

Septembre 2022
Numéro 04

Le Climatoscope



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

CLIMATOSCOPE.CA

Dans ce numéro

**DOSSIER SPÉCIAL
ENJEUX NORDIQUES**

LA CARBONEUTRALITÉ

**HYDROGÈNE : EFFET DE MODE
OU RÉEL INTÉRÊT ?**

LES PROCÈS CLIMATIQUES AU CANADA

**TECHNO-OPTIMISME :
UNE MENACE À L'ACTION ?**

**TRANSITION ÉNERGÉTIQUE JUSTE
POUR LE QUÉBEC ET LE CANADA**

PLANTER DES ARBRES : UNE PANACÉE ?

04



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 les 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 : troisième trimestre 2022
Bibliothèque et Archives Canada
Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISSN 2562-8011

Crédit photo couverture : Joanna Perchaluk / Shutterstock

LE CLIMATOSCOPE

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

POUR SUIVRE NOS ACTIVITÉS

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

Frédéric Bouchard, Professeur au Département de géomatique appliquée à 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

COORDINATION

Catherine Gauthier

Sylvain Vigier

RÉVISION LINGUISTIQUE

Valérie Bélanger

REMERCIEMENTS

Nous remercions sincèrement toutes les personnes qui ont évalué les articles pour ce numéro.

PARTENAIRES PRINCIPAUX



Conseil de recherches en sciences humaines du Canada

Social Sciences and Humanities Research Council of Canada



PARTENAIRES



Table des matières

INTRODUCTION

Un numéro tout chaud, tout froid L'équipe du Climatoscope	5
---	----------

ÉDITORIAL

Quand William annonça notre destin écologique Roméo Saganash	7
--	----------

PERSPECTIVES

Quand la carboneutralité change tout Normand Mousseau, Simon Langlois Bertrand et Louis Beaumier	8
--	----------

Le découplage : un concept au cœur des débats sur la transition écologique Charles Duprez et Roberto Colin	12
--	-----------

Effet de mode ou réel intérêt ? Le rôle de l'hydrogène dans la transition énergétique Alex Bigouret	17
---	-----------

Tabac et véhicules à essence : cesser de vendre un mode de vie pour réduire la consommation Laurence Casavant-Nault, Vicky Meyers et Andréanne Brazeau	23
--	-----------

SCIENCES ET TECHNOLOGIES

De nouveaux ravageurs dans les fraisières au Québec, un autre effet des changements climatiques Nicolas Plante, Frédéric McCune, Valérie Fournier et Edel Pérez-López	28
---	-----------

Pollen et microbes : les défis de la vie urbaine face au changement global Sarah Poirier et Isabelle Laforest-Lapointe	33
--	-----------

Planter des arbres : une panacée pour contrer le réchauffement ? Olivier Asselin	39
--	-----------

Potentiel d'intégration des algues marines de la Basse-Côte-Nord dans le mix énergétique québécois Martin Bilodeau, Sébastien Poncet, Simon Barnabé, Louis Riverin et Kristopher Fequet	43
---	-----------

Les macroinvertébrés benthiques : des organismes indicateurs des effets des changements climatiques Alexandra Gélinas, Paola Jofre et Nathalie Piedboeuf	48
--	-----------

DROIT ET POLITIQUE

Rendez-vous au tribunal ! Où en sommes-nous avec les procès climatiques contre les gouvernements au Canada? Géraud de Lassus St-Geniès	54
--	-----------

Le Parti conservateur uni albertain : un gouvernement motivé par l'approche techniciste en environnement Frédéric Boily	58
---	-----------

Le techno-optimisme, une menace à l'action climatique ? Blandine Sebilleau, Erick Lachapelle et Valériane Champagne St-Arnaud	62
---	-----------

L'« Airpocalypse » en Chine : manifestations de la crise climatique et de la dépendance énergétique au charbon	68
Gauthier Mouton	

Reconstruire ou partir : les défis de l'adaptation en Louisiane	72
Sarah M. Munoz	

LES JEUNES POUSSÉS

Transformation totale au Nunavik	77
Les conséquences climatiques sur les Inuit du Nunavik	

Manteau de neige	Imageries radar	78
Le suivi du manteau neigeux pour développer des modèles climatiques	Les cycles de gel et de dégel du sol en toundra arctique	

Éthique et pragmatisme	Différenciation ou uniformisation ?	79
La question spécifique de l'adaptation	Les engagements d'atténuation à travers la gouvernance mondiale du climat	

Des crues exceptionnelles	Croissance ou décroissance ?	80
La gouvernance régionale et les stratégies d'adaptation aux inondations	Les différentes voies de la transition écologique	

DOSSIER : ENJEUX NORDIQUES

Imprévisibilité climatique, dérèglement des cycles des lemmings et biodiversité nordique	81
Gabriel Bergeron, Mathilde Poirier et Dominique Fauteux	

Dégel du pergélisol et émissions de gaz à effet de serre dans le Nord : pas si simple	85
Frédéric Bouchard, Isabelle Laurion et Laure Gandois	

Développer la bioénergie pour atténuer les gaz à effet de serre dans les collectivités nordiques et autochtones du Canada	91
Nicolas Mansuy et Jennifer Buss	

La preuve par satellite	96
Alain Royer et Nicolas Marchand	

ENJEUX DE SOCIÉTÉ

La communication environnementale : qu'est-ce que c'est et comment entend-t-elle contribuer aux pistes de solution relatives à la crise climatique ?	101
Oumar Kane	

La biodiversité dans la presse écrite québécoise : une construction sociomédiatique complexe	106
Olivier Champagne-Poirier	

L'art de l'urgence : de nouveaux récits pour penser les changements climatiques	111
Valérie Paquet et Jonathan Rouleau	

Une transition énergétique juste pour le Québec et le Canada	115
Alexandre Gajevic Sayegh, Laurent Lauzon-Rhéaume, Jeanne Desrosiers, Felix Bherer-Magnan et Sarah-Jane Vincent	

Les changements climatiques et leurs répercussions sur les inégalités de genre	120
Marianne-Sarah Saulnier	

Verdissement et santé publique : quand les communautés se mobilisent	125
Mélanie Beaudoin, Marie Lapointe et Daniela Kowu	

INTRODUCTION : UN NUMÉRO TOUT CHAUD, TOUT FROID

L'année 2022 marque les 30 ans de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques ainsi que de la Convention sur la diversité biologique, toutes deux signées lors du Sommet de la Terre à Rio, en 1992. Si ces deux conventions ont permis de mettre à l'avant-scène l'importance de ces enjeux environnementaux pour l'avenir de l'humanité, la tâche reste encore colossale pour atteindre leurs objectifs tant à l'échelle nationale qu'internationale.

Aussi, dans la dernière année, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a publié les trois contributions des groupes de travail pour son sixième rapport d'évaluation. Les constats sont sans équivoque : l'humain a transformé le système climatique de façon profonde et généralisée, et certains changements s'approchent du seuil d'irréversibilité. Sans une réduction immédiate et radicale des émissions dans tous les secteurs, il nous sera impossible de limiter le réchauffement planétaire en deçà de 1,5 °C. Sur une note plus optimiste, le rapport souligne que nous disposons des outils et du savoir-faire nécessaires pour limiter le réchauffement. La fenêtre d'opportunité existe donc encore, mais elle devient de plus en plus étroite.

À l'échelle nationale, cette année-ci s'est illustrée par quelques bons coups, mais également des approches beaucoup plus discutables sur le front de la lutte aux changements climatiques. Un bon coup s'illustre notamment par l'interdiction de l'exploitation ou de l'exploration de tout nouveau gisement de pétrole ou de gaz au Québec. En contrepartie, l'autorisation de l'exploitation de Bay du Nord, au large de Terre-Neuve, montre le difficile, pour ne pas dire l'impossible équilibre canadien entre l'engagement annoncé de la carboneutralité et l'augmentation de la production pétrolière.

À l'échelle internationale, l'année 2022 est bien sûr caractérisée par l'invasion inqualifiable de l'Ukraine par la Russie. Une invasion militaire qui aura contribué à propulser vers de nouveaux sommets le coût des énergies fossiles et qui illustre bien notre dépendance mondiale envers ce type d'approvisionnement malgré tous nos objectifs de transition. Cette guerre démontre

également l'interdépendance de nos sociétés et la nécessité d'accélérer la cadence vers les énergies renouvelables et la sortie des énergies fossiles pour l'atteinte de la carboneutralité.

Aujourd'hui, la question climatique occupe tous les pans de l'actualité, ce qui rappelle l'importance d'accélérer la lutte aux changements climatiques et la nécessité de placer l'être humain au centre de cette réflexion. Cette situation s'illustre à merveille par l'éditorial de Roméo Saganash, offrant ainsi un regard privilégié des Premiers Peuples avec leur environnement.

Dans ce numéro, *Le Climatoscope* a voulu jeter un regard particulier sur le Nord, qui ne fait pas suffisamment l'actualité et auquel fait référence Roméo Saganash. Pourtant, la recherche climatique y est très active. L'Arctique circumpolaire, qui inclut la partie nord du territoire québécois, au Nunavik, représente une région très vulnérable au réchauffement climatique actuel et à celui projeté pour la fin du 21^e siècle.

Bien que le Nord occupe une place privilégiée dans ce numéro, la diversité des enjeux et des travaux de recherche dans le domaine climatique se traduisent encore une fois par plusieurs thématiques essentielles à la compréhension des enjeux climatiques. Nous espérons que vous aurez autant de plaisir à découvrir et à lire ce quatrième numéro que nous avons eu à le produire.

L'équipe du Climatoscope

L'University of the Arctic (UArctic), fondée en 2001, constitue un acteur majeur dans les études arctiques. UArctic est un organisme sans but lucratif voué à la promotion et au développement de l'éducation et de la recherche collaborative dans l'Arctique circumpolaire. Depuis juin 2022, l'Université de Sherbrooke est le plus récent établissement universitaire québécois à se joindre au réseau international dont font déjà partie l'Université Laval, l'Université McGill, l'Université du Québec à Montréal et l'Université du Québec à Rimouski.



Pour pousser vos recherches, **poussez nos portes.**

Ici, les activités de recherche augmentent à la vitesse grand V et les percées scientifiques ne cessent de se multiplier. Nous avons l'audace de tout mettre en place pour demeurer parmi les universités de recherche les plus prolifiques au pays.

[USherbrooke.ca](https://Usherbrooke.ca/recherche)
/recherche

UDS
Université de
Sherbrooke

QUAND WILLIAM ANNONÇA NOTRE DESTIN ÉCOLOGIQUE

Roméo Saganash

Durant l'été de 1963, un jeune québécois du nom de Jean-Yves Soucy se retrouve en pleine forêt boréale pour un emploi d'été à titre de garde-feu. C'était sa première visite en cette contrée, ignorant même la présence des premiers habitants de ce territoire, les Cris, en particulier du village de Waswanipi.

Le hasard, ou peut-être le destin, s'est pointé pour s'assurer que le jeune Soucy, alors âgé de 18 ou 19 ans, croise le grand William Saganash durant les premiers instants de son séjour estival dans un endroit complètement inconnu pour lui. Les deux parlent et comprennent peu l'anglais, mais l'intuition du jeune homme l'incite à engager William comme guide pour l'été, pour ainsi naviguer sur ces lacs, rivières et ruisseaux, et porter son canot entre ces routes millénaires.

Cette magnifique rencontre imprévue, Soucy la raconte dans un charmant récit, joliment écrit et publié post-mortem : *Waswanipi*. Passer presque trois mois avec le porteur d'un savoir autochtone inédit et millénaire, c'est sans doute une occasion inespérée, voire impossible. Mais voilà que Jean-Yves Soucy demande à William Saganash, il y a de cela 60 ans, comment il voyait l'avenir de ses 14 enfants dans 50 ans.

La réponse de mon père ne me surprendra jamais. Il prédit alors, observant le développement minier et forestier rapide dans le territoire cri, qu'il n'y aura plus de ressources et de place pour tous, y compris les animaux ! Ces pensées viennent une décennie avant la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et la Déclaration de Stockholm de 1972. Ce n'était pas avant-gardiste de sa part, juste une science millénaire. Selon le principe 4 de la Déclaration :

« L'homme a une responsabilité particulière dans la sauvegarde et la sage gestion du patrimoine constitué par la flore et la faune sauvages et leur habitat, qui sont aujourd'hui gravement menacés par un concours de facteurs défavorables. [...] »

Il s'est écoulé 60 ans depuis le cri du cœur du Cri William !

J'ai voulu honorer la mémoire de mon père en négociant une disposition particulière dans la Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones,

l'instrument de droits de la personne le plus longuement discuté et négocié dans l'histoire des Nations Unies. L'article 25 de la Déclaration demande de l'humilité et de l'humanité de notre part :

« Les peuples autochtones ont le droit de conserver et de renforcer leurs liens spirituels particuliers avec les terres, territoires, eaux et zones maritimes côtières et autres ressources qu'ils possèdent ou occupent et utilisent traditionnellement, et d'assumer leurs responsabilités en la matière à l'égard des générations futures. »

Nous en sommes là aujourd'hui. Nous avons besoin de la contribution de tous, y compris nous, les peuples autochtones, dans ce défi qu'est la sauvegarde d'une planète qui se déchaîne toutes les saisons.

Multidisciplinaire est certes ce numéro ; les contributions sont d'une inestimable valeur. Notre défi sans précédent demeure toutefois d'incorporer toutes ces sciences qui progressent, avec les savoirs de ces peuples millénaires qui peuvent, sans doute, contribuer.

En 1963, j'avais à peine 2 ans, et déjà, William pensait à moi dans 50 ans. Il avait ce privilège de penser à ce qu'il adviendrait 50 ans plus tard. Nous ? Non.

Juriste, négociateur et homme politique, Roméo Saganash a défendu pendant toute sa carrière les droits de la personne, en particulier ceux des Premiers Peuples. De 1990 à 1993, il a été vice-grand chef du Grand Conseil des Cris et vice-président du conseil de l'Administration régionale crie. Dès 1993, il a servi en tant que directeur des relations gouvernementales et affaires internationales au Grand Conseil des Cris et a joué un rôle majeur dans les négociations de l'entente de la Paix des Braves. De 2011 à 2019, il a été député fédéral pour la circonscription d'Abitibi-Baie-James-Nunavik-Eeyou. Il a reçu le prix Reconnaissance de l'UQAM en 2003 pour son rôle dans la négociation de la Paix des Braves et détient également un doctorat honoris causa en droit de l'Université Laval.



Perspectives

QUAND LA CARBONEUTRALITÉ CHANGE TOUT

Normand Mousseau

Professeur de physique,
Université de Montréal

Directeur scientifique,
Institut de l'énergie Trottier,
Polytechnique Montréal

Simon Langlois-Bertrand

Chercheur associé
Institut de l'énergie Trottier,
Polytechnique Montréal

Louis Beaumier

Directeur général
Institut de l'énergie Trottier,
Polytechnique Montréal

Le 29 juin 2021, le gouvernement canadien adoptait la *Loi sur la responsabilité en matière de carboneutralité* et la cible légale de carboneutralité pour le Canada d'ici 2050. À première vue, cette cible ne représente qu'un resserrement quantitatif par rapport à l'objectif précédent de réduction de 80 % à l'horizon 2050, soit un effort additionnel de 25 %.

C'est pour cette raison que nous avons approché ce resserrement des cibles lorsque nous avons commencé à travailler sur la production de la deuxième édition de nos *Perspectives énergétiques canadiennes* en 2021. Cependant, les résultats de modélisation par nos partenaires de la firme ESMIA Consultants sont venus contredire nos attentes. L'atteinte de la carboneutralité ne peut se faire par des ajustements à la marge des trajectoires de décarbonation précédentes : le zéro, au cœur de la carboneutralité, impose des contraintes fortes qui font que des solutions et des stratégies appropriées pour réduire les émissions de GES de 80 ou même de 90 % deviennent soudainement inacceptables.

En distillant l'évolution des divers scénarios, nous avons extrait quelques observations importantes quant à la nature des enjeux liés à la carboneutralité, voire à des émissions négatives nettes, ce qui sera certainement la nature de la prochaine cible imposée. Ces observations

offrent un cadre essentiel pour déployer des actions efficaces sur la voie de la carboneutralité. Les détails de ces analyses peuvent être trouvés dans une série de rapports que nous avons produits au cours de la dernière année¹.

Observations

L'atteinte de la carboneutralité en moins de trois décennies ne permet pas les solutions transitoires. Il y a encore quelques années, il était possible de justifier le déploiement de mesures visant à optimiser l'utilisation des combustibles fossiles, de manière à réduire de quelques pour cent les émissions associées. Les exemples sont nombreux : l'incorporation de 5 à 15 % de biocarburants dans l'essence et le diesel, ou l'introduction du chauffage biénergie, qui réduit, sans l'éliminer, la part du gaz naturel. Persévérer sur cette voie, aujourd'hui, n'est pas compatible avec l'atteinte des objectifs du Canada ; cette approche apparaît plutôt comme une façon de protéger la *statu quo*, en dirigeant les investissements dans des infrastructures qui empêchent la décarbonation

1. Langlois-Bertrand et al., 2021 ; Langlois-Bertrand, Mousseau et Beaumier, 2021 ; Langlois-Bertrand et Mousseau, 2022a.

complète de l'économie. En plus de réduire les sommes disponibles pour des efforts réellement efficaces de décarbonation, le déploiement de solutions de transition renforce les barrières structurelles en renouvelant des infrastructures dont la durée de vie s'approche de l'horizon des objectifs de carboneutralité ou l'excède.

La réduction des émissions doit être privilégiée par rapport au captage et à la séquestration. Le captage et la séquestration du carbone (CSC) sont souvent présentés comme une voie de moindre mal qui permet d'éliminer le carbone sans avoir à se départir des infrastructures fortement émettrices de GES. Il suffit d'ajouter un appareillage pour recueillir le CO₂ à la source et l'enfouir de manière permanente en sous-sol. La réalité, comme toujours, est beaucoup plus ambiguë. Tout d'abord, aucun site de CSC en activité aujourd'hui sur la planète ne s'approche de la carboneutralité; les procédés de captage laissent invariablement échapper du CO₂ (voir, par exemple, Hu et Zhai, 2017), sans compter que les fuites en amont (les émissions fugitives) restent un problème important (Agence internationale de l'énergie 2022a). Avant de parler CSC, y compris le captage direct de l'air, il faut d'abord considérer les options de réduction nette des émissions par des changements de procédé, de technologie ou de comportement. Cela ne veut pas dire, toutefois, de rejeter complètement cette approche, car nos modélisations suggèrent que même avec les meilleures technologies carboneutres disponibles, il faudra encore capter et séquestrer plus de 150 Mt.équ.CO₂ au Canada, en 2050. Ces efforts, qui représentent presque deux fois les émissions annuelles actuelles du Québec (!) (MELCC, 2021), seront nécessaires pour compenser les émissions restantes liées à l'agriculture, aux procédés industriels et au transport.

L'efficacité énergétique ne permet pas d'atteindre la carboneutralité. Pour plusieurs analystes, la piste de l'efficacité énergétique est prioritaire pour l'atteinte des objectifs climatiques (Agence internationale de l'énergie, 2022b). Sans nier son importance, il est pourtant évident que l'efficacité énergétique n'offre pas intrinsèquement une voie assurée vers la carboneutralité, car elle cible trop souvent une réduction de la consommation d'énergie, sans égard à la source. Ainsi, une utilisation plus performante des combustibles fossiles ne change pas la structure fondamentale des systèmes énergétiques et sert plutôt, en réduisant le poste de dépense, à diminuer le rendement économique et financier pour passer à des sources d'énergie à émissions nulles. De plus, l'expérience montre que les promesses d'efficacité énergétique sont rarement tenues (voir, par exemple, Fowlie, Greenston et Wolfram, 2018). L'accent mis présentement sur cette voie risque donc de retarder considérablement les transformations structurelles urgentes nécessaires à l'atteinte des objectifs climatiques.

Nos modélisations et analyses suggèrent que le passage à des énergies propres est essentiel, car celui-ci s'accompagne presque systématiquement de gains notables en productivité énergétique. Par exemple, la voiture électrique à batterie améliore d'un facteur trois ou quatre la productivité énergétique : alors que typiquement, 12 à 30 % de l'énergie de l'essence est convertie en mouvement, c'est plutôt 77 % dans le cas de l'électricité (US Department of Energy, 2022). Ce passage vers de nouvelles technologies plus efficaces est aussi l'occasion de revoir des habitudes et des façons de faire. Une stratégie gagnante pourrait soutenir la voiture électrique par l'intégration d'incitatifs à l'autopartage ou au covoiturage, ce qui permettrait de profiter d'une transition technologique pour faciliter les changements de comportement.

L'électrification massive est la clé de l'atteinte de la carboneutralité. L'électrification de l'économie offre de nombreux avantages. Elle permet d'offrir une source d'énergie à très faible impact environnemental, tout en concentrant la responsabilité de cette transformation dans les mains des sociétés publiques, facilitant les investissements et le déploiement des infrastructures. Elle permet, de plus, d'augmenter grandement la productivité énergétique et de réduire la quantité d'énergie nécessaire pour assurer les mêmes services : chauffage, transport, production. Ainsi, passer du chauffage au gaz naturel — où généralement plus de 15 % de la chaleur potentielle est perdue en mauvaise combustion et en fumée envoyée vers l'extérieur — à la thermopompe aérienne — où l'électricité sert à transporter la chaleur de l'extérieur à l'intérieur — permet de réduire d'environ un facteur trois la quantité d'énergie nécessaire pour le même confort. Finalement, l'électrification massive, en favorisant les approvisionnements régionaux, augmente les retombées économiques, tout en rendant plus concrètes les répercussions environnementales de la consommation énergétique.

Ce rôle central de l'électricité dans la transition énergétique explique pourquoi les sociétés de service public doivent déployer dès maintenant les investissements nécessaires pour augmenter la production d'électricité à faible impact environnemental et pour renforcer le réseau de distribution afin que toute la population puisse décarboner ses activités le plus rapidement possible.

Tous les secteurs ne réduiront pas leurs émissions au même rythme. Transformer en profondeur notre relation à l'énergie n'est pas facile. Au fil du temps, bois, charbon, énergies hydrauliques et éoliennes, pétrole, gaz et nucléaire se sont progressivement ajoutés au panier énergétique assurant les besoins et, surtout, les demandes des humains. Pour certains secteurs, il est relativement facile de passer d'une source à

l'autre. C'est le cas, par exemple, pour la production d'électricité, le chauffage des bâtiments et certains besoins industriels. D'autres secteurs, tels que celui des transports, à l'exception partielle du transport sur rail, se sont développés en lien étroit avec le pétrole et leur transformation exige de repenser les technologies et les habitudes. Finalement, certains procédés industriels fortement émetteurs, pour la fabrication du ciment, par exemple, et la transformation des métaux, sont contraints par des lois physiques et chimiques. Leur rythme de décarbonation est donc dépendant du développement de solutions ciblées. Cette observation mène à deux conclusions : premièrement, il faut dès maintenant développer des trajectoires de décarbonation sectorielles précises et ambitieuses ; deuxièmement, il faut saisir tous les fruits mûrs possibles, tout en travaillant sur l'ensemble des secteurs.

Les individus ne peuvent porter seuls le poids de l'atteinte de la carboneutralité. Le discours dominant remet trop souvent la responsabilité de la décarbonation entre les mains de la population citoyenne en demandant des changements d'habitudes alimentaires, de voyages, de choix des véhicules, de lieux de résidence, etc. Or, seulement 22 % des émissions canadiennes (Langlois-Bertrand *et al.*, 2021) et 26 % des émissions québécoises (Langlois-Bertrand et Mousseau, 2022b) sont associées directement aux choix individuels, par l'intermédiaire du transport et du chauffage des bâtiments résidentiels. Les trois quarts restants sont le fait de choix industriels, manufacturiers, commerciaux et institutionnels, bien éloignés des leviers citoyens. Pris individuellement, les citoyennes et les citoyens ont, en effet, bien peu de contrôle sur l'aménagement du territoire, l'offre de transport en commun, les normes et les pratiques agricoles ou de construction. C'est pourquoi le poids de la transition doit être assumé collectivement et non pas rejeté sur les épaules des individus dans leurs choix quotidiens. Les données historiques montrent que peu peuvent déployer des efforts importants pour réduire de manière considérable leurs émissions de GES. Ces efforts consomment une grande partie de leur temps et de leurs intérêts, car ils exigent de s'informer, d'identifier les options crédibles et d'éviter presque systématiquement les choix les plus faciles. Pour la majorité de la population, prise par d'autres intérêts et d'autres urgences, ces efforts sont impossibles ou difficilement acceptables. Réduire les barrières au changement implique donc que l'État adapte les règles, les normes ou les primes, et que les options offertes à la population soient compatibles avec l'objectif de carboneutralité. Une telle approche permettrait à toutes et à tous de faire les gestes nécessaires, évitant de faire de la transition un fardeau individuel.

Le défi n'est pas la cible, mais le chemin. Malgré l'apparence, les gouvernements ne peuvent pas, à eux seuls, mener la transition vers la carboneutralité.

L'ampleur des changements soulignés par la modélisation exige une participation de toute la société. Chaque geste doit toutefois être cohérent avec l'objectif global, pour minimiser les coûts et accélérer la transformation. Pour ce faire, il est essentiel que les États exercent un leadership fort et une volonté claire de réussir la transition. Ce leadership ne peut s'exercer que par des gestes structurants qui refondent les habitudes quotidiennes et forcent les choix de coupure, c'est-à-dire des changements en profondeur et non pas seulement dans la continuité. Aujourd'hui, de nombreux obstacles structurels limitent ces choix : programmes mal adaptés ; barrières réglementaires et financières ; maintien d'incertitudes quant aux transformations réellement visées. Toutes ces barrières facilitent et, même, justifient l'inertie. Pourquoi prendre des risques si la transition ne se fait pas ? C'est le message qu'envoie Hydro-Québec, par exemple, lorsque la société d'État annonce qu'elle estime que le gaz naturel est essentiel dans le secteur du bâtiment. Dans ces conditions, les autres acteurs du milieu n'ont pas intérêt à jouer contre Hydro-Québec en misant sur des solutions à zéro émission, par crainte d'être pénalisés directement ou indirectement.

Seule une approche stratégique cohérente, compétente et intégrée peut créer le climat de confiance essentiel à un mouvement de fond vers la décarbonation complète de notre société. Malheureusement, Ottawa, et encore plus Québec multiplient les messages confus, ambivalents et incohérents qui décrédibilisent le discours climatique. Il est urgent de corriger cette situation qui satisfait pourtant de nombreuses élues et de nombreux élus.

Le monde ne s'arrêtera pas en 2050. Une fois la carboneutralité atteinte, le système énergétique continuera d'évoluer au rythme des changements concernant les coûts relatifs et les technologies disponibles. La modélisation montre que les solutions optimales pour atteindre la carboneutralité en 2050 entraîneront des coûts inférieurs des deux tiers à ce qu'on prévoyait il y a tout juste trois ans. Ces coûts vont continuer de chuter à mesure que l'objectif de carboneutralité sera intégré dans l'ensemble de nos décisions. Mieux encore, l'analyse du coût de l'électrification de l'approvisionnement en énergie primaire présentée dans Baggio, Joanis et Stringer (2021) montre que la transition pourrait permettre de réaliser des économies considérables à l'horizon 2050.

Conclusion

L'avenir ne survient pas, il se construit. Il est le résultat de gestes et de tendances historiques qui se combinent avec des cassures volontaires (normes, développements technologiques, etc.) et hors de contrôle

(catastrophes naturelles ou non). Les analyses et modélisations que nous avons faites montrent que tous les ingrédients sont à notre disposition pour construire un monde à faibles émissions de carbone à l'horizon 2050. Toutefois, ces modélisations ne disent rien sur les inégalités, la protection plus large de l'environnement ou le tissu social qui découleront de ces transformations. Elles ne disent rien non plus sur la capacité de la planète à offrir les produits sur lesquels elles s'appuient de manière durable. Elles nous offrent néanmoins une base d'analyse afin de mieux orienter nos efforts pour améliorer les chances que la société qui résulterait d'une transition réussie soit meilleure pour la grande majorité des citoyens.

Si les rêves sont permis, leur réalisation doit s'ancrer dans une réalité intrinsèque. Nous sommes devant le même dilemme face à la transition énergétique : pour réussir celle-ci tout en améliorant notre société, il faut accepter la réalité et travailler non pas à multiplier les cibles virtuelles, mais à mettre en place une vraie trajectoire de changements. Les observations présentées dans cet article tracent une voie de transition. Une voie qui n'est pas la seule, et qui n'est pas parfaite non plus. Nous pensons toutefois qu'elle offre probablement une des meilleures avenues de succès. À condition, bien sûr, qu'on cesse de reculer.

RÉFÉRENCES

Agence internationale de l'énergie. (2022a). Global Methane Tracker 2022. Repéré à <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022>, février 2022.

Agence internationale de l'énergie. (2022b). The value of urgent action on energy efficiency. 11 pages, juin 2022. Repéré à <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6ed712b4-32a3-4934-9050-d97a83a45a80/Thevalueofurgentaction-7thAnnualGlobalConferenceonEnergyEfficiency.pdf>

Baggio, G., Joanis, M. et Stringer, T. (2021). Évaluation des coûts de la transition énergétique par l'électrification, dans Langlois-Bertrand, S., Vaillancourt, K., Beaumier, L., Pied, M., Bahn, O. et Mousseau, N. (2021), Perspectives énergétiques canadiennes 2021 – horizon 2060, p. 189.

Fowlie, M., Greenstone, M. et Wolfram, C. (2018). Do Energy Efficiency Investments Deliver? Evidence from the Weatherization Assistance Program. The Quarterly Journal of Economics 133, pp. 1597-1644 (2018), <https://doi.org/10.1093/qje/qjy005>

Hu, B. et Zhai, H. (2017). The cost of carbon capture and storage for coal-fired power plants in China. International Journal of Greenhouse Gas Control 65, pages 23-31.

Langlois-Bertrand, S., Mousseau, N. et Beaumier, L. (2021). Cap sur la carboneutralité : le jalon 2030, Institut de l'énergie Trottier, Polytechnique Montréal. Repéré à <https://iet.polymtl.ca/publications/cap-sur-la-carboneutralite-le-jalon-2030/>

Langlois-Bertrand, S. et Mousseau, N. (2022a). Plan de réduction des émissions 2030 : la proposition de l'IET. Institut de l'énergie Trottier. Repéré à <https://iet.polymtl.ca/publications/plan-reduction-emissions-2030-canada-proposition-iet/>

Langlois-Bertrand, S. et Mousseau, N. (2022b). Plan pour la carboneutralité au Québec – Trajectoires 2050 et propositions d'actions à court terme. Institut de l'énergie Trottier. Repéré à <https://iet.polymtl.ca/publications/plan-carboneutralite-quebec-trajectoires-2050-propositions-actions-court-terme/>

Langlois-Bertrand, S., Vaillancourt, K., Beaumier, L., Pied, M., Bahn, O. et Mousseau, N. (2021). Perspectives énergétiques canadiennes 2021 – horizon 2060, avec la contribution de Baggio, G., Joanis, M. et Stringer, T. Institut de l'énergie Trottier et Pôle e3c. Repéré à <http://iet.polymtl.ca/perspectives-energetiques/>

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2021). Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2019 et leur évolution depuis 1990. Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2019/inventaire1990-2019.pdf>

US Department of Energy. (2022). All-electric vehicles, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Repéré à <https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>





Perspectives

LE DÉCOUPLAGE : UN CONCEPT AU CŒUR DES DÉBATS SUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Crédit photo : Pixabay

Charles Duprez

Étudiant à la maîtrise
École des sciences de la gestion
Université du Québec à Montréal

Roberto Colin

Étudiant à la maîtrise
École des sciences de la gestion
Université du Québec à Montréal

Pour répondre à leurs besoins, les sociétés humaines consomment les ressources naturelles et transforment leur environnement, une situation qui engendre diverses formes de dégradations écologiques. Depuis la révolution industrielle et l'avènement du capitalisme comme modèle économique dominant, ces pressions environnementales se sont considérablement accrues. En cause principalement : la quête continue de croissance économique, soutenue par le recours exponentiel à l'utilisation des énergies fossiles, qui permet de découpler la capacité des sociétés à transformer le monde. Cette quête de croissance entraîne, en amont, une consommation ininterrompue de ressources naturelles et génère, en aval, des pressions environnementales croissantes. Dans le cas précis de l'usage massif des énergies fossiles, cela a notamment abouti à une accélération et à une concentration des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Cette situation d'origine anthropique est aujourd'hui le principal moteur des dérèglements du climat (GIEC, 2022).

Pour faire face à ces enjeux, les discours dominants se sont articulés depuis quelques décennies autour de la possibilité de réduire, grâce à l'innovation technologique, l'impact écologique des activités économiques (OCDE, 2012). L'objectif consiste à verdir nos économies et leur croissance. Cette perspective repose sur un concept clé qui est amené à prendre une place toujours plus centrale dans les débats politiques et économiques entourant la transition écologique : celui du *découplage* entre pressions environnementales et activités économiques.

Ces dernières décennies, d'importants efforts ont donc été déployés pour limiter les émissions de GES tout en poursuivant les activités qui soutiennent la croissance économique, notamment avec la décarbonation des systèmes énergétiques. Néanmoins, face aux objectifs de l'Accord de Paris pour limiter les émissions de GES et l'augmentation de la température moyenne du globe, les résultats obtenus et les trajectoires anticipées remettent sérieusement en question la stratégie du découplage. Dans son dernier rapport, le GIEC a même prévenu que cette stratégie ne permettra pas, à elle seule, l'atteinte des objectifs climatiques mondiaux (GIEC, 2022). En effet, à l'échelle du globe, et comme nous le verrons, seul un découplage relatif est empiriquement observé, alors qu'il faudrait que celui-ci soit absolu.

Si l'idée de découplage fait l'objet d'un intérêt établi dans les milieux académiques et les centres de décisions politico-économiques, elle reste toutefois peu connue du grand public. Cet article a donc pour vocation de **présenter le concept du découplage** pour ensuite **énoncer les critères à garder en tête pour bien aborder ces enjeux**, en distinguant notamment le découplage relatif du découplage absolu. Enfin, nous ferons la **démonstration de l'insuffisance du découplage** à répondre aux enjeux climatiques, et plus largement à résoudre les problèmes écologiques, en nous appuyant sur les principales études qui portent sur ce sujet.

Pourquoi rechercher le découplage ?

Mathématiquement, deux variables sont découplées lorsque toute variation de l'une n'a pas d'effet sur l'autre (Mossé et Ramos, 2021). Lorsqu'il est question du lien entre économie et écologie, le *découplage* peut se définir comme la **décorrélation entre la croissance du PIB et l'évolution des pressions environnementales des activités économiques**. Historiquement, l'augmentation de la richesse calculée en matière de PIB s'accompagne d'une augmentation de la consommation d'énergie et de matières premières (pour produire les biens et les services) et donc d'un accroissement des pressions environnementales (EEA, 2021). Dans le cas de la lutte aux dérèglements climatiques, il est surtout question du lien entre activités économiques et émissions de GES.

Les promoteurs de la croissance verte, par exemple les grands organismes internationaux comme la Banque Mondiale, le FMI, l'OCDE, etc., et plus largement les pays industrialisés soutiennent qu'il est possible de rompre ce lien entre ce qui est « mauvais pour l'environnement » et ce qui est « bon pour l'économie » (OCDE, 2012). Cela résoudrait, en théorie, les problèmes écologiques tout

en garantissant le maintien des niveaux de prospérité économique acquis ces dernières décennies. Le découplage devient donc la condition de possibilité de cette croissance « verte » et l'innovation technologique est présentée comme la solution pour y parvenir. Pour prendre l'exemple du secteur énergétique, miser sur la technique devrait théoriquement permettre de faire la transition vers un système énergétique décarboné qui garantirait le maintien des niveaux de consommation compatible aux exigences de la croissance économique. On parle alors de gain en matière d'**efficacité énergétique**, c'est-à-dire que la technologie donne lieu à une utilisation moindre d'énergie pour un même service rendu. Ce qui est d'ailleurs empiriquement le cas, car de 2010 à 2019, l'intensité énergétique (c'est-à-dire la quantité d'énergie primaire dépensée par unité de PIB) a baissé de 2 % par année grâce notamment aux innovations technologiques. Dans le même temps, l'intensité carbone (c'est-à-dire la quantité de CO₂ émis par unité d'énergie primaire) a diminué de 0,3 % (GIEC, 2022). Cependant, est-ce suffisant pour lutter contre le dérèglement climatique et, plus généralement, la crise écologique ?

De quel type de découplage avons-nous besoin ?

Il convient de distinguer deux principaux types de découplage : le découplage **absolu** et le découplage **relatif**. Le premier terme est décrit par l'OCDE (2012) comme une situation dans laquelle les pressions environnementales demeurent stables, voire diminuent, alors que la croissance du PIB augmente. Le découplage relatif renvoie, quant à lui, à une situation dans laquelle les pressions environnementales augmentent toujours, mais moins rapidement que le PIB.

Pour respecter les objectifs climatiques de l'Accord de Paris, les pays riches doivent diminuer leurs émissions de GES en valeur absolue, ils ne peuvent donc pas se satisfaire d'un découplage relatif. De plus, ce découplage doit respecter une série d'autres critères, tels que résumés dans le tableau 1 (Parrique et al., 2019 ; Mossé et Ramos, 2021). Le découplage doit se maintenir dans le temps et donc être **durable**. Il doit aussi être **rapide** afin de répondre aux objectifs climatiques (notamment ceux fixés pour les années 2030 et 2050). Enfin, il doit être **mondial**, car une tonne de GES émise où que ce soit dans le monde a le même effet sur le dérèglement climatique (c'est pour cela que l'on préfère calculer les émissions de GES d'un pays en matière d'empreinte carbone, ce qui permet d'éviter le biais d'une délocalisation de la pollution). Notons que le dernier rapport du GIEC avance que les émissions mondiales de GES doivent être réduites immédiatement, rapidement et radicalement

afin de répondre aux objectifs de l'Accord de Paris. Nous proposons aussi de rajouter un dernier critère, qui est celui de la suffisance : dans le cadre de la lutte aux dérèglements climatiques, le découplage est **suffisant** s'il permet d'atteindre les objectifs donnés de réduction des émissions de GES. À ce titre, et comme l'expose le GIEC (2022), cela peut demander de s'appuyer sur des « émissions négatives », soit des actions pour capter du CO₂ déjà présent dans l'atmosphère.

Le diable se cachant dans les détails, un dernier point mérite d'être soulevé. Si un découplage est conforme à ce qui vient d'être évoqué, il devrait aussi s'observer dans la réduction absolue de toutes les pressions environnementales. Dans le cas contraire, le risque serait de substituer un type d'impact écologique à un autre, et donc de déplacer simplement le problème. Par exemple, la transition énergétique qui vise à exploiter des sources d'énergie à faible émission de GES ne doit pas engendrer d'autres problèmes environnementaux dus à une surexploitation de certains minerais. Ultimement, le découplage doit donc être **total** (ou « **global** »).

Critères	Définitions
Absolu	Les pressions environnementales demeurent stables, voire diminuent , alors que la croissance du PIB augmente. Au contraire du découplage relatif où les pressions environnementales augmentent, mais moins rapidement que le PIB.
Durable	Le découplage doit pouvoir se maintenir dans le temps et non être seulement lié à une conjoncture particulière.
Rapide	Le découplage doit être très rapide pour répondre aux objectifs climatiques donnés.
Mondial	À l'échelle de la planète : le découplage doit concerner l'économie mondiale.
Suffisant	Le découplage doit atteindre un niveau suffisant pour respecter les objectifs donnés, ce qui implique selon le GIEC des émissions négatives.
Total (ou « global »)	Réduction absolue de toutes les pressions environnementales , ce qui permet d'éviter de déplacer le problème d'un enjeu écologique à un autre.

Tableau 1. Les six critères nécessaires au découplage entre PIB et dérèglement climatique.
Source : inspiré de Parrique et al., (2019), Mossé et Ramos (2021) et OCDE (2012).

Qu'en est-il du découplage pour lutter contre le dérèglement climatique ?

De nombreuses études ont été menées, et à différentes échelles, pour chercher les preuves d'un découplage qui pourrait nourrir la thèse de la croissance verte dans la lutte contre le dérèglement climatique. Si l'on considère les découplages relatifs, il y a bien des preuves empiriques de son existence à l'échelle internationale, car l'intensité énergétique des activités

humaines aurait été améliorée d'un peu plus de 30 % depuis 1970 (Jackson, 2017). Comme le montre un rapport de l'OCDE, ses pays membres ont en moyenne réduit leur intensité énergétique par unité de PIB de près de 20 % depuis 2000 (OCDE, 2017). Dans le cas du Canada, ce chiffre se rapproche des 22 %. Cependant, s'il y a bien un découplage relatif, les émissions de GES ne montrent toujours pas de signes de recul.

Pour ce qui est du découplage absolu, une méta-analyse réalisée sur près de 180 études parues de 1990 à 2019 a démontré son existence dans les pays riches sur une période précise pour certains types de GES, comme le CO₂ et le SO_x¹ (Vadén et al., 2020). En revanche,

1. Oxyde de soufre qui regroupe le dioxyde de soufre (SO₂) et le trioxyde de soufre (SO₃).

cette même étude avance qu'il n'existe aucune preuve scientifique d'un découplage absolu, que ce soit sur le plan régional ou même mondial. De plus, ces résultats sont à nuancer, car la plupart de ces découplages cessent de l'être lorsque les *émissions importées*² sont prises en considération (Parrique et al., 2019). En d'autres mots : les découplages absolus existent surtout dans les pays riches lorsqu'ils externalisent leur pollution et que celle-ci n'est pas intégrée dans le mode de calcul (Muradian et Martinez-Alier, 2001).

Dans une méta-analyse qui cumule plus de 800 articles scientifiques, Haberl et ses collègues (2020) soutiennent que s'il existe certains rares cas de découplage absolus, un tel découplage a très peu de chance d'advenir sans politiques publiques radicales – du moins à grande échelle – si l'on suit la continuité des taux de découplages empiriquement observés. Cela ne veut pas dire que la mise en place d'un découplage n'est pas possible en soi, mais qu'il est improbable dans le contexte actuel, et encore moins qu'il advienne de manière suffisamment importante et rapide pour être à la hauteur des enjeux environnementaux. Par exemple, dans le cas de la France, il existe un découplage absolu, mais celui-ci ne répond pas aux autres critères soulevés plus haut et n'est pas en mesure de répondre aux objectifs de l'Accord de Paris (Mossé et Ramos, 2021). Il n'est pas non plus global. Or, c'est bien l'échelle de la planète qu'il faut considérer pour lutter contre le dérèglement climatique.

Comme le montre la figure 1, malgré les efforts déployés, nous ne sommes parvenus qu'à un découplage relatif à l'échelle de la planète de 1990 à 2018. Sur cette période, les émissions de CO₂ ont certes augmenté nettement plus doucement que le PIB, mais elles restent croissantes en valeur absolue (comme le montre la courbe rouge). Il y a donc toujours une corrélation positive entre le PIB et les émissions de CO₂. Ainsi, au regard des impératifs de l'Accord de Paris qui exige une nette diminution des émissions de GES, ce découplage empiriquement observé est loin d'être suffisant pour lutter contre les dérèglements du climat.

L'EFFET REBOND

Le découplage relatif que l'on observe dans la figure 1 s'explique en grande partie grâce au progrès technique qui permet de diminuer chaque jour davantage l'intensité carbone d'un point de PIB supplémentaire (la courbe verte sur le graphique) (Jackson, 2017). Cependant, en dépit d'un réel découplage entre la croissance du PIB et les émissions de GES, ces dernières n'ont pas cessé de croître. Cette situation peut en partie s'expliquer par l'« effet rebond » théorisé par Jevons, qui explique que les gains d'efficacité énergétique (et donc carbone) d'un produit (bien ou service) permettent d'en faire baisser le prix avec pour conséquence une augmentation de la demande globale. Cela signifie à terme que la hausse de la consommation annule, voire surpasse, le gain unitaire réalisé (Parrique et al., 2019).

LE DÉPLACEMENT DES CONSÉQUENCES : LE POINT AVEUGLE DU DÉBAT

Dans la littérature sur le découplage entre le PIB et les émissions de GES, le déplacement des conséquences est un autre point aveugle du débat. Nous l'avons dit précédemment, face aux enjeux environnementaux actuels, le découplage doit être « global ». Cela signifie qu'une réduction des GES n'est pas satisfaisante en soi si elle entraîne une hausse d'autres types de dommages écologiques. Il faut ainsi prendre en compte non seulement l'aspect climatique du problème, mais aussi tous les autres enjeux. À titre d'exemple, si des progrès importants ont été réalisés en matière de découplage relatif entre le PIB et les émissions de GES, à l'échelle de la planète, on observe une augmentation généralisée de l'empreinte matérielle. Comme le relève l'Agence européenne pour l'environnement (AEE, 2021), la situation est telle que l'on peut presque parler de « surcouplage » dans ces dernières années, c'est-à-dire que la quantité de matière exploitée pour réaliser un point de PIB supplémentaire a augmenté.

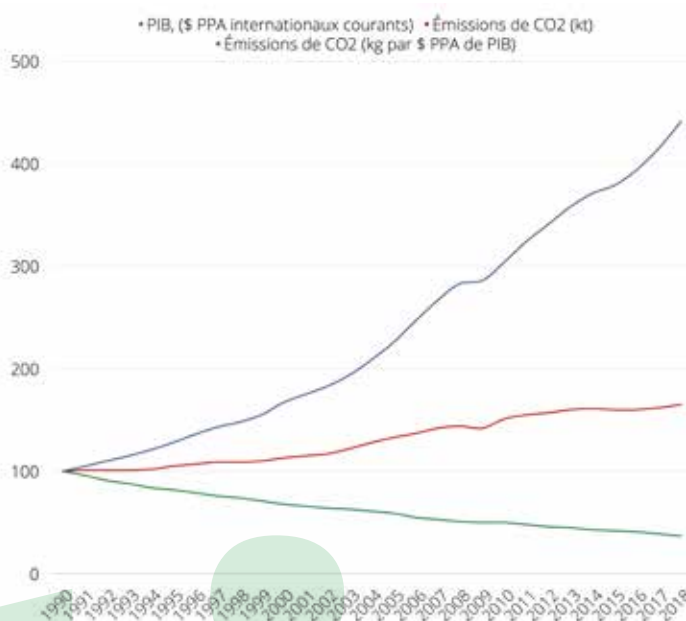


Figure 1. Le découplage PIB/CO₂ à l'échelle mondiale (1990-2018)
Données transposées à l'indice de base 100 pour 1990.
Source : données issues de la Banque mondiale et de l'OCDE, réalisation propre.

2. Émissions intégrées dans les produits importés, mais non produites sur le territoire : c'est pour cela que l'on préfère habituellement raisonner en matière d'« empreinte carbone ».

Conclusion

Pour faire face aux problèmes environnementaux contemporains, tout en maintenant la logique de croissance économique qui structure nos sociétés modernes, les tenants d'une croissance verte proposent de découpler les activités économiques de leurs conséquences sur l'environnement. Dans le cas des dérèglements climatiques, il s'agit de réduire radicalement les émissions de GES, tout en restant dans le paradigme économique de la croissance infinie. Certes, empiriquement, un découplage relatif a été observé au cours des dernières décennies à l'échelle mondiale, entre la croissance du PIB et les émissions de CO₂. Néanmoins, cela n'a pas permis d'infléchir la courbe de ces émissions. Cette situation pose d'importants problèmes. D'abord, pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, les émissions de GES doivent radicalement chuter : un découplage relatif ne saurait donc suffire. Ensuite, la logique économique de réinvestissement continu des bénéfices pour en dégager encore plus soulève de sérieux doutes quant à la possibilité de l'avènement d'un découplage absolu, notamment du fait de l'effet rebond. Pour aboutir, il conviendrait alors de ne pas considérer le découplage comme une voie capable à elle seule de résoudre la difficile équation entre activités économiques et conséquences environnementales, de quoi jeter de sérieux doutes sur l'optimisme de la croissance verte.

C'est aussi ce qui est souligné dans le dernier rapport du GIEC (AR6 III), qui fait état des mesures d'atténuation du dérèglement climatique. En effet, le GIEC soutient que le découplage n'est pas suffisant pour éviter de consommer le budget carbone restant, au regard des objectifs de l'Accord de Paris. De plus, on peut y lire que même si l'ensemble des pays parvenaient à découpler, en termes absolus, leurs émissions de GES, cela ne serait toujours pas **suffisant**, car il faut se diriger vers une décarbonation complète de l'économie (GIEC, 2022, ch. 2, p. 39). Le découplage serait alors à rechercher, mais de manière complémentaire avec d'importantes mesures de sobriété qui impliquent un changement radical de nos modes de production et donc de nos modes de vie. Comme l'explique l'ADEME dans son dernier rapport sur les scénarios de transition (Transition(s) 2050) disponible en ligne : « La décarbonation de l'énergie sera d'autant plus facilitée que la demande sera faible. Or, la réduction de cette demande est déterminée par deux facteurs : la démarche de sobriété et l'efficacité énergétique. » Le découplage doit donc être articulé avec un autre concept, celui de la sobriété, pour parvenir à dessiner une voie vers la soutenabilité de nos sociétés.

RÉFÉRENCES

- EEA. (2021).** *Growth without economic growth*. European Environment Agency (EEA). Repéré à <https://www.eea.europa.eu/publications/growth-without-economic-growth>
- Haberl, H., Wiedenhofer, D., Virág, D., Kalt, G., Plank, B., Brockway, P., Fishman, T., Hausknost, D., Krausmann, F. et Leon-Gruchalski, B. (2020).** A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights. *Environmental Research Letters*, 15(6), 065003.
- GIEC. (2022).** *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926
- Jackson, T. (2017).** *Prosperité sans croissance: Les fondations pour l'économie de demain*. De Boeck Supérieur.
- Mossé, J. et Ramos, C. (2021).** Découplage et croissance verte* [*offre soumise à conditions, dans la limite des stocks disponibles]. Carbone 4. Repéré à <https://www.carbone4.com/publication-decouplage>.
- Muradian, R. et Martinez-Alier, J. (2001).** Trade and the environment: from a 'Southern' perspective. *Ecological Economics*, 36(2), 281-297.
- OCDE. (2012).** *Vers une croissance verte : Suivre les progrès : Les indicateurs de l'OCDE, Études de l'OCDE sur la croissance verte*. Éditions OCDE. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264111370-fr>.
- OCDE. (2017).** Performance environnementale : tendances et développements récents, dans *Examens environnementaux de l'OCDE : Canada 2017*. Éditions OCDE. <https://doi.org/10.1787/9789264283244-8-fr>.
- Parrique, T., Barth, J., Briens, F., Kerschner, C., Kraus-Polk, A., Kuokkanen, A. et Spangenberg, J. (2019).** *Decoupling debunked. Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability*. A study edited by the European Environment Bureau (EEB). Repéré à <https://eeb.org/wp-content/uploads/2019/07/Decoupling-Debunked.pdf>
- Vadén, T., V. Lähde, A. Majava, P. Järvensivu, T. Toivanen, E. Hakala. et Eronen, J.T. (2020).** Decoupling for ecological sustainability: A categorisation and review of research literature. *Environmental Science & Policy* 112(236-44). <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.06.016>.



Credit photo : Zbynek Butwal

Perspectives

EFFET DE MODE OU RÉEL INTÉRÊT ? LE RÔLE DE L'HYDROGÈNE DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Alex Bigouret

Étudiant à la maîtrise

Département de science politique

Université de Montréal

Depuis plusieurs années, l'hydrogène bénéficie d'une attention croissante de la part des États, qui y voient l'une des solutions privilégiées pour assurer leur transition énergétique. L'hydrogène pourrait en effet contribuer à remplacer une partie des énergies fossiles que nous consommons.

Alors qu'en 2017, seul le Japon avait élaboré une stratégie nationale sur l'hydrogène, en 2021, plus de 35 États avaient leur propre stratégie ou étaient en train de la préparer (IRENA, 2022, p. 39). Le Canada n'est pas en reste, car le gouvernement fédéral a dévoilé sa « Stratégie canadienne pour l'hydrogène » en décembre 2020.

Cet article a pour objectif de vulgariser les enjeux liés au développement de l'hydrogène dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques, au moment où les acteurs étatiques et économiques multiplient les annonces de projets.

L'hydrogène, qu'est-ce que c'est ?

Le dihydrogène (H₂), que l'on appelle couramment « hydrogène », est peu présent à l'état naturel sur Terre : il est généralement associé à d'autres éléments chimiques comme l'oxygène (l'eau, H₂O) ou le carbone (le méthane, CH₄). Il ne constitue donc généralement pas une source d'énergie prête à l'emploi comme le sont le charbon, le pétrole ou encore le gaz naturel. Néanmoins, une fois isolée par différents procédés industriels, la molécule d'hydrogène est capable de transporter et de stocker de l'énergie, comme le fait l'électricité : on parle donc de vecteur énergétique.

Pour produire de l'hydrogène de manière industrielle, il existe plusieurs méthodes plus ou moins émettrices de CO₂. En effet, si la consommation d'hydrogène en tant que telle n'émet pas de CO₂, son empreinte carbone peut grandement varier lorsqu'on prend en considération l'ensemble de son cycle de vie, principalement en fonction du procédé utilisé pour le produire.

Afin de distinguer les types d'hydrogène, les industriels leur ont originellement attribué une couleur, qui varie

en fonction des procédés de production (voir Tableau 1). Bien que cette classification soit communément admise, il n'existe aucune convention ni institution internationale qui réglemente actuellement les appellations et définitions relatives à l'hydrogène.

Ainsi, au fil du temps d'autres dénominations concurrentes ont été popularisées, généralement dans un souci de rendre plus justement compte de l'empreinte carbone des différents procédés utilisés. C'est par exemple le cas des appellations « hydrogène d'origine fossile » (hydrogène noir, brun et gris), « hydrogène à faible empreinte carbone » (hydrogène vert, rose, voire bleu et turquoise) ou encore « hydrogène d'origine renouvelable » (seulement l'hydrogène vert). Néanmoins, ces dénominations ne sont pas non plus réglementées et sont donc seulement soumises à l'appréciation de ceux qui les utilisent.

À titre d'exemple, comme le gaz naturel est utilisé pour produire de l'hydrogène bleu ou turquoise, certains les associent à de l'hydrogène d'origine fossile ; alors que d'autres, qui estiment que la pyrolyse ou les technologies de captage de CO₂ permettent de réduire les émissions de CO₂ associées à la production de l'hydrogène, considèrent l'hydrogène bleu et turquoise comme à faible empreinte carbone.

Couleur de l'hydrogène	Intrant	Procédé de production
Hydrogène noir	Anthracite ou charbon bitumineux (charbon noir)	Gazéification
Hydrogène brun	Lignite (charbon brun)	Gazéification
Hydrogène gris	Gaz naturel	Reformage à la vapeur
Hydrogène bleu	Charbon ou gaz naturel	Gazéification ou reformage à la vapeur auxquels a été ajouté un dispositif de captage du CO ₂ , que l'on va ensuite utiliser ou stocker géologiquement.
Hydrogène turquoise	Gaz naturel	Pyrolyse ¹
Hydrogène vert	Électricité renouvelable	Électrolyse de l'eau
Hydrogène rose	Électricité nucléaire	Électrolyse de l'eau

Tableau 1. Les différents procédés de production industrielle de l'hydrogène

1. La pyrolyse du gaz naturel permet de transformer le CO₂ émis lors de la production d'hydrogène en noir de carbone, ce qui signifie qu'il ne se retrouve pas directement dans l'atmosphère. En fonction de l'utilisation qui est faite du noir de carbone, l'empreinte carbone de l'hydrogène turquoise sera plus ou moins importante. C'est encore une technologie émergente qui n'est donc actuellement pas commercialisée.

Au fur et à mesure que l'hydrogène va se développer, les enjeux politiques et économiques associés à sa taxonomie vont grandir, car tout hydrogène qui contreviendra aux objectifs de décarbonation (c'est-à-dire ceux considérés comme étant d'origine fossile) pourrait voir sa pertinence — et par conséquent son développement — considérablement amoindrie.

Avant de décarboner le monde, il faut décarboner l'hydrogène

L'hydrogène le plus répandu aujourd'hui, car c'est le moins coûteux, est l'hydrogène gris. Il représentait plus de 70 % de la production mondiale en 2019 (IEA, 2019, p. 32). La production d'une tonne d'hydrogène gris émet dix tonnes de CO₂ dans l'atmosphère (IEA, 2019, p. 38) et 285 grammes de CO₂ par kilowattheure (kWh) (CCC, 2018, p. 20). Vient ensuite l'hydrogène produit par gazéification du charbon, qui couvre plus de 27 % de la production mondiale. C'est de loin celui qui relâche le plus de CO₂ dans l'atmosphère, avec une intensité carbone avoisinant les 675 gCO₂/kWh (CCC, 2018, p. 20).

Pour le moment, l'hydrogène est principalement consommé par le secteur industriel, pour le raffinage du pétrole et la production d'ammoniac. L'hydrogène est utilisé comme réactif par les raffineries pour éliminer les impuretés et valoriser les fractions de pétrole lourd (hydrotraitement et hydrocraquage). Quant à l'ammoniac, principalement utilisé comme engrais, c'est un dérivé de l'hydrogène.

Étant donné que 97 % de la production mondiale est d'origine fossile et qu'environ 90 mégatonnes (Mt) d'hydrogène ont été consommées en 2020, ce sont 900 Mt

de CO₂ qui ont été émises pour en produire (IEA, 2021b, p. 5), soit 1,9 % des émissions mondiales de CO₂.

Avant d'imaginer utiliser l'hydrogène pour décarboner différents secteurs de l'économie, la première nécessité est donc de produire de l'hydrogène avec des procédés peu émetteurs de CO₂, ces derniers assurant actuellement seulement 2 % de la production mondiale. Dans cette optique, deux procédés peuvent être considérés comme des avenues intéressantes : l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau (hydrogène vert et rose), mais aussi l'hydrogène bleu, produit par vaporeformage du gaz naturel et dont le CO₂ a été capté puis stocké ou réutilisé. Ce sont ces trois types d'hydrogène qui ont la faveur des gouvernements pour assurer la transition énergétique. Par conséquent, nous considérerons dans cet article — comme le font les États qui souhaitent le promouvoir — l'hydrogène bleu comme étant à faible empreinte carbone.

Toutefois, si l'hydrogène bleu émet moins de CO₂ que l'hydrogène gris, il n'en demeure pas moins que les technologies de captage — par ailleurs énergivores — ne peuvent récupérer la totalité des émissions de CO₂ associées à sa production. Conséquemment, l'hydrogène bleu émettrait tout au long de son cycle de vie de 29 à 120 gCO₂/kWh (CCC, 2018, p. 66) contre 25 gCO₂/kWh au maximum pour l'hydrogène vert (CGEP, 2021, p. 22). En prenant aussi en considération les émissions fugitives de méthane, le bilan s'alourdit considérablement (Howarth et Jacobson, 2021, p. 1684). Des analyses de cycle de vie approfondies sont cependant nécessaires pour déterminer l'intensité carbone précise de l'hydrogène bleu. En outre, son développement pourrait entraîner un verrouillage carbone : en développant des solutions de rechange moins carbonées, mais toujours d'origine fossile, on pourrait retarder, voire mettre en péril, l'atteinte des objectifs climatiques.

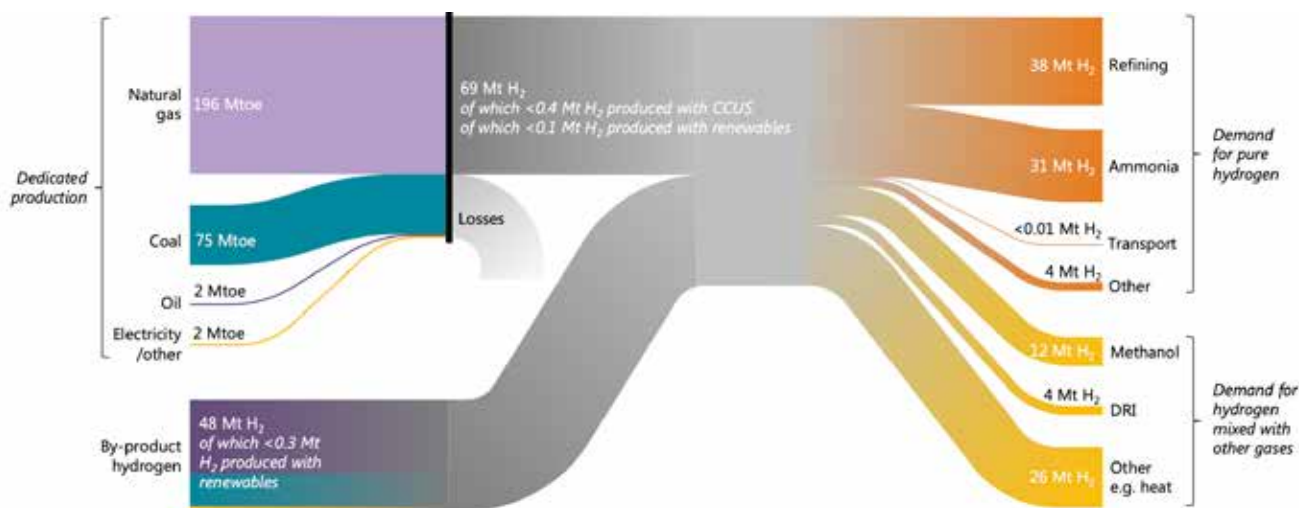


Figure 1. Production et consommation d'hydrogène dans le monde en 2019.
Source : IEA, 2019, « The Future of Hydrogen », p. 32. Tous droits réservés.

L'hydrogène, à quel prix ?

Avant de remplacer l'utilisation de combustibles fossiles comme le pétrole ou le gaz naturel, l'hydrogène à faible empreinte carbone doit se substituer à l'hydrogène d'origine fossile dans les applications où ce dernier est déjà consommé. Mais pour que ce remplacement ait lieu, il est fondamental que le coût de l'hydrogène à faible empreinte carbone diminue radicalement, que le prix du carbone augmente considérablement ou qu'une combinaison des deux s'opère.

De façon générale, si l'hydrogène, qu'il soit d'origine fossile ou non, ne s'est pas imposé de lui-même au monde, c'est en grande partie parce que son coût ne lui permet pas d'être compétitif face aux énergies fossiles, quelles qu'elles soient. Au-delà de son coût de production, la complexité de sa chaîne de valeur (transport, stockage, distribution) représente aussi une série importante d'obstacles. Néanmoins, avant de concurrencer le coût des énergies fossiles, l'hydrogène à faible empreinte carbone doit déjà concurrencer l'hydrogène d'origine fossile.

À titre d'exemple, en 2020 au Canada, un kilogramme d'hydrogène gris coûtait de 0,91 à 1,42 \$ CA à produire, suivi de près par l'hydrogène bleu, dont le kilogramme oscille de 1,34 à 1,85 \$ CA (PEMBINA Institute, 2020, p. 3). Quant à l'hydrogène vert, son coût reste prohibitif : de 3,10 à 5,01 \$ CA le kilogramme. Pour adéquatement

appréhender ces coûts, il faut avoir conscience que le Canada, en raison de son importante production de gaz naturel et d'hydroélectricité, offre des perspectives intéressantes pour le développement de l'hydrogène à faible empreinte carbone que n'offrent pas de nombreux autres pays. Ces coûts peuvent donc rapidement grimper dans des pays où le gaz naturel est importé et où la production électrique d'origine renouvelable est majoritairement obtenue par de l'éolien ou du solaire photovoltaïque.

Néanmoins, les coûts de production relatifs à l'hydrogène vert pourraient rapidement chuter et concurrencer ceux de l'hydrogène bleu, actuellement en bonne position pour décarboner les applications où l'hydrogène d'origine fossile est actuellement utilisé. Ce revirement serait rendu possible par la chute des coûts des électrolyseurs et la baisse continue des prix de l'électricité renouvelable. La compétitivité de l'hydrogène vert pourrait aussi être favorisée par la hausse des prix des énergies fossiles, comme cela a été le cas pendant la crise du gaz en Europe à la fin 2021, où il est même devenu moins cher à produire que l'hydrogène gris (IRENA, 2022, p. 14). Ainsi, si la baisse anticipée des coûts de production de l'électricité renouvelable et des électrolyseurs se concrétise, l'hydrogène vert deviendrait en effet moins cher à produire que l'hydrogène bleu dans les principaux marchés mondiaux dès 2030 et dans la plupart des pays d'ici 2050 (ETC, 2021, p. 8; IRENA, 2020, p. 10). En Chine, il pourrait même être moins coûteux à produire que l'hydrogène bleu dès 2023 (IRENA, 2022, p. 94).

Coût de la production d'H₂ à partir de différentes filières de production (hors coûts de transport et de stockage)

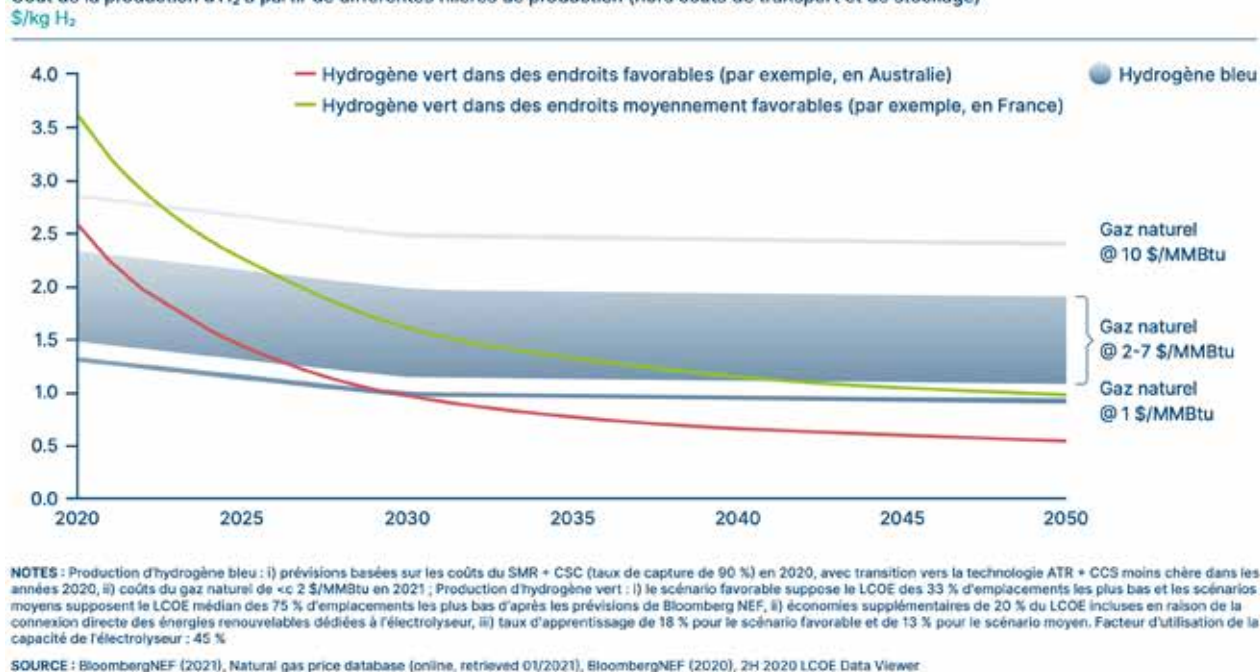


Figure 2. Évolution du coût de la production d'hydrogène à partir de différentes filières de production (hors coûts de transport et de stockage). Source : Energy Transitions Commission, 2021, « Faire de l'économie de l'hydrogène une réalité », p. 8. Tous droits réservés.

La bonne énergie au bon endroit

Au-delà des coûts actuellement élevés de l'hydrogène à faible empreinte carbone et plus particulièrement de l'hydrogène vert, il faut s'accorder sur les applications à privilégier pour son déploiement.

En fonction de son coût, mais aussi des pertes énergétiques associées à sa production, l'hydrogène n'est pas toujours la solution la plus pertinente pour décarboner un secteur. En effet, comme toute transformation de matière, la production d'hydrogène induit des pertes : selon son utilisation finale, l'hydrogène rendra seulement 10 à 35 % de l'énergie électrique qui a été nécessaire pour le produire. Le reste est définitivement perdu.

Entre alors en scène le fameux slogan « la bonne énergie au bon endroit ». Dans un contexte de réduction des émissions de GES et de transition énergétique, la meilleure énergie est celle que l'on ne consomme pas. Dès lors, la sobriété et l'efficacité énergétiques entrent en jeu : les changements comportementaux (passage de la voiture individuelle aux transports en commun, par exemple) ou l'amélioration technologique (la rénovation énergétique des bâtiments, entre autres) permettent de réduire la demande en énergie.

Ensuite, la majorité des secteurs devant être décarbonés le seront par électrification directe (passage du chauffage au gaz au chauffage électrique, notamment), bien plus efficace et rentable que l'hydrogène. L'important à

cette étape est bien entendu que l'électricité utilisée soit à faible empreinte carbone, donc renouvelable ou nucléaire. Finalement, ce n'est qu'après qu'intervient l'hydrogène vert, censé électrifier indirectement les applications où l'électrification directe est techniquement ou économiquement trop compliquée à réaliser.

Ces applications, ce sont déjà celles qui sont traditionnellement occupées par l'hydrogène d'origine fossile : le raffinage du pétrole — essentiellement pour la pétrochimie, où la demande continuera d'augmenter dans un monde carboneutre (IEA, 2021a, p. 102) — et la production d'ammoniac. Ensuite, ce sera au tour des applications où les énergies fossiles dominent et où l'électrification directe n'est pas réalisable (voir Figure 3).

Le choix de ces secteurs dépendra grandement de choix politiques et économiques, car la substitution des énergies fossiles par de l'hydrogène à faible empreinte carbone impliquera nécessairement un appui gouvernemental pour se généraliser, compte tenu des coûts associés. En outre, les gouvernements doivent établir les priorités de déploiement de la filière pour que l'hydrogène n'entre pas en concurrence avec d'autres solutions de décarbonation, parfois moins coûteuses et plus efficaces (par exemple, dans le transport léger où les infrastructures de recharge et les véhicules à batteries sont déjà bien implantés).

Les secteurs où l'hydrogène constitue une solution de décarbonation privilégiée vont de la sidérurgie aux procédés haute température (production de ciment et de verre) en passant par le transport lourd, maritime, ferroviaire ou encore aérien — notamment avec les carburants d'aviation durable à base d'hydrogène.

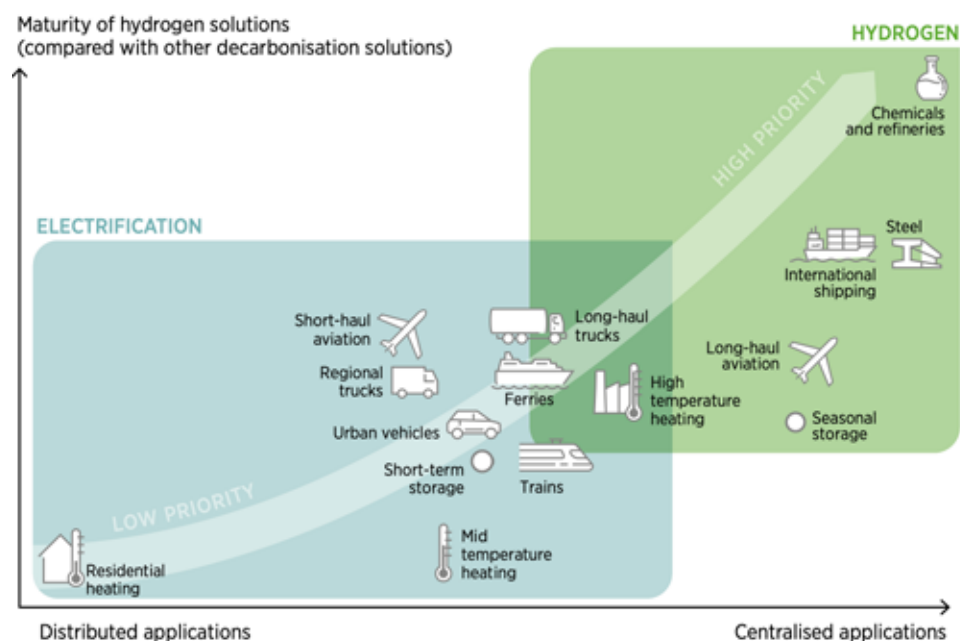


Figure 3. Priorités politiques à accorder aux applications hydrogène en fonction de leur maturité. Source : IRENA, « Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor », 2022, p. 14. Tous droits réservés.

L'hydrogène est aussi intéressant pour de nombreux pays où la décarbonation des systèmes électriques se fera principalement par des sources d'énergie non pilotables comme l'éolien ou le solaire photovoltaïque, à l'instar de l'Allemagne. En effet, le caractère intermittent des énergies éolienne et solaire nécessite de stocker l'électricité qu'elles produisent en surplus quand la demande est faible pour l'utiliser en période de pointe, afin d'équilibrer le réseau et d'éviter une potentielle panne. L'hydrogène, qui permet de stocker d'importantes quantités d'électricité sur des périodes saisonnières, pourrait rapidement supplanter les batteries, dont l'efficacité du stockage peine encore à convaincre.

Conclusion

En 2050, date à laquelle l'humanité doit avoir atteint la carboneutralité pour limiter la hausse de la température moyenne mondiale à 1,5 °C d'ici 2100 par rapport à l'ère préindustrielle — conformément à l'Accord de Paris — et éviter les effets les plus graves des changements climatiques, l'hydrogène à faible empreinte carbone pourrait assurer 12 à 22 % de la demande finale mondiale en énergie (IRENA, 2022, p. 20).

Si les États se tournent aujourd'hui vers l'hydrogène alors qu'il n'est pas compétitif vis-à-vis des énergies fossiles ou même de l'électricité à faible empreinte carbone, c'est parce qu'il est essentiel pour décarboner des secteurs stratégiques dont notre développement économique dépend, à l'instar de la production d'acier ou d'engrais. Également, si l'atteinte de la carboneutralité implique nécessairement une relocalisation et une réduction de la production de biens ainsi qu'une réduction des vols aériens, les secteurs maritime et aérien existeront toujours en 2050, et l'hydrogène — ou ses dérivés comme l'ammoniac — constitue pour eux une solution de décarbonation privilégiée. L'hydrogène n'est donc vraisemblablement pas une « mode » et son intérêt est réel.

Pour autant, la production d'hydrogène entraînant d'importantes pertes énergétiques, il ne peut être qu'une solution complémentaire à l'électrification directe, qui décarbonera la majorité des secteurs. Son déploiement doit être réalisé intelligemment, d'où l'intérêt d'élaborer des stratégies nationales, qui doivent elles-mêmes être intégrées dans des plans de décarbonation de l'économie, permettant ainsi une articulation adéquate entre les différentes solutions de décarbonation.

Il est finalement crucial qu'une taxonomie internationale basée sur l'intensité carbone de l'hydrogène soit rapidement instaurée, afin de savoir si l'hydrogène bleu — et turquoise — doit être estimé ou non comme

étant à faible empreinte carbone. Dans un monde qui n'est pas en proie aux changements climatiques, il n'existe aucun intérêt rationnel à développer massivement cette filière : il est donc primordial que l'hydrogène à faible empreinte carbone émette considérablement moins de GES que ses homologues d'origine fossile. Également, les gouvernements qui misent sur l'hydrogène bleu devront évaluer si les bénéfices potentiels associés à l'hydrogène bleu en matière de décarbonation de l'économie surpassent ou non les coûts climatiques liés à la sauvegarde de l'industrie des combustibles fossiles qui le produisent.

RÉFÉRENCES

Center on Global Energy Policy [CGEP]. (2021). *Green hydrogen in a circular carbon economy: Opportunities and limits* (p. 83). Columbia University. Repéré à <https://www.energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/file-uploads/Green%20hydrogen%20report,%20designed,%2009.07.21.pdf>

Committee on Climate Change [CCC]. (2018). *Hydrogen in a low-carbon economy* (p. 128). Committee on Climate Change. Repéré à <https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/Hydrogen-in-a-low-carbon-economy.pdf>

Energy Transitions Commission [ETC]. (2021). *Faire de l'économie de l'hydrogène une réalité* (p. 14). Energy Transitions Commission. Repéré à <https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2021/04/ETC-Global-Hydrogen-Executive-Summary-Short-FR.pdf>

Howarth, R. W. et Jacobson, M. Z. (2021). *How green is blue hydrogen? Energy Science & Engineering*, 9(10), 1676-1687. <https://doi.org/10.1002/ese3.956>

International Energy Agency [IEA] (2019). *The Future of Hydrogen* (p. 203). International Energy Agency. Repéré à https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf

International Energy Agency [IEA]. (2021a). *Net Zero by 2050 — A Roadmap for the Global Energy Sector* (p. 224). International Energy Agency. Repéré à https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf

International Energy Agency [IEA]. (2021b). *Global Hydrogen Review 2021*. International Energy Agency. <https://doi.org/10.1787/39351842-en>

IRENA. (2020). *Green hydrogen cost reduction: Scaling up electrolyzers to meet the 1,5°C climate goal* (p. 106). IRENA. Repéré à <https://www.irena.org/publications/2020/Dec/Green-hydrogen-cost-reduction>

IRENA. (2022). *Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*. IRENA. Repéré à <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>

PEMBINA Institute. (2020). *Hydrogen on the path to net-zero emissions: Costs and climate benefits* (p. 6). PEMBINA Institute. Repéré à <https://www.pembina.org/reports/hydrogen-climate-primer-2020.pdf>



Perspectives

TABAC ET VÉHICULES À ESSENCE : CESSER DE VENDRE UN MODE DE VIE POUR RÉDUIRE LA CONSOMMATION

Laurence Casavant-Nault

Étudiante au baccalauréat en droit
Université de Montréal
Bénévole pour Étudiant(e)s Pro Bono
du Canada

Vicky Meyers

Étudiante au baccalauréat en droit
Université de Montréal
Bénévole pour Étudiant(e)s Pro Bono
du Canada

Andréanne Brazeau

Analyste politique en mobilité durable
Équiterre

Reconnaissant les dangers de la crise climatique, les gouvernements du Canada et du Québec se sont engagés à interdire la vente des véhicules à essence en 2035, une mesure devant contribuer à atteindre leurs cibles climatiques, respectivement une réduction des émissions de GES de 40 à 45 % par rapport à 2005 et de 37,5 % par rapport à 1990. Or, de 1990 à 2019, les émissions de GES ont augmenté de 54 % au Canada, un constat qui s'explique notamment par la croissance du nombre de véhicules à essence et de leur taille. Alors que les catastrophes liées au dérèglement du climat s'intensifient, la législation demeure un moyen sous-utilisé, dans le secteur des transports, pour exiger la décarbonisation des industries les plus émettrices. Miser sur leur bonne volonté ne fonctionne visiblement pas. En effet, les véhicules à essence continuent de dominer les espaces publicitaires traditionnels et numériques, et 79 % des publicités de véhicules personnels au Canada présentent des camions légers à essence (Équiterre, 2021).

L'histoire de la lutte contre le tabagisme offre des pistes de réponse intéressantes : la forte mobilisation citoyenne, appuyée sur la science, a mené à une sérieuse stratégie canadienne sur le tabac comprenant des mesures réglementaires de plus en plus contraignantes. Aujourd'hui, les produits du tabac sont vus d'un mauvais œil. Comment peut-on s'inspirer de l'approche réglementaire utilisée dans la lutte antitabac pour orienter les habitudes de transport vers des options durables ? À l'aide d'une analyse comparée, ce texte trace des liens entre le mouvement antitabac et la popularité des véhicules énergivores au Canada, en plus de proposer des solutions législatives inspirées par cette lutte, mais aussi d'autres secteurs et d'ailleurs.

Reconnaître les dangereuses conséquences de phénomènes populaires

Au fil de leur démocratisation, les conséquences désastreuses de la consommation de cigarettes sur la société, tout comme les conséquences de la multiplication des véhicules à essence, ont été de plus en plus étudiées et reconnues. Commercialisé à grande échelle après la Première Guerre mondiale, le tabac est rapidement devenu un bien valorisé par les populations occidentales, si bien qu'en 1965, 50 % des adultes du Canada fumaient. Malgré le fort ancrage des cigarettes dans la vie quotidienne, la réglementation déployée progressivement à partir de 1989 — mises en garde sur les emballages, restrictions en matière de publicité, de consommation et de présentation dans les commerces — a largement contribué à réduire cette part à environ 20 % de la population âgée de 15 ans et plus (Herbert, Bailey et Bonikowsky, 2014).

Les avancées scientifiques et la prise de conscience collective quant aux conséquences de la consommation massive du tabac ont notamment motivé ce resserrement réglementaire. On sait aujourd'hui que le tabagisme est responsable de la grande majorité des nouveaux cas de cancer des poumons et qu'il peut mener à d'autres formes de cancer, des maladies vasculaires ou encore de l'emphysème. Selon Québec sans tabac, les coûts sociétaux engendrés par le traitement des problèmes de santé causés par le tabagisme s'élevaient à 6,5 milliards de dollars en 2012 au Québec seulement.

De la même manière, les conséquences des véhicules personnels de grande taille comme les véhicules utilitaires sport (VUS) sur le climat sont largement reconnues : les émissions de GES liées aux camions légers ont plus que doublé de 1990 à 2019 (Équiterre,

2021). La préférence croissante pour les véhicules énergivores — au Canada, quatre nouveaux véhicules vendus sur cinq sont des camions légers — exacerbe également les enjeux de sécurité routière, d'encombrement urbain, de congestion, d'usure hâtive des infrastructures routières, de santé publique et de surutilisation de ressources, en plus de contribuer à la hausse continue des dépenses des ménages en transport (Équiterre, 2021). Pourtant, les gouvernements tardent à agir pour contrer cette tendance, tout comme cela a d'abord été le cas avec la lutte antitabac. Effectivement, des décennies se sont écoulées entre la reconnaissance des effets nocifs des produits du tabac sur la santé humaine et le resserrement du cadre réglementaire entourant sa promotion et son utilisation (Cunningham, 1996, p. IX). Des groupes antitabac, armés de preuves scientifiques des effets dévastateurs de la cigarette, ont dû se faire de plus en plus vocaux pour que des mesures restrictives fédérales, provinciales et municipales visant à décourager sa consommation soient prises. Ne répétons pas cette erreur.

Puissants lobbys et publicités « style de vie »

A l'échelle canadienne, la *Loi réglementant les produits du tabac* (LRPT), entrée en vigueur en 1989, constitue la première limitation imposée aux produits du tabac et à leur publicité. Visant à enrayer « un problème qui, dans le domaine de la santé publique, est grave, urgent et d'envergure nationale » (LRTP, 1989), à l'instar de la crise climatique, cette loi interdit la publicité du tabac à des fins commerciales et contraint les fabricants à apposer des mises en garde sur l'emballage de leurs produits.

Fortement contestée par l'industrie tabatière, dont le puissant lobby n'est pas sans rappeler celui de l'industrie automobile, la validité de la loi a été mise en cause devant la Cour suprême du Canada. En 1995, les dispositions relatives à la publicité de la LRTP ont été invalidées pour violation de la liberté d'expression. Malgré cette défaite, le gouvernement a continué ses efforts de réglementation en adoptant la *Loi sur le tabac* en 1997, et les commandites de compagnies tabatières ont été interdites en 2003. L'industrie s'est rapidement lancée dans une nouvelle bataille juridique face à cette loi encore plus contraignante quant au contenu et à la diffusion des publicités sur le tabac, notamment en bannissant sa promotion en magasin. En 2007, la Cour suprême a finalement tranché en faveur du gouvernement canadien en rétablissant la loi de 1997 dans son entièreté, y compris l'interdiction de « créer une fausse impression » dans les publicités, un élément auparavant invalidé par la Cour d'appel du Québec.

À ce titre, les publicités dites « de style de vie », qui font la promotion de comportements nocifs pour la santé ou encore pour l'environnement en plaçant le produit dans un imaginaire attrayant, opposé aux conséquences de sa consommation, cherchent à créer cette fausse impression. Elles sont définies comme « [associant] un produit à une façon de vivre, notamment du prestige [...] de la vitalité, du risque ou de l'audace, ou qui évoque une émotion ou une image, positive ou négative, à l'égard d'une façon de vivre » (*Loi sur le tabac et les produits de vapotage*, 1997). En présentant les produits du tabac dans une mise en scène de personnes jeunes, en santé et actives, souvent sur un arrière-plan de nature, ces publicités ont contribué à établir une confiance envers le produit de la part du public, tout en encourageant une vision positive, voire désirable, de sa consommation (Cunningham, 1996, p. 97). De la même manière, aujourd'hui, environ 70 % des publicités de camions légers mettent en scène le véhicule dans un milieu naturel (Équiterre, 2021), image contrastant avec ses contrecoups socioécologiques. Le magazine *BESIDE* illustre adéquatement cette pratique : « Les véhicules sillonnent le lit d'une rivière asséchée, les routes d'une forêt éloignée ou encore le chemin vers le haut d'une montagne. Ce qu'on cherche à nous vendre, ce n'est pas une voiture : c'est un mode de vie. Un passeport pour l'aventure, un aller pour un monde sans limites » (Rivest, 2021). Bref, l'industrie automobile utilise la même stratégie que l'industrie du tabac. L'interdiction de ces publicités « style de vie » serait-elle la solution ?

La jurisprudence indique justement que le gouvernement canadien peut aller jusqu'à réglementer les aspects secondaires de la consommation tels que la publicité lorsque l'urgence et la gravité de la situation sont démontrées. Dans le cas des cigarettes, l'exposition à la fumée secondaire liée aux cigarettes a justifié que le Canada légifère « en vertu de sa compétence en matière de droit criminel relativement à la santé et à la sécurité des produits » (*RJR-MacDonald Inc. c. Canada*, 1995). Ainsi, les diverses répercussions de l'utilisation croissante de camions légers à essence sur le climat et la santé, entre autres, pourraient motiver l'interdiction de promouvoir ces produits de consommation.

Réduire l'acceptabilité sociale de biens néfastes pour la société

En plus d'encourager la consommation d'un bien, la publicité commerciale contribue au maintien de son acceptabilité sociale. En mitigeant les inquiétudes pour la santé humaine ou en modifiant la perception du risque d'un produit, les industries influent volontairement



Crédit photo : Lianhao Qu

sur la capacité des individus à choisir de manière libre et éclairée les produits qu'ils achètent. En résumé, l'efficacité de la publicité pour « influencer » la population fait l'objet d'un consensus scientifique : c'est sa raison d'être (Équiterre, 2021, p. 54). À ce titre, la Cour suprême a appuyé l'interdiction des publicités « style de vie » pour promouvoir les cigarettes, en raison de la preuve présentée par le gouvernement fédéral, qui a démontré qu'elles incitent les personnes non fumeuses à commencer à fumer par des évocations subtiles, parfois subliminales. Similairement, 79 % des publicités automobiles promeuvent des camions légers, ceux-ci étant majoritairement présentés au cœur d'un style de vie aventurier. La hausse fulgurante des parts de ventes des VUS et camionnettes témoigne de l'efficacité de ces publicités (Équiterre, 2021). Ainsi, parce qu'il est reconnu par la communauté scientifique que la faible perception du risque est en cause dans l'inaction face aux changements climatiques, l'interdiction des publicités de style de vie dans le secteur automobile pourrait s'avérer une mesure efficace pour remettre en question l'acceptabilité sociale de ce type de véhicule.

Tout comme le tabac à l'époque, les véhicules témoignent d'un certain statut social. Auparavant, tant les cigarettes que les véhicules automobiles étaient des biens dont profitaient les classes sociales les plus aisées, ce qui a certainement alimenté l'imaginaire collectif associant aujourd'hui une valeur sociale élevée aux propriétaires de plus gros modèles de véhicules, qui demeurent coûteux. Combinée à un aménagement du territoire qui favorise l'étalement urbain et accroît les distances à parcourir, la dépendance à l'automobile est effectivement normalisée et renforcée par cet attachement psychologique, à son tour accentué par l'exposition récurrente aux publicités (Équiterre, 2021).

Par ailleurs, certaines publicités présentent faussement les camions légers et les voitures à essence comme des véhicules efficaces sur le plan énergétique, se rapprochant dangereusement des principes associés à l'« écoblanchiment ». Le manque de régulation publicitaire favorise donc la présentation d'une image erronée des produits, en plus d'occulter leurs effets nocifs pour la société et le climat. Heureusement, le passé indique qu'un resserrement réglementaire entourant les pratiques publicitaires du secteur automobile est possible au Québec et au Canada. Par exemple, la représentation de la vitesse au volant dans les annonces a été interdite. À l'international, la Belgique peut servir d'inspiration, car elle interdit les publicités automobiles qui incitent à un comportement dommageable pour l'environnement (Équiterre, 2021).

Favoriser la prise de décision éclairée

Plusieurs mesures sont envisageables pour soutenir les choix de mobilité écologiques. À l'image d'une fiche de valeur nutritive sur les aliments, l'affichage de l'impact environnemental et social des véhicules devrait aussi être rendu obligatoire, à l'instar de ce qui est exigé au Royaume-Uni (Équiterre, 2021). De manière similaire, la France oblige désormais l'inclusion de mentions liées à la mobilité durable dans les publicités automobiles, un premier pas visant à « dénormaliser » l'auto solo. Le récent Plan de réduction des émissions du Canada démontre que le gouvernement est au fait de ce type de pratique — et de son pouvoir sur la question —, mais mise sur une approche non contraignante : « Les fabricants automobiles pourraient être encouragés à inclure dans leurs publicités des messages visant à prioriser la marche ou le vélo sur de courtes distances. On pourrait ainsi s'inspirer de la réglementation française [...] » (ECCC, 2022, p. 205).

Or, alors que les normes canadiennes de la publicité sont régies par l'industrie publicitaire elle-même, il semble peu probable que les mesures volontaires permettent d'atteindre les cibles climatiques du Canada. Rappelons la résistance de l'industrie tabatière face à l'exigence d'indiquer les effets néfastes de ses produits sur leurs emballages.

Pour aller encore plus loin, des campagnes de publicité sociale informant le grand public quant aux effets délétères des VUS et camionnettes, à l'instar de celles soulignant les effets nocifs de la cigarette sur les personnes fumeuses et leur entourage, devraient être menées à grande échelle et en continu par les gouvernements pour assurer la cohérence entre leurs engagements climatiques et les choix de consommation individuels. Qui plus est, des messages de type « mise en garde », comme sur les emballages de cigarettes, pourraient apparaître aux stations-service afin de rappeler aux automobilistes que la consommation d'essence contribue à la crise climatique, à l'extinction d'espèces et à l'acidification des océans.

L'heure n'est plus seulement à la carotte, mais aussi au bâton

En plus des contraintes liées à leur emballage et à leur publicité, les cigarettes ont été retirées des étalages muraux à grande visibilité dans les commerces, une autre mesure visant à réduire l'attrait et l'acceptabilité sociale de ces produits (Herbert, Bailey et Bonikowsky, 2014). Ensuite, des mesures touchant directement leur utilisation et leur consommation ont été déployées et sont graduellement devenues plus strictes. Par exemple, au Québec, les lieux où la consommation de cigarettes a été interdite se sont multipliés : au travail et dans certains établissements publics en 1998, dans les restaurants et les bars en 2006, puis à moins de neuf (9) mètres de certains bâtiments (écoles, hôpitaux, etc.) en 2016 (Radio-Canada, 2021).

Ce type de réglementation, qui oriente les comportements individuels, est comparable aux zones zéro émission apparaissant dans le monde, dont celle de Londres, où les véhicules les plus polluants ont été bannis d'un périmètre appelé à s'étendre et à devenir de plus en contraignant pour favoriser les modes de transport sobres en carbone. Les annonces d'une première zone zéro émission à Montréal d'ici 2030 et d'interdiction de la vente des véhicules à essence en 2035 au Québec sont positives à cet égard. Parce que la motivation individuelle a ses limites, la meilleure manière d'intervenir reste d'agir sur plusieurs fronts : on incite et on récompense les comportements durables, on dissuade puis on punit les autres (Bolderdijk, Lehman et Geller, 2018). Les mesures contraignantes vis-à-vis du tabac ayant fait leurs preuves, la réglementation apparaît désormais incontournable face au géant automobile.

Vers des messages publicitaires à l'image de la crise climatique

Gâce à la mobilisation citoyenne, le tabac a graduellement perdu son prestige, puis son acceptabilité sociale : le tabagisme est aujourd'hui perçu comme une habitude honteuse. La réglementation, appuyée

par la publicité sociale, a triomphé face au puissant lobby du tabac en facilitant cette transition en quelques décennies. Inspirons-nous de cette histoire de succès pour aborder le fléau des véhicules énergivores. Misons sur des politiques de consommation strictes qui illustrent adéquatement les conséquences des biens sur le climat et l'environnement. Quand verrons-nous des publicités gouvernementales associant les VUS et les camionnettes à des enfants malades, à une forêt dévastée, au smog ou encore à des incendies ?

RÉFÉRENCES

Bolderdijk, J. W., Lehman, P. K. et Geller, E. S. (2018). Encouraging Pro-Environmental Behaviour with Rewards and Penalties. Dans *Environmental Psychology*, 273-282, (S.l.): John Wiley & Sons, Ltd. Repéré à <https://doi.org/10.1002/9781119241072.ch27>

Cunningham, R. (1996). Smoke and Mirrors: the Canadian Tobacco War. *International Development Research Centre*. Repéré à <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/14226/IDL-14226.pdf?sequence=62&isAllowed=y>

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2022). Plan de réduction des émissions pour 2030. Repéré à <https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/climate-change/erp/Plan-Reduction-Emissions-2030-Canada-fra.pdf>

Équiterre. (2021). Synthèse : Comprendre la hausse des camions légers au Canada afin de renverser la tendance. Repéré à https://legacy.equiterre.org/sites/fichiers/rapport_synthese-fr_19oct.pdf

Herbert, A., Bailey, P. G. et Bonikowsky, L. N. (2014). Tabagisme. *L'Encyclopédie canadienne*. Repéré à <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/tabagisme>

Loi réglementant les produits du tabac. (1989). Repéré à <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/T-11.5/index.html>

Loi sur le tabac et les produits de vapotage. (1997). Repéré à <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/t-11.5/>

Radio-Canada. (31 mai 2021). Quand il est devenu interdit de fumer dans les bars et restaurants. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1796891/loi-antitabac-fumer-cigarette-bars-restaurants-fumeurs-archives>

Rivest, G. (2021). Le monde utopique du VUS. *BESIDE*. Repéré à <https://beside.media/fr/nouveaux-recits/le-monde-utopique-du-vus/>

RJR-MacDonald Inc. c. Canada (Procureur général). (1995). Repéré à <https://scc-csc.lexum.com/scc-csc/scc-csc/fr/item/1290/index.do>

DE NOUVEAUX RAVAGEURS DANS LES FRAISIÈRES AU QUÉBEC, UN AUTRE EFFET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Nicolas Plante

Étudiant à la maîtrise en biologie végétale
Centre de recherche et d'innovation sur les végétaux
Université Laval

Frédéric McCune

Professionnel de recherche
Centre de recherche et d'innovation sur les végétaux
Université Laval

Valérie Fournier

Professeure, Département de phytologie
Centre de recherche et d'innovation sur les végétaux
Université Laval

Edel Pérez-López

Professeur, Département de phytologie
Centre de recherche et d'innovation sur les végétaux
Université Laval

Le Québec est la principale province productrice de fraises au Canada. En 2018, la production de fraises était évaluée à un volume de plus de 15 millions de tonnes et représentait des revenus de 66 millions de dollars (Gouvernement du Québec, 2021). Malheureusement, dans les années à venir, les rendements de la culture pourraient être perturbés par les effets des changements climatiques. Parmi les nombreuses conséquences des changements climatiques, il pourrait y avoir une augmentation de la pression exercée sur les cultures de fraises par certains ravageurs ou agents pathogènes déjà présents au Québec, mais également une augmentation des introductions de nouveaux insectes ravageurs et de nouvelles maladies (Lehmann et al., 2020). Les changements climatiques ont une influence considérable sur ces insectes, car l'augmentation des températures favorise leur métabolisme et leur développement (Lehmann et al., 2020). Des températures plus élevées perturbent également les autres activités des insectes, comme l'alimentation, la reproduction, la croissance et les déplacements (Weintraub et al., 2019). Par conséquent, les hausses de température auront potentiellement pour effet d'accroître les densités de population d'insectes ravageurs dans les champs de fraises et augmenteront l'intensité des dommages ainsi que les pertes de rendements (Figure 1a).



Credit photo : Sviatoslav Huzii

Les insectes et les conséquences des changements climatiques

Les changements climatiques ont des conséquences positives, négatives ou encore mixtes en lien avec la hausse des températures, et certains insectes sont particulièrement plus touchés que d'autres. Plusieurs insectes ont des exigences environnementales plus strictes ainsi que des tolérances physiologiques plus faibles lors de températures extrêmes (Lehmann et al., 2020). Certains ne peuvent pas supporter de changements dans leurs niches écologiques, leur phénologie ainsi que pendant leur développement (Lehmann et al., 2020). Le réchauffement des

températures pourrait donc entraîner le déclin d'espèces d'insectes qui ne peuvent pas s'adapter. Cependant, pour d'autres insectes, les effets des changements climatiques augmentent les densités de population en avançant la phénologie, en augmentant le nombre de générations et en favorisant leur cycle de vie, notamment pendant la reproduction et le développement. Un autre effet des changements climatiques sur les insectes, y compris les insectes ravageurs de cultures, est l'élargissement des aires de répartition dans de nouvelles niches écologiques (Reineke et al., 2016). Les cicadelles sont de petits insectes dont la température corporelle et le développement varient également en fonction des conditions environnementales. Ainsi, les densités de population de cicadelles sont plus grandes avec des températures plus chaudes. Plusieurs espèces de cicadelles sont également des insectes migrants. La hausse des températures a comme effet d'accentuer la portée des migrations vers de nouvelles régions où ils ne s'y trouvaient pas ou s'y trouvaient en faible densité (Baker et al., 2015). De plus, il a été rapporté, dans une étude sur l'influence des changements climatiques sur la cicadelle de la pomme de terre (*Empoasca fabae*), que les températures plus chaudes permettront aux cicadelles de faire des migrations plus précoces en début de saison, d'année en année (Baker et al., 2015).

Les cicadelles comme cas d'étude

Les cicadelles appartiennent à l'ordre des homoptères et sont des insectes piqueurs-suceurs qui se nourrissent de sève, principalement dans le phloème, les vaisseaux vasculaires qui transportent la sève élaborée de la plante (Weintraub et al., 2019). Les cicadelles peuvent causer des dommages directs et indirects aux plantes comme les fraisiers, notamment des dommages importants aux feuilles, après s'être alimentées. Les populations incontrôlées de cicadelles peuvent occasionner des pertes de rendements importantes dans les fraisières. En s'alimentant, les cicadelles provoquent des dommages mécaniques aux feuilles et réduisent la photosynthèse, ce qui a des conséquences sur le développement des plantes et la production de fruits. De plus, il y a différentes régions des cultures favorables ou défavorables pour les populations de cicadelles dans les champs de fraises. Tout d'abord, la gestion des mauvaises herbes est importante. Les mauvaises herbes présentes dans les champs ainsi qu'en bordure de ceux-ci peuvent servir d'hôtes alternatifs aux cicadelles. Ensuite, les mauvaises herbes favorisent le déplacement des cicadelles sur les plants de fraises avoisinants (Weintraub et al., 2019). Il existe aussi d'autres facteurs agroenvironnementaux qui influencent la présence

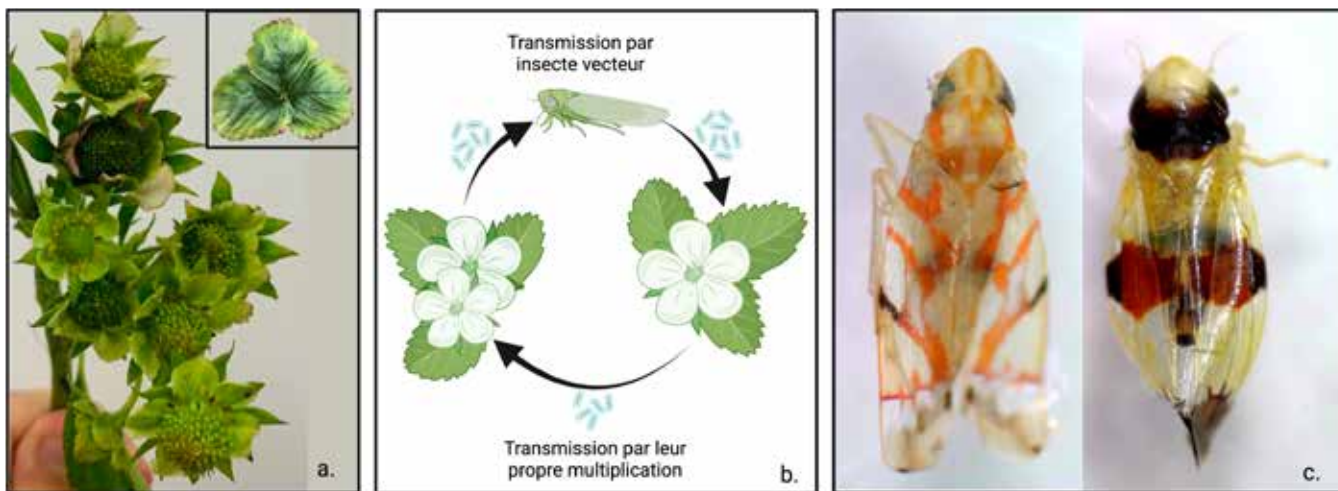


Figure 1. Symptômes de la maladie du pétale vert sur des fraisiers récoltés dans la région de la Capitale-Nationale, au Québec. Dans le coin droit, des symptômes de dégâts causés par les cicadelles lors de l'alimentation (a) ; une représentation schématique des deux principaux modes de transmission des maladies à phytoplasmes par les cicadelles (b) et une représentation partielle de la diversité des cicadelles du genre *Erythroneura* trouvées dans les champs de fraises du Québec (c).

d'une plus grande densité de cicadelles, par exemple, la présence de forêts à proximité. La fréquence des interventions phytosanitaires effectuées dans le champ influence également la densité des populations de cicadelles. Les cicadelles sont aussi reconnues pour être des insectes vecteurs, c'est-à-dire des insectes qui transmettent des maladies bactériennes et virales aux plantes (Weintraub et al., 2019).

Les phytoplasmes et leur transmission par les insectes vecteurs

Les phytoplasmes sont des bactéries sans paroi cellulaire appartenant à la classe des mollicutes. Ce sont des agents pathogènes obligatoires du genre *Candidatus Phytoplasma* qui se développent dans l'hémolymphe des insectes vecteurs et dans le phloème de leur plante hôte (Alma et al., 2019). Les phytoplasmes peuvent causer des maladies dans la grande majorité des cultures, dont la culture de la fraise. Au Canada, y compris au Québec, il existe plusieurs groupes et sous-groupes de phytoplasmes qui causent des maladies (Olivier et al., 2019). Au Québec, les deux maladies que l'on retrouve dans les fraisières et qui sont causées par des phytoplasmes sont la jaunisse de l'aster et la maladie du pétale vert (Figure 1a : maladie du pétale vert). Les phytoplasmes peuvent se transmettre de quatre différentes façons : par les insectes vecteurs ; par leur propre multiplication ; par les semences et par les connexions vasculaires. Le cycle de transmission des phytoplasmes par les insectes vecteurs comporte quatre étapes (Alma et al., 2019). La première étape

est l'acquisition des phytoplasmes par la cicadelle. Cette étape se produit lorsque l'insecte se nourrit du phloème d'une plante infectée par des phytoplasmes. À la suite de l'acquisition des phytoplasmes par l'insecte vecteur, celui-ci ne peut pas être transmis immédiatement. Une période latente est nécessaire, c'est-à-dire une période lors de laquelle les phytoplasmes se multiplient et circulent à l'intérieur de l'insecte. La période de latence se divise en trois sous-étapes : entrée et multiplication dans l'épithélium intestinal des cellules du tube digestif de l'insecte, entrée dans l'hémocèle et circulation dans l'hémolymphe, et entrée et multiplication dans les glandes salivaires (Weintraub et al., 2019). Une fois qu'il atteint les glandes salivaires, l'insecte peut transmettre les phytoplasmes en allant s'alimenter sur un fraisier sain. Cette phase est généralement effectuée par les adultes, car les nymphes ne se déplacent pas sur d'autres plants. Finalement, il y aura développement des phytoplasmes dans le plant de fraise et celui-ci deviendra infecté. La figure 1b présente en schéma simplifié les principales voies de transmission des phytoplasmes à un plant de fraise, y compris les étapes de la transmission par les insectes vecteurs. Les changements climatiques aussi ont des conséquences sur les phytoplasmes, en influant sur leur développement ainsi que sur la relation tritrophique entre les plantes, les phytoplasmes et les insectes (Weintraub et al., 2019). Les températures plus chaudes favorisent généralement l'intensité de l'alimentation des insectes sur les plantes, ce qui accroît les chances d'acquisition et de transmission de phytoplasmes par les insectes vecteurs (Reineke et al., 2016). De plus, bien que la multiplication dans l'insecte ne semble pas perturbée par la température, la multiplication dans la plante infectée sera plus rapide lorsque les conditions de températures sont plus chaudes (Galeto et al., 2011).

La problématique au Québec

Actuellement, les producteurs de fraises du Québec sont de plus en plus préoccupés par les densités de cicadelles que l'on retrouve dans les champs. Celles-ci ont considérablement augmenté d'après les observations des producteurs, probablement à cause des variations des températures exprimées pendant la période de croissance. Par conséquent, davantage de dommages sont causés par le ravageur dans les champs de fraises et cela s'ensuit de pertes de rendements plus importantes. Malheureusement, il n'y a pas de références disponibles sur ce sujet et jusqu'à présent, nous n'avons que des témoignages anecdotiques provenant des producteurs. Rappelons également que les cicadelles sont des insectes vecteurs connus pour la transmission de maladies bactériennes et virales. On pourrait donc voir, dans les années futures, une augmentation des maladies dans les champs de fraises en raison des populations plus élevées de ravageurs (Weintraub et al., 2019).

Afin d'éviter de subir des pertes de rendements, les producteurs de fraises augmentent la fréquence des interventions phytosanitaires (communication avec les producteurs). L'augmentation des applications de pesticides a potentiellement des conséquences négatives sur l'environnement ainsi que sur les insectes bénéfiques comme les pollinisateurs et les ennemis naturels des ravageurs. De plus, ces interventions ne sont pas toujours efficaces pour contrôler les cicadelles. En réalité, plusieurs des interventions phytosanitaires ne sont peut-être pas nécessaires, car actuellement, nous ne connaissons pas bien les moments où il faut intervenir contre le ravageur. Le dépistage des cicadelles est également difficile et demande plus de temps en comparaison avec d'autres insectes dépistés dans les champs. Pour les cicadelles, il faut dépister les larves et les adultes en procédant avec des façons différentes. En effet, il faut effectuer un dépistage visuel rigoureux dans le champ pour les larves, mais utiliser des pièges collants pour les adultes. Il n'y a présentement pas de seuil d'intervention établi pour le dépistage des cicadelles, ce qui complique aussi les décisions pour les traitements phytosanitaires.



Crédit photo : Tim Mossholder

Il existe différentes méthodes de lutte et mesures d'adaptation pour la gestion des cicadelles et des phytoplasmes. Les traitements chimiques avec insecticides sont l'option la plus efficace pour la lutte contre les cicadelles, au détriment de l'environnement. Toutefois, d'autres moyens moins efficaces et plus coûteux, comme l'introduction d'agents de lutte biologique, les biopesticides ou encore l'implantation de filets anti-insectes sont aussi parfois utilisés et pourront servir de mesures d'adaptation dans le futur (Olivier et al., 2019). Pour les phytoplasmes, le meilleur moyen de lutte actuel est la prévention ainsi que la détection hâtive des plants touchés présentant des symptômes pour en faire l'élimination avant la propagation par les insectes vecteurs. Néanmoins, l'utilisation de traitements à l'eau chaude et l'injection d'antibiotiques sont d'autres moyens intéressants pour lutter contre le pathogène (Olivier et al., 2019). D'autres moyens de lutte, comme la sélection de cultivars plus tolérants et même résistants aux phytoplasmes, sont des mesures d'adaptation qui seront désirables dans le futur, mais beaucoup de travail reste à accomplir dans ce domaine.

Conclusion

En ce moment, on ne sait presque rien sur la diversité des genres et des espèces de cicadelles que l'on retrouve dans la culture de la fraise du Québec ainsi que sur leur implication possible dans la transmission des maladies. Nous en savons peu sur les phytoplasmes qui sont portés et transmis par les cicadelles vectrices. L'acquisition de ces connaissances permettrait aussi de savoir si des interventions phytosanitaires sont réellement justifiées contre ces insectes, de cibler le meilleur moment d'intervention et ainsi de prévenir la présence de maladies pouvant mettre en danger la productivité et les rendements. Cela réduira également la nécessité d'appliquer fréquemment de grandes quantités d'insecticides, évitant le développement de résistances et les risques pour la santé et l'environnement. Les conséquences des changements climatiques sont déjà ressenties sur les densités de population de cicadelles dans les champs de fraises du Québec. Les producteurs de fraises font face à un nouveau problème qu'ils ne rencontraient pas dans le passé et nous pouvons nous attendre à ce que le problème soit plus important dans le futur, en raison de l'augmentation des températures. Pour éviter de subir encore plus de pertes de rendements, des mesures plus respectueuses de l'environnement et efficaces devront voir le jour et il faudra davantage de recherches pour mieux comprendre les cicadelles et les phytoplasmes.

FINANCEMENT

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) ; Programme INNOV'ACTION, projet IA120641.

RÉFÉRENCES

- Alma, A., Lessio, F. et Nickel, H. (2019).** Insects as Phytoplasma Vectors: Ecological and Epidemiological Aspects. Dans Bertaccini, A., Weintraub, P. G., Rao, G. P. et Mori, N. (Dir.). *Phytoplasmas: Plant pathogenic bacteria - II: Transmission and management of phytoplasma - associated diseases*. Springer Singapore. doi: 10.1007/978-981-13-2832-9.
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C., Farrar, J., Good, J. E. G., Harrington, R., Hartley, A., Jones, T. H., Lindroth, R. L., Press, M. C., Symrnioudis, I., Watt, A. D. et Whittaker, J. B. (2002).** Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8 1-16. doi: 10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x
- Baker, MB., Venugopal, PD. et Lamp, WO. (2015).** Climate change and phenology: *Empoasca fabae* (Hemiptera: Cicadellidae) migration and severity of impact. *PLOS ONE*. doi: 0.1371/journal.pone.0124915.
- Galeto, L., Marzachi, C., Marques, R., Graziano, C. et Bosco, D. (2011).** Effect of temperature and CO2 on phytoplasma multiplication pattern in vector and plant. *Bulletin of Insectology*. Volume 64, S151-S152.
- Gouvernement du Québec. (2021).** Culture des fraises et des framboises. Repéré le 22 octobre 2021 à <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/agriculture/industrie-agricole-au-quebec/productions-agricoles/culture-fraises-framboises/>.
- Lehmann P., Ammunét T., Barton M., Battisti A., Eigenbrode S.D., Jepsen J.U., Kalinkat G., Neuvonen S., Niemelä P., Terblanche J.S. et al. (2020).** Complex responses of global insect pests to climate warming. *Frontiers in Ecology and the Environment* 18:141-150. doi: <https://doi.org/10.1002/fee.2160>
- Olivier, C., Dummonceaux, T. et Pérez-Lopez, E. (2019).** Sustainable management of phytoplasma diseases in crops grown in the tropical belt: biology and detection. *Sustainability in Plant and Crop Protection*, V. 12. Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-030-29650-6.
- Reineke, A. et Thiery, D. (2016).** Grapevine insect pests and their natural enemies in the age of global warming. *Journal of Pest Science* 89:2:313-328. doi: 10.1007/s10340-016-0761-8.
- Rioux, M.-C. (2019).** Portrait-diagnostic sectoriel de l'industrie de la fraise et de la framboise au Québec. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Repéré à collections.banq.qc.ca/ark:/52327/3760760.
- Weintraub, P. G., Trivellone, V. et Krüger, K. (2019).** The Biology and Ecology of Leafhopper Transmission of Phytoplasmas. Dans Bertaccini, A., Weintraub, P. G., Rao, G. P., et Mori, N. (Dir.). *Phytoplasmas: Plant pathogenic bacteria - II: Transmission and management of phytoplasma - associated diseases*. Springer Singapore.



Sciences et technologies

POLLEN ET MICROBES : LES DÉFIS DE LA VIE URBAINE FACE AU CHANGEMENT GLOBAL

Crédit photo : Kenton

Sarah Poirier

Étudiante à la maîtrise en microbiologie,
Département de biologie
Université de Sherbrooke

Isabelle Laforest-Lapointe

Professeure adjointe
Département de biologie,
Université de Sherbrooke

Perte massive de biodiversité et accélération de l'urbanisation

La biodiversité, du plus petit des organismes au plus grand, permet aux écosystèmes de fournir d'innombrables services essentiels pour la santé des populations humaines (ex. : productivité végétale, qualité de l'air et de l'eau). Pourtant, Ripple et al. ont montré en 2017 que l'intensification actuelle des activités anthropiques (activités dues aux humains) provoque une diminution globale de la biodiversité. Aujourd'hui, la plupart des écosystèmes subissent des perturbations constantes liées aux modifications directes de l'habitat (ex. : l'urbanisation) et aux effets indirects du changement global sur les conditions abiotiques (ex. : la température). Les pertes de biodiversité et donc des services qu'elle nous procure menacent les écosystèmes et leurs habitants, y compris les humains, selon Anderson-Teixeira et al. en 2012. D'ailleurs, aucun écosystème n'évolue et ne se développe aussi rapidement que l'écosystème urbain. On estime que les personnes vivant en ville représenteront plus de 70 % de la population mondiale dans les 30 prochaines années (World Health Statistics, 2016). La synergie entre perte de biodiversité et urbanisation pourrait altérer la santé des populations humaines, entraînant alors des coûts substantiels de santé pour la société (Sandifer, Sutton-Grier, et Ward 2015).

Asthme, allergies, et activités anthropiques

On estime que 72 % de la population canadienne vit présentement dans une région métropolitaine de recensement (27 millions ; Statistique Canada, 2016) où l'expansion urbaine et les activités anthropiques sont une immense source de divers contaminants atmosphériques. La santé respiratoire des populations urbaines semble particulièrement en souffrir, alors qu'on assiste à une montée fulgurante des allergies et de l'asthme. La prévalence de l'asthme (Doucet et al., 2020) et des allergies (Canuel et al., 2021) est d'ailleurs en croissance au Québec. Les changements climatiques se font particulièrement sentir dans les villes en modifiant la temporalité et l'intensité de la saison pollinique, influençant ainsi la prévalence des allergies saisonnières. La photosynthèse et la reproduction des plantes sont stimulées par l'augmentation des niveaux atmosphériques de dioxyde de carbone (CO₂), ce qui mène alors à une plus grande production de pollen. La prolifération des moisissures est également accrue par les inondations et l'humidité, menant à l'augmentation des risques d'asthme sévère. Les allergènes de pollen et de moisissure sont capables de déclencher la libération de médiateurs pro-inflammatoires et immunomodulateurs, lesquels accélèrent l'apparition

de troubles auto-immuns. La pollution atmosphérique pourrait également exacerber l'allergie au pollen et aux moisissures, augmentant ainsi les maladies respiratoires allergiques en ville (D'Amato et al., 2020). En milieu urbain, les espaces verts (ex. : parcs, boisés, pelouses, jardins, toits verts) sont associés à d'importants services écosystémiques, tels que l'atténuation des îlots de chaleur. Il nous reste cependant à déterminer comment les caractéristiques des infrastructures vertes urbaines (composition, densité, diversité) et leurs émissions (ex. : pollen, microbes, composés organiques volatils [COVs]) influencent la santé respiratoire.

Sommes-nous tous égaux devant les molécules aéroportées ?

Les particules aéroportées (transportées par l'air), ainsi que la façon dont leur identité, leur source et leur concentration diffèrent d'un quartier à l'autre, sont des composantes souvent négligées par l'étude de la santé de la population. Par exemple, l'exposition à de grandes diversités végétales et microbiennes (notamment sur la peau humaine) a été liée à une diminution du risque de développer de l'asthme et des allergies par le biais de la maturation du système immunitaire (voir Encadré

Deux hypothèses liées aux expositions microbiennes ont été explorées pour expliquer la prévalence plus élevée des troubles à médiation immunitaire dans les pays développés : l'hypothèse de la fenêtre d'opportunité et l'hypothèse de l'hygiène (et son dérivé, l'hypothèse des vieux amis)

HYPOTHÈSE 1 : LA FENÊTRE D'OPPORTUNITÉ

À la naissance, les humains sont colonisés par des microbes, principalement des bactéries et des champignons. Au cours des trois années suivantes de la vie, le microbiote intestinal humain subit une succession de changements qui ont des conséquences importantes sur le développement du système immunitaire. Les trois premières années de la vie semblent représenter une fenêtre d'opportunité au cours de laquelle des altérations de la trajectoire de maturation de la communauté microbienne intestinale ont été rapportées chez des nourrissons, lesquels ont ensuite développé de l'asthme et des allergies. En effet, la perturbation du microbiote par la perte de microbes clés, la réduction de la diversité et les altérations des capacités métaboliques peuvent conduire à un état de déséquilibre écologique appelé dysbiose, lequel a été associé à des maladies immunitaires telles que l'asthme et les allergies.

HYPOTHÈSE 2 : LES VIEUX AMIS

L'hypothèse des vieux amis repose sur l'observation qu'une transmission accrue de microbes tels des virus, mycobactéries et micro-eucaryotes (ex. : protistes) variés venant de l'environnement et des espèces animales au sein d'une population non industrielle pourrait conduire à un moindre risque de développer de l'eczéma et de l'asthme. En effet, plusieurs études ont montré que dans les populations des pays industrialisés, le fait de grandir dans un habitat rural diminue le risque de développer des maladies immunitaires et inflammatoires.

1). Aussi, la stratification sociale et économique dans l'accès à la diversité des infrastructures végétales (ex. : parcs, jardins, boisés, toits verts) a été détectée en 2000 et souligne l'importance de considérer les inégalités sociales dans l'étude des populations urbaines (voir Figure 1). De nombreuses instances locales et gouvernementales ont récemment investi dans la plantation d'arbres. Toutefois, si les nouvelles allocations suivent les tendances passées favorisant les quartiers ayant un statut socio-économique plus élevé (voir Figure 1), cela pourrait compromettre les bénéfices potentiels pour la santé humaine en ville. Une étude réalisée par Claudio et al., en 2006, dans des écoles publiques du primaire de la ville de New York, a estimé que les enfants vivant dans des régions à faible statut socio-économique présentaient un risque accru de 70 % de souffrir d'asthme, indépendamment de leur origine ethnique et de leur revenu familial personnel. Ainsi, ne pas prendre en compte la distribution des espaces verts selon le statut socio-économique pourrait limiter grandement les bénéfices de l'augmentation de la densité et de la diversité végétale dans les villes. Deux études, menées par Roy et al. en 2003 et Alenius et al. en 2009, ont expérimentalement démontré un effet positif des microbes aéroportés des milieux ruraux sur la santé immunitaire. Il semble donc important de poursuivre les efforts de recherche afin d'identifier clairement le rôle des espaces verts, des microbes et des autres particules aéroportées telles que le pollen sur la santé des populations.

Le pollen

Le pollen, une particule de reproduction sexuée des plantes, est reconnu comme un allergène, c'est-à-dire une substance essentiellement inoffensive capable de déclencher une réaction allergique chez les personnes sensibilisées. Les allergies aux pollens sont un problème de santé publique qui est exacerbé par les espaces verts en milieu urbain, lesquels peuvent augmenter la charge pollinique totale et le fardeau communautaire de la rhinite allergique. Ces allergies sont souvent saisonnières, et les individus peuvent être allergiques aux pollens de différents types de plantes (ex. : arbres feuillus, conifères, herbacées), de sorte que les symptômes peuvent s'aggraver à certaines périodes de l'année et dans certains endroits. Malheureusement, pour l'ensemble du Québec, il n'y a présentement que quatre stations de suivi quotidien du pollen (deux à Montréal, une à Québec et une à Sherbrooke), ce qui limite grandement notre capacité de prédiction et de compréhension des patrons d'émissions. La durée de suspension aérienne des pollens dépend de plusieurs facteurs, comme la morphologie du pollen, l'humidité, le vent et la pression atmosphérique. Les pollens se lient également à des particules fines associées avec le transport routier (ex. : bromure, chlore, antimoine), ce qui pourrait influencer leur potentiel allergénique. Au Québec, les pollens de l'herbe à poux, des graminées, du pin et du bouleau sont particulièrement abondants (Figure 2). Le pollen du bouleau est normalement

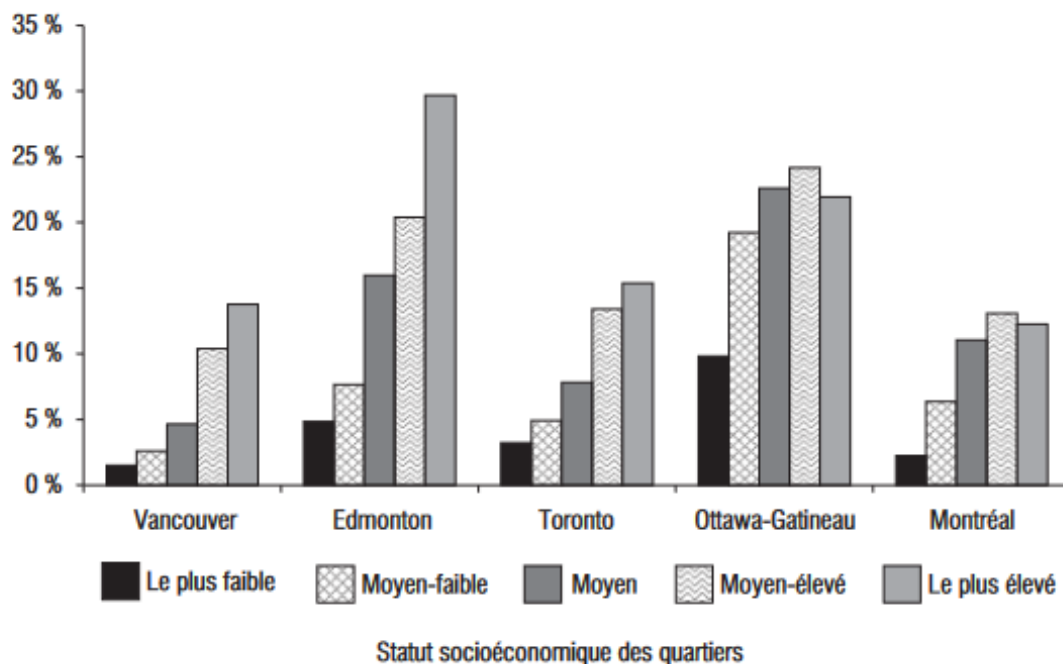


Figure 1. Pourcentage de la surface attribuée à des espaces verts en fonction du statut socio-économique pour plusieurs villes canadiennes (Institut canadien d'information sur la santé [ICIS], 2011)

produit au printemps alors que le pollen de l’herbe à poux et des graminées est produit vers la fin de l’été. La diversité des pollens urbains devrait normalement varier autant que la végétation environnante. Cependant, la biodiversité végétale urbaine est plutôt faible. Il est fort intéressant de souligner qu’à Montréal, il a été remarqué par Sousa-Silva et al., en 2021, que quatre espèces d’arbres représentent 50 % de la canopée et que ces espèces ont un fort potentiel allergénique : l’érable de Norvège (~15 %), l’érable argenté (~15 %), le frêne (~15 %) et le tilleul à petites feuilles (~5 %). De plus, on plante préférentiellement des arbres mâles, car les arbres femelles produisent plus de fruits, dont les débris sont coûteux à nettoyer. Les arbres mâles produisent et libèrent cependant plus de pollen, ce qui accentue la rhinite allergique des populations locales.

Une étude réalisée à Bruxelles a estimé, à partir de différents scénarios, que l’effet gagné en enlevant l’espèce d’arbre la plus allergénique dans un espace vert en milieu urbain sera annulé par l’effet des changements climatiques sur les autres espèces, qui augmentera les concentrations des pollens et leur allergénicité (Aerts et al., 2020). Une autre étude, menée par Stas et al. en 2021, a montré que l’exposition aux infrastructures vertes, comme les prairies et les forêts, peut diminuer les symptômes d’allergies au pollen, mais cela seulement si la densité de la plante qui cause les allergies est faible. Il semble donc que certaines mesures stratégiques d’atténuation des allergies au pollen pourraient porter fruit, mais l’effet des changements climatiques demeure non négligeable.

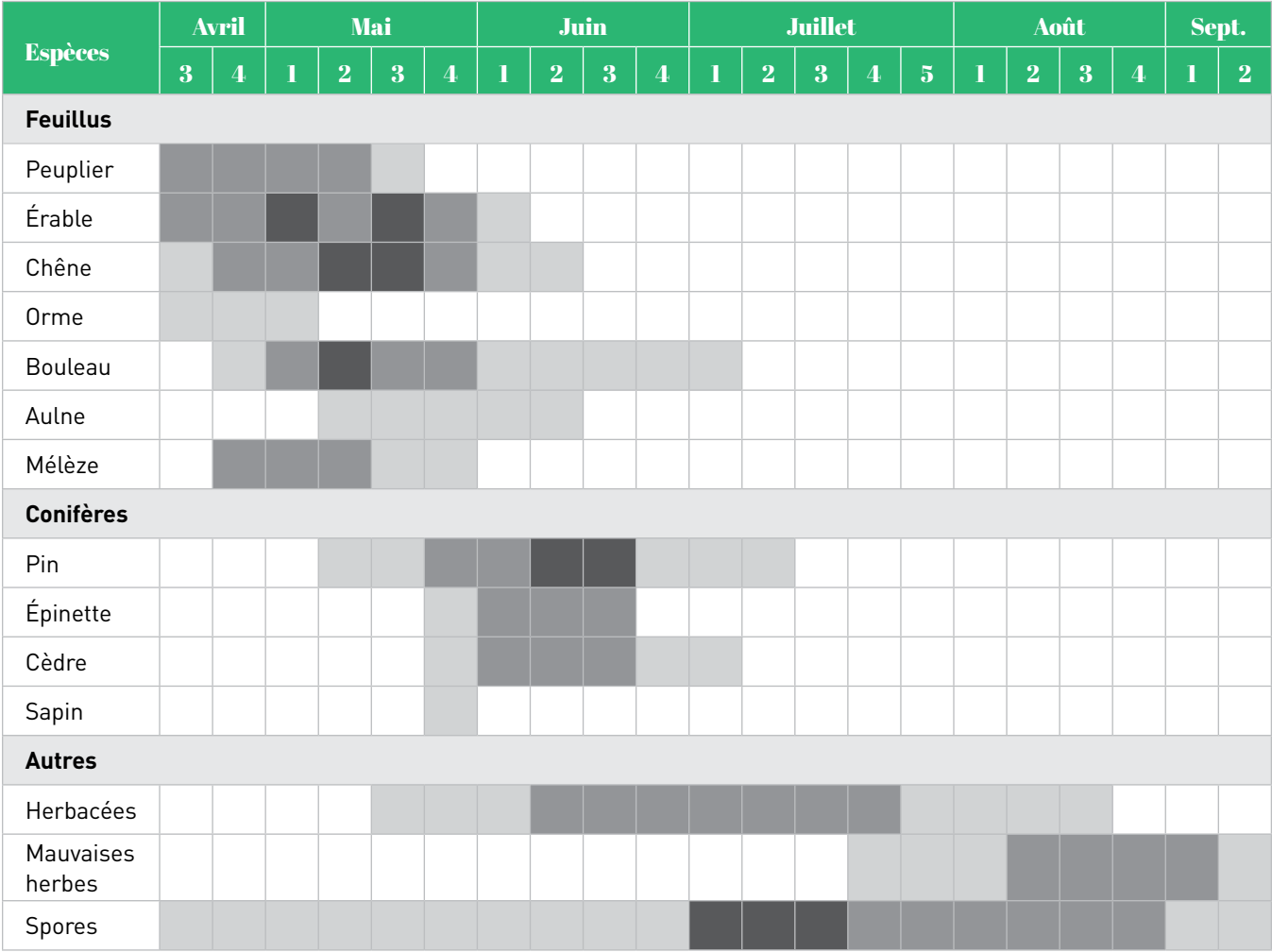


Figure 2. Calendrier de la moyenne des pollens les plus abondants à Sherbrooke, en Estrie, dans les années 2006 à 2008, compilé par la professeure Elisabeth Levac (Bishop’s). Blanc pour généralement absent, gris pâle pour concentrations faibles à modérées, gris pour fortes concentrations et gris foncé pour concentrations extrêmement élevées. (Version modifiée de Levac [2011]).

	Arbres	Herbacées	Mauvaises herbes	Spores
Absent	0	0	0	0
Faible	0-14	0-9	0-4	0-6499
Modérée	15-89	10-49	5-19	6500-12999
Élevée	90-1499	50-499	20-199	13000-49999
Extrêmement élevée	>1500	>500	>200	>50000

Tableau 1. Seuils de concentration de pollen (en grain(s)/m³) de 2006 de l'American Academy of Allergy, Asthma & Immunology utilisés à la figure 2 (modifié de Levac [2011]).

Les microbes

Bien que la plupart des recherches sur la biodiversité urbaine se soient concentrées sur les plantes, les vertébrés ou les insectes, il est désormais reconnu que les communautés microbiennes colonisent et interagissent avec ces macro-organismes, influençant ainsi le développement du système immunitaire. L'influence positive de la végétation urbaine sur la santé humaine a largement été démontrée, mais cette végétation pourrait également jouer un rôle inattendu par le biais des communautés microbiennes qu'elle abrite. Les microbes (bactéries, archées, champignons, protistes, virus) représentent le plus grand réservoir de biodiversité urbaine, colonisant le sol, les plantes, les animaux, les insectes et les surfaces bâties (ex. : bâtiments). En ville, ils font partie de ce qu'on appelle le microbiote urbain, qu'on définit comme l'ensemble des organismes microbiens résidant ou transitant en ville. La plupart des recherches sur le microbiote urbain se concentrent sur l'environnement bâti (espace intérieur), laissant beaucoup à définir dans le microbiote extérieur. Le type d'utilisation du sol (ex. : forêt, rural, urbain) a un effet sur les communautés microbiennes aéroportées et des travaux récents ont démontré que la végétation locale influence la composition et l'abondance de la communauté bactérienne aérienne dans des environnements urbains et naturels. Les microbes sont uniques à bien des égards, notamment en raison de leur évolution rapide et de leur large dispersion, ce qui peut nuire à la santé humaine lorsque les microbes dispersés sont pathogènes. Par exemple, les mycètes (champignons) peuvent produire des spores qui ont un potentiel allergénique important.

Système immunitaire et microbiote

L'expansion des villes et les activités anthropiques qui s'y déroulent constituent une immense source de divers polluants atmosphériques, parmi lesquels beaucoup peuvent agir comme des agents exogènes interférant avec le système endocrinien des mammifères. Ces produits chimiques, ainsi que les macro et micronutriments, sont enrichis sur les feuilles des végétaux urbains par rapport aux végétaux non urbains, ce qui peut avoir un effet sur l'équilibre du microbiote des plantes. Il a été suggéré que la diversité des plantes environnantes influence la communauté microbienne des principaux bâtiments fréquentés par les humains (c'est-à-dire les hôpitaux, les écoles et les maisons). Une étude récente menée en Finlande par Roslund et al., en 2020, a démontré qu'une augmentation de la biodiversité végétale pendant 28 jours en ville, donc en ajoutant différentes plantes sur le terrain de centres de la petite enfance (CPE) ciblés, a diversifié les communautés microbiennes de l'intestin et de la peau d'enfants côtoyant ces CPE, ce qui a eu un effet positif sur leurs voies immuno-régulatrices. À la lumière de ces résultats, force est de constater qu'augmenter la biodiversité urbaine pourrait aider à réduire le risque de maladies à médiation immunitaire.

Conclusion

A la lumière de ces connaissances, il semble important d'améliorer le suivi des concentrations de pollen dans les villes et de travailler à identifier et à diminuer les facteurs exacerbant leur potentiel allergénique. De plus, bien que plusieurs recherches aient établi un lien entre l'exposition microbienne et le risque d'allergies et d'asthme, nous ignorons quel est le rôle du microbiote urbain pour la santé des populations humaines. Une meilleure compréhension de l'influence de la composition, de la densité et de la diversité des infrastructures vertes sur les particules

aéroportées est nécessaire pour réduire la prévalence de l'asthme et des allergies en ville. Garantir une grande diversité d'espaces verts, comme la présence accrue de parcs où on aura choisi des plantes diversifiées et de faible risque allergique ou l'augmentation des jardins collectifs, dans les quartiers des populations à risque, afin de restaurer l'exposition à un ensemble diversifié de microbes et d'allergènes non dangereux pour la vie pourrait alors offrir un mécanisme direct visant l'amélioration de la santé. Il reste beaucoup à faire pour identifier les liens entre biodiversité, qualité de l'air et santé humaine afin d'éclairer la gestion durable des écosystèmes urbains, tout en nous efforçant de corriger les inégalités d'accès aux infrastructures vertes et à leurs avantages associés dans les villes.

RÉFÉRENCES

- Aerts, R., Bruffaerts, N., Somers, B., Demoury, C., Plusquin, M., Nawrot, T. S. et Hendrickx, M. (2021).** Tree pollen allergy risks and changes across scenarios in urban green spaces in Brussels, Belgium. *Landscape and Urban Planning*, 207, 104001.
- Agence de la santé publique du Canada. (2018).** Report from the Canadian chronic disease surveillance system: asthma and chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in Canada.
- Canuel, M., Valois, P., Tessier, M., Boulet, L. P., Boursiquot, JN. et Talbot D. (2021).** Portrait des allergies au pollen chez la population québécoise. *Le Climatoscope*, 3^e édition.
- D'Amato, G., Chong-Neto, H. J., Monge Ortega, O. P., Vitale, C., Ansotegui, I., Rosario, N., Tari Haahtela, T., Galan C., Pawankar, R., Murrieta-Aguttes, M., Cecchi, L., Bergmann, C., Ridolo, E., Ramon, G., Gonzalez Diaz, S., D'Amato, M. et Annesi-Maesano, I. (2020).** The effects of climate change on respiratory allergy and asthma induced by pollen and mold allergens. *Allergy*, 75(9), 2219-2228.
- Doucet, D. Beaudoin, C. et Sidi, E. A. L. (2020).** Portrait québécois de l'asthme : prévalence, incidence et mortalité de 2001 à 2016. INSPQ, Bureau d'information et d'études en santé des populations.
- Institut canadien d'information sur la santé. (2011).** Environnements physiques en milieu urbain et inégalités en santé, Ottawa (Ont.), ICIS.
- Levac. (2011).** *Journal of Eastern Townships Studies/Revue d'études des Cantons-de-l'Est*.
- Sandifer, P. A., Sutton-Grier, A. E. et Ward, B. P. (2015).** Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem Services* 12, 1-15. doi: 10.1016/j.ecoser.2014.12.007.
- Statistics Canada & Demography Division. (2016).** Population and family estimation methods at Statistics Canada.
- World Health Statistics. (2016).** Monitoring health for the sustainable development goals SDGs.

PLANTER DES ARBRES : UNE PANACÉE POUR CONTRER LE RÉCHAUFFEMENT ?

Olivier Asselin

PhD, spécialiste en climatologie
Ouranos

Qui n'aime pas les arbres ?

Lors de sa campagne électorale de 2019, Justin Trudeau promettait la plantation de deux milliards d'arbres au Canada d'ici 2030. Au sud de la frontière, son homologue climatosceptique de l'époque soutenait le projet du Forum économique mondial visant à restaurer, à conserver et à planter un billion (10^{12}) d'arbres dans la décennie. Son initiative avait l'appui de neuf Américains sur dix, républicains ou démocrates, ce qui en a fait l'action climatique la plus populaire et bipartisanne (Tyler et Kennedy, 2020). Décidément, les arbres ont bonne presse et la classe politique en a pris note, mais qu'en est-il de leur utilité réelle pour freiner le réchauffement climatique ?

Le réchauffement climatique actuel est causé par l'accumulation de gaz à effet de serre (principalement de CO_2) dans l'atmosphère. Selon le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la conservation et la restauration de forêts ainsi que la plantation d'arbres figurent parmi les solutions naturelles les plus prometteuses pour atteindre la carboneutralité. En effet, un arbre en croissance retire du CO_2 de l'atmosphère grâce à la photosynthèse. Le carbone ainsi assimilé est entreposé sous forme de divers composés organiques dans le tronc, les branches, les racines et le sol, loin de l'atmosphère où il contribuait à l'effet de serre. Ce bénéfice climatique durera jusqu'à ce que l'arbre meure, retournant alors une bonne partie du carbone séquestré vers l'atmosphère. Dans une forêt naturelle et saine, par contre, on s'attend typiquement à ce que de jeunes pousses prennent le relais et que dans son ensemble, l'écosystème demeure un puits de carbone pour des décennies, voire des siècles (Luyssaert et al., 2008).



Pas qu'une question de CO₂

Cela dit, l'influence climatique des arbres ne se limite pas à l'absorption de CO₂. Les arbres régulent également les échanges d'énergie et d'eau entre le sol et l'atmosphère, ce qui peut avoir un effet important sur le climat local. Ces effets, dits « biophysiques », surviennent parce que la présence d'arbres modifie trois propriétés clés de la surface terrestre : l'albédo (1), ou la fraction du rayonnement solaire réfléchi ; l'efficacité de l'évapotranspiration (2), ou l'aisance avec laquelle l'eau est transférée entre le sol et l'atmosphère ; et la rugosité de la surface (3).

Vous avez probablement remarqué qu'il fait plus chaud au soleil lorsque vous portez des couleurs foncées : c'est l'albédo (1) qui est à l'œuvre. La couleur d'un objet au soleil témoigne de sa capacité à absorber ou à réfléchir certaines parties du spectre lumineux. Plus un objet nous apparaît pâle, plus il réfléchit la lumière, et vice versa pour un objet foncé. Un vêtement foncé absorbe donc une plus grande fraction de l'énergie solaire qu'un vêtement pâle. Résultat : il fait plus chaud. En général, les forêts sont plus foncées, et donc absorbent plus d'énergie solaire que les autres couverts végétaux, comme les herbes et cultures agricoles. Cet effet réchauffant est d'autant plus important aux hautes latitudes, là où les sombres forêts de conifères peuvent masquer la pâle neige tapissant le sol durant l'hiver et le printemps. Lorsque ces forêts sont comparées à des terres dénudées, donc aisément ensevelies de neige, on observe effectivement que la présence d'arbres est associée à des températures plus élevées, un effet qui s'estompe aux plus basses latitudes (Lee et al., 2015).

Vous commencez à avoir chaud au soleil et vos glandes sudoripares font leur œuvre : vous vous mettez à transpirer. L'air est sec, permettant à la sueur de s'évaporer aisément de votre peau. Le passage de l'état liquide à gazeux de la sueur, principalement composée d'eau, s'accompagne d'un rafraîchissement de votre corps. En effet, l'évaporation de l'eau requiert de l'énergie. Au lieu de servir à réchauffer votre peau et ses environs, cette énergie est plutôt employée à briser les liaisons maintenant les molécules d'eau sous forme liquide. C'est pourquoi la transpiration, et en général l'évaporation de l'eau, cause un refroidissement local (2). Le même phénomène s'opère lors de la photosynthèse. Pour chaque molécule de CO₂ pénétrant les pores des feuilles d'un arbre, plusieurs centaines de molécules d'eau liquide s'en échappent sous forme de vapeur, causant un rafraîchissement de l'air ambiant. C'est pourquoi la transpiration des arbres, combinée à l'ombrage procuré par leur canopée, contribue à atténuer les répercussions des îlots de chaleur urbains. Un autre effet notable de la présence des arbres est l'interception

des précipitations par leur canopée. À la suite d'une forte pluie en forêt, une certaine fraction de l'eau demeurera sur le feuillage et s'évaporerait avant d'atteindre le sol. Une terre agricole, en revanche, laissera plus d'eau s'infiltrer dans le sol, réduisant ainsi l'effet refroidissant de la pluie. En somme, les forêts ont une influence significative sur l'efficacité d'évapotranspiration (2). Par contre, étant donné que l'évapotranspiration dépend d'une multitude de facteurs tels que l'ensoleillement, l'humidité, la température, le type de sol, les espèces d'arbres et leur âge, il est difficile de généraliser l'influence des arbres sur cet effet refroidissant.

Vous marchez en ville et soudainement, une bourrasque vous assaille. Une immense tour à logements perturbe l'écoulement de l'air, causant de violents tourbillons : c'est la rugosité (3) qui est à l'œuvre. Les tourbillons générés par de tels obstacles (une rugosité élevée) favorisent le mélange des masses d'air, et par le fait même, les échanges de chaleur et d'eau entre la surface et l'atmosphère. Durant le jour, le rayonnement solaire réchauffe directement la surface, qui est donc plus chaude que l'air au-dessus. Les tourbillons facilitent donc le transfert de chaleur du sol vers l'atmosphère, réchauffant cette dernière. Les tourbillons peuvent aussi favoriser l'évaporation de l'eau, car l'air saturé d'humidité à proximité des sources d'eau est plus facilement dilué. Or, les forêts sont parmi les surfaces naturelles les plus rugueuses. Par rapport à un champ agricole, avec ses cultures de hauteur faible et régulière offrant peu de résistance aux vents, les arbres ont une carrure à la fois importante et irrégulière. La couche de mélange au-dessus d'une forêt est donc bien plus profonde, permettant ainsi des échanges efficaces de chaleur et d'eau entre la canopée et l'atmosphère.

Et au net ?

On a vu que les forêts sont plus sombres (1), donc absorbent plus d'énergie solaire que les autres surfaces naturelles, et que cet effet réchauffant est exacerbé aux hautes latitudes, où les conifères peuvent masquer la neige au sol. Par contre, les arbres peuvent aussi favoriser l'évaporation de l'eau (2) en interceptant les pluies et en transpirant, ce qui a un effet refroidissant. Finalement, il y a la rugosité élevée des forêts (3), qui favorise à la fois le réchauffement de l'atmosphère par le mélange de masses d'air et son refroidissement en facilitant l'évapotranspiration. Quelle est la portée climatique nette de ces effets biophysiques ?

Chez Ouranos, nous tentons de quantifier les effets biophysiques des forêts en utilisant des modèles climatiques. Pour ce faire, nous participons à un projet international de comparaison de modèles connu sous le nom de LUCAS (Land-Use and Climate Across Scales ;

Davin et al., 2020). L'idée est simple : créer deux mondes imaginaires, nommés « Forêt » et « Herbes ». Dans le monde Forêts, toute la végétation est remplacée par des forêts. Dans le monde Herbes, on déforeste tout pour y mettre des herbes. Grâce aux modèles, on peut simuler comment le climat serait modifié par un tel boisement ou déboisement complet. L'expérience s'apparente à une prévision météorologique, mais sur plusieurs décennies, et avec des couverts végétaux modifiés. D'ailleurs, le modèle climatique utilisé à Ouranos est un proche parent de celui utilisé par Environnement et Changement climatique Canada pour les prévisions météorologiques. Afin de diminuer les incertitudes provenant de l'utilisation d'un seul modèle, des collègues autour du globe ont répété la même expérience avec leur propre modèle climatique. Dans le cadre de LUCAS, des simulations ont été générées pour l'Amérique du Nord et l'Europe.

Aux hautes latitudes, les modèles sont en accord : le boisement complet de l'Amérique du Nord et de l'Europe cause un réchauffement biophysique en hiver et au printemps, alors que les sombres forêts boréales réduisent l'albédo en masquant la neige au sol (1). Par contre, durant l'été, les modèles sont en désaccord : certains simulent un réchauffement, d'autres un refroidissement. La source principale du désaccord concerne les échanges de chaleur et d'humidité entre le sol et l'atmosphère, qui sont influencés par l'efficacité de l'évapotranspiration (2) et la rugosité (3). En général, les modèles qui simulent une augmentation

de l'évapotranspiration par rapport aux échanges de chaleur produisent un refroidissement, et vice versa. Ces résultats sont en accord avec les précédents projets d'intercomparaison de modèles climatiques (De Noblet-Ducoudré et al., 2012). Hélas, les observations disponibles ne permettent pas d'éliminer cette incertitude. En effet, les forêts semblent favoriser l'évapotranspiration lorsqu'on mesure le bilan d'eau à l'échelle d'un bassin versant, mais le résultat inverse est obtenu si on mesure directement les échanges d'humidité à partir de tours d'observation (Teuling, 2018).

Tous les arbres ne sont pas égaux

Malgré ces difficultés, des travaux récents ont tenté d'estimer le bilan climatique net des forêts, c'est-à-dire incluant à la fois les effets biophysiques et la séquestration carbone. Windisch et al. (2021), par exemple, ont rassemblé des observations d'effets biophysiques pour ensuite convertir leurs répercussions en quantité équivalente de CO₂. Leurs travaux démontrent que l'impact climatique net des forêts dépend fortement de la latitude : les forêts tropicales offrent un bénéfice de trois à quatre fois supérieur par hectare comparativement aux forêts tempérées et boréales. En plus de stocker une quantité de carbone



largement supérieure, les forêts tropicales augmentent considérablement l'efficacité de l'évapotranspiration, de telle manière que les effets biophysiques renforcent le bénéfice de la séquestration carbone. À l'inverse, les forêts boréales sont plus pauvres en carbone et leur faible albédo annule en large partie cet atout. Windisch et al. (2021) montrent également que la conservation de forêts existantes, tout particulièrement dans les tropiques, est généralement beaucoup plus bénéfique que la conversion d'une terre sans arbre en forêt. Par exemple, si on convertit une terre couverte d'herbes naturelles en plantation d'arbres, il faut inclure des pertes importantes de carbone en raison de la destruction de la flore naturelle et de son sol. Il en va de même pour la récolte du bois, qui peut relâcher du carbone ayant mis des siècles à se stocker dans les arbres et le sol.

Perspectives

On compare souvent l'impact climatique de planter un arbre à une distance parcourue en voiture ou en avion. Bien qu'un arbre puisse effectivement absorber le CO₂ émis par la combustion de l'essence, la comparaison est loin d'être parfaite. Tout d'abord, où cet arbre sera-t-il planté ? On a vu qu'un arbre planté aux hautes latitudes pourrait causer un réchauffement net. Est-ce que la plantation remplacera une végétation riche en carbone ? Si oui, il faudra en tenir compte dans le bilan carbone. Qui plus est, une importante fraction du carbone séquestré par un arbre pourrait retourner dans l'atmosphère après quelques années dans le cas d'un feu, d'une infestation de ravageurs ou de maladies (pour lesquelles les monocultures sont particulièrement vulnérables). À l'inverse, le carbone libéré par la combustion d'essence risque de ne pas retourner à son état initial avant des centaines de millions d'années. En brûlant du charbon, du pétrole ou du gaz naturel, on prend du carbone paisiblement séquestré sous terre et on l'ajoute subitement dans la boucle atmosphère-biosphère, d'où il fuira difficilement. Pour lutter contre le réchauffement, il ne semble y avoir rien de mieux que de garder les combustibles fossiles sous terre, hors de la boucle biosphère-atmosphère, et de protéger et restaurer les forêts naturelles afin d'éviter de faire basculer le réservoir de carbone de la biosphère vers l'atmosphère.

La classe politique a-t-elle donc tort de promouvoir la plantation d'arbres ? Pas nécessairement. Planter des arbres peut atténuer le réchauffement climatique, pourvu que : le bilan carbone demeure favorable lorsqu'on inclut la perte du carbone contenu dans la végétation et le sol avant la conversion ainsi que le cycle de vie entier de la plantation ; les effets biophysiques dus aux changements d'albédo, d'évapotranspiration et de rugosité n'annulent

pas les bénéfices de la séquestration carbone, comme cela peut être le cas dans de hautes latitudes ; ces plantations soient proposées en complément, et non en substitut à de robustes mesures de réduction des émissions et de conservation des écosystèmes existants. Les arbres sont donc de formidables alliés climatiques et seront essentiels à l'atteinte de la carboneutralité, mais ils ne peuvent en aucun cas remplacer les efforts de réduction de nos émissions de gaz à effet de serre.

RÉFÉRENCES

- Bonan, G. B. (2008).** Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320(5882), 1444-1449.
- Davin, E. L., Rechid, D., Breil, M., Cardoso, R. M., Coppola, E., Hoffmann, P., Jach, L. L., Katragkou, E., de Noblet-Ducoudré, N., Radtke, K., Raffa, M., Soares, M. M. P., Sofiadis, G., Strada, S., Strandberg, G., Tölle, M. H., Kirsten Warrach-Sagi, K. et Wulfmeyer, V. (2020).** Biogeophysical impacts of forestation in Europe: first results from the LUCAS (Land Use and Climate Across Scales) regional climate model intercomparison. *Earth System Dynamics*, 11(1), 183-200.
- De Noblet-Ducoudré, N., Boisier, J. P., Pitman, A., Bonan, G. B., Brovkin, V., Cruz, F., Delire, C., Gayler, V., van den Hurk, B. J. J. M., Lawrence, P. J., van der Molen, M. K., Müller, C., C. H. Reick, C. H., B. J. Strengers, B. J., et Voldoire, A. (2012).** Determining robust impacts of land-use-induced land cover changes on surface climate over North America and Eurasia: results from the first set of LUCID experiments. *Journal of Climate*, 25(9), 3261-3281.
- IPCC (2022).** Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Lee, X., Goulden, M. L., Hollinger, D. Y., Barr, A., Black, T. A., Bohrer, G., Bracho, R., Drake, B., Goldstein, A., Gu, L., Katul, G., Kolb, T., Law, B. E., Margolis, H., Meyers, T., Monson, R., Munger, W., Oren, R., Paw U, K.T., ... Zhao, L. (2011).** Observed increase in local cooling effect of deforestation at higher latitudes. *Nature*, 479(7373), 384-387.
- Luyssaert, S., Schulze, E., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B. E., Ciais, P. et Grace, J. (2008).** Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455(7210), 213-215.
- Teuling, A. J. (2018).** A forest evapotranspiration paradox investigated using lysimeter data. *Vadose Zone Journal*, 17(1), 1-7.
- Tyson, A et Kennedy, B (2020).** Two-Thirds of Americans Think Government Should Do More on Climate: Bipartisan backing for carbon capture tax credits, extensive tree-planting efforts. Repéré à <https://www.pewresearch.org/science/2020/06/23/two-thirds-of-americans-think-government-should-do-more-on-climate/>
- Windisch, M. G., Davin, E. L., et Seneviratne, S. I. (2021).** Prioritizing forestation based on biogeochemical and local biogeophysical impacts. *Nature Climate Change*, 11(10), 867-871.



Sciences et technologies

POTENTIEL D'INTÉGRATION DES ALGUES MARINES DE LA BASSE-CÔTE-NORD DANS LE MIX ÉNERGÉTIQUE QUÉBÉCOIS

Martin Bilodeau

Étudiant
Génie mécanique
Université de Sherbrooke

Sébastien Poncet

Professeur
Département de génie mécanique
Université de Sherbrooke

Simon Barnabé

Professeur
Département de chimie, biochimie
et physique
Université du Québec à Trois-Rivières

Louis Riverin

Propriétaire
LR Innovation

Kristopher Fequet

Étudiant
Département de chimie, biochimie
et physique
Université du Québec à Trois-Rivières

Les gaz à effet de serre (GES) sont à l'origine de changements climatiques dont on a déjà pu mesurer les effets et qui ne devraient cesser de s'accroître dans les prochaines décennies. Ces gaz proviennent principalement de l'utilisation de combustibles fossiles, dont nous dépendons encore largement pour les secteurs du transport, de l'industrie et des bâtiments. Au Québec, ils représentent 57,4 % de notre consommation totale d'énergie (Whitmore et Pineau, 2022). Une nouvelle transition énergétique s'impose. Pour la réussir et limiter les conséquences environnementales, « il nous faudra d'abord réduire notre consommation totale d'énergie partout dans le monde. Ensuite, nous devons compenser les GES ou réduire au minimum ce qui subsistera de notre consommation d'hydrocarbures en ayant recours à des sources d'énergie qui émettent moins de GES (solaire, éolien ou biocarburants, par exemple) » (Whitmore et Lafontaine-Beaumier, 2019).

Crédit photo : Tobias Bjørkli

La biomasse est une autre source d'énergie intéressante. Par photosynthèse, elle puise de l'atmosphère le CO₂, un GES. De plus, elle est renouvelable. En 2019, 15,8 % de l'énergie produite au Québec provenait de la biomasse (Whitmore et Pineau, 2022). Celle-ci est essentiellement forestière, agroalimentaire et urbaine. Recouvrant les zones de marées de la Basse-Côte-Nord, un nouveau type attire notre attention : les algues marines.

Cet article s'intéresse au potentiel énergétique du goémon noir (*Ascophyllum nodosum*) et du varech vésiculeux (*Fucus vesiculosus*). Entre La Romaine et Saint-Augustine, on estime que 16 600 tonnes métriques sèches (tms) de goémon et 1170 tms de varech sont accessibles à la cueillette. Cette masse peut dégager un total de 81 GWh d'énergie thermique par combustion. Cela représente une menue fraction de la production bioénergétique québécoise (0,16 %), mais pourrait s'avérer profitable et durable pour les 5 000 personnes habitant la région.

Avant de présenter les résultats des premières analyses, un survol des principaux défis associés à l'exploitation de la biomasse brute est nécessaire.

Combustion

GAZÉIFICATION DU CARBURANT

La combustion s'effectue en phase gazeuse. Avant de s'enflammer, le biocombustible doit être gazéifié. Cette transformation s'opère en trois étapes (adapté de Yang et al., 2007 et Situmorang et al., 2020) :

- Jusqu'à 200 °C : Séchage final et préchauffe de la biomasse
- De 220 °C à 700 °C : Décomposition par la chaleur (pyrolyse) et combustion partielle
- Au-delà de 800 °C : Gazéification

D'abord, la biomasse est chauffée. L'humidité qu'elle contient s'évapore. Ensuite, aux environs de 220 °C, la pyrolyse s'entame et se poursuit jusqu'à 700 °C. Au-delà de 800 °C, de nouvelles réactions forment un mélange gazeux inflammable, le gaz de synthèse, composé principalement de monoxyde de carbone (CO), de méthane (CH₄) et d'hydrogène (H₂).

LES DÉFIS DE LA BIOMASSE

Le séchage représente le premier défi à l'exploitation de la biomasse brute. Il exige une importante quantité d'énergie. Un taux d'humidité trop élevé peut empêcher la combustion.

Le rendement de la gazéification constitue le second défi. Une transformation incomplète de la biomasse en gaz de synthèse réduit l'efficacité énergétique de la réaction.

De plus, des résidus goudronneux se forment et encrassent les systèmes.

Au défi d'encrassement par le goudron s'ajoutent ceux associés aux cendres. Ce sont des substances non combustibles contenues dans la biomasse. Elles génèrent des dépôts et de la corrosion (Niu et al., 2016). Ces phénomènes surviennent conjointement selon la composition chimique. Différents éléments sont à l'origine de ces problèmes, en particulier le sodium (Na), le potassium (K), le phosphore (P) et le chlore (Cl) (Nunes et al., 2016).

En règle générale, deux composés sont à éviter. « Le KCl et le K₂SO₄ sont les substances [...] dominantes qui influencent les problèmes liés aux cendres (Niu et al., 2016). » La température à laquelle elles fondent (fusion) est d'environ 700 °C pour le KCl et 850 °C pour le K₂SO₄. Plus problématique encore est leur combinaison. Cet alliage fond dès 550 °C. Sachant que la gazéification dépasse les 800 °C, ces substances vont éventuellement devenir liquides pour ensuite créer des dépôts en se refroidissant et en se solidifiant. Le phénomène s'apparente à l'application d'une peinture aérosol. La solidification des cendres surviendra soit dans la cheminée, soit dans la turbine s'il s'agit d'un moteur à combustion interne, soit dans l'échangeur de chaleur si le système récupère l'énergie résiduelle de ses échappements. Comme les turbines tournent à très haute vitesse, elles tolèrent difficilement les accumulations, qui les déséquilibrent. Pour leur part, les échangeurs de chaleur encrassés perdent en efficacité.

La silice (SiO₂) et la potasse (K₂O) sont aussi susceptibles de s'accumuler. Différents composés modifient la température de fusion de la silice, comme le fait le sel sur la glace. Elle est avantageusement augmentée en présence de magnésie (MgO), de chaux vive (CaO), de rouille (Fe₂O₃) et d'alumine (Al₂O₃). Elle est maximale aux concentrations les plus fortes d'Al₂O₃. « Dans le cas de cendres en système CaO – MgO – SiO₂, il ne se trouve aucune fusion sous les 1 320 °C ; ainsi, aucun problème d'agglomération ne survient quand le contenu en Ca et Mg du quartz (SiO₂) est élevé (Niu et al., 2016). »

En ce qui concerne la corrosion, le chlore (Cl) agit comme catalyseur. Il peut décomposer l'acier inoxydable des tuyauteries à des températures aussi basses que 100 à 150 °C (Nunes et al., 2016).

Bien que le soufre puisse entraver la formation des chlorures corrosifs, il peut corroder les systèmes à sa manière. Lors de la combustion, le soufre contenu dans la biomasse forme le dioxyde de soufre (SO₂) (Romero et al., 2020). Une fraction du SO₂ produit ensuite du trioxyde de soufre (SO₃) (Vainio et al., 2016). Lorsque les gaz d'échappement se refroidissent sous les 500 °C, le SO₃ en présence de vapeur d'eau forme l'acide sulfurique (H₂SO₄). Quand le refroidissement des gaz

atteint 200 °C, la totalité du SO₃ est transformée en H₂SO₄, un acide corrosif (Romero et al., 2020).

Le calcium [Ca] et les composés de métaux alcalins, de sodium ou de potassium, par exemple, peuvent capturer le SO₃ avant sa transformation en acide sulfurique (Vainio et al., 2016). La concentration en H₂SO₄ demeure difficile à prédire. Elle dépend de la composition des cendres, qui varie largement d'un type de biomasse à l'autre, d'une région à l'autre et d'une saison à l'autre.

Les algues de la Basse-Côte-Nord

Du goémon noir et du varech vésiculeux ont été prélevés dans la zone de balancement de marées dans la région de la Basse-Côte-Nord (figure 1). On retrouve ce type d'algues en Amérique du Nord (au-delà du 40^e parallèle nord) et en Europe, où elles sont récoltées, de manière réglementée, pour servir d'engrais agricoles, d'aliments pour le bétail et pour l'extraction d'alginate.

Des échantillons de ces deux algues ont subi une série de tests afin d'évaluer leur potentiel énergétique. Innofibre, à Trois-Rivières, a mesuré les pouvoirs calorifiques des deux espèces, c'est-à-dire la quantité d'énergie dégagée par kilogramme de matière brûlée. Pour parfaire l'analyse, le laboratoire a également mesuré les taux d'humidité, les taux de silice et les taux de cendres. De son côté, la Plateforme de recherche et d'analyse des matériaux (PRAM) de l'Université de Sherbrooke a procédé à l'analyse de la composition chimique des cendres.



Figure 1. Photos du (a) goémon noir (*Ascophyllum nodosum*) et du (b) Varech vésiculeux [*Fucus vesiculosus*].
Crédit photo : Kristopher Fequet.

POUVOIRS CALORIFIQUES

Le pouvoir calorifique est dit « inférieur » (PCI) quand l'énergie contenue dans la vapeur d'eau produite par la réaction est inutilisée, ce qui arrive généralement. Le PCI varie en fonction des teneurs en humidité et en cendres. Le tableau 1 énumère les résultats d'analyse en ajoutant différents carburants à titre de référence.

Carburant	Pouvoir calorifique inférieur (MJ/kg)			Teneur (mass., base sèche)	
	À la cueillette	Sec, avec cendres	Sec, sans cendre	Humidité	Cendres
Goémon	3,12	16,57	19,14	419 %	15,49 %
Varech	2,28	14,11	16,07	506 %	13,90 %
Copeaux résineux	16,69	17,99	18,08	7,24 %	0,48 %
Sciures de feuillus	15,16	19,08	19,32	20,53 %	1,28 %
Méthanol (Kirkpatrick, 2021)	s.o.	s.o.	19,91	s.o.	0 %
Charbon*	s.o.	s.o.	29,00	s.o.	0 %

Tableau 1. Pouvoirs calorifiques inférieurs de différents types de biomasse, dont les algues de la Basse-Côte-Nord, et comparaison avec le méthanol et le charbon.

* https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html

Le tableau 1 illustre les proportions de matière organique combustible, d'humidité et de cendres du goémon, du varech et, à titre comparatif, de copeaux de bois résineux et de feuillus du Québec. L'importante quantité d'eau contenue dans les algues à la cueillette écrase leur PCI. Cependant, séché et sans cendre, le goémon rivalise avec les rejets forestiers et le méthanol, avec 19,14 MJ/kg. Comparativement au charbon, les PCI des biomasses sont plus faibles en raison de leur contenu en oxygène qui, en revanche, améliore la combustion.

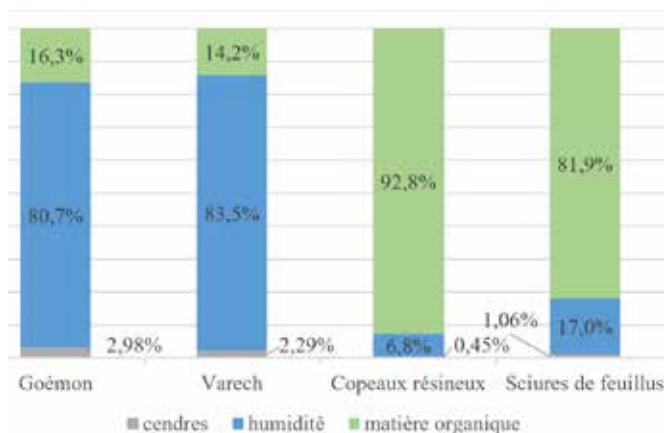


Figure 2. Composition d'un kilogramme de biomasse brute.

CENDRES ET ÉMISSIONS POLLUANTES

Les échantillons d'algues séchées contiennent de 11 à 32 fois plus de cendres que le bois (figure 2). Le risque de dépôts est d'autant plus élevé. La figure 3 présente la composition des cendres du varech et du goémon à la suite d'une analyse par fluorescence des rayons-X (XRF).

Les algues de la Basse-Côte-Nord brillent par la qualité de leurs constituants et l'absence de contaminants provenant de l'activité humaine. Les éléments CaO (chaux vive), K₂O (potasse), MgO (magnésie), SO₃ (trioxyde de soufre) et P₂O₅ (oxyde de phosphore)

sont d'excellents engrais.

L'absence de KCl et de K₂SO₄ est un atout face au défi des dépôts. Par contre, le K₂O est susceptible de s'agglomérer si la température de combustion dépasse les 1 227 °C (Guder et Senturk Dalgic, 2017). Pour sa part, le taux de silice est faible. De plus, l'abondance de chaux vive et de magnésie suggère qu'il n'y aura pas d'accumulation indésirable tant que la réaction s'opère sous les 1 320 °C (Niu et al., 2016). Le chlore corrosif est absent. Le contingent d'oxydes basiques (CaO, K₂O et MgO) neutraliserait éventuellement l'acide sulfurique corrosif qui pourrait se former dans les gaz d'échappement. Bref, il est possible que le goémon noir et le varech vésiculeux de la Basse-Côte-Nord ne causent ni dépôt ni corrosion.

Conclusion

Les algues marines de la Basse-Côte-Nord pourraient éventuellement s'intégrer au mix énergétique québécois. Les premières analyses montrent que ce combustible carboneutre offre un potentiel calorifique adéquat, une composition chimique favorable à son exploitation à l'état brut, moyennant une combustion sous les 1 227 °C et des cendres de qualité pouvant enrichir nos terres agricoles.

La caractérisation du goémon et du varech constituait la première étape d'un projet de recherche portant sur un tout nouveau type de moteur à combustion interne : le Valbimax. En collaboration avec LR Innovation, ce nouveau moteur thermique est en cours de développement au département de génie mécanique de l'Université de Sherbrooke. Il s'attaque particulièrement au défi du taux d'humidité élevé de la biomasse brute.

En fonction des résultats de cette recherche, une analyse du cycle de vie (LCA) suivra pour évaluer les répercussions environnementales d'une telle exploitation. Les enjeux économiques liés à cette potentielle filière restent

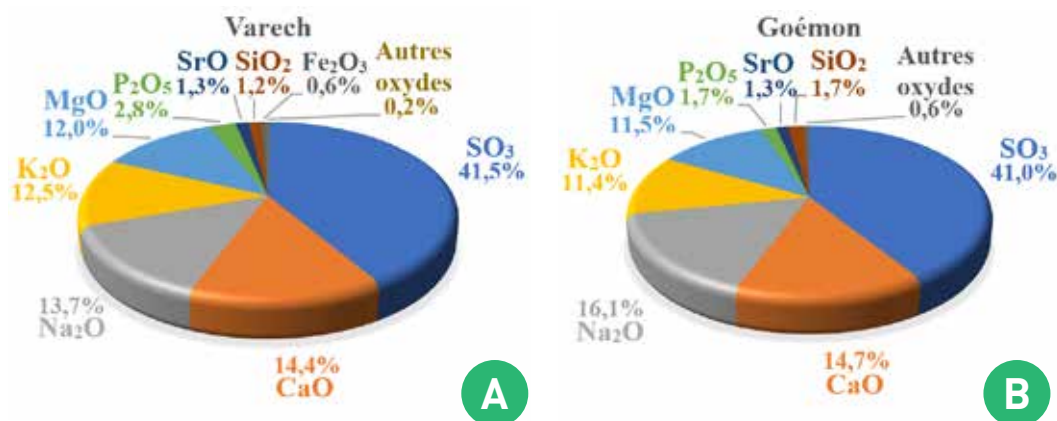


Figure 3. Composition des cendres du varech (a) et du goémon (b).

également à déterminer et permettront de voir si ce domaine d'activités peut être profitable pour la région.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le soutien financier du Réseau québécois sur l'énergie intelligente à travers le projet « Développement d'un moteur fonctionnant à la biomasse basé sur un cycle de Brayton régénératif avec séchage et pyrolyse intégrés » (2020-2022). Les analyses ont été effectuées par Innofibre (Trois-Rivières) et la Plateforme de recherche et d'analyse des matériaux (PRAM) de l'Université de Sherbrooke, qui sont aussi fortement remerciées. Un grand merci également au Studio de création de l'Université de Sherbrooke, qui a rendu possible la fabrication du montage expérimental.

RÉFÉRENCES

Guder, V. et Senturk Dalgic, S. (2017). Thermodynamic properties of Potassium Oxides (K_2O) Nanoparticles by Molecular Dynamics Simulations. *Acta Physica Polonica Series*, 131(3), 490-495. doi: 10.12693/APhysPolA.131.490

Kirkpatrick, A.T. (2021). *Internal Combustion Engines* (4^e éd.). New Jersey : Wiley.

Niu, Y., Tan, H. et Hui, S. (2016). Ash-related issues during biomass combustion: Alkali-induced slagging, silicate melt-induced slagging (ash fusion), agglomeration, corrosion, ash utilization, and related countermeasures. *Progress in Energy and Combustion Science*, 52, 1-61. doi: 10.1016/j.peccs.2015.09.003

Nunes, L.J.R., Matias, J.C.O. et Catalão, J.P.S. (2016). Biomass combustion systems: A review on the physical and chemical properties of the ashes. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 53, 235-242. doi: 10.1016/j.rser.2015.08.053

Romero, C.E., Vahedi, N., Yao, Z. et Stenger, H.G. (2020). Modeling of SO_3 formation and depletion processes in coal-fired boilers. *Fuel*, 280, 1-13. doi: 10.1016/j.fuel.2020.118355

Situmorang, Y.A., Zhao, Z., Yoshida, A., Abudula, A. et Guan, G. (2020). Small-scale biomass gasification systems for power generation (<200 kW class): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 1-14. doi: 10.1016/j.rser.2019.109486

Vainio, E., Kinnunen, H., Laurén, T., Brink, A., Yrjäs, P., DeMartini, N. et Hupa, M. (2016). Low-temperature corrosion in co-combustion of biomass and solid recovered fuels. *Fuel*, 184, 957-965. doi: 10.1016/j.fuel.2016.03.096

Whitmore, J. et Lafontaine-Beaumier, E. (2019). Dossier transition énergétique – un défi collectif sans précédent, *Gestion*, printemps 2019, HEC Montréal : <https://www.revuegestion.ca/transition-energetique-un-defi-collectif-sans-precedent>

Whitmore, J. et Pineau, P.-O. (2022). *État de l'énergie au Québec 2022*. Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, préparé pour le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2022/03/EEQ2022_web.pdf

Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D.H. et Sheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis, *Fuel*, 86 (12-13), 1781-1788. doi: 10.1016/j.fuel.2006.12.013



Crédit photo : Kristopher Fequet



Crédit photo : G3E

Sciences et technologies

LES MACROINVERTÉBRÉS BENTHIQUES : DES ORGANISMES INDICATEURS DES EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Alexandra Gélinas

M. Sc. Biogéosc. Env.
Coordonnatrice SurVol Benthos
G3E

Paola Jofre

Ph. D. Sciences forestières
Coordonnatrice aux partenariats
G3E

Nathalie Piedboeuf

M. Sc. Biologie
Directrice générale
G3E

Ne représentant que 0,8 % de la surface de la Terre, mais accueillant 6 % des espèces, les milieux aquatiques d'eau douce et leur biodiversité sont fortement vulnérables aux changements climatiques (IPCC, 2007) et sont considérés comme des milieux sentinelles des effets des changements climatiques sur la biodiversité (Woodward et al., 2010). L'une des principales raisons est que la majorité des organismes aquatiques ont une faible capacité de dispersion. Avec le réchauffement climatique, plusieurs phénomènes toucheront ces écosystèmes : réchauffement de la température de l'eau, augmentation de l'évaporation durant les périodes sèches, augmentation de l'intensité et de la fréquence des crues, pour ne nommer que ceux-là. La littérature démontre également que les petits cours d'eau et leur biodiversité seront davantage concernés par les changements climatiques (Theodoropoulos et Karaouzas, 2021). Comprendre les conséquences des changements climatiques sur les écosystèmes aquatiques en suivant la santé globale des petits cours d'eau est donc intéressant à bien des égards. Mieux comprendre les effets de ces perturbations sur ces écosystèmes permettra ainsi de mieux planifier des interventions pour s'y adapter. À l'heure actuelle, il manque indéniablement de données permettant de prédire adéquatement les effets des changements climatiques sur les écosystèmes aquatiques et leur biodiversité.

En réponse à cette situation, le Groupe d'éducation et d'écovigilance de l'eau (G3E), un organisme à but non lucratif favorisant la participation active des citoyens vis-à-vis la protection des écosystèmes aquatiques et leur mise en valeur, a mis en place, en 2017, le projet *Des rivières surveillées, s'adapter pour l'avenir*. Il s'agit d'un réseau permanent de suivi des cours d'eau qui vise à documenter les conséquences des changements climatiques sur les écosystèmes riverains en mettant la science citoyenne au cœur de ces suivis. Lors de la première phase (2017-2020), ce sont ainsi 60 cours d'eau à l'échelle du Québec qui ont été suivis par des jeunes et organismes engagés. Une deuxième phase est en cours (2021-2024). Pour réaliser ce suivi, le projet utilise entre autres les protocoles et outils du programme SurVol Benthos.

SurVol Benthos

SurVol Benthos est un programme de surveillance volontaire des petits cours d'eau à substrat grossier qui utilise les macroinvertébrés benthiques (MIB) comme indicateurs de la santé des cours d'eau. Créé en partenariat avec le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) en 2006, il s'adresse à des organisations qui désirent faire le suivi de leurs cours d'eau et contribuer à la recherche scientifique. L'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques est réalisé à l'automne et utilise le protocole du *Guide de surveillance biologique du MELCC* (MDDEFP, 2013). Suivant une méthodologie de fractionnement et de tri, les participants certifiés identifient les macroinvertébrés à la famille à l'aide d'une clé et d'un guide d'identification. Les échantillons identifiés sont ensuite acheminés au G3E, où une validation des identifications est réalisée. Les résultats de l'identification sont compilés dans la base de données du G3E afin d'obtenir l'indice de santé du benthos

(ISB_{SurVol}) du cours d'eau. Cet indice de 100 points est calculé à partir de six sous-indices, qui prennent notamment en compte la tolérance à la pollution et la diversité des MIB de l'échantillonnage. Trois catégories de l'ISB_{SurVol} définissent l'intégrité biologique des communautés de MIB (bonne, mauvaise et précaire). L'intégrité biologique est définie comme étant « la capacité d'un écosystème à supporter et à maintenir une communauté équilibrée, intégrée et capable de s'adapter aux changements » (MDDEFP, 2013). Les résultats de l'indice pour chacune des stations suivies sont par la suite affichés sur la [carte interactive du G3E](#).

Les organisations participantes doivent sélectionner deux stations à suivre, l'une d'elles devant obligatoirement être une station de référence, l'autre pouvant être également de référence ou une station dite testée. Afin de comprendre les conséquences des changements climatiques sur la santé du cours d'eau, une station de référence est essentielle. Étant une station avec peu, voire aucune perturbation anthropique, une station de référence est le meilleur état possible du cours d'eau dans une région donnée (au moins 50 % du territoire couvert de forêt). Advenant un changement par rapport à sa santé, les changements climatiques pourraient en être la cause, ce qui explique l'importance de faire le suivi de ces stations à long terme. Les suivis qui s'étendent sur plus de 10 ans sont particulièrement utiles pour examiner les effets des fluctuations à long terme de l'hydrologie ou de la température sur les communautés de MIB, qui vont être tous deux perturbés par les changements climatiques (Lawrence et al., 2010). Une station dite testée est choisie pour évaluer l'influence d'une ou de perturbations sur un cours d'eau (urbanisation, industrie, asphaltage d'une route, effets des sels de déglacage, etc.).

Dans le cadre de la première phase de *Des rivières surveillées, s'adapter pour l'avenir*, 18 organismes de bassins versants, un organisme en environnement et quatre cégeps ont réalisé le suivi de 41 stations (figure 1).

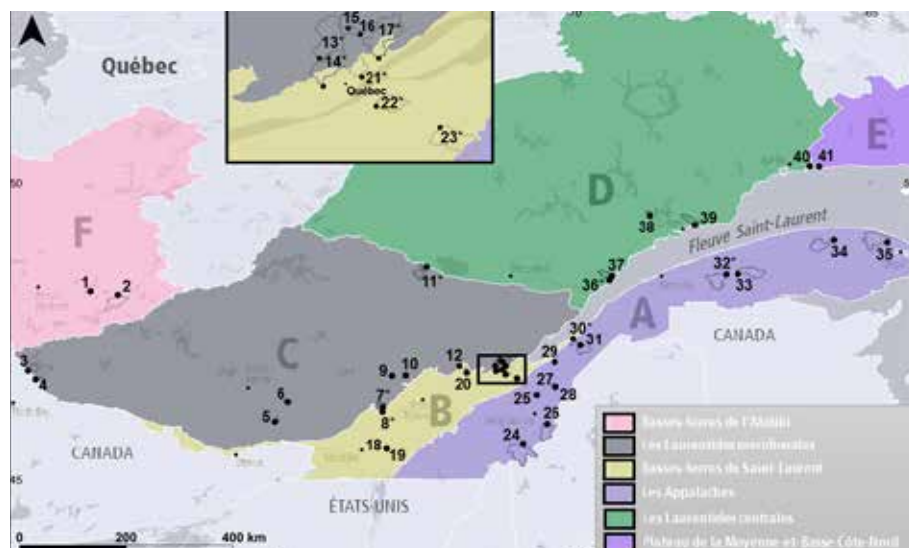


Figure 1. Répartition des 41 stations SurVol Benthos selon les provinces naturelles du Québec.

L'importance des bioindicateurs

Un bioindicateur est un organisme animal ou végétal « dont la présence ou les réactions physiques fournissent des renseignements permettant de déterminer certaines caractéristiques ou évolutions d'un milieu naturel » (OQLF, 2012). Chaque bioindicateur intègre les perturbations de son environnement à différentes échelles spatiotemporelles en fonction de son cycle de vie, de sa physiologie et de sa mobilité (MDDEFP, 2012). Dans SurVol Benthos, les MIB sont les bioindicateurs utilisés pour réaliser le suivi de l'état de santé des petits cours d'eau. Les MIB sont des organismes visibles à l'œil nu qui vivent au moins une partie de leur cycle de vie au fond d'un cours d'eau. Ces organismes constituent un groupe très diversifié et les espèces présentent des degrés de tolérance variés face aux changements qui peuvent survenir dans leur environnement.

La pollution d'un cours d'eau réduit généralement le nombre d'espèces et/ou la diversité de MIB présents dans un milieu. En effet, seul un petit nombre d'espèces peut survivre dans un environnement pollué : ce sont des espèces tolérantes. Dans un tel milieu, on trouve donc un grand nombre d'individus provenant de peu d'espèces. Dans un milieu sain, on trouve un nombre moyen d'individus, mais une grande diversité d'espèces. Comme des organismes sensibles et tolérants peuvent tous deux se retrouver dans des milieux sains, c'est donc l'absence des groupes sensibles et la présence des groupes tolérants qui indiquent si l'écosystème étudié subit un stress.

Les bioindicateurs et les changements climatiques

Il est démontré que les changements climatiques auront des conséquences sur la biodiversité et les organismes y réagiront de multiples façons. Ces changements toucheront les services écologiques que les écosystèmes naturels et les cours d'eau nous fournissent. Comprendre ces changements sur un territoire est donc essentiel afin de mettre en place des stratégies adéquates pour réduire les conséquences des changements climatiques ou s'y adapter (Peres-Neto et al., 2013). Réaliser un suivi de bioindicateurs peut donc nous aider en ce sens, car il permet l'acquisition de données aidant à développer des modèles servant à prédire les effets des changements climatiques sur la biodiversité (EPA, 2012). En effet, les changements dans la température de l'air et les régimes de précipitations se traduisent par des changements dans la température de l'eau, le débit, les cycles hydrologiques et les degrés-jours. Ces altérations, à leur tour, perturbent les écosystèmes aquatiques, dont les réponses peuvent être documentées à travers, entre autres, des changements dans la composition de la communauté, le nombre de cycles de reproduction, les adaptations évolutives et la répartition géographique des communautés (EPA, 2012). La tolérance des MIB à la température est l'un des traits suivis pour comprendre les conséquences des changements climatiques sur les communautés benthiques (EPA, 2012).

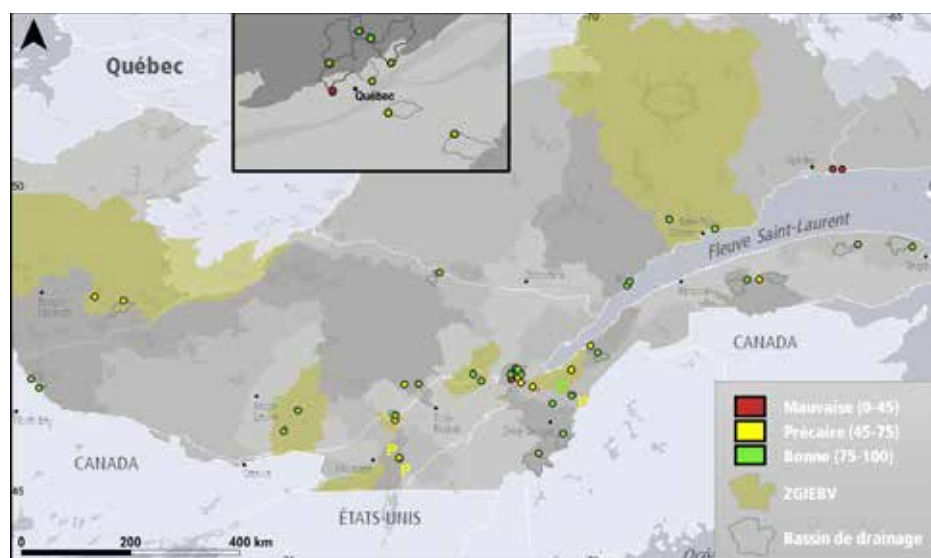


Figure 2. Portrait de la santé globale moyenne des 41 stations suivies selon les Zones de gestion intégrée de l'eau par bassins versants (ZGIEBV), de 2017 à 2019.

Résultats et discussion

La phase 1 du projet a permis de dresser un portrait de la santé globale de 38 petits cours d'eau peu profonds à substrat grossier au Québec (figure 1). La santé globale des stations se situe majoritairement dans les classes de qualité bonne (61 %) ou précaire (32 %) (figure 2). Cette prédominance de stations de bonne qualité cadre avec le critère imposé aux organismes participants précisant qu'une de leurs deux stations soit de référence.

Quatre des huit stations de mauvaise qualité se trouvent dans les basses-terres du Saint-Laurent (figure 3). Le bassin de drainage de ces stations est à plus de 50 % urbanisé ou agricole, expliquant cette faible santé globale. Le territoire de drainage des stations dans les autres provinces naturelles est à prédominance forestière.

Une variabilité de plus de 10 unités entre certaines années a été remarquée pour 12 stations, faisant varier l'indice de santé entre les classes bonne et précaire (figure 4). Il n'y a pas de barres d'erreurs sur ce graphique, étant donné qu'il n'y a pas de répliques dans ce type de suivi (un échantillonnage est fait par année). Certaines stations d'une même région présentent une tendance similaire ; l'indice baisse lors d'un été plus chaud ou lors d'étiages sévères. On remarque notamment que les stations FERR01, JAUN04 et SEPT01 (stations de référence) ont un ISB_{SurVol} plus faible en 2018, année caractérisée par une saison estivale chaude à Québec. Les stations dans la région de la Mauricie (stations GABE01 et BOUC01) connaissent une baisse de leur indice au fil des années. En 2018 et en 2019, la région a en effet connu des étiages sévères. On pourrait donc supposer que cette variabilité laisse croire que le bioindicateur benthos réagit adéquatement à des changements dans le climat. Toutefois, un suivi sur plus de 10 ans ainsi qu'une analyse plus pointue de chacune de ces stations permettraient de mieux comprendre cette variabilité et de l'associer à des événements ponctuels, des activités anthropiques et/ou aux changements climatiques (Durance et Ormerod, 2009).

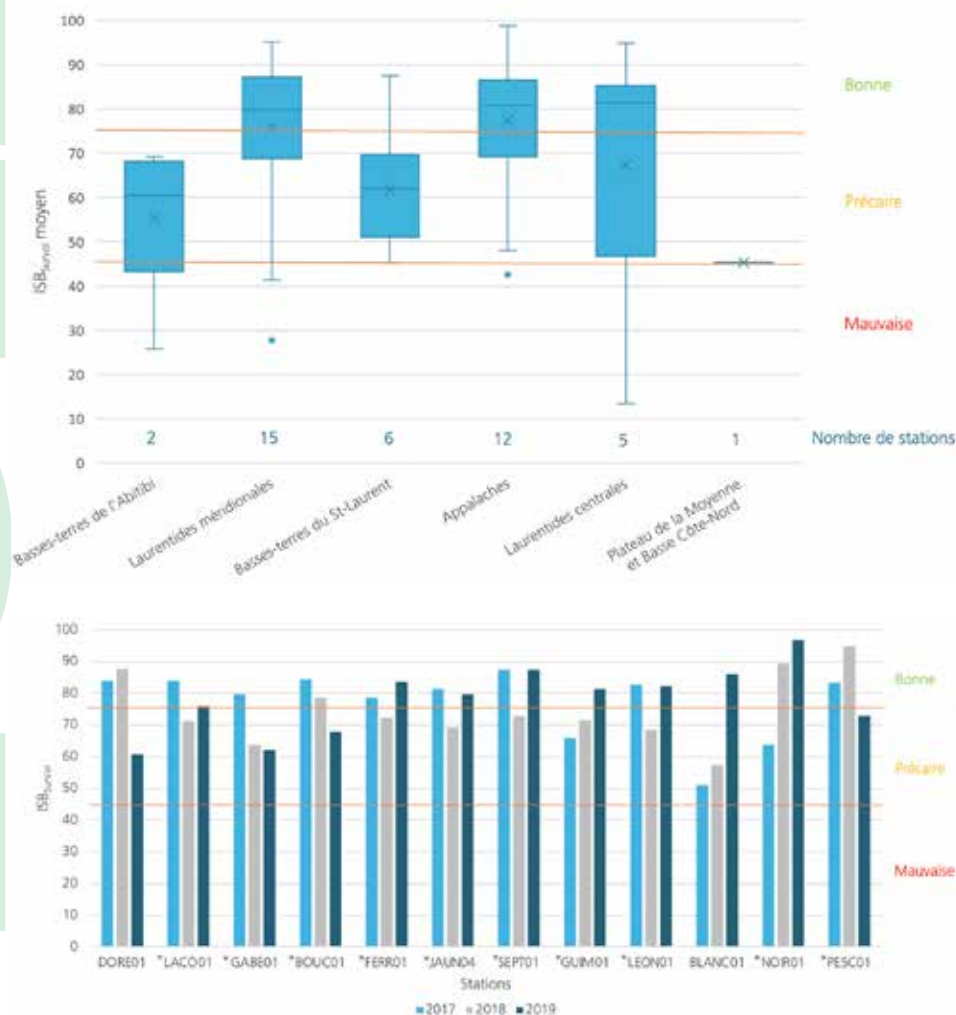


Figure 3. Distribution des valeurs de l' ISB_{SurVol} des 41 stations échantillonnées de 2017 à 2019 en fonction des provinces naturelles. Les lignes horizontales orange indiquent la limite entre les classes de l' ISB_{SurVol} .

Figure 4. ISB_{SurVol} de 2017 à 2019 des 12 stations présentant une variabilité de l'ISB de plus de 10 unités. Les astérisques dénotent les stations de référence.

Les conséquences des changements climatiques se reflètent davantage sur le nombre de taxons total, les taxons sensibles à la pollution ainsi que sur leur tolérance thermique, l'un des traits suivis pour comprendre les effets des changements climatiques sur les communautés benthiques.

Ce trait est étudié depuis plus d'une dizaine d'années aux États-Unis, permettant ainsi de dresser des bases de données pour certains taxons indicateurs. Un total de 14 127 enregistrements pour plus de 2 200 espèces, 1 165 genres et 249 familles de MIB provenant de 967 publications, textes et rapports ont été saisis dans la base de données (Vieira et al., 2006). Ces données n'existant pas encore au Québec, ces bases des États du nord des États-Unis ont servi de point de départ pour choisir neuf familles selon leur tolérance thermique (Vieira et al., 2006).

Au fur et à mesure de l'amélioration de nos connaissances sur les tolérances thermiques des macroinvertébrés au Québec, il sera envisageable de bonifier cette liste et d'ajuster les aires de répartition. Les taxons du groupe *froid* sont plus largement étendus que les taxons du groupe *chaud*, étant présents dans 20 des 41 stations (figure 5). Cette répartition est attendue considérant que les types de cours d'eau échantillonnés sont des petits cours d'eau dont plusieurs sont en milieu forestier ou en tête de bassin. Étant donné que seulement 9 familles sont étudiées dans cette analyse, il manque de données de 5 °C à 15 °C. Dans le cas du plateau de

la Moyenne et de la Basse-Côte-Nord, aucune des neuf familles vedettes pour la tolérance thermique n'a été retrouvée. Cela peut être expliqué par le fait qu'il n'y a qu'une station dans cette région. Avec l'augmentation prévue des températures dans les années à venir, il sera intéressant de voir si l'aire de répartition de ces taxons sera modifiée.

Conclusion et recommandations

Avec seulement trois années de données, il est difficile d'obtenir des résultats permettant de conclure que la variabilité de l'indice est due aux effets des changements climatiques. La première phase du projet a permis d'asseoir les bases d'un réseau pour suivre les conséquences des changements climatiques sur les cours d'eau et établir un portrait à l'an zéro de la santé globale de plusieurs cours d'eau. Afin de comprendre les conséquences des changements climatiques sur les cours d'eau et d'être en mesure d'adapter nos comportements et nos actions d'aménagement du territoire en conséquence, un suivi continu à long terme des stations actuelles de référence sera nécessaire pour pouvoir observer les tendances, faire des projections et aborder le problème dans toute sa complexité. De plus, de nouvelles stations de référence devront être mises en place dans certaines régions du Québec pour avoir

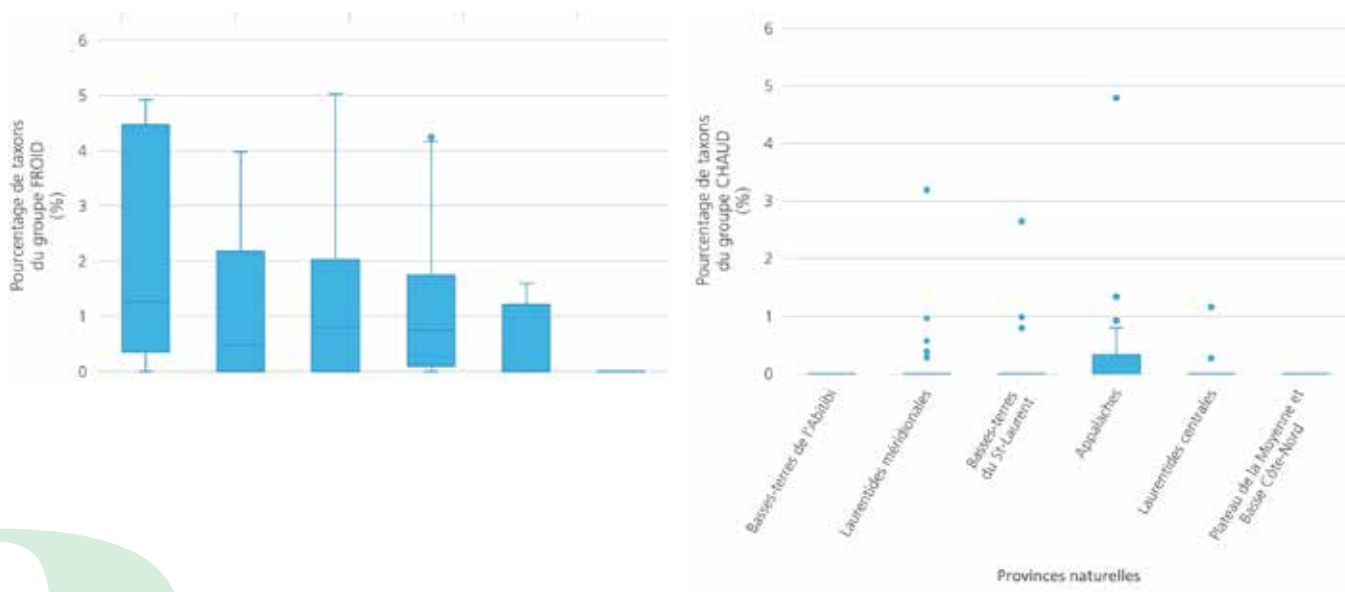


Figure 5. Abondance relative des indicateurs thermiques de 2017 à 2019 par province naturelle. Le groupe dit FROID a une tolérance thermique inférieure à 5 °C et celle du groupe CHAUD est de 15 °C à 30 °C.

une meilleure représentation tant à l'échelle de la province que régionalement. Afin de mieux comprendre les conséquences, l'acquisition de données pourrait nous aider à bâtir un indice pour mettre en valeur les macroinvertébrés benthiques sensibles aux changements climatiques. Cet indice sera un outil indispensable dans le but de s'adapter aux changements climatiques!

RÉFÉRENCES

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

Lawrence, J. E., Lunde, K.B., Mazor, R.D., Bêche, L.A., McElravy, E.P. et Resh, V.H. (2010). Long-term macroinvertebrate responses to climate change: implications for biological assessment in mediterranean-climate streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 29(4), 1424-1440. <https://doi.org/10.1899/09-178.1>

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). (2012). *Indice d'intégrité biologique basé sur les macroinvertébrés benthiques et son application en milieu agricole : Cours d'eau peu profonds à substrat grossier* (ISBN 978-2-550-66035-4). Repéré à https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/macrobentebre/indice-integrite/rapport-agricole-substrat-grossier.pdf

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). (2013). *Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier* (ISBN 978-2-550-69169-3). Repéré à https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/macrobentebre/surveillance/benthiques.pdf

Office québécois de la langue française (OQLF). (2012). Fiche terminologique : bio-indicateur. Repéré à https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26519640

Peres-Neto, P., Boivin, F., Who-Seung, L., Shubha, P., Jason, S. et Anouk, S. (2013). *Développement d'un cadre méthodologique et d'échantillonnage pour le suivi de la biodiversité en fonction des changements climatiques* (n° Ouranos-Projet 554010-107). Repéré sur le site de l'organisme Ouranos : https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportPeresNeto2013_FR.pdf

Theodoropoulos, C. et Karaouzas, I. (2021). Climate change and the future of Mediterranean freshwater macroinvertebrates: a model-based assessment. *Hydrobiologia* 848, 5033-5050. doi / 10.1007/s10750-021-04691-x

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2012). *Implications of climate change for bioassessment programs and approaches to account for effects* (Publication no EPA/600/R-11/036A). Repéré à <https://cfpub.epa.gov/ncea/global/recordisplay.cfm?deid=239585>

Vieira, N.K.M., LeRoy Poff, N., Carlisle, D.M., Moulton II, S.R., Koski, M.L. et Kondratieff, B.C. (2006). *A database of lotic invertebrate traits for North America*. U.S. Geological Survey, Data Series n° 187. Repéré à <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ds187>

Woodward, G., Perkins, D.M. et Brown, L.E. (2010). Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization. *Philosophical transactions of the Royal Society* 365, 2093-2106. doi: 10.1098/rstb.2010.0055





Droit et politique

RENDEZ-VOUS AU TRIBUNAL ! OÙ EN SOMMES-NOUS AVEC LES PROCÈS CLIMATIQUES CONTRE LES GOUVERNEMENTS AU CANADA ?

Crédit photo : Tingey Injury Law Firm 1

Géraud de Lassus St-Geniès

Professeur adjoint
Faculté de droit
Université Laval

Que peut-on faire, lorsqu'on est inquiet de la dégradation du climat, pour amener son gouvernement à en faire davantage pour résoudre cette crise ? À la voie classique de l'implication politique ou associative, ou celle plus radicale de la désobéissance civile, s'ajoute maintenant la voie judiciaire, car c'est désormais également devant les tribunaux que le militantisme climatique trouve son terrain d'expression. Depuis une dizaine d'années, les individus et les organisations non gouvernementales (ONG) se tournent de plus en plus vers le juge national pour lui demander d'obliger leur gouvernement à adopter des politiques climatiques plus ambitieuses.

Le cas le plus emblématique de cette forme de contentieux climatique – qualifié de systémique, car visant l'ensemble de la politique climatique d'un gouvernement et non une décision particulière comme l'approbation d'un projet – est l'affaire *Urgenda Foundation v. State of the Netherlands* ([2015] HAZA C/09/00456689) rendue en 2015 par un tribunal des Pays-Bas. Pour la première fois dans cette affaire, des juges ont ordonné à un gouvernement de revoir à la hausse sa cible de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Selon le tribunal, la cible initialement choisie par cet État n'était pas assez ambitieuse et contrevenait de ce fait au devoir qu'avaient les Pays-Bas de faire preuve de diligence dans la manière d'atténuer les changements climatiques sur leur territoire.

Ce jugement historique a entraîné d'importants changements dans la politique climatique néerlandaise (nouvelle cible de réduction des émissions, nouvelle loi climatique, annonce de la fermeture des centrales électriques au charbon d'ici 2030). Mais surtout, il a permis de constater que les tribunaux pouvaient jouer un rôle central pour faire progresser l'action climatique. L'affaire Urgenda a ainsi inspiré des procès similaires dans différentes juridictions dans le monde. Même si tous ces recours n'ont pas été couronnés de succès (notamment aux États-Unis), dans plusieurs affaires, des États (comme l'Allemagne, la France et l'Irlande) ont été contraints par les juges nationaux de revoir leur politique climatique. Dans son rapport d'avril 2022, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat reconnaît que le contentieux climatique peut influencer la rigueur et le niveau d'ambition des politiques climatiques nationales (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022).

Si, dans plusieurs États, le juge tend donc à devenir un acteur central dans la gouvernance climatique, qu'en est-il au Canada ? Chacun sait sans doute — car les procès climatiques sont souvent médiatisés — que différents recours ont été entrepris contre le gouvernement fédéral pour le forcer à en faire davantage pour le climat, dont celui intenté par l'association québécoise Environnement Jeunesse (ENJEU) en 2018. Mais où ces différents recours en sont-ils rendus aujourd'hui ? Ont-ils mené à des victoires et sinon, pourquoi ont-ils été rejetés ? Et plus généralement, ont-ils eu un effet bénéfique ?

État des lieux

L'idée de recourir aux tribunaux pour faire contrôler la légalité des politiques climatiques s'est imposée assez rapidement au Canada. La première affaire de ce genre — *Ami(e)s de la Terre c. Canada (gouverneur en conseil)* (2008 CF 1183) — date de 2008. Dans ce recours, l'ONG plaignante alléguait que le plan climatique préparé par le gouvernement fédéral ne se conformait pas à la *Loi de mise en œuvre du Protocole de Kyoto*. Alors que cette loi imposait justement au gouvernement la préparation d'un plan présentant les « mesures à prendre afin d'assurer » que le Canada respecte sa cible inscrite dans le *Protocole de Kyoto*, l'ONG soutenait que le plan ne permettrait pas d'atteindre cette cible. Toutefois, la Cour a estimé que les éléments à inclure dans le plan étaient des facteurs essentiellement politiques et qu'il n'appartenait donc pas aux tribunaux d'évaluer le contenu d'un tel plan. À la suite de ce jugement, il faudra attendre une décennie pour que les tribunaux soient à nouveau appelés à se prononcer sur le caractère suffisamment ambitieux des politiques climatiques.

Un premier recours en ce sens a été intenté en 2018 par l'association ENJEU, qui a déposé une demande en autorisation d'exercer une action collective contre le gouvernement du Canada au nom de toutes les personnes résidentes du Québec âgées de 35 ans et moins. Selon ENJEU, en s'abstenant d'adopter des mesures adéquates pour limiter le réchauffement planétaire à 1,5 °C, et donc en laissant se produire les effets néfastes des changements climatiques, le Canada ne respectait pas, à l'égard de cette catégorie de la population québécoise, plusieurs droits garantis par la *Charte canadienne des droits et libertés* et la *Charte des droits et libertés de la personne*. Les droits en cause étaient le droit à la vie, à la liberté et à la sécurité, le droit à l'égalité (l'argument étant que les jeunes subiront davantage les effets des changements climatiques que le reste de la population) ainsi que le droit à un environnement sain et respectueux de la biodiversité. Par ce recours, ENJEU demandait notamment au tribunal de reconnaître ces violations et d'ordonner au Canada d'y remédier en mettant en place toutes les mesures appropriées pour freiner le réchauffement climatique. Cette demande en autorisation d'exercer une action collective a toutefois été rejetée par la Cour supérieure en 2019 (*Environnement Jeunesse c. Procureur général du Canada*, 2019 QCCS 2885) et, en 2021, par la Cour d'appel du Québec (*Environnement Jeunesse c. Procureur général du Canada*, 2021 QCCA 1871). En février 2022, ENJEU a déposé une demande d'autorisation d'appel à la Cour suprême du Canada, qui l'a rejetée en juillet 2022.

Dans le sillage de ce recours, trois autres actions en justice relevant d'une logique similaire ont été intentées. D'abord, en octobre 2019, des adolescentes et adolescents de la Colombie-Britannique ont saisi la Cour fédérale pour faire reconnaître que le Canada, en continuant d'émettre des GES à un niveau incompatible avec le maintien d'un système climatique stable, en adoptant des cibles de réduction des émissions de GES différentes de celles recommandées par la science, en n'atteignant pas ces cibles et en soutenant des projets d'exploitation d'énergies fossiles, contrevenait à leur droit à la vie, à la liberté, à la sécurité et à l'égalité garanti par la *Charte canadienne des droits et libertés*. Ces jeunes demandaient ainsi à la Cour de constater ces violations et d'ordonner au Canada de mettre en place un « plan de redressement climatique » conduisant à des réductions des émissions de GES compatibles avec le maintien d'un système climatique stable. En octobre 2020, la Cour fédérale a rejeté cette requête (*La Rose c. Canada*, 2020 CF 1008), qui doit maintenant être examinée par la Cour d'appel fédérale.

Ensuite, en novembre 2019, des jeunes de l'Ontario ont demandé à la Cour supérieure de leur province de déclarer que la nouvelle cible de réduction des émissions de GES du gouvernement ontarien contrevenait, par son insuffisance, à leur droit à la vie, à la liberté et à la

sécurité, ainsi qu'à leur droit à l'égalité garantis par la *Charte canadienne des droits et libertés*, et par conséquent d'ordonner au gouvernement de définir une nouvelle cible fondée sur la science permettant de limiter l'augmentation de la température à 1,5 °C ou nettement en dessous de 2 °C. Considérant que les jeunes invoquaient des motifs raisonnables et sérieux, la Cour supérieure a rejeté la requête en radiation déposée par l'Ontario (*Mathur v. Ontario*, 2020 ONSC 6918). L'appel formulé par la province ayant été rejeté, cette affaire sera entendue sur le fond en septembre 2022.

Enfin, en février 2020, deux chefs de la nation Wet'suwet'en (Colombie-Britannique) ont intenté une action contre le Canada devant la Cour fédérale. Selon les plaignants, en n'adoptant pas les lois nécessaires pour permettre de limiter l'élévation des températures conformément à ce que prévoit l'*Accord de Paris*, le Canada portait atteinte à leur droit à la vie, à la liberté et à la sécurité, ainsi qu'à leur droit à l'égalité garantis par la *Charte canadienne des droits et libertés*. Les plaignants demandaient notamment à la Cour de constater la violation de leurs droits, de dire que le Canada avait un devoir d'agir pour limiter l'élévation de la température et d'ordonner au gouvernement fédéral de modifier les lois prévoyant des processus d'approbation de projets émetteurs de GES afin qu'il puisse annuler les projets déjà autorisés dont la réalisation empêcherait l'atteinte des objectifs de l'*Accord de Paris*. Sur la base d'une requête en radiation présentée par le gouvernement fédéral, la Cour a rejeté la demande des plaignants en novembre 2020 (*Misdzi Yikh c. Canada*, 2020 FC 1059), qui se sont par la suite pourvus en appel.

Des procès différents, un défi similaire

S'il existe des différences entre ces quatre recours et si les facteurs expliquant le rejet de la majorité d'entre eux ne sont pas toujours les mêmes, les parties demanderesse sont dans ces affaires toutes confrontées au même défi : réussir à convaincre les juges qu'un gouvernement qui n'agit pas avec suffisamment d'ambition contre les changements climatiques viole les droits fondamentaux de sa population. Pour faire accepter par les juridictions canadiennes ce raisonnement — déjà admis par les tribunaux d'autres États, notamment aux Pays-Bas et en Allemagne —, deux obstacles en particulier doivent être franchis.

Le premier concerne le caractère justiciable des demandes au cœur de ces procès climatiques. Au Canada, le concept de justiciabilité renvoie à la question de savoir s'il est approprié pour les tribunaux, au regard du principe de la séparation des pouvoirs, de se prononcer sur une question donnée. Une demande sera considérée comme non justiciable si les tribunaux estiment qu'ils n'ont pas la légitimité pour y répondre, ce qui peut être le cas s'ils jugent que cette demande soulève des enjeux à propos desquels il appartient davantage aux gouvernements élus démocratiquement de se prononcer. Lors de procès contre des politiques climatiques, cette question de la justiciabilité est évidemment centrale, car les juges sont justement invités à se prononcer sur la pertinence des choix politiques effectués par les gouvernements. Or, même si les tribunaux canadiens se montrent plutôt réticents à conclure à la non-justiciabilité des demandes fondées sur la *Charte canadienne des droits et libertés* simplement parce qu'elles soulèveraient des enjeux politiques, tous les juges ne sont pas forcément convaincus que « dicter au pouvoir législatif » (*Environnement Jeunesse c. Procureur général du Canada*, 2021 QCCA 1871, par. 32) ce que devrait être sa politique climatique relève bien de leur rôle. Si, dans l'affaire Mathur, l'argument de la non-justiciabilité a été écarté, il a en revanche servi de fondement principal pour rejeter les trois autres affaires.

Le deuxième obstacle — qui ne se pose que si le premier est franchi — est celui de la causalité. Naturellement, les effets des changements climatiques peuvent porter atteinte à la vie et à l'intégrité de la personne, et il est admis en jurisprudence qu'une politique gouvernementale augmentant le risque de mortalité, ou de souffrances physiques et psychologiques, peut violer le droit à la vie. Mais peut-on réussir à prouver que c'est bien l'insuffisance de l'action gouvernementale qui engendre des émissions de GES, et que ce sont bien ces émissions (et non celles provenant d'un autre État) qui augmentent le risque d'atteinte à la vie et à l'intégrité ? Cette démonstration peut être complexe à effectuer, car les changements climatiques sont un problème mondial causé par l'accumulation de tous les GES dans l'atmosphère (un argument invoqué en défense par le Canada dans l'affaire La Rose et par l'Ontario dans l'affaire Mathur). Certes, en matière de violation du droit à la vie, les tribunaux sont invités à privilégier une approche souple de la causalité pour rechercher uniquement un lien causal suffisant entre le comportement du gouvernement et les préjudices subis par la partie demanderesse. Mais cette directive reste assez générale et rien n'indique que les juges concluraient nécessairement à l'existence d'un tel lien dans le contexte particulier des changements climatiques.

Des effets bénéfiques malgré tout ?

Au regard de ce bref tour d'horizon, le bilan des procès climatiques intentés contre les gouvernements au Canada semble donc plutôt mitigé. Certes, de ces quatre affaires, aucune n'est encore parvenue au terme de toutes les voies de recours disponibles. Dans le cas de l'affaire Mathur, on peut même se réjouir que les tribunaux aient accepté d'entendre la cause sur le fond, en écartant l'argument de la non-justiciabilité et en estimant que les faits allégués étaient susceptibles d'être prouvés scientifiquement. Mais dans l'immédiat, il reste que l'on ne trouve pas encore au Canada de victoire à la Urgenda, dans laquelle les juges auraient forcé un gouvernement à rehausser le niveau d'ambition de sa politique climatique.

Pour autant, peut-être que ces recours, du seul fait qu'ils aient été intentés, produisent déjà des effets bénéfiques. Ces démarches judiciaires contribuent à sensibiliser la population, à maintenir la question du climat au cœur du débat public et à forcer les gouvernements à justifier leur politique climatique. En outre, ces recours sont aussi l'occasion de faire émerger de nouveaux concepts (comme le droit, y compris pour les générations futures, de bénéficier d'un climat stable) qui, par leur force symbolique, rendent le discours militant plus persuasif. En terminant, le fait que ces recours (à l'exception de l'affaire Misdzi Yikh) aient été entrepris

par des jeunes doit être souligné, car ces recours offrent à une génération dont tous les membres ne sont pas encore en âge de voter une tribune pour exprimer ses attentes pour le futur (Parker et al., 2022). Or, le fait que l'indignation et la révolte, mais aussi l'espoir qui animent cette nouvelle génération soient audibles dans la société est certainement un facteur qui peut contribuer à de meilleures politiques publiques.

RÉFÉRENCES

Ami(e)s de la Terre c. Canada [gouverneur en conseil], 2008 CF 1183.

Environnement Jeunesse c. Procureur général du Canada, 2019 QCCS 2885.

Environnement Jeunesse c. Procureur général du Canada, 2021 QCCA 1871.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO, UNEP, 13-31. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf

La Rose c. Canada, 2020 CF 1008.

Mathur v. Ontario, 2020 ONSC 6918.

Misdzi Yikh c. Canada, 2020 FC 1059.

Parker, L., Mestre, J., Jodoin, S. et Wewerinke-Singh, M. (2022). When the Kids Put Climate Change on Trial. Youth-Focused Rights-Based Climate Litigation around the World. *Journal of Human Rights and the Environment*, 13(1), 64-89. <https://doi.org/10.4337/jhre.2022.01.03>

Urgenda Foundation v. State of the Netherlands, [2015] HAZA C/09/00456689.





Droit et politique

LE PARTI CONSERVATEUR UNI ALBERTAIN : UN GOUVERNEMENT MOTIVÉ PAR L'APPROCHE TECHNICISTE EN ENVIRONNEMENT

Frédéric Boily

Professeur titulaire en science politique
Université de l'Alberta

La « conscience est bien installée aujourd'hui. Ce qui manque, c'est la motivation d'agir » (Herrero, 2019). Selon l'économiste Christian Gollier, la conscience de devoir agir pour lutter contre les changements climatiques serait bien présente, mais la motivation, entendue ici au sens de *volonté* d'agir, ferait défaut aux gouvernements. Cette observation servira de tremplin pour examiner le cas de l'Alberta, province qui représente 38 % des émissions

de gaz à effet de serre (GES) au Canada (2019). Plus précisément, il s'agit d'examiner la nature de la volonté d'agir de l'actuel gouvernement albertain. Cette dernière n'est pas inexistante, mais elle est subordonnée, comme nous le verrons, à la détermination conservatrice de défendre le secteur pétrolier et gazier et, surtout, elle repose sur l'idée que la technologie constitue la solution privilégiée pour diminuer les GES émis dans la province. Avant d'aller plus loin, il faut se pencher brièvement sur la motivation, celle-ci pouvant reposer sur différentes raisons justificatrices.

Motivation et volonté d'action

L existe, pour simplifier les choses, deux grandes manières d'envisager la motivation (André et Bourban, 2016). La première fait découler celle-ci de justifications idéales et morales qui sont de différentes natures. Pour les théories de ce type, l'action résulte de principes fondamentaux agissant comme des guides pour les acteurs. Par exemple, l'action peut reposer sur des bases morales et vertueuses, comme sur une éthique du devoir inspirée de Kant (le déontologisme) voulant que les individus agissent pour le bien commun de l'humanité. Quant à la seconde façon, elle fait plutôt découler la motivation de raisons amORALES, par exemple d'un calcul coût/bénéfice effectué par les acteurs. Selon une telle logique, celle du choix rationnel, les acteurs espèrent un bénéfice direct et personnel de leurs actions (investissements dans les technologies vertes, par exemple) ou encore veulent éviter des coûts plus élevés dans un futur proche. Cependant, il est difficile de déterminer, dans le cas des motivations économiques, si l'action vise à préserver l'environnement ou l'économie. Parfois, les deux objectifs convergeraient, l'aiguillon de l'intérêt bien compris conduisant l'acteur à des actions vertueuses. Cependant, les objectifs économiques à court terme sont aussi en tension avec les



objectifs à long terme de préservation environnementale.

Ainsi, dans le cas albertain, une motivation de nature idéale amènerait les dirigeants politiques à agir rapidement pour procéder à la reconversion d'un secteur en fonction d'un bien commun environnemental. Mais comme nous le verrons, la logique techniciste articulée autour de l'économie prévaut chez les conservateurs. Ces derniers mettent de l'avant l'idée que le secteur de l'énergie est vital à la fois pour la prospérité économique à long terme de la province ainsi que pour l'ensemble de l'économie canadienne.

Par ailleurs, la motivation, qu'elle soit morale ou économique, se traduira par une volonté d'agir variant en intensité. Elle pourra s'incarner dans la volonté ferme et rapide d'adopter des mesures qui freineront la croissance de la production pétrolière avec l'adoption de la taxation du carbone ou encore avec des politiques publiques favorisant la production d'énergie verte et la transformation des transports urbains. Les acteurs politiques mettront cette préoccupation au cœur de leur programme. À l'inverse, un gouvernement peu motivé et, surtout, désireux de préserver, dans le cas albertain,

la compétitivité du secteur énergétique continuera de considérer l'économie comme étant une préoccupation fondamentale, tout comme il sera résolument opposé à la taxation du carbone, sauf pour les grands émetteurs.

Les décideurs politiques jouent un rôle important, comme ce fut le cas avec le premier ministre libéral Jean Charest, qui a montré du leadership dans l'adoption des politiques environnementales (Chaloux, 2017, p. 166). Le gouvernement néo-démocrate de Rachel Notley (2015-2019) était également motivé par le plan de lutte albertain aux changements climatiques (Climate Leadership Plan), annoncé dès novembre 2015 avec l'adoption d'une taxe carbone. Or, à l'arrivée des conservateurs unis au pouvoir, en 2019, la volonté d'agir du premier ministre albertain pour contrer les changements climatiques était très faible. En effet, ce gouvernement a rapidement renversé le Climate Leadership Plan des néo-démocrates. Dans le même sens, Jason Kenney s'est résolument engagé dans la lutte contre le discours environnementaliste avec le Canadian Energy Centre (communément appelé *war room*), tout comme il s'est opposé à la taxe carbone en allant jusqu'en Cour suprême, mais sans succès, celle-ci ayant confirmé la constitutionnalité de la mesure fédérale (25 mars 2021), bien qu'il continue de la critiquer.

Pourtant, après une année au pouvoir, Jason Kenney semble avoir eu, du moins sur le plan du discours, une certaine prise de conscience et même de motivation quant à la lutte aux changements climatiques. « Nous avons l'obligation, disait-il, de collaborer pour répondre aux défis posés par les changements climatiques, de réduire les gaz à effet de serre, y compris les émissions de carbone — notre industrie fait exactement ça » (Boyd et Levitt, 2020). Mais s'agissait-il d'un changement de discours indiquant une réelle volonté de lutte contre les changements climatiques ?

Solutions technologiques et nouvelles sources d'énergie

En fait, la motivation du premier ministre albertain montre une dimension économique, mais celle-ci ne concerne pas tant l'environnement que la protection du secteur énergétique en montrant que l'Alberta fournit sa part d'efforts. Essentiellement, le gouvernement conservateur uni ne propose pas une diminution de la production, mais plutôt l'adoption de solutions technologiques qui devraient permettre à l'industrie de poursuivre son développement, lequel est présenté comme essentiel du point de vue économique non seulement pour l'Alberta, mais pour l'ensemble du Canada. Les avancées technologiques sont perçues

comme une planche de salut.

En effet, « [t]echnology, not taxes » (la technologie et non des taxes) (Gailus, 2022), a affirmé Jason Kenney en novembre 2021, lorsqu'il a annoncé un investissement de 176 millions de dollars dans 16 projets de réduction de GES. L'annonce, qui survenait au moment même où Justin Trudeau se trouvait au sommet de la COP26, constitue un condensé de l'approche des conservateurs unis. Les projets de capture et de stockage des GES dans le sol demeurent de loin l'option privilégiée par les conservateurs albertains. Un argument d'ailleurs renforcé par le gouvernement fédéral qui accorde, dans le budget du 7 avril 2022, un crédit d'impôt à l'investissement pour favoriser le développement des projets de captage et de stockage du carbone.

Pourtant, plusieurs incertitudes planent sur ce type de technologie, même si des progrès ont été faits dans le passé. D'une part, leur efficacité est remise en cause quant à leur capacité de réduire considérablement les GES. Dans le meilleur des scénarios, il est prévu que les projets financés par le gouvernement albertain permettront d'abaisser les GES de 42,3 mégatonnes, ce qui est considérable, mais encore peu, soit seulement 15 % par rapport aux émissions albertaines qui sont rejetées dans l'atmosphère chaque année (Gailus, 2022). D'autre part, les projets de captation des GES sont coûteux et il s'agirait d'un investissement futur de plusieurs dizaines de milliards de dollars (Tuttle, 2021). D'ailleurs, l'actuel gouvernement a demandé une aide massive du gouvernement fédéral, soit 30 milliards de dollars, pour développer cette technologie. On peut d'autant plus douter que de telles solutions soient de nature à freiner efficacement la hausse des GES en Alberta alors que la production de barils de pétrole n'a jamais aussi été élevée et que rien n'indique qu'on veuille la diminuer, au contraire.

En parallèle, le gouvernement conservateur uni cherche à diversifier le panier énergétique de la province avec de nouvelles sources, notamment l'hydrogène, qui est présenté comme l'énergie du futur. Nombreux sont ceux qui voient dans la production d'hydrogène une façon d'effectuer la transition vers une production plus propre d'énergie que les combustibles fossiles. Il s'agirait « d'hydrogène bleu », différent de « l'hydrogène vert » considéré comme propre, qui serait produit à partir du gaz naturel, et donc émetteur de GES qu'il est aussi prévu de stocker dans le sol. Dans le même sens, les discussions concernant l'énergie nucléaire montrent qu'elle est vue par le premier ministre albertain comme

un autre moyen de freiner l'augmentation des GES. L'Alberta collabore d'ailleurs avec la Saskatchewan, l'Ontario et le Nouveau-Brunswick afin d'explorer et de développer la technologie des réacteurs modulaires (*small modular reactor*) et, éventuellement, de dévoiler un plan stratégique dans l'année qui vient (von Scheel, 2021). L'idée de recourir à l'énergie nucléaire, qui n'est pas nouvelle, a gagné en popularité ces dernières années. Or, la technologie des petits réacteurs est coûteuse et la question de l'acceptabilité sociale du nucléaire est loin d'être assurée. Il est peu probable que le gouvernement conservateur uni procèdera dans un avenir immédiat avec cette technologie qui servirait notamment à produire la vapeur nécessaire à l'extraction des sables bitumineux.

Dans un domaine, les solutions technologiques ont cependant porté fruit. En effet, le gouvernement conservateur uni a poursuivi l'objectif de mettre fin à la production de l'électricité en utilisant du charbon. Au tournant des années 2000, 20 centrales produisaient 80 % de l'électricité de la province en utilisant le charbon et l'objectif du gouvernement néo-démocrate était de procéder à la conversion des centrales au charbon d'ici 2030. Or, cet objectif sera selon toute vraisemblance atteint dès 2023 grâce à une diminution de 2015 à 2020, selon certaines estimations, de 50 % des émissions de GES liées à la production d'électricité, qui sont passées de 47 à 25 mégatonnes en 2020. (Leach et Shaffer, 2020). Ces deux auteurs affirment qu'il s'agit d'une *climate action success story*, un succès qui doit cependant être relativisé, car ce ne sont pas les énergies renouvelables, mais le gaz naturel qui remplace le charbon dans la production d'électricité. C'est d'ailleurs pourquoi le Pembina Institute recommande que l'actuel gouvernement albertain se dote d'un plan d'action pour créer un réseau électrique décarboné à 100 % d'ici 2035 (Dusyk et al., p. 18), un objectif d'autant plus ambitieux qu'en 2018, seulement 8 % de l'électricité était produite par les énergies renouvelables (Régie de l'énergie du Canada, s.d.).

L'hubris techniciste

Comme on peut le constater, le gouvernement conservateur uni n'envisage pas de solution allant au-delà des énergies traditionnelles, préférant miser sur les avancées technologiques pour faire baisser les émissions de GES albertaines. En effet, l'approche gouvernementale actuelle repose sur un ensemble d'orientations techniques comme la conversion

des centrales au charbon ou encore la captation et le stockage des GES dans le sol ainsi que sur le développement de nouvelles sources jugées moins polluantes. Le changement de discours repose sur l'idée que « fournir sa part d'efforts » implique, comme par le passé, l'adoption de solutions technologiques. Du point de vue conservateur, il ne s'agit pas tant d'un changement d'approche que d'une réorientation permettant au gouvernement d'effectuer quelques efforts, mais ces derniers sont essentiellement dirigés dans la direction de l'innovation technologique. Le discours a donc changé, mais pas l'orientation de fond voulant que le secteur de l'énergie doive continuer de croître.

En ce sens, la motivation est canalisée dans l'attente et la découverte de solutions technologiques, ou ce que Pierre Veltz appelle l'*hubris* techniciste (Veltz, 2022). Celle-ci se caractérise par une sorte de fuite en avant voulant qu'on finisse bien par trouver des solutions aux défis futurs. Certes, les avancées technologiques ont été considérables dans le passé (*ibid.*, p. 8-9). Produire mieux et avec plus d'efficacité sur le plan environnemental est essentiel, avance Veltz, mais il ne suffit pas d'inventer des solutions technologiques, encore faut-il les déployer (*ibid.*, p. 6). De plus, derrière les solutions technologiques se profile toujours une certaine incertitude, parce qu'elles dépendent d'avancées futures difficiles à prévoir. Nécessaires, elles ne sont probablement pas suffisantes en soi pour réduire les GES si d'autres types d'efforts ne se conjuguent pas aux avancées technologiques. Il faut notamment penser aux efforts pour réduire la consommation des énergies fossiles, un aspect oublié avec les solutions technologiques qui touchent la production. Les conservateurs albertains paraissent également oublier que les avancées technologiques peuvent aussi impliquer le développement des énergies renouvelables et être intégrées dans les systèmes existants. Enfin, mettre toute sa confiance dans les technologies pourrait avoir pour effet, en Alberta, de retarder les décisions nécessaires pour favoriser la diversification de l'économie albertaine ainsi que celle des sources d'énergie alimentant les foyers de la province.

La motivation n'est donc pas inexistante chez Jason Kenney et son gouvernement, mais la nature de celle-ci fait en sorte qu'il est encore loin d'incarner un dirigeant soucieux de voir sa province prendre la « bifurcation écologique » (*ibid.*, p. 7), permettant de réduire l'empreinte carbone de l'Alberta. Il faudra surveiller comment les questions environnementales

seront traitées lors de la course à la direction du Parti conservateur uni qui s'est enclenchée après la démission de Jason Kenney comme chef de la formation. S'éloignera-t-on de l'approche techniciste propre aux conservateurs albertains ? Quelles seront les orientations politiques en matière d'environnement par celui ou celle qui prendra la direction du gouvernement ? Or, les réponses à ces questions sont cruciales.

En effet, l'implication de cette province est incontournable étant donné que si les émissions de GES de la province continuent d'être en hausse, l'atteinte des cibles climatiques canadiennes sera tout compte fait compromise.

RÉFÉRENCES

- André, P. et Bourban, M. (2016).** Éthique et justice climatique : entre motivations morales et amoraes. *Les ateliers de l'éthique/The Ethics Forum*. Volume 11, numéros 2-3 (4-27).
- Boyd, A. et Levett, K. (2020).** Jason Kenney now says climate change is "obvious": Here's what he said in years past. *Toronto Star*, 12 février 2020. Repéré à <https://www.thestar.com/news/canada/analysis/2020/02/12/jason-kenney-now-says-climate-change-is-obvious-heres-what-hes-said-in-years-past.html>.
- Chaloux, A. (2017).** Le Québec : un ambassadeur de l'environnement. Dans A. Chaloux (dir.), *L'action publique environnementale au Québec : Entre local et mondial* (pp. 153-168). Montréal : Presses de l'Université de Montréal.
- Dusyk, N. et al. (2021).** All Hands on Deck: An assessment of provincial, territorial and federal readiness to deliver a safe climate. *The Pembina Institute*. Repéré à <https://www.pembina.org/reports/all-hands-on-deck.pdf>.
- Gailus, J. (Mars 2022).** Hot air: TIER is Alberta's world-class carbon reduction sham. *Alberta Views*. Mars 2022.
- Herrero, O. (2019).** Christian Gollier (TSE) : « La majorité des partis reste dans l'utopie de la transition écologique heureuse ». *L'Opinion*, 20 juin 2019. Repéré à <https://www.lopinion.fr/politique/christian-gollier-tse-la-majorite-des-partis-reste-dans-lutopie-de-la-transition-ecologique-heureuse>.
- Leach, A., et Shaffer, B. (2020).** Alberta's shift away from coal power is a climate action success story. *CBC News*, 15 octobre 2020. <https://www.cbc.ca/news/canada/calgary/road-ahead-alberta-coal-power-electricity-decline-1.5761858>.
- Régie de l'énergie du Canada. (s.d.).** *Profil énergétique des provinces et territoires : Alberta*. Repéré le 21 mars 2022 à <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/marches-energetiques/profils-energetiques-provinces-territoires/profils-energetiques-provinces-territoires-alberta.html>.
- Veltz, P. (2022).** Bifurcation écologique et économie désirable. *Futuribles*, (447), 5-20. <https://doi.org/10.3917/futur.447.0005>.
- Von Scheel, E. (2021).** Provinces' next step on building small nuclear reactors to come in the new year. *CBC News*, 21 décembre 2021. Repéré à <https://www.cbc.ca/news/canada/calgary/alberta-nuclear-reactor-technology-1.6275293>.

LE TECHNO-OPTIMISME, UNE MENACE À L'ACTION CLIMATIQUE ?

Blandine Sebileau

Candidate à la maîtrise en environnement
et développement durable
Département de science politique
Université de Montréal

Erick Lachapelle

Professeur agrégé
Département de science politique
Université de Montréal

Valériane Champagne St-Arnaud

Professeure adjointe
Département de marketing
Université Laval



Selon le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les conséquences du dérèglement climatique frappent plus rapidement et plus fort que prévu, malgré des décennies d'efforts de coopération internationale (GIEC, 2022). Ce rapport souligne que des solutions technologiques de plus en plus diversifiées sont requises pour atteindre les objectifs climatiques : transport électrique, éoliennes, panneaux solaires, mais aussi énergie nucléaire, hydrogène, bioénergie, en passant par les réseaux intelligents, l'Internet des objets, le captage de carbone, la géo-ingénierie solaire et l'alcalinisation artificielle des océans (GIEC, 2022). Cependant, le dernier rapport du GIEC mentionne également que le déploiement des technologies de captage du carbone à grande échelle pourrait « entraver les efforts de réduction des émissions à court terme, masquer des interventions politiques insuffisantes, conduire à une dépendance excessive à l'égard de technologies qui en sont encore à leurs balbutiements » (GIEC, 2022, p. 2020, traduction libre). Pour certains, en effet, il existerait, dans les discours, les modèles scientifiques et les solutions politiques mises en avant pour lutter contre le dérèglement climatique, un optimisme excessif envers les technologies qui pourrait freiner l'action climatique individuelle et collective (Lamb et al., 2020 ; McLaren et Markusson, 2020).

L'optimisme technologique (ou techno-optimisme) est une croyance exagérée dans l'ingéniosité humaine et l'amélioration des technologies pour régler la plupart des menaces actuelles et futures au bien-être humain, telles que le dérèglement climatique (Arvesen et al., 2011). Certains soutiennent par exemple qu'un « optimisme technologique irréaliste » existe à l'égard des technologies « propres » (Arvesen et al., 2011). Cet optimisme technologique se traduirait parfois par la surestimation des bénéfices des technologies et la sous-estimation de leurs risques, ou par des écarts entre les incertitudes liées aux technologies et la communication de ces incertitudes auprès du public (Asayama et Ishii, 2017).



Crédit photo : Adeolu Eleth

Du côté de l'opinion publique, il est parfois suggéré qu'une forte confiance envers les technologies pourrait engendrer la croyance que les technologies suffiront à « résoudre » le dérèglement climatique, réduisant ainsi le niveau de préoccupation du public par rapport au dérèglement climatique et l'action individuelle (Gifford, 2011). D'autres suggèrent au contraire que la confiance envers les technologies serait susceptible d'encourager l'action (Kwon et al., 2019), en favorisant, par exemple, des émotions positives telles que l'espoir.

L'optimisme technologique est-il associé à différentes composantes de la lutte contre les changements climatiques (dont le soutien aux politiques climatiques et l'action individuelle) ou plutôt à son contraire (comme le scepticisme climatique) ? À l'aide de données d'opinion publique, nous explorons les liens entre le techno-

optimisme, le scepticisme climatique, le soutien politique et l'action individuelle, afin de tenter de répondre à cette question. Les données étudiées ne nous permettent pas de démontrer une relation de causalité entre ces concepts, mais nous mettons en évidence qu'une confiance élevée envers les solutions technologiques est susceptible d'être associée à un plus grand niveau de scepticisme et à une réduction du soutien envers les politiques d'atténuation des émissions, en faveur des politiques de géo-ingénierie. Cependant, nous ne trouvons pas d'élément probant permettant d'affirmer que l'optimisme technologique pourrait être lié (positivement ou négativement) à l'action individuelle.

Le cas des technologies de captage et de stockage du carbone (CSC)

L arrive que les technologies particulièrement innovantes, telles que le captage et le stockage du carbone (CSC), suscitent sur la scène climatique de profonds débats sur leur faisabilité, leurs risques, mais aussi leur réel potentiel face au dérèglement climatique.

Pour certains, en effet, le captage du carbone constitue une nécessaire « technologie de transition », permettant de réduire les émissions du secteur fossile en attendant que les énergies renouvelables soient déployées à l'échelle de la planète. Investir dans le CSC serait donc un moindre mal (*lesser evil*) et permettrait de s'équiper pour le futur. Pour d'autres, les technologies de CSC ne sont pas matures ou viables économiquement ; elles ne sont capables de générer que de marginales réductions d'émissions au regard des cibles mondiales (Mac Dowell et al., 2017) ; elles perpétuent l'exploitation des combustibles fossiles ; elles comportent des incertitudes et des risques importants, en particulier sur la santé humaine (Jacobson, 2019). Malgré ces incertitudes et les mises en garde du GIEC (2022) à cet égard, ces technologies sont de plus en plus présentes dans les plans climatiques des pays, année après année. Pour certaines personnes, il existerait une prédisposition optimiste à l'égard du CSC non seulement chez les experts et expertes de cette technologie, mais aussi dans les médias et dans les politiques publiques (Asayama et Ishii, 2017).

Dans ce contexte, il semble pertinent d'explorer les liens possibles entre l'optimisme technologique, le scepticisme climatique, le soutien aux politiques publiques et l'action individuelle en faveur du climat.

Techno-optimisme au Québec et au Canada

Selon le Baromètre de l'action climatique 2021, une enquête réalisée auprès d'un échantillon représentatif de 2 000 adultes de la population québécoise, l'opinion publique est divisée : 42 % de la population estime que ce sont les solutions technologiques qui permettront de lutter contre le dérèglement climatique, tandis que 44 % de la population se dit en désaccord avec cet énoncé (Champagne St-Arnaud et al., 2021) (Figure 1).

Si la population québécoise semble divisée sur sa confiance envers les solutions technologiques, on décèle une tendance optimiste plus marquée au Canada. Selon la dernière édition de l'Enquête canadienne sur l'énergie et l'environnement (ECEE) réalisée en 2021 avec un échantillon probabiliste de 1 000 adultes, 74 % de la population canadienne s'est dite en accord avec l'affirmation selon laquelle « il est peu probable que les Canadiens apportent des changements majeurs à leur mode de vie ; la meilleure façon de limiter le changement climatique sera donc de recourir à des solutions technologiques » (Lachapelle, 2021). Qui plus est, une personne sur cinq (20 %) serait fortement en accord avec cet énoncé. Ces résultats pourraient laisser entendre que la majorité de la population canadienne ne pense pas qu'une transformation sociale importante soit envisageable et investit davantage d'espoir en la technologie. Une seconde interprétation possible fait écho à des études ayant mis en évidence la confiance envers les technologies comme barrière à l'action climatique (Gifford, 2011). Lors d'une étude menée

au Royaume-Uni en 2007, une personne a déclaré par exemple que même si le climat se réchauffe radicalement, « tu survivras toujours, parce que la technologie peut maintenant surmonter ce genre de chose » (Lorenzoni et al., 2007, p. 450, traduction libre).

Techno-optimisme et scepticisme climatique

Le scepticisme envers le dérèglement climatique est souvent mentionné comme barrière majeure à l'action chez les individus. Les individus qui doutent de la réalité du réchauffement climatique, ou de son origine anthropique, sont susceptibles de ressentir moins fortement le besoin d'agir pour le climat. Or, certaines recherches suggèrent que la confiance des individus envers les solutions technologiques serait associée à leur niveau de scepticisme quant au dérèglement climatique (Wang et Kim, 2018). Cette association est aussi observable au Québec.

Selon le Baromètre de l'action climatique 2021, on observe que les personnes très techno-optimistes sont à peu près trois fois plus nombreuses que les personnes très peu techno-optimistes (14 % contre 4 %) à être entièrement en accord avec l'idée selon laquelle les changements climatiques sont un phénomène naturel pour lequel l'être humain n'a pas besoin d'intervenir (Figure 2). De même, les personnes très techno-optimistes sont beaucoup plus nombreuses que les personnes très peu techno-optimistes (15 % contre 1 %) à être entièrement en accord avec l'idée selon laquelle les changements climatiques ne concernent pas leur

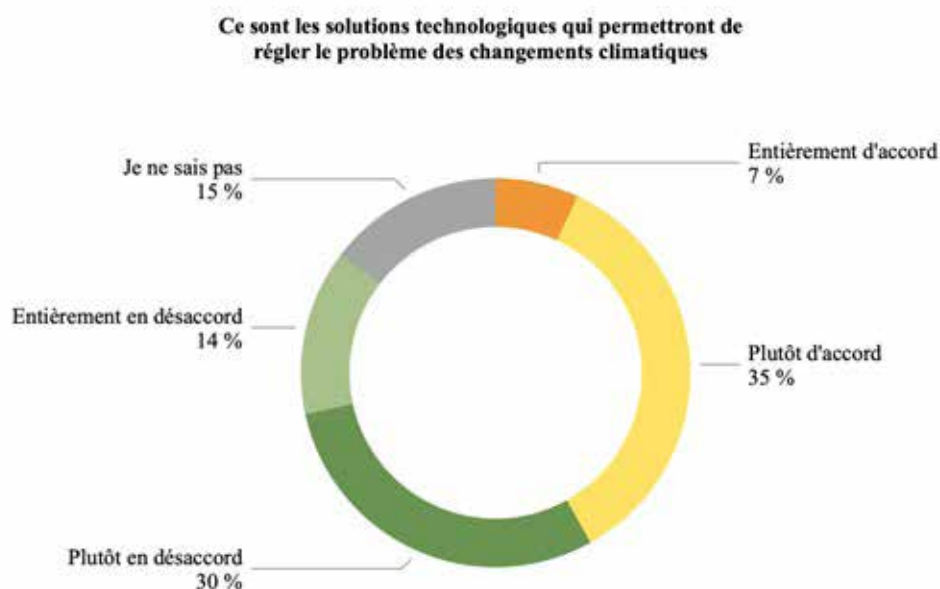


Figure 1. Attitudes vis-à-vis des solutions technologiques face aux changements climatiques. Source : Champagne St-Arnaud et al. (2021)

génération, mais plutôt les générations futures (Figure 3). Si ces résultats ne permettent pas de conclure à une relation de cause à effet entre l'optimisme technologique et le scepticisme, ils laissent tout de même entendre que les individus optimistes vis-à-vis des solutions technologiques doutent davantage de l'origine anthropique du dérèglement climatique, et qu'ils perçoivent plus faiblement les risques immédiats que le dérèglement climatique fait peser sur leur génération.

Techno-optimisme et soutien politique

L'idée que l'optimisme technologique pourrait retarder l'action climatique repose sur l'hypothèse qu'un individu ou groupe se sentant protégé contre un résultat indésirable pourrait être tenté de prendre davantage de risques. Par exemple, la confiance dans les technologies pourrait inciter à réduire les efforts d'atténuation en reportant des actions difficiles et coûteuses aux

génération futures au lieu d'agir immédiatement.

D'après le dernier sondage ECEE mené en 2021, les personnes les plus favorables aux solutions technologiques (et les moins confiantes dans la capacité des citoyens et des citoyennes à changer leur mode de vie) auraient tendance à moins soutenir les politiques gouvernementales d'atténuation des émissions à la source, et appuieraient davantage la géo-ingénierie et les autres correctifs technologiques pour lutter contre le dérèglement climatique (Lachapelle, 2021). En effet, seulement 27 % des personnes les plus techno-optimistes estiment que l'atténuation des émissions devrait être la priorité des gouvernements sur le territoire canadien, tandis que 46 % d'entre elles priorisent la géo-ingénierie (et autres correctifs technologiques). En revanche, chez les personnes les moins techno-optimistes (et les plus confiantes dans la capacité des citoyens à changer leur mode de vie), 51 % soutiennent en priorité l'atténuation, contre 14 % pour la géo-ingénierie et les correctifs technologiques (Figure 4).

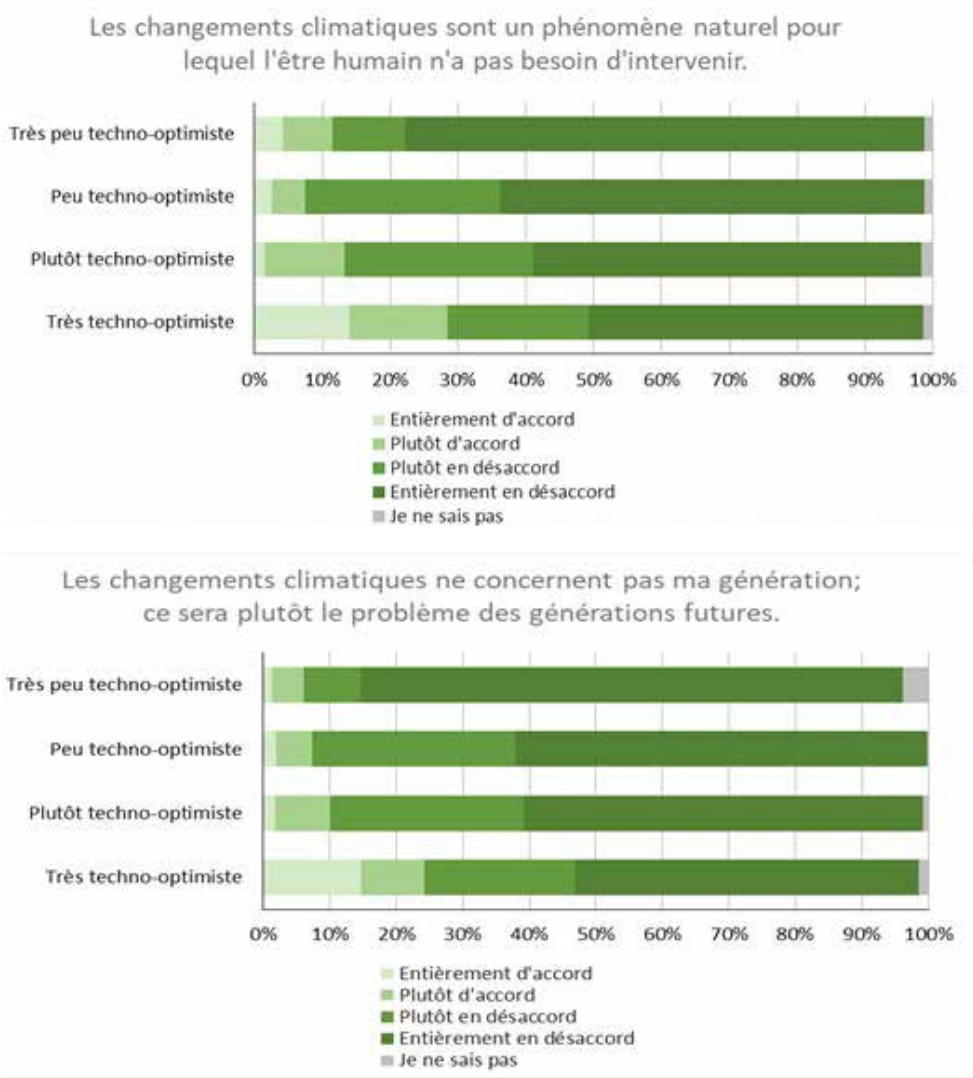


Figure 2. Relation entre techno-optimisme et origine des changements climatiques. Source : Champagne St-Arnaud et al. (2021)

Figure 3. Relation entre techno-optimisme et perception de l'urgence du problème climatique. Source : Champagne St-Arnaud et al. (2021)

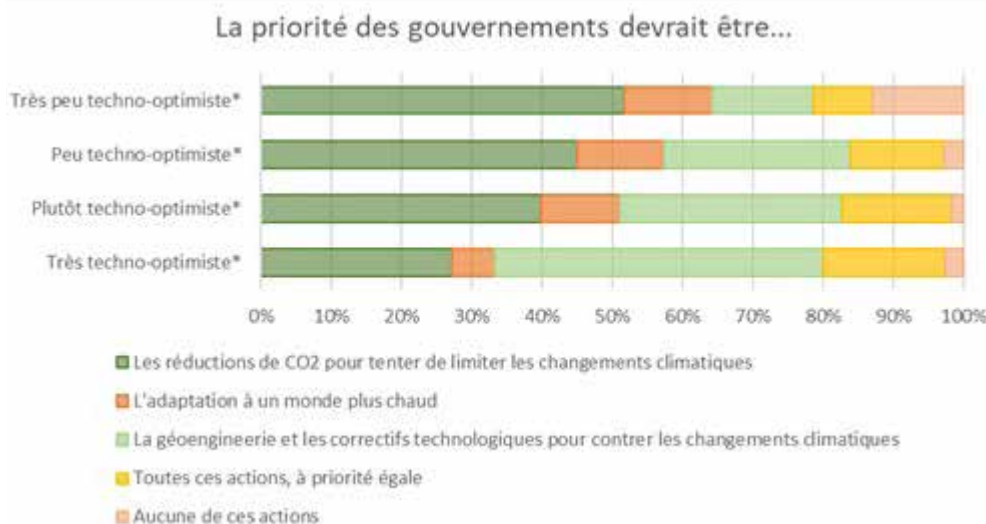


Figure 4. Relation entre techno-optimisme et priorités politiques.
 Source : Lachapelle (2021)

(*) Dans ce sondage, les personnes considérées comme très peu techno-optimistes / peu techno-optimistes / plutôt techno-optimistes / très techno-optimistes représentent les personnes ayant déclaré être très en désaccord / plutôt en désaccord / plutôt en accord / très en accord avec l'énoncé selon lequel « il est peu probable que les Canadiens apportent des changements majeurs à leur mode de vie ; la meilleure façon de limiter le changement climatique sera donc de recourir à des solutions technologiques ».

Techno-optimisme et action individuelle

Pour Gifford (2011), l'idéologie de la « technologie salvatrice » constitue l'un des « dragons de l'inaction » représentant des barrières psychologiques à l'action climatique. Or, au Québec, l'analyse des données disponibles ne permet pas de déceler de corrélation entre l'optimisme technologique et l'adoption (ou non) de neuf comportements autorapportés d'action climatique à l'échelle individuelle (composter, réduire la consommation de viande, etc.). Certes, selon le Baromètre de l'action climatique, 36 % des personnes fortement techno-optimistes estiment agir déjà beaucoup pour le climat, et 30 % estiment agir un peu, alors que 27 % des personnes les moins techno-optimistes disent agir beaucoup, mais 43 % disent agir un peu. Mais il s'agit, ici encore, de données autorapportées (et non d'une mesure objective du niveau d'action climatique individuelle). Qui plus est, ce qu'une personne considère comme étant un fort investissement dans l'action climatique est relatif d'un individu à l'autre. La mesure de l'association entre techno-optimisme et action individuelle gagnerait donc à être mieux définie lors de recherches subséquentes.

Conclusion

Alors que le monde continue de se réchauffer à un rythme alarmant et que les États-nations tergiversent sur leurs engagements en matière de changement climatique, les solutions technologiques au changement climatique occuperont une place de plus en plus importante dans le débat public. À l'aide de données d'enquêtes d'opinion publique, nous avons exploré les liens entre optimisme technologique, scepticisme

climatique, soutien politique et action individuelle. Nos résultats suggèrent qu'une confiance élevée envers les solutions technologiques pourrait être associée à un plus grand niveau de scepticisme et à un soutien plus faible des politiques d'atténuation des émissions à la source, en faveur des politiques de géo-ingénierie. Une analyse approfondie serait nécessaire pour déterminer l'existence d'un lien de cause à effet entre ces concepts. En revanche, les données observées ne permettent pas de conclure que l'optimisme technologique pourrait être lié à l'action individuelle.

À la lumière de ces résultats, il serait important d'explorer plus profondément les déterminants de cet optimisme technologique et de quelle façon celui-ci est susceptible de modifier les comportements individuels et collectifs face au dérèglement climatique. Les liens entre optimisme technologique, scepticisme climatique et action individuelle sont complexes, et la direction de causalité, si elle a lieu, demeure ambiguë. La vulgarisation des solutions technologiques pourrait donc réduire la demande pour les transformations sociales, ou au contraire, être mobilisée pour stimuler plus de soutien pour l'action climatique. Le techno-optimisme devrait donc être étudié davantage.

De plus, compte tenu des coûts, de la nouveauté et des incertitudes associés à de nombreuses solutions technologiques en matière de climat, les opinions ne sont pas tranchées sur la question. L'opinion publique demeure donc malléable, ce qui signifie également que la manière dont les solutions technologiques sont communiquées et encadrées pourrait avoir des répercussions majeures sur la formation des perceptions. Les spécialistes des changements climatiques devraient mobiliser stratégiquement les enjeux technologiques dans les discours publics sur l'action climatique, et accorder une attention accrue aux effets de ces discours sur la demande publique pour une action climatique plus individuelle et collective, et pour la réduction à la source des gaz à effet de serre.

RÉFÉRENCES

- Arvesen, A., Bright, R. M. et Hertwich, E. G. (2011).** Considering only first-order effects? How simplifications lead to unrealistic technology optimism in climate change mitigation. *Energy Policy*, 39(11), pp. 7448-7454. doi:10.1016/j.enpol.2011.09.013
- Asayama, S. et Ishii, A. (2017).** Selling stories of techno-optimism? The role of narratives on discursive construction of carbon capture and storage in the Japanese media. *Energy Research & Social Science*. doi:10.1016/j.erss.2017.06.010
- Champagne St-Arnaud, V., Lalloz, C., Alexandre, M., Daignault, P. et Poitras, P. (2021).** *Baromètre de l'action climatique 2021 : Disposition des Québécoises et des Québécois* [Base de données]. Québec : Laboratoire de l'action climatique.
- GIEC. (2022).** *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157926
- Gifford, R. (2011).** The Dragons of Inaction: Psychological Barriers That Limit Climate Change Mitigation and Adaptation. *American Psychologist*, 66(4), pp. 290-302. doi:10.1037/a0023566
- Jacobson, M. Z. (2019).** The health and climate impacts of carbon capture. *Energy & Environmental Science*, 12(3567). doi:10.1039/c9ee02709b
- Kwon, S.-A., Kim, S. et Lee, J. E. (2019).** Analyzing the Determinants of Individual Action on Climate Change by Specifying the Roles of Six Values in South Korea. *Sustainability*, 11. doi:10.3390/su11071834
- Lachapelle, E. (2021).** *Enquête canadienne sur l'énergie et l'environnement* [Base de données]. Université de Montréal.
- Lamb, W., Mattioli, G., Levi, S., Roberts, J., Capstick, S., Creutzig, F., Minx, J. C., Finn Müller-Hansen, F., Culhane, T. et Steinberger, J. (2020).** Discourses of climate delay. *Global Sustainability*, 3(E17). doi:10.1017/sus.2020.13
- Lorenzoni, I., Day, S. et Whitmarsh, L. (2007).** Barriers perceived to engaging with climate change among the UK public and their policy implications. *Global Environmental Change*, 17, pp. 445-459. doi:10.1016/j.gloenvcha.2007.01.004
- Mac Dowell, N., Fennell, P. S., Shah, N., et Maitland, G. C. (2017).** The role of CO₂ capture and utilization in mitigating climate change. *Nature Climate Change*, 7(4), 243-249. doi:10.1038/nclimate3231
- McLaren, D. et Markusson, N. (2020).** The co-evolution of technological promises, modelling, policies and climate change targets. *Nature Climate Change*, 10, pp. 392-397. doi:10.1038/s41558-020-0740-1
- Wang, J. et Kim, S. (2018).** Analysis of the Impact of Values and Perception on Climate Change Skepticism and Its Implication for Public Policy. *Climate*, 6(4), p. 99. doi:10.3390/cli6040099



Droit et politique

L'« AIRPOCALYPSE » EN CHINE : MANIFESTATIONS DE LA CRISE CLIMATIQUE ET DE LA DÉPENDANCE ÉNERGÉTIQUE AU CHARBON

Gauthier Mouton

Candidat au doctorat

Département de science politique

Université du Québec à Montréal

Relayer les images d'un épais brouillard enveloppant les grandes villes chinoises est devenu pour les médias un moyen récurrent d'illustrer la crise environnementale et climatique que traverse le pays. Néologisme apparu durant les années 2000 pour désigner l'intensité de la pollution atmosphérique, l'« Airpocalypse » empoisonne le quotidien de centaines de millions de citoyens en République populaire de Chine (RPC). Si la notion peut être utilisée en référence aux tempêtes de sable venu du désert de Gobi qui touchent régulièrement la capitale chinoise, notre compréhension de l'« Airpocalypse » se concentre ici aux émissions anthropiques, c'est-à-dire issues des activités domestiques et industrielles (transport, construction, agriculture et production d'électricité au charbon). C'est la concentration élevée de particules fines dans l'air, notamment celles d'un diamètre inférieur à 2,5 microns ($PM_{2.5}$), qui a imposé l'amélioration de la qualité de l'air comme une priorité dans les récents plans quinquennaux.

Pourtant, le modèle énergétique hypercarboné de la Chine (le charbon compte pour 57 % du mix énergétique national) ne fait que renforcer la pollution atmosphérique. Symbole de cette union des contraintes, le premier ministre Li Keqiang a récemment formulé une « nouvelle stratégie de sécurité énergétique » dans laquelle le rôle fondamental du charbon est mis en avant, soulignant ainsi la nécessité de « s'appuyer sur les réserves nationales de houille » [Conseil d'État, 2019].

Cet article vise d'abord à replacer la crise environnementale chinoise dans le contexte plus large du marché international du charbon, où la RPC occupe le rôle de premier consommateur mondial. Il s'agit ensuite d'examiner la mise à l'agenda de l'« Airpocalypse » dans le référentiel politique de la Chine contemporaine en mobilisant des sources officielles. Les graves pics de pollution mettent en lumière le paradoxe de la situation chinoise liée à sa dépendance au charbon et à sa volonté de se présenter au monde comme le héraut de la lutte contre le changement climatique. Afin de concilier développement économique et protection environnementale, des technologies innovantes de « charbon propre » sont déployées par la Chine. Alors que les besoins énergétiques chinois continuent à accaparer la moitié de la consommation houillère mondiale, les technologies de « charbon propre » représentent-elles pour autant la planche de salut face à l'« Airpocalypse » en Chine ? Voici des éléments de réponse.

Une dépendance houillère à rebours des ambitions climatiques chinoises

Pour la Chine qui dispose des deuxièmes plus importantes réserves de charbon (à la fois de charbon bitumineux et sous-bitumineux), derrière les États-Unis, cette matière a historiquement servi la quête de l'autonomie énergétique du pays. C'est la raison pour laquelle la RPC est depuis les années 1990 le premier producteur et consommateur de charbon dans le monde. Étant donné le triple avantage de cette énergie (faible coût, abondance de la ressource et facilité de mise en œuvre technologique), la préservation du modèle de développement économique de la Chine s'est traduite dans les faits par une dépendance pérenne au charbon.

La modernisation technologique de la RPC sous Hu Jintao a conduit à des résultats probants, présentés dans les 11^e et 12^e plans quinquennaux, notamment en ce qui concerne l'amélioration des méthodes de combustion et d'exploitation des énergies fossiles. Cette stratégie d'innovation s'est appliquée au secteur houiller avec le développement des centrales supercritiques (SC)

et ultra-supercritiques (USC), ainsi que des techniques dites de « charbon propre ». Parmi les nombreuses techniques et méthodes qui recouvrent la notion, on peut mentionner le traitement pré-utilisation du charbon (charbons pulvérisés), qui permet de diminuer les résidus liés à la combustion de la matière. Une méthode encore plus performante consiste en la gazéification du charbon, mais son coût élevé empêche encore la généralisation rapide de cette technologie.

Grâce au développement des centrales SC et USC (le terme critique faisant référence aux très hautes températures qu'elles atteignent et aux niveaux de pression plus élevés), l'efficacité globale des unités thermoélectriques s'est vue améliorée. Toutefois, la Chine a mis en service 38,4 gigawatts (GW) de nouvelles capacités électriques au charbon en 2020, soit plus de trois fois la quantité de l'ensemble des projets entrés en opération cette année dans le reste du monde (Stanway, 2021). Cette dynamique qui ne fait qu'aggraver le problème des surcapacités de production met également en péril, à court et moyen terme, l'atteinte des objectifs climatiques de la Chine (pic des émissions en 2030 et neutralité carbone en 2060), et éventuellement de la communauté internationale.

L'urgence de la pollution atmosphérique actée dans le 12^e plan quinquennal

Bien que les préoccupations environnementales soient officiellement partagées au sein du Parti communiste chinois (PCC) depuis le début du mandat de Hu Jintao (2002-2012), un tournant s'opère véritablement avec la publication du 12^e plan quinquennal (2011-2015). Pour la première fois sont fixés des objectifs contraignants, le gouvernement envisageant de réduire respectivement de 8 % et 10 % les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxyde d'azote (NO_x) d'ici 2015, par rapport aux niveaux de 2010. Des mécanismes de surveillance des niveaux de PM_{2.5} dans l'air ont été renforcés et certaines mégapoles les plus polluées ont même dû se plier à des cibles plus strictes.

Parmi les provinces, régions autonomes et municipalités de rang provincial dont la pollution atmosphérique est particulièrement sévère, on peut mentionner le Xinjiang (Kashgar et Urumqi), la Mongolie-Intérieure, le Heilongjiang (Harbin), le Jilin, le Shanxi, le Shandong, le Henan ou encore le Shaanxi. Certaines zones telles que Beijing-Tianjin-Hebei (BTH), l'agglomération de Chongqing ainsi que les deltas du fleuve Yangtsé (Shanghai) et de la rivière des Perles (Hong Kong-Shenzhen-Zhuhai) sont l'objet de plans quinquennaux précis pour lutter contre le smog urbain.

C'est l'année suivante qu'est adopté le premier document politique précisément dédié à ce sujet, intitulé « Plan d'action sur la prévention de la pollution de l'air » (Conseil d'État, 2013). Une baisse considérable du volume des polluants atmosphériques a ainsi été réalisée de 2013 à 2017. La région BTH devait diviser par quatre ses niveaux de $PM_{2.5}$, et la capitale chinoise par un tiers, passant de 89,5 microgrammes par mètre cube ($\mu g/m^3$) à 60 $\mu g/m^3$, une cible qui a été atteinte. Après 2017, la présence de particules fines à Beijing a continué à décroître, car la concentration moyenne de $PM_{2.5}$ atteignait au premier semestre 2021 le plus bas seuil jamais enregistré, 37 $\mu g/m^3$ (Xie, 2021). Cela étant, ce niveau reste très élevé par rapport aux recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (10 $\mu g/m^3$).

Face à la menace de l'« Airpocalypse », le ton des discours officiels en Chine a progressivement gagné en gravité, comme en témoigne la « déclaration de guerre » contre la pollution formulée par le premier ministre Li Keqiang en mars 2014 (Reuters, 2014). La pollution atmosphérique pose en effet des défis de taille pour la santé publique : des cancers du poumon auraient causé le décès prématuré de près de deux millions de personnes en Chine (AIE, 2016). Il n'est pas étonnant dans ces conditions que le pays soit devenu en quelques années le premier marché mondial de purificateurs d'air. Les règlements et programmes pour répondre à la crise environnementale se sont donc multipliés en se focalisant sur les grands ensembles d'agglomérations, Beijing et sa périphérie en tête, suivis par 26 autres villes identifiées comme étant les plus à risques par le gouvernement central.

Malgré l'amélioration de la qualité de l'air, une situation toujours critique

Bien que les réponses apportées par la classe politique chinoise à l'« Airpocalypse » couvrent un large répertoire d'actions, le gigantisme de la flotte de centrales freine inévitablement la réalisation d'une « civilisation écologique » ou de la *Beautiful China*, pour reprendre la propagande du parti. Depuis le 18^e congrès national du PCC en 2012, le terme de « civilisation écologique » apparaît comme le slogan phare de l'engagement de la Chine par rapport aux changements climatiques, au point d'être ratifié dans la constitution en 2018 (Goron, 2018 ; Tiberghien, 2018). Contrairement à une idée largement répandue, la capacité de mobilisation sociale en Chine ne doit pas être sous-estimée et de larges protestations (à Dalian en 2011, à Chengdu en 2016 ou encore à Daqing en 2017) ont certainement contribué à faire de la pollution atmosphérique

non seulement un enjeu de société, mais aussi — et peut-être surtout — un sujet politique.

Un documentaire en particulier, produit et réalisé par une personnalité médiatique en Chine et intitulé *Under the Dome*, illustre la possibilité d'une solution de rechange (discursive et représentationnelle) au « régime de vérités » défendu par le parti communiste. Reprenant la scénographie d'un *TED Talk*, le documentaire se présente sous la forme d'un témoignage (celui d'une mère chinoise dont le nouveau-né souffre d'une tumeur aux poumons) et combine des graphiques, des entretiens, des statistiques et des animations comme instruments d'investigation des causes de la pollution atmosphérique en Chine. Censuré quelques jours après sa mise en ligne sur *Youku* (le *YouTube* chinois) en 2015, le documentaire a eu un écho retentissant, y compris sur le plan international, car il souligne le degré de connivence entre les élites politiques et économiques en Chine. Par exemple, l'État se trouve souvent co-investisseur dans une centrale électrique avec des compagnies publiques ou privées. De la même manière que le gouvernement central peut faire preuve d'un certain « protectionnisme » à l'égard des entreprises publiques qui ne respecteraient pas leurs engagements environnementaux, la gouvernance décentralisée du secteur charbonnier en Chine, à laquelle se conjugue l'imbrication étroite d'intérêts financiers publics-privés, justifie en partie le fait que l'État ait « fermé les yeux » sur la non-conformité de plusieurs mines houillères et centrales électriques.

D'autres facteurs institutionnels expliquent la difficulté de mener efficacement la lutte contre la pollution atmosphérique en Chine. Premièrement, il a fallu attendre une réforme administrative de grande ampleur pour que l'amélioration de la qualité de l'air soit incluse comme une stratégie globale d'atténuation des changements climatiques. En effet, le ministère de la Protection environnementale (renommé ministère de l'Environnement et de l'Écologie en mars 2018) n'avait pas pour mandat la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), qui relevait de l'autorité de la Commission nationale pour le développement et la réforme (CNDR), un des organes politiques les plus élevés de la RPC. Autrement dit, il existait jusqu'à récemment en Chine un découplage net entre, d'un côté, la lutte contre l'« Airpocalypse », et de l'autre les défis plus larges de la crise climatique, y compris la réduction des émissions de GES, qui étaient appréhendés uniquement sous l'angle du développement économique et social (Yamineva et Liu, 2019). Deuxièmement, le non-respect de certaines régulations environnementales par les autorités provinciales et les entreprises, notamment dans le secteur de la production électrique et des industries polluantes (métallurgie, cimenterie, construction, etc.), constitue un obstacle de taille pour améliorer la qualité de l'air en Chine. Troisièmement,

la quantification de la pollution atmosphérique par les agences de l'État soulève régulièrement des interrogations considérant les méthodes de calcul des émissions et les standards de qualité de l'air différents des références occidentales. Par exemple, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) ainsi que l'ambassade des États-Unis en Chine ont mis en place leurs propres outils de surveillance et base de données pour suivre (en temps réel) l'évolution des niveaux de PM_{2.5} sur le territoire chinois. Enfin, et même s'il convient de noter que le niveau moyen annuel de PM_{2.5} en Chine a été divisé par deux en seulement une décennie, des cas de fraude dans la surveillance des émissions de GES existent en Chine et participent *in fine* à nourrir un certain scepticisme quant à la fiabilité des statistiques chinoises.

Conclusion

Les dirigeants chinois mènent une stratégie tous azimuts pour « gagner la bataille des ciels bleus » (Conseil d'État, 2018) et l'arrivée de Xi Jinping au pouvoir a marqué un véritable tournant dans le développement accéléré des technologies dites de « charbon propre » afin de répondre au double objectif d'amélioration de l'efficacité et de réduction de l'intensité énergétiques. Au terme du 13^e plan quinquennal, la moitié des mines de charbon — les moins productives et plus dangereuses — ont été fermées. Or, la houille reste ancrée au cœur de la stratégie de sécurité énergétique du pays, comme le répètent les autorités politiques depuis plusieurs décennies, en dissonance avec la construction d'une « civilisation écologique ». Finalement, la posture rhétorique de la Chine en matière de décarbonation ne résiste pas aux considérations économiques et aux impératifs de rentabilité qu'impose la gestion du plus grand parc de centrales au charbon du monde.

En maintenant une industrie carbochimique compétitive grâce à des assouplissements réglementaires (sur les plafonds de fixation de prix de l'électricité, par exemple), la RPC souhaite surtout éviter un scénario similaire à celui des États-Unis, quand la transition rapide du charbon au gaz a entraîné la perte de milliers d'emplois dans le secteur houiller, causé un nombre important de faillites et fait plonger la valeur des sociétés minières. Considérant les investissements astronomiques réalisés dans les mines et la flotte de centrales thermiques dernière génération (supercritiques et ultra-supercritiques), un abandon brutal du charbon comme principale source d'énergie paraît improbable tant le gouvernement et les banques chinoises auraient de la difficulté à absorber les pertes de ces actifs.

RÉFÉRENCES

Agence internationale de l'énergie (2016). Energy and Air Pollution. *World Energy Outlook Special Report 2016*. Repéré à <https://www.iea.org/reports/energy-and-air-pollution>

Conseil d'État (2013). Avis sur la publication et la distribution du plan d'action sur la prévention de la pollution de l'air [关于印发大气污染防治行动计划的通知]. Repéré à http://www.gov.cn/zwqk/2013-09/12/content_2486773.htm

Conseil d'État (2018). Avis sur la publication et la distribution du plan d'action triennal pour la gagner la bataille des ciels bleus [关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知]. Repéré à http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content_5303158.htm

Conseil d'État (2019). Li Keqiang a présidé une réunion de la Commission nationale de l'énergie [根据我国以煤为主的能源资源禀赋[...]提高能源安全保障水平]». « 李克强主持召开国家能源委员会会议 ». Repéré à http://www.gov.cn/guowuyuan/2019-10/11/content_5438589.htm

Goron, C. (2018). Ecological Civilisation and the Political Limits of a Chinese Concept of Sustainability. *China Perspectives*, 4, 39-52. doi : <https://doi.org/10.4000/chinaperspectives.8463>

Reuters (2014). China to "Declare War" on Pollution, Premier Says. Repéré à <https://www.reuters.com/article/us-china-parliament-pollution-idUSBREA2405W20140305>

Stanway, David. China's New Coal Power Plant Capacity in 2020 More Than Three Times Rest of World's: Study. *Reuters*, 2 février 2021.

Tiberghien, Y. (2018). Chinese Global Climate Change Leadership and Its Impact. Dans A. Amighini (dir.), *China. Champion of (Which) Globalisation ?* (pp. 101-120). Milan : Ledizioni.

Xie, E. (2021). Beijing Area Has Its Lowest Ever PM2.5 Levels After Air Quality Push, *South China Morning Post*. Repéré à <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3145533/beijing-area-has-its-lowest-ever-pm25-levels-after-air-quality>

Yameneva Y. et Liu Z. (2019). Cleaning The Air, Protecting The Climate: Policy, Legal And Institutional Nexus to Reduce Black Carbon Emissions in China. *Environmental Science Policy*, 95, 1-10. doi : <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.01.016>



Crédit photo : Dylan Hunter



Droit et politique

RECONSTRUIRE OU PARTIR : LES DÉFIS DE L'ADAPTATION EN LOUISIANE

Sarah M. Munoz

Candidate au doctorat en science politique
Département de science politique
Université de Montréal

La Louisiane, un État de quatre millions d'habitants dans le sud-est des États-Unis, subit de plein fouet les effets des changements climatiques, aggravés par une activité pétrolière soutenue sur l'ensemble de son territoire [Carruthers et al., 2017]. Alors que la région côtière s'enfonce dans le golfe du Mexique à hauteur d'un stade de soccer toutes les heures et demie [Couvillion et al., 2011], les populations et leurs gouvernements font face à un choix difficile : s'armer d'infrastructures pour rester ou planifier la relocalisation d'une partie de la population. Pour l'heure, seule une poignée de communautés s'est organisée pour bouger à l'intérieur des terres, tandis que la Louisiane et les gouvernements locaux misent sur les infrastructures et l'ingénierie pour préserver la « côte travailleuse »¹.

Cet article² met en perspective deux possibilités pour faire face aux risques climatiques et environnementaux : partir ou rester. L'analyse se penche en premier lieu sur les enjeux liés à la relocalisation et au dépeuplement dans le contexte louisianais. Le constat de l'impopularité et des difficultés liées au déplacement de populations permet de mieux saisir, dans un second temps, les logiques de l'approche infrastructurelle privilégiée par l'État. Cette stratégie, qui comble la volonté des Louisianais de demeurer sur leurs terres, peine cependant à répondre aux besoins socioculturels des habitants les plus menacés par la relocalisation. En cause, le favoritisme des intérêts économiques et des infrastructures.

1. La « working coast » [CPRA, 2017] est le qualificatif donné à la côte louisianaise par l'État pour accentuer sa productivité pétrolière et économique.

2. Cet article résume une partie des résultats de recherche de thèse portant sur le rôle des institutions, idéologies et intérêts dans l'adaptation en Louisiane comme exemple phare de vulnérabilité aux changements climatiques. Le travail de terrain a été effectué de juin 2020 à avril 2022.

Partir : la menace de la relocalisation

La relocalisation est parfois considérée comme une stratégie d'adaptation bénéfique pour faire face aux changements climatiques, en particulier si le déplacement de la communauté est volontaire, planifié et inclusif, et permet de réduire les vulnérabilités climatiques (King et al., 2014). Aux États-Unis, on estime que 13 millions de personnes seraient à risque de déplacement si la hausse du niveau de la mer atteignait 1,8 mètre. Une grande partie de cette population se trouve en Louisiane, où cette augmentation est l'une des plus rapides au monde (Hauer, Evans et Mishra, 2016). Maladaptive³ si imposée aux communautés, la relocalisation nécessite un processus de planification « par le bas » pour réduire les vulnérabilités associées au déplacement (Dalbom, Hemmerling et Lewis, 2014). Cela implique la participation de la communauté concernée dans le processus de planification du déplacement afin de le façonner selon leurs besoins, et d'ainsi produire une politique adaptée à la réduction de leurs vulnérabilités spécifiques.

La résistance de l'Isle de Jean Charles

En Louisiane, cette problématique s'incarne dans la relocalisation de l'Isle de Jean Charles, devenue le symbole de la difficile préservation des cultures dans un contexte de mobilité climatique. Ce petit village autochtone au bord du golfe du Mexique est la première (et seule) communauté en Louisiane financée par le gouvernement pour sa relocalisation, une enveloppe de près de 50 millions \$ ayant été destinée à reconstruire le village à l'intérieur du système de protection contre les ouragans.

S'il ne reste qu'une quinzaine de maisons sur la petite île accessible par une route bordée d'eau, plusieurs habitants refusent toujours de partir. En cause, un très fort attachement à ces terres et à leur mode de vie traditionnel basé sur la pêche de subsistance, malgré le déclin environnemental rapide dans cette « zone sacrifiée » (Randolph, 2018). Selon l'une des personnes chargées du projet de relocalisation de l'Isle de Jean Charles, quitter son lieu d'habitation est particulièrement éprouvant en Louisiane. En entrevue, il raconte la difficulté de planifier et de parler du déplacement avec les habitants.



Figure 1. Island Road, la route menant à l'Isle de Jean Charles, traverse une immense étendue d'eau. Les murs en pierre ont été construits en 2021 pour protéger la route lors des ouragans. Source : Sarah M. Munoz, mars 2022.

« Lorsque l'on parle d'une perspective de repli, on demande aux gens d'abandonner quelque chose qui leur est culturellement important, et qui compose une part considérable de leur identité. C'est un choix incroyablement difficile à faire, c'est émotionnel. Le plus longtemps une personne vit dans une communauté, le plus difficile il est de partir. Prenez l'Isle de Jean Charles, il y a certaines personnes avec qui j'ai travaillé qui ont vécu toute leur vie là-bas. Elles n'ont jamais vécu ailleurs, elles viennent de générations entières de l'Isle de Jean Charles. Même lorsqu'on a une conversation sérieuse sur l'absence de futur sur cette île, ça ne rend pas le choix de partir plus facile⁴. »

La communauté bénéficie d'un des rares plans de relocalisation financés par le gouvernement américain à l'échelle du pays. De son côté, l'État de Louisiane n'offre pas d'aide à l'adaptation autre que le rachat de maisons individuelles dans sept quartiers précis dans le cadre du *Watershed Initiative*, programme de gestion des inondations causées par le Mississippi et qui exclut la région côtière. Pour les habitants de l'Isle de Jean Charles, il n'existe ainsi que deux options, rester ou prendre part au projet de relocalisation planifiée. Le manque de certitude quant à son succès pose cependant un défi important pour la préservation de l'identité autochtone de la communauté déjà fragilisée par l'immense érosion de son territoire, et contribue à la réticence d'une partie des habitants (King, 2017).

3. La « maladaptation » se définit comme l'augmentation des vulnérabilités par une politique d'adaptation.

4. Toutes les entrevues ont été menées par la chercheuse de juin 2020 à mars 2022, par téléphone, Zoom ou en personne, en Louisiane.



Figure 2. Une maison surélevée dans le village Isle de Jean Charles, affichant deux panneaux : « L'Isle de Jean Charles n'est pas morte, les changements climatiques ça craint », et « Les changements climatiques, ça ne vaut pas le coup » (traduction libre). Source : Sarah M. Munoz, mars 2022.



Figure 3. Île barrière Scofield (golfe du Mexique). Un trou creusé par l'ouragan Ida qui a balayé une partie des dunes de sable servant à réduire les conséquences des tempêtes. Source : Sarah M. Munoz, février 2022.

La problématique du dépeuplement progressif

De manière générale, le choix de la relocalisation est assujéti à la capacité financière des individus à assurer leur déplacement et à leur volonté de quitter leur lieu de résidence. Pour beaucoup vivant proche du Golfe, la relocalisation engendrerait la perte de leur culture intrinsèquement liée à leur proximité à l'eau et serait une « tragédie » (Dalbom, Hemmerling, et Lewis, 2014 : 4). Et pourtant, le processus d'abandon est déjà en cours. Un habitant de Venice, une petite ville située à la pointe de Plaquemines, à l'embouchure du Mississippi, l'explique avec émoi.

« Je vis sur la même propriété où ma famille est venue s'installer au cours du 18^e siècle. Le problème, c'est que je serai le dernier. Les enfants ne veulent pas vivre ici, il n'y a rien pour eux. Pour aller à l'université, tu dois partir loin d'ici. Rien que pour aller dans un magasin, tu dois aller plus loin. Quand j'étais petit, il y avait des spectacles. Il n'y en a plus aucun maintenant. Chaque ouragan qui passe en est la cause. »

Qu'arrivera-t-il à la culture de la région ? « Elle va mourir », déplore-t-il. La relocalisation des populations les plus exposées aux changements climatiques ne fait pas l'unanimité, et l'absence de mécanismes sociaux et de garanties pour la relocalisation planifiée dans le *Coastal Master Plan* de l'État, guide ultime pour son adaptation climatique et environnementale, fragilise d'autant plus ces habitants au sud de la région et dont la culture et le mode de vie sont menacés. Le manque de mesures politiques à l'échelle locale et étatique pour encadrer les déplacements individuels et collectifs, et ainsi préserver les cultures et les identités émane d'une crainte de la perte des revenus fonciers et de l'activité économique engendrés par le dépeuplement (Colten, 2015).

Rester : les limites des infrastructures et de l'ingénierie face aux changements climatiques

Au vu des défis posés par la relocalisation, la réticence de certains habitants à quitter leurs terres, et afin d'encourager l'immobilité des populations, les gouvernements louisianais misent

sur l'adaptation *in situ*. L'objectif étant également de conserver les infrastructures économiques et pétrochimiques qui garnissent la côte, l'État s'est engagé dans un processus de réduction des risques et de reconstruction à travers un *Master Plan* ambitieux : 50 milliards \$ de projets sur 50 ans.

Les intérêts pétroliers de la restauration des côtes

Le *Master Plan*, bien qu'il souligne l'importance de l'héritage culturel de la côte louisianaise, insiste sur la valeur économique de cette « côte travailleuse » à préserver et reconstruire pour l'industrie pétrochimique et de la pêche. Les projets de l'État visent ainsi, d'un côté, à barricader la côte contre les ouragans (digues, pompes, murs, écluses, etc.), et de l'autre, à restaurer les écosystèmes (îles barrières, marécages, etc.) (CPRA, 2017). Ces projets cherchent à protéger les infrastructures industrielles existantes et à assurer la capacité de la côte à soutenir ces activités économiques, en permettant notamment son accessibilité pour les travailleurs (élévation des routes, notamment) et sa protection contre les ouragans. En conservant l'accès aux industries et aux ressources naturelles, on discerne la volonté de maintenir la productivité économique des écosystèmes du Golfe, en parallèle d'une certaine reconnaissance de la valeur culturelle de cet environnement pour ses populations.

Pour un habitant qui s'implique en politique locale, l'État ne cherche qu'à « subventionner des projets pour en privatiser les bénéfices ». Pointant du doigt une carte de la côte louisianaise, il remarque que les marécages restaurés protègent en particulier les infrastructures de Port Fourchon, base pétrolière traitant 95 % de la production offshore du Golfe et 15 % du pétrole national. L'intérêt de l'État ne se situerait pas dans la valeur intrinsèque des écosystèmes, mais dans la protection des infrastructures pétrolières financée publiquement. Ce constat fait écho aux conclusions de nombreuses recherches qui soulignent dans l'approche de l'État la volonté de conserver le statu quo économique et politique louisianais, malgré ses conséquences considérables sur la perte accélérée du territoire et les changements climatiques (Burge et al., 2020).

Les limites des infrastructures de réduction de risque

Le choix politique de « rester » vise ainsi à conserver l'activité économique et la capacité des Louisianais à habiter leurs terres. Pour cela, l'État et les gouvernements locaux misent sur les infrastructures de réduction des risques contre les ouragans et les inondations. La construction du système de digues du Mississippi a débuté au cours du 18^e siècle et a rapidement été suivie de politiques de drainage durant le 20^e siècle. Aujourd'hui encore, ces approches forment des stratégies centrales pour la gouvernance des inondations, malgré la reconnaissance de leur rôle dans l'enfoncement de la côte (Randolph, 2018 ; Colten, 2016).

Un enjeu de cette politique infrastructurelle qui vise à endiguer l'ensemble des zones peuplées est que sa délimitation géographique est déterminée par une analyse coût-bénéfice liée à la densité de peuplement. C'est ainsi qu'en 1998, lorsqu'a été dessiné le système de protection Morganza-to-the-Gulf, un arrangement de 157 km de digues et de structures de protection contre les inondations dans le Sud-Est, l'Isle de Jean Charles en a volontairement été exclue (Randolph, 2018).

L'exclusion de plusieurs communautés autochtones des systèmes de protection contribue à complexifier leur choix entre partir ou rester en les rendant plus vulnérables aux phénomènes climatiques, comme exemplifié par l'Isle de Jean Charles. Bien que le *Master Plan* vise la réduction des risques pour une majeure partie de la population louisianaise, cette adaptation ne suffit pas aux communautés situées à l'extérieur du système de digues, et leur relègue ainsi une offre « non structurelle », à savoir l'élévation de leurs maisons, la préparation aux inondations ou, en dernier recours, la relocalisation (Dalbom, Hemmerling et Lewis, 2014 ; CPRA, 2017).

Ces mesures manquent cependant de répondre aux besoins des communautés touchées en ce qui a trait à la préservation de leurs cultures, langues et identités et à leurs particularités socioéconomiques. La composante non structurelle du plan d'adaptation est également largement sous-financée et ne jouit pas de la même attention de la part de l'État que les investissements structurels, rendant l'aide aux communautés insuffisante dans son ensemble.



Figure 4. Station de pompage à Diamond permettant d'évacuer l'eau à l'intérieur de la digue (droite sur la photo) vers le golfe du Mexique (gauche). Source : Sarah M. Munoz, mars 2022.



Figure 5. Maison surélevée, Terrebonne.
Source : Sarah M. Munoz, mars 2022.

Conclusion

L'étude de ce cas démontre la difficile articulation des politiques visant la relocalisation et l'adaptation *in situ*, compte tenu des besoins, intérêts et réticences des Louisianais. Malgré un plan d'adaptation ambitieux axé sur l'adaptation *in situ*, l'État de Louisiane peine à garantir la préservation de l'héritage culturel et identitaire pour les communautés, autochtones ou Cajun, situées à la lisière du golfe du Mexique et faisant face à la relocalisation.

Pour l'heure, l'État de Louisiane est plus confiant que jamais dans sa démarche de restauration de la côte. L'opposition d'une partie de la population continue cependant de gronder, inquiète pour l'avenir social et environnemental de la vie dans le bayou.

RÉFÉRENCES

- Burge, S. A., Ioan F., Gary H. (...) et Beverly S. (2020).** Transformative Approaches to Flood Risk Management: International Case Study (Louisiana, USA), *Institute of Water Journal*, 5: 30-37.
- Carruthers, T., Hemmerling S., Barra M., Saxby T. et Moss L. (2017).** "This is your shield... this is your estuary." Building community and coastal resilience to a changing Louisiana coastline through restoration of key ecosystem functions. Louisiana: The Water Institute of the Gulf.
- CPRA. (2017).** Louisiana's Comprehensive Master Plan for a Sustainable Coast: Executive Summary. Baton Rouge: Coastal Protection and Restoration Authority.
- Colten, C. E. (2015).** Transplanting communities facing environmental changes: An annotated bibliography on resettlement. Louisiana: The Water Institute of the Gulf.
- Couvillion, B. R., Barras J. A., Steyer G. D. (...) et Heckman D. (2011).** Land area change in coastal Louisiana from 1932 to 2010. Reston, VA. U.S. Geological Survey.
- Dalbom, C, Hemmerling S. et Lewis J. (2014).** Community resettlement prospects in Southeast Louisiana: A multidisciplinary exploration of legal, cultural and demographic aspects of moving individuals and communities. Issue paper, New Orleans: Tulane Institute on Water Resources Law and Policy.
- King, D., Bird D., Haynes K. (...) et Thomas T. (2014)** Voluntary relocation as an adaptation strategy to extreme weather events. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 8, pp. 83-90.
- King, M. (2017).** A Tribe Faces Rising Tides: The Resettlement of Isle de Jean Charles, *LSU Journal of Energy Law and Resources*, 6(1): 295:317.
- Hauer, M. E., Evans J. M. et Mishra D. R. (2016).** Millions projected to be at risk from sea-level rise in the continental United States. *Nature Climate Change*, 6: 691-695.
- Randolph, N. (2018).** License to Extract: How Louisiana's Master Plan for a Sustainable Coast is Sinking It. *Lateral*, 7(2), <https://doi.org/10.25158/L7.2.8>.

Les Jeunes pousses

Les travaux de recherche réalisés par les étudiants et les étudiantes à la maîtrise et au doctorat sont des éléments essentiels à la production des données scientifiques des universités. Sous l'encadrement de leurs directeurs et directrices de recherche, les membres de la communauté étudiante se forment aux méthodes de recherche documentaire, 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 de la relève de la communauté scientifique : les « jeunes pousses ».

TRANSFORMATION TOTALE AU NUNAVIK

Les conséquences climatiques sur les Inuit du Nunavik

Yéléna Bika Bika, Université de Sherbrooke

Les Inuit vivent en grande partie des activités de pêche et de chasse qui leur fournissent leurs principales sources d'apports nutritifs. Or, les changements climatiques ont des conséquences sur l'environnement et les écosystèmes du Nunavik. Selon Ouranos, le Nunavik connaîtra un changement total des paramètres environnementaux, à l'origine d'un climat plus chaud et plus humide. Cette modification du climat perturbe le comportement et la distribution des populations pêchées, tels l'omble chevalier, les phoques barbus et annelés et les bélugas. La pêche étant la base principale de la souveraineté alimentaire des Inuit, la perturbation des espèces pêchées a de graves conséquences sur leur santé physique et mentale.

Cet essai explore l'atténuation des conséquences des changements climatiques, tout en préservant et en respectant au mieux les activités traditionnelles inuites. Il s'inspire de documents juridiques comme la Convention de la Baie-James et du Nord québécois, ainsi que de l'exemple des Cris et des aires protégées, pour réaliser une analyse descriptive.

Pour lire le document:

Yéléna Bika Bika (2021). [*Impact des changements climatiques sur les ressources marines et aquatiques des Inuits du Nunavik : pistes de solutions pour améliorer leur capacité d'adaptation*](#) [essai en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS, 86 pages.



Crédit photo : Christa Rohrbach

MANTEAU DE NEIGE

Le suivi du manteau neigeux pour développer des modèles climatiques

Joëlle Voglimacci-Stéphanopoli, Université du Québec à Rimouski

L'étude du manteau de neige permet de mieux comprendre les interactions de la cryosphère, soit ce qui compose le système terrestre : eau à l'état solide, glaces de mer, de lac et de rivière, sols enneigés, glaciers, etc. Dans un contexte de réchauffement planétaire, le manteau de neige se modifie dans le temps et dans l'espace. Pour bien mesurer ses variations, une prise de données ponctuelle ne suffit plus. Afin de suivre le manteau de neige sur une période plus longue et une plus grande superficie, on a expérimenté la méthode dans un contexte de neige arctique.

Ce mémoire présente les caractéristiques de la neige couvrant l'île Qikitaruk — Herschel, soit les variations dans son épaisseur ainsi que l'humidité du sol. Il s'appuie sur un suivi à haute résolution spatiale obtenu grâce au capteur TerraSAR-X, un satellite radar d'observation de la Terre. Avec des données plus précises, on peut alors mieux comprendre les phénomènes climatiques et améliorer des modèles climatiques pour les régions nordiques.

Pour lire le document:

Joëlle Voglimacci-Stéphanopoli (2021). *Évaluation du potentiel de la méthode par différence de phase copolaire de l'onde radar (CPD) en bande-X pour l'extraction de l'épaisseur du couvert nival arctique* [mémoire en sciences géographiques, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS, 86 pages.

Voir également :

Joëlle Voglimacci-Stéphanopoli et al. (2022). *Potential of X-band polarimetric synthetic aperture radar co-polar phase difference for arctic snow depth estimation* [article publié dans The Cryosphere, 16], pages 2163-2181.

IMAGERIES RADAR

Les cycles de gel et de dégel du sol en toundra arctique

Charlotte Crevier, Université de Sherbrooke

De 1948 à 2016, les régions de l'Arctique canadien ont connu une augmentation de la température de l'air moyenne annuelle chiffrée à +2,3 °C! Avec une telle hausse, les effets sur le couvert de neige et sur la végétation ont été marqués. La neige et la végétation sont deux paramètres qui influencent la température de la surface du sol qui, à son tour, connaît des cycles de gel et de dégel annuels. Les cycles de gel et de dégel rythment le cycle hydrologique et du carbone, la saison de croissance de la végétation et l'état du pergélisol sous-jacent.

Ce mémoire démontre clairement le potentiel de l'utilisation des données obtenues à partir d'imageries radar à synthèse d'ouverture pour la détection de ces cycles de gel et de dégel. La méthode présentée dans ce projet pourrait permettre de créer des cartes de transition pour tout le bassin versant du lac Greiner à proximité de la ville de Cambridge Bay, au Nunavut, ainsi que pour tout l'archipel arctique canadien.

Pour lire le document:

Charlotte Crevier (2022). *Détection des cycles de gel/dégel de la couche active du sol en toundra arctique à partir d'imageries radar à synthèse d'ouverture (RSO) multicapteur en bande C* [mémoire de géomatique appliquée et télédétection, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS, 93 pages.



Crédit photo : Simon Berger

ÉTHIQUE ET PRAGMATISME

La question spécifique de l'adaptation

Anthony Voisard, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

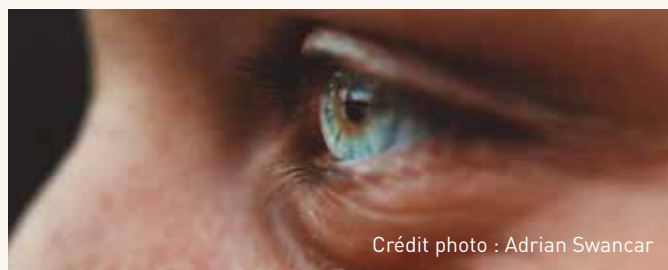
En matière de changements climatiques, la question de la réduction des émissions de gaz à effet de serre occupe une place prédominante. On parle abondamment des émissions de gaz à effet de serre, des scénarios de réchauffement planétaire, d'un seuil limite de 1,5 °C ou de 2 °C, des coûts économiques, sociaux et environnementaux, mais comment réconcilier autant de points de vue et autant de données interdisciplinaires, qu'il soit question d'atténuation ou d'adaptation aux changements climatiques ?

Pour contribuer au volet adaptation des politiques climatiques, cette thèse avance qu'une éthique de l'environnement devrait être à même d'amener la discussion morale sur le terrain de l'argumentation contextualisée en raison de la démarche souvent régionale et multisectorielle de ce type d'intervention. Accorder une plus grande place à cette réflexion éthique portée sur l'adaptation permettrait de mieux outiller

les gouvernements à qui s'adressent, entre autres, les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) portant sur l'état des connaissances relatives aux changements climatiques.

Pour lire le document:

Anthony Voisard (2021). *Pour une éthique pragmatiste des changements climatiques : la question spécifique de l'adaptation* [thèse en philosophie pratique, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS, 301 pages.



Crédit photo : Adrian Swancar

DIFFÉRENCIATION OU UNIFORMISATION ?

Les engagements d'atténuation à travers la gouvernance mondiale du climat

Pierre-Luc Lepage, Université Laval

Il y a 50 ans, les États adoptaient la Déclaration de Stockholm. Depuis, le droit international s'est développé et il a donné naissance, entre autres, à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques en 1992. La nécessité d'agir de manière globale s'est imposée rapidement, tout en tenant compte des obligations différentes pour chaque État. Le principe des responsabilités communes, mais différenciées, a été au cœur du régime climatique dans les dernières décennies. Aujourd'hui, les forums climatiques tendent vers une certaine uniformisation ou universalité des engagements climatiques.

Cet essai vise à déterminer l'influence de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre par pays sur la différenciation dans les engagements de réduction des émissions de gaz à effet de serre au sein du régime climatique, mais également en marge de celui-ci. Malgré une tendance à l'uniformisation, il semble qu'une analyse Nord-Sud demeure pertinente et structurante dans l'organisation de l'action internationale en matière d'atténuation.

Pour lire le document:

Pierre-Luc Lepage (2021). *Les engagements d'atténuation à travers la gouvernance mondiale du climat : d'une différenciation Nord-Sud à une uniformisation ?* [essai en études internationales, Université Laval]. 70 pages.



Crédit photo : Javier Allegue Barros

DES CRUES EXCEPTIONNELLES

La gouvernance régionale et les stratégies d'adaptation aux inondations

Caroline Thivierge, Université de Sherbrooke

Les crues exceptionnelles de 2017 et de 2019 ont conduit la Municipalité régionale de comté de Vaudreuil-Soulanges à mettre à jour ses plans d'urgence et à mettre en place une cellule de crise. Au Québec, en raison des changements climatiques, on prévoit une augmentation des précipitations printanières, automnales et hivernales, ainsi que des débits hivernaux plus élevés et un avancement des crues printanières. Si les inondations figurent en tête de liste des enjeux de sécurité civile des municipalités riveraines, elles ne sont pas toujours outillées pour s'adapter à ces conséquences.

Ce mémoire identifie des stratégies d'adaptation requises et à la portée de cette municipalité régionale de comté. Il soulève des préoccupations quant aux conséquences de multiples inondations sur les administrations locales. Il recommande également de sonder la population sur sa vision de la résilience afin d'assurer une meilleure acceptabilité sociale des décisions à venir.

Pour lire le document:

Caroline Thivierge (2021). *Gouvernance régionale et stratégies d'adaptation aux inondations en contexte de changements climatiques : une étude de cas, la MRC de Vaudreuil-Soulanges* [mémoire en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS, 120 pages.



Crédit photo : Kelly Sikkema

CROISSANCE OU DÉCROISSANCE?

Les différentes voies de la transition écologique

Thomas Grandprez, Université de Sherbrooke

L'importance d'opérer une transition écologique fait l'objet d'un vaste consensus. Cette transition doit toucher les aspects sociaux, environnementaux, économiques et de gouvernance de manière systémique. De manière plus explicite, on peut se demander en quoi consiste cette « transition écologique ». En effet, deux voies de transition écologique sont souvent proposées, soit la croissance verte et la décroissance. La croissance verte vise une croissance du produit intérieur brut tout en réduisant l'empreinte matérielle et celle des émissions de gaz à effet de serre. Mais comment pourrions-nous parvenir à réduire notre empreinte tout en poursuivant une croissance économique à l'échelle planétaire ?

Cet essai vise à comparer les indicateurs associés à différentes voies de transition écologique. Il montre également les avantages de la décroissance qui s'illustre par une réduction de la (sur)consommation et donc, de l'économie. De manière plus importante, la décroissance remet en cause le paradigme économique dominant. En contrepartie, cette remise en cause s'accompagne d'une grande complexité.

Pour lire le document:

Thomas Grandprez (2021). *Comparaison des indicateurs associés aux différentes voies de transition écologique* [essai en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS, 98 pages.



Crédit photo : Frederick Yang

Dossier : enjeux nordiques

IMPRÉVISIBILITÉ CLIMATIQUE, DÉRÈGLEMENT DES CYCLES DE LEMMINGS ET BIODIVERSITÉ NORDIQUE

Gabriel Bergeron

Étudiant à la maîtrise
Université de Sherbrooke
Centre d'études nordiques

Mathilde Poirier

Étudiante au doctorat
Université Laval
Centre d'études nordiques

Dominique Fauteux

Chercheur
Musée canadien de la nature
Centre d'études nordiques



Crédit photo : Jonatan Pie

Les sociétés de partout dans le monde se sont adaptées au climat local et à la régularité des saisons, par exemple en exploitant de façon maximale la période de dégel pour cultiver les terres et prévoir l'alimentation en période de gel, ou même en établissant les routes commerciales en fonction de la présence ou non de glaces des mers. Les changements climatiques que nous ressentons actuellement se manifestent notamment en des saisons méconnaissables (p. ex. des fontes de neige extrêmement rapides au printemps), des événements extrêmes plus fréquents et des conditions météorologiques de plus en plus imprévisibles. En Arctique, les températures records sont abondamment médiatisées, mais la perte de la prévisibilité (c.-à-d. un éloignement de la norme) et de la régularité du climat est un phénomène plus subtil et dont les conséquences sont tout aussi grandes. Cette imprévisibilité représente un défi pour nous, mais également pour la faune, et ce, particulièrement en Arctique, où les lemmings prospèrent sous des conditions climatiques particulièrement difficiles.

La toundra, un refuge hivernal...

Les lemmings sont les rongeurs les plus largement répartis de l'Arctique et sont adaptés pour survivre aux conditions extrêmes des froids polaires. Malgré leur petite taille, les lemmings restent actifs tout l'hiver et peuvent affronter des températures pouvant descendre sous les -35°C en l'absence quasi totale de soleil pendant la longue nuit polaire. Pour résister à ces conditions extrêmes, ils ont développé une stratégie astucieuse : ils creusent des tunnels sous la neige pour s'y déplacer, s'y nourrir et s'y loger. En creusant leur réseau de tunnels, ils profitent d'une couche de neige friable, le givre de profondeur, que l'on retrouve dans le bas du manteau neigeux arctique (Poirier et al., 2019). De cette manière, les lemmings dépensent moins d'énergie en creusant et s'assurent un accès à la surface du sol.

de la toundra, là où ils trouvent les mousses, les herbacées et les arbustes dont ils se nourrissent pendant l'hiver. En s'abritant sous la neige, ils profitent également de températures plus clémentes qui peuvent être jusqu'à 20 °C plus chaudes que l'air ambiant dans les zones où la neige s'accumule abondamment.

Plus étonnant encore, les lemmings sont capables de se reproduire sous la neige quand les conditions leur sont favorables (Millar, 2001). Protégés du froid et des renards arctiques qui patrouillent à la surface, les lemmings peuvent élever ainsi deux à trois portées par hiver dans des nids de broussailles qu'ils construisent dans leurs réseaux de tunnels sous la neige. Dans les années de forte reproduction hivernale, la population de lemmings peut émerger au printemps et devenir jusqu'à 100 fois plus nombreuse qu'au début de l'hiver. Ces pullulations soudaines à la fonte des neiges sont à l'origine de légendes Saami, un peuple autochtone en Fennoscandie, qui suggéraient que les lemmings apparaissaient en grand nombre après être tombés du ciel.

...et un buffet estival

L'augmentation rapide de la population de lemmings pendant l'hiver est loin de passer inaperçue une fois l'été arrivé. Alors qu'une multitude de petits rongeurs fuient les inondations printanières de leurs tunnels hivernaux, qui sont causées par la fonte rapide des neiges, de nombreux prédateurs migrants arrivent en masse pour profiter de cette manne cyclique de viande *lemmingnoise*. Le harfang des neiges, le labbe à longue queue, la buse pattue et le goéland bourgmestre comptent parmi les prédateurs saisonniers qui s'ajoutent aux prédateurs résidents, dont le renard arctique et l'hermine. On dénombre même les loups et les ours polaires parmi les prédateurs occasionnels. Bref, un buffet à ciel ouvert sur la toundra qui semblait sans vie quelques semaines plus tôt !

Pendant le court été arctique, les lemmings se retrouvent sans la protection du manteau neigeux, qui disparaît rapidement avec le retour du soleil de minuit et les températures plus clémentes. Sans la neige, les lemmings peuvent se réfugier dans des terriers creusés au-dessus du pergélisol, mais ils doivent maintenant s'exposer pour atteindre les plantes qui leur servent de nourriture. Les lemmings deviennent ainsi des proies faciles pour les prédateurs chaque fois qu'ils doivent se déplacer pour se nourrir. L'abondance élevée des prédateurs et le nombre élevé de lemmings nécessaires pour nourrir les jeunes prédateurs exercent une pression de prédation telle que la population des lemmings peut être décimée, et ce, parfois même à l'intérieur d'un seul été. La population de lemmings est alors réduite à un si petit nombre qu'il faut trois à quatre ans pour qu'on

assiste de nouveau à une pullulation populationnelle, menant aux fluctuations cycliques et régulières au fil des années (Gill et al., 2003). De nombreuses études ont pu démontrer le rôle prépondérant de cette forte pression de prédation sur les cycles de lemmings en Arctique par rapport à d'autres facteurs tels le manque de nourriture à l'hiver, les événements climatiques extrêmes ou encore les interactions sociales délétères (Oli, 2019).

Ces pullulations prévisibles de proies permettent aux espèces prédatrices qui habitent ou migrent dans la toundra de se reproduire et d'élever leurs jeunes pendant le court été arctique. Ainsi, les pics réguliers de densité de lemmings permettent aux populations de prédateurs de persister dans l'écosystème arctique. Cette cyclicité régulière des populations de lemmings profite aussi aux prédateurs aviaires qui s'envolent vers la toundra chaque été pour y pondre et y élever leurs jeunes. Les labbes à longue queue, qui se reproduisent sur la toundra en réponse à la forte abondance des lemmings, sont d'ailleurs une preuve fascinante de l'avantage de se nourrir des petits rongeurs, considérant que l'hiver, ils passent leur temps au sud de l'Atlantique à se nourrir de petits poissons et d'invertébrés marins (Seyer et al., 2021). Au fil des ans, les scientifiques ont aussi réalisé que la surabondance de lemmings bénéficie aux passereaux, aux limicoles et à la sauvagine en protégeant indirectement leurs nids des prédateurs. Sommairement, on pourrait dire que les lemmings sont si abondants dans la toundra lors d'un pic que les nids de ces oiseaux sont en partie épargnés par les prédateurs de la toundra, car ces derniers concentrent leurs efforts sur les lemmings. Par exemple, le succès d'éclosion des bécasseaux et des pluviers est plus élevé en forte abondance de lemmings comparativement aux années de faible abondance de rongeurs (McKinnon et al., 2014). Ainsi, la dynamique cyclique régulière et prévisible des lemmings permet à de nombreuses espèces d'avoir régulièrement un succès élevé de reproduction et ainsi d'assurer la bonne santé des populations. Ces effets positifs indirects ont mené à l'hypothèse du rôle crucial des lemmings pour les populations de limicoles arctiques, dont plusieurs populations sont en déclin rapide.

La pluie qui crée une cascade

Cependant, le ballet que se jouent les lemmings et leurs prédateurs depuis bien plus longtemps que la science occidentale s'y intéresse risque d'être perturbé par les changements climatiques. Tout comme à nos latitudes, le réchauffement du climat raccourcit la période de l'année pendant laquelle le sol est recouvert de neige. Pour les lemmings, le raccourcissement de la période hivernale signifie une diminution du nombre de jours où ils sont mieux protégés de leurs prédateurs. De plus, le retard dans l'établissement

d'un manteau neigeux en début d'hiver les expose plus longtemps à des températures froides, augmentant leurs coûts de thermorégulation, ce qui pourrait nuire à leur reproduction hivernale. Pire encore, la variabilité grandissante de la météo augmente les événements de pluies hivernales (c.-à-d., pluie sur neige) ou de fonte et regel de la neige (c.-à-d., fonte-regel), ce qui crée des couches de regel ou même de glace à l'intérieur du manteau neigeux. Il a été démontré que la performance à creuser des lemmings diminue dans de telles couches de neige durcies et qu'ils doivent donc augmenter l'effort déployé pour creuser dans ce type de neige (Poirier et al. 2021). Ces événements de pluie en hiver risquent alors d'augmenter les dépenses énergétiques des lemmings, compromettant leur capacité à produire ne serait-ce qu'une portée pendant l'hiver. Au Svalbard, où le climat hivernal est plus clément, l'intensité des épisodes de pluie sur neige a été associée à un déclin rapide des populations de rongeurs en hiver et à une augmentation du nombre d'années entre deux pullulations des populations (Fauteux et al., 2021).

Les événements de pluie sur neige ou de fonte-regel menacent de réduire la reproduction hivernale des lemmings, ce qui pourrait perturber la régularité du cycle des populations. Une fréquence encore plus élevée de pluies hivernales pourrait même entraîner un effondrement des cycles à long terme, menant à une situation où les lemmings ne seraient plus en mesure d'émerger, au printemps, aux densités aussi élevées que l'on observe aujourd'hui. En Norvège, la dégradation de la météo hivernale et de la qualité du manteau neigeux a été mise en cause pour expliquer l'effondrement des cycles des lemmings pendant 10 ans (Kausrud et al., 2008). Pour les prédateurs, la perte de la prévisibilité des pullulations de lemmings ou l'effondrement total de leur population s'avère préoccupant. Ces prédateurs profitent du retour régulier des pics de lemmings pour se reproduire avec succès, ce qui assure une croissance récurrente de leur population après quelques années fastes. Dans le nord de l'Europe, l'effondrement des cycles des lemmings a été un facteur important ayant mené au déclin des renards arctiques aux côtés de



Crédit photo : Sander van der Wel

l'expansion de la population de renards roux (Fuglei et Ims, 2008). Une situation similaire a été observée au Groenland, où l'interruption des cycles pendant huit ans a causé l'extinction locale de prédateurs pourtant régulièrement observés à cet endroit (Gilg et al., 2009). Ainsi, un dérèglement circumpolaire de la dynamique cyclique des populations de lemmings causé par l'emballlement du climat pourrait compromettre la reproduction des espèces prédatrices de l'Arctique et menacer la stabilité de leurs populations à une échelle plus grande et plus longue que ce qui a précédemment été observé.

Qui plus est, le dérèglement des cycles de lemmings risque de nuire aux populations des nombreuses espèces d'oiseaux non prédatrices qui nichent dans l'Arctique. Sans l'irruption régulière des populations de lemmings, ces oiseaux ne pourront plus profiter de la protection indirecte que leur confèrent les lemmings. Pour les limicoles, passereaux et certaines sauvagines, le succès de nidification lors des années de faible densité de lemmings est presque nul, car leurs œufs sont recherchés activement par les prédateurs (Sittler et al., 2000). À court terme, le recours des prédateurs à ces ressources alternatives pendant plusieurs années consécutives risque de fortement nuire au recrutement de ces espèces d'oiseaux, dont certaines sont déjà en déclin (McKinnon et al., 2014). De plus, en migrant annuellement entre leurs habitats d'hivernage et la toundra, ces oiseaux font le pont entre des régions pourtant séparées par des milliers de kilomètres. Un déclin important des populations de migrants arctiques se propagerait ainsi de l'Arctique vers les nombreux écosystèmes connectés par la migration. En nuisant aux lemmings, le raccourcissement de l'hiver et l'augmentation dans la fréquence des événements de pluie sur neige ont le potentiel de créer une cascade d'effets menant à un bouleversement de la chaîne alimentaire de la toundra arctique et des écosystèmes qui y sont connectés.

En camping, au retour du boulot ou en pique-nique, une pluie soudaine et imprévue est un irritant sans conséquence qu'on oublie rapidement. En Arctique, cependant, l'imprévisibilité grandissante du climat et de la météo entraîne des répercussions réelles et importantes pour les écosystèmes. Le visage de l'Arctique et de la faune qui y réside se transforme déjà sous l'effet des changements climatiques. Cependant, les plus gros changements ne seront probablement pas initiés par de grandes espèces charismatiques comme l'ours polaire, mais plutôt par les petites espèces à la base de la chaîne alimentaire, comme le lemming. En effet, l'imprévisibilité des conditions hivernales représente une menace importante pour la régularité des cycles de lemmings, et le dérèglement ou l'effondrement de leur cycle risque de déclencher une cascade complexe d'événements entraînant des répercussions bien au-delà de l'Arctique.

RÉFÉRENCES

- Fauteux, D., Stien, A., Yoccoz, N., Fuglei, E. et Ims, R. (2021).** Climate variability and density-dependent population dynamics: Lessons from a simple high-Arctic ecosystem. doi:10.22541/au.161217767.76827108/v2
- Fuglei, E. et Ims, R. (2008).** Global warming and effects on the arctic fox. *Science Progress*, 91(2), 175-191. doi:10.3184/003685008X327468
- Gilg, O., Hanski, I. et Sittler, B. (2003).** Cyclic Dynamics in a Simple Vertebrate Predator-Prey Community. *Science*, 302(5646), 866-868. doi:10.1126/science.1087509
- Gilg, O., Sittler, B. et Hanski, I. (2009).** Climate change and cyclic predator-prey population dynamics in the high Arctic. *Global Change Biology*, 15(11), 2634-2652. doi:10.1111/j.1365-2486.2009.01927.x
- Kausrud, K. L., Mysterud, A., Steen, H., Vik, J. O., Østbye, E., Cazelles, B., Framstad, E., Eikeset A. M., Mysterud, I., Solhøy, T. et Stenseth, N. C. (2008).** Linking climate change to lemming cycles. *Nature*, 456(7218), 93-97. doi:10.1038/nature07442
- McKinnon, L., Berteaux, D., et Bêty, J. (2014).** Predator-mediated interactions between lemmings and shorebirds: A test of the alternative prey hypothesis. *The Auk*, 131(4), 619-628. doi:10.1642/auk-13-154.1
- Millar, J. S. (2001).** On reproduction in lemmings. *Écoscience*, 8(2), 145-150. doi:10.1080/11956860.2001.11682639
- Oli, M. (2019).** Population cycles in voles and lemmings: state of science and future directions. *Mammal Review*, 49(3), 226-239. doi:10.1111/mam.12156
- Poirier, M., Fauteux, D., Gauthier, G., Domine, F. et Lamarre, J. (2021).** Snow hardness impacts intranivean locomotion of arctic small mammals. *Ecosphere*, 12(11). Doi:10.1002/ecs2.3835
- Poirier, M., Gauthier, G., et Domine, F. (2019).** What guides lemmings movements through the snowpack? *Journal of Mammalogy*, 100(5), 1416-1426. doi:10.1093/jmammal/gyz129
- Seyer, Y., Gauthier, G., Bêty, J., Therrien, J. et Lecomte, N. (2021).** Seasonal variations in migration strategy of a long distance Arctic-breeding seabird. *Marine Ecology Progress Series*, 677, 1-16. doi:10.3354/meps13905
- Sittler, B., Gilg, O. et Berg, T. B. (2000).** Low Abundance of King Eider Nests during Low Lemming Years in Northeast Greenland. *ARCTIC*, 53(1). doi:10.14430/arctic834



Dossier : enjeux nordiques

DÉGEL DU PERGÉLISOL ET ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DANS LE NORD : PAS SI SIMPLE

Frédéric Bouchard¹

Professeur
Département de géomatique appliquée
Centre d'applications et de recherches
en télédétection (CARTEL)
Université de Sherbrooke

Isabelle Laurion¹

Professeure
Centre Eau Terre Environnement (ETE)
Institut national de
la recherche scientifique

Laure Gandois

Chargée de recherche
Laboratoire Écologie Fonctionnelle
et Environnement (LEFE)
Université de Toulouse et Centre national
de la recherche scientifique

Plus de 20 millions de km² : c'est l'étendue occupée par le pergélisol (sol gelé) dans l'hémisphère nord (Figure 1). Il représente le socle des écosystèmes et des infrastructures du Nord. Il concerne la moitié des territoires de la Russie et du Canada, la presque totalité de celui de l'Alaska et une superficie substantielle dans plusieurs autres régions. Environ cinq millions de personnes vivent en zone de pergélisol.

1. Membre du Centre d'études nordiques (CEN) et du Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie (GRIL), regroupements stratégiques du FRQNT

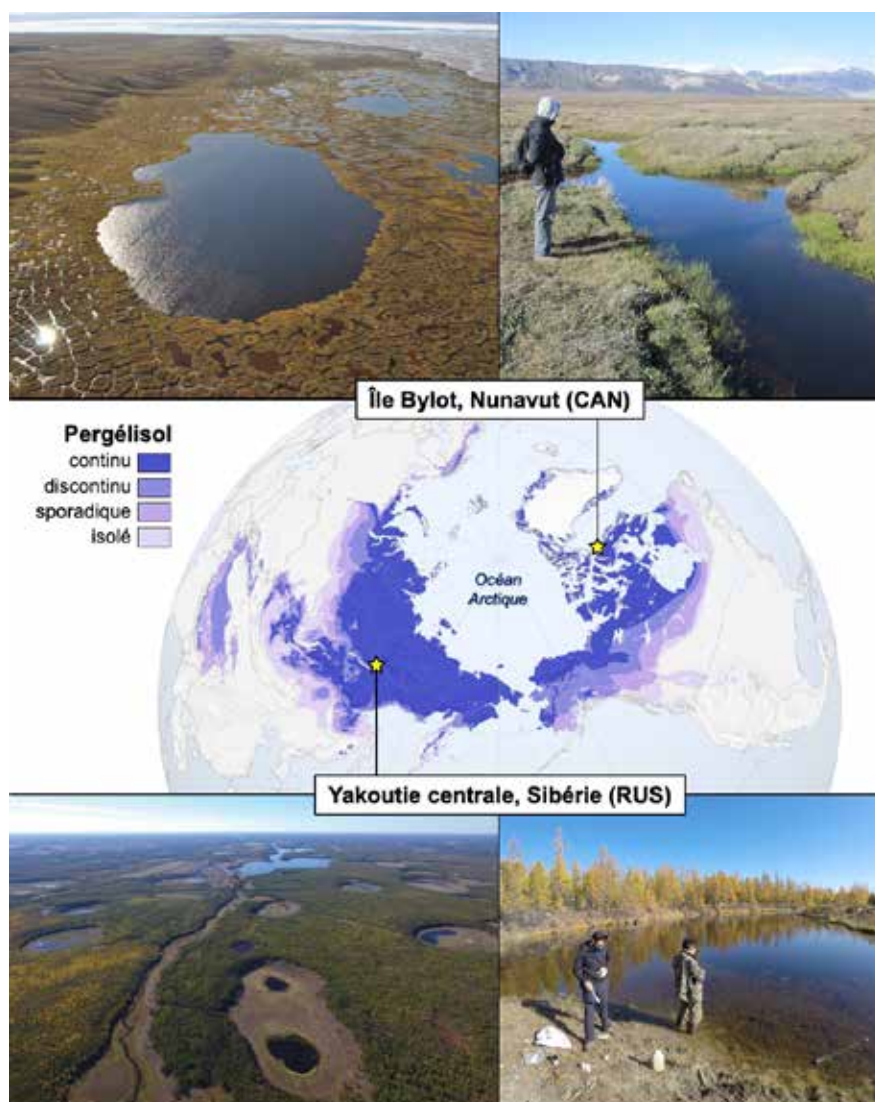


Figure 1. Répartition du pergélisol dans l'hémisphère nord et localisation des sites mentionnés dans cet article (carte de Brown et al., 1997). Photos : É. Godin, A. Séjourné, F. Bouchard.

Avec le réchauffement climatique, deux à trois fois plus rapide en Arctique qu'ailleurs dans le monde, le pergélisol montre des signes évidents de dégradation (Box et al., 2019). Il dégèle, amorçant une série de répercussions profondes sur les écosystèmes et les infrastructures : apparition ou disparition de mares et de lacs ; mise en circulation de sédiments et d'éléments dissous vers les lacs et les rivières ; libération de métaux lourds comme le mercure ; instabilité des infrastructures ; et enfin, production et émission vers l'atmosphère de gaz à effet de serre (GES) à partir de la transformation microbienne de la matière organique autrefois piégée dans le sol. Étant donné que les sols en région arctique contiendraient environ deux fois plus de carbone organique que l'atmosphère, cette situation est préoccupante (Hugelius et al., 2014).

Il semble que le « dossier chaud » des émissions de GES par les écosystèmes aquatiques en zone de pergélisol soit peu ou mal compris des médias généralistes, et par extension du grand public. Un certain sensationnalisme environnemental se traduit par des formules-choc, telles que « bombe climatique à retardement » (Mayer, 2021). La réalité est plus nuancée. L'objectif de cet article est de démystifier ce sujet complexe avec des exemples issus de travaux récents effectués dans l'Arctique canadien et en Sibérie. Ces résultats montrent que les écosystèmes aquatiques en zone de pergélisol agissent généralement comme des sources de GES vers l'atmosphère, mais peuvent également capter du carbone à certains moments de l'année. La dynamique des GES dans ces régions est fortement influencée par les propriétés locales du terrain et par la saisonnalité des mécanismes concernés.

Comme un vieux congélateur... fatigué

Le pergélisol est défini, *sensu stricto*, comme tout sol ou toute roche dont la température demeure inférieure ou égale à 0 °C pendant deux années consécutives. Il s'agit d'une définition purement thermique, qui explique sa répartition géographique surtout en fonction de la latitude, un peu à la manière des zones climatiques terrestres (Figure 1). Dans les hautes latitudes, on parle de pergélisol continu, alors qu'en s'éloignant du pôle se succèdent les zones de pergélisol discontinu, sporadique et isolé.

On appelle « couche active » la partie près de la surface du sol qui dégèle chaque été. Son épaisseur varie grandement selon le climat régional et les propriétés du sol, de quelques centimètres à près de deux mètres de profondeur dans certains cas. À l'échelle locale, les propriétés de la couche active et du pergélisol peuvent donc être fortement hétérogènes. De plus, « sol gelé » ne rime pas nécessairement avec « sol glacé » : le pergélisol peut contenir de la glace, beaucoup de glace, mais pas que. Roche, sédiments, gaz et même eau liquide peuvent s'y trouver en proportions variables. L'héritage glaciaire et postglaciaire sera déterminant dans la composition du sol et sa teneur en glace et en matière organique, et donc dans sa susceptibilité au dégel et à la production de GES.

Le « thermokarst » désigne le phénomène associé au dégel d'un pergélisol riche en glace (Figure 2). La fonte de cette glace provoque notamment l'affaissement de la surface du sol et l'accumulation d'eau dans les dépressions produites. Au début, ces plans d'eau peu profonds (moins d'un mètre) gèlent complètement durant l'hiver. Durant le reste de l'année, l'eau qu'ils contiennent est relativement bien mélangée et d'abondantes communautés microbiennes photosynthétiques y séquestrent le carbone par la fixation du CO₂. Or, après un certain temps (quelques décennies, en général), les mares et lacs de thermokarst s'approfondissent au-delà de l'épaisseur maximale du couvert de glace hivernal (environ deux mètres). Résultat : de l'eau liquide se maintient à longueur d'année et surtout, une stratification de la colonne d'eau commence à s'établir l'hiver et l'été. La couche de surface est bien oxygénée, alors que celle au fond est plutôt pauvre en oxygène. Ces conditions sont favorables à la production de méthane (CH₄), surtout si le système est riche en matière organique. Au printemps et à l'automne, le brassage de la colonne d'eau permet une certaine ventilation des GES accumulés vers l'atmosphère et une réoxygénation de l'eau. Le dégel du pergélisol peut être comparé à ce qui se passe lorsqu'on laisse la porte du congélateur ouverte : la nourriture dégèle, commence à se décomposer, et des gaz se forment et s'échappent...

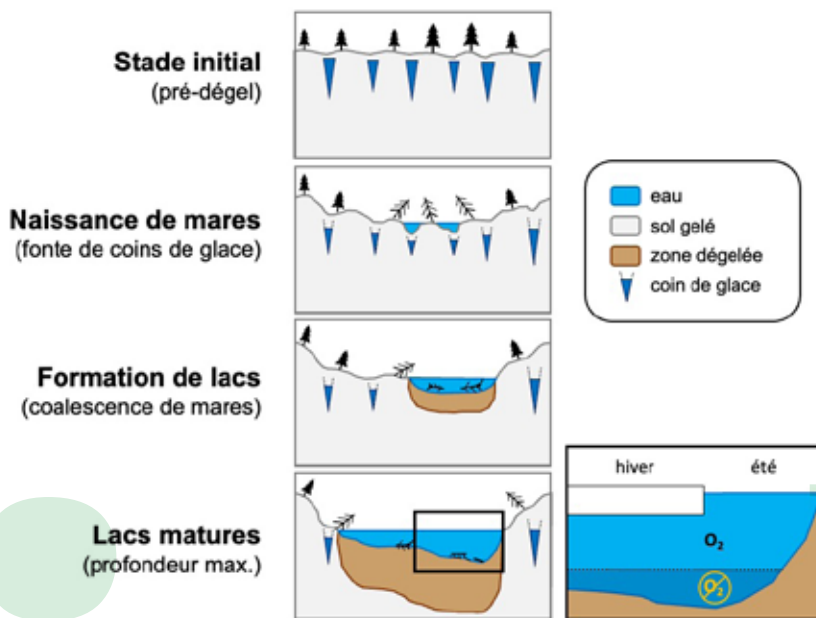


Figure 2. Formation de mares et de lacs de thermokarst dans un pergélisol riche en glace (modifié de Bouchard et al., 2017).

De petites mares qui émettent gros

L'île Bylot, au Nunavut, est située en zone de pergélisol continu, à 73° de latitude nord (Figure 1). L'île est montagneuse et majoritairement recouverte de glaciers, avec quelques vallées libres de glace en périphérie. L'une de ces vallées abrite d'innombrables mares et de nombreux lacs, certains d'origine thermokarstique et d'autres formés par la fonte de vieille glace de glacier enfouie. Si l'épaisseur du pergélisol y est estimée à 400 m, ce sont les quelques mètres près de la surface (3 à 5 m) qui nous intéressent ici, car ils contiennent une quantité importante de matière organique sous forme de tourbe gelée. Ces dépôts se sont accumulés depuis les 4 000 dernières années environ. Le sol est riche en glace, surtout sous forme de veines verticales appelées « coins de glace », qui donnent au terrain son aspect polygonal typique de la toundra. Des mares se développent au-dessus des coins de glace partiellement fondus, s'élargissent et se rejoignent parfois pour former de plus grandes mares coalescentes ou des lacs plus profonds.

Ces plans d'eau montrent des flux de GES très variables, à la fois entre les différents types de mares ou de lacs et entre les saisons (Figure 3). Les mares formées au-dessus des coins de glace montrent les flux les plus élevés, et ces flux augmentent graduellement durant la saison libre de glace, en même temps que les

concentrations en gaz dissous au fond des mares. Ce patron montre bien le rôle de la stratification thermique sur les émissions de GES, et ce, même pour des mares très peu profondes. Quant aux mares coalescentes, si elles émettent leur maximum de CH_4 au printemps, à la fonte du couvert de glace, elles demeurent des puits de CO_2 durant toute la saison libre de glace. Le fond de ces mares est colonisé par d'abondants tapis microbiens qui « pompent » le CO_2 atmosphérique grâce à la photosynthèse. Puisque ces mares sont peu profondes, moins encaissées et surtout d'une plus grande surface, elles ne développent pas de stratification thermique, ce qui limite l'accumulation de GES au fond. Enfin, les lacs montrent des tendances différentes selon leur origine : certains peuvent représenter des sources importantes de GES, notamment par l'émission de CH_4 vieux de plusieurs milliers d'années (> 3 500 ans ; Bouchard et al., 2015), alors que d'autres demeurent des sources faibles, voire des puits de CO_2 durant l'été.

Ces résultats sont très hétérogènes selon le moment de l'année et le type de plans d'eau. La morphologie de ces écosystèmes a donc une influence considérable sur le régime de mélange des eaux qui façonne les patrons saisonniers d'émissions de GES. À ce titre, l'été (pour tous les plans d'eau) et l'hiver (pour les lacs seulement) jouent un rôle important dans le stockage de GES, alors que le printemps et l'automne contribuent, par le brassage, à mobiliser les GES stockés vers l'atmosphère.

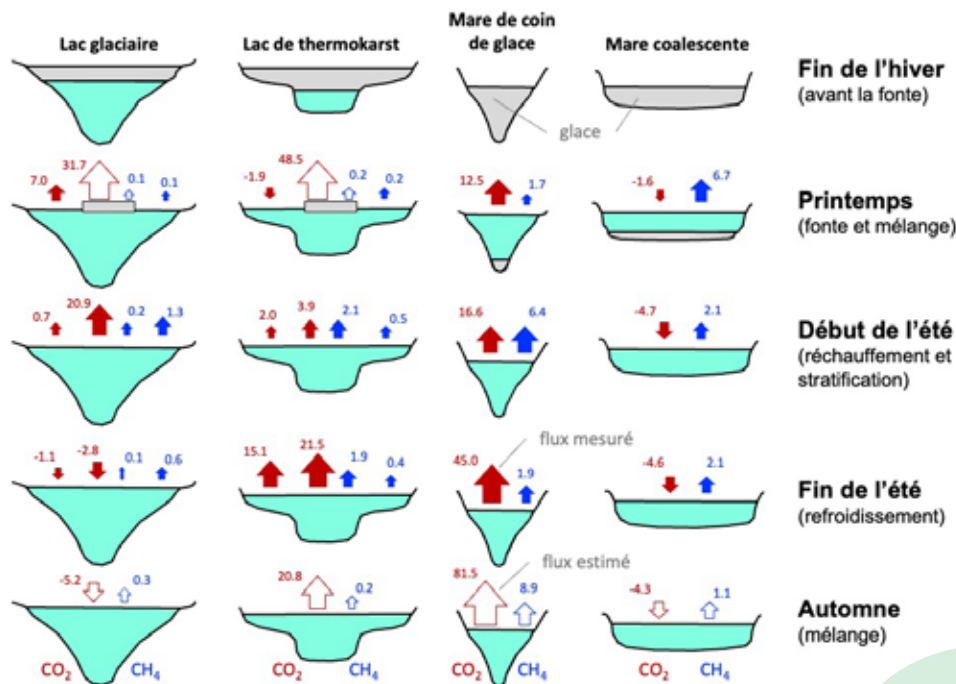


Figure 3. Variations saisonnières des flux de GES dans différents plans d'eau à l'île Bylot (modifié de Preskienis et al., 2021).

Du jeune carbone dans les vieux lacs... et vice versa !

La Yakoutie centrale, en Sibérie orientale, est localisée en zone de pergélisol continu (Figure 1). C'est la contrée des « superlatifs » : le pergélisol y est parmi les plus anciens (des dizaines de milliers d'années), les plus épais (> 1 km) et les plus riches en glace (> 80 % en volume) de la planète, en plus de détenir le record de la température la plus froide dans l'hémisphère nord (-65 °C). Toutefois, le climat hyper continental de la région fait que les températures estivales peuvent grimper jusqu'à 40 °C en juillet. Résultat : même à plus de 62° de latitude nord, la forêt boréale (taïga) est bien présente, alors qu'à une latitude comparable au Québec, nous serions à plus de 650 km au nord de la limite des arbres !

La région a subi un réchauffement climatique important au début de l'Holocène, il y a environ 10 000 ans, ce qui a induit la formation de nombreuses dépressions thermokarstiques. Les Yakoutes les appellent « alas », et elles sont aujourd'hui très présentes sur le territoire. Quant aux écosystèmes aquatiques, ils se divisent en trois catégories selon leur âge, leur morphologie et leurs propriétés chimiques : 1) les lacs d'*alas* isolés, peu profonds (< un mètre), vestiges d'anciens lacs plus étendus ; 2) les lacs d'*alas* connectés au réseau hydrographique régional, d'une dizaine de mètres de profondeur et relativement étendus ; 3) les lacs thermokarstiques récents (dernières décennies), de tailles variées, généralement peu étendus, peu profonds (deux à cinq mètres) et riches en matière organique et minérale provenant du dégel récent du pergélisol.

Des relevés effectués de l'automne 2018 à l'été 2019 ont permis de montrer, ici aussi, une remarquable hétérogénéité spatiotemporelle dans les flux de CO₂ et de CH₄ émis par ces lacs (Figure 4). Les lacs d'*alas* isolés agissent généralement comme source de CH₄, mais peuvent capter du CO₂ au printemps et à l'automne. Des travaux en cours semblent d'ailleurs suggérer que le carbone inorganique dissous dans ces anciens lacs est d'un âge moderne, ce qui est en accord avec leur rôle de « pompe » à CO₂ atmosphérique (A. Séjourné, *comm. pers.*). À l'inverse, les lacs thermokarstiques récents sont constamment sursaturés en CO₂ et en CH₄, avec des concentrations hivernales en CO₂ largement supérieures aux autres saisons et aux autres types de lacs. De plus, le carbone inorganique dissous y est très ancien, vieux de plusieurs milliers à quelques dizaines de milliers d'années (A. Séjourné, *comm. pers.*), ce qui démontre

l'influence de la dégradation du pergélisol sur la biogéochimie de ces lacs. Enfin, les lacs d'*alas* connectés à une rivière ont des eaux beaucoup plus diluées avec des concentrations plutôt faibles et stables en CO₂ et en CH₄, suggérant que la chimie de ces lacs est peu sensible aux contrastes topographiques et aux variations saisonnières.

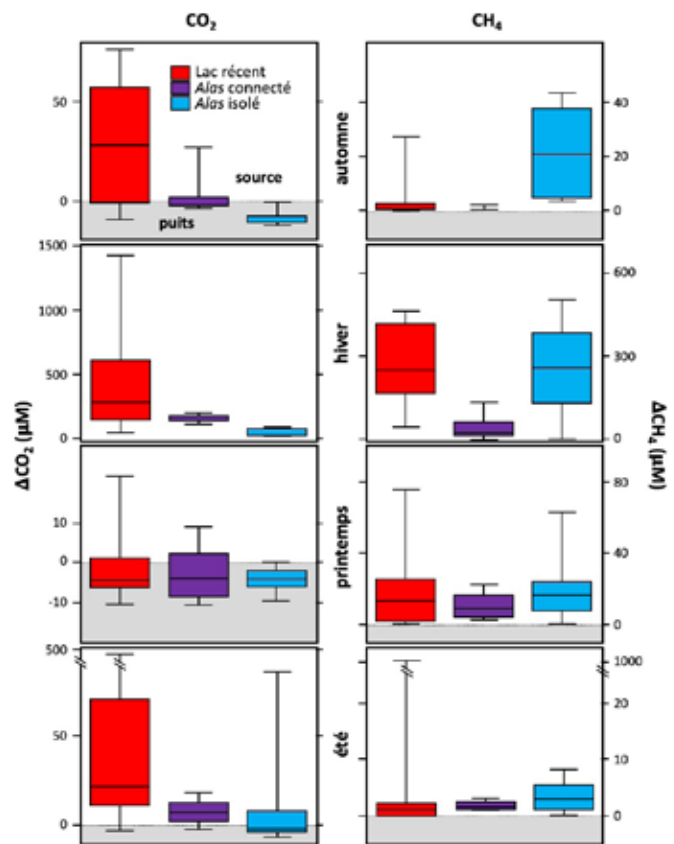


Figure 4. Variations saisonnières des concentrations de GES dissous dans différents plans d'eau en Yakoutie centrale (Sibérie) (modifié de Hughes-Allen et al., 2021).

Comme dans le cas de l'île Bylot, au Canada, les émissions de GES par ces lacs en Sibérie orientale demeurent très fortement influencées par les propriétés locales du terrain – notamment la morphologie des plans d'eau – et peuvent varier d'un à deux ordres de grandeur entre les saisons. Les conditions hivernales et estivales, caractérisées par des eaux stratifiées, sont propices à l'accumulation de gaz dissous dans les zones profondes. Enfin, et paradoxalement, du carbone moderne est émis par les lacs anciens (grâce à la respiration), alors que les lacs récents émettent plutôt du vieux carbone provenant du dégel du pergélisol pouvant générer un « retour positif » sur le climat, puisqu'il est en excès.

Sommaire et conclusions

- Les émissions de GES sont très hétérogènes selon le type de plan d'eau. Les mares de coins de glace à Bylot et les lacs thermokarstiques récents en Yakoutie sont les principales sources de CO₂ et de CH₄ dans le paysage. Avec un dégel du pergélisol amplifié dans le futur, ce sont ces plans d'eau qui risquent de se développer davantage ; ils sont donc à surveiller. Cependant, pour qualifier la pertinence climatique des gaz émis (c.-à-d. leur capacité de générer une rétroaction positive sur le climat), la datation au radiocarbone (¹⁴C) demeure incontournable.
- Certains types de plans d'eau, tels que les mares coalescentes à Bylot et les lacs d'aldas isolés en Yakoutie, peuvent séquestrer du carbone durant une partie de l'année (lorsqu'ils sont des puits de CO₂), ce qui pourrait nuancer le bilan net des GES à l'échelle du paysage. Cependant, leur développement risque d'être moins important dans le futur, et en raison de leur faible profondeur, ils peuvent être sensibles aux conditions climatiques, notamment à l'évaporation à la suite de faibles précipitations (assèchement, canicules). Par ailleurs, ces systèmes semblent surtout émettre du carbone moderne.
- Les émissions varient également dans le temps, selon les saisons. L'hiver et l'été sont les saisons clés pour le stockage de GES dans les eaux profondes. Ces GES sont mobilisés au printemps et à l'automne lors du brassage. Avec l'allongement de la saison libre de glace, la production hivernale (potentiellement plus riche en CH₄) sera-t-elle réduite ou compensée par la production estivale ? L'étude des variations saisonnières commande la mise en place de systèmes de mesure automatisée.
- Pour l'instant, il est difficile de prévoir quel sera le bilan net à l'échelle de l'Arctique. Cet article présente seulement deux sites en zone de pergélisol continu. Des données provenant par exemple des grandes tourbières nordiques (basses-terres de la Baie d'Hudson et Sibérie occidentale) apporteraient un éclairage supplémentaire et une vision plus complète pour établir ces bilans. De vastes zones de pergélisol sont par ailleurs localisées dans des sols plutôt minéraux, où la matière organique est peu disponible pour la dégradation microbienne. On ne s'attend pas à des émissions importantes de GES en provenance de ces régions.

- Au lieu d'une « bombe climatique », voyons plutôt le phénomène comme une mosaïque d'écosystèmes très divers répondant tous à leur façon, dont il faut définir les points communs et les divergences si l'on veut améliorer les prédictions climatiques en tenant compte de la multitude de trajectoires possibles. À ce titre, les prochaines avancées pourraient provenir de la cartographie de plus en plus précise et automatisée des mares et des lacs par des outils de télédétection.

RÉFÉRENCES

- Bouchard, F., Laurion, I., Preskienis, V. et al. (2015).** Modern to millennium-old greenhouse gases emitted from ponds and lakes of the Eastern Canadian Arctic (Bylot Island, Nunavut). *Biogeosciences*, 12, 7279-7298. <https://doi.org/10.5194/bg-12-7279-2015>
- Bouchard, F., MacDonald, L.A., Turner, K.W. et al. (2017).** Paleolimnology of thermokarst lakes: a window into permafrost landscape evolution. *Arctic Science*, 3(2), 91-117. <https://doi.org/10.1139/as-2016-0022>
- Box, J.E., Colgan, W.T., Christensen, T.R. et al. (2019).** Key indicators of Arctic climate change: 1971-2017. *Environmental Research Letters*, 14(4), 045010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aafc1b>
- Brown, J., Ferrians, O.J., Heginbottom, J.A. et al. (1997).** *Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions*. Repéré sur le site de l'US Geological Survey (USGS) à <https://pubs.er.usgs.gov/publication/cp45>
- Hugelius, G., Strauss, J., Zubrzycki, S., et al. (2014).** Estimated stocks of circumpolar permafrost carbon with quantified uncertainty ranges and identified data gaps. *Biogeosciences*, 11, 6573-6593. <https://doi.org/10.5194/bg-11-6573-2014>
- Hughes-Allen, L., Bouchard, F., Laurion, I. et al. (2021).** Seasonal patterns in greenhouse gas emissions from thermokarst lakes in Central Yakutia (Eastern Siberia). *Limnology and Oceanography*, 66(S1), S98-S116. <https://doi.org/10.1002/lno.11665>
- Mayer, N. (2021).** *La bombe climatique du « thermokarst », ou l'effondrement brutal du pergélisol à cause des incendies*. Repéré à <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/arctique-bombe-climatique-thermokarst-effondrement-brutal-pergelisol-cause-incendies-95466/>
- Preskienis, V., Laurion, I., Bouchard, F. et al. (2021).** Seasonal patterns in greenhouse gas emissions from lakes and ponds in a High Arctic polygonal landscape. *Limnology and Oceanography*, 66(S1), S117-S141. <https://doi.org/10.1002/lno.11660>

Dossier : enjeux nordiques

DÉVELOPPER LA BIOÉNERGIE POUR ATTÉNUER LES GAZ À EFFET DE SERRE DANS LES COLLECTIVITÉS NORDIQUES ET AUTOCHTONES DU CANADA

Nicolas Mansuy

Ressources naturelles Canada
Service canadien des Forêts
Northern Forestry Centre, Edmonton

Jennifer Buss

Ressources naturelles Canada
Service canadien des Forêts
Northern Forestry Centre, Edmonton

Le contexte énergétique des collectivités nordiques hors réseau

Les collectivités nordiques, dont la plupart sont autochtones, font face à de nombreux défis, notamment le coût élevé et fluctuant de l'énergie. Le manque d'accès à une énergie stable et abordable limite le développement économique et augmente le stress environnemental dans de nombreuses collectivités isolées dans le Nord canadien. Il existe environ 200 collectivités isolées qui ne sont pas connectées au réseau électrique nord-américain, et qui dépendent du diesel pour répondre à leurs principaux besoins en électricité et en chauffage (Ressources naturelles Canada, 2018). En 2020, 682 millions de litres de diesel ont été utilisés pendant l'année pour la production d'énergie dans les collectivités hors réseau (Pembina Institute, 2020). Ceci représente des émissions de deux millions de tonnes équivalent CO₂ par an pour une population d'environ 200 000 habitants. On parle donc de 10 tonnes équivalent CO₂ par personne et par an, soit plus du double du Canadien moyen, qui génère 4,1 tonnes équivalent CO₂ par an en électricité et en chauffage domestique (Statistique Canada, 2018).

Dans le contexte de la lutte aux changements climatiques, le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effets de serre (GES) de 40 à 45 % sous les niveaux de 2005 d'ici 2030. Le remplacement du diesel par la bioénergie dans les collectivités nordiques fait partie de la stratégie canadienne de transition vers les énergies renouvelables à faibles émissions de carbone. L'utilisation du diesel dans les collectivités crée aussi de nombreux problèmes économiques, environnementaux et sanitaires. Le diesel est souvent transporté sur des milliers de kilomètres, sur des routes hivernales qui ne sont praticables que lorsque la glace est suffisamment épaisse pour le transport ou à l'inverse sur des rivières qui ne sont navigables que durant les périodes de dégel. En raison de ces longues distances de transport et de l'instabilité des conditions de transport, le prix de l'énergie dans les collectivités éloignées peut être jusqu'à deux fois plus élevé.

que ce que paie le Canadien moyen (Heerema, 2019). De plus, les problèmes de santé sont fréquents en raison des infrastructures précaires, des maisons mal isolées ou des fuites dans les réservoirs de diesel, qui peuvent entraîner une contamination du sol ou des eaux souterraines, avec des répercussions sur la qualité de l'air et l'approvisionnement en eau.

Le gouvernement du Canada a mis en place des programmes de subventions pour aider les collectivités éloignées et autochtones à lutter et à s'adapter aux changements climatiques. La bioénergie fait partie des programmes d'énergies renouvelables prioritaires, avec l'objectif d'investir dans les infrastructures et des systèmes de chauffage à la biomasse ou des systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité (appelée cogénération) pour remplacer le diesel. Cependant, l'utilisation des systèmes de bioénergie est encore relativement récente, la plupart des collectivités n'ayant au plus que quelques saisons d'expérience opérationnelle. Par conséquent, il est essentiel de documenter davantage la filière bioénergie dans les écosystèmes nordiques afin de mieux comprendre les différentes étapes de la chaîne d'approvisionnement en biomasse ainsi que le potentiel d'atténuation des GES. Dans cet article, nous présentons brièvement les résultats d'études réalisées en collaboration avec des communautés autochtones afin de mettre en perspective les défis ainsi que leur rôle majeur dans cette stratégie d'adaptation aux changements climatiques.

L'importance de la durabilité des chaînes d'approvisionnement en biomasse

La biomasse forestière est une ressource renouvelable qui peut être utilisée comme substitut aux combustibles fossiles (charbon, diesel, gaz naturel) dans la production de chaleur, d'électricité et de carburants de transport, et qui peut donc atténuer les émissions de GES. Selon les données de l'Agence internationale de l'énergie, la bioénergie à base de biomasse représente environ 10 % de la production énergétique mondiale et 70 % de la chaleur fournie par les énergies renouvelables, et sa consommation mondiale devrait augmenter rapidement au cours des prochaines décennies. Au Canada, la bioénergie est la deuxième source d'énergie renouvelable du pays après l'hydroélectricité et représente environ 5 % de l'approvisionnement énergétique total. Alors que les politiques énergétiques cherchent à augmenter

la capacité des énergies renouvelables en encourageant les développements à grande échelle comme le cobrûlage de la biomasse dans les centrales au charbon, on observe un intérêt croissant pour le développement alternatif des énergies renouvelables à l'échelle communautaire ou locale, appelé micro-réseau. Les motivations de la transition bioénergétique menée par les communautés sont diverses et visent non seulement la réduction des GES, mais aussi à promouvoir le développement économique rural et à atteindre l'indépendance et la sécurité énergétique (Zurba et Bullock, 2020).

Pour s'assurer que la filière bioénergie soit durable et profitable environnementalement et financièrement, il est primordial de comprendre les différentes étapes de la chaîne d'approvisionnement en biomasse. La chaîne d'approvisionnement en biomasse forestière se divise en plusieurs opérations dont l'ordre peut être modifié selon le contexte géographique et les besoins des fournisseurs et des utilisateurs (Figure 1). Généralement, les étapes sont les suivantes : récolte, traitement ou transformation, transport, conditionnement et entreposage, combustion. Il est à noter que les étapes peuvent varier selon le type de biomasse utilisé. Au Canada, la majorité de la biomasse forestière utilisée dans la filière bioénergie provient de résidus de coupes, résidus de sciage ou résidus provenant des forêts perturbées par les feux ou les insectes ravageurs (Mansuy et al., 2018). Ces résidus sont ensuite transformés en granules de bois avec des taux d'humidité très faibles et sont brûlés dans des fournaies à haut rendement énergétique pour produire de l'électricité et de la chaleur. Afin de respecter ses engagements en matière de gestion durable des forêts, le Canada ne récolte pas d'arbres vivants pour la filière bioénergie, et la récolte des résidus provenant des coupes forestières est généralement inférieure à 50 % du total disponible. Les conséquences écologiques de la récolte de biomasse à des fins de bioénergie sont donc minimales au Canada.

Évaluer les possibilités de réduction des GES et leurs incertitudes

La bioénergie n'est pas carboneutre, c'est-à-dire qu'il y a des émissions de carbone lors du transport et de la combustion de la biomasse. En outre, lorsque la forêt repousse, le carbone est stocké dans les arbres et dans les sols, compensant ainsi pour le carbone émis par combustion. L'évaluation du potentiel d'atténuation des GES avec la bioénergie est donc complexe et dépend de nombreux facteurs, tels que le combustible fossile remplacé, le type de biomasse utilisé, les distances de transport,

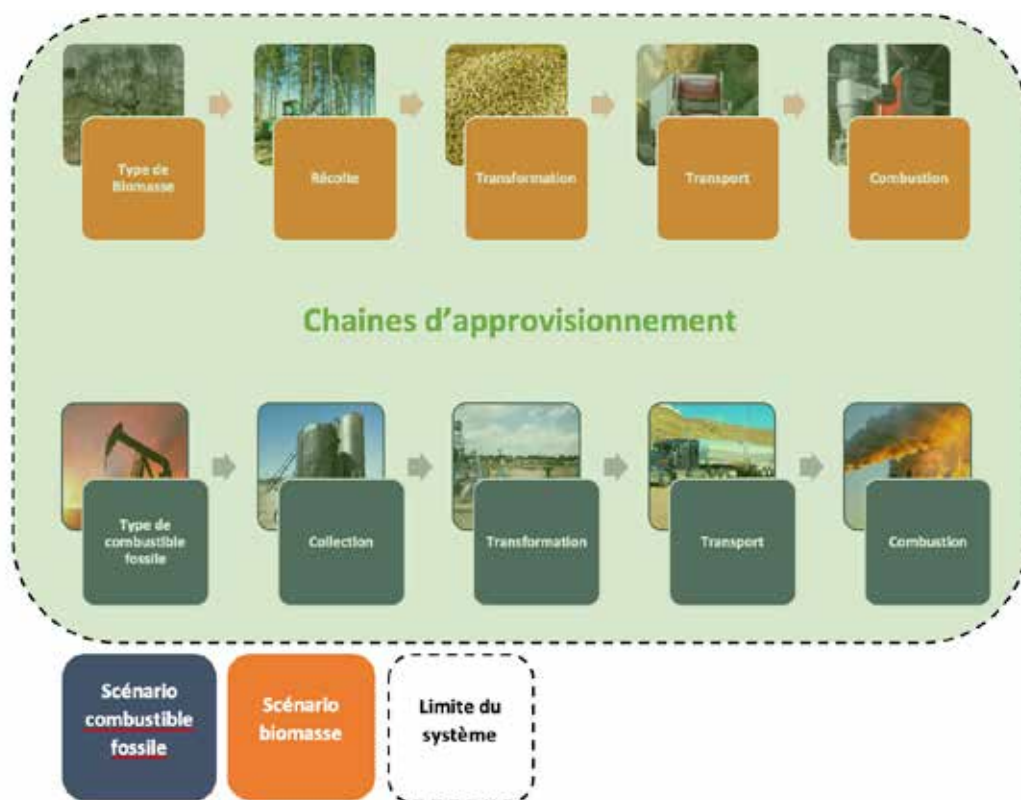


Figure 1. Schéma simplifié des chaînes d'approvisionnement en biomasse et en combustibles fossiles.

l'efficacité de conversion des fournaies à bioénergie et le taux de croissance et de décomposition de la forêt où la biomasse a été récoltée (Laganière et al., 2017). Ainsi, l'analyse du potentiel de réduction en GES pour la bioénergie requiert toujours de comparer un scénario utilisant la biomasse à celui utilisant un scénario de combustible fossile dit de référence (Figure 1). Le temps à partir duquel on peut observer une diminution des GES entre le scénario fossile de référence et celui de la bioénergie peut être très variable et est appelé le temps de parité de séquestration du carbone. Il s'agit du temps écoulé entre la récolte de la biomasse pour la production de bioénergie et le moment où le bilan carbone du système compense la perte de carbone qui aurait été stockée si la biomasse n'avait pas été récoltée.

Pour déterminer la durée de cette période qui est primordiale pour déterminer l'efficacité du système, les analyses de cycle de vie ont souvent été utilisées, car elles permettent de considérer les facteurs d'émissions des GES durant les différentes étapes de la chaîne d'approvisionnement en biomasse et celle du combustible fossile. Dans le cadre d'un projet financé par le Bureau de recherche et de développement énergétiques (BRDE), des analyses de GES ont été menées dans la localité de Fort McPherson, qui se trouve dans les Territoires du Nord-Ouest (Figure 2). Fort McPherson a été choisie parce que cette collectivité est située à plus de 100 km au nord du cercle arctique

et importe des granules de bois provenant de l'Alberta depuis plusieurs années pour son système de bioénergie (Buss et al., 2022). De plus, la collectivité dispose de ressources forestières locales non exploitées qui sont actuellement à l'étude pour la filière bioénergie. Par conséquent, la collectivité représente une opportunité unique d'évaluer les bénéfices de la bioénergie dans des conditions extrêmes nordiques éloignées.

Les analyses ont montré que les réductions des GES peuvent être rapides, même pour une collectivité située à 100 km au nord du cercle arctique (Figure 3). Dépendamment des scénarios testés, les réductions de GES peuvent être obtenues dans un délai de 2 à 37 ans pour les granules de bois produit à base de résidus de scierie à 2 900 km de la collectivité ou 1 040 km. Pour les copeaux de bois récoltés et produits à proximité de la collectivité (de 3,3 km à 50 km), selon les scénarios, le délai passe de 0 à 20 ans. En plus du type de biomasse utilisée, certains paramètres, comme les distances de transport, l'efficacité de la fournaie ou encore le climat doivent être pris en considération avec attention, car ils peuvent influencer les délais de séquestration de carbone. Néanmoins, ces résultats démontrent que l'utilisation de la biomasse forestière locale ou importée pour remplacer le diesel des collectivités nordiques peut générer une réduction des GES dans un délai qui correspond aux préoccupations actuelles en matière de changements climatiques.

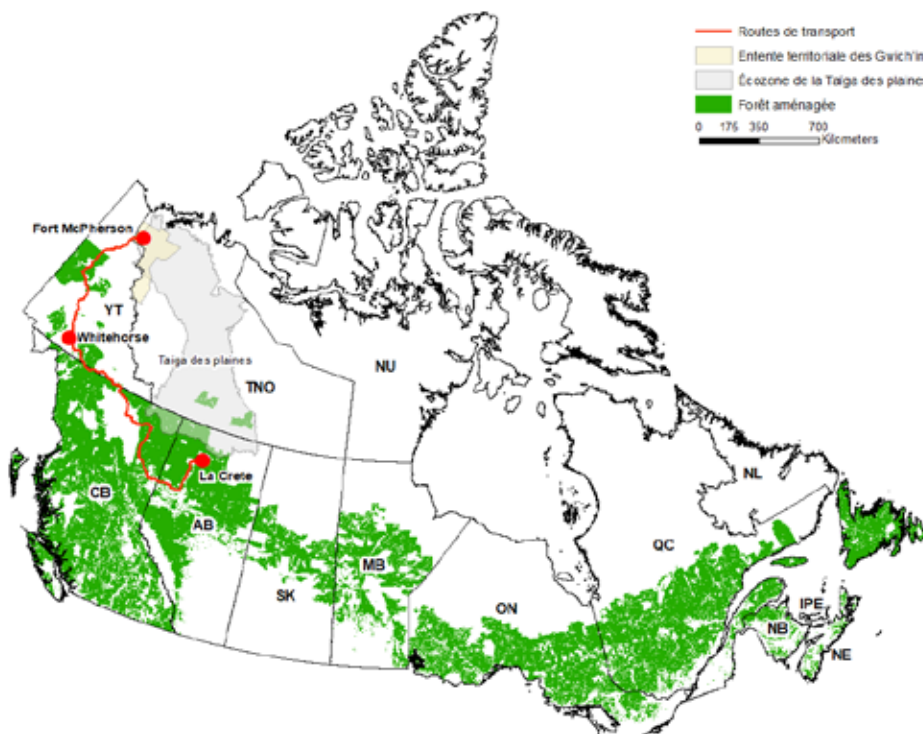


Figure 2. Situation géographique de Fort McPherson dans les Territoires du Nord-Ouest (T.N.-O.) ainsi que la route utilisée pour acheminer la biomasse par camion. Fort McPherson fait partie de l'entente territoriale des Gwich'in et dispose de ressources forestières locales sans valeur pour la foresterie commerciale. Des analyses sont en cours pour évaluer leur potentiel pour la bioénergie sous condition de pratiques durables.

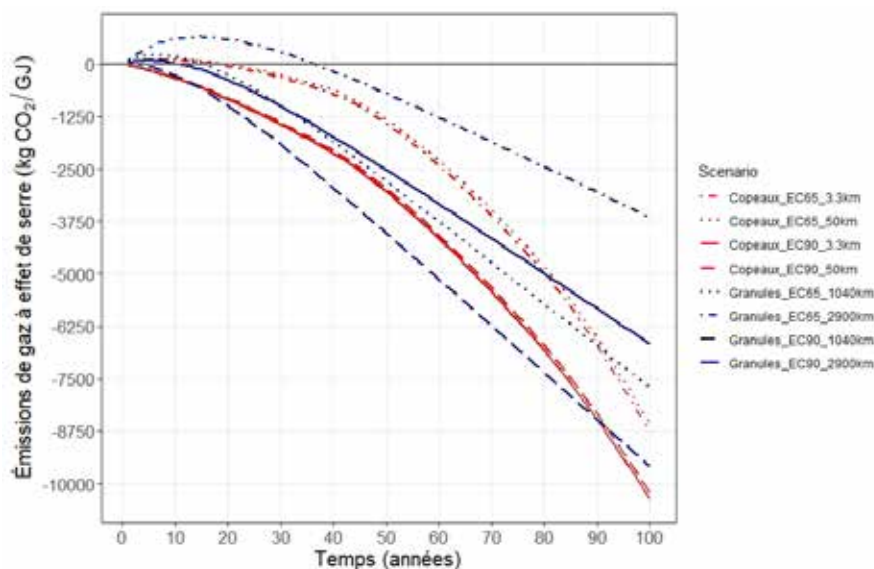


Figure 3. Estimation du temps de parité de carbone pour huit différents scénarios. Pour les copeaux et granules, l'efficacité de conversion (EC) de la fournaise a été testée à 65 %, 75 % ou 90 % et des distances variant de 3,3 km à 2 900 km. Les valeurs en dessous de 0 indiquent une réduction des émissions de GES relative au scénario fossile comparé en fonction du temps.

Des retombées économiques et sociales pour les communautés

En plus des objectifs de réduction des émissions de GES, la bioénergie offre des retombées socioéconomiques pour les communautés autochtones. Cependant, les communautés font souvent face à des obstacles économiques, opérationnels, socioculturels et environnementaux pour mener à bien les projets de bioénergie. Les barrières identifiées comprennent

un investissement initial élevé, les défis logistiques et opérationnels liés au développement durable et rentable d'une chaîne d'approvisionnement en bois et les possibilités limitées de leadership communautaire (Buss, Mansuy et Madrali, 2021 ; Zurba et al., 2020). Les défis liés aux risques environnementaux sont moins importants ; cependant, les communautés s'accordent à dire que les changements climatiques sont le principal facteur environnemental qui perturbe la chaîne d'approvisionnement en bioénergie. Pour maximiser les chances de succès des projets de bioénergie d'un point de vue environnemental, mais aussi socioéconomique, il est donc primordial de développer le leadership et l'engagement des communautés. Cette étape nécessite

souvent la collaboration avec un « champion » local pour développer le projet. Son rôle comprend la coordination avec les consultants externes et les représentants du gouvernement pour sécuriser du soutien financier grâce à des programmes de subventions gouvernementaux. Il est aussi important de motiver les membres de la communauté et de former les personnes qui souhaitent s'impliquer dans les activités quotidiennes comme la gestion de projet, assurer le bon fonctionnement des équipements ou mettre en place des pratiques de récolte de biomasse durables. Cette étape est fastidieuse, mais ne doit pas être négligée, car elle est la clé pour susciter l'intérêt des membres de la communauté, et s'assurer ainsi que les investissements et les bénéfices environnementaux et socioéconomiques profitent à la communauté sur le long terme.

Les projets de bioénergie dirigés par les Autochtones visent également à promouvoir la gestion communautaire des ressources et l'autonomie dans le développement et la gestion de l'énergie. Le transfert des prises de décision aux autorités locales permet ainsi de réduire la dépendance d'une communauté vis-à-vis des ressources externes telles que la main-d'œuvre, l'expertise et la matière première, comme la biomasse importée. L'utilisation d'une matière première et d'une main-d'œuvre locale peut créer des emplois locaux et des possibilités de formation pour la gestion de la biomasse locale (c'est-à-dire la récolte, le stockage, la gestion de la fourniture) plutôt que de dépendre sur une expertise externe. Dans l'étude de Buss et al. (2022), il a ainsi été estimé que l'utilisation de la biomasse locale pour la bioénergie pourrait créer jusqu'à 642 jours d'emploi à temps plein à Fort McPherson. En plus de la création d'emploi, les revenus et les dépenses provenant de la production et de la vente de bioénergie restent dans la communauté et le coût de l'énergie se trouve réduit. Le coût estimé de l'énergie pour les copeaux de bois locaux varie de 34 \$ à 56 \$/GJ et de 29 \$ à 41,52 \$/GJ pour les granules de bois importés, contre 45 \$/GJ à 62 \$/GJ pour le diesel importé.

Intégrer la bioénergie aux écosystèmes nordiques

Les écosystèmes nordiques, et les populations qui y vivent sont particulièrement vulnérables aux conséquences des changements climatiques. Les répercussions y sont déjà perceptibles sur la productivité et la répartition d'écosystèmes, le régime de perturbations comme les feux de forêt, la biodiversité, ainsi que sur les infrastructures, l'économie et la santé des collectivités. Certaines communautés ont déjà mentionné les changements climatiques comme barrière majeure au développement de la bioénergie, considérant les

conséquences sur l'accessibilité de la biomasse, sa qualité, la productivité des forêts, le transport et les infrastructures de stockage (Buss, Mansuy et Madrali ; 2021). Dans un contexte de changements rapides des écosystèmes nordiques, il est donc nécessaire d'intégrer la filière bioénergie comme partie intégrante des stratégies d'adaptation aux changements climatiques afin de concevoir et de mettre en œuvre des pratiques durables et politiques adaptées aux conditions futures. Par exemple, afin de diminuer la pression sur ces écosystèmes déjà vulnérables, certaines communautés autochtones récoltent la biomasse en suivant les pratiques traditionnelles et ancestrales de gestion du territoire et d'éviter ainsi la compétition avec les autres valeurs et services du paysage. Certaines collectivités sont particulièrement exposées au risque de feu de forêt et réfléchissent à la façon d'intégrer de façon proactive la récolte de biomasse pour la bioénergie à la gestion du combustible forestier à risque afin de mitiger l'augmentation du risque de feu de forêt.

RÉFÉRENCES

Buss, J., Mansuy, N., Laganière, J. et Persson, D. (2022).

Greenhouse gas mitigation potential of replacing diesel fuel with wood-based bioenergy in an arctic Indigenous community: A pilot study in Fort McPherson, Canada. *Biomass and Bioenergy*, 159, 106367.

Buss, J., Mansuy, N. et Madrali, S. (2021). De-risking wood-based bioenergy development in remote and indigenous communities in Canada, *Energies* 14,2603.

Heerema, D. (2019). The true cost of energy in remote communities — Understanding diesel electricity generation terms and economics — A framework for shared terminology, Pembina Institute.

International Energy Agency. (2017). Total primary energy supply by source.

Laganière, J., Paré, D., Thiffault, E. et Bernier, P.Y. (2017). Range and uncertainties in estimating delays in greenhouse gas mitigation potential of forest bioenergy sourced from Canadian forests. *Glob. Change Biol. Bioenerg.* 9 [2017] 358–369.

Mansuy, N., Barrette, J., Laganière, J., Mabee, W., Paré, D., Gautam, S., Thiffault, E. et Ghafghazi, S. (2018). Salvage harvesting for bioenergy in Canada: from sustainable and integrated supply chain to climate change mitigation, Wiley Interdiscip. Rev: *Energy Environ.* 7 e298.

Pembina Institute. (2020). Diesel reduction progress in remote communities.

Ressources naturelles Canada. (2018). The Atlas of Canada — Remote communities energy database.

Statistique Canada. (2018). Système de comptabilité économique et environnementale du Canada : utilisation d'énergie et émissions de gaz à effet de serre, 2018.

Zurba, M. et Bullock, R. (2020). Bioenergy development and the implications for the social wellbeing of Indigenous peoples in Canada, *Ambio*, 49 [2020], 299–309.

LA PREUVE PAR SATELLITE

Alain Royer

Professeur

Centre d'applications et de recherches en télédétection (CARTEL) et Centre d'études nordiques
Université de Sherbrooke

Nicolas Marchand

Chercheur

Centre d'applications et de recherches en télédétection (CARTEL)
Université de Sherbrooke

En 1980, alors que le réchauffement climatique commençait à donner des signes d'accélération, près de la moitié de la population actuelle du Québec n'était pas encore née ! Mais déjà, des satellites étaient en orbite, non pas pour le climat, mais pour la météo et pour observer la Terre. Quarante ans plus tard, ces observations spatiales s'avèrent être des outils extraordinaires pour étudier ce qui s'est passé et ce qui se passe actuellement dans l'Arctique.

Température de surface

La température de l'air en surface, mesurée à deux mètres au-dessus de la terre ou de la couverture de glace, est l'un des indicateurs les plus parlants du changement climatique. Les relevés en station météo sont des standards bien établis et utilisés pour référence. Cependant, dans l'Arctique, ces stations sont peu nombreuses. Toutefois, les mesures satellites qui captent la température émise par la surface du sol (dans le domaine de l'infrarouge thermique) complètent avantageusement celles qui mesurent la température de l'air. La température de surface est indépendante des stations météo et couvre toute la surface (données spatiales maillées et régulières) depuis maintenant 40 ans.



Crédit photo : Deborah Diem

Comiso et Hall (2014) ont été des pionniers dans l'exploitation de ces données en établissant une corrélation importante entre ces températures, particulièrement bonne sur la glace de mer en hiver, là où il n'y a quasiment aucune station météo. Sur la période 1981-2012, l'augmentation de la température de l'air arctique ($>64^{\circ}\text{N}$) était de $+0,60^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ alors que celle de la surface était de $+0,69^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$. Les variations régionales observées ont été une découverte pouvant expliquer ces différences. Sur la période 1980-2000, l'Arctique s'est réchauffé et est devenu plus nuageux au printemps et en été, mais il s'est refroidi et est devenu moins nuageux en hiver dans certaines régions, notamment dans le centre de l'océan Arctique. Si les quantités de nuages saisonniers n'avaient pas changé comme pendant ces deux décennies, le réchauffement de la surface aurait été encore plus important que ce qui a été observé.

En revanche, les observations sur la période 2000-2020 montrent que le centre de l'océan Arctique s'est réchauffé de manière importante, de sorte que l'effet global sur l'ensemble de la période est un réchauffement hivernal plutôt qu'un refroidissement. Ces différences régionales soulignent la nécessité d'une bonne couverture spatiale homogène et, par conséquent, le besoin d'observations satellites. Les séries de données satellites couvrent cependant une période relativement courte (40 ans depuis 1980) par rapport aux observations au sol datant des années 1880. La figure 1A compare l'évolution des températures de l'air pour l'Arctique ($60\text{--}90^{\circ}\text{N}$)

à celle des températures du globe de 1960 à 2020. La tendance sur les quatre dernières décennies montre un réchauffement moyen de $0,33^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ sur l'ensemble de la planète (trait pointillé bleu), alors qu'il est plus du double dans l'Arctique (trait pointillé rouge), soit $0,72^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ (Figure 1A).

Étendue, âge et épaisseur de la glace de mer arctique

S'il y a un domaine où l'observation satellite a fait la preuve des conséquences du réchauffement, c'est bien dans la mesure des variations de l'étendue de la glace de mer par radiométrie micro-onde satellite, extrêmement précise pour l'ensemble du globe. En raison de la différence d'émissivité de la glace (élevée) par rapport à l'eau de mer (basse), la valeur mesurée de « température de brillance émise » par la glace est plus élevée que celle émise par l'eau (oui, la glace apparaît plus chaude que l'eau dans les micro-ondes !). Chaque pixel, de $25 \times 25 \text{ km}$, peut ainsi être identifié comme étant un pixel de glace ou d'eau, tous les jours de l'année sur tout l'Arctique depuis 1979, soit le début des mesures satellites micro-ondes. Ces données spatiales ont permis de calibrer les estimations antérieures. Sur les six dernières décennies, il en résulte une spectaculaire perte constante de 50 % de surface de glace au moment du minimum de son étendue à la fin de l'été (Figure 1B). De plus, ces mesures permettent

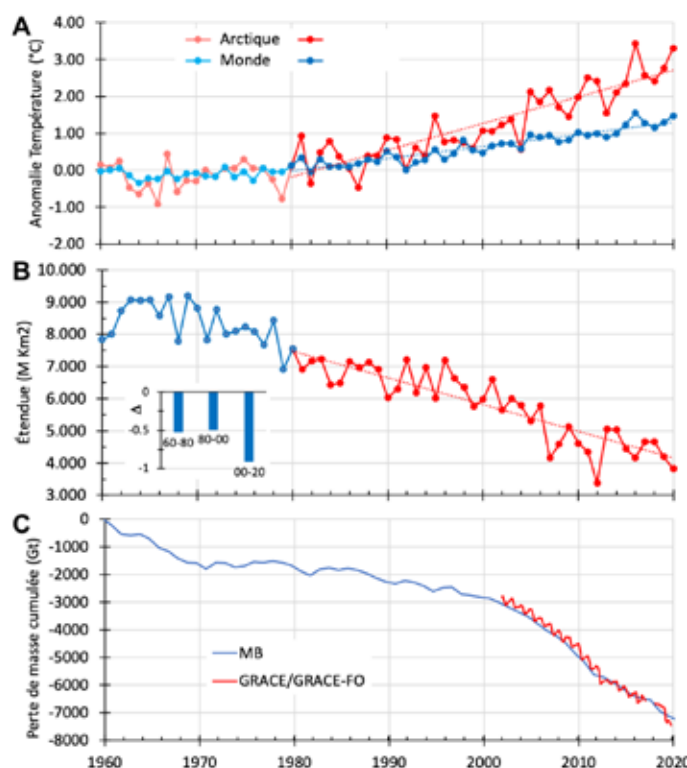


Figure 1. Variation de trois indicateurs du climat observés sur les six dernières décennies (1960-2020) : température, glace de mer et perte de masse du Groenland. La période 1980-2020 montre un changement important du régime de l'environnement nordique :

A) Anomalie (par rapport à la moyenne 1980-2010) de la température de surface ($^{\circ}\text{C}$) de l'Arctique ($60\text{--}90^{\circ}\text{N}$) (points rouges et roses) comparée à celle du globe (points bleu clair et foncés). Pour les deux zones, il s'agit de valeurs sur terre seulement, sans le Groenland, tirées de la base de données CRUT5 de la Climatic Research Unit de la University of East Anglia, au Royaume-Uni, et du Met Office, au Royaume-Uni (Osborn et al., 2021). Les données intègrent des observations satellites aux mesures de stations.

B) Couverture de la glace de mer de l'Arctique (M km², millions de km²) au moment du minimum de son étendue en septembre. Les données avant 1979 (en bleu), issues de la base de données HadISST du Hadley Centre, au Royaume-Uni, sont basées sur plusieurs sources, y compris les cartes opérationnelles des glaces. Celles de 1979-2020 (en rouge) sont dérivées des observations satellites micro-ondes (Fetterer et al., 2022). En médaillon : le taux de changement moyen de l'étendue de glace de mer par période de 20 ans (Δ , millions de km²/décennie).

C) Perte de masse cumulée du Groenland (Gigatonne, Gt). Les données du bilan de masse (noté MB, pour *Mass Balance*, trait bleu) sont issues d'une combinaison de mesures au sol et de modèles (Mankoff et al., 2021) et celles de 2002-2020 (points rouges) des mesures des satellites des missions GRACE et GRACE-FO (Polar Portal : <http://polarportal.dk/en/greenland/mass-and-height-change/>). La courbe bleue correspond à un lissage annuel.

de bien localiser les zones de changements interannuelles (<http://nsidc.org/arcticseaicenews/>). Ces données mettent en évidence une accélération de la fonte à partir des années 2000 (-0,9 million km²/décennie), essentiellement tirée par les deux records de minimum d'étendue de glace, en 2007 et en 2012 (Figure 1B). Ce sont des événements météorologiques particuliers (tempêtes) qui ont poussé la glace déjà fragilisée vers l'Atlantique. Ces accélérations du processus de perte de glace sont-elles des rétroactions positives du réchauffement (qui précipite sa disparition estivale)? La question inquiète!

Plus grave encore que l'étendue de glace de mer qui disparaît chaque été comme peau de chagrin, c'est la disparition de la vieille glace, plus épaisse, qui inquiète; celle qui résiste à la fonte saisonnière. L'âge de la glace de mer est estimé à partir du suivi des pixels de glace utilisant leurs vecteurs de mouvements sur une base hebdomadaire. L'âge de la glace de mer est généralement un *proxy* de son épaisseur, la vieille glace étant typiquement plus épaisse. L'épaisseur de la glace est mesurée par une combinaison de données satellites altimétriques radar (Cryosat-2) et laser (ICESat-2) (Kwok et al., 2020) ainsi que par radiométrie micro-onde à basse fréquence (SMOS) (Ricker et al., 2017).

Toutes ces données convergent vers le même constat. La figure 2 compare le changement d'étendue des glaces de différents âges pour les années 1985 et 2020. On observe une diminution d'un facteur 10 dans la superficie de la glace âgée de quatre ans et plus (en rouge), où elle est passée de 2,5 millions de km² en 1985 à 0,25 million de km² en 2021. L'épaisseur moyenne de la glace de mer à la fin de la saison de fonte a diminué de plus de 2 m (66 %) en six décennies, par rapport à la période de mesures par sous-marins d'avant 1980 (Kwok, 2018).

Calotte glaciaire du Groenland

C'est une autre des manifestations spectaculaires du réchauffement climatique. L'immense calotte glaciaire du Groenland a perdu 4 700 milliards de tonnes en l'espace de 20 ans (Figure 1C), contribuant à elle seule à une hausse des océans de 1,2 cm. C'est actuellement le principal facteur de la montée des océans, même s'il ne s'agit actuellement que de 0,2 % de la masse totale de la calotte.

Ce qui est remarquable ici, c'est la manière dont le bilan de masse de la calotte est estimé depuis l'espace. Dans les études antérieures, on mesurait au sol le changement de volume de la calotte à intervalles de quelques années. Les mesures satellites sont réalisées par les missions spatiales GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*). GRACE « pèse » le Groenland de mois en mois à l'aide de deux engins spatiaux jumeaux, avec une première paire lancée en mars 2002, puis une deuxième paire en mai 2018 (GRACE-Follow On) dans le cadre d'un projet conjoint des agences spatiales américaine et allemande. En volant en tandem à 220 kilomètres l'un de l'autre, les satellites mesurent les variations subtiles de la gravité lorsqu'ils passent au-dessus d'une grande masse à la surface, à partir de la distance qui les sépare lorsque la masse ajoutée tire d'abord sur le satellite de tête, puis sur celui de queue. Les changements de gravité d'un passage à l'autre reflètent les changements de la masse glacée en dessous. La figure 1C illustre la décroissance constante de la perte cumulée de masse déjà importante sur la période 1960-1970 par des mesures et modèles. L'accélération de cette perte

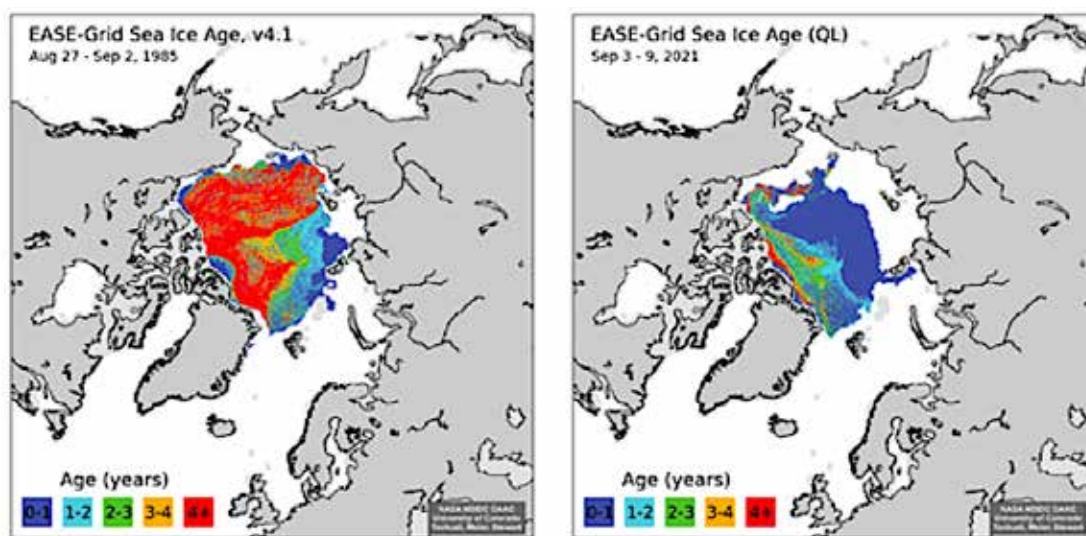


Figure 2. Étendue de la glace de mer à son minimum en 1985 (à gauche) et en 2020 (à droite), présentée par âge, dérivée d'observations satellites (données tirées de Tschudi et al., 2019).

de masse, confirmée par satellites, est flagrante depuis les années 2000. En plus d'une augmentation de la fonte de surface (neige et glace) et du ruissellement, cette accélération pourrait résulter de la décharge accrue de glace solide par vêlage en mer des glaciers de la marge continentale. Les images satellites permettent de mieux suivre ce processus mal quantifié.

Végétation

Les observations satellites de la végétation des régions nordiques montrent des zones avec une tendance au « verdissement » (plus de couverture végétale, augmentation de biomasse aérienne), d'autres avec une tendance au « brunissement » (perte de végétation, biomasse aérienne décroissante) ainsi que des zones de « stabilité ».

Les tendances satellites de l'indice foliaire de la végétation (fraction de l'espace occupée par les feuilles) montrent que plus de 50 % de la végétation arctique n'a pas changé de manière importante malgré le réchauffement rapide des dernières années (Figure 3A). Mais les zones de stabilité apparente (tendance

nulle) ne signifient pas nécessairement qu'il n'y a aucun changement écologique. Les mécanismes des changements ou de stabilité des écosystèmes arctiques face au réchauffement climatique rapide sont complexes et font l'objet de nombreuses controverses. Ils varient sous l'effet de plusieurs facteurs locaux et régionaux, comme les précipitations qui augmentent en général et la neige qui diminue (-4 et -15 %/décennie pour mai et juin, respectivement, pour la période 1981-2021), mais aussi les facteurs indirects : la glace de mer à proximité, le dégel du pergélisol, l'humidité du sol ou les processus de perturbations (feux). L'archipel arctique canadien, par exemple, ne montre pas de tendance au verdissement. Le maximum estival de l'indice de végétation satellite NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* : cet indice basé sur le contraste spectral rouge/infrarouge de la chlorophylle/feuille est lié à la productivité végétale) sur l'ensemble de la zone de la toundra arctique montre une augmentation moyenne considérable sur les quatre dernières décennies (+3 % par décennie, $R^2=0,61$) et pour l'ensemble de la zone de toundra arctique (Figure 3B). Cette augmentation est associée à l'envahissement de la toundra par des arbustes.

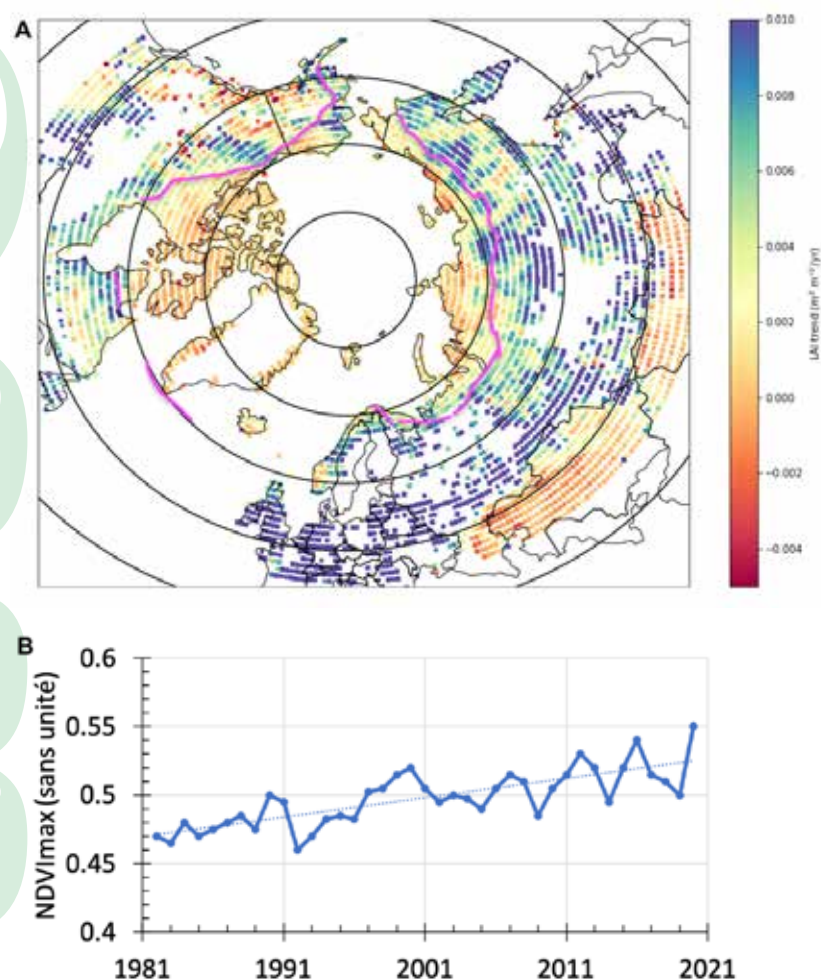


Figure 3. Indices satellites de végétation au maximum estival : A) Tendance de l'indice foliaire satellite 1981-2018 ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}/\text{année}$) [tiré de la base de données CCI LAI ESA, Claverie et al. 2016], avec la limite des arbres (trait mauve, *Circumpolar Arctic Vegetation Map*, <https://www.caff.is>) ; B) Tendance de l'indice spectral de végétation (NDVI) 1982-2020 moyenné au-dessus de la limite des arbres [tiré de la base de données GIMMS-3g+, Pinzon et Tucker, 2014].

Conclusion

L'environnement arctique, et notamment la cryosphère, tend vers de nouveaux états de changements sans précédent, avec des effets en cascades. La hausse des températures qui s'accélère a clairement une incidence sur trois indicateurs précisément mesurés par satellite, comme l'a démontré cet article (la glace de mer, la fonte du Groenland et la couverture végétale). Certains d'entre eux dépassent des seuils devenus inéluctables : à quand la voile au pôle Nord libre de glace ?

De nombreux travaux restent à faire pour le suivi des interactions au sein des multiples indicateurs climatiques de l'Arctique et entre eux, et surtout concernant les rétroactions que ces changements pourraient avoir sur le climat, notamment le dégel du pergélisol. Les observations satellites restent la clé pour mieux comprendre cette évolution. La communauté scientifique a proposé récemment une initiative internationale pour la création d'un « observatoire spatial du climat » (<https://www.oneplanetsummit.fr>). Cet observatoire permettra d'outiller la décision publique, d'améliorer la communication auprès des parties prenantes (grand public, chercheurs, organismes environnementaux, ministères, etc.) et de contribuer aux objectifs de développement durable de notre planète.

RÉFÉRENCES

Claverie M. et al. (2016). A 30+ Year AVHRR LAI and FAPAR Climate Data Record: Algorithm Description and Validation. *Remote Sensing*, 263. doi.org/10.3390/rs8030263.

Comiso J.C. et Hall D.K. (2014). Climate trends in the Arctic as observed from space. *WIREs Clim Change*, 5:389–409. doi: 10.1002/wcc.277.

Fettere F., Knowles K., Meier W. N., Savoie M. et Windnagel A. K. (2022). *Sea Ice Index, Version 3*. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. doi.org/10.7265/N5K072F8.

Kwok R. (2018). Arctic sea ice thickness, volume, and multiyear ice coverage: losses and coupled variability (1958–2018). *Environ. Res. Lett.*, 13(10). doi.org/10.1088/1748-9326/aae3ec.

Kwok R., Kacimi S., Webster M. A., Kurtz N. T. et Petty A.A. (2020). Arctic Snow Depth and Sea Ice Thickness from ICESat-2 and CryoSat-2 Freeboards: A First Examination. *J. Geophys. Res.*, 125. doi.org/10.1029/2019jc016008, 2020.

Mankoff K. D. et al. (2021). Greenland ice sheet mass balance from 1840 through next week, Earth Syst. Sci. Data, 13, 5001–5025. doi.org/10.5194/essd-13-5001-2021.

Osborn T. J. et al. (2021). Land surface air temperature variations across the globe updated to 2019: the CRUTEM5 dataset. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 126. doi.org/10.1029/2019JD032352.

Pinzon J. et Tucker C. (2014). A non-stationary 1981–2012 AVHRR NDVI3g time series. *Remote Sens.*, 6, 6929–6960. doi.org/10.3390/rs6086929.

Ricker R., Hendricks S., Kaleschke L., Tian-Kunze X., King J. et Haas C. (2017). A weekly Arctic sea-ice thickness data record from merged CryoSat-2 and SMOS satellite data, *The Cryosphere*, 11, 1607–1623. doi.org/10.5194/tc-11-1607-2017.

Tschudi M., Meier W. N., Stewart J. S., Fowler C. et Maslanik J. (2019). *EASE-Grid Sea Ice Age, Version 4*. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. doi: <https://doi.org/10.5067/UTAV7490FEPB>.

Enjeux de société

LA COMMUNICATION ENVIRONNEMENTALE : QU'EST-CE QUE C'EST ET COMMENT ENTEND-ELLE CONTRIBUER AUX PISTES DE SOLUTION RELATIVES À LA CRISE CLIMATIQUE ?

Oumar Kane

Professeur titulaire

Département de communication sociale et publique

Université du Québec à Montréal

Dans *La société du risque*, paru en 1986, qui constitue l'un des ouvrages les plus cités dans la littérature scientifique en sciences sociales, Ulrich Beck procède à une analyse écologique et critique de la société contemporaine et forge le concept de « société mondiale du risque ». Dans cette perspective, l'engagement des acteurs et des mouvements sociaux peut être relié à l'émergence de controverses sociétales nouvelles concernant l'existence et la définition d'un risque inédit auquel nous ferions collectivement face. Autrement dit, il s'agit d'un niveau de « tolérance au risque » différent selon les acteurs sociaux, ce qui génère des engagements politiques et sociaux différenciés dans divers espaces de débats publics.

Par voie de conséquence, la question environnementale fait l'objet d'un investissement communicationnel important de la part d'organisations, de groupes et d'individus à toutes les échelles dans l'espace public en vue de promouvoir leurs vues et de renforcer leur légitimité à travers l'adhésion de l'opinion publique. L'entrée dans le vocabulaire public de mots comme « anthropocène », « gaz à effet de serre » ou « transition écologique » atteste de l'importance sociétale de cet enjeu auquel Rachel Carson a apporté une importante visibilité publique, au début des années 1960, avec son ouvrage pionnier *Le printemps silencieux*.

Ces stratégies pour la visibilité, l'influence et la légitimité tracent le contour du rôle de la communication dans les processus visant à changer l'ordre des choses et à favoriser les perceptions, les comportements et les politiques protectrices de l'environnement. L'étude de ces processus fait l'objet de nombreuses recherches en sciences de la communication depuis quelques décennies (Comfort et Park, 2018). Cette préoccupation recoupe la question fondamentale de la relation que la communication entretient avec le changement social.

Les considérations présentées ici sont pertinentes pour la crise écologique globale. La perte importante de biodiversité, la pollution et les bouleversements climatiques sont des axes importants de cette crise écologique. Par conséquent, les enjeux évoqués ici sont pertinents pour les bouleversements climatiques, même s'ils ne leur sont pas spécifiques à proprement parler.

La communication environnementale : domaine de recherche et espace de pratiques

La communication environnementale est un domaine de spécialité des sciences de la communication qui s'intéresse aux questions environnementales. On fait remonter sa naissance au début des années 1980 aux États-Unis. Elle serait issue de la rhétorique et aurait été initiée par Christine Oravec, auteure d'un article publié en 1984 qui analyse les discours publics ayant opposé, au début du XX^e siècle aux États-Unis, les conservationnistes et les préservationnistes à propos de la construction d'un barrage dans un site contesté, celui de Yosemite Park (Oravec, 1984).

À la suite de ces travaux pionniers, la communication environnementale a connu un important essor. Son développement est fortement lié à la prise de conscience sociétale de l'importance des enjeux environnementaux dans le monde contemporain. En témoignent les ministères et administrations, les revues scientifiques, les colloques, les sites Internet, les mouvements sociaux, les manifestations publiques, etc., qui ont tous pour préoccupation première la prise en charge collective de la dégradation de notre environnement naturel. La communication environnementale y répond de deux manières : comme activité pratique et comme domaine de recherche scientifique.

La communication environnementale comme domaine de recherche

Sur le plan le plus général, la communication environnementale peut être décrite comme un champ d'études qui se situe à l'articulation des théories de la communication et des théories de l'environnement dans le but d'analyser le rôle et l'influence de la communication dans les problématiques environnementales.

La diversité des théories et des approches mobilisées en communication environnementale reflète la provenance et les domaines de spécialisation d'origine des chercheuses et chercheurs qui investissent ce domaine. La théorie médiatique, la rhétorique, la science politique, l'analyse systémique, l'économie politique et les études culturelles sont entre autres mises à profit, chacune mobilisant la perspective qui lui est propre.

Une importante dimension critique est présente dans la recherche en communication environnementale, de pair avec une préoccupation éthique omniprésente. Cette dernière cherche à articuler la recherche et l'action en vue de changer l'ordre des choses face à la crise à laquelle l'humanité fait face. L'un des plus importants défenseurs de cette approche éthique est Cox