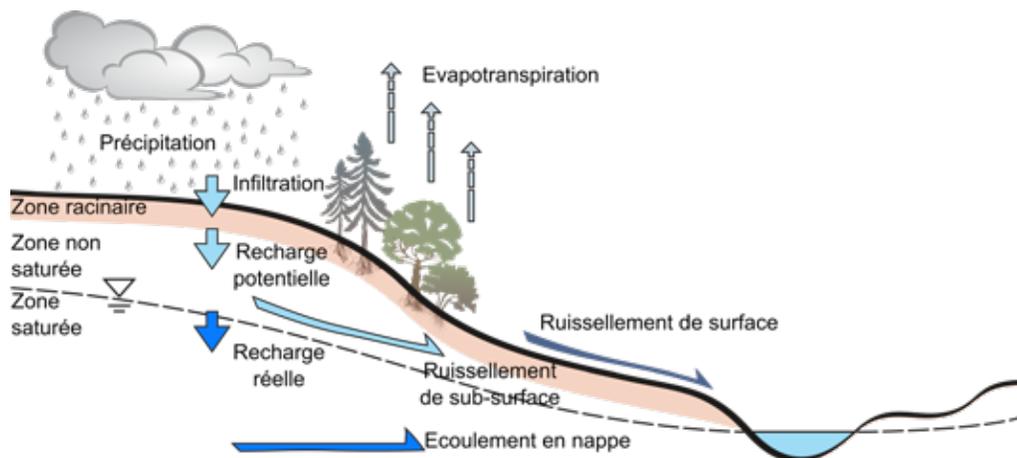


Figure 1. Coupe schématique du fonctionnement hydrologique. Adapté de RQES (s.d.).

Pendant l'hiver, les précipitations sont stockées sous forme de neige. Pendant l'été, la plus grande partie des précipitations est consommée par l'évapotranspiration et peu d'eau est disponible pour alimenter les milieux humides, cours d'eau et lacs. Dans les rivières, l'eau qui s'écoule provient alors principalement de l'émergence de l'eau souterraine, procurant ainsi de l'eau pour différents usages, incluant le maintien des écosystèmes (Rivera, 2014). Cet apport d'eau souterraine aux cours d'eau, aussi nommé « débit de base », est présent toute l'année, mais est surtout visible en périodes de basses eaux hivernales et estivales. Le débit de base estimé en rivière est généralement considéré comme étant égal à la recharge sur le bassin versant. La recharge de l'eau souterraine est donc un paramètre clé qui doit être quantifié pour comprendre la dynamique hydrologique des cours d'eau.

Les spécificités du Québec méridional

La région à l'étude est comprise entre le fleuve Saint-Laurent au nord, la frontière Québec – États-Unis au sud, la frontière Québec – Ontario à l'ouest et la ville de Québec à l'est (superficie totale : 35 800 km²) (Figure 2). Elle est composée de huit bassins versants affluents du Saint-Laurent, dont trois partiellement compris aux États-Unis.

La température annuelle moyenne diminue de l'ouest vers l'est, de 6.5 °C (BV1) à 3.9 °C (BV8) et les mois de décembre à mars ont une température moyenne inférieure à 0 °C (mois froids). Les précipitations annuelles sont de 1 085 mm/an, incluant environ 275 cm de neige pendant les mois froids. Jusqu'à présent, 41 % des précipitations annuelles ruissellent (445 mm/an), 47 % sont évapotranspirées (500 mm/an) et 12 % participent à la recharge (140 mm/an) (Dubois *et al.*, 2021a).

La saisonnalité de la recharge est influencée par la température moyenne des bassins versants. Une température plus élevée favorise l'activité végétale, ce qui se traduit par une évapotranspiration plus importante et donc une recharge plus faible. Ainsi, le refroidissement des températures de l'ouest vers l'est réduit l'évapotranspiration et produit des taux de recharge croissants (Dubois *et al.*, 2021a). Environ 75 % de la recharge annuelle a lieu au printemps (fonte printanière) et à l'hiver (écoulement de l'eau stockée dans le sol à la fin de l'automne et fonte hivernale). La recharge est faible

durant l'été en raison de taux d'évapotranspiration élevés et augmente inversement à la diminution de l'activité végétale durant l'automne.

Simulation de la recharge

Dans le sud du Québec, la recharge se produit de façon généralisée sur l'ensemble du territoire. Il n'est donc pas possible de la mesurer directement à cette échelle. L'estimation spatio-temporelle de la recharge se fait donc par modélisation numérique, une approche qui permet de simuler mathématiquement l'ensemble des processus responsables de la recharge (Scanlon, Healy et Cook, 2002).

Le modèle HydroBudget développé par Dubois et al (2021a) permet de simuler la recharge spatio-temporelle spécialement pour les climats froids et humides et à l'échelle régionale (plusieurs dizaines de milliers de km²). Il reproduit les débits des rivières et les débits de base des rivières qui sont considérés représentatifs de la recharge (Figure 3). Les débits des rivières sont mesurés en certains points le long des cours d'eau par des stations de jaugeage (Figure 2) et les débits de base sont estimés à l'aide de filtres mathématiques appliqués sur les chroniques de débits de cours d'eau.

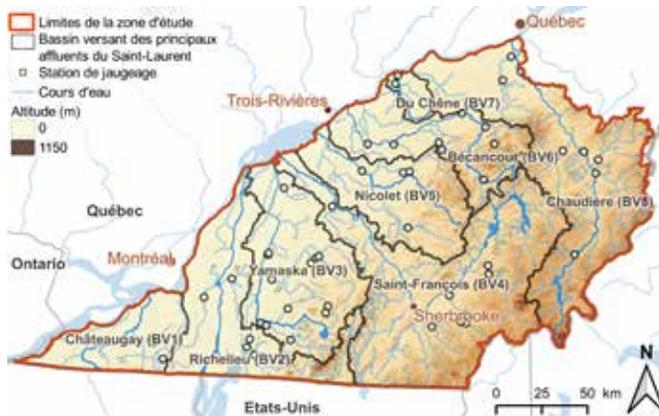


Figure 2. Localisation de la zone d'étude et des huit bassins versants (BV).

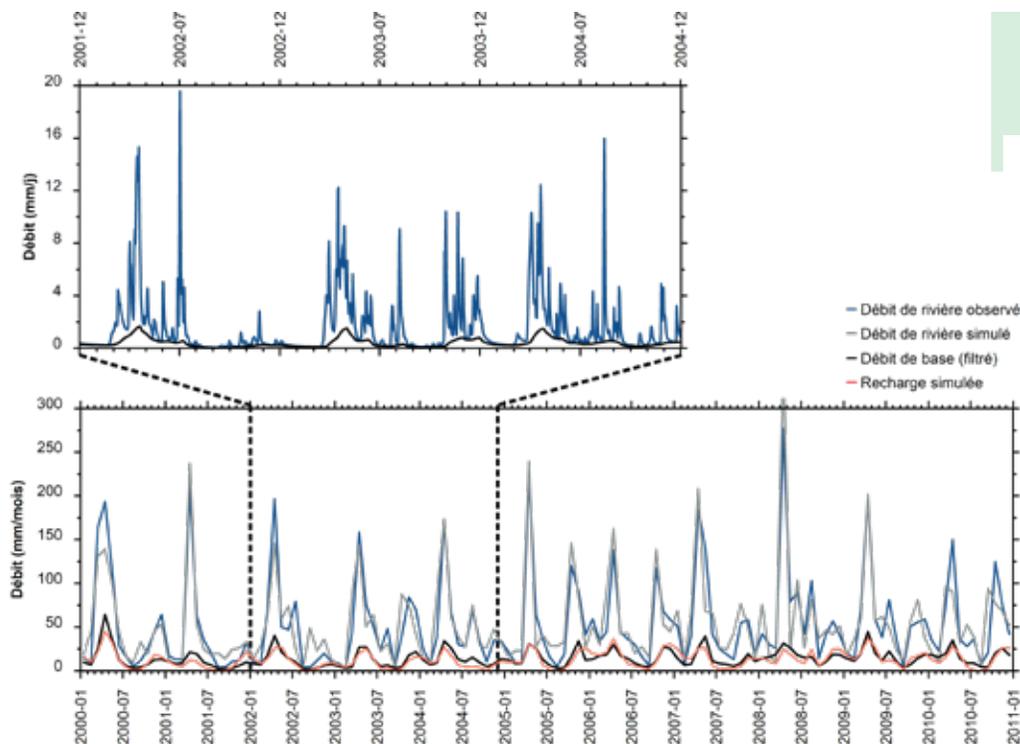


Figure 3. Extrait de chronique de débit de rivière observé et de débit de base filtré depuis le débit de rivière à la station la plus en aval sur la rivière Chaudière (BV8) au pas de temps journalier (en haut) et au pas de temps mensuel (en bas) et débit de rivière simulé et la recharge simulée associée (en bas). Les débits ont été divisés par la surface du bassin versant de la station de jaugeage pour être exprimés en lame d'eau écoulee (mm) par unité de temps. Adapté de Dubois et al. (2021a).

Une fois le modèle construit, les données d'entrée pour la simulation de la recharge, du ruissellement et de l'évapotranspiration sont les chroniques de précipitations et de températures journalières (Dubois *et al.*, 2021a). Les précipitations sont partagées entre le ruissellement de surface, l'évapotranspiration et la recharge. Les températures sont utilisées pour déterminer le potentiel d'évapotranspiration, la forme des précipitations (pluie ou neige), la fonte du stock de neige et le gel du sol.

Conditions climatiques futures

SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Les conditions climatiques futures sont simulées en utilisant des scénarios climatiques. Ce sont des chroniques de l'évolution possible des précipitations et de la température en fonction de l'évolution de la concentration de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Les projections de concentration de GES considèrent des scénarios avec des hautes et faibles intensités de rejets de GES dans le futur, qui entraînent l'évolution des températures et précipitations. Dans la présente étude, la période 1981-2010 représente la période de référence à laquelle les conditions futures sont comparées. Les périodes 2041-2070 et 2071-2100 ont été choisies pour représenter l'évolution à moyen et à long terme du climat et de la recharge.

CHANGEMENTS ATTENDUS DANS LE SUD DU QUÉBEC

Pour simuler la recharge future en contexte de changements climatiques, il est nécessaire d'utiliser plusieurs scénarios climatiques afin de considérer plusieurs conditions futures possibles équiprobables (également probables). Dans cette étude, les 12 scénarios climatiques utilisés montrent un réchauffement entre +0.8 °C et +5 °C et des précipitations qui varient entre des conditions stables et une augmentation de +200 mm/an entre 1981-2010 et 2041-2070 (Figure 4a). Les intervalles de valeurs de précipitations et de température annuelles définis par ces scénarios climatiques s'élargissent de façon marquée à partir de 2040, ce qui traduit l'incertitude sur les changements climatiques à venir (Figure 4b et 4c).

Conditions de recharge future : interprétations et incertitudes

En utilisant les scénarios climatiques comme données d'entrée dans la simulation de la recharge, 12 scénarios de recharge ont été simulés pour chaque bassin versant. L'interprétation des simulations de recharge future est basée sur les mêmes périodes de 30 ans que pour les scénarios climatiques.

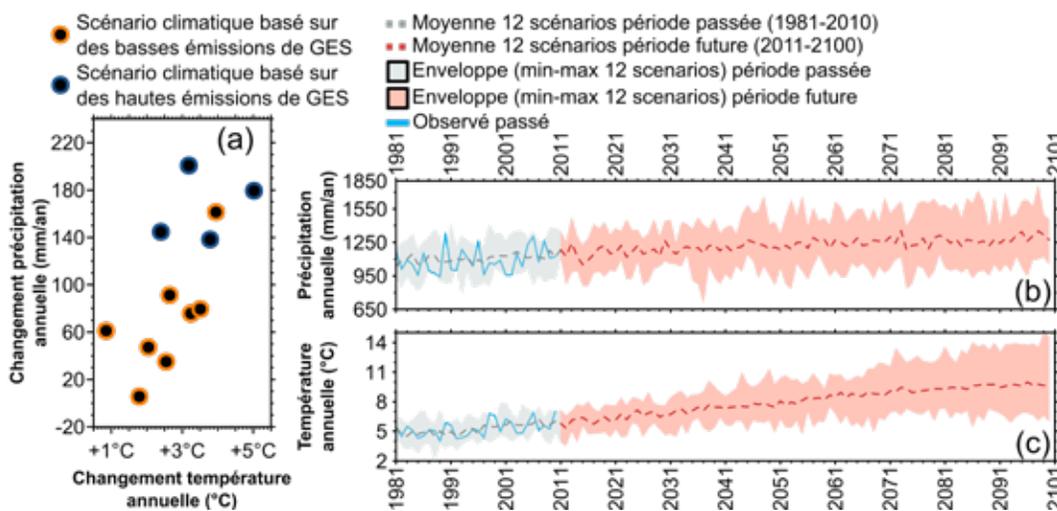


Figure 4. Changements de température annuelle et de précipitation annuelle entre la période future 2041-2070 et la période de référence 1981-2010 pour chaque scénario climatique (a), évolution des précipitations annuelles (b), et évolution des températures (c) pour l'ensemble de la zone d'étude.

RECHARGE ANNUELLE FUTURE

Les médianes de recharge annuelle pour chacun des 12 scénarios de recharge pour les périodes futures sont supérieures à celles de la période de référence pour les bassins versants BV1, BV2, BV3 et BV7 (Figure 5). Les médianes futures des BV4, BV5, BV6 et BV8 sont similaires, voire légèrement inférieures, à la période de référence. Pour l'ensemble des bassins versants, la médiane des scénarios pour la période 2071-2100 diminue par rapport à 2041-2070. Bien que de fortes augmentations de recharge future soient simulées par certains scénarios, des baisses marquées sont aussi simulées. L'intervalle de valeurs de recharge annuelle future est alors plus grand que celui de la période de référence et augmente avec le temps, similairement

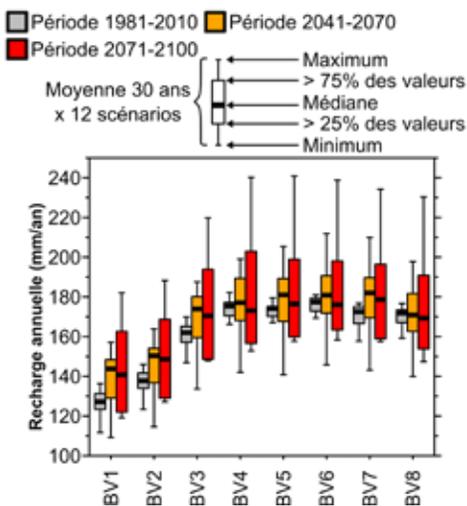


Figure 5. Recharge annuelle moyenne pour la période de référence 1981-2010 et les périodes futures 2041-2070 et 2071-2100 pour les huit bassins versants (BV). Chaque boîte à moustache représente la répartition des 12 moyennes annuelles de recharge simulée par période et la période de référence 1981

aux conditions futures de précipitations et températures. Les conditions de recharge annuelle future sont donc très incertaines. Toutefois, ces observations annuelles ne rendent pas compte de changements dans la recharge future qui pourraient varier d'un mois à l'autre et qui pourraient même se compenser.

UN CONTRASTE DANS LA RECHARGE MENSUELLE FUTURE

L'évolution de la recharge mensuelle montre une différence nette de l'impact des changements climatiques sur la recharge des mois froids et du reste de l'année (Figure 6). Entre décembre et mars, le réchauffement des températures augmente la quantité d'eau liquide disponible (conditions de gel moins sévères) alors qu'il n'y a pas d'évapotranspiration, car l'activité végétale est inexistante. Les valeurs de recharge future augmentent ainsi par rapport à la période de référence. La hausse des températures engendre une augmentation de l'évapotranspiration marquée au printemps (avril et mai) et à l'automne (octobre et novembre). Ceci induit une diminution de la recharge future d'avril à novembre en comparaison avec la période de référence sur l'ensemble des bassins versants.

DES CONDITIONS FUTURES PLUS OU MOINS INCERTAINES

L'intervalle de valeurs de recharge mensuelle future varie également d'un mois à l'autre (Figure 6). De décembre à mars, cet intervalle augmente de façon marquée en période future. L'augmentation de recharge de ces mois dépend donc grandement des combinaisons d'évolution des températures et des précipitations, ce qui rend incertaines les conditions de recharge. Par opposition, l'intervalle des valeurs de recharge future diminue de façon marquée pour les mois de mai à octobre

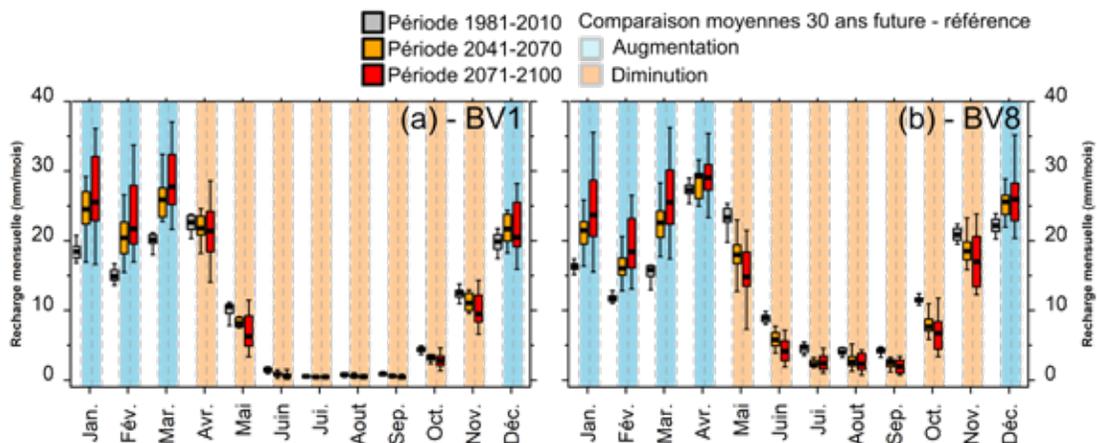


Figure 6. Recharge mensuelle par période de 30 ans pour le bassin versant (BV) le plus à l'ouest (a) et le plus à l'est (b) et comparaison des moyennes mensuelles des 12 scénarios entre les périodes futures et la période de référence. Chaque boîte à moustache représente la répartition des 12 moyennes mensuelles de recharge simulée par période. Adapté de Dubois et al. (2021b)

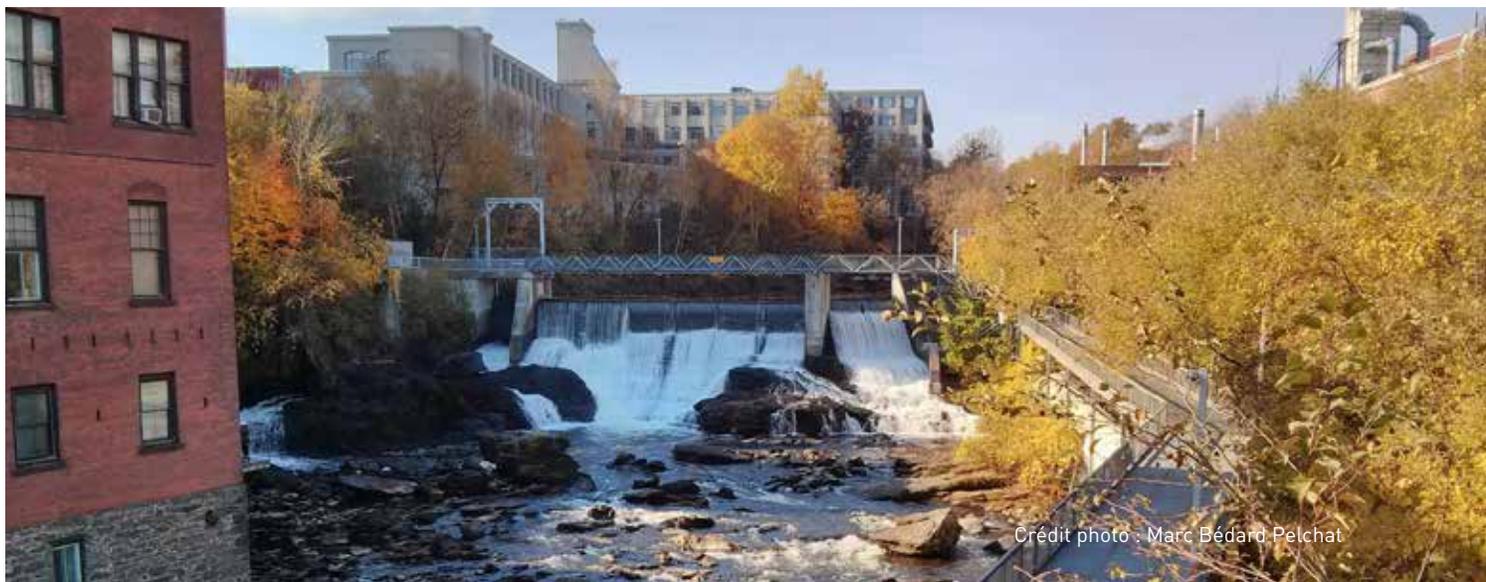
et l'ensemble des scénarios de recharge montre une diminution des valeurs de recharge pour cette période. Les combinaisons d'évolution des températures et des précipitations des scénarios climatiques influencent donc peu les diminutions estivales de recharge qui sont ainsi moins incertaines que les augmentations hivernales.

Conclusion

Dans le but de mettre en place une gestion à long terme des ressources en eau souterraine dans le sud du Québec, il est important de comprendre l'impact des changements climatiques sur la recharge de l'eau souterraine. L'utilisation d'un ensemble de scénarios climatiques, représentant l'évolution possible du climat en fonction de différentes conditions de concentrations de GES, permet de simuler les conditions de recharge future dans le sud du Québec. Les changements annuels sont incertains puisqu'ils montrent de possibles augmentations et diminutions futures qui sont fortement influencées par les variations mensuelles de la recharge. De décembre à mars, la hausse des températures augmente la quantité d'eau disponible au moment où l'activité végétale est nulle, ce qui contribue à accroître la recharge hivernale, mais de façon relativement incertaine. Pour le reste de l'année, l'accroissement des précipitations ne compense pas l'augmentation des températures, et une diminution de la recharge est attendue. Ces scénarios de recharge apportent des contributions nouvelles aux gestionnaires de l'eau et du territoire. Ces données pourraient être utilisées pour étudier la propagation de l'impact des changements climatiques dans le cycle de l'eau et notamment l'influence sur l'hydrologie des milieux humides, les débits en rivière et les niveaux d'eau dans les lacs.

RÉFÉRENCES

- Dubois, E., Larocque, M., Gagné, S. et Meyzonnat, G. (2021a).** Simulation of long-term spatiotemporal variations in regional-scale groundwater recharge : Contributions of a water budget approach in southern Quebec. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–37. doi : <https://doi.org/10.5194/hess-2021-71>
- Dubois, E., Larocque, M., Gagné, S. et Braun M. (2021b).** Climate change impacts on groundwater recharge in cold and humid climates: controlling processes and thresholds. *Soumis à Climate*.
- Groupe Agéco. (2019).** *Recherche participative d'alternatives durables pour la gestion de l'eau en milieu agricole dans un contexte de changement climatique (RADEAU1)* (p. 332). Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation, Fonds Vert. Repéré à https://www.agrireseau.net/documents/Document_101346.pdf
- Rivera, A. (2014).** *Canada's groundwater resources*. Markham (Ontario, Canada) : Fitzhenry & Whiteside.
- RQES (s.d.).** Les eaux souterraines. Repéré à <https://rqes.ca/les-eaux-souterraines/>
- Saby, M., Larocque, M., Pinti, D. L., Barbecot, F., Sano, Y., et Castro, M. C. (2016).** Linking groundwater quality to residence times and regional geology in the St. Lawrence Lowlands, southern Quebec, Canada. *Applied Geochemistry*, 65(Supplement C), 1–13. doi : <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.10.011>
- Scanlon, B. R., Healy, R. W., et Cook, P. G. (2002).** Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 18–39. doi : <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0176-2>



Crédit photo : Marc Bédard Pelchat

Droit et politique

LE QUÉBEC ET SA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES : MISE EN ŒUVRE DE L'ACCORD DE PARIS

Annie Chaloux

Professeure, École de politique appliquée
Université de Sherbrooke

Philippe Simard

Professionnel de recherche
Université de Sherbrooke

Jennyfer Boudreau

Professionnelle de recherche
Université de Sherbrooke

Plus de cinq ans ont passé depuis la signature de l'Accord de Paris. Pourtant, les efforts d'atténuation des États sont toujours nettement en deçà des réductions de gaz à effet de serre (GES) nécessaires pour limiter le réchauffement climatique entre 1,5 et 2 °C. Les trajectoires d'émissions actuelles mènent plutôt vers un réchauffement global de 3 °C (UNEP, 2020).

Dans ce contexte, devant la menace croissante des changements climatiques, de plus en plus d'acteurs mettent la main à la pâte. Par exemple, le secteur privé, le monde de la finance ou encore les gouvernements non centraux, comme les provinces et les villes, contribuent de plus en plus à la lutte contre les changements climatiques. L'Accord de Paris sur le climat y reconnaît d'ailleurs leur rôle essentiel et les encourage même « à amplifier leurs efforts et à appuyer des mesures destinées à réduire les émissions et/ou renforcer la résilience et diminuer la vulnérabilité aux effets néfastes des changements climatiques » (Accord de Paris, V. 135 2015).

À cet effet, le Québec s'implique depuis près de 30 ans déjà dans l'édification du régime climatique mondial. On le considère d'ailleurs comme un leader nord-américain et international en la matière (Chaloux, 2016). Dès 1992, le Québec dépêchait des observateurs à la Conférence de Rio qui donnera naissance à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et à la Convention sur la diversité biologique notamment. La province s'est depuis investie dans plusieurs initiatives climatiques au-delà de ses frontières, comme des réseaux d'États fédérés et son marché du carbone avec la Californie, en plus de participer aux conférences annuelles de l'ONU sur le climat (Chaloux et al. 2015).

De surcroît, le Québec s'est déclaré lié aux grands accords climatiques internationaux, dont l'Accord de Paris (2015), s'obligeant en quelque sorte à mettre en œuvre, dans ses champs de compétences, les engagements liés à ces accords. Or, comme province, le Québec n'est pas considéré, au sens strict du terme, comme une Partie

à l'Accord de Paris. Pourtant, nos recherches démontrent que celui-ci met en œuvre la majorité de ses dispositions. Sur les plans politique et climatique, cette stratégie est particulièrement intéressante, puisqu'elle témoigne du fort potentiel des gouvernements non centraux à lutter contre les changements climatiques et à participer à la gouvernance mondiale du climat.

Cet article¹ s'intéresse donc à cette stratégie, et plus particulièrement à la mise en œuvre de l'Accord de Paris par le Québec depuis son adoption en 2015². Cela nous permet d'analyser dans quelle mesure le Québec constitue un acteur crédible dans cette gouvernance mondiale du climat éclatée et à acteurs multiples.

L'Accord de Paris en bref

L'Accord de Paris a été adopté le 12 décembre 2015, dans le cadre de la 21^e Conférence annuelle des Parties à la CCNUCC. Cet accord demande à tous les pays, peu importe leur niveau de développement, de contribuer aux efforts de lutte contre les changements climatiques, et ce, en fonction de leurs capacités respectives.

À ce jour, 191 des 197 Parties à la CCNUCC ont ratifié ou se sont déclarés liés à l'Accord de Paris, couvrant ainsi 97% des émissions mondiales de GES (CAIT data explorer, 2021).

Concrètement, l'Accord de Paris vise trois objectifs globaux :

- 1) Contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C ;
- 2) Renforcer les capacités d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques; et
- 3) Rendre les flux financiers compatibles avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de gaz à effet de serre et résilient aux changements climatiques.

SES ATTENTES

Pour atteindre ces trois objectifs, l'Accord de Paris prévoit une série d'« attentes » à l'égard des États parties. Ces attentes prennent soit la forme de **recommandations (faiblement contraignantes)**, soit la forme d'**obligations (juridiquement contraignantes)**. Pour déterminer le niveau de conformité du Québec face aux attentes de l'Accord de Paris, nous avons passé en revue les recommandations et les obligations de l'Accord s'appliquant directement aux pays développés. Nous pouvons les regrouper en cinq catégories :

1) Réduction des émissions et communication des contributions déterminées au niveau national (CDN) (article 4 de l'Accord de Paris)

- Chaque État a l'obligation de produire une CDN qu'il devra réviser à la hausse tous les cinq ans.
- Les États doivent rendre compte de la mise en œuvre et de l'atteinte de leur CDN respective de manière claire, transparente et compréhensible.
- En vue d'atteindre leur CDN, les États doivent prendre des mesures de réduction des émissions de GES.
- Pour ce faire, on recommande aux États d'adopter des objectifs de réduction à l'échelle de l'économie ainsi que des stratégies à long terme de développement à faibles émissions de GES.

LES CDN

Les contributions déterminées au niveau national, communément appelées CDN, désignent la contribution de chaque État à l'atteinte des objectifs de l'Accord de Paris. Une CDN prend généralement la forme d'un plan climatique national dans lequel figure notamment la cible de réduction des émissions d'un État. Par exemple, le Canada vise pour 2030 une réduction de 40 à 45 % de ses émissions par rapport à 2005 (cible de la deuxième édition de sa CDN).

1. Cet article résume les principaux résultats de recherche qui ont été publiés au sein de la Revue québécoise de droit international (RQDI). Pour plus de détails, nous vous invitons à consulter le numéro 33.2 qui paraîtra à l'automne 2021.

2. Cette analyse se concentre exclusivement sur la conformité du Québec à l'égard des dispositions de l'Accord de Paris. Bien que cette étude soit aussi pertinente, nous n'examinons pas ici l'efficacité des politiques climatiques québécoises.

2) Adaptation et coopération pour l'adaptation (article 7)

- Chaque État a l'obligation de mettre en œuvre des mesures pour l'adaptation.
- On recommande à chaque État de communiquer périodiquement ses priorités, ses besoins, ses projets et ses mesures en adaptation.
- On recommande aux États de coopérer entre eux pour améliorer l'action en adaptation.

3) Conservation et renforcement des puits et réservoirs de GES (article 5)

- On recommande aux États de prendre des mesures pour conserver et renforcer les puits et réservoirs de GES, notamment les forêts.

LES PUIITS ET RÉSERVOIRS DE GES

Les puits et réservoirs de GES englobent les processus et composantes du système climatique (p. ex. : océans, sols et forêts) qui éliminent ou captent les GES de l'atmosphère.

4) Appui aux pays en développement (articles 9 à 11)

- Les pays développés ont l'obligation de fournir des ressources financières et de contribuer aux transferts technologiques pour appuyer les pays en développement en matière d'atténuation et d'adaptation.
- Les pays développés doivent communiquer des informations sur l'aide fournie tous les deux ans.
- On recommande que cette aide financière accordée aux pays en développement représente une progression dans le temps.

5) Éducation et sensibilisation aux changements climatiques (article 12)

- Les États ont l'obligation de prendre des mesures visant à sensibiliser le public aux changements climatiques.

Conformité du Québec à l'Accord de Paris

Afin d'évaluer la conformité du Québec face aux cinq catégories d'attentes de l'Accord de Paris, nous avons analysé en détail les mesures de son Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques (PACC 2020) ainsi que celles de son Plan pour une économie verte 2030 (PEV 2030). Nous avons aussi passé en revue plusieurs annonces gouvernementales et projets de loi récents. Cette analyse permet de constater que, depuis 2015, le Québec répond à la majorité des attentes phares de l'Accord de Paris. Voici l'essentiel de ce qu'il faut en retenir :

CATÉGORIE 1 – RÉDUCTION DES ÉMISSIONS ET COMMUNICATION DES CDN

En 2015, le Québec a adopté trois cibles de réduction de ses émissions de GES applicables à l'échelle de l'économie. Ces cibles rappellent, tant sur le fond que sur la forme, une CDN.

- 1) Pour 2020, une réduction de 20 % de ses émissions de GES par rapport à 1990;
- 2) Pour 2030, une réduction de 37,5 %;
- 3) Pour 2050, une réduction de 80 % à 95 % (MELCC, 2013; MELCC, 2015; MRIF, 2015).

En 2020, le gouvernement du Québec a déposé son nouveau PEV 2030. La province y maintient sa cible de réduction de 37,5 % pour 2030 et vise maintenant la carboneutralité pour 2050 (MELCC, 2020a). Ce faisant, le Québec répond en partie aux attentes. En effet, l'Accord de Paris exige des Parties qu'elles adoptent des cibles plus ambitieuses chaque cinq ans. En mettant à jour sa « CDN » en 2020, le Québec a certes revu sa cible à la hausse pour 2050, mais il ne l'a pas fait pour celle de 2030. Dès lors, la province n'est donc pas tout à fait conforme à cette attente phare de l'Accord de Paris qu'est le rehaussement progressif de l'ambition climatique³.

Notons néanmoins que le Québec répond aux attentes en matière de reddition de compte, puisqu'il publie chaque année un inventaire de GES. Il répond aussi aux attentes quant à la stratégie à long terme pour un développement économique sobre en carbone. En effet, le Québec prévoit atteindre la carboneutralité d'ici 2050, comme le suggère

3. Selon plusieurs experts, les politiques actuelles et annoncées par Québec en matière de réduction des émissions de GES sont, pour l'instant, insuffisantes pour atteindre notre cible à l'horizon 2030 (Gagnon, 2020).

l'Accord de Paris. Pour y parvenir, le gouvernement du Québec compte électrifier l'ensemble de son économie, en misant d'abord sur l'électrification des transports. D'ici 2026, 5 milliards de dollars sont prévus dans le PEV 2030 pour les mesures d'atténuation (MELCC, 2020b).

Le Québec atteint donc un **degré moyen**⁴ de conformité à l'égard de cette catégorie d'attentes.

CATÉGORIE 2 – ADAPTATION ET COOPÉRATION POUR L'ADAPTATION

Sa *Stratégie gouvernementale d'adaptation aux changements climatiques 2013-2020* étant échue, le Québec se trouve actuellement sans plan d'adaptation⁵. Bien que le PEV 2030 énonce quelques priorités et mesures générales d'adaptation d'ici 2030 (MELCC, 2020b), cela demeure insuffisant pour répondre aux attentes de l'Accord de Paris. Pour y être complètement conforme, le gouvernement du Québec devra présenter une stratégie nationale qui inclut ses projets, ses mesures et ses besoins concrets en adaptation. Il devra aussi les actualiser périodiquement et faire le suivi des mesures d'adaptation passées.

QUELQUES PRIORITÉS ET MESURES D'ADAPTATION DU PEV 2030

PRIORITÉS

Protection de la santé

Maintien de la qualité de vie

Sécurité des communautés québécoises

MESURES

Prévention contre l'érosion des zones côtières

Verdissement des milieux urbains

Cartographie/analyse des risques pour le territoire

De plus, notons qu'avec son budget de 400 millions de dollars sur cinq ans pour l'adaptation (contre 5 milliards de dollars pour l'atténuation), le Québec est encore loin de parvenir à un équilibre du financement entre l'adaptation et l'atténuation, comme le suggère l'Accord de Paris.

Finalement, sur le plan de la coopération pour l'adaptation, le Québec est conforme aux attentes de l'Accord de Paris. En effet, la province fait notamment partie de l'initiative *RegionAdapt*, un regroupement

4. On dira que le Québec atteint un **degré élevé** de conformité s'il respecte les recommandations et obligations d'une catégorie donnée. S'il en respecte seulement une partie, ou s'il est en voie de se conformer, on dira que le Québec atteint un **degré moyen** de conformité.

5. Précisons que le Québec a tout de même adopté son *Plan de protection du territoire face aux inondations* en avril 2020, et sanctionné un projet de loi sur le régime d'aménagement dans les zones inondables des lacs et des cours d'eau en mars 2021.

de gouvernements régionaux qui collaborent et échangent sur l'adaptation. Notons que le Québec collabore aussi étroitement avec le consortium Uranos afin d'améliorer les connaissances scientifiques sur l'adaptation dans un contexte québécois.

Le Québec atteint donc un **degré moyen** de conformité à l'égard de cette catégorie d'attentes.

CATÉGORIE 3 – CONSERVATION ET RENFORCEMENT DES PUIITS ET RÉSERVOIRS DE GES

Tandis que le PACC 2020 ne comprenait aucune mesure directe pour la conservation et le renforcement des puits et réservoirs de GES, le PEV 2030 leur consacre désormais un budget de 105,7 millions de dollars sur cinq ans pour :

- 1) Éviter la destruction et la dégradation des réservoirs de GES;
- 2) Augmenter le potentiel de séquestration des forêts commerciales; et
- 3) Mieux comprendre le rôle des milieux naturels dans l'atténuation (MELCC, 2020b).

Conformément aux Objectifs d'Aichi pour la biodiversité (une série de 20 cibles internationales en matière de biodiversité à l'horizon 2020), le Québec a également augmenté la superficie des aires protégées sur son territoire. En 2020, il l'a fait passer de 10 % à 17 % du territoire, contribuant du même coup à la conservation des réservoirs de GES (MELCC, 2020c).

Le Québec atteint donc un **degré élevé** de conformité à l'égard de cette catégorie d'attentes.

Crédit photo : COP Paris



CATÉGORIE 4 – APPUI AUX PAYS EN DÉVELOPPEMENT

Le Programme de coopération climatique internationale (PCCI) est au cœur du soutien offert par le Québec aux pays en développement. Ce programme novateur finance des projets de coopération visant l'atténuation des GES et l'adaptation aux changements climatiques dans les pays francophones vulnérables du continent africain et des Antilles. Tout comme le PACC 2020, le PEV 2030 prévoit un budget de 4,3 millions de dollars par année pour la coopération internationale (période 2021-2026). En y accordant un tel budget, le Québec répond partiellement aux attentes de l'Accord de Paris; ce dernier recommande que la fourniture de ressources financières aux pays en développement représente une progression dans le temps.

Notons également que le gouvernement du Québec ne communique, pour l'instant, que des informations sommaires sur la durée, le financement et le contenu des projets du PCCI. Pour être complètement conforme à l'Accord de Paris, le Québec devra assurer une meilleure transparence de la reddition de compte de ce programme.

Le Québec atteint donc un **degré moyen** de conformité à l'égard de cette catégorie d'attentes.

CATÉGORIE 5 – ÉDUCATION ET SENSIBILISATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Le PEV 2030 prévoit un budget de 43,8 millions de dollars sur cinq ans pour le soutien à la mobilisation des citoyens, des organisations et des communautés du Québec

Catégories d'attentes	Degré de conformité ⁶	Forces et faiblesses
1. Réduction des émissions et communication des CDN	Moyen	<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cibles de réduction des GES à l'échelle de l'économie - Inventaires annuels de GES - Mesures et stratégies de réduction de GES à moyen et à long terme (carbonneutralité en 2050) <p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas de rehaussement de la cible pour 2030
2. Adaptation et coopération pour l'adaptation	Moyen	<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Participation à l'initiative RegionAdapt et collaboration avec Ouranos <p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour l'instant, aucun plan national d'adaptation (priorités et mesures générales dans le PEV 2030) - Déséquilibre important du financement adaptation-atténuation
3. Conservation et renforcement des puits et réservoirs de GES	Élevé	<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Budget de 105,7 millions de dollars sur cinq ans - Superficie des aires de conservation à 17 % en 2020
4. Appui aux pays en développement	Moyen	<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modèle novateur du PCCI - Budget de 4,3 millions de dollars par année <p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas de progression du financement - Peu d'informations disponibles sur le programme
5. Éducation et sensibilisation aux changements climatiques	Élevé	<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Budget de 43,8 millions de dollars sur cinq ans - Poursuite du programme Action-Climat

6. Pour une analyse plus détaillée du niveau de conformité du Québec à l'égard de l'Accord de Paris, veuillez vous référer au tableau de conformité présenté dans l'article original paru dans la RQDI.

en matière de lutte contre les changements climatiques (MELCC, 2020b). Ces fonds permettront notamment de poursuivre le programme Action-Climat. Lancé en 2016 sous le PACC 2020, ce programme a depuis financé 39 projets de la société civile visant à mettre en œuvre des solutions basées sur l'action citoyenne pour l'atténuation ou l'adaptation (MELCC, 2020d).

Le Québec atteint donc un **degré élevé** de conformité pour cette catégorie d'attentes.

Conclusion

Dans l'ensemble, on constate que le Québec a, depuis les cinq dernières années, mis en œuvre la majorité des attentes clefs associées à l'Accord de Paris dans ses champs de compétence. En tant qu'État fédéré non partie, cela démontre une volonté claire de contribuer à l'effort international de lutte contre les changements climatiques, et ce, malgré le fait que certaines attentes ne soient toujours pas remplies. Alors que les scénarios climatiques démontrent que la réponse actuelle portée par les États pour la lutte contre les changements climatiques est insuffisante, le cas québécois indique que d'autres entités que les gouvernements centraux, tels que les États fédérés, sont en mesure de participer efficacement à la gouvernance mondiale du climat. D'ailleurs, si la tendance se maintient, cette participation à la lutte contre les changements climatiques portée à différentes échelles sera désormais non seulement utile, mais indispensable à la mise en œuvre des objectifs de l'Accord de Paris. Pour un enjeu mondial d'une telle ampleur que celui des changements climatiques, toutes les contributions sont utiles et cumulables, et ce, peu importe la nature de l'acteur.

RÉFÉRENCES

Accord de Paris. (2015). https://unfccc.int/sites/default/files/french_paris_agreement.pdf

Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) Climate data explorer. (2021). *Paris Agreement Tracker.* <https://cait.wri.org/indc/#/ratification>

Chaloux, A. (2016). Paradiplomatie québécoise dans le domaine environnemental : Analyse comparée de la mise en œuvre des engagements internationaux du Québec. *Revue internationale de droit et politique du développement durable de McGill*, 12(1), 105-130.

Chaloux, A., Paquin, S., & Séguin, H. (2015). Canada's Multiple Voices Diplomacy in Climate Change Negotiations: A Focus on Québec. *International Negotiation*, 20(2), 291-318. <https://doi.org/10.1163/15718069-12341311>

Gagnon, K. (2020). Nouveau plan vert de Québec « complètement insuffisant ». *La Presse*, 18 septembre 2020. <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/2020-09-18/nouveau-plan-vert-de-quebec-completement-insuffisant.php>



Crédit photo : Adam Scotti (PMO)

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2013). *Le Québec en action vert 2020 : Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques : phase 1.* https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/plan_action/pacc2020.pdf

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2015). *Communiqué de presse : Québec adopte la cible de réduction de gaz à effet de serre la plus ambitieuse au Canada.* <https://www.environnement.gouv.qc.ca/infuseur/communique.asp?no=3353>

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2020a). *Plan pour une économie verte 2030 : Politique-cadre d'électrification et de lutte contre les changements climatiques.* <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-economie-verte-2030.pdf?1605540555>

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2020b). *Plan pour une économie verte 2030 : Plan de mise en œuvre 2021-2026.* <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-economie-verte-2030.pdf?1605540555>

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2020c). *Québec respecte son engagement et réussit à protéger 17 % de son territoire terrestre et d'eau douce.* <https://www.environnement.gouv.qc.ca/infuseur/communique.asp?no=4440>

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2020d). *Action-Climat Québec: Programme de soutien à la mobilisation et à l'action citoyenne dans la lutte contre les changements climatiques.* <https://www.environnement.gouv.qc.ca/programmes/actionclimat/cadre-normatif.pdf>

Ministère des Relations internationales et de la Francophonie. (2015). *Le Québec adhère au Protocole d'accord sur le leadership climatique mondial (Under 2 MOU).* <http://www.mrif.gouv.qc.ca/fr/salle-de-presse/actualites/15487>

United Nations Environment Programme [UNEP]. (2020). *The Emissions Gap Report 2020.* <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>

UN MODÈLE DE GOUVERNANCE DE L'ADAPTATION GLOBALE PRATICABLE AU PLAN D'UNE MRC

Alain Létourneau

Professeur au Département de philosophie et d'éthique appliquée
Université de Sherbrooke

Le présent texte vise à dégager quelques recommandations concernant un cadre de gouvernance de l'adaptation au niveau régional. Cela suppose de présenter l'expérience concrète d'accompagnement d'une MRC (Municipalités régionales de comté), ici celle de Memphrémagog, dans le cadre d'un projet de recherche-action, qui a pris la forme d'un ensemble de travaux visant à faire émerger un processus collectif de réflexion en adaptation aux changements climatiques (Létourneau et Thomas, 2017-2020)¹.

En matière d'adaptation aux changements climatiques (ACC dans la suite du texte), « les villes et municipalités sont directement sur le front, puisqu'elles ont à charge la gestion de la proximité. » (Létourneau 2019b; Joerin et al., 2014; ONERC, 2010). Il est par ailleurs devenu assez fréquent de se référer à la gouvernance lorsqu'il est question d'adaptation aux changements climatiques (Adger, Lorenzoni et O'Brien, 2009). Dans le cas qui nous occupe, la gouvernance n'est ni la simple gestion, ni le gouvernement. Elle désigne plutôt le réseau concret des acteurs qui sont amenés à prendre des décisions dans un domaine donné. En ce qui nous concerne, il s'agit de l'adaptation au climat à l'échelle régionale. Cela inclut donc, au premier chef, la MRC et ses mairies constituantes. Comme il ne s'agit pas des seuls décideurs dont les actions engendrent des impacts sur le terrain, nous avons été conduits à faire des choix de secteurs à privilégier dans le cadre du territoire de notre partenaire (Létourneau, 2019).

1. Le financement de ce projet a été assuré par Ouranos, soutenu par les fonds Mitacs, avec le support financier de la MRC et du Centre Sève. Qu'ils en soient remerciés.



Crédit photo : Axel Drainville

Les points de départ de la recherche

On ne peut pas imposer la participation dans un milieu donné. De plus, celle-ci suppose un certain degré d'ouverture et de confiance mutuelle entre des partenaires, alors que certains peuvent préférer une approche plus discrétionnaire. Une démarche comme la nôtre suppose également de reconnaître la pertinence et la valeur des processus de discussion et d'échange avec les acteurs du terrain.

1) Bien avant le début du projet, la MRC s'appuyait déjà sur la participation des divers groupes de citoyens présents sur le territoire, que l'on peut désigner comme ses parties prenantes et partenaires habituels de discussion. La MRC utilise régulièrement la concertation, comme ce fut le cas en 2019-2020 autour de la vision stratégique, puis de la révision du Schéma d'aménagement.

2) La recherche-action menée par la présente équipe en collaboration avec la MRC et ses acteurs sur l'ACC table sur ces bonnes habitudes déjà présentes et les pousse un peu plus loin, tout en mettant ces dernières à profit pour développer une meilleure saisie des défis de l'adaptation. Tout au long du projet, cette meilleure compréhension est passée par une analyse de vulnérabilité et par la discussion de recommandations concrètes qui ont permis de dégager un certain nombre de recommandations jugées prioritaires et livrées depuis à la MRC.

3) Le fait que les enjeux de l'adaptation soient mieux compris aussi bien par les partenaires que par les décideurs crée une culture favorable pour implanter les mesures d'adaptation au moment requis, de même que pour développer des initiatives chez les parties prenantes, leur acceptabilité sociale ayant été construite d'avance, puis discutée et développée sur le terrain.

4) Dans une conception de type philosophie pratique avec une approche pragmatiste mettant l'accent sur les pratiques de dialogue et de délibération (Romsdahl, Blue et Kirilenko, 2018; Létourneau, 2020), le cadre de gouvernance adopté au début en cooptation allait être testé, afin de pouvoir ensuite en tirer des leçons. Les choix faits au début du projet ont été suivis, mais nous avons aussi révisé le cadre en cours de route, notamment lors des cafés climat, comme nous le verrons plus loin.

Le but du projet de recherche-action (Létourneau et Thomas, 2017-2020) était d'aider la MRC de Memphrémagog à se donner une stratégie d'ACC. Les outils stratégiques mis en place comprennent une série d'activités d'interaction, des publications, une série de fiches synthèses, la création d'un site Web ainsi que la production d'un rapport (Walczak, Létourneau et Thomas, 2021). Les décisions qui suivront dans la pratique demeurent évidemment du ressort de la MRC et de ses villes. Plus précisément, notre apport en ce sens est constitué par l'ensemble des éléments livrés à la MRC, soit :

- Une aide à la définition de la problématique d'ACC du point de vue des parties prenantes de la MRC.
- Des orientations de gouvernance, visant à renforcer la résilience.

- De mesures concrètes d'ACC.
- Une liste de bases de données.
- Un ensemble de cartes détaillant les vulnérabilités du territoire, sur la base d'une méthodologie développée ailleurs et ajustée au projet (Thomas et Bleau, 2012).
- Des documents vulgarisés (résumés de travaux d'étudiant.e.s, fiches synthèses incluant des mesures concrètes, outils de décision).
- Un cadre proposé de gouvernance régionale, sur la base d'un modèle de gouvernance de projet mis à l'épreuve tout au long et qui s'est avéré porteur, quoique sans doute à simplifier dans un cadre plus habituel.

Décentrement politique, inclusion et ouverture aux parties prenantes

L'approche privilégiée préconise un décentrement politique de la part des décideurs et une inclusion des parties prenantes dans leur réflexion, ce qui suppose une ouverture envers celles-ci. Cela demande bien sûr de se doter d'un cadre pour permettre les échanges.

Les cinq tables sectorielles, les tables régionales d'adaptation aux changements climatiques (TRACC) et les cafés climat ont été structurés en ce sens comme des lieux de dialogue et de discussion. Ils ont aussi été pensés comme des forums hybrides, où expert.e.s et citoyen.ne.s travaillent ensemble autour d'un but commun (Callon, Lascoumes et Barthe, 2001; Létourneau 2019a). Le côté délibératif, sans doute plus rapproché des futures prises de décision, a été mis en jeu surtout à partir de la seconde année, dans le cadre des cafés climat et de la seconde table régionale, puisque ces rencontres posaient explicitement la question des actions à prioriser pour la MRC. Mais rappelons d'abord ce qui est entendu ici par dialogue, discussion et délibération. La communication est un processus de coopération dans l'interaction, « *an interactive process, which has a cooperative character* » (Létourneau 2019a, p. 334 citant Dewey); elle est dialogique, et implique une interaction coopérative. Il doit y avoir écoute et respect, et les interlocuteur.ice.s parlent en principe à tour de rôle. Le dialogue permet à de nouvelles possibilités d'émerger, de dépasser des cadres de pensée ne convenant plus et de faire émerger l'action porteuse de sens. Il aide à identifier les tensions normatives et axiologiques ainsi que les sentiments éveillés chez les un.e.s et les autres. Le dialogue est simplement un

échange dans la communication, lors duquel une partie exprime une requête, et quelqu'un lui répond, d'une manière ou d'une autre, parfois avec un certain décalage dans le temps (Létourneau, 2021).

Mise en place et ajustement du cadre pendant le projet

Une question de départ était bien sûr celle de savoir qui l'on fait participer, et de quelle manière. Dans le cadre d'échanges préparatoires menés en étroite collaboration avec la MRC, nous avons estimé que les parties prenantes les plus pertinentes pour le milieu pouvaient, dans un premier temps, être regroupées en secteurs, plutôt que sur une base uniquement territoriale – puisque plusieurs fonctions se retrouvent en plusieurs espaces distincts du territoire. Ces regroupements par secteurs ne sont pas un cas isolé en adaptation, quoique la manière de le faire varie énormément selon les projets (Ford et Berrang-Ford, 2011). Après les avoir énumérés, nous verrons pourquoi ils ont été retenus :



Crédit photo : Michel Craig

Aménagement et gestion urbaine	Sécurité publique	Santé et services sociaux	Milieu agricole	Secteur touristique
--------------------------------	-------------------	---------------------------	-----------------	---------------------

- 1) Aménagement et gestion urbaine.** Les 17 municipalités concernées et la MRC qui les regroupe mobilisent des ressources sur le territoire, en affectant la manière de l'habiter, d'y circuler, de s'approvisionner, ce qui implique de la planification et de la gestion urbaine de manière continue : routes, ponts, fossés, ponceaux, système de collecte des eaux, etc.
- 2) Sécurité publique.** Parler de changement climatique, c'est parler aussi d'aléas climatiques, par exemple les inondations et les feux. A-t-on ce qu'il faut pour intervenir, et comment ces experts de sécurité comprennent-ils les problèmes de ce territoire particulier ? Ne sont-ils pas dans une position privilégiée pour informer la MRC de ses besoins ?
- 3) Santé et services sociaux.** Les changements dans le système climatique entraînent des effets potentiels importants sur la santé de gens : tout le problème des zoonoses comme la maladie de Lyme, qui connaît un développement important notamment dans toute l'Estrie et le Sud du Québec, mais aussi les maladies liées à l'eau en cas d'inondation, les espèces envahissantes, et les secours requis en situation d'urgence, sans oublier les aménagements nécessaires en cas de zone de chaleur².

- 4) Milieu agricole.** Bien que la MRC soit urbanisée, elle comprend de nombreuses exploitations agricoles, tant sur son flanc ouest que du côté est. Il s'agit d'une composante déterminante de la région. Les défis d'adaptation de ce type d'organisation sont spécifiques et concernent tout aussi bien le choix des cultures que la manière de les faciliter et de les protéger.
- 5) Secteur touristique.** Enfin, avec son parc national, ses stations de ski, ses lacs et la villégiature qui la peuple été comme hiver, la MRC détient une composante touristique centrale dans sa vie économique et sociale. Pensons à Owl's Head ; au Mont Orford, ses lacs et sa station de ski ; à North Hatley ; à la promenade de Magog ; aux lacs Massawipi et Memphrémagog ; etc. Toute une vie régionale et locale se décline sur le mode de l'offre saisonnière d'activités qui répondent à des besoins variés.

Pour sa part, la table régionale (TRACC) s'est réunie deux fois pendant le projet. Elle permettait de faire les liens entre les problématiques vécues dans les différents secteurs d'activité, et aussi de caractériser les grandes vulnérabilités du territoire, tout en donnant un espace pour discuter des actions prioritaires à mener.

2. Dans la littérature spécialisée, une zone de chaleur (*heat zone* ou *heat spot*) est particulièrement touchée lorsqu'il y a des vagues de chaleur. Pensons ici aux grandes surfaces asphaltées ou bétonnées et aux îlots de chaleurs urbains.

Il nous a semblé toutefois important, en cours de route et à la suite des remarques de notre comité avisé, de créer un espace de rencontre sur une base plus locale. Il était aussi important de permettre la participation de citoyen.ne.s ou de groupes militants. Les groupes citoyens impliqués sur une base plus locale ont été rencontrés pendant les cafés climat tenus dans cinq municipalités : North Hatley, Potton, Orford, St-Étienne de Bolton et Magog. Cela a permis d'intégrer les importantes considérations de la préservation de la biodiversité (Corridor Appalachien) et de la gestion intégrée de l'eau par bassins versants (comités de lacs, Bleu Massawipi), avec des préoccupations environnementales plus vastes (Orford Vert). Ces rencontres ont permis d'élargir le cercle de la discussion de manière porteuse et critique.

Notre structure de gouvernance dans le cadre du projet comprenait donc de manière formelle le Conseil des Maires (rencontré deux fois), les deux comités d'aménagement et de développement durable de la MRC, ainsi qu'un comité avisé du côté d'Ouranos, structure en laquelle se situent aussi les tables sectorielles et les tables régionales (voir Figure 1); les cafés climat se sont ajoutés dans la dernière année du projet.

Recommandations : un comité de gouvernance pour l'adaptation

Il n'est sans doute pas possible pour une MRC de reprendre sous un mode constant une série de rencontres (tables sectorielles, TRACC, cafés climat) comme celles qui ont été menées dans le projet avec les différents secteurs et sur les différents territoires. Il faut donc adopter une structure plus légère, permettant d'effectuer une veille et des suivis auprès de la population en cas de besoin, et qui puisse tableur sur les résultats construits dans le cadre d'une recherche de plus grande ampleur comme celle menée ici.

La structure de gouvernance préconisée, qui pourrait être adoptée par n'importe quelle MRC, doit être autant que possible souple, plutôt légère et pérenne; elle conservera ses dossiers de suivi sous un format accessible pour minimiser les problèmes de variations de personnes. Au besoin, il pourra être utile de convoquer des réunions plus vastes, mais il sera plus simple de se fier à ce comité mandaté, s'occupant des processus relevant de la responsabilité de la MRC. Ce dernier prendrait

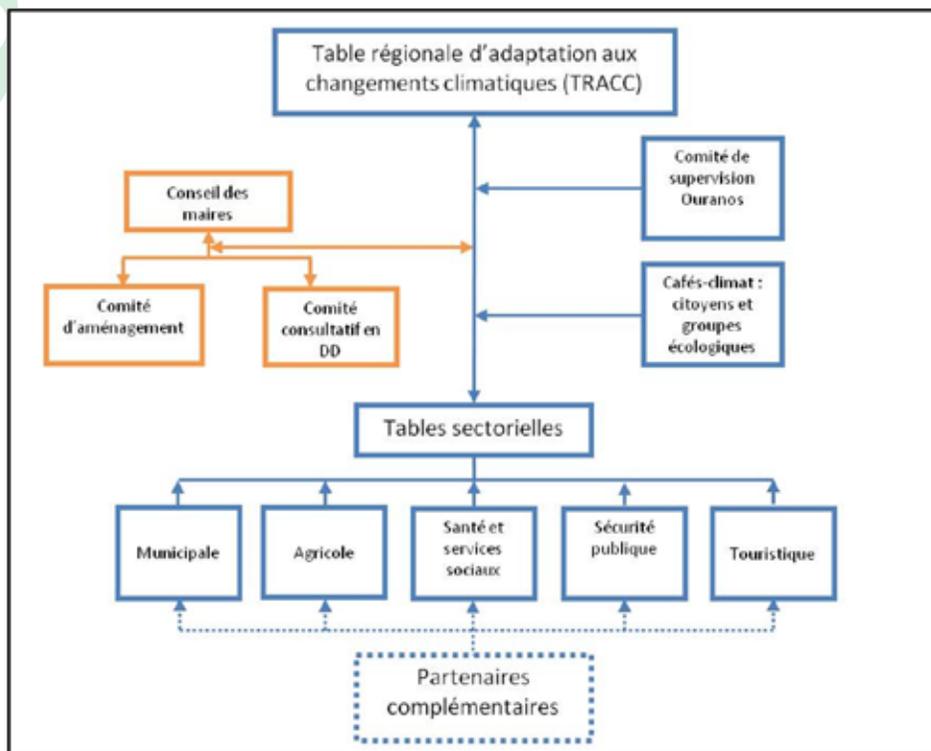


Figure 1. Version finale du cadre de gouvernance pratiqué dans le projet

la forme d'un comité de consultation et de suivi, sous la responsabilité conjointe du comité d'aménagement et du comité de développement durable qu'on retrouve généralement dans les MRC. Cette structure découle du fait que des décisions d'aménagement peuvent devoir être proposées, alors que l'objectif visé demeure la soutenabilité des diverses pratiques sociales concernées (en gestion du parc immobilier, en agriculture, en tourisme, etc.).

En plus des coresponsables de la MRC en aménagement et soutenabilité, ce groupe inclurait un.e responsable par secteur de pratique significatif, notamment les cinq que nous avons sélectionnés au cours de la présente recherche, qui ont montré leur intérêt et leur pertinence. Le nombre de secteurs représentés pourrait toutefois être modifié si cela est jugé approprié par une MRC; par exemple, une grappe industrielle nouvelle ou revalorisée, etc. Une autre place serait occupée par un.e représentant.e des secteurs associatifs. Prenant bonne note de la critique formulée par Noé Bünzli, une place serait prévue dans le comité aux municipalités, sans doute en prévoyant d'assurer à tour de rôle la présence de différentes villes sur le territoire (Bünzli, 2018). Enfin il faudrait qu'un lien permanent soit assuré, si possible avec représentation officielle, avec les principaux ministères concernés, dont la liste précise devrait être établie par le comité.

Faut-il parler de changements climatiques, ou plutôt de changements globaux? Comme nous le voyons amplement avec la pandémie qui a débuté à la fin de 2019, les vulnérabilités de type zoonose (ces maladies qui se transmettent aux humains depuis un vecteur animal) ont un potentiel néfaste majeur. Dans cette famille se retrouvent tout aussi bien la maladie de Lyme, abordée dans le volet santé de la présente recherche et qui fait partie des cibles pour la région de l'Estrie, que le SARS-CoV-2 qui a une portée manifestement plus large. Dans ce dernier cas, les difficultés venant des changements climatiques se mêlent aux atteintes à la biodiversité, liées à l'occupation du territoire; les problèmes vécus sur le terrain sont multifactoriels. Le comité en question pourrait donc avoir pour mandat l'adaptation aux changements globaux, qui incluraient les changements climatiques et d'autres types de bouleversements actuels ou possibles. Parmi ces derniers, il ne faut pas oublier les possibilités de mouvements populationnels des différentes espèces vivantes, ce qui implique parfois des structures d'accueil planifiées en cas de mesures d'urgence, le lien avec les changements climatiques n'étant pas toujours évident d'entrée de jeu. On peut néanmoins conserver l'acronyme d'ACC, l'expression étant tout de même assez englobante et de mieux en mieux connue.



Crédit photo : Lac Memphremagog,
International Joint Commission

Le mandat de ce comité sur l'adaptation serait de prendre en compte la planification et l'intervention, tant préventive qu'au besoin curative, en matière de changements climatiques et globaux. Ce comité ferait le suivi pendant la mise en œuvre du nouveau schéma d'aménagement, et aussi dans la mise en opération du plan environnemental subséquent. Il effectuerait également une veille constante à caractère préventif et agirait en tant que promoteur de solutions curatives au besoin. Ce comité serait lui-même un facteur de résilience du milieu, en menant des activités de surveillance, en demeurant à l'affût de signes indiquant le besoin d'une intervention d'ajustement pour obtenir un meilleur résultat d'ACC, en cours d'implantation ou de mise en œuvre d'un projet ou dans le contexte d'une nouvelle pratique ou des opérations courantes. À des échéances prédéterminées ou au terme d'un exercice, il obtiendrait des rétroactions et procéderait à des mesures des résultats, du point de vue de l'ACC, en vue de planifier et de mettre en œuvre des ajustements dans une visée d'amélioration continue.

Voici donc une brève liste de tâches pour une MRC, et pour les personnes qui sont amenées à composer ce comité proposé :

- Adopter son cadre de gouvernance de l'ACC en créant un comité responsable de cette tâche, qui sera décrit à la suite.
- Mener des réflexions sur les trois éléments suivants :
 - 1- Quelles sont les conditions qui favorisent la mise en commun des ressources, tout en tenant compte des spécificités municipales ou sectorielles?
 - 2- Quelles actions sont prioritaires afin de favoriser l'adaptation, et en raison de quelles finalités précises?
 - 3- Comment financer l'ACC en tenant compte de la tension entre l'obligation de densifier et des possibilités de revenus régionaux et municipaux réelles, mais limitées ? À cet égard, une liste de sources se trouvent dans les livrables déjà déposés et disponibles sur le site Web.³
- Se doter d'un plan régional d'ACC en mobilisant ce cadre, et soutenir les municipalités qui n'en détiennent pas encore.
- Documenter les outils de l'adaptation.⁴

3. <https://adaptationmemphre.ca/>

4. Cette recommandation est ajoutée ici en raison des discussions menées dans le cadre du symposium organisé par Ouranos et l'Université de Sherbrooke, lors du congrès de l'ACFAS de 2021, sur le thème : « Les changements climatiques au Québec : pour une gouvernance décloisonnée et cohérente », Annie Chaloux, Alain Bourque et Marie-Pierre Valin, organisateurs, 5 et 6 mai 2021.

Soulignons également que la mesure des résultats d'adaptation en termes évaluatifs serait facilitée du fait même d'inscrire des actions spécifiques au programme des opérations, quitte à les insérer dans une planification. Ces actions sont évaluables d'abord parce qu'elles sont susceptibles d'être accomplies et, dans la plupart des cas, selon des degrés mesurables, ce qui implique aussi le développement d'indicateurs de l'ACC en lien avec ces actions identifiées. Cela pourrait constituer l'une des tâches d'un comité spécial en gouvernance de l'adaptation que de préciser ces critères et actions à privilégier, avec l'aide des ressources requises. Dans le cas du présent projet de recherche-action, toute une série de documents est maintenant disponible (cartes livrant une analyse de vulnérabilité tant sur le plan physique, socio-économique que globalement ; rapports détaillés sur les documents normatifs et les plans d'adaptation déposés ailleurs en date de la recherche ; fiches synthèses ; articles publiés et présentations PowerPoint ; rapport final). À titre d'exemples, des installations visant à combattre les îlots de chaleur, les inondations ou la préservation des milieux humides sont mesurables aussi dans leurs résultats, à condition d'avoir une approche de planification qui ait permis d'effectuer des mesures au départ.

Conclusion

Le bilan du projet de recherche-action est évidemment positif et porteur de leçons pour d'autres MRC. Les apports sectoriels et des ONG contribuent à la réflexion collective et ces acteurs peuvent servir de relais auprès d'autres parties prenantes. Les avantages nets d'une démarche comme la nôtre sont de permettre une véritable discussion autour des changements climatiques tels que vécus sur le terrain, d'échanger des idées entre les agents responsables (maires, directeur.ice.s régionaux.ales ou de services, agents clés des différents secteurs) pour réfléchir concrètement aux vulnérabilités sur le terrain et aux mesures à privilégier et à prioriser, et de construire collectivement de meilleures connaissances sur tous ces enjeux cruciaux de notre époque.

Pour des personnes qui auraient l'intention de monter un projet similaire dans une autre MRC, il serait important de prévoir d'emblée la mise sur pied d'un site Web pour obtenir des rétroactions rapides des participant.e.s aux différents matériaux créés par une telle équipe. De même, il est important de produire des fiches synthèses accessibles à tous et à toutes, sous un format plus compact que des essais, des mémoires ou des thèses, ce que produisent en général les étudiant.e.s gradué.e.s embauché.e.s sur ce genre de projet. Pour voir un type de modèle de documents, on peut se reporter au site Web que nous avons créé : adaptationmemphre.ca

Des solutions peuvent être sobres en carbone, tout en permettant de renforcer la captation des gaz à effet de serre dans la nature et en prévenant les risques d'inondation. Si toutefois le but visé est d'accompagner les milieux dans un cheminement de réflexion qui reste le leur, il faudra voir jusqu'où les habitants.e.s de ce territoire voudront aller. Ensuite, afin de savoir quelles ressources mobiliser, une meilleure prise de conscience des programmes disponibles et de ce que ces derniers permettent ou non est nécessaire; des sources de financement ont été identifiées et classées aux fins de l'usage par la MRC dans le cadre du présent projet. Enfin, une veille devra être effectuée afin de connaître ce qui est et ce qui sera proposé comme sources de financement aux municipalités.

RÉFÉRENCES

Adger, W. Neil, Lorenzoni, I. et O'Brien, K. L. (2009). *Adapting to Climate Change. Thresholds, Values, Governance.* Cambridge: Cambridge University Press.

Blue, G. (2017). Participatory and Deliberative Approaches to Climate Change. *Climate Science – Oxford Research Encyclopedias.*

Bryant, C. (2018). Government versus Governance: structure versus process. *EchoGéo*, 43. <https://doi.org/10.4000/echogeo.15288>

Bünzli, N. (2018). *Adaptation en contexte municipal québécois : débroussaillage et exploration dans la MRC de Memphrémagog – rapport de recherche – stratégies durables d'adaptation aux changements climatiques à l'échelle d'une MRC.*
Repéré à <https://adaptationmemphre.ca/wp-content/uploads/2021/01/Adaptation-en-contexte-municipal-quebecois.pdf>

Callon M., Lacousmes, P. et Barthe, Y. (2001). *Agir dans un monde incertain.* Paris : Seuil.

Ford, J. D., Berrang-Ford, L. (dir.) (2011). *Climate change adaptation in Developed Nations.* Berlin : Springer.

Joerin, F., Després, C., Potvin, A., Rodrigue, M., Vachon, G., Vandermissen et M-H. (2014). *Changements climatiques et transformations urbaines : un projet de recherche-action pour renforcer la résilience de la Communauté métropolitaine de Québec.* Repéré à https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportJoerin2014_FR.pdf

Létourneau, A. (2019a). Dialogue considered as a social ensemble of voices. *Language and Dialogue*, (19)3, 333-348. <https://doi.org/10.1075/ld.00046.let>

Létourneau, A. (2019b). Inclusion démocratique : retour sur un cas de gouvernance décentrée de l'adaptation aux changements climatiques. *Le Climatoscope*, 1,, 90-93.

Létourneau, A. (2019c). L'autogouvernement et la gouvernance. Réflexion à partir d'un projet d'adaptation aux changements climatiques sur le territoire de la MRC de Memphrémagog. *Sens public.*

Létourneau, A. (2021). Some challenges of interdisciplinarity. Working with different experts in adaptation to climate change stakeholders' teams. *Language and Dialogue*, (11)1, 107-124.

Létourneau, A. et Thomas, I. (2017-2020). *Stratégies durables d'adaptation aux changements climatiques à l'échelle d'une MRC : quels processus de gouvernance ? Quelles démarches résilientes ?* Repéré à <https://www.ouranos.ca/programme/environnement-bati/>

Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC) (2010). *Villes et adaptation au changement climatique.* Paris : La documentation française.

Ostrom, E. (1990). *Governing the commons. The evolution of institutions for common action.* Cambridge: Cambridge University Press.

Romsdahl, R., Blue, G. et Kirilenko, A. (2018). Action on climate change requires deliberative framing at local governance level. *Climatic Change.* <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2240-0>

Thomas, I., Bleau, N., Abasolo, P. S., Desjardins-Dutil, G., Fuamba, M. et Kadi, S. (2012). *Analyser la vulnérabilité sociétale et territoriale aux inondations en milieu urbain dans le contexte des changements climatiques, en prenant comme cas d'étude la ville de Montréal.* Repéré à https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportThomasBleau2012_FR.pdf

Walczak, L. Létourneau, A. et Thomas, I. (2021). *Stratégies durables d'adaptation aux changements climatiques à l'échelle d'une MRC : quels processus de gouvernance ? Quelles démarches résilientes ? (Rapport de recherche) Montréal. Ouranos.*



Crédit photo : Jean-Pierre Lavoie



Barrage Jules Allard. Crédit photo : COGESAF

Droit et politique

L'ADAPTATION DE LA GESTION DES BARRAGES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Catherine Choquette
Professeure à la Faculté de droit
Université de Sherbrooke

Mélanie Trudel
Professeure à la Faculté de génie
Université de Sherbrooke

Julia Santos Silva
Postdoctorante à la Faculté de droit
Université de Sherbrooke

Ayoub Hammoudi
Conseil de gouvernance de l'eau des bassins versants de la rivière Saint-François (COGESAF)

Stéphane Bernatchez
Professeur à la Faculté de droit
Université de Sherbrooke

Robert Leconte
Professeur à la Faculté de génie
Université de Sherbrooke

Catherine Frizzle
Conseil de gouvernance de l'eau des bassins versants de la rivière Saint-François (COGESAF)

Il existe environ 10 000 barrages et digues au Québec qui ont façonné nos écosystèmes, nos paysages et même nos loisirs depuis le XIX^e siècle. Chaque barrage est unique de par son bassin versant, sa finalité et son propriétaire (Figure 1). Les barrages ont des impacts évidents sur l'environnement en fragmentant et inondant le territoire, mais leur gestion des niveaux d'eau peut aussi détériorer ou même détruire un écosystème en l'asséchant ou en l'inondant, ou encore accélérer l'eutrophisation d'un lac par l'érosion des berges (MELCC, 2020). Les conflits concernant leur gestion sont légion : usages de l'eau conflictuels, inondations ou, au contraire, pénuries d'eau, barrages obsolètes et coûteux... les sources de désaccords ne tarissent jamais.

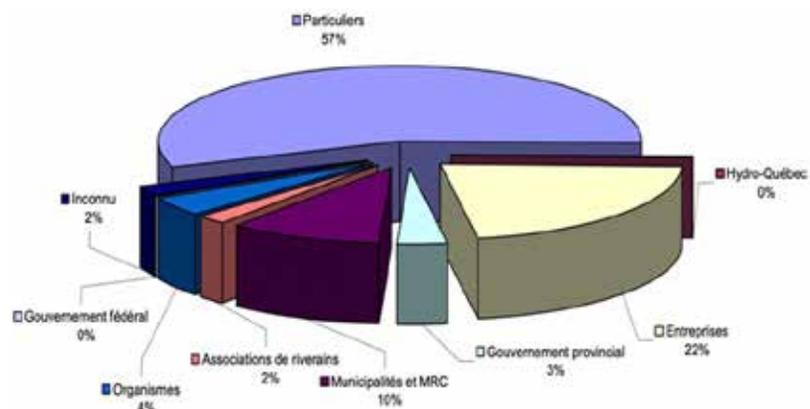


Figure 1. Propriétaires de barrage en Estrie.

Tout change... mais pas le droit

Au Québec, les changements climatiques entraînent des hivers plus doux, des précipitations plus abondantes et une augmentation des événements météorologiques extrêmes (Ouranos, 2015). Ils affectent les apports en eau dans les bassins versants des barrages et modifient les écosystèmes. Toutefois, le droit entourant la gestion des barrages-réservoirs reste essentiellement le même, se concentrant sur la sécurité du barrage, des personnes et des biens (Choquette, Guilhermont et Goyette-Noël, 2010). Alors que l'eau est une « ressource collective » âprement convoitée et que l'État québécois est le « gardien des intérêts de la nation » de cette ressource (*Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés*), aucun cadre légal imposant un *modus operandi* d'une gestion des niveaux d'eau qui soit « adaptée » aux changements climatiques et « intégrée » par rapport aux divers usages de l'eau n'existe encore. Contrairement à d'autres juridictions, les plans de gestion des barrages au Québec sont établis sans consultation publique. De plus, ces plans demeurent confidentiels malgré leurs impacts de plus en plus importants sur les écosystèmes et les communautés locales (*Loi sur la sécurité des barrages*, art. 19).

Penser et agir autrement : la « gouvernance normative »

Les enjeux environnementaux complexes, l'usage d'une ressource collective ou encore toute situation possiblement conflictuelle ou projet dont l'acceptation sociale est souhaitable ou requise peuvent bénéficier d'une approche de « gouvernance normative ». Contrairement aux mécanismes habituels de consultation, de participation et de collaboration qui permettent aux participant.e.s d'influencer une décision finale dont le contrôle leur échappe, la « gouvernance normative » mise plutôt sur un partenariat social, impliquant la communauté locale, les décideurs publics et privés et le milieu académique, pour mettre en place une solution globale et opérationnelle. Cette solution devient un ensemble optimal de normes prenant diverses formes (Choquette, 2018) :

- la norme morale (comportement adopté par un individu)
- la norme sociale (comportement partagé par plusieurs individus)
- la norme négociée (comportement adopté contractuellement)
- la norme autorégulée (comportement adopté volontairement par des individus ou des entreprises, mais contrôlé par un tiers autre que l'État)
- la norme étatique (comportement imposé par l'État)

Pour être efficaces, ces normes doivent être fondées sur une information complète de qualité permettant l'adoption de comportements pertinents ou abolissant ceux inadéquats.



Le projet « Acclimatons-nous »

Une démarche de gouvernance normative a été mobilisée dans le cadre du projet « Acclimatons-nous », lequel se penche sur la gestion des niveaux d'eau de trois barrages : Jules-Allard (géré par le gouvernement provincial), North Hatley (géré par une régie inter-municipale) et Montjoie (géré par une association de riverains). Le but du projet est de co-construire 1) des plans de gestion de barrage adaptés aux changements climatiques et tenant compte des préoccupations citoyennes, et 2) des plans de gestion des risques climatiques résiduels ne pouvant pas être résolus par la gestion du barrage. Le processus décisionnel menant à ces plans comprend plusieurs étapes (Figure 2).

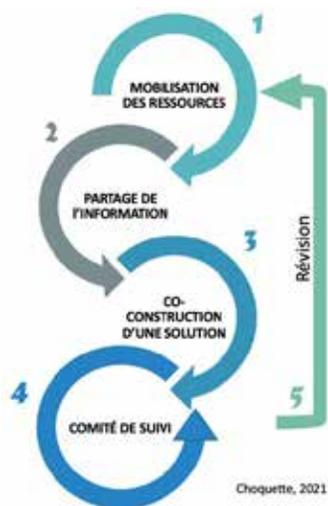


Figure 2. Gouvernance normative.

PREMIÈRE ÉTAPE : LA MOBILISATION DES RESSOURCES

Au cours de cette étape, les chercheur.euse.s et l'organisme de bassin versant local, soit le COGESAF, ont dû s'approprier et bien comprendre les problématiques entourant la gestion des différents barrages. Une meilleure connaissance du territoire et des enjeux permet d'établir l'information et l'expertise nécessaires à la résolution des problèmes.

MOBILISATION DES SAVOIRS LOCAUX ET DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

La gestion des barrages et l'adaptation aux changements climatiques nécessitent un large éventail d'information. Des chercheur.euse.s en climatologie, en génie,

en biologie, en télédétection, en aménagement du territoire et en droit ont été mobilisé.e.s pour l'obtention d'informations scientifiques. La recension d'observations locales était également nécessaire. Elle fut réalisée par le biais d'une revue de la littérature et de sites Web, d'entrevues téléphoniques avec les acteurs du milieu et de travaux de recherche. Les données incluaient :

- 1- les niveaux d'eau et les débits ;
- 2- les contraintes structurelles du barrage (capacité des vannes, grandeur du déversoir) ;
- 3- les projections climatiques à l'échelle locale ;
- 4- les obligations juridiques (servitudes d'inondation, contrats, lois et règlements) ;
- 5- les impacts environnementaux et socio-économiques causés par les niveaux d'eau et les changements climatiques (érosion, inondations, espèces aquatiques envahissantes...).

MOBILISATION DES ACTEURS DU MILIEU

L'équipe de recherche devait également identifier les acteurs du milieu liés à la gestion des barrages (gestionnaires de barrages, peuples autochtones, instances gouvernementales - ministères, MRC, municipalités locales, associations environnementales, entreprises, usagers, riverains...). L'établissement de la structure d'une communauté a aidé à comprendre son potentiel de réactivité et d'engagement et à identifier les acteurs clés et/ou conflictuels. La Figure 3 montre le réseau social de la petite communauté du barrage du lac Montjoie.

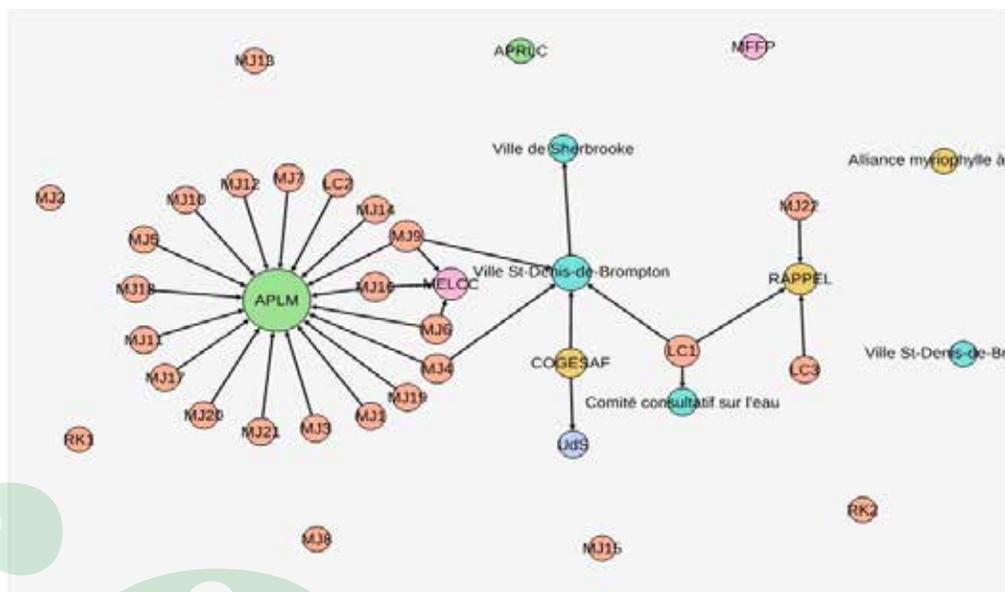


Figure 3. Analyse du réseau social

DEUXIÈME ÉTAPE : LE PARTAGE DE L'INFORMATION

La deuxième étape de la démarche de gouvernance normative vise, premièrement, la documentation des enjeux, identifiés à l'étape 1, en collaboration avec les communautés locales.

LA MODÉLISATION HYDROLOGIQUE ET LA MODÉLISATION DE LA GESTION DES NIVEAUX D'EAU

L'équipe d'ingénieurs a collecté des données sur les bassins versants des lacs Massawippi et Montjoie afin d'établir les modèles hydrologiques et de gestion de ces bassins, les modèles pour le barrage Jules-Allard ayant déjà été réalisés par le gouvernement provincial.

La modélisation hydrologique consiste à déterminer les apports en eau entrant dans le lac réservoir en amont d'un barrage (topographie du bassin versant, occupation du sol, types de sol, relevés météorologiques, évaporation) afin de calculer les débits d'eau sortant au barrage. Pour le lac Massawippi, le modèle hydrologique Hydrotel a été utilisé et ajusté en fonction des débits réels observés à la station d'observation des débits du barrage (calage du modèle). Comme il n'y a pas de station d'observation des débits au barrage du lac Montjoie, un modèle hydrologique GR4J a été utilisé et ajusté avec les paramètres obtenus d'une étude de régionalisation (données d'un bassin versant comparable de la région). Les données obtenues par le modèle hydrologique ont ensuite servi pour modéliser les opérations de gestion des niveaux d'eau en tenant compte de la capacité d'évacuation du barrage (vannes, déversoir, courbe d'emmagasinement). Certaines contraintes structurelles ont été fournies par les gestionnaires de barrage.

LA MODÉLISATION CLIMATIQUE

Des données de simulations climatiques ont été extraites du modèle climEX, développé pour le Québec par Ouranos, en considérant différents horizons temporels (court et moyen termes). Les projections de précipitations et de températures issues du modèle climatique ont donc été entrées dans les modèles hydrologiques et les débits alors obtenus ont été utilisés dans les modèles de gestion des trois barrages. Les règles de gestion des barrages (ou les cotes d'exploitation) pourront, dès lors, être ajustées en fonction du régime hydrologique résultant des changements climatiques (Figure 4).

LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIO-ÉCONOMIQUES

Les changements climatiques ont de nombreux effets sur les éléments vivants (faune, flore, écosystèmes) et non vivants (pluie, neige, glace, sécheresse) d'un territoire donné. Les entrevues et la revue de la

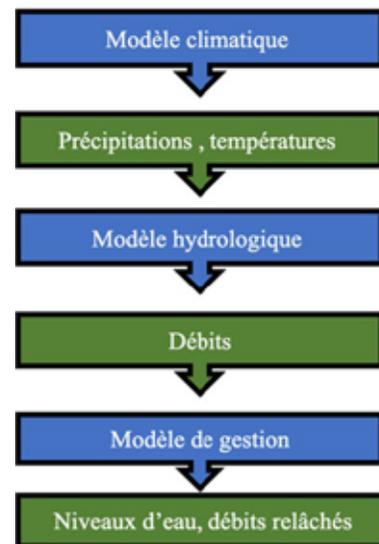


Figure 4. Scénarios climatiques

littérature ont permis d'identifier et de cartographier les enjeux environnementaux associés à nos aires d'étude (Figure 5). Les enjeux sociaux (conflits, anxiété) et les enjeux économiques (perte de valeur des propriétés, perte de revenus) associés à la gestion des barrages et aux changements climatiques ont également été répertoriés. Ces enjeux varient beaucoup en fonction des conflits associés à la gestion du barrage et des acteurs présents sur le territoire (entreprises récréo-touristiques).

LES OBLIGATIONS JURIDIQUES

Le cadre juridique régissant la gestion des barrages étudiés (servitudes d'inondation, obligations contractuelles, lois, règlements) a été établi. La réglementation de plusieurs enjeux, soulevés par les communautés locales, a également été documentée (protection des rives, espèces exotiques envahissantes, qualité de l'eau...).

La deuxième étape de la démarche de gouvernance normative vise, deuxièmement, l'apprentissage collectif, qui permet une conscientisation accrue des enjeux et un niveau de dialogue plus éclairé. Ainsi, des capsules d'information ont été élaborées sur chacun des enjeux et déposées sur le site Web « acclimatons-nous.org ». D'autres capsules expliquent la finalité du projet, la démarche de gouvernance suivie ou encore l'historique des barrages. Les documents les plus pertinents à notre étude ont également été déposés sur le site Web. Le contenu des capsules a été validé par différent.e.s expert.e.s. L'utilisation du site Web pour transmettre l'information permet aux citoyen.ne.s d'intégrer l'information à leur rythme, de poser des questions, ou encore de rectifier et de bonifier l'information en ajoutant leurs commentaires. Des rencontres publiques

en ligne ont également été organisées avec chacune des communautés locales concernées. Ces rencontres ont permis de recueillir des informations additionnelles sur différents enjeux grâce à des cartes interactives et d'exposer les étapes à venir de notre projet.

Un avenir à décider... collectivement !



À la lumière de l'information partagée à l'étape 2, il appartient maintenant à chaque communauté locale de décider d'entamer ou non la dernière étape du processus, qui se tiendra à l'automne 2021.

TROISIÈME ÉTAPE : LA CO-CONSTRUCTION D'UNE SOLUTION GLOBALE

La troisième étape du modèle de gouvernance normative est au cœur du « penser et agir autrement », puisqu'on crée un espace de dialogue visant à co-construire la solution globale soit, dans le cas présent, des plans de gestion de barrages et des plans de gestion de risques

résiduels. Cette étape réunit uniquement les parties prenantes, soit les personnes directement impactées par la gestion du barrage, le gestionnaire du barrage, les décideurs publics (lesquels doivent autoriser certaines actions) et les expert.e.s nécessaires pour les épauler.

UNE ENTENTE DE PARTENARIAT

Le but de la démarche n'étant pas de co-construire des « recommandations » ou des plans de gestion « potentiels », mais bien de co-construire des plans de gestion de barrages et de risques résiduels opérationnels, une entente de partenariat entre tous les acteurs clés de la communauté est nécessaire pour poursuivre cette étape. La signature de l'entente signifie que les parties acceptent de collaborer et de contribuer à la mise en œuvre de la solution globale choisie collectivement. Cette entente ne change pas la teneur des pouvoirs des décideurs publics ou privés, mais elle permet de concevoir rapidement un plan B alternatif, si nécessaire, et de s'assurer qu'une solution globale opérationnelle sera effectivement produite. Un processus décisionnel aussi demandant en temps et en efforts ne peut se solder par le refus d'une autorisation ministérielle ou d'un permis municipal ou le retrait d'un bailleur de fonds. De plus, la solution se veut

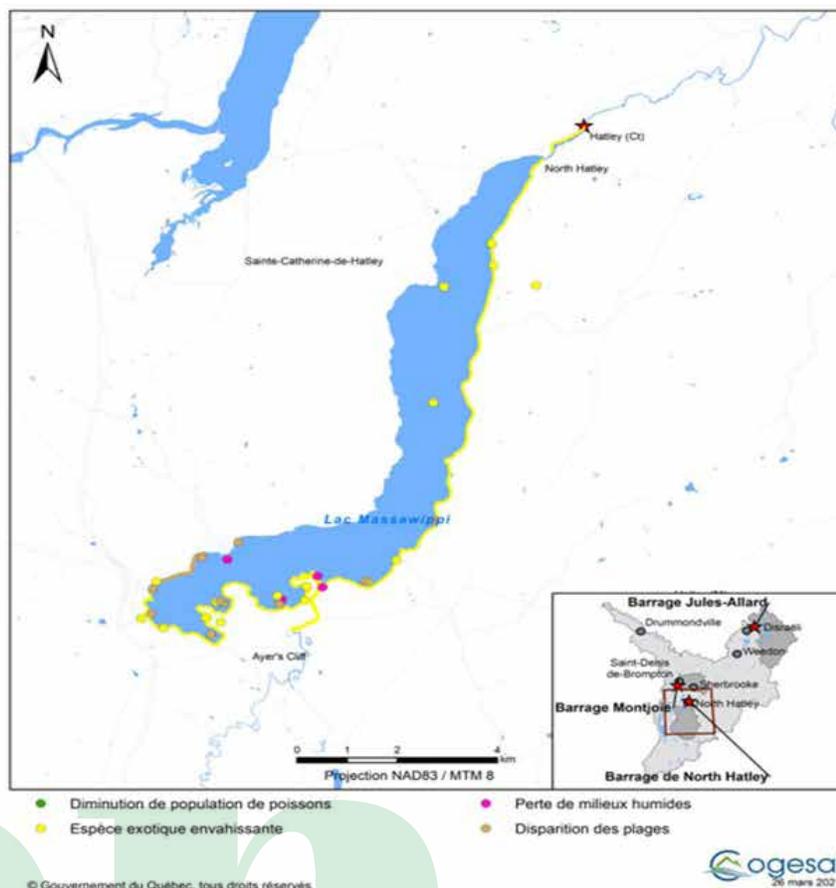


Figure 5. Enjeux liés aux écosystèmes

globale, dans le sens écosystémique du terme, signifiant que tous les risques climatiques résiduels seront aussi traités à l'étape 3. L'entente garantit à la fois la participation et la motivation des participant.e.s. Elle atteste également qu'une approche holistique sera respectée, évitant qu'une action soit entreprise et échoue en raison du laxisme ou de l'inaction d'un autre intervenant dont elle dépendait. Une fois l'acceptation de ces termes par les acteurs-clés de la communauté (décideurs publics et privés ainsi qu'une partie représentative des parties prenantes impactées par la gestion des barrages), la co-construction des plans peut alors débuter.

LA MOBILISATION DE DEUX MÉDIATEURS

La co-construction est un processus décisionnel populaire (Bryant et al, 2017) qui permet aux acteurs faisant partie d'un problème de participer à sa résolution. Cette approche positive et collaborative a l'avantage de tisser des liens communautaires et de prévenir des conflits potentiels. Néanmoins, tous et toutes ne sont pas à l'aise dans un forum public et il est possible que le climat social soit déjà passablement dégradé. Le recours à des médiateurs, formés dans l'art de la prévention et du règlement des conflits, permet de fournir un espace de dialogue contrôlé et accueillant. Dans notre espace de dialogue, deux médiateurs sont présents. Le premier, le *médiateur du dialogue*, dirige l'assemblée, veille à un temps de parole équitable et établit un climat

de confiance. Le deuxième, le *médiateur scientifique*, assure la teneur scientifique des propos et, au besoin, invite un.e expert.e à se joindre à l'assemblée ou à une rencontre subséquente. La médiation se déroule à huis clos, mais les résultats sont publics afin d'assurer la transparence du processus.

PARLONS SCÉNARIOS DE GESTION...

Lors des séances de co-construction, des scénarios de gestion (HEC-ResSim), adaptés aux changements climatiques et intégrant les enjeux identifiés par les communautés locales, seront présentés par les scientifiques, et serviront de base dans la discussion pour la co-construction des plans de gestion. Les enjeux étudiés et leur importance relative varieront selon le barrage à l'étude (Figure 6).

Les divers scénarios de gestion permettront aux communautés locales de choisir les règles de gestion du barrage (p. ex. le niveau d'eau le plus haut et le niveau d'eau le plus bas), qui répondront le plus adéquatement à leur sécurité, à leurs préoccupations et aux besoins des écosystèmes. Pour chacun des scénarios envisagés, les risques climatiques résiduels seront évalués. Lorsque le choix des scénarios sera fixé, des plans de gestion des risques résiduels seront élaborés, si nécessaire. Enfin, la solution globale, qui précisera les actions de chacun, pourra être mise en œuvre.

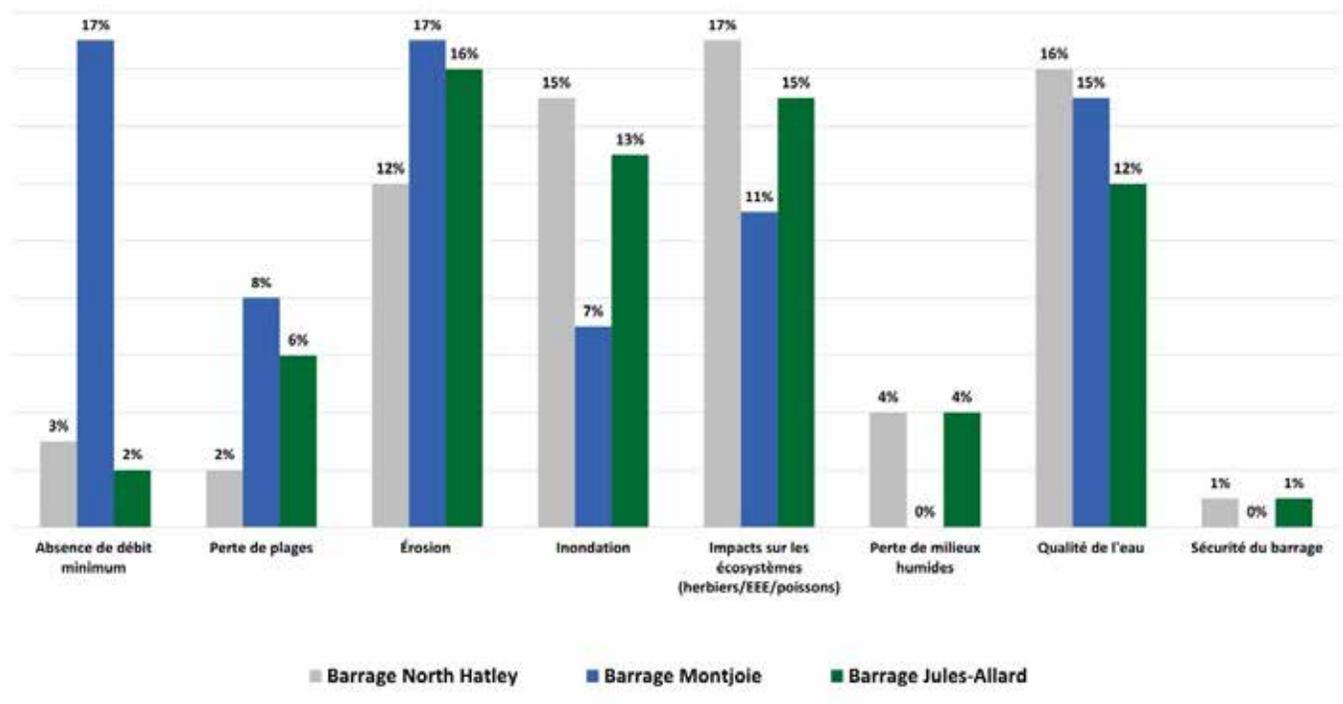


Figure 6. Enjeux soulevés par les communautés locales

UN COMITÉ DE SUIVI

Finalement, un comité de suivi multipartite (OBV, gestionnaire du barrage, citoyen.ne.s, État, scientifiques) sera créé pour assurer la mise en œuvre de la solution globale et pour planifier sa révision aux cinq ans.

Un « boost » de normativité

La voie de la co-construction facilitée par des médiateurs sera-t-elle choisie? Nous l'ignorons pour l'instant, mais tous les outils nécessaires sont actuellement à la disposition des communautés locales. Quoiqu'il en soit, les retombées du projet ne se trouvent pas uniquement dans les plans de gestion; elles se retrouvent également dans l'adoption de nouveaux comportements. Le partage de l'information a permis à tous les acteurs, tant de la société civile que de l'État, de démystifier plusieurs enjeux, de les mettre en perspective et de comprendre les possibilités et les limites des interventions. Cet apprentissage collectif agit comme un catalyseur de normes, les augmentant en nombre et en intensité. Des comportements ont déjà changé (normes morales et sociales), et de nouvelles normes étatiques (plan de gestion des barrages accessible au public...) ainsi que des normes négociées (plan de gestion de barrage co-construit...) pourraient voir le jour. Qui sait?

Ce projet est subventionné par la Fédération canadienne des Municipalités (FCM), Ouranos, le CRSH, MITACS et des partenaires municipaux.

RÉFÉRENCES

Bryant, C., Akkari, C., Bousbaine, A. D., Delusca, K., Daouda, O., Sarr, M., Azzeddine, M. (2017). The Unintended Negative Consequences of Government Actions and Initiatives in Selected Environmental, Social and Economic Domains: Opportunities for Co-construction Approaches. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, 8(2), 79-88.

Choquette, C. (2018). RSE, médiation et « dialogue normatif » : une combinaison gagnante pour l'environnement? Dans V. Mercier et S. Brunengo-Basso (ed.), *RSE et médiation. Regard croisé-France-Canada* (p. 133-150). Aix : PUAM.

Choquette, C., Guilhermont E. et Goyette-Noël, M.-P. (2010). La gestion du niveau d'eau des barrages-réservoirs au Québec: Aspects juridiques et environnementaux. *Les Cahiers de Droit*, 51 (3-4), 827-858.

MELCC. (2020). *Rapport sur l'état des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques du Québec*. Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rapport-eau/rapport-eau-2020.pdf>

Ouranos. (2015). *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec*. Repéré à <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SyntheseRapportfinal.pdf>

Barrage Jules Allard. Crédit photo : COGESAF



Les Jeunes pousses

Le travail de recherche réalisé par les étudiant.e.s à la maîtrise et au doctorat est un élément essentiel à la production des données scientifiques des universités. Sous l'encadrement de leurs directeur.rice.s de recherche, ils et elles se forment aux méthodes de recherche bibliographique, à la rigueur de la conception des expériences et à l'exactitude de l'analyse des données tout en participant à l'émergence de nouvelles connaissances. Ces pages sont dédiées à la présentation de travaux de recherche d'étudiant.e.s à la maîtrise et au doctorat qui représentent la relève de la communauté scientifique : les « jeunes pousses ».

VICTIMES A LA MODE

La « fast fashion » n'est plus tendance

L'industrie de la mode vestimentaire est potentiellement la deuxième industrie générant le plus d'émissions de gaz à effet de serre (GES) après l'industrie pétrolière. Son impact environnemental est également important notamment en raison du rejet de produits toxiques dans l'atmosphère et de l'utilisation massive de ressources en eau. Enfin, la délocalisation progressive de la production et de la confection textile depuis les années 1960 vers des pays à faible revenu implique souvent des conditions de travail misérables pour les ouvrier.ère.s de cette industrie.

La « fast fashion », soit l'évolution rapide des tendances associée à la production de vêtements à prix réduit qui ne sont souvent pas faits pour durer, entraîne une mise au rebut de vêtements à l'échelle de la planète à la vitesse d'un camion à benne à chaque seconde.

Cet essai de maîtrise réalise l'analyse du cycle de vie d'un vêtement issu de l'industrie québécoise de la mode dans une optique de décarbonisation. Il émet plusieurs recommandations à l'intention de l'industrie textile au Québec afin de diminuer ses émissions de GES.

Pour lire le document :

Noémie Bastien-Beaudoin, (2020). [*Analyse d'un vêtement issu de l'industrie de la mode québécoise dans une optique de décarbonisation*](#) [mémoire de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoir UdeS, 75 pages.



Crédit photo : Markus Spiske

LA COUR DE RÉCRÉ

Convertir les cours d'école minérales en oasis de fraîcheur

Plus d'un demi-siècle d'urbanisation centrée sur les voitures a créé des agglomérations minéralisées et dégarnies de couvert végétal. Ce type d'urbanisme encourage la formation d'îlots de chaleur urbains où la température est significativement plus élevée que dans les espaces verts à proximité. De plus, ces espaces minéralisés ne peuvent absorber les eaux de ruissellement, entraînant des débordements d'égouts dans les cours d'eau, communément appelés « surverses ».

Une grille d'analyse comportant dix critères a été développée pour comparer la vulnérabilité de trois quadrilatères montréalais. Ceux-ci avaient comme point commun la présence d'une cour d'école fortement minéralisée. Six recommandations structurantes sont proposées à la Ville de Montréal dont celle de produire un plan de résilience pour chaque aléa climatique qui intégrerait un vaste programme d'implantation d'infrastructures naturelles et de phytotechnologies.

Pour lire le document:

Mali Ilse Paquin, (2020). *[Pour des quartiers résilients et multimodaux à Montréal : analyse de la vulnérabilité climatique de trois quadrilatères](#)*, [mémoire maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoir UdeS, 109 pages.



Crédit photo : Jon Tyson

2041 : L'ODYSSÉE NUMÉRIQUE

Télétravailler en région est-il un scénario d'avenir ?

La transition numérique de notre société, bien amorcée, mais encore pleine de promesses, peut fournir des outils précieux pour s'adapter aux conséquences de la crise écologique. Toutefois, le revers de la médaille ne peut être négligé : malgré les gains d'efficacité énergétique de l'industrie numérique, la fabrication et l'usage des équipements qui en découlent pourraient faire exploser les émissions de gaz à effet de serre alors même que la lutte aux changements climatiques demande un effort drastique pour les faire diminuer.

Cette analyse prospective s'appuie sur une synthèse des principaux enjeux connexes au numérique et à la transition écologique afin de développer quatre scénarios explorant des avenir radicalement différents permettant d'illustrer l'étendue des évolutions possibles. L'auteur s'appuie sur cette projection dans le champ des futurs possibles pour effectuer une série de recommandations relatives à ces deux transitions, lesquelles n'auront pas d'autre choix que de converger.

Pour lire le document:

Martin Deron, (2020). *[Comment concilier transition numérique et transition écologique ?](#)* [mémoire maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoir UdeS, 78 pages.



Crédit photo : Maria Teneva

DE QUEL BOIS J'ME CHAUFFE?

Utiliser la biomasse forestière pour réduire les émissions de GES au Québec

Au Québec, 56 % de l'énergie consommée provient des hydrocarbures et représente 71 % des gaz à effet de serre émis par la province en 2017, indiquant la nécessité d'évaluer des sources d'énergie alternatives.

Cette étude évalue l'utilisation de la biomasse forestière comme source d'énergie pour la production de chaleur. Les résultats basés sur une grille d'analyse de développement durable (développée par la Chaire en éco-conseil de l'Université du Québec à Chicoutimi) montrent que la biomasse forestière peut contribuer significativement à la décarbonation du secteur de l'énergie. Certaines limites ont toutefois été observées : l'ampleur et la temporalité de cette ressource renouvelable, mais carbonée, doivent-elles être maîtrisées afin d'obtenir des bénéfices environnementaux intéressants à court terme et limiter la « dette carbone » engendrée par son utilisation.

Dans l'optique de développer cette filière avec des gains environnementaux, 12 recommandations sont proposées pour faire de la biomasse forestière une solution de rechange avantageuse aux hydrocarbures comme source de chaleur.

Pour lire le document:

William Parenteau, (2020). [*L'utilisation de la biomasse forestière comme source d'énergie au Québec : perspectives de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de développement durable*](#) [mémoire maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoir UdeS, 134 pages.

ATTRAPE-MOI SI TU PEUX

Enjeux de la captation du carbone pour atteindre la carboneutralité

Selon l'Agence Internationale de l'Énergie (IEA) et son scénario limitant l'augmentation des températures à 2 °C, les technologies de capture et de séquestration du carbone devront représenter 14 % des réductions d'émission pour la période allant jusqu'à 2060.

Différentes technologies de capture existent, avec séquestration ou utilisation du carbone, dont l'objectif principal est de réduire les émissions de CO₂. Cette étude analyse la viabilité à long terme de cinq projets internationaux de capture et de séquestration du carbone : la séquestration sous-marine, la carbonatation minérale, la capture directe de l'air, la capture enzymatique et la capture postcombustion. L'évaluation des différentes technologies est réalisée selon une analyse multicritère basée sur trois volets : technique, économique et environnemental.

Si certaines technologies ont montré des avantages en matière d'atténuation des gaz à effet de serre, tous les efforts contribuant à cet objectif doivent être considérés comme une mesure complémentaire aux efforts d'atténuation.

Pour lire le document :

Vickie Barabé, (2019). [*Technologies de capture et séquestration de carbone et potentiel de réduction des émissions de GES : analyse comparative des approches les plus prometteuses*](#) [mémoire maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoir UdeS, 86 pages.



Crédit photo : Chuttersnap

LE SERVICE EST OFFERT

Donner un prix à la Nature pour considérer son utilité

Dans les municipalités québécoises, la forêt urbaine est rarement jugée au-delà de sa valeur foncière, négligeant ainsi les biens et les services écologiques qu'elle fournit. Cette omission vient en partie du manque d'outils de mesure adaptés, lesquels permettraient aux décideurs d'agir de façon éclairée pour la conservation de la biodiversité.

L'économie de l'environnement propose des méthodes permettant d'exprimer en termes monétaires la valeur des services écologiques pour la société. Ainsi devient-il possible de mesurer les nombreux biens et services d'importance écologique, économique et sociale pour le bien-être humain offerts par la forêt urbaine, grâce à ses effets positifs sur la qualité de l'air, de l'eau, des sols, sur la régulation des températures urbaines, mais aussi sur la santé physique et mentale des individus.

L'objectif de cette étude est d'analyser et de proposer des cadres de gouvernance municipale pour intégrer les biens et services écologiques dans la prise de décision. Des recommandations sont proposées pour répondre à ces problématiques de gouvernance à l'échelle des municipalités.

Pour lire le document:

Emile Grenon Gilbert, (2019). *Gouvernance municipale et intégration des biens et services écologiques* [mémoire maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoir UdeS, 76 pages.



UNE PRATIQUE DURABLE DU GÉNIE

Intégrer le développement durable au cursus en génie civil

L'éducation au développement durable (DD) est indispensable pour soutenir la transition durable de notre société. Les ingénier.e.s ont un rôle majeur à jouer dans ce changement de par les travaux qu'ils et elles réalisent, lesquels sont souvent à la source des plus grands impacts.

Cette étude évalue, auprès des étudiant.e.s, l'efficacité d'une méthodologie d'intégration continue du DD au cursus en génie. Les connaissances, les compétences et les attitudes nécessaires ont été intégrées de manière transversale et récurrente aux contenus des cours du baccalauréat en génie civil de l'Université de Sherbrooke. La sensibilisation aux bonnes pratiques, la prise de conscience et le développement d'un esprit critique sont enseignés grâce à l'application au génie civil des outils de l'approche cycle de vie (analyses environnementale, sociale et des coûts du cycle de vie). Ces perspectives permettent de transmettre aux étudiant.e.s-ingénieur.e.s une vision plus concrète, et plus assimilée, du DD. Ainsi, les étudiant.e.s sont amené.e.s à appliquer à leur projet de conception de fin de formation les principes de l'analyse du cycle de vie vus au cours des sessions

précédentes pour une meilleure opérationnalisation des connaissances.

Pour lire le document:

Bastien Roure, (2018). *Évaluation critique d'une méthodologie d'intégration transversale du développement durable : cas du baccalauréat en génie civil* [mémoire maîtrise en génie civil, Université de Sherbrooke]. Savoir UdeS, 101 pages.





Pour alimenter les débats des élections municipales qui se tiendront au Québec cet automne, Le Climatoscope publie dans ce dossier spécial une série d'articles mettant en perspective les champs d'actions des compétences municipales dans la lutte aux changements climatiques. De la planification urbaine aux outils réglementaires, en passant par la démocratie participative, prenons conscience que chaque municipalité doit également faire sa part.

Dossier : perspectives municipales

LA DÉMOCRATIE MUNICIPALE : PILIER DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE EN MILIEU RURAL

Crédit photo : Michal Matlon

Pierre-Luc Baril

Candidat à la maîtrise au Département de science politique
Université du Québec à Montréal

La transition écologique occupe une place grandissante dans le discours public. Si des États, comme la France, possèdent un ministère de la Transition écologique, c'est surtout au sein des localités que l'idée connaît une popularité croissante. En témoigne notamment le mouvement Villes en transition¹. En raison de leur taille et de leur importante consommation, les centres urbains retiennent immanquablement l'attention en matière de transition écologique. L'importance démographique, le poids politique et le rôle économique des villes, entre autres, en font des endroits privilégiés pour développer une société à la fois écologique et résiliente face aux aléas des changements climatiques (Bilodeau, 2019). Bien que nécessaire, l'importance octroyée à l'espace urbain occulte une autre réalité, soit celle des communautés rurales. Peu d'études s'intéressent aux caractéristiques de la transition écologique en dehors des grandes agglomérations. C'est pourquoi cette recherche se penche sur la manière dont les municipalités du monde rural québécois réalisent une transition écologique sur leur territoire. On constate que les transitions écologiques pilotées par ces municipalités reposent sur des instruments de démocratie participative.

1. Villes en transition est un mouvement international s'appuyant sur l'action et la démocratie locale pour transformer la société. Le mouvement rassemble plus de 1000 municipalités de tailles diverses à travers le monde. Voir <https://transitionnetwork.org/>.

La transition écologique en milieu rural

Au Québec, on recense 1 131 gouvernements locaux². De ce nombre, seules 46 municipalités comptent une population supérieure à 25 000 personnes. Autrement dit, la quasi-totalité des municipalités québécoises ne se situent pas en zone fortement urbaine, mais évoluent plutôt en territoire rural ou nordique. Paradoxalement, seuls 32,1 % de la population québécoise habitent en région. Malgré leur taille souvent réduite et leur faible densité de population, une analyse des sites internet de ces localités démontre un intérêt de leur part pour la préservation de la nature et la promotion du développement durable. Il s'en trouve même quelques-unes, dans le monde rural, pour mettre de l'avant une transition écologique, sous une forme ou une autre.

Le concept de transition écologique est soumis à diverses définitions. D'une part, on considère la transition comme « un ensemble de changements liés qui se renforcent entre eux, mais prennent place dans différents domaines, comme la technologie, l'économie, les institutions, le comportement, la culture, l'écologie et les systèmes de croyances » (Rotmans, Kemp et van Asselt, 2001, p. 16, traduction libre³). D'autre part, le caractère écologique renvoie à l'importance accordée aux crises environnementale et climatique tout comme à la promotion de la durabilité dans les activités humaines (Geels, 2011; Markard, Raven et Truffer, 2012). Ainsi, prendre en compte les limites planétaires, répondre aux enjeux de la crise écologique ou atteindre une production et une consommation durables ne sont que quelques-unes des finalités avancées dès lors que l'on aborde la transition écologique. Cette diversité des buts est également présente dans les municipalités rurales, alors que l'on parle bien évidemment de transition écologique, mais aussi de carboneutralité, de transition énergétique, de communauté socio-écologique, de virage vert ainsi que de lutte et d'adaptation aux changements climatiques. C'est pourquoi nous définissons la transition écologique comme un processus global de transformation à long terme impliquant de nombreux acteurs dont l'objectif vise à solutionner les crises environnementale et climatique ou leurs

2. Selon les données du ministère des Affaires municipales et de l'Habitation, ce nombre comprend les municipalités [1107] régies par le Code municipal et la *Loi sur les cités et les villes*, les villages nordiques, cris et naskapi [23] et le gouvernement régional d'Eeyou Istchee Baie-James.

3. « *a set of connected changes, which reinforce each other but take place in several different areas, such as technology, the economy, institutions, behaviour, culture, ecology and belief systems.* »

conséquences (Rotmans, Kemp et van Asselt, 2001; Markard, Raven et Truffer, 2012; Geels, 2011). Bien que large, cette définition permet d'inclure une diversité de démarches, tout en dépassant les contraintes d'un usage strict de l'appellation « transition écologique ».

La consultation au service de la transition écologique

Les municipalités étudiées⁴ s'appuient sur des plans d'action et autres politiques pour encadrer leur démarche de transition. Composés d'actions concrètes, de principes directeurs ou d'objectifs à atteindre, ces « plans de transition » témoignent des conceptions et de la compréhension des enjeux locaux portés par la municipalité. Pourtant, l'un des instruments centraux de ces transitions prend forme à l'extérieur de ces plans. On recense en effet plusieurs exemples d'instruments de démocratie participative (IDP) mis en place pour élaborer le plan de transition, assurer son opérationnalisation ou encore veiller à sa bonification et à son actualisation au fil du temps.

En matière de consultation, la législation municipale québécoise est peu contraignante. La *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* mentionne la possibilité pour une municipalité de former un comité consultatif d'urbanisme (CCU), formé d'élu.e.s et de citoyen.ne.s et d'« attribuer à ce comité des pouvoirs d'étude et de recommandation en matière d'urbanisme, de zonage, de lotissement et de construction » (Art. 146, no.2). Alors que la consultation revêt un caractère facultatif dans la législation québécoise, sa présence dans chacune des municipalités étudiées étonne.

Trois modèles d'IDP apparaissent dans le monde rural. Le premier modèle est la consultation ponctuelle. Les gens sont invités à participer à une assemblée publique, soit pour partager leur vision du projet, soit pour valider les propositions de la municipalité. À Warwick, par exemple, l'adoption du plan *Warwick en transition* a été précédée d'un exercice de consultation publique. La population a été invitée à participer à une rencontre dans le but d'établir les objectifs et le contenu du plan de transition de la municipalité.

4. Les municipalités étudiées sont les suivantes : Ham-Nord, L'Islet, Lac-Mégantic, Prévost, Sainte-Flavie, Saint-Sauveur, Saint-Zotique, Warwick et la MRC de Nicolet-Yamaska. Ces municipalités ont été sélectionnées selon trois critères : 1) une population inférieure à 20 000 personnes; 2) une déclaration d'intention de réaliser une transition écologique selon la définition identifiée plus haut; 3) le processus de transition doit avoir été adopté ou lancé durant le dernier mandat municipal (2017-2021).

Le deuxième modèle est l'instance consultative permanente. La municipalité met en place un comité ou une commission dont l'objectif est de formuler des avis au conseil municipal en matière de transition écologique et d'environnement. La municipalité de Lac-Mégantic a opté pour cette formule en créant la « commission de l'innovation et de la transition écologique (CITÉ) ». Composé de douze personnes, dont deux élu.e.s, la CITÉ agit comme « la conscience environnementale de la ville » en considérant les préoccupations citoyennes et en déposant des recommandations auprès du conseil municipal.

Le troisième modèle est l'instance double. Plus rare, cette formule implique la création d'une instance de consultation permanente semblable à celle présentée précédemment à laquelle s'ajoute une instance permanente dont le mandat est de favoriser la mobilisation de la population autour des enjeux identifiés. La municipalité de Prévost s'est dotée d'un tel système. D'un côté, le comité consultatif du développement durable et de l'environnement (CCDDE) regroupe neuf citoyen.ne.s et trois élu.e.s et vise à formuler des recommandations sur les enjeux environnementaux. De l'autre, le comité climat de Prévost (CCP) rassemble une dizaine de citoyen.ne.s ainsi qu'un fonctionnaire municipal. Le CCP n'a pas pour mission de faire des recommandations au conseil municipal, mais plutôt de favoriser le changement d'habitudes et de comportements au sein de la population à travers la sensibilisation et l'accompagnement.

Il faut noter qu'une municipalité peut employer plus d'une forme d'IDP dans ses démarches de transition. À Sainte-Flavie par exemple, une consultation publique a été organisée autour du plan de transition, même si la municipalité dispose d'un comité consultatif en environnement. La consultation ponctuelle apparaît également comme l'IDP privilégié par les municipalités : on la retrouve dans six cas sur dix.

Choisir les instruments de démocratie participative

Cette recherche s'appuie sur une analyse documentaire et huit entrevues semi-dirigées réalisées auprès d'élu.e.s et de fonctionnaires municipaux entre décembre 2020 et avril 2021. Les entrevues permettent de mieux comprendre les motivations derrière le choix des municipalités d'employer des instruments favorisant la démocratie participative.

Premièrement, l'utilisation de ces instruments poursuit un objectif de communication. En utilisant les IDP, les municipalités voient un moyen de sensibiliser la population et de favoriser la compréhension de l'enjeu. Un élu témoignait de cet objectif au sein de sa municipalité :

« Il y a toujours un aspect communicationnel. On a beau avoir des beaux objectifs, des objectifs intéressants, il faut [...] permettre à la communauté de se les approprier. Je suis moi-même, mais mon conseil également, tenant de la démocratie participative. »

Cet intérêt à l'endroit de la communication est également complété par une volonté municipale de se renseigner sur les intérêts de la population :

« Avant d'écrire la politique, [...] le maire avait monté un comité citoyen avec des élus aussi pour la transition écologique, pour les rencontrer, pour voir qu'est-ce qu'eux autres voulaient voir là-dedans, dans le plan ? Qu'est-ce qu'ils voulaient ? C'était quoi, les priorités ? Quel genre d'action ils voulaient que la municipalité pose ? Jusqu'où qu'ils voulaient qu'on aille, etc. On a impliqué la population là-dedans pour pas que ça sorte juste de nous, d'en haut, mais que les idées viennent de la population. Parce que c'est eux autres que ça concerne. »

Modèles	Descriptions
Consultation ponctuelle	Assemblée publique ponctuelle où la population est invitée à se prononcer sur les propositions municipales ou encore à suggérer ses idées concernant l'enjeu traité.
Instance consultative permanente	Instance de consultation composée de citoyen.ne.s et d'élu.e.s dont la fonction est de soumettre des avis au conseil municipal.
Instance double	À une instance consultative permanente s'ajoute une instance de mobilisation citoyenne pour la mise en œuvre de la transition.

Figure 1. Modèles d'instruments de démocratie participative utilisés par les municipalités rurales dans le cadre de la transition écologique



Deuxièmement, l'adoption de ce type d'instrument est vue par les municipalités comme un moyen de susciter l'engagement citoyen. Pour les élu.e.s et les fonctionnaires rencontrés, les IDP créent une opportunité d'implication pour la population, comme le montrent ces témoignages :

« C'est l'approche qu'on a prise au comité [...]. C'est-à-dire que oui, c'est important une fois aux quatre ans, quand c'est le temps d'élire un nouveau [conseil], de regarder le programme électoral et de voir qu'est-ce qu'il y a en environnement. [...] Mais si c'est juste ça, la vie va être frustrante. Donc, il faut rentrer l'action dans notre sphère de pouvoir. »

« Il y a toute une panoplie de stratégies pour aller rejoindre les gens dans des milieux ou des formules qui leur sont confortables. [...] On voulait fournir plusieurs moyens pour les impliquer et leur permettre de collaborer à la démarche. »

« Dans la démocratie représentative, [...] on va gouverner avec le mandat qui nous est confié, mais quand on parle qu'on veut rendre cette démocratie-là plus participative, on veut impliquer les gens comme étant eux-mêmes des moteurs de changements. »

Troisièmement, les IDP apparaissent aux yeux des municipalités comme une perspective intéressante permettant d'innover en matière de politique publique. On retrouve derrière l'adoption de ce type d'instruments une volonté de sortir de l'approche réglementaire et coercitive pour se tourner vers de nouvelles formes de gouvernance. Deux élu.e.s ont souligné cet aspect :

« Ces comités-là sont là pour t'aider à préparer... Il n'y a rien de mieux qu'un comité qui te chicane. Parce que là tu dis : si mon comité, que c'est des gens qui sont déjà dévoués et convaincus, sont mécontents, bien je sais que je vais me faire ramasser au conseil de ville. Faque c'est mieux de changer tout de suite. Il faut que ce soit représentatif. »

« Personnellement, je pense que c'est ça qui va être le plus efficace à long terme parce que si on veut que les gens embarquent dans le mouvement, on ne peut pas être juste dans le coercitif, les forcer, puis le réglementaire. On va juste les écœurer, si on fait ça. »

En définitive, les IDP apparaissent aux yeux des acteur.rice.s municipaux comme des instruments favorisant à la fois la communication, la mobilisation sociale et le renouvellement de la gouvernance municipale. Les IDP représentent un carrefour où la population est en mesure de partager sa vision de la transition écologique tout en intégrant les impératifs et les enjeux locaux par la municipalité.

Conclusion

Les démarches de transition écologique initiées par les municipalités rurales du Québec témoignent des avantages d'une gouvernance participative. Les exemples mentionnés montrent le fort potentiel démocratique de la transition écologique comme projet de société à l'échelle locale. Ces cas illustrent la possibilité pour une municipalité de mettre en branle une transition écologique sur son territoire à partir d'une perspective institutionnelle tout en favorisant un dialogue sur cette transition auprès de sa population.

Il convient néanmoins de demeurer prudent sur l'impact réel des IDP dans les démarches de transition. Si ces instruments représentent des opportunités en termes de démocratisation des pratiques, ils peuvent également être employés moins pour solliciter l'avis public que pour renforcer la légitimité politique des élu.e.s (Bherer, 2010). Dans cette perspective, rappelons que le modèle d'IDP le plus courant dans les cas étudiés est celui de la consultation ponctuelle, et non les instances permanentes. La municipalité de L'Islet, par exemple, a soumis son *Plan d'adaptation aux changements climatiques* (2019, p.5) à la validation citoyenne après sa conception par une firme spécialisée. Ainsi, même si la population a eu l'opportunité de soumettre des propositions supplémentaires, elle n'a pas participé pleinement au processus d'élaboration du plan. On peut également supposer que l'adoption d'IDP par les municipalités s'inscrit dans la mouvance que Blondiaux et Sintomer (2002) nomment « l'impératif délibératif », soit un processus de généralisation des « modes plus égalitaires de consultation de la "base" » (p. 18-19) par l'action publique. Sous cet angle, le recours systématique des municipalités aux IDP en matière de transition écologique représente moins une innovation que l'adhésion à une nouvelle norme au sein des appareils municipaux.

RÉFÉRENCES

- Bherer, L. (2010).** Successful and Unsuccessful Participatory Arrangements: Why Is There a Participatory Movement at the Local Level? *Journal of Urban Affairs*, 32(3), 287-303. doi: 10.1111/j.1467-9906.2010.00505.x
- Bilodeau, M. (2019).** La transition écologique se passe en ville. *Québec Science*. En ligne. <https://www.quebecscience.qc.ca/parteneriat/la-transition-ecologique-se-passe-en-ville/>
- Blondiaux, L. et Sintomer, Y. (2002).** L'impératif délibératif. *Politix. Revue des sciences sociales du politique*, 15(57), 17-35. doi: 10.3406/polix.2002.1205
- Éditeur officiel du Québec. (2020, 31 octobre).** *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*. <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/a-19.1>
- Geels, F. W. (2011).** The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 24-40.
- Groupe Conseil Carbone (2010).** *Plan d'adaptation aux changements climatiques*. Municipalité de L'Islet. 19 pages.
- Markard, J., Raven, R. et Truffer, B. (2012).** Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, 41(6), 955-967.
- Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (2020).** L'organisation municipale au Québec en 2020. Repéré à https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/organisation_municipale/organisation_territoriale/BRO_OrganisationMunicipale_2020.pdf
- Rotmans, J., Kemp, R. and van Asselt, M. (2001).** More evolution than revolution: transition management in public policy, *Foresight*, 3(1), pp. 15-31.



Dossier : perspectives municipales

L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LA PLANIFICATION URBAINE : ENSEIGNEMENTS DU LABO CLIMAT MONTRÉAL

Alexis Guillemard

Candidat au doctorat en études urbaines
Université du Québec à Montréal

Hélène Madénian

Candidate au doctorat en études urbaines
Institut national de la recherche scientifique

Sophie L. Van Neste

Professeure, titulaire de la Chaire de recherche
du Canada en action climatique urbain
Institut national de la recherche scientifique



Crédit photo : art inthecity

Les changements climatiques transforment les villes. D'un côté, leurs industries, les transports et les bâtiments contribuent aux émissions de gaz à effet de serre; de l'autre, leurs infrastructures et leurs populations sont durement touchées par les inondations, les vagues de chaleur ou d'autres événements extrêmes. De nombreux élu.e.s, administrations municipales et acteurs de la société civile souhaitent contribuer à la lutte contre les changements climatiques. Cependant, les défis sont de taille.

L'adaptation aux changements climatiques requiert de changer des pratiques et des manières de faire; elle nécessite des collaborations entre les différents acteurs, services et professions de l'action publique urbaine (Carter et al., 2015). Il faut soit créer de nouveaux espaces de gouvernance et de participation pour s'atteler sérieusement à la tâche, soit mieux mettre en relation les espaces existants, tout en valorisant l'appropriation des questions climatiques par les praticien.ne.s dans les milieux. Le Labo Climat Montréal s'inscrit dans cette logique et vise à accroître l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans les processus d'élaboration et de mise en forme des projets urbains à Montréal. Nous voulons présenter ici notre démarche de recherche-action organisée en *living lab*, puis partager les principales recommandations.

La recherche-action, un vecteur d'apprentissage et d'expérimentation

La recherche peut parfois paraître déconnectée du quotidien des professionnel.le.s de la planification urbaine. En effet, les méthodes classiques employées par les chercheur.euse.s (universitaires ou consultant.e.s) les inscrivent dans une posture d'observation. Cette posture vise à assurer la neutralité des conclusions de l'étude, mais elle peut renvoyer l'image d'une recherche en rupture avec les milieux de pratique. Or, dans certains cas, des chercheur.euse.s ont réalisé qu'il faut parfois accepter de passer d'une posture passive et neutre à une posture active et engagée. Ainsi, ce qu'on peut désigner comme la recherche-action se démocratise depuis quelques années. Cette forme de recherche « fait prévaloir la visée de transformation des pratiques par les dispositifs collectifs de recherche, sans intention explicite ni action spécifique de formation individuelle des praticien.ne.s » (Robbes, 2020, p. 3-4). Le but n'est donc pas de donner un cours aux praticien.ne.s, mais de créer des conditions favorables à l'apprentissage et d'explorer ensemble des pistes d'innovation. Ce changement de posture de la recherche permet, par exemple, d'émettre des recommandations plus adaptées aux réalités vécues par le public cible d'une étude.

Dans un contexte où la recherche et la pratique se rapprochent, les expérimentations en mode *living lab* ont vu le jour en s'inspirant de procédés issus du marketing, des sciences de la vie ou encore de la psychologie. Un *living lab* réunit différents types d'acteurs (administrations publiques, institutions de recherche, société civile, secteur privé, population...) autour d'un enjeu qui se caractérise par sa multi-dimensionnalité et son ancrage dans un environnement donné (un territoire, un secteur d'activité, une communauté...) (Janin, Pecqueur et Besson, 2013). Un *living lab* s'organise généralement en ateliers, où des exercices visent à faciliter l'émergence de solutions innovantes au problème initial. En outre, ces exercices sont construits pour favoriser l'expression de certaines valeurs nécessaires à l'innovation ouverte (l'empathie, l'ouverture d'esprit, la créativité...). Dans le monde entier, des villes s'emparent de cet outil collaboratif pour chercher des solutions à des enjeux urbains (Orillard, Fautrero et Puel, 2020).

1. Les résultats présentés proviennent du rapport du Labo Climat Montréal, auquel plusieurs membres de l'équipe, nommés dans le rapport, ont contribué (voir Van Neste et al., 2021).

Dans le cadre de la planification urbaine, l'organisation d'un *living lab* peut impliquer de proposer des ateliers d'expérimentation avec les professionnel.le.s d'un service municipal autour d'un enjeu spécifique. Le Labo Climat Montréal s'inscrit dans cette logique. Ce projet interuniversitaire vise à mettre en place des conditions d'échange et d'expérimentation avec les professionnel.le.s de la Ville de Montréal pour contribuer à mieux faire connaître la recherche en adaptation aux changements climatiques au-delà des murs des universités.

Le Labo Climat Montréal : un projet de recherche, d'inspiration *living lab*

Composé d'une équipe interuniversitaire de sept chercheur.euse.s et neuf stagiaires à la croisée de l'aménagement urbain, des sciences sociales et de l'adaptation aux changements climatiques, le Labo Climat est une réponse à un appel lancé par la Ville de Montréal et le consortium Ouranos. Il s'agit d'un projet de recherche, d'inspiration *living lab*, qui vise à développer de manière collaborative de nouvelles pratiques de planification de projets urbains intégrant l'adaptation aux changements climatiques, à partir du cas de Lachine-Est, un secteur urbain en redéveloppement. Les objectifs spécifiques du Labo Climat sont d'identifier et d'agir sur la coordination entre les différents acteurs impliqués, l'expertise en adaptation aux changements climatiques dans un contexte de projet urbain, et la clarification des choix d'adaptation au fil de la démarche.

Pendant 18 mois, le Labo Climat a étudié le projet de réaménagement de Lachine-Est. Ce secteur se caractérise par un passé industriel et un legs patrimonial important et, plus récemment, par des volontés de développement tout près du canal de Lachine (Poitras et Aubry, 2004). Le secteur possède des atouts urbanistiques, dont le canal, des parcs et une nouvelle gare de train de banlieue.

Le secteur Lachine-Est se démarque particulièrement par l'intérêt qu'y portent plusieurs individus et organisations qui s'investissent énormément dans sa planification. Le secteur est étudié depuis 2004 en vue de son réaménagement, avec des études réalisées dans les domaines de l'économie, du patrimoine, des transports ainsi que sur les infrastructures d'eau. La société civile participe depuis de nombreuses années à la réflexion autour de l'avenir du secteur.



Figure 1. Carte du secteur Lachine-Est. Source : Labo Climat Montréal (2019), utilisation de Mapbox.

Les grands projets urbains, tels que le réaménagement de friches, font émerger des processus de planification particuliers (Majoor, 2018, Holden, 2010, Pinson, 2009, Healey 2010). D'un côté, ils sont moteurs de rêves, de visions et d'innovations en proposant de grandes ambitions, en jouant le rôle de vitrine, voire de terrain d'expérimentations. De l'autre, ils font l'objet de contestations, et souvent de certaines déceptions, sur le plan des réalisations et de la distribution des bénéfices. Enfin, ce sont aussi des projets comportant une temporalité souvent changeante et incertaine, étant donné les multiples acteurs et l'importance des financements requis.

Les villes doivent apprendre à encadrer ce type de projets et à en tirer des bénéfices plus larges, notamment pour l'adaptation aux changements climatiques. Depuis 2010, un cadre de gouvernance a été mis en place à la Ville de Montréal pour les projets d'envergure. Ce cadre implique que différentes instances décisionnelles, constituées de la haute direction, des services de la ville et des arrondissements, ainsi que des membres du comité exécutif, approuvent certaines étapes clés de planification du projet. Entre chaque étape, différents

services de la Ville de Montréal (p. ex.: service de l'urbanisme et de la mobilité, service de l'eau) travaillent en collaboration avec l'arrondissement concerné et d'autres parties prenantes telles que des consultants externes et la société civile. Depuis 2020, la Ville de Montréal expérimente aussi une formule de Bureau de projet partagé, à laquelle participe activement la société civile locale.

Malgré ces balises, les grands projets à la Ville soulèvent des défis de coordination entre les différents services de la Ville, de l'arrondissement et avec les acteurs externes (société civile et promoteurs, de même que les grands acteurs institutionnels déterminant des infrastructures sur le territoire). Les grands projets de la Ville soulèvent néanmoins des opportunités d'apprentissage. On observe de plus des défis propres à la prise en compte de l'adaptation aux changements climatiques dans le processus de planification : aussi doit-on se demander quand et comment considérer les contraintes posées par les aléas climatiques, telles que les vagues de chaleur et l'augmentation de l'intensité de pluies extrêmes ?

Pour trouver des pistes de réponse à ces interrogations, nous avons complété une démarche de recherche « classique » (entretiens, sondages, analyse de la littérature...) par une série de trois ateliers de type *living lab* entre décembre 2019 et octobre 2021. Le premier atelier consistait en une introduction très générale sur l'adaptation aux changements climatiques de la planification urbaine à Montréal; le second a permis de se pencher plus spécifiquement sur le cas de Lachine-Est; et le troisième a été l'occasion d'aborder l'implantation d'infrastructures vertes dans le quartier. Ces ateliers ont réuni des professionnel.le.s de différents services de la Ville de Montréal et de l'arrondissement de Lachine-Est. Afin d'assurer des conditions favorables à la rencontre et à l'apprentissage, nous avons construit des exercices qui visaient à faciliter l'échange, à susciter de l'empathie et à favoriser l'émergence d'idées innovantes. Par exemple, pour certains exercices, nous nous sommes inspirés de supports issus de l'organisation municipale (voir Figure 2), notamment les outils de gestion de projet, et nous avons également présenté des fiches synthétisant les aléas climatiques à Montréal. Nous avons aussi créé des scénarios autour d'un quartier mésadapté afin de faire réagir les acteurs sur les démarches et les leviers permettant de faire mieux.

De plus, le Labo Climat a pris part aux rencontres de l'Atelier Lachine-Est, une initiative de concertation coordonnée par Concert'Action Lachine, pour soutenir la démarche du milieu et faciliter l'appropriation et la vulgarisation d'enjeux liés aux changements climatiques.

Ainsi, les personnes présentes aux ateliers ont pu enrichir notre analyse par leurs connaissances, leurs expériences et leurs idées. Les différents exercices et supports ont permis de réunir les conditions permettant des échanges riches et créatifs. Les données collectées lors de ceux-ci ont amené à la formulation de recommandations ancrées dans l'univers professionnel et territorial des participant.e.s.

Quelques recommandations du Labo Climat Montréal

Nos résultats ont révélé quatre principaux défis pour la prise en compte des changements climatiques dans le processus de projet urbain de la Ville de Montréal (voir Van Neste et al., 2021). Tout d'abord, la phase de justification de la pertinence des projets (qui se penche pour l'instant surtout sur la rentabilité du projet et l'étude sommaire des investissements requis) devrait intégrer plus explicitement les contraintes que posent les changements climatiques et les vulnérabilités particulières des sites, notamment face à la chaleur extrême, aux précipitations intenses et aux tempêtes. Ces vulnérabilités devraient être prises en compte dans le budget du projet dès le départ, dans les défis et contraintes anticipés pour l'aménagement, ainsi que dans la planification des ressources et des expertises à mobiliser.

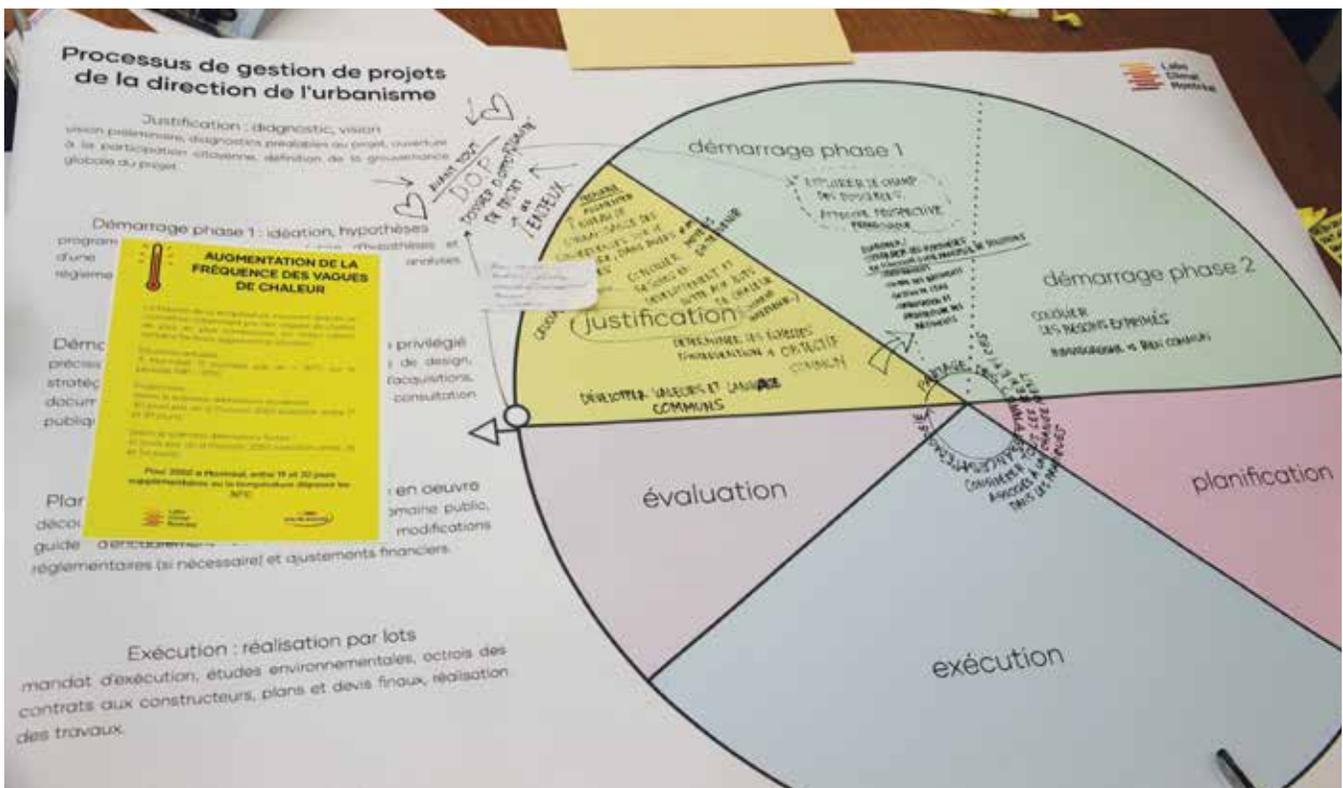


Figure 2. Exemple d'un support d'exercice du premier atelier du Labo Climat Montréal

Ensuite, l'étape de comparaison des différentes hypothèses d'aménagement devrait inclure une délibération sur les bénéfices, les risques et les opportunités à mobiliser au regard des changements climatiques. Le Labo Climat Montréal propose d'introduire un atelier délibératif sur les hypothèses d'aménagement en contexte de changements climatiques. Par exemple, un atelier pourrait être mis de l'avant, comme cela a été fait durant la recherche. Il viserait à analyser les enjeux de différentes options d'implantation d'infrastructures vertes pour prioriser et combiner les bénéfices recherchés (gestion des eaux pluviales, rafraîchissement, biodiversité, connectivité écologique régionale, loisirs, distribution équitable des espaces verts, etc.) ainsi que pour prioriser et combiner les bénéfices recherchés avec la population et la société civile locale.

De plus, les résultats des ateliers et des entretiens ont soulevé le besoin d'un cadre réglementaire de l'adaptation beaucoup plus précis, explicite et ambitieux, notamment à l'étape du Programme particulier d'urbanisme (outil de planification avec intégration réglementaire). Le Labo Climat Montréal a fourni plusieurs fiches synthétiques pour nourrir cette démarche.

Enfin, au moment de la mise en œuvre, il est crucial de prévoir des ressources humaines et financières pour s'assurer de la performance, de l'appropriation et de la résilience des nouveaux aménagements et infrastructures, notamment les infrastructures vertes. Par exemple : suivre la conception et les pratiques d'entretien des infrastructures vertes pour garantir leur performance dans le temps, sur le domaine public et le domaine privé, développer des formations, des guides et des balises avec et pour les employé.e.s des travaux publics, encourager le partage de connaissances, ou encore envisager des partenariats avec la société civile pour la mise en place et la gestion de certaines infrastructures vertes.

En plus de ces propositions qui s'inscrivent dans le processus de projet urbain balisé par la Ville de Montréal, le Labo Climat a identifié d'autres défis. Par exemple, il a été constaté que les vagues de chaleur faisaient partie des aléas climatiques les plus urgents à intégrer à nos manières de planifier la ville. Toutefois, elles font très peu partie des processus de planification de projet en amont à Montréal. Il nous semble crucial de mettre en œuvre une stratégie d'adaptation spécifique à cet enjeu, particulièrement pour les friches industrielles et leurs abords. Puis, après plusieurs mois de travail avec la Ville, l'expression de « travail en silo » est souvent ressortie dans les ateliers ou dans les entretiens. Alors que les changements climatiques constituent un enjeu transversal à de nombreuses composantes de la planification urbaine, il importe de pérenniser



Crédit photo : Martine

et de renforcer les collaborations entre les services et les relations avec les acteurs institutionnels externes (particulièrement les acteurs des infrastructures de transport collectif). Leur absence en amont nuit de manière substantielle aux capacités d'adaptation du territoire aux changements climatiques. Enfin, nous avons constaté que la mise en place d'infrastructures vertes se heurte à un manque de lisibilité dans le partage des responsabilités. Pour répondre à cet enjeu, on peut penser à la création d'une instance consacrée à leur déploiement ou à la désignation plus claire du service chargé de leur entretien.

L'ensemble de ces propositions est issu d'un travail mené avec la Ville de Montréal, l'arrondissement de Lachine, et des partenaires de la société civile locale comme Concert'Action Lachine. Même si nos recommandations s'inscrivent dans le contexte montréalais, d'autres villes pourraient tirer des enseignements de cette expérimentation. En effet, si le défi de l'adaptation aux changements climatiques ne peut se régler par une recette miracle, des projets qui réunissent chercheur.euse.s et praticien.ne.s montrent que des pistes d'action émergent aujourd'hui. Il appartient aux élu.e.s et aux administrations urbaines de les concrétiser.

QUELQUES RECOMMANDATIONS DU LABO CLIMAT MONTRÉAL

Au sein du processus de projet urbain balisé par la Ville de Montréal

- Intégrer le climat dans l'évaluation collective de la pertinence du projet et de ses contraintes
- Inclure le climat au moment des délibérations sur différentes hypothèses d'aménagement
- Préciser la contribution des mesures d'encadrement du domaine privé en adaptation
- S'assurer de la performance, de l'appropriation et de la résilience des infrastructures vertes

En dehors du processus de projet urbain balisé par la Ville de Montréal

- Mettre en place une stratégie d'adaptation aux vagues de chaleur
- Mobiliser les acteurs institutionnels externes pour l'adaptation (particulièrement les acteurs du transport collectif)
- Pérenniser les collaborations interservices et les apprentissages dans la structure institutionnelle
- Améliorer la gouvernance fragmentée des infrastructures vertes

RÉFÉRENCES

Carter, J. G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, J. et Kazmierczak, A. (2015). Climate Change and the City: Building Capacity for Urban Adaptation. *Progress in Planning*, 95, 1 66. doi:10.1016/j.progress.2013.08.001.

Healey, P. (2010). *Making Better Places: The Planning Project in the Twenty-First Century*, 2010th edition. Houndmills, Basingstoke, Hampshire ; New York: Palgrave Macmillan.

Holden, M., Scerri, A. et Hadizadeh Esfahani, A.. (2015). Justifying Redevelopment "Failures" Within Urban "Success Stories": Dispute, Compromise, and a New Test of Urbanity. *International Journal of Urban and Regional Research*, 39(3): 451 470. doi:10.1111/1468-2427.12182.

Janin, C., Pecqueur, B. et Besson, R. (2013). Les Living Labs : Définitions, enjeux, comparaisons et premiers retours d'expériences. [Rapport de recherche] PACTE. Repéré à <https://laboclimatmtl.inrs.ca/resultats/aleas-climatiques/>

Majoor, Stan J. H. (2018). Coping with Ambiguity: An Urban Megaproject Ethnography. *Progress in Planning*, 120. 1 28. doi:10.1016/j.progress.2016.07.001.

Orillard, F., Fautrero, V. & Puel, G. (2020). Les Urban Living Labs, une solution innovante pour le renouvellement de la fabrique des services urbains ?. *Géographie, économie, société*, 22, 453-476. <https://doi-org.proxy.bibliotheques.uqam.ca/10.3166/ges.2020.0010>

Pinson, G. (2009). *Gouverner la ville par projet : urbanisme et gouvernance des villes européennes*. Paris: Presses de Sciences Po. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00392900>.

Poitras, C. et Aubry, J.-C. (2004). Étude historique du développement urbain. L'axe du Canal de Lachine – Partie Lachine et LaSalle. Montréal : INRS-Urbanisation Culture Société.

Robbes, B. (2020). Recherche-action, recherches collaboratives en éducation : une analyse. *Distances Et Médiations Des Savoirs*, 29(29). <https://doi.org/10.4000/dms.4707>

Van Neste, S.L., Rochefort, M., Dagenais, D., Paquette, S., Cloutier, G., Lapointe, D., Duchesne, S., Madénian, H., Guillemard, A., Provençal, J., Fournier, C., Chéné, F., Bonneau, A., Demard, E., Houde-Tremblay, E., Poulin, E. (2021). L'adaptation aux changements climatiques dans le réaménagement d'un secteur urbain à Montréal : documentation du processus et expérimentations en ateliers. Montréal (Québec): Labo Climat Montréal. <https://laboclimatmtl.inrs.ca/>



Crédit photo : Christian Barette

Dossier : perspectives municipales

RÉFLEXION ENTOURANT L'INTÉGRATION DE LA GESTION DURABLE ET *IN SITU* DES EAUX DE PLUIE DANS LES OUTILS RÉGLEMENTAIRES

Catherine Fournier

Candidate à la maîtrise en études urbaines
Institut national de la recherche scientifique -
Urbanisation, culture et société

Michel Rochefort

Professeur au Département d'études
urbaines et touristiques
Université du Québec à Montréal

En raison des changements climatiques, le nombre de jours de pluie et la quantité de précipitations devraient augmenter dans certaines régions du Québec, ce qui pose le défi de la gestion durable et *in situ* des eaux pluviales. Pour les régions situées plus au sud, les plus récentes projections montrent que les printemps et les hivers seront marqués par une hausse des précipitations totales d'eau. Pour l'été et l'automne, les événements de pluie seront plus courts, mais plus fréquents et intenses (Ouranos, MSP et MAMH, 2020). Ces changements dans la fréquence et la distribution des événements de précipitation laissent envisager une augmentation de différents phénomènes comme des inondations localisées, des surverses d'eaux usées dans les cours d'eau, des étiages plus prononcés des cours d'eau en période de sécheresse, etc.

Si les villes ont une plus grande marge de manœuvre pour l'implantation de mesures visant la gestion des eaux de pluie sur le domaine public (trottoir, parc, stationnement municipal, etc.), leur déploiement sur le domaine privé reste toutefois tributaire de modifications aux outils d'urbanisme. Une enquête réalisée en 2017-2018 sur l'utilisation des règlements d'urbanisme au Québec montre que la gestion durable et *in situ* des eaux de pluie est peu intégrée aux principaux règlements d'urbanisme, soit entre 20 % et 30 % des différents règlements étudiés (Rochefort, 2019). Bien qu'il soit possible d'émettre l'hypothèse que cet encadrement ira en augmentant, l'utilisation de ces outils comme moyen d'adaptation aux changements climatiques demeure actuellement peu documentée et, par le fait même, faiblement partagée.

Cet article a donc pour objectif d'illustrer comment ces outils peuvent contribuer à une gestion écologique des eaux de pluie et, plus spécifiquement, de décrire trois exemples innovants mis en place par des villes de taille différente. Les informations présentées dans cet article découlent d'un travail de recherche réalisé en 2020 dans le cadre du Labo Climat Montréal¹, une recherche-action partenariale composée d'une équipe de huit professeur.e.s-chercheur.euse.s et de huit stagiaires associée à quatre universités et menée en collaboration avec la Ville de Montréal et Ouranos. Ce travail visait à documenter et à partager des exemples québécois en matière d'encadrement du développement urbain dans une perspective d'action climatique avec différents acteurs impliqués dans le projet Lachine-Est. Deux outils de partage des connaissances ont été créés², soit un document comprenant 13 fiches synthèses et un webinaire présenté à quelques reprises en 2020 et 2021.

Contribution possible des outils d'urbanisme à la gestion durable et *in situ* des eaux de pluie

Les nouvelles réalités climatiques n'impliquent pas nécessairement la création de nouveaux outils d'urbanisme. En effet, les municipalités québécoises ont déjà à leur disposition divers outils permettant d'encadrer la gestion durable de l'eau. Certains outils ont une valeur légale et sont notamment définis à la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (L.R.Q., c. A-19.1). Le Tableau 1 illustre quelques exemples d'outils ainsi que leur utilisation possible pour gérer les eaux de pluie.

En plus des outils réglementaires illustrés au Tableau 1, on assiste également, depuis une dizaine d'années, à l'essor de nouvelles approches pour encadrer le développement urbain. Une de celles-ci est inspirée du concept de *Form-Based Code*, laquelle est davantage axée sur l'encadrement de la forme urbaine (volume et implantation des bâtiments, par exemple) plutôt que sur l'encadrement des différentes fonctions urbaines sur un territoire (résidentielle, industrielle, commerciale, etc.). En principe, l'approche réglementaire

de type *Form-Based Code* mène à la production d'un seul document comprenant à la fois des aspects normatifs et des aspects discrétionnaires (à savoir des aspects évalués au cas par cas). Le *Form-Based Code* peut aussi se décliner à travers la combinaison d'outils plus traditionnels comme le zonage et le règlement sur les plans d'implantation et d'intégration architecturale (PIIA). Popularisé en même temps que l'accroissement des préoccupations en matière de changements climatiques, le *Form-Based Code* prend souvent en compte la gestion des eaux de pluie.

Mentionnons que le contenu et l'application des outils jugés plus traditionnels illustrés au Tableau 1 tendent également à se transformer et à inclure certains éléments ayant une valeur incitative, dont des guides en matière de conception (*Design Guidelines*) et des chartes. Ces outils ont rarement une valeur légale et sont généralement utilisés de manière complémentaire aux outils jugés plus traditionnels. Les guides de conception comprennent généralement des informations et des illustrations servant à orienter les développeur.euse.s dans la réalisation de leur projet, et ce, en vertu des qualités attendues. Quant aux chartes, il s'agit généralement de documents énonçant certains enjeux d'aménagement visant différents éléments comme la qualité des logements, la gouvernance de projets, le développement urbain durable, etc. Elles énoncent, le plus souvent, la vision et les principes partagés entre les individus et les organisations qui y adhèrent. Des incitatifs financiers ou autres (par exemple : un système de certification) peuvent quelquefois être prévus pour encourager l'adhésion des différents acteurs concernés. Cette transformation récente des outils traditionnels prend souvent en compte la gestion des eaux de pluie.

Trois exemples d'outils innovants

Voyons maintenant en détail les normes réglementaires, les critères ou les principes d'aménagement de trois outils d'urbanisme jugés innovants et qui pourraient servir d'exemple en matière de gestion durable et *in situ* des eaux sur le territoire des municipalités du Québec.

1. Pour plus d'informations, vous pouvez consulter le site web du Labo Climat à l'adresse : <https://laboclimatmtl.inrs.ca/>

2. Les fiches synthèses et le support visuel du webinaire sont disponibles à l'adresse : <https://laboclimatmtl.inrs.ca/resultats/modalites-dencadrement-des-projets-urbains/>

Nature de l'outil	Nom de l'outil	Normes et critères possibles
<p>Règlement normatif* issu de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (LAU)</p> <p>*(normes non interprétables, précises et objectives)</p>	<p>Règlement de zonage</p> <p>Règlement de lotissement</p> <p>Règlement de construction</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prévoir un coefficient d'emprise au sol (CES) visant à optimiser l'infiltration des eaux de pluie. • Spécifier, par zone, l'espace qui doit être laissé libre entre les constructions et son aménagement (par ex., les jardins de pluie). • Limiter la longueur des entrées charretières, la présence de stationnement et leur minéralisation. • Obliger tout propriétaire à planter des arbustes ou des arbres et à laisser à l'état naturel certains espaces en vue, notamment, de diminuer la vitesse d'écoulement des eaux de ruissèlement et d'accroître l'infiltration. • Spécifier la manière dont les rues doivent être tracées et construites de façon à diminuer la quantité d'eau de ruissèlement. • Prescrire la superficie et les dimensions minimales des lots afin de prendre en compte le ruissèlement des eaux de pluie. • Régir les opérations cadastrales en fonction de la topographie du terrain, de la proximité d'un cours d'eau, etc. • Prévoir des normes pour l'aménagement des toits verts, l'installation d'ouvrages de rétention d'eau de pluie, etc.
<p>Règlement discrétionnaire* issu de la LAU</p> <p>*(objectifs et critères qui font l'objet d'une appréciation qualitative au cas par cas)</p>	<p>Règlement sur les plans d'implantation et d'intégration architecturale (PIIA), les projets particuliers de construction, de modification ou d'occupation d'un immeuble (PPCMOI) et les plans d'aménagement d'ensemble (PAE)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prévoir des critères relatifs aux bâtiments (toit vert, récupération des eaux, etc.) et/ou à l'aménagement du site (espace végétalisé, revêtement des aires de stationnement, sens d'écoulement des eaux, infiltration des eaux, etc.).
<p>Disposition contractuelle issue de la LAU</p>	<p>Règlement sur les ententes relatives aux travaux municipaux</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Exiger qu'un.e développeur.euse prenne en charge certains travaux en fonction de certaines normes de rejets ou de rétention des eaux. • Prévoir l'intégration de noues végétalisées ou de fossés engazonnés aux infrastructures routières.
<p>Règlement normatif issu de la Loi sur les compétences</p>	<p>Exemple : les règlements visant à limiter les rejets dans les réseaux d'égout</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Interdire le rejet des eaux de gouttières dans le réseau d'égout. • Limiter le débit maximal des eaux de ruissèlement rejetées.

Tableau 1. Exemples d'encadrement contribuant à la gestion durable et *in situ* des eaux de pluie (exemples inspirés, entre autres, de Boucher (2010)).

LE SYSTÈME D'ÉVALUATION EN DÉVELOPPEMENT DURABLE DE LA VILLE DE BROSSARD

Le Système d'évaluation en développement durable (SEDD) de la Ville de Brossard est une grille de pointage à partir de laquelle est évalué l'impact environnemental des projets de développement. Intégrée au Règlement sur les plans d'implantation et d'intégration architecturale, cette grille propose 32 crédits (thèmes) de développement durable, auxquels sont liés des exigences et des pointages respectifs. Tout comme un processus de certification LEED³, le respect des exigences associées à chaque crédit (thème) permet de cumuler des points. Le SEDD ne mène toutefois pas à une certification, mais une note de passage minimale de 60 % est nécessaire afin que les projets soumis au SEDD soient acceptés par le conseil municipal. Il s'agit d'un outil flexible, car les développeur.euse.s choisissent les crédits et les exigences à respecter pour atteindre la note de passage en fonction de leur projet. En imposant certaines exigences associées à un système de pointage, l'outil permet, d'une part, d'encadrer plus objectivement les demandes déposées à la Ville et, d'autre part, d'orienter les développeur.euse.s dans la conception de leurs projets. Cela permet également à la Ville une certaine marge de négociation avec les développeur.euse.s.

À titre d'exemple, le SEDD encourage les développeur.euse.s à se doter d'un plan de gestion des eaux pluviales visant des objectifs précis d'infiltration de l'eau. Un point est obtenu si le projet de développement vise à retenir 50 % des eaux pluviales et un total de quatre si les mesures proposées visent à retenir plus de 80 % des eaux pluviales (voir crédit n° 10 à la Figure 1). De façon complémentaire, des exigences en lien avec le thème sur l'irrigation (crédit n° 23) visent à favoriser l'installation d'un système d'irrigation raccordé à un système de récupération des eaux de pluie ou grise. De nombreux crédits du SEDD portent également sur l'augmentation de la végétation, la plantation d'arbres et les espaces verts, lesquels peuvent contribuer à ralentir l'infiltration de l'eau. Par exemple, pour accroître leur nombre de points, le thème sur la contribution au patrimoine d'espaces publics encourage les développeur.euse.s à céder à la Ville une superficie supérieure au 10 % de terrain normalement demandé pour fins de parcs ou d'aménager des espaces verts privés sur une superficie supérieure à 25 % de ses terrains (voir crédit n° 9 à la Figure 1). Le SEDD accorde également des points pour limiter le nombre de cases de stationnement dans les projets, contribuant ainsi à la réduction des surfaces imperméables (crédit n° 16).

Crédits relatifs au Système d'évaluation en développement durable (SEDD)



CRÉDIT	MOTIF DU CRÉDIT	EXIGENCE
Crédit 9 : Contribution à l'accroissement du patrimoine de parcs et espaces verts collectifs (NIVEAUX 1 et 2)	<i>Contribuer aux parcs et espaces verts au-delà du 10% requis par règlement</i>	<p>Option 1: Céder une compensation pour fins de parcs, terrains de jeux ou espaces naturels (terrain, argent ou une combinaison des deux) équivalent à:</p> <ol style="list-style-type: none"> >10% ≤ 13% de la valeur ou de la superficie des terrains : 2 points ou; >13% ≤ 20% de la valeur ou de la superficie des terrains : 3 points ou; >20% de la valeur ou de la superficie des terrains: 5 points; <p>ET/OU</p> <p>Option 2: aménager des espaces verts privés pour une superficie excédant 25% de la superficie des terrains : 3 points.</p>
Crédit 10 : Gestion des eaux pluviales (NIVEAUX 1 et 2)	<i>Réduire la pollution et l'instabilité hydrologique des eaux pluviales, prévenir les inondations et promouvoir la recharge aquifère.</i>	<p>Mettre en œuvre un plan de gestion des eaux pluviales pour retenir, sur le site même, par infiltration, évapotranspiration ou réutilisation les volumes d'eau pluviale de, minimalement, :</p> <ol style="list-style-type: none"> 50 % des eaux : 1 point ou; 60 % des eaux : 2 points ou; 70 % des eaux : 3 points ou; 80 % des eaux : 4 points.

Figure 1. Exigences et pointages liés aux crédits n° 9 et n° 10 du SEDD.

Source : Extrait tiré du Règlement sur les plans d'implantation et d'intégration architecturale de la Ville de Brossard (REG-361, 2016, p. 31) pouvant être consulté à l'adresse suivante : <https://www.brossard.ca/reglements-urbanisme>.

3. Le processus de certification LEED permet d'attester, par un système de conditions préalables et de crédits, le respect de l'environnement lors de la réalisation d'un bâtiment ou d'un développement.

LE CODE VILLAGEOIS DE LA VILLE DE POINTE-CLAIRE

Le Code villageois est un règlement de type *Form-Based Code* (défini ci-haut) applicable au village de Pointe-Claire. Celui-ci a été découpé en 10 unités paysagères, lesquelles remplacent la division établie au règlement de zonage. Les dispositions normatives et discrétionnaires de chaque unité paysagère sont rassemblées et illustrées dans une fiche thématique permettant de lier l'ensemble des mesures d'encadrement de façon à bien percevoir leurs interactions.

En matière de gestion des eaux de pluie, le Code se démarque sur le plan de la diminution des cases de stationnement et de leur aménagement. En plus de diminuer les ratios maximums autorisés, le Code

introduit une norme visant à encourager le partage des cases de stationnement pour des usages ayant des périodes d'achalandage complémentaires. Une formule mathématique et des facteurs de division entre les usages permettent ainsi de diminuer le nombre minimum requis (Figure 2). De plus, pour tout usage résidentiel de cinq logements et plus, le Code requiert que 25 % des cases minimales requises soient situées dans un stationnement intérieur ou souterrain. Combinées, ces normes contribuent à réduire les surfaces imperméables qui nuisent à une bonne gestion des eaux pluviales. Le Code va toutefois plus loin et intègre des critères de verdissement envisagés en fonction de leur capacité à améliorer la perméabilité des sols. Les critères visent à introduire un minimum de 30 % de surfaces perméables (verdissement ou matériaux perméables) et à encourager l'aménagement de noues de rétention végétalisées.

UP1 – NOYAU VILLAGEOIS CENTRE

UP1.05.13-N

STATIONNEMENT

Partage de stationnement

Le nombre de cases de stationnement requises et maximales est défini par un ratio relatif à l'usage du bâtiment. Afin d'optimiser l'achalandage des stationnements, le partage du stationnement pour les usages ayant des périodes d'achalandage complémentaires est autorisé.

À cette fin, le requérant doit présenter les périodes d'achalandage de ses usages qui justifient le partage du stationnement. Le nombre de cases requises pour des bâtiments d'usages complémentaires est calculé ainsi :

- Additionner le nombre de cases requises par usage.
- Appliquer le facteur de division relatif aux deux usages prédominants et arrondir à l'entier inférieur.

Par exemple, un bâtiment requérant un nombre minimum de dix cases pour usage d'habitation et cinq cases pour usage de commerce de détail aura un nombre minimum requis de 15 cases. On applique ensuite le facteur de division pour des usages complémentaires habitation et commerce (1,2), ce qui nous permet de réduire le nombre minimum requis à 12 cases de stationnement.

(somme des cases min. par usage)/facteur de division

$$(10 + 5) = 15 / 1,2 = 12,5 = 12$$

Nonobstant le résultat obtenu, au moins une case par logement doit être maintenue et les cases doivent être accessibles à la clientèle des commerces.

Facteur de division pour deux usages

	Habitation	Hébergement	Bureau	Commerce
Habitation	1,0	1,1	1,4	1,2
Hébergement	1,1	1,0	1,7	1,3
Bureau	1,4	1,7	1,0	1,2
Commerce	1,2	1,3	1,2	1,0

Utilisation de stationnement hors site

Pour tous les usages non résidentiels, les cases de stationnement sur rue, adjacentes aux limites du lot, peuvent être incluses pour répondre au nombre minimum de cases requises.



Figure 2. Norme sur le partage de stationnement applicable au noyau villageois centre.

Source : extrait tiré du Code villageois de la Ville de Pointe-Claire (2018, p. 26) pouvant être consulté à l'adresse suivante : <https://www.pointe-claire.ca/fr/revitalisation-du-village-de-pointe-claire/>.

LES LIGNES DIRECTRICES D'AMÉNAGEMENT DU NOUVEAU CAMPUS DE L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL (CAMPUS MIL)

Trois guides administratifs ont été conçus par la Ville de Montréal afin de baliser le réaménagement de l'ancienne gare de triage Outremont visant à construire le nouveau campus de l'Université de Montréal (Campus MIL). Ces guides ont été élaborés dans un souci de cohérence entre les aménagements sur le domaine public et les développements immobiliers sur le domaine privé, ainsi qu'entre le projet et ses abords. Ces lignes directrices sont complémentaires à une entente de développement sur les conditions de réalisation du projet signée entre la Ville et l'université en 2011.

Les lignes directrices se démarquent tout particulièrement sur le plan de la gestion des eaux pluviales. Elles sont formulées pour favoriser l'infiltration des eaux, mais aussi pour répondre aux besoins en irrigation. Les lignes directrices émettent un certain nombre de principes généraux, lesquels sont souvent accompagnés d'illustrations (voir Figure 3).

Sur le domaine public, la Ville de Montréal propose de prévoir la captation des eaux pluviales à même les saillies de trottoir et une gestion de l'eau par biorétention au sein des rues partagées (Figure 3). Dans sa programmation des futurs parcs, la Ville prévoit également que deux terrains de sport soient réalisés afin que ces équipements agissent aussi comme des bassins de rétention. La Ville reconnaît également le rôle de rétention des arbres en milieu urbain et prévoit «

4. LIGNES DIRECTRICES COMMUNES

4.4. GESTION INTÉGRÉE DES EAUX DE PLUIE

PRINCIPES D'INTÉGRATION

L'aménagement d'espaces végétalisés permet d'intégrer des aires de biorétention sur le domaine public. Ces installations visent à capter et/ou retenir les eaux de ruissellement sur une courte durée, d'assurer une infiltration dans le sol et la recharge des nappes phréatiques.

Ce type d'infrastructures a deux atouts :

- > Décharger les infrastructures de drainage conventionnelles en diminuant la quantité d'eau envoyée directement à l'égout;
- > Favoriser le développement d'une couverture végétale en utilisant les eaux pluviales à des fins d'irrigation. Le choix de végétaux filtrants permettra de plus un traitement de ces eaux.

Selon l'espace disponible, et en fonction des contraintes locales de chaque rue à étudier lors des avant-projets, les aires de biorétention peuvent prendre des formes distinctes aux capacités différentes en matière de gestion des eaux pluviales :

- > Des avancées de trottoirs;
- > Des noues linéaires en continuité avec les fosses d'arbres, dans les rues ou autres espaces publics linéaires;
- > Des jardins de pluie dans les parcs et places publiques.



Noue linéaire sur trottoir, Bourges, France
(Source : D Paysage)



Jardin de pluie, rue Mountain Sight, Montréal

Figure 3. Lignes directrices applicables sur le domaine public aux abords du Campus MIL.

Source : Extrait tiré et autorisé du guide intitulé « Lignes directrices d'aménagement du domaine public des abords du site Outremont » de la Ville de Montréal (2019, p. 34).

l'utilisation de systèmes de biorétention, l'installation de pavés perméables ou l'agrandissement de l'ouverture des fosses » (2019, p. 28) pour récupérer l'eau et permettre à l'arbre de se nourrir correctement. La Ville accorde de plus une grande importance à la résilience des espèces arboricoles et végétales face aux pressions biologiques, climatiques et environnementales. Les lignes directrices viennent spécifiquement préciser les espèces les plus appropriées aux différents espaces et conditions, notamment face aux épisodes de pluies abondantes. Par exemple, des végétaux ont spécifiquement été recommandés pour tolérer la sécheresse prolongée et, en période de pluie abondante, le fait d'être submergés d'eau.

Sur le domaine privé, les lignes directrices sur le verdissement ont été formulées pour compléter les interventions, parfois limitées, sur le domaine public. Les lignes directrices annoncées aux développeur.euse.s portent principalement sur l'aménagement des parterres verdis, la rétention des eaux en toiture, le verdissement des cours avant, la plantation d'arbres et la mise en place d'infrastructures vertes dans les aires de stationnement extérieures.

À CHACUN SON CONTEXTE ET SON JEU D'OUTILS

Les outils d'urbanisme permettent aux villes d'évoluer et de se développer de façon globale, durable et harmonieuse. Les municipalités québécoises disposent d'ores et déjà d'une panoplie d'outils et de pouvoirs pour encadrer la gestion des eaux pluviales. Le choix des différents outils à utiliser est crucial, car il vient définir, en partie, la contribution ou l'effort demandé aux différents acteurs publics ou privés en ce qui a trait à cet enjeu d'intérêt collectif. Le contenu des différents outils n'est pas uniquement une question légale, mais il dépend également de choix politiques (ce que l'on souhaite couvrir ou non) et des conditions de marché (ce que l'on est capable d'exiger). Pour les professionnel.le.s qui auront à réviser les outils d'urbanisme dans les prochaines années et qui souhaiteraient se doter d'une nouvelle approche réglementaire en matière de gestion des eaux de pluie, il pourrait être utile de parcourir les fiches synthèses qui ont été réalisées sur 13 outils d'urbanisme innovants utilisés au Québec. Par la suite, cette série de questions pourrait également aider à déterminer le(s) type(s) d'outils à adopter :

1. D'abord, quelles sont les priorités en matière de gestion des eaux pluviales (ou autre enjeu climatique) pour votre organisation? Ces priorités sont-elles spécifiques à un secteur ou s'appliquent-elles également à d'autres secteurs?

2. Ensuite, quelles sont les ressources de l'administration municipale pour répondre aux priorités identifiées (budget, connaissance, temps, marché, etc.)?
3. Enfin, eu égard aux réponses données aux deux premières questions, quels sont les avantages et les désavantages associés à chaque outil et comment est-il possible de combiner ces outils pour atteindre les résultats recherchés?

N'oublions pas que l'opinion et les demandes des citoyen.ne.s peuvent également avoir une influence sur les choix politiques et, par conséquent, sur le contenu des outils d'urbanisme. Rappelons qu'avec les changements climatiques, les variations dans les régimes des précipitations se traduiront par des perturbations dans divers types d'événements climatiques, lesquels pourront entraîner des répercussions sur les propriétés immobilières, les finances publiques et privées, les activités quotidiennes et la qualité de vie. Les activités de consultation publique sur la révision des outils d'urbanisme sont l'un des espaces permettant aux citoyen.ne.s d'exprimer leurs préoccupations eu égard à la gestion des eaux et, plus généralement, à la prise en compte des impacts des changements climatiques à l'échelle locale. Les organismes de bassin versant du Québec (OBV) publient également différentes ressources et organisent de nombreuses activités sur différents thèmes associés à la gestion intégrée de la ressource eau.

RÉFÉRENCES

Boucher, I. (2010). *La gestion durable des eaux de pluie, Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable.* Repéré sur le site du ministère des Affaires municipales et de l'Habitation : https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_gestion_eaux_pluie_complet.pdf.

Ouranos, en collaboration avec le ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH) et le ministère de la Sécurité publique (MSP). (2020). *Fiches synthèses régionales d'adaptation aux changements climatiques.* Repéré sur le site du ministère des Affaires municipales et de l'Habitation : <https://www.mamh.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/lutte-contre-les-changements-climatiques/fiches-syntheses-regionales-dadaptation-aux-changements-climatiques/>.

Rochefort, M. (2019). *Enquête sur l'utilisation des règlements d'urbanisme prévus à la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme.* Repéré sur le site du ministère des Affaires municipales et de l'Habitation : https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/documentation/sommaire_enquete_rlau_mamh.pdf.

LUTTER CONTRE LES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Laurie-Maude Drapeau

Conseillère scientifique

Institut national de santé publique du Québec

La hausse constante de la température observée et projetée accentue un problème déjà connu : l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU). Ce phénomène se caractérise par des températures estivales plus élevées en milieu urbain que dans les zones rurales environnantes. Cette différence de température, principalement attribuable au cadre bâti urbain, varie généralement entre 1 °C et 3 °C, et peut s'élever jusqu'à 12 °C à certains endroits (Oke et al., 2017), s'avérant ainsi particulièrement menaçante pour les populations urbaines. D'après les projections du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il est très probable que de nombreuses villes du monde subiront une hausse de la fréquence et de la durée des vagues de chaleur (Pachauri et al., 2015), accentuant ainsi l'effet d'ICU. Selon le scénario d'émissions élevées (RCP 8.5, GIEC 2014), il est prévu que le nombre annuel de jours où la température maximale est supérieure à 30 °C triple à l'horizon 2041-2070 dans la plupart des villes du Québec, comparativement à la période de référence de 1981 à 2010 (Ouranos, 2020). La saison estivale de 2018 a été la plus chaude répertoriée en 146 ans d'observations météorologiques au sud du Québec, générant 86 décès supplémentaires¹ (Lebel, G., Dubé, M., & Bustinza, R., 2019). Des chercheurs ont estimé la valeur de l'augmentation des décès liés aux périodes de chaleur au Canada entre 2031 et 2080 comparativement à la période de 1971 à 2020. Ce chiffre varie entre 45 % et 455 % en fonction des différents scénarios considérant le taux d'émission de gaz à effet de serre (GES), la croissance démographique et la mise en œuvre de mesures d'adaptation (Santé Canada, 2020). Il importe ainsi de travailler à améliorer la résilience à la chaleur des villes au bénéfice de la santé de la population.



Crédit photo : Linh Nguyen

Impacts sanitaires

Les ICU peuvent aggraver les effets des grandes chaleurs, lesquelles peuvent provoquer des effets directs sur la santé, comme la déshydratation, l'hyperthermie, le syndrome d'épuisement par la chaleur ou encore le coup de chaleur. Des effets indirects venant aggraver une maladie sous-jacente comme le diabète, les pathologies chroniques débilantes, l'insuffisance respiratoire, les maladies cardiovasculaires, cérébrovasculaires, neurologiques et rénales, au point de causer la mort (Bélanger *et al.*, 2019). Les personnes âgées, de même que les personnes souffrant de troubles de santé mentale et celles ayant un faible revenu socio-économique ou n'ayant pas les moyens financiers de mettre en place des mesures d'adaptation (comme la climatisation) constituent les groupes les plus à risque lors d'épisodes

1. Excès significatif de décès possiblement liés à la chaleur en 2018, en comparaison avec la période de 2013 à 2017 (Lebel, Dubé, et Bustinza, 2019).



Au-delà de la climatisation

La climatisation, par le refroidissement de l'air qu'elle induit, permet d'abaisser l'humidité relative de l'air à l'intérieur des bâtiments et améliore ainsi le confort thermique des occupants. Cependant, elle ne doit pas être considérée comme l'unique moyen de rafraîchir les milieux intérieurs (domiciles, lieux publics, de travail, etc.), car en plus de la grande demande énergétique qu'elle crée, une climatisation accrue et généralisée entraîne des rejets d'air chaud dans l'air extérieur, accentuant l'ICU. De même, la climatisation est susceptible de réduire la tolérance à la chaleur des individus et, lorsque mal utilisée et entretenue, peut favoriser le développement de contaminants microbiologiques dans l'habitation (Gervais *et al.*, 2016). Il s'avère donc important d'envisager des solutions de rechange et plus durables tant pour l'environnement que pour la santé des générations actuelles et futures.

Des moyens pour se rafraîchir

VÉGÉTALISATION

Les mesures de verdissement amènent des gains de fraîcheur élevés via l'évapotranspiration et l'ombrage qu'elles procurent en milieu urbain. La végétation sur les toits et les murs peut également jouer un rôle important dans l'isolation des bâtiments, en les gardant frais pendant la saison estivale et en limitant les pertes de chaleur l'hiver (Filho *et al.*, 2017). Plusieurs stratégies de végétalisation existent : espaces verts urbains, végétalisation des stationnements, murs végétaux, toits verts, etc.

Une étude montréalaise a montré que la diversification et la complexification des espaces verts, notamment des surfaces gazonnées, peut être efficace afin d'améliorer leur performance écologique en termes de régulation de la température. En comparant les surfaces gazonnées tondues à trois autres types de végétation basse (champs herbacés non entretenus, friches arbustives non entretenues, haies arbustives faiblement entretenues), il a été observé que des gradients de complexité variés permettaient d'augmenter les services écosystémiques rendus, que ce soit pour l'atténuation des ICU ou le support à la biodiversité. En effet, les autres types d'aménagement affichaient en moyenne une température de surface de 5 °C inférieure par rapport aux surfaces gazonnées tondues lors d'une journée ensoleillée et sans vent. De même, la température de surface maximale affichée pour la friche arbustive était d'environ 20 °C inférieure à celle de la surface gazonnée tondu.

de chaleur extrême (Santé Canada, 2012; Bélanger *et al.*, 2019; Leal Filho *et al.*, 2018). Selon une étude réalisée dans les zones les plus défavorisées de 9 grandes villes québécoises, la prévalence des effets néfastes autodéclarés sur la santé induits par la chaleur, était de 46 %, dont un quart a conduit à une consultation médicale. Les auteurs de cette étude soulignent qu'au Québec, comme ailleurs au Canada et dans plusieurs pays, les secteurs défavorisés ont tendance à être soumis à des températures moyennes plus élevées par rapport aux quartiers plus aisés. En effet, ils sont souvent situés dans des zones exposées à la chaleur où les espaces verts sont insuffisants et les logements de mauvaise qualité, notamment sur le plan de l'isolation thermique pour faire face aux températures estivales (Bélanger *et al.*, 2015). Ainsi, le cumul d'une forte exposition et de plusieurs vulnérabilités préalables sont des facteurs contribuant à accentuer le risque de subir des effets négatifs liés à la chaleur.

La complexification des espaces verts en termes d'espèces végétales et de hauteur de végétation peut être effectuée à faibles coûts en diminuant l'intensité et la fréquence de l'entretien (Francoeur *et al.*, 2018).

Le choix des espèces aux fins de végétalisation urbaine doit être fait de façon judicieuse afin d'assurer une bonne densité du feuillage qui permettra, lorsque l'arbre est mature, une bonne filtration du rayonnement solaire. Au Québec, la végétation choisie pour protéger les bâtiments du rayonnement solaire estival doit avoir un feuillage caduc, mais peu de branchage pour réduire l'ombrage au minimum pendant les autres saisons, lorsque le gain solaire est souhaité (Écohabitation, 2020). Chaque mesure de verdissement doit être évaluée en tenant compte du lieu d'implantation et de la présence d'installations des services publics (Gendron-Bouchard, 2013) et des perturbations climatiques (résistance aux changements climatiques) et anthropiques (conditions d'entretien) (Paquette et Cameron, s.d. ; Messier, s.d.).

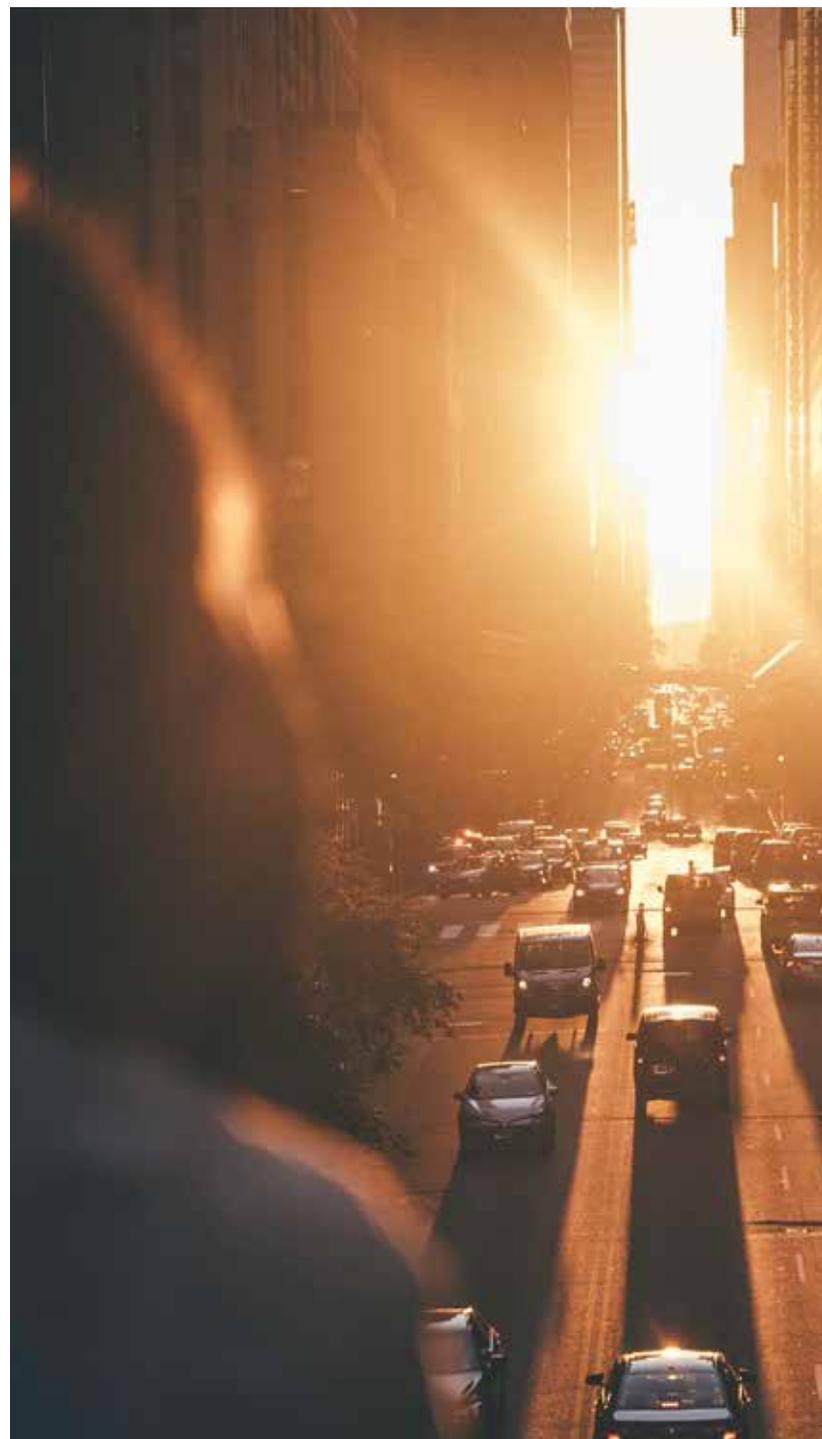
Les principes de la diversité fonctionnelle sont à prendre en compte afin de favoriser la résilience des écosystèmes. Cette diversité ne découle pas seulement de l'augmentation du nombre d'espèces plantées, mais également de la diversité des caractéristiques biologiques (traits fonctionnels) des espèces. Les espèces ont développé des traits qui leur sont particuliers et qui leur permettent de survivre et de se développer dans des conditions diverses. Étant donné qu'aucune espèce ne peut résister à l'ensemble des stress auxquels elle peut être exposée, il importe de multiplier la diversité biologique en optant pour des espèces tolérantes aux vents violents, à la sécheresse, aux inondations, aux froids intenses, aux insectes, etc. (Paquette et Cameron, s.d.).

De plus, certaines espèces ont un pouvoir allergisant qui peut avoir des impacts sur la santé de la population. Étant donné que le réchauffement climatique risque d'allonger la saison pollinique, il s'avère essentiel d'acquérir une meilleure connaissance des espèces d'arbres ayant un potentiel allergène et de leur distribution dans les espaces urbains afin de soutenir le verdissement urbain tout en limitant les risques d'allergies (Sousa-Silva *et al.*, 2020).

Dans les parcs et les espaces verts, les effets combinés de l'évapotranspiration et de l'ombrage amènent une diminution significative de la température et créent ce qu'on appelle des îlots de fraîcheur urbains (Gago *et al.*, 2013). La végétation a un effet de rafraîchissement moyen de 1 à 4,7 °C qui s'étend sur 100–1000 mètres en zone urbaine, mais dépend fortement de la quantité d'eau dont la plante ou l'arbre dispose (Kleerekoper *et al.*, 2012).

La végétalisation des stationnements, grâce à des bandes végétalisées en pourtour ou à des îlots végétalisés à l'intérieur des espaces de stationnement, permet de réduire la chaleur emmagasinée par les surfaces asphaltées. À cet effet, le Guide de mise en œuvre d'un stationnement écoresponsable, élaboré conjointement par le Conseil régional de l'environnement et du développement durable de l'Outaouais et le Conseil régional de l'environnement de Montréal, propose des moyens concrets afin d'aménager des aires de stationnement de manière à limiter la formation d'ICU.

Dans un contexte d'urbanisation croissante, les murs végétaux de même que les toits verts sont considérés comme une approche prometteuse pour verdir les villes où les espaces verts sont rares et les espaces



au sol limités (Charoenkit & Yiemwattana, 2016). Bien qu'une grande variété végétale favorise la biodiversité, il faut cependant considérer que différentes espèces végétales nécessitent des conditions d'habitat différentes et qu'elles doivent donc être choisies avec soin (Ekren, 2017). Il faut également prendre en compte qu'un mur végétal appliqué sur la façade sud d'un bâtiment a besoin d'une plus grande quantité d'eau comparativement à un mur végétal installé sur la façade nord en raison de l'évaporation (Ekren, 2017). Les toits verts offrent à la fois un rafraîchissement actif (par évaporation) et passif (par l'isolation). La température interne de tout bâtiment sous un toit vert est susceptible d'être plus fraîche, ce qui réduit le besoin en climatisation, et donc la consommation d'énergie et les émissions de carbone

(Charlesworth, 2010). Les espèces doivent être choisies de manière à être économes en eau afin de résister à la sécheresse estivale. Sookhan et al. (2018) ont étudié les services de thermorégulation fournis par des toits verts extensifs pendant les saisons chaudes et froides à Toronto. Ils ont observé que le sédum a surpassé un mélange de graminées vivaces et de fleurs herbacées indigènes au cours de la période d'enquête interannuelle totale. La prairie fleurie dépendrait davantage de l'irrigation supplémentaire que le sédum et serait plus sensible à la variabilité climatique interannuelle. Les résultats soulignent l'importance de la sélection des plantes et de l'identification des traits qui correspondent non seulement aux conditions microclimatiques en été, mais aussi en hiver. La Figure 1 présente un toit végétal extensif réalisé avec du sédum. Dans les dernières années, certains pays développés comme les États-Unis, le Canada, l'Australie, Singapour et le Japon ont invoqué de nouvelles normes pour la modernisation rentable et économe en énergie des bâtiments existants et des nouvelles applications construites avec des systèmes de verdure. Au Canada, une norme a été mise en place pour que les systèmes de verdure couvrent entre 20 et 60 % de la surface du toit lorsque la surface de plancher du bâtiment est supérieure à 2000 m² (Besir & Cuce, 2018).

Crédit photo : Lerone Pieters

Infrastructures urbaines durables

L'intensification de l'urbanisation des dernières décennies a favorisé l'imperméabilisation des surfaces via la modification des types de recouvrement des sols (par exemple l'asphalte et le béton). Les surfaces imperméables, en minimisant l'infiltration de l'eau en ville, limitent l'effet rafraîchissant qui peut être obtenu par l'évaporation de l'eau provenant des sols. Les matériaux perméables, comme les structures permettant l'engazonnement ou les revêtements en béton poreux permettent un rafraîchissement urbain en favorisant l'infiltration de l'eau et l'évaporation. Des aménagements permettant la rétention de l'eau, comme les jardins pluviaux, peuvent également être implantés en milieu urbain. Les jardins privés peuvent être utilisés comme jardins de pluie, favorisant l'infiltration lente de l'eau. Une meilleure gestion des eaux pluviales amène de nombreux bénéfices, que ce soit l'atténuation de l'ICU, la résilience aux inondations ou l'amélioration de la qualité des eaux. Il s'agit d'une approche qui doit être considérée comme un moyen de lutter contre les changements climatiques et les phénomènes exacerbés par ces derniers, comme les ICU (Charlesworth, 2010).



Figure 1. Toit végétal extensif. Crédits photos @MDD

Divers types de surfaces caractérisent les zones urbaines. L'ICU résulte de la chaleur absorbée par ces surfaces, puis rayonnée. L'utilisation de matériaux à albédo² élevé (par exemple gravier blanc ou membranes réfléchissantes), bien qu'engendrant des résultats moins importants en termes de gain de fraîcheur et de biodiversité comparativement à la végétalisation, constitue une stratégie qui est relativement simple à mettre en place, peu coûteuse et qui permet de couvrir de plus grandes surfaces (Kleerekoper *et al.*, 2012). Néanmoins, à long terme, ces matériaux se salissent avec la pollution urbaine et deviennent moins efficaces (Lontorfos *et al.*, 2018). Il est à noter que les matériaux des terrains artificiels (synthétiques) absorbent et stockent la chaleur, augmentant considérablement les températures de surface et de l'air (Macfarlane *et al.*, 2015). Ils sont donc à éviter, car ils amplifient le phénomène d'ICU. Les quartiers densément construits et les rues étroites réduisent le flux d'air et les effets de rafraîchissement naturel en retenant et en empêchant la chaleur de monter vers le ciel. La vitesse du vent est réduite à l'approche des bâtiments ; ainsi, plus la morphologie urbaine est ouverte, meilleure est l'exposition au vent. À partir de simulations, il a été observé qu'à Montréal, dans une zone dégagée, la vitesse du vent est d'environ 2,5 m/s, tandis que dans un endroit compact, la vitesse du vent est d'environ 0,5 m/s (Lai *et al.*, 2019). Il est possible de favoriser le confort thermique en prenant en compte la circulation des vents dans la planification urbaine.

2. Fraction du rayonnement solaire incident réfléchi par une surface ou un corps (Source : Gago *et al.*, 2013).

Espaces bleus urbains

Les espaces bleus (lacs, rivières, étangs, fontaines, etc.), selon l'heure de la journée et la saison, peuvent agir comme une source de chaleur ou de rafraîchissement en milieu urbain. Lorsqu'un plan d'eau est intégré dans le noyau urbain, un effet rafraîchissant de l'ordre de 1 à 3 °C peut être généré dans leur voisinage (~ 30 m) pendant la journée (Ampatzidis & Kershaw, 2020). Il a été observé qu'un étang de 4 m x 4 m peut rafraîchir un environnement urbain en été d'environ 1 °C à une hauteur de 1 m, mesuré à une distance de 30 m de celui-ci (Kleerekoper *et al.*, 2012).

Des vents relativement forts au-dessus de la surface de l'eau augmentent l'évaporation et accentuent l'effet de rafraîchissement, tandis que lorsque la vitesse du vent est relativement faible, l'augmentation de la teneur en vapeur d'eau limite la perte de chaleur par évaporation et peut entraîner une diminution de l'effet de rafraîchissement (Ampatzidis & Kershaw, 2020).

Les espaces bleus sont, en général, plus efficaces lorsqu'ils ont une grande surface, ou lorsque l'eau coule ou se disperse, comme à partir d'une fontaine (Kleerekoper *et al.*, 2012). En se concentrant principalement sur les études qui impliquent des technologies basées sur l'évaporation de l'eau (par exemple, des arroseurs, rideaux d'eau ou fontaines) installés dans les espaces publics pour atténuer le stress thermique, il a été observé qu'en moyenne, les techniques à base d'eau fournissent un effet de rafraîchissement moyen de 1,9 °C. Ainsi plus la température de l'air est élevée, plus le potentiel de rafraîchissement est élevé (Ampatzidis & Kershaw, 2020).

La mise en place de fontaines peut être considérée comme une bonne option coûts/bénéfices dans des espaces spécifiques à forte utilisation, comme les rues ou les places publiques. Avec une conception intelligente, il est possible d'utiliser le même espace à d'autres fins en hiver (par exemple, la création d'environnements éphémères) [Kleerekoper *et al.*, 2012].

En plus de favoriser la fraîcheur dans les milieux urbains, les mesures de lutte contre les ICU engendrent de nombreux cobénéfices, notamment la réduction de la demande en énergie (par exemple pour la climatisation et la ventilation mécanique), la diminution à la source de la pollution de l'eau et de l'air (incluant la réduction des émissions de GES), une meilleure gestion des eaux pluviales, l'augmentation de la biodiversité urbaine [Filho *et al.*, 2017], de même que des bienfaits sur la santé physique et mentale [Beaudoin & Levasseur, 2017]. Il est à noter que les mesures d'atténuation de l'ICU sont plus efficaces en combinaison les unes avec les autres; le projet EPICEA de Météo-France a bien montré l'intérêt de mettre en œuvre plusieurs stratégies pour augmenter l'effet rafraîchissant à Paris. Les modélisations ont effectivement démontré que la combinaison des trois interventions : modification des paramètres radiatifs (toits et murs réfléchissants), l'ajout d'eau (humidification des chaussées) et l'ajout de végétation s'est avérée plus efficace en termes de réduction de l'ICU que chacune des mesures prises individuellement [Météo-France, 2012].

Conclusion

Dans de nombreuses zones urbaines, la concentration des routes, des bâtiments et d'autres matériaux de construction à forte capacité d'absorption de chaleur, liée au manque de végétation, crée des microclimats locaux distincts de ceux des zones en périphérie urbaine, amenant ainsi l'effet d'ICU. Les stratégies d'aménagement visant le cumul des mesures de lutte contre l'ICU sont susceptibles d'être plus efficaces afin de protéger la population face à la chaleur accablante. En plus de leur exposition différentielle en raison des quartiers défavorisés généralement situés dans des zones fortement exposées à la chaleur jumelée à une mauvaise isolation thermique des bâtiments, les populations les plus vulnérables peuvent ne pas avoir la capacité physique, mentale ou financière de s'adapter aux journées de forte chaleur. Adapter les villes et les bâtiments pour limiter l'effet d'ICU est indispensable d'un point de vue de santé publique. En plus d'améliorer les conditions de confort thermique, la mise en place de mesures de lutte contre les ICU amène de nombreux bienfaits sur la santé humaine, tant mentale que physique, et prévient les morbidités et mortalités liés à la chaleur.

RÉFÉRENCES

- Ampatzidis, P., et Kershaw, T. (2020).** A review of the impact of blue space on the urban microclimate. *Science of the Total Environment*, 730, 139068. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139068>
- Besir, A. B., et Cuce, E. (2018).** Green roofs and facades : A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(Part 1), 915-939.
- Bélanger, D., Gosselin, P., Valois, P., et Abdous, B. (2015).** Neighbourhood and dwelling characteristics associated with the self-reported adverse health effects of heat in most deprived urban areas : A cross-sectional study in 9 cities. *Health & Place*, 32, 8-18. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2014.12.014>
- Bélanger, D., Gosselin, P., Bustinza, R., Campagna, C., et Sant'Ana, M. (2019).** *Changements climatiques et santé : Prévenir, soigner et s'adapter*. Presses de l'Université Laval.
- Beaudoin, M., Levasseur, M.-E., Institut national de santé publique du Québec, et Direction de la santé environnementale et de la toxicologie. (2017).** *Verdir les villes pour la santé de la population : Revue de la littérature*. <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2977691>
- Charlesworth, S. M. (2010).** A review of the adaptation and mitigation of global climate change using sustainable drainage in cities. *Journal of Water and Climate Change*, 1(3), 165-180. <https://doi.org/10.2166/wcc.2010.035>
- Charoenkit, S., et Yiemwattana, S. (2016).** Living walls and their contribution to improved thermal comfort and carbon emission reduction : A review. *Building & Environment*, 105, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.031>
- Écohabitation. (2020).** Éviter la surchauffe solaire grâce à des éléments extérieurs. Repéré à <https://www.ecohabitation.com/guides/2803/eviter-la-surchauffe-solaire-grace-a-des-elements-exterieurs/>
- Ekren, E. (2017).** Advantages and risks of vertical gardens. *Bartn Orman Fakultesi Dergisi*, 19(1), 51-57.
- Filho, W. L., Icaza, L. E., Emanche, V. O., et Al-Amin, A. Q. (2017).** An evidence-based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat islands. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1600. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121600>
- Francoeur, X., Dupras, J., Dagenais, D., et Messier, C. (2018).** La fin du Gazon. Comment complexifier les espaces verts du Grand Montréal pour s'adapter aux changements globaux [mémoire]. Fondation David Suzuki. https://fr.davidsuzuki.org/wp-content/uploads/sites/3/2018/11/DSF-La-fin-du-gazon_Final_2018-11-22.pdf
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013).** The city and urban heat islands : A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749-758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>
- Gendron-Bouchard, J.-P. (2013).** *Analyse des outils administratifs et des mesures de lutte aux îlots de chaleur dans les milieux de vie des communautés thermiquement vulnérables à Montréal* [essai]. Université de Sherbrooke. https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2013/Gendron-Bouchard_JP__2014-01-21__01.pdf

Gervais, M.-C., Laliberté, C., Lajoie, P., et Institut national de santé publique du Québec. (2016). *Mesures d'adaptation à la chaleur, confort thermique et qualité de l'air intérieur dans l'habitation : Synthèse des connaissances.* Repéré à <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2637783>

Kleerekoper, L., Esch, M. van, et Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Special Issue: Climate Proofing Cities.*, 64, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004>

Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., et Chen, Q. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of the Total Environment*, 661, 337-353. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>

Leal Filho, W., Echevarria Icaza, L., Neht, A., Klavins, M., et Morgan, E. A. (2018). Coping with the impacts of urban heat islands. A literature based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1140-1149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.086>

Lebel, G., Dubé, M., et Bustinza, R. (2019). *Surveillance des impacts des vagues de chaleur extrême sur la santé au Québec à l'été 2018.* Bulletin d'information en santé environnementale. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/bise/surveillance-des-impacts-des-vagues-de-chaleur-extreme-sur-la-sante-au-quebec-l-ete-2018>

Lontorfos, V., Efthymiou, C., et Santamouris, M. (2018). On the time varying mitigation performance of reflective geoenvironmental technologies in cities. *Renewable Energy: An International Journal*, 115, 926-930. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.033>

Macfarlane, R., Carrasco, C., Alam, Y., et Archbold, J. (2015). *Health Impact Assessment of the Use of Artificial Turf in Toronto.* Toronto Public Health. https://www.toronto.ca/wp-content/uploads/2017/11/9180-HIA_on_Artificial_Turf_Summary_Report_Final_2015-04-01.pdf

Messier, C. (s.d.). Infrastructures vertes : Développement d'une stratégie multi-échelle basée sur la complexité et la résilience en milieu urbain. Rapport final pour projet # 554017 [ouranos.ca]

Météo-France. (2012). Étude pluridisciplinaire des impacts du changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne. https://www.cnrm-game-meteo.fr/IMG/pdf/epicea-rapport-final_v4.pdf

Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., et Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates.* Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>

Ouranos. (2020). Portraits climatiques. <https://www.ouranos.ca/portraits-climatiques/#/>

Pachauri, R. K., Meyer, L. A., et Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat. (2015). *Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse.*

Paquette et Cameron. (s.d.). L'approche fonctionnelle. L'approche fonctionnelle [ouranos.ca]

Santé Canada. (2020). *Réduire les îlots de chaleur urbains pour protéger la santé au Canada.* <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/health/publications/healthy-living/reducing-urban-heat-islands-protect-health-canada/Reducing-Urban-Heat-FR.pdf>

Santé Canada. (2012). *Élaboration de systèmes d'avertissement et d'intervention en cas de chaleur afin de protéger la santé : Guide des pratiques exemplaires.*

Sookhan, N., Margolis, L., et Scott MacIvor, J. (2018). Inter-annual thermoregulation of extensive green roofs in warm and cool seasons : Plant selection matters. *Ecological Engineering*, 123, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.08.016>

Sousa-Silva, R., Smargiassi, A., Paquette, A., Kaiser, D., et Kneeshaw, D. (2020). Exactly what do we know about tree pollen allergenicity? *The Lancet Respiratory Medicine*, 8(3), e10. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(19\)30472-2](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(19)30472-2)



Crédit photo : Pat Whelen

Enjeux de société

LES PERSONNES HANDICAPÉES DANS LE CONTEXTE DE LA CRISE CLIMATIQUE

Sébastien Jodoin¹

Professeur, Faculté de droit
Chaire de recherche du Canada
sur les droits humains, la santé
et l'environnement
Université McGill

Jean-Philippe Lemay

Professionnel de recherche
Faculté de droit
Université McGill

Nilani Ananthamoorthy

Professionnelle de recherche
Faculté de droit
Université McGill

Katherine Lofts

Professionnelle de recherche
Faculté de droit
Université McGill

La vulnérabilité particulière des personnes handicapées aux impacts des changements climatiques est notamment reconnue par l'*Accord de Paris* ainsi que des résolutions du Conseil des droits de l'homme des Nations Unies. Pourtant, les décideurs et décideuses ont accordé peu d'attention aux enjeux de handicap dans les efforts d'atténuation et d'adaptation climatique, rendant « invisibles » les besoins et les perspectives spécifiques des personnes handicapées.

Cet article emploie le modèle du handicap axé sur les droits humains pour analyser la manière dont les changements climatiques et les efforts pour les combattre affectent les personnes handicapées. Enchâssée dans la *Convention des Nations Unies relative aux droits des personnes handicapées* (CNUDPH), cette approche conçoit les personnes handicapées comme détenteurs et détentrices de droits, dont celui à l'égalité. Pour les États parties, dont le Canada, il en découle l'obligation d'éliminer les sources de discrimination, mais aussi les obstacles physiques, économiques, institutionnels et sociaux qui entravent la pleine jouissance de leurs droits dans la société (CNUDPH, art. 4). Enfin, ce modèle adopte une approche intersectionnelle reconnaissant le rôle que d'autres formes de marginalisation et de discrimination peuvent jouer pour désavantager les femmes, les enfants et les minorités ethniques avec un handicap (CNUDPH, art. 5-7). Nous soutenons que ce modèle est essentiel pour comprendre les impacts différentiels des changements climatiques et garantir les droits des personnes handicapées dans les politiques climatiques. En mettant en place un processus inclusif, une telle approche permet aussi d'assurer une transition plus juste et une plus grande résilience climatique pour l'ensemble de la population.

Les impacts des changements climatiques pour les personnes handicapées

Les changements climatiques ont un impact croissant sur la vie, la santé et les autres droits fondamentaux de l'ensemble de la population et encore davantage sur ceux des groupes marginalisés qui sont particulièrement vulnérables à leurs effets néfastes, comme les personnes handicapées (Jodoin, Lofts et Ananthamoorthy, 2020). L'augmentation des catastrophes météorologiques et des maladies accompagnant les changements climatiques sera responsable de centaines de milliers de morts supplémentaires par année (DARA, 2012). Or, le taux de mortalité des personnes handicapées est disproportionnellement plus élevé lors de catastrophes naturelles et d'événements météorologiques extrêmes. Par exemple, les personnes ayant des troubles de santé mentale sont au moins trois fois plus susceptibles de mourir d'une vague de chaleur que la population générale (Bouchama *et al.*, 2007).

Dans le contexte canadien, la vague de chaleur qui a causé 66 décès à Montréal en juillet 2018 illustre les effets disproportionnés des changements climatiques sur les Canadiennes et Canadiens handicapé.e.s. Selon une étude gouvernementale sur cette canicule, les personnes atteintes de schizophrénie représentaient 25,8 % des décès, même si elles ne représentent que 0,6 % de la population (Lamothe, Roy et Racine-Hamel, 2019). Cette surreprésentation des personnes atteintes de schizophrénie peut être attribuée à trois facteurs principaux : la nature de leurs médicaments qui altère leur thermorégulation, leur isolement des systèmes de soutien communautaire et familial et les niveaux sous-jacents de pauvreté qui réduisent leur accès à la climatisation.

De manière générale, la vulnérabilité accrue des personnes handicapées s'explique d'abord par des environnements, des politiques et des cultures invalidants. Les personnes handicapées sont souvent marginalisées et appauvries en raison de leur accès limité à l'éducation, aux revenus, aux forums sociaux et aux autorités décisionnelles. Par conséquent, cette communauté est négligée dans l'élaboration des politiques d'adaptation aux changements climatiques et peine à obtenir les services et les informations nécessaires dans un délai approprié et un format accessible. Par exemple, les facteurs personnels

augmentant les risques liés aux catastrophes naturelles des personnes handicapées sont accentués par la négligence des autorités, la pauvreté, l'inaccessibilité de l'information, la conception d'infrastructures physiques inaccessibles et parce que ce groupe est trop souvent considéré comme celui méritant le moins d'être sauvé (Abbott et Porter, 2013).

Enfin, il est important de souligner que les personnes handicapées ne constituent pas une communauté homogène et font face à des expériences d'oppression complexes déterminées par une confluence d'écarts sociaux et de pouvoirs. Leur vulnérabilité aux changements climatiques résulte de structures sociales et de relations préexistantes influencées par le croisement et l'amplification de facteurs tels que le sexe, l'ethnicité, l'indigénité, la classe et l'âge. Par exemple, la pauvreté joue un rôle important dans la capacité des individus et des communautés à s'adapter aux conséquences des changements climatiques. On constate aussi que les femmes avec un handicap font face à des obstacles supplémentaires à la résilience climatique qui découlent de l'inégalité entre les sexes. Ainsi, il est impératif qu'une approche fondée sur les droits des personnes handicapées prenne également en compte les multiples formes d'oppression auxquelles sont confrontées différentes catégories de personnes handicapées.

La négligence des personnes handicapées dans la gouvernance climatique

Les personnes handicapées et leurs droits sont souvent négligés dans la conception des politiques environnementales qui reflètent généralement une présomption sur la capacité des citoyennes et citoyens d'adopter des comportements respectueux de l'environnement. Similairement, le handicap est largement ignoré dans la conception et la construction des infrastructures durables qui accordent peu d'attention aux défis d'accessibilité.

Le transport en commun offre un exemple frappant de politiques d'atténuation des changements climatiques pouvant être incompatibles avec les droits des personnes handicapées puisque son accessibilité aux personnes avec mobilité réduite ou déficiences visuelles est inégale. Effectivement, seulement 50 des 270 stations de métro de Londres peuvent être utilisées indépendamment par des personnes en fauteuil roulant comparé à 186 des 211 stations de Tokyo (Mead, Symons et Adzki, 2017).

Au Québec, la Cour supérieure a autorisé une demande d'action collective alléguant que l'inaccessibilité en fauteuil roulant et l'exclusion des personnes handicapées des systèmes de transport en commun violaient leurs droits constitutionnels (RAPLIQ, 2017). Ainsi, lorsque les gouvernements adoptent des mesures pour décourager l'utilisation de la voiture, comme la tarification du carbone ou bien des frais de déplacement au centre-ville, sans prendre en compte la possibilité qu'une personne handicapée puisse avoir besoin d'utiliser un véhicule ou puisse ne pas avoir accès au transport collectif, cela a pour effet de créer des barrières additionnelles pour les personnes handicapées au sein de la société.

Les efforts d'adaptation ont aussi tendance à négliger les droits des personnes handicapées. Une analyse systématique des politiques d'adaptation des états membres de la *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* révèlent que seulement 48 pays font référence aux personnes handicapées dans leurs plans (Jodoin et al., à paraître). Cette analyse révèle également que ces références sont générales et ne sont pas accompagnées de mesures spécifiques pour accroître la capacité des personnes handicapées à s'adapter aux impacts climatiques. Les systèmes de préparation et d'intervention d'urgence l'illustrent puisqu'ils sont souvent conçus pour les personnes non handicapées et impliquent des activités tels que marcher, courir, conduire, voir et entendre. Les organisations de personnes handicapées peuvent jouer un rôle important dans le renforcement de la résilience climatique, mais peu de progrès sont envisageables si les autorités continuent d'ignorer leurs efforts.

À l'heure actuelle, rien n'indique que les États ont effectivement consulté les personnes handicapées ou pris en compte leurs droits dans l'élaboration et la mise en œuvre de politiques climatiques au niveau international. Malgré l'obligation des États de consulter les personnes handicapées et de promouvoir leurs droits au niveau international dans le cadre de la CNUDPH, les personnes handicapées reçoivent peu d'attention dans le cadre de la Convention-cadre et n'ont pas d'initiative spécifique pour respecter et réaliser leurs droits, bien qu'elles soient incluses dans la liste des groupes vulnérables (CIEL, 2019). En outre, les personnes handicapées n'ont pas de groupe leur permettant de participer aux négociations multilatérales sur le climat, contrairement aux femmes, aux jeunes et aux peuples autochtones. Par contre, un caucus pour les personnes handicapées est en voie d'être reconnu par le secrétariat de la Convention-cadre, ce qui pourrait ouvrir la voie à la création d'une constituante au sein des négociations multilatérales climatiques.

Crédit photo : David Knudsen



Importance d'une action climatique inclusive du handicap

Le préambule de l'*Accord de Paris* de 2015 stipule que, dans la lutte aux changements climatiques, les États parties doivent « respecter, promouvoir et prendre en compte » les droits des personnes handicapées. Une telle gouvernance climatique exige que les États s'engagent activement avec les personnes handicapées, adoptent une perspective intersectionnelle et protègent leurs droits fondamentaux et procéduraux dans l'élaboration, la mise en œuvre, le suivi et l'évaluation des politiques climatiques. La reconnaissance des effets différentiels des changements climatiques renforce l'obligation de 1) prendre des mesures d'atténuation qui préviennent et minimisent les impacts des changements climatiques sur les droits des personnes handicapées ; mais aussi de 2) veiller à ce que ces mesures n'entraînent pas en elles-mêmes des violations des droits.

Finalement, une approche de la gouvernance climatique fondée sur les droits des personnes handicapées impose que les États protègent leurs droits participatifs. Les personnes handicapées ont la capacité de participer à la reconfiguration de la relation entre les sociétés humaines et le climat à travers les connaissances, les ressources et les communautés qu'elles ont développées pour assurer leur résilience. Selon le préambule de la CNUDPH, en reconnaissant les personnes handicapées comme des acteurs et actrices à part entière plutôt que seulement des participantes et participants dans des processus dirigés par des personnes non handicapées, il est possible d'améliorer leur condition de vie et de faire progresser l'ensemble de la société.

À cette fin, le concept émergent de « *crip technoscience* » repousse la présomption que l'innovation technologique provienne de personnes neutres et non handicapées et conçoit les personnes handicapées comme des protagonistes essentiels d'une transition climatique efficace et juste (Hamraie et Fritsch, 2017). En militant pour des politiques et des technologies leur permettant de surmonter leurs barrières quotidiennes, d'assurer leur autonomie et de vivre dans la dignité, les personnes handicapées transforment déjà les espaces, les cultures et les institutions avec lesquelles elles interagissent. Par exemple, dans les années 1960 et 1970, des militants et militantes du handicap ont pris des mesures directes pour créer leurs propres bordures de trottoir dans des villes américaines et ainsi pousser les élus et les élus à les rendre obligatoires. En reconnaissant la diversité et le caractère unique des individus, les conceptions universelles et accessibles peuvent rejoindre un large bassin d'utilisateurs et d'utilisatrices et ainsi bénéficier à l'ensemble de la population à travers le « *curb cut effect* ».

Cependant, de nombreux obstacles limitent la prise en compte et la mise en œuvre des droits participatifs des personnes handicapées dans le contexte des changements climatiques. Malgré les progrès, le milliard de personnes handicapées continue de subir d'importantes discriminations, notamment un accès disparate à l'éducation, à l'emploi, aux soins de santé, à la justice, aux transports ainsi qu'aux biens et services essentiels. Elles peuvent être victimes de marginalisation, d'abus et de violence et sont généralement empêchées de participer à la société sur un pied d'égalité, y compris dans les processus politiques et les initiatives de la société civile concernant l'environnement. Ces défis sont en outre aggravés par la discrimination supplémentaire pouvant découler de leur appartenance ethnique, de leur âge, de leur sexe, de leur identité sexuelle et de leur statut socio-économique ainsi que par la situation de certains pays en développement où les services et les ressources de base sont plus rares et les niveaux de stigmatisation ont tendance à être plus élevés (Broderick, 2015).

Les changements climatiques accentueront ces défis en imposant aux sociétés de rapidement développer des mesures d'atténuation et d'adaptation efficaces et équitables. Nous soutenons donc que la crise climatique devrait être une occasion d'identifier et de poursuivre des synergies entre les efforts de lutte contre les changements climatiques et l'inclusivité des personnes handicapées. En plus de respecter les droits des personnes handicapées, les solutions climatiques intégrant le handicap permettent à une plus grande partie de la population de contribuer à la transition et diminuent les inégalités sociales. Par exemple, garantir l'accessibilité des systèmes de transport en commun est une obligation envers les personnes à mobilité réduite, mais aussi un bénéfice pour les parents avec poussettes, les soignants et soignantes et les cyclistes. Similairement, favoriser le télétravail renforce la capacité des personnes handicapées à intégrer le marché du travail et réduit les émissions liées aux déplacements. Les programmes d'emplois verts et de formation professionnelle nécessaires à la transition économique sont aussi une opportunité de s'attaquer à la sous-représentation des personnes handicapées dans la population active. Les programmes pour subventionner les efforts visant à rénover des immeubles pour réduire leur empreinte carbone pourraient également améliorer l'accessibilité de ceux-ci. En matière d'adaptation, l'utilisation de systèmes d'alerte précoces et accessibles permet d'avertir d'un danger plus efficacement l'ensemble de la population.

Finalement, le concept de « reconstruire en mieux » offre aussi une synergie entre les droits des personnes handicapées et la lutte climatique en intégrant des mesures de réduction des risques à travers la reconstruction des infrastructures physiques, sociales, économiques et environnementales après une catastrophe. Le concept pourrait inclure la nécessité de promouvoir une société plus accessible et plus inclusive à la suite de catastrophes liées au climat. Le succès de cette stratégie dépendra des mesures prises pour renforcer la capacité et la prise de décision avant les catastrophes en considérant le handicap durant la planification. Appliqué plus largement au contexte des changements climatiques, ce concept indique que les États peuvent profiter des efforts importants de décarbonisation et d'adaptation pour intégrer les personnes handicapées, prendre pleinement en compte leurs droits et favoriser un monde plus inclusif.

Conclusion

En fin de compte, nous soutenons qu'une approche fondée sur les droits des personnes handicapées permet de comprendre les impacts différentiels des changements climatiques et de développer des solutions

efficaces et équitables. Au sein même de la communauté diversifiée des personnes handicapées, il est essentiel de considérer que des formes de discrimination croisées peuvent accroître les risques pour les femmes, les enfants, les personnes racisées et autochtones vivant avec un handicap. Enfin, la crise climatique devrait être vue comme une occasion pour les États de réaliser les droits des personnes handicapées, car les solutions climatiques intégrant le handicap permettent à une plus grande partie de la population de contribuer à la neutralité carbone et bénéficient à l'ensemble de la société.

RÉFÉRENCES

Abbot, D. et Porter, S. (2013). Environmental hazard and disabled people: from vulnerable to expert to interconnected. *Disability & Society*, 28(6), 839-852. doi: 10.1080/09687599.2013.802222

Bouchama, A., Dehbi, M., Mohamed, G., Matthies, F., Shoukri, M. et Menne, B. (2007). Prognostic factors in heat wave related deaths: a meta-analysis. *Archives of internal medicine*, 167(20), 2170-2176.

Broderick, A. (2015). *The Long and Winding Road to Equality and Inclusion for Persons with Disabilities* (1^{ère} éd., vol. 74). Cambridge : Intersentia.

Center for International Environmental Law (CIEL) (2019). *Rights in a Changing Climate : Human Rights Under the UN Framework Convention on Climate Change*. Repéré à https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/12/Rights-in-a-Changing-Climate_SinglePage.pdf

DARA and the Climate Vulnerable Forum (DARA) (2012). *Climate Vulnerability Monitor 2nd Edition*. Repéré à <https://daraint.org/wp-content/uploads/2012/09/CVM2ndEd-FrontMatter.pdf>

Hamraie, A. et Fritsch, K. (2019). Crip Technoscience Manifesto. *Catalyst: Feminism, Theory, Technoscience*, 5(1), 1-33. doi: 10.28968/cftt.v5i1.29607

Jodoin, S., Ananthamoorthy, N. et Lofts, K. (2020). A Disability Rights Approach to Climate Governance. *Ecology Law Quarterly*, 47, 73-116.

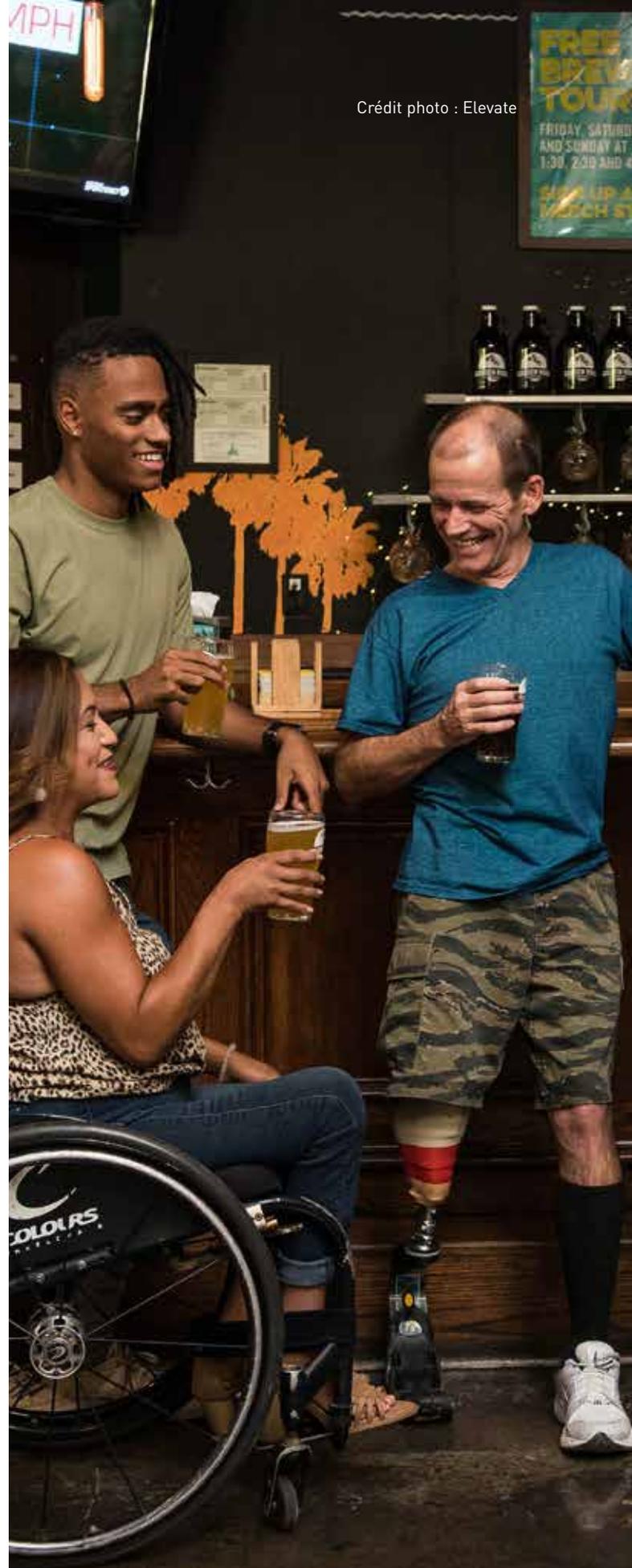
Jodoin, S., Lesnikowski, A., Lemay, J-P et Thomson, V. (à paraître). A Systematic Analysis of Human Rights in Climate Adaptation Policies.

Lamothe, F., Roy, M. et Racine-Hamel, S. (2019). *Enquête épidémiologique: Vague de chaleur à l'été 2018 à Montréal*. Repéré sur le site du Gouvernement du Québec: http://santemontreal.qc.ca/fileadmin/user_upload/Uploads/tx_asssmpublications/pdf/publications/Enquete_epidemiologique_-_Vague_de_chaleur_a_l_ete_2018_a_Montreal_version15mai_EUSHV_finale.pdf

Regroupement des activistes pour l'inclusion au Québec (RAPLIQ) c Société de transport de Montréal (STM). (2017). QCCS 2176.

Van Mead, N., Symons, H. et Adzkia, A. (2017, 21 septembre). Access denied: wheelchair metro maps versus everyone else's. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/cities/2017/sep/21/access-denied-disabled-metro-maps-versus-everyone-elses>

Crédit photo : Elevate



Enjeux de société

FAIRE D'UNE PIERRE TROIS COUPS AVEC LE VÉLO D'HIVER : PLAISIR, SANTÉ ET LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Joanie Gervais

Étudiante à la maîtrise
Département des sciences
de l'activité physique
Université du Québec
à Montréal

Josyane Lapointe

Étudiante à la maîtrise
Département des sciences
de l'activité physique
Université du Québec
à Montréal

Célia Kingsbury

Étudiante à la maîtrise
Département des sciences
de l'activité physique
Université du Québec
à Montréal

Paquito Bernard

Professeur
Département des sciences
de l'activité physique
Université du Québec
à Montréal

Une culture de l'automobile

Au Québec, entre 1990 et 2017, la croissance annuelle du nombre de nouvelles voitures a été 2,5 fois supérieure à celle de la population ainsi qu'au nombre de permis de conduire émis pour les plus de 16 ans (données de la société de l'assurance automobile du Québec et de l'institut de la statistique du Québec; Lavolette, 2020). De plus, ce sont les camions légers (véhicules utilitaires sport, camionnettes et fourgonnettes) qui affichent la plus forte augmentation avec une croissance de 128 % entre 2000 et 2017. En d'autres termes, 80 % des nouveaux véhicules sur les routes pendant cette période étaient des camions légers (Lavolette, 2020). Ajoutée à leur nombre grandissant sur les routes, l'utilisation de la voiture a également augmenté dans les dernières années. En effet, entre 2001 et 2016, il y a eu une augmentation de 15 % des déplacements entre les lieux de résidence et de travail, en raison notamment de la croissance de la population et de l'économie. L'utilisation de la voiture présente des impacts négatifs majeurs sur l'environnement et la santé, notamment par l'émission de gaz à effet de serre (GES), l'exposition à des particules fines dans l'air et une durée de sédentarité croissante. À titre d'exemple, une utilisation prolongée de la voiture est associée à des risques élevés de développer des maladies cardiovasculaires (Sugiyama *et al.*, 2020). De plus, l'étalement urbain, qui a pour préalable l'utilisation de l'automobile, accélère l'accaparement de terres agricoles, l'imperméabilisation des sols, la pollution de cours d'eau et la destruction d'habitats et d'écosystèmes (Lavolette, 2020).

EN HIVER, C'EST PIRE !

L'impact environnemental de l'automobile est plus élevé en période hivernale. En effet, les températures froides sont associées à une consommation d'essence plus élevée. Par exemple, l'Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis estime qu'une diminution de la température passant de 24 °C à 7 °C peut augmenter la consommation d'essence de 12 à 28 % dans les centres urbains. De plus, la neige et la glace augmentent les dérapages, ce qui accentue la consommation d'essence de 7 à 35 % (Ministère des ressources naturelles du Canada, 2014).

Du point de vue de la santé publique et de la santé environnementale, il est primordial de pallier cette problématique en réduisant l'utilisation de la voiture dans la population. À cet effet, de plus en plus de villes comprennent que la lutte contre les changements climatiques passe par la promotion du transport actif au détriment de l'automobile et mettent en place des politiques publiques cohérentes avec cette réalité.

LE TRANSPORT ACTIF : UNE SOLUTION CONCRÈTE

Le transport actif est défini selon l'Agence de la santé publique du Canada comme « l'ensemble des moyens de déplacement ayant pour origine la force humaine » et participe au développement de la mobilité durable, qui représente la capacité des individus à se déplacer de façon efficace, sécuritaire, équitable et pérenne, tout en respectant les limites de l'environnement et des écosystèmes. Le vélo, la marche, la planche à roulettes et le patin à roues alignées en sont des exemples. Le transport actif est reconnu comme étant une solution à la réduction des émissions de GES (Bernard *et al.*, 2021). À cet effet, une étude conclut que, pour chaque déplacement quotidien en voiture évité et remplacé par un déplacement en vélo, les émissions de CO₂ (du cycle de vie) associé au transport diminuent de 67 % (Brand *et al.*, 2021). Une étude de projection a examiné différents scénarios pour le transport actif (vélo) pour 2030 à Adélaïde, en Australie. Si 5 % ou 10 % des utilisateur.ri.c.e.s de voitures changeaient leur mode de transport motorisé pour le vélo, il y aurait une diminution des émissions de CO₂ de 2,35 % et de 2,93 % respectivement, comparativement à la situation actuelle (Xia *et al.*, 2015). Globalement, la littérature stipule que, même si la majeure partie des trajets en vélo se font sur de courtes distances (environ 5 km), le changement de mode de transport de la voiture au vélo pour ces trajets aurait un impact non négligeable sur la diminution des émissions de GES et de la pollution de l'air (Brand

et al., 2021). Cependant, malgré une augmentation de l'utilisation du vélo pour se déplacer, le nombre de déplacements en véhicules motorisés ne diminue pas de façon proportionnelle. En d'autres mots, les individus semblent augmenter leurs déplacements à vélo sans toutefois diminuer leurs déplacements en voiture.

QU'EN EST-IL DU VÉLO D'HIVER ?

Il est intéressant de constater que de plus en plus de personnes utilisent le vélo comme mode de déplacement l'hiver au Canada. En effet, le nombre de personnes à vélo l'hiver augmente sans cesse depuis les dernières années au Québec, la plus grande augmentation étant sur l'île de Montréal. Selon le bureau montréalais d'Éco-compteur, le nombre de personnes qui empruntent les pistes cyclables en hiver a bondi de 83 % en 2020 par rapport à la moyenne de 2015-2019. À l'intersection des rues Saint-Laurent et de l'Acadie, le nombre moyen de personnes à vélo par jour entre le 21 décembre 2019 et le 20 mars 2020 était de 560. Par contre, Vélo Québec précise que seulement 7 % des personnes à vélo effectuent un trajet au moins une fois entre décembre et mars, contrairement à 95 % durant les mois d'été (Poirier & Thériault, 2021).

Malgré le pourcentage en hausse de personnes à vélo l'hiver, peu d'informations sont disponibles sur la façon la plus optimale d'en faire la promotion au sein de la population. En ce sens, l'objectif de cet article est de dresser le portrait des utilisateur.ri.c.e.s du vélo d'hiver pour répondre à la question suivante : quels sont les facteurs individuels et environnementaux associés à une pratique du vélo d'hiver dans les pays de l'hémisphère nord ?

Nous avons mené une revue de la littérature narrative en interrogeant les bases de données suivantes : PSYCinfo, Scopus, SPORTDiscus et Pubmed, et en adaptant les équations de recherche avec les mots suivants : « *winter cycling* », « *modal shifts* », « *winter* », « *snow* », « *active transport* », « *bicycle* » et « *determinant* ». Les articles ont été sélectionnés selon les critères d'inclusion suivant : 1) Aborder la pratique du vélo d'hiver¹ de façon primaire ou secondaire; 2) Température moyenne pendant l'hiver sous 0 °C et une accumulation de neige au sol; 3) Analyse des habitudes des usager.ère.s; 4) Analyse des facteurs sociodémographiques, psychologiques ou environnementaux associés au vélo d'hiver. Les articles ont été exclus si leurs résultats ne prenaient pas en compte l'impact des conditions hivernales sur les habitudes des usager.ère.s. Ensuite, nous avons fait une analyse descriptive des articles, puis regroupé les facteurs analysés plus d'une fois.

1. Définition : Utilisation du vélo comme loisir ou comme transport au minimum deux fois pendant la saison d'hiver

Le vélo d'hiver : Qui ? Pourquoi ? Comment ?

Treize études ont été incluses dans notre analyse. Elles proviennent du Canada (7), de la Norvège (5) et de la Suède (1) et consistent en des sondages ou des entrevues auprès de personnes qui pratiquent ou non le vélo d'hiver. Le Tableau 1 présente un résumé des caractéristiques de chaque étude.

QUI ? LE GENRE, L'ÂGE ET LES ATTITUDES PRO-ENVIRONNEMENTALES

Tout d'abord, les échantillons incluaient plus d'hommes que de femmes, ce qui peut laisser croire que les hommes sont plus intéressés que les femmes au vélo d'hiver. Effectivement, huit études incluaient 55 % à 85 % d'hommes et cinq études incluaient environ 50 % d'hommes. Ensuite, l'âge des utilisateur.rice.s de vélo d'hiver variait beaucoup entre les études, mais une tendance semble surgir. Les utilisateur.rice.s de vélo d'hiver sont âgé.e.s en moyenne entre 20 et 40 ans et leur probabilité de faire du vélo d'hiver augmente avec l'âge dans cet intervalle. Toutefois, trois études n'ont pas établi de relation entre l'âge et le fait de pratiquer le vélo d'hiver. Il faut donc prendre ces résultats avec précaution. Enfin, quatre études ont montré que les attitudes pro-environnementales étaient un facteur associé positivement à la pratique du vélo d'hiver.

Notamment, les résultats d'une étude réalisée sur le campus de l'Université McGill à Montréal, dont l'objectif était d'examiner les différents facteurs qui influencent la fréquence d'utilisation du vélo sur le campus, indiquent que, chez les personnes qui font du vélo « 4 saisons », les attitudes pro-environnementales sont associées positivement à la pratique du vélo d'hiver (Manaugh *et al.*, 2017)

POURQUOI ? FAIRE DE L'EXERCICE PHYSIQUE ET SE RENDRE AU TRAVAIL

Trois études ont trouvé une association positive entre le fait de vouloir faire de l'exercice physique et la pratique du vélo d'hiver. Les résultats de deux études norvégiennes, réalisées au sein de campus universitaires, ont déterminé que la volonté d'avoir une meilleure forme physique était un facteur associé positivement à la pratique du vélo d'hiver. Dans les résultats d'une

étude réalisée en 2003 dans deux grandes entreprises suédoises, faire de l'activité physique a été identifié comme étant un des facteurs les plus importants associés à la pratique du vélo d'hiver (Bergström & Magnusson, 2003). De plus, cinq études ont trouvé une association positive entre la pratique du vélo d'hiver et le déplacement au travail. Plus précisément, la majorité des personnes pratiquant le vélo d'hiver se déplaçaient de leur domicile à leur lieu de travail.

COMMENT ? LES INFRASTRUCTURES, LA TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE ET LA DISTANCE DE DÉPLACEMENT

D'abord, la densité des infrastructures est un facteur associé positivement à la pratique du vélo d'hiver, selon deux études qui indiquent que plus un environnement est perçu comme facilitateur, plus les utilisateur.rice.s du vélo d'hiver sont nombreux. La maintenance de ces infrastructures, c'est-à-dire le déneigement et le déglacage, est également un facteur associé à la pratique du vélo d'hiver. Les résultats d'une étude réalisée à Calgary indiquent que 61 % des personnes qui pratiquent le vélo d'hiver considèrent la glace sur les voies cyclables comme un frein majeur et 48 % considèrent le gravier et la neige comme un problème (Amiri & Sadeghpour, 2015). Dans le même ordre d'idées, l'analyse des résultats d'une étude menée à Ottawa et Montréal indique que la maintenance des pistes cyclables est un facteur associé positivement à la pratique du vélo d'hiver des participant.e.s. À cet effet, les résultats d'une étude à Edmonton montrent que le déneigement et la séparation des voies cyclables sont deux éléments associés positivement à la pratique du vélo d'hiver (Shirgaokar, 2016). De plus, les résultats d'une étude suédoise indiquent qu'une accumulation de neige diminue les chances d'utilisation du vélo et provoque un changement du mode de déplacement du vélo à la marche.

Il est très important de souligner que la température extérieure ne semble pas affecter les utilisateur.rice.s du vélo d'hiver. En effet, deux études rapportent que la température extérieure ne représente pas un frein à la pratique du vélo d'hiver. Une étude mentionne même que plus de 70 % des utilisateur.rice.s ne sont pas incommodé.e.s par des températures allant jusqu'à -20 °C. Également, trois études ont trouvé une association négative entre la distance de déplacement et la pratique du vélo d'hiver. En d'autres mots, plus une personne doit se déplacer longtemps, moins il y a de chance qu'elle choisisse le vélo d'hiver. Le Tableau 2 présente les résultats pour chacun des articles.

Articles	Année	Régions	% ♂	Devis	Objectifs	Caractéristiques
Bergström, A et Magnusson, R	2003	Suède	83 % 1998 78 % 2000	Transversal Sondages N=433 en 1998 N= 415 en 2000	Examiner le potentiel d'augmentation de l'utilisation du vélo d'hiver en améliorant la maintenance des pistes cyclables.	Transport en vélo au travail Cyclistes hiver 23 % et 51 % de l'échantillon
Daman-Siroirs, G. et El-Geneidy, A.	2014	Montréal, Canada	60 %	Transversal Sondage en ligne N = 2004	Déterminer des types multidimensionnels de cyclistes selon 7 facteurs dérivés de 35 variables.	Cible les cyclistes (minimum 1 fois dans la dernière année)
Egset et Nordfjærn	2019	Trondheim, Norvège	47 %	Transversal Sondage dans deux universités Dragvoll Gløshaugen N=441	Analyser les priorités de transport comme un prédicteur de l'usage du transport actif et du transport public pour se rendre à l'université pendant l'hiver.	35 % transport actif Dragvoll = rural Gløshaugen = en ville
Kummeneje et al.	2019	Trondheim, Norvège	65 %	Transversal Sondage en ligne sur un site de cycliste N = 291	Analyser l'association entre les risques perçus et le choix de faire du vélo durant les différentes saisons.	Âge : 20 à 77 ans
Liu et al.	2015	Suède	50,8 %	Transversal Utilisation de 4 bases de données qui regroupent des données de 1991 à 2011 181 814 transports	Analyser l'influence des conditions météorologiques sur le choix du mode de transport chez les suédois selon différentes régions et saisons.	10,6 % des transports sont en vélo
Manaugh et al.	2017	Montréal, Canada	75 %	Transversal Sondage en ligne distribué sur le campus de l'Université McGill N = 4944	Examiner différents facteurs qui influencent la fréquence d'utilisation du vélo ou non sur le campus.	Étudiants, employés, professeurs Vélo toute l'année 1,4 % de l'échantillon
Mehdizadeh et al.	2019	Trondheim, Norvège	-	Transversal Sondage auto passation étudiants Campus universitaire de Dragvoll and Gløshaugen 316 réponses	Examiner les effets des normes et croyances environnementales et des situations socio-économiques sur le choix des modes de transport pour se rendre à l'université en été et en hiver.	31 % des déplacements sont du transport actif en hiver
Miranda-Moreno et al.	2013	Ottawa et Montréal	70 %	Transversal Sondage en ligne N = 474 (Ottawa) et N = 373 (Montréal)	Analyser les déterminants du cyclisme d'hiver dans les villes froides l'Amérique du Nord.	80 % cyclistes d'hiver
Nahal et Mitra	2018	Toronto, Canada	51 %	Transversal 2 sondages envoyés de façon aléatoire aux étudiants et employés de l'université Ryerson N = 278	Comparer les comportements de ceux qui font du vélo durant toute l'année (incluant l'hiver) des comportements des cyclistes de l'automne et du printemps.	Âge moyen : 32 ans 27 % vélo durant toute l'année
Nordfjærn et al.	2019	Trondheim, Norvège	47 % Dragvoll 53 % Gløshaugen	Transversal Sondage N = 441 réponses Campus universitaire de Dragvoll et Gløshaugen	Analyser le rôle des normes des modes d'activation sur les priorités de transport et les contraintes sociales pour le choix du mode de transport.	31 % de l'échantillon font du transport actif en hiver
Shirgaokar et Habib	2018	Edmonton, Canada	48 %	Sondage réalisé par la ville d'Edmonton via « Edmonton Insight Community ». N = 646	Examiner les préférences sur l'inclination à faire du vélo chez les cyclistes qui roulent seulement dans des températures chaudes et ceux qui roulent toute l'année, incluant les hivers très froids.	10,2 % cyclistes durant l'année
Shirgaokar et Gillespie	2016	Edmonton, Canada	55 %	Entrevues avec des cyclistes d'hiver adultes et des fonctionnaires de la ville.	Déterminer les stratégies d'adaptation des cyclistes d'hiver.	-
Sadeghpour, Farnaz. Et al.	2015	Calgary, Canada	85 %	Entrevues avec des cyclistes N = 103	Identifier les variables qui affectent les habitudes des cyclistes dans les régions métropolitaines avec des climats très froids et analyser les relations entre ces variables.	-

Tableau 1. Résumé des caractéristiques des études.

Articles	Âge	♂	Faire de l'exercice	Attitude pro-environnement	Mauvaises conditions extérieures	Densité infrastructures cyclables	Amélioration maintenance des pistes cyclables	Distance et temps de déplacement élevé	Se déplacer au travail
Manaugh <i>et al.</i>	+	+		+		+			
Miranda-Moreno <i>et al.</i>	Entre 26 et 45 ans	+					+	-	
Collins et Mayer		+							+
Nahal et Mitra		+				+			
Shirgaokar et Habib	52% : 26 et 40 ans	+							
Shirgaokar et Gillespie							+		+
Sadeghpour, Farnaz <i>et al.</i>		+			∅		+		+
Bergström, A et Magnusson, R	Entre 20 et 64 ans		+	+			+	-	
Egset et Nordfjærn			+	+					
Kummeneje <i>et al.</i>	∅	+							
Liu <i>et al.</i>	∅				-				+
Mehdizadeh <i>et al.</i>		+							
Nordfjærn <i>et al.</i>	∅		+	+				-	+

* + signifie une relation positive, - signifie une relation négative et ∅ signifie qu'aucune relation n'a été trouvée.

Tableau 2. Résumé des résultats

La promotion du vélo d'hiver : un défi de taille

Il existe dans la littérature des études sur la pratique du vélo utilitaire et sur les façons de l'encourager (par exemple, une méta-analyse) (Arnott *et al.*, 2014), mais nous n'en avons identifié aucune ciblant spécifiquement le vélo d'hiver. Elles ciblent systématiquement le transport actif lors des saisons plus clémentes comme le printemps et l'été. La Figure 1 résume le profil de l'utilisateur.rice typique du vélo d'hiver que nous avons obtenu à la suite de notre étude. Ce profil permet de mieux cerner qui pratique le vélo pendant l'hiver et dans quel contexte, ce qui peut servir à mieux outiller les gouvernements et les organisations pour la promotion du transport actif en hiver.



Figure 1. Profil de l'utilisateur type du vélo d'hiver
*Les chiffres en parenthèse indiquent le nombre d'études qui supportent chaque élément.

Selon nos résultats, la promotion du vélo d'hiver devrait coupler des interventions dites « douces », qui visent à motiver la population à modifier un comportement de façon volontaire à l'aide d'informations, et « dures », qui ciblent plutôt la mise en place d'infrastructures et de mesures coercitives : (1) des campagnes d'éducation au vélo d'hiver ciblant en priorité les enfants, les femmes et les personnes âgées ; (2) la promotion des bénéfices associés à la santé, à l'environnement, mais aussi en termes de gain de temps liés à la pratique du vélo d'hiver; (3) des interventions et des formations pour augmenter les offres d'infrastructures cyclables déneigées et déglacées en milieu (semi)urbain (sachant que la présence de glace et de neige sur les pistes est une grande préoccupation); (4) des mesures fiscales pour l'achat de pneus d'hiver et l'aménagement d'abris à vélo et de vestiaires, ainsi que de douches sur les lieux de travail.

D'un autre côté, notre étude met en lumière le manque d'études observationnelles longitudinales sur les actuels ou futurs pratiquants du vélo d'hiver, notamment en ce qui concerne les barrières perçues à la pratique du vélo d'hiver et le développement d'habitude. De plus, nous avons besoin d'identifier les techniques de changement de comportement les plus efficaces qui permettent un transfert d'un mode de transport motorisé vers un mode actif en hiver pour les courts trajets (Javaid, Creutzig et Bamberg, 2020). De futures recherches plus poussées seraient pertinentes pour approfondir nos connaissances sur le vélo d'hiver et mieux le promouvoir au Québec. Cependant, le vélo comme mode de déplacement est une option de choix pour lutter contre les changements climatiques et pour contribuer à avoir une santé de fer. Les conditions hivernales du Québec ne doivent pas être un frein aux choix durables pour notre planète et nous-mêmes !

RÉFÉRENCES

Amiri, M., & Sadeghpour, F. (2015). Cycling characteristics in cities with cold weather. *Sustainable Cities and Society*, 14 (1), 397-403. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.11.009>

Arnott, B., Rehackova, L., Errington, L., Sniehotta, F. F., Roberts, J. et Araujo-Soares, V. (2014). Efficacy of behavioural interventions for transport behaviour change : Systematic review, meta-analysis and intervention coding. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 11(1), 133. <https://doi.org/10.1186/s12966-014-0133-9>

Bergström, A., & Magnusson, R. (2003). Potential of transferring car trips to bicycle during winter. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(8), 649-666. Scopus. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(03\)00012-0](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(03)00012-0)

Bernard, P., Chevance, G., Kingsbury, C., Baillot, A., Romain, A. J., Molinier, V., Gadais, T. et Dancause, K. N. (2021). *Climate change, physical activity and sport : A systematic review* Sports Medicine. <https://doi.org/10.1007/s40279-02101439-4>

Brand, C., Götschi, T., Dons, E., Gerike, R., Anaya-Boig, E., Avila-Palencia, I., de Nazelle, A., Gascon, M., Gaupp-Berghausen, M., Iacorossi, F., Kahlmeier, S., Int Panis, L., Racioppi, F., Rojas-Rueda, D., Standaert, A., Stigell, E., Sulikova, S., Wegener, S. et Nieuwenhuijsen, M. J. (2021). The climate change mitigation impacts of active travel : Evidence from a longitudinal panel study in seven European cities. *Global Environmental Change*, 67, 102224. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102224>

Javaid, A., Creutzig, F. et Bamberg, S. (2020). Determinants of low-carbon transport mode adoption : Systematic review of reviews. *Environmental Research Letters*, 15(10), 103002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba032>

Lavolette, J. (2020). *L'état de l'automobile au Québec : Constats, tendances et conséquences*. Repéré à <https://fr.drivingsuzuki.org/publication-scientifique/letat-de-lautomobile-au-quebec-constats-tendances-et-consequences/>

Manaugh, K., Boisjoly, G., et El-Geneidy, A. (2017). Overcoming barriers to cycling : Understanding frequency of cycling in a University setting and the factors preventing commuters from cycling on a regular basis. *Transportation*, 44(4), 871-884. <https://doi.org/10.1007/s11116-016-9682-x>

Ministère des ressources naturelles du Canada. (2014). *Learn the facts : Cold weather effects on fuel efficiency*. Repéré à https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oe/pdf/transportation/fuel-efficient-technologies/autosmart_factsheet_3_e.pdf

Poirier, A., & Thériault, A. de J. (2021). État de la pratique du vélo au Québec en 2020 (p. 179).

Shirgaokar, M. (2016). *Exploring User Perspectives to Increase Winter Bicycling Mode Share in Edmonton*. 16.

Sugiyama, T., Chandrabose, M., Homer, A. R., Sugiyama, M., Dunstan, D. W., et Owen, N. (2020). Car use and cardiovascular disease risk : Systematic review and implications for transport research. *Journal of Transport & Health*, 19, 100930. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100930>

Xia, T., Nitschke, M., Zhang, Y., Shah, P., Crabb, S., et Hansen, A. (2015). Traffic-related air pollution and health co-benefits of alternative transport in Adelaide, South Australia. *Environment International*, 10.

LA SENSIBILISATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU PRISME DE LA PREUVE PHOTOGRAPHIQUE : LE CAS DES GROUPES ENVIRONNEMENTAUX

Elyse Boivin

Étudiante à la maîtrise en histoire de l'art
Université du Québec à Montréal

Dès le début des années 1990, les groupes environnementaux ont commencé à créer des campagnes afin de rendre les faits scientifiques sur les changements climatiques intelligibles pour les publics non spécialisés. Ces images, conceptualisées en quantité considérable, permettent de concrétiser les enjeux et les impacts du phénomène. Différentes tactiques sont employées pour inviter directement les spectateur.rice.s à agir rapidement. Certaines sont régulièrement convoquées : les images-savoir qui révèlent des données (graphiques, cartes, diagrammes), la mise en scène de protagonistes engagé.e.s dans la crise climatique ou encore les images spectaculaires visant à provoquer une réaction émotionnelle chez les spectateur.rice.s (Catellani, 2016). Néanmoins, une stratégie se démarque en raison de son usage récurrent pour contourner l'incertitude climatique et pour pallier le caractère intangible des phénomènes en cause. Il s'agit de l'usage de la photographie pour fournir des preuves visuelles. Cet article décortiquera la manière dont la photographie acquiert le statut de preuve afin de communiquer par l'image la gravité des impacts de la crise climatique, en plus de l'urgence d'agir. Une brève analyse de la rhétorique visuelle permettra de comprendre comment les changements climatiques sont perçus et rendus significatifs comme discours socialement et culturellement construit dans ces images de sensibilisation.



Crédit photo : Nicolas Ladino Silva

Contourner l'incertitude climatique

La sensibilisation aux changements climatiques est marquée par une relation particulière entre le domaine scientifique et les groupes environnementaux. Le premier a d'abord admis la détection du phénomène par l'accumulation et l'analyse de données sur le climat. Les seconds se sont appuyés sur ces connaissances scientifiques afin d'attirer l'attention des publics non spécialisés sur les enjeux de la crise climatique,

par la conceptualisation de matériel visuel ou discursif dévoué à la sensibilisation. Ce même matériel s'avère nécessaire afin de fournir des preuves pour contrer la notion d'incertitude qui marque l'histoire des changements climatiques. Cela est expliqué par le fait que les projections sont incertaines et que les impacts varieront en fonction de différents contextes et facteurs. Cependant, cette même notion d'incertitude fut reprise comme outil politique par certains acteurs afin de décrédibiliser le discours et les connaissances scientifiques (Gelbspan, 1997; Doyle, 2016). Mentionnons à titre d'exemple la fondation de la Global Climate Coalition (GCC) créée un an après le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 1989, qui comprenait des puissances industrielles américaines comme Exxon, Ford et Chevron. Jusqu'en 2002, l'objectif du GCC visait principalement à nuire à la crédibilité de la science des changements climatiques par un discours qui exagérait son caractère incertain, tout en faisant pression sur le gouvernement américain contre la réduction des gaz à effet de serre (Gelbspan, 1997; Doyle, 2016). Cette entreprise a eu un impact considérable sur la reconnaissance de la gravité du phénomène par les publics non spécialisés, étant aussi combinée à une couverture médiatique très faible en plus de reportages journalistiques qui altéraient le consensus scientifique sur la crise climatique, en attribuant une attention égale aux climatosceptiques et aux scientifiques du climat (Doyle, 2016). Dans ce contexte, les groupes environnementaux ont eu un important rôle à jouer pour communiquer la gravité des impacts des changements climatiques hors de la communauté scientifique, afin de s'opposer aux stratégies visant à décrédibiliser la crise. Différentes actions militantes ont été réalisées à cet effet, telles des cascades publicitaires par lesquelles des activistes se sont suspendu.e.s en harnais ou des actions de mobilisation audacieuses comme des blocages aériens. Parmi les nombreuses stratégies sollicitées par les groupes environnementaux pour contrer la persistance de l'incertitude, la photographie est souvent favorisée en raison de sa capacité à enregistrer de manière dite objective¹ ce qui se trouve devant l'objectif de l'appareil photographique.

1. Le caractère objectif de la photographie fut démonté à de nombreuses reprises par les historien.ne.s de la photographie. Ils et elles affirment qu'il ne s'agit pas d'une réplique de la réalité, mais bien d'une représentation construite par l'humain, c'est-à-dire par le ou la photographe. Pour plus d'informations, voir l'ouvrage *La preuve par l'image* dirigé par Vincent Lavoie [2017].

Le rôle de l'image dans l'historique de la sensibilisation environnementale

L'image occupe un statut particulier dans l'historique de la sensibilisation de nombreux groupes environnementaux, et ce, depuis bien longtemps. À cet égard, Greenpeace est un cas probant. L'organisation se démarque des autres par l'attention qu'elle accorde à la création et la diffusion de clichés. L'image accompagne les différentes activités de mobilisation de l'organisation dès ses balbutiements dans les années 1970. Elle est sollicitée pour attirer l'attention du public sur les problèmes environnementaux tels que la pollution des océans ou la déforestation, qui sont très souvent ignorés par les médias traditionnels. Ses premières opérations sont ainsi marquées par la réalisation et le partage de photographies de ses membres en action. Ces clichés (qualifiés d'image-événement) sont créés dans le but de marquer la conscience collective, afin de transformer la manière dont le public interprète et visualise le monde qui l'entoure (DeLuca, 1999). Ces images-événements documentent ainsi des actes politiques de résistance partagés massivement dans les médias de masse. C'est pourquoi Greenpeace a recours dès ses premières activités aux technologies de communication, comme la photographie ou la vidéo, qui permettent une diffusion massive et rapide de leurs images dans les médias. Ces stratégies de sensibilisation axées sur l'image favorisées par Greenpeace connaissent un succès (DeLuca, 1999), si bien qu'elles sont imitées et reprises par d'autres groupes environnementaux, tels qu'Extinction Rebellion.

Photographie et changements climatiques : l'image comme preuve

Le rôle attribué à l'image par les groupes environnementaux devient prépondérant dans le contexte de la crise climatique. Celle-ci ne permet plus uniquement de partager les actions de ses membres, mais elle agit désormais comme véritable preuve visuelle de l'impact des changements climatiques grâce au médium photographique. La photographie permet de surpasser la nature complexe et difficilement visible des changements climatiques, afin de la rendre tangible et visible par l'image. Pour ce faire, des tactiques fondées sur l'idée voulant qu'il soit nécessaire de « le voir pour le croire »

(*seeing is believing*) sont utilisées. Très présente en Occident, cette idée met de l'avant le fait que nous vivons dans une société fortement médiatisée par l'image. C'est particulièrement grâce à la visualité que nous arrivons à traiter les informations. La photographie occupe une place particulière dans ce système où l'image agit comme preuve. Cela est notamment expliqué par une association entre le fonctionnement de l'œil et l'appareil photographique (Lavoie, 2017). Le discours climatique s'inscrit donc dans cette idée de preuve par l'image, alors que l'argumentation visuelle est essentielle afin de contourner deux difficultés importantes. Il se trouve que la temporalité complexe du phénomène, en plus de sa nature difficilement visible expliquée par la difficulté de voir ses impacts au quotidien, ont une incidence considérable dans la visualité des changements climatiques (Doyle, 2016). D'une part, la temporalité du phénomène est un enjeu majeur lorsqu'il est nécessaire de communiquer sa réalité visuellement, puisque celle-ci se situe sur différentes modalités du temps. Plus précisément, cette temporalité se situe dans le passé où le phénomène prend source, dans le présent en fonction de la compréhension scientifique, et dans le futur lorsque ses impacts se feront plus concrètement ressentir. D'autre part, la condition difficilement visible de la crise climatique pour les publics non spécialisés ne participe pas à son intelligibilité, en raison de la prédominance de données scientifiques complexes sur le climat actuel et passé. Ces deux contraintes font en sorte qu'il est très difficile de communiquer la réalité de la crise. C'est pourquoi les campagnes cherchent à concrétiser les risques et les enjeux, en privilégiant la visualisation d'événements spécifiques par la photographie. Les images réalisées selon ce principe documentent les dommages environnementaux et font la promotion de la beauté visuelle des lieux menacés par les impacts. Le médium photographique est ainsi favorisé, car il permet de dévoiler par la visualité cette nature menacée.

Par conséquent, une stratégie couramment employée par les groupes environnementaux tels que Greenpeace est l'usage de la photographie pour documenter les effets dommageables des changements climatiques sur les glaciers.

La documentation de la fonte des glaciers pour visualiser les impacts de la crise

Les photographies qui documentent la fonte des glaciers sont des exemples significatifs de ce processus par lequel l'image est investie de l'idée de preuve visuelle. Il importe de souligner que la figure du glacier occupe plus largement une position fondamentale dans les discussions entourant les changements climatiques, particulièrement lorsque le glacier est représenté comme fragilisé et menacé de disparaître (Rastad Bjørst, 2010). C'est ainsi que la documentation par la photographie des glaciers est favorisée dans les campagnes de sensibilisation des groupes environnementaux. La campagne réalisée en 2002 par Greenpeace avec le photographe suédois Christian Åslund reflète ces considérations (Figure 1). Bien qu'elle fût réalisée il y a près de vingt ans, cette campagne est encore souvent partagée par Greenpeace ou d'autres organisations comme preuve irréfutable de l'impact du phénomène². Réalisée sur l'archipel

2. Cette campagne connaît une diffusion massive depuis 2002. Elle fit l'objet de nombreux articles (notamment pour le *National Geographic*) et elle fut reprise dans un discours de Sheldon Whitehouse au Congrès américain (voir <https://www.whitehouse.senate.gov/news/speeches/time-to-wake-up-melting-glaciers-and-the-warming-arctic>).



Figure 1. Greenpeace/Christian Åslund, *Glacier Retreat*, 2002. Photographie en noir et blanc: Sigvald Moa, *Isbre i Kongsfjorden Svalbard*, 1918, Institut polaire norvégien à Trømsø.



Figure 2. Greenpeace/Christian Åslund, *Glacier Retreat*, 2002. Photographie en noir et blanc: Ebbe Arneberg, *Kongsfjorden Svalbard*, 1939, Institut polaire norvégien à Trømsø.

de Svalbard dans l'océan Arctique, elle met en scène le glacier *Blomstrandbreen*. La série consiste en sept photographies comparatives procédant de la même manière. Celles-ci sont des comparaisons visuelles entre deux clichés d'un même site pris à deux époques différentes. Deux photographies du même lieu sont ainsi mises en miroir ; une première de 1928 tirée des archives de l'Institut polaire norvégien à Tromsø, puis une seconde prise en 2002 par Åslund. Les caractéristiques visuelles sont quasi identiques, seulement la taille du glacier et la couleur de l'image varient (Figure 1). Cette mise en scène temporelle vise à incarner la fonte du glacier en raison des activités anthropiques, sur une période d'environ quatre-vingts ans. Les spectateur.rice.s peuvent donc observer la disparition progressive du glacier. Par ailleurs, les qualités esthétiques des images définissent la série. Autrement dit, les photographies tirées des archives ne furent pas seulement choisies pour leur capacité à dévoiler l'évolution du glacier au fil du temps. En réalité, elles incarnent la beauté ou même l'attrait des lieux. Les clichés sont ainsi savamment construits, puisque le point de vue est soigneusement choisi pour dévoiler la beauté naturelle du site (Figure 2). Cela permet aux spectateur.rice.s de prendre conscience de la splendeur du territoire. Dès lors, ces photographies s'inscrivent dans un registre émotionnel. Elles font preuve d'un souci esthétique censé susciter une réponse émotive chez les spectateur.rice.s, les encourageant à s'engager dans la lutte contre les changements climatiques.

En plus de rendre tangible le phénomène en dévoilant par la visibilité ses impacts, ce type de clichés axé sur la documentation des glaciers agit aussi symboliquement (Doyle, 2016). La perception habituelle des régions polaires, considérées comme un territoire préservé et intouché par les activités humaines, est mise en opposition avec les dommages visibles sur le glacier. Cela est d'autant plus flagrant dans la captation de la

première preuve photographique de la présence des changements climatiques, réalisée par Greenpeace en 1997 (Doyle, 2007). Il s'agit d'un cliché ayant pour sujet le fractionnement de la banquise Larsen B en Antarctique (Figure 3). La menace environnementale pesant sur l'Antarctique est ici soulignée par le cadrage serré de l'image, qui met l'accent sur l'immensité de la fissure du glacier. Cette immensité est d'autant plus exacerbée par la petitesse de la figure humaine se trouvant tout juste à côté. L'opposition visuelle entre la figure humaine et les dommages sur le glacier dans l'image révèle aussi une opposition morale (Doyle, 2007), c'est-à-dire que les impacts négatifs des activités humaines sont mis en évidence par les dommages visibles sur le glacier, en représentant l'humain comme une intrusion dans ce paysage naturel.



Figure 3. Greenpeace/Steve Morgan, *Crack in the Larsen B Ice Shelf*, 1997.

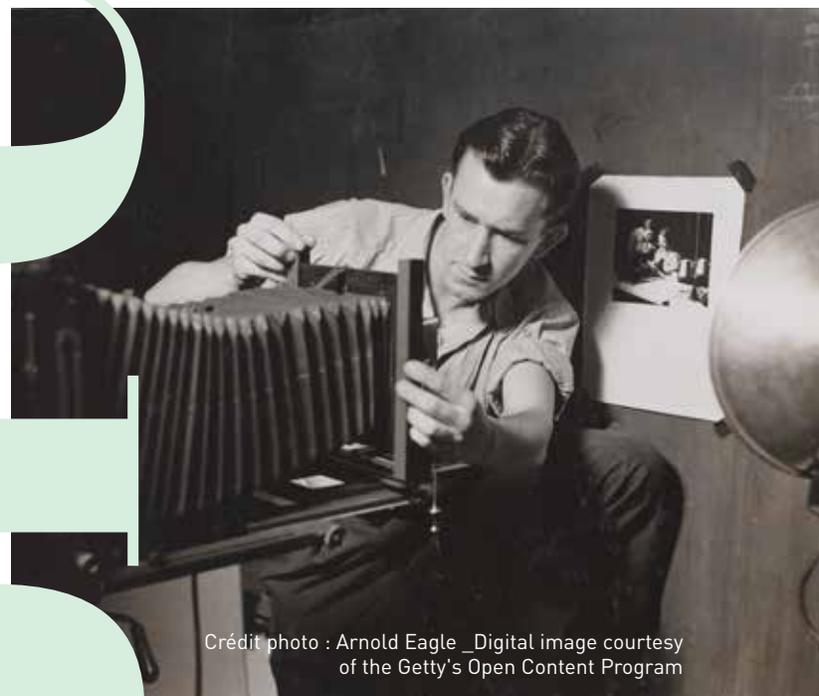
Conclusion : les limites des preuves visuelles

Somme toute, ces preuves photographiques insistent sur la nécessité de dévoiler par la visualité la beauté des lieux menacés par les impacts des changements climatiques. Ces images, comme celles documentant la disparition des glaciers, peuvent entraîner un sentiment de nostalgie chez les spectateur.rice.s qui constatent la perte de ces joyaux naturels. Les preuves ont pour effet de construire des vues nostalgiques d'un paysage perdu à tout jamais, alors qu'elles ont plutôt pour intention initiale d'inscrire le phénomène dans le présent, tout en montrant que les impacts des changements climatiques se font ressentir depuis le début du XXe siècle (Doyle, 2009). En effet, la photographie documentaire vient apposer des limites temporelles sur un phénomène dont la temporalité est complexe. C'est particulièrement le cas pour les photographies comparatives qui ont pour but d'illustrer la fonte des glaciers (Figure 1 et Figure 2). Les changements climatiques sont représentés comme un évènement à court terme dont la temporalité est fixe (sur un intervalle d'une centaine d'années, par exemple), plutôt qu'une crise environnementale continue (Doyle, 2009). Cette temporalité de la photographie visant à documenter un moment précis entre donc en conflit avec celle du phénomène, créant du même coup une distance temporelle avec les spectateur.rice.s qui interprètent ces images comme des photographies avant/après. Cela est également accentué par le contraste entre l'image en noir et blanc et celle en couleurs des photographies comparatives. Par ailleurs, la rhétorique utilisée démontre une propension à inscrire les changements climatiques dans un registre polaire. Le discours de la crise est ainsi localisé dans l'Arctique ou l'Antarctique, ce qui ne rend pas compte des enjeux globaux de la crise. L'expérience humaine est d'autant plus mise de côté par ces campagnes. Les vastes paysages polaires quasi exotiques semblent totalement déconnectés de la sphère sociale, ce qui empêche l'individu de faire un lien avec son propre contexte. En somme, l'analyse de la rhétorique visuelle de ces campagnes nous permet de comprendre l'influence qu'elles peuvent avoir dans la définition et la communication des changements climatiques, en ce sens où elles favorisent un discours qui peut éloigner de la compréhension des causes et enjeux. Celui-ci devrait être compris puis visualisé comme une crise appartenant autant au présent qu'au futur, en plus d'avoir un impact sur l'ensemble du vivant, et ce, peu importe le territoire. Des campagnes de sensibilisation qui reconnaîtraient et choisiraient avec précision leurs spectateur.rice.s cibles favoriseraient la prise d'actions concrètes. En s'écartant de ce registre polaire, les campagnes pourraient fournir des exemples

locaux plus près des réalités actuelles et quotidiennes des individus, afin qu'ils prennent conscience du rôle qu'ils peuvent jouer dans la lutte aux changements climatiques (O'Neill et Hulme, 2009).

RÉFÉRENCES

- Catellani, A. (2016).** Sémiotique de la communication environnementale. Dans Libaert, T. (dir.), *La communication environnementale* (p. 77-93). Paris : CNRS Éditions.
- DeLuca, K. M. (1999).** *Image Politics: The New Rhetoric of Environmental Activism*. New York : The Guilford Press.
- Doyle, J. (2016).** *Mediating Climate Change*. Londres : Routledge.
- Doyle, J. (2007).** Picturing the Climal(ctic): Greenpeace and the Representational Politics of Climate Change Communication. *Science as Culture*, 16(2), 129-150. DOI : 10.1080/09505430701368938
- Doyle, J. (2009).** Seeing the Climate? The Problematic Status of Visual Evidence in Climate Change Campaigning. Dans S. I. Dobrin et S. Morey (dir.), *Ecosee : Image, Rhetoric, Nature* (p. 279-298). New York ; State University of New York.
- Gelbspan, R. (1997).** *The Heat is on : the High Stakes Battle over Earth's Threatened Climate*. Reading, Ma : Addison-Wesley.
- Lavoie, V. (2017).** Introduction. De quoi l'image est-elle la preuve? Dans V. Lavoie (dir.), *La preuve par l'image* (p. 1-12). Québec : Presse de l'Université du Québec.
- O'Neill, S. J. et Hulme, M. (2009).** An iconic approach for representing climate change. *Global Environmental Change*, 19(4), 402-410. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.07.004>
- Rastad Bjørst, L. (2010).** The tip of the iceberg: Ice as a non-human actor in the climate change debate. *Études/Inuit/Studies*, 34(1), 133-150. DOI : <https://doi-org.proxy.bibliotheques.uqam.ca/10.7202/045408ar>



Crédit photo : Arnold Eagle _Digital image courtesy of the Getty's Open Content Program

Enjeux de société

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES COMME INÉGALITÉS SOCIALES DE SANTÉ : LE CAS DES MILIEUX URBAINS AU QUÉBEC

Léa Ilardo

Candidate à la maîtrise en études politiques appliquées
Université de Sherbrooke

Les changements climatiques sont déjà visibles au Canada, qui se réchauffe en moyenne deux fois plus vite que le reste du globe (Brown et al., 2021). Le pays a par exemple fait face à de multiples vagues de chaleur dès le mois de juin 2021, et les prévisions indiquent que celles-ci devraient devenir plus longues, plus chaudes et plus fréquentes dans les prochaines décennies. L'accroissement de la récurrence et de l'intensité d'événements climatiques extrêmes comme ceux-là augmente la menace pesant sur la santé et la sécurité des populations. Le milieu de la santé utilise différents facteurs pour caractériser l'état de santé d'une personne ou d'une population, appelés les déterminants de la santé. Il peut s'agir de facteurs personnels, sociaux, économiques et environnementaux (Émond, 2010). Ceux-ci nous permettent de comprendre que tout le monde n'est pas égal face aux changements climatiques : certains individus et groupes sont plus à risque de subir les préjudices associés aux changements climatiques que d'autres. On dit de ces personnes qu'elles sont plus vulnérables. Les déterminants de la santé permettent de déterminer la vulnérabilité d'une personne aux changements climatiques : on peut penser à ses caractéristiques personnelles comme son âge et son état de santé, son degré d'exposition aux changements climatiques qui est directement lié aux aspects de son environnement physique (p. ex. milieu de vie, logement), ainsi que sa capacité à se préparer, à réagir et à se remettre des impacts des changements climatiques (p. ex. niveau de revenus, autonomie personnelle,

accès aux services médicaux). Ainsi, les conséquences sanitaires des changements climatiques ne sont ni réparties ni vécues uniformément. Les facteurs de vulnérabilité font ressortir un certain nombre d'inégalités sociales de santé, qui correspondent aux différences de santé entre les individus liées à des facteurs ou des critères sociaux de différenciation (classes sociales, catégories socioprofessionnelles, catégories de revenu, niveaux d'études, etc.) (Aiach, 2000). La santé devient alors un problème public qui dépasse les limites de la sphère individuelle. On parlera alors de santé publique, un domaine qui fait l'objet de choix politiques, en ce qu'il est possible d'agir sur les inégalités sociales de santé qui résultent d'une distribution inégale des ressources.

Au Québec, les milieux urbains connaîtront à l'avenir des phénomènes de chaleur plus fréquents et plus intenses ainsi qu'une augmentation des incidences de la mauvaise qualité de l'air (Brown et al., 2021). Déjà, les risques pour la santé des populations sont significatifs. Par exemple, on dénombre 86 décès possiblement liés à la vague de chaleur de l'été 2018 (Lebel, Dubé et Bustinza, 2019). Or ces risques ne sont pas distribués aléatoirement : les changements climatiques touchent davantage certaines populations en fonction de leur profil socioéconomique. Ainsi, cet article s'intéresse au rôle amplificateur des inégalités sociales de santé sur les impacts sanitaires des changements climatiques en milieu urbain à travers deux études de cas : la chaleur extrême et la pollution atmosphérique anthropique.

Manifestation des changements climatiques en milieu urbain : vagues de chaleur et pollution atmosphérique

Les populations urbaines sont les plus vulnérables aux vagues de chaleur, car les températures de surface y sont plus élevées en raison des îlots de chaleur qui s'y forment. Ce sont aussi les plus grandes victimes de la pollution atmosphérique, accentuée par la chaleur et la combustion d'énergies fossiles issues principalement du transport routier, lui-même plus volumineux et concentré en ville.

Au Canada, il n'existe pas de définition formelle d'un épisode de vague de chaleur. Au Québec, l'Institut national de santé publique utilise des seuils de chaleur extrême permettant d'informer et de mobiliser le réseau de la santé et des services sociaux lorsqu'une vague de chaleur est appréhendée. Selon la région, les seuils de détection correspondent à 3 jours de suite avec une température moyenne située entre 31 et 33 °C le jour et qui ne descend pas sous les 16 ou 20 °C la nuit. Quant aux îlots de chaleur urbains (ICU), ils correspondent à des lieux où le couvert forestier a été remplacé par du béton, de l'asphalte ou par un bâtiment et où une différence de température peut s'observer par rapport aux zones rurales environnantes. Cette différence peut atteindre jusqu'à 12 °C de plus dans les ICU en comparaison avec les zones limitrophes (Giguère, 2009). Ainsi, le risque de mourir lors de fortes chaleurs estivales est plus élevé dans les ICU, la chaleur accablante accentuée créant un stress sur le corps humain (Smargiassi *et al.*, 2009).

Les changements climatiques sont également liés à la pollution de l'air, en ce qu'ils sont susceptibles d'influencer les niveaux de smog (une brume jaunâtre causée par l'accumulation d'un mélange de contaminants atmosphériques) et de particules fines dans l'air ambiant, des polluants dont la formation est plus rapide en présence de températures élevées. Environ 95 % des polluants entrant dans la composition du smog proviennent des activités humaines, notamment du transport, en croissance continue au Québec depuis 1990. Réduire nos émissions de gaz à effet de serre permettrait non seulement de lutter contre les changements climatiques, mais aussi de réduire la pollution de l'air, reconnue mondialement comme un facteur qui contribue fortement à l'apparition de maladies (p. ex. problèmes respiratoires soudains, développement de maladies chroniques) et à la survenue de décès prématurés. Celle-ci serait responsable de 15 300 décès prématurés

à l'échelle du pays chaque année, dont 4000 au Québec (Santé Canada, 2021).

Les vagues de chaleur et la pollution de l'air sont deux exemples de la menace à la santé que représentent les changements climatiques. Cependant, à l'intérieur-même des milieux urbains, des déterminants sociaux induisent un risque pour certaines populations d'être plus affectées par ces problèmes que d'autres.

Des impacts significatifs sur les populations aux vulnérabilités socio-économiques

La vulnérabilité de la santé, causée par les changements climatiques, est souvent déterminée à l'aide de facteurs sociaux. Le revenu et le statut social, les réseaux sociaux d'entraide, l'éducation et l'alphabétisation sont tous des facteurs qui jouent sur la capacité des individus et des collectivités à s'adapter aux changements climatiques (GERARCC, 2018). La chaleur extrême et la pollution de l'air sont deux cas révélant une distribution inégale des risques pour la santé. La première peut provoquer de la déshydratation, des troubles de la conscience, des crampes, voire exacerber des maladies chroniques préexistantes comme des maladies cardiovasculaires, au point de causer la mort. Ainsi, les populations les plus vulnérables pendant une vague de chaleur sont habituellement les personnes âgées, les personnes atteintes d'une maladie chronique et les très jeunes enfants. Par ailleurs, à ces déterminants individuels s'ajoutent des facteurs socio-économiques sur lesquels les autorités publiques peuvent agir : les personnes socialement et économiquement défavorisées subissent beaucoup plus les impacts sanitaires liés à la chaleur (Kovats et Hajat, 2008). L'analyse de la distribution spatiale de la végétation à Montréal révèle qu'elles y ont un accès plus limité (Pham *et al.*, 2012). Elles sont plus nombreuses à vivre dans des ICU et des logements mal isolés, où l'accès à la climatisation est limité (sans parler des personnes en situation d'itinérance dont la possibilité de se rafraîchir est d'autant plus restreinte). D'autres facteurs de risque entrent en compte dans l'identification des profils de vulnérabilité à la chaleur comme le fait de vivre seul.e et d'avoir une incapacité grave : des situations que les personnes défavorisées ont plus de risques de rencontrer (INSPQ, s.d.). Tous ces facteurs se combinent et se renforcent : ils sont intersectionnels.

Les inégalités sociales de santé se manifestent également dans l'identification des profils de vulnérabilité à la pollution atmosphérique. Les quartiers pollués en

raison d'une forte densité de trafic sont également plus asphaltés (ce sont des ICU), possèdent peu d'espaces verts et sont donc plus chauds. Ces zones correspondent généralement aux lieux où vivent les personnes les plus défavorisées : c'est ce qu'a révélé une étude menée dans les 9 villes les plus peuplées du Québec en 2011 (Bélanger *et al.*, 2015). Une étude menée spécifiquement à Montréal a montré que les personnes à faible revenu habitent plus fréquemment à proximité des grands axes routiers et dans des secteurs à plus forte concentration de polluants (Carrier *et al.*, 2014).

Ainsi, il existe un lien direct entre les inégalités sociales et la vulnérabilité aux problèmes de santé associés aux changements climatiques. Les mesures d'adaptation doivent le prendre en compte pour ne pas creuser le fossé des inégalités.

Perspectives d'adaptation : plus d'équité pour des villes résilientes

La distribution inégale des profils de vulnérabilité à la chaleur extrême et à la pollution atmosphérique anthropique met en lumière une répartition spatiale de l'iniquité environnementale, c'est-à-dire des situations de surexposition à des nuisances (la pollution de l'air) ou de plus faible accessibilité aux éléments positifs du cadre de vie (la végétation) que vivent certains groupes de la population. En ce sens, les mesures d'adaptation doivent être centrées sur le principe d'équité environnementale, qui conduirait à plus d'équité en santé. En milieu urbain, une planification rigoureuse de la distribution des infrastructures de verdissement et de transport routier peut permettre d'éviter de se retrouver dans une situation d'iniquité environnementale (Houde, 2018).

L'analyse des impacts sanitaires de la chaleur révèle qu'améliorer l'aménagement d'espaces verts dans les secteurs les plus pauvres des grands centres urbains serait des plus avantageux pour faciliter l'adaptation. À titre d'exemple, la création d'un parc au centre-ville en remplacement de bâtiments générerait une baisse de température de l'air environnant de 2 °C à plus de 6 °C (Giguère, 2009). La campagne ILEAU, qui réduit les ICU à Montréal, est une application concrète d'une politique socialement acceptée, menée en collaboration avec la santé publique et des partenaires locaux afin de transformer le territoire. La création de jardins communautaires est un autre exemple de projet qui affecte positivement la santé mentale et les rapports sociaux (Beaudoin et Levasseur, 2017). En effet, les espaces verts influencent conjointement certains déterminants sociaux de la santé et la santé elle-même. Néanmoins, ces stratégies de création d'îlots de fraîcheur



Crédit photo : Bavarian TramSpotter

ont comme penchant négatif qu'elles peuvent favoriser ce qu'il est courant d'appeler la « gentrification verte ». Il est important de veiller à ne pas annuler les efforts de réduction des inégalités sociales de santé par le biais du verdissement dans les quartiers les plus affectés : un effet d'embourgeoisement provoqué par ces transformations peut faire augmenter le prix des loyers, chassant par le fait même les populations à qui était destiné le verdissement.

La question de la pollution atmosphérique doit être traitée avec les mêmes précautions. Étant en grande partie liée au trafic automobile, les solutions envisagées pour la réduire peuvent viser à réacheminer une partie de la circulation empruntant les rues locales à vocation résidentielle vers le réseau routier supérieur (artères, autoroutes). Cependant, cette approche a généralement pour conséquence d'accroître les inégalités en santé en déplaçant simplement les contaminants émis par les véhicules là où des personnes aux situations socioéconomiques défavorisées sont surreprésentées (Bellefleur et Gagnon, 2011). Une solution consiste donc à détourner les individus de l'automobile en développant un service efficace de transports collectifs et en permettant l'utilisation sécuritaire du transport actif, en faisant attention à ce que la présence d'infrastructures cyclables n'encourage pas la gentrification, comme des études l'ont observé (Houde, 2018). Une politique de gratuité des transports collectifs, en plus de lutter contre la pollution atmosphérique en faisant baisser la circulation, pourrait diminuer certaines inégalités en santé. La mobilité améliore l'accès à l'emploi, à l'éducation, à la culture et aux soins de santé, tout en facilitant la lutte à l'exclusion sociale (Schepper, 2017).

La création d'équité participe à accroître la capacité d'adaptation et le bien-être dans les villes, leur permettant de devenir plus résilientes face aux changements climatiques (Brown *et al.*, 2021). C'est pourquoi celle-ci doit être centrale au processus d'adaptation aux changements climatiques.

Rendre indissociable l'approche santé- environnement-inégalités sociales

Ainsi, les inégalités sociales et leurs intersectionnalités agissent comme agents multiplicateurs des effets des changements climatiques sur la santé. Le travail en vase clos lors de l'élaboration de politiques de lutte et d'adaptation peut avoir de lourdes répercussions sur les populations les plus défavorisées. Les cursus académiques formant les futurs décideurs sur les questions liées aux changements climatiques (p. ex. science politique, urbanisme, médecine) devraient dès aujourd'hui intégrer une approche intersectionnelle à leur formation. Car en ignorant le lien direct entre la santé, l'environnement et les inégalités sociales, on risque de perpétuer voire d'exacerber ces dernières. Au début du mois d'avril 2021, trois organismes de santé publique (l'Association canadienne de santé publique, l'Association canadienne de la santé pour la durabilité et l'équité et l'Association de santé publique de l'Ontario) insistaient auprès du gouvernement fédéral afin qu'il s'assure que ses investissements pour lutter contre la crise climatique n'enracinent pas les inégalités en matière de santé partout au Canada, en priorisant les quartiers à faible revenu dans le déploiement des programmes. Il en va évidemment de même pour le gouvernement provincial. En 2015, Ouranos a évalué à plus de 20 000 le nombre de décès supplémentaires causés par l'augmentation de la chaleur d'ici 50 ans au Québec. Nous savons déjà que si rien n'est fait pour lutter contre les inégalités sociales, ces potentiels décès toucheront des populations aux profils déjà connus. Le défi que posent les changements climatiques met la société québécoise face à des choix importants, devant être entérinés par des politiques publiques ambitieuses et courageuses. Non seulement pour répondre à la crise climatique en cours, mais aussi à ses corollaires sanitaires et sociaux.

RÉFÉRENCES

Aïach, P. (2000). De la mesure des inégalités : enjeux sociopolitiques et théoriques. Dans Fassin, D. (éd.), *Les inégalités sociales de santé* (p. 81-91). Paris : La Découverte. doi : 10.3917/dec.fassi.2000.01.0081

Beaudoin, M. et Levasseur, M.E. (2017). *Verdir les villes pour la santé de la population*. Repéré à https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2265_verdir_villes_sante_population.pdf

Bélanger, D., Abdous, B., Valois, P., Gosselin, P., Laouan Sidi, E.A. (2015). *Analyse multiniveau pour expliquer la prévalence d'impacts sanitaires néfastes autorapportés et l'adaptation lorsqu'il fait très chaud et humide en été dans les secteurs les plus défavorisés des neuf villes les plus peuplées du Québec en 2011*. Repéré à <http://espace.inrs.ca/2539/1/R001570.pdf>

Bellefleur, O. et Gagnon F. (2011). *Apaisement de la circulation urbaine et santé*. *Revue de la littérature*. Repéré à http://www.ccnpps.ca/docs/RevueLitteratureApaisementCirculation_Fr.pdf

Brown, C., Jackson, C., Harford, D. et Bristow, D. (2021). Villes et milieux urbains. Dans Warren, F.J. et Lulham, N. (éd.), *Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux*. Repéré à <https://changingclimate.ca/national-issues/fr/chapter/2-0/>

Carrier, M., Apparicio, P. Séguin, A-M. et Crouse, D. (2014). The application of three methods to measure the statistical association between different social groups and the concentration of air pollutants in Montreal: A case of environmental equity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 30, 38-52. doi : 10.1016/j.trd.2014.05.001

Émond, A. (2010). *Cadre conceptuel de la santé et de ses déterminants*. Repéré à https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/responsabilite-populationnelle/cadre_conceptuel.pdf

GERARCC [Groupe d'experts sur les résultats de l'adaptation et de la résilience aux changements climatiques] (2018). *Mesure des progrès en matière d'adaptation et de résilience climatique : recommandations à l'intention du gouvernement du Canada*. Repéré à https://publications.gc.ca/collections/collection_2018/eccc/En4-329-2018-fra.pdf

Giguère, M. (2009). *Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains*. Repéré à https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/988_mesuresilotschaleur.pdf

Houde, M. (2018). *ÇA ROULE POUR QUI ? L'accessibilité au réseau cyclable : un enjeu d'équité environnementale*. Repéré à <http://espace.inrs.ca/id/eprint/7614/1/Houde-M-M-Mai2018.pdf>

INSPQ [Institut national de santé publique du Québec] (s.d.). Vagues de chaleur et santé humaine. Repéré à <http://www.monclimatmasante.qc.ca/vagues-de-chaleur.aspx>

Kovats, R. et Hajat, S. (2008). Heat Stress and Public Health: A Critical Review. *Annual Review of Public Health*, 29, 41-55. doi : 10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090843

Label, G., Dubé, M. et Bustinza, R. (2019). *Surveillance des impacts des vagues de chaleur extrême sur la santé au Québec à l'été 2018*. Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/bise/surveillance-des-impacts-des-vagues-de-chaleur-extreme-sur-la-sante-au-quebec-l-ete-2018>

Pham, T., Apparicio, P., Séguin, A-M., Landry, S., Gagnon, M. (2012). Spatial distribution of vegetation in Montreal: An uneven distribution or environmental inequity? *Landscape and Urban Planning*, 107(3), 214-224. doi : 10.1016/j.landurbplan.2012.06.002

Santé Canada. (2021). *Les impacts sur la santé de la pollution de l'air au Canada. Estimation des décès prématurés et des effets non mortels. Rapport 2021*. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/2021-effets-pollution-air-interieur-sante.html>

Schepper, B. (2017). *Le transport en commun gratuit pour Montréal*. Repéré à https://cdn.iris-recherche.qc.ca/uploads/publication/file/Fiche_STM_WEB.pdf

Smargiassi, A., Goldberg, M. S., Plante, C., Fournier, M., Baudouin, Y. et Kosatsky, T. (2009). Variation of daily warm season mortality as a function of micro-urban heat islands. *Journal of epidemiology and community health*, 63(8), 659-664. doi: 10.1136/jech.2008.078147

ÉTUDIER EN ENVIRONNEMENT



- Formations axées sur la pratique
- Stages rémunérés
- Formation à distance

Centre universitaire de formation en environnement et développement durable

- Baccalauréat
- Maîtrise
- Diplôme
- Microprogrammes de 2^e et 3^e cycles



2500, boulevard de l'Université
Sherbrooke (Québec) J1K 2R1

CLIMATOSCOPE.CA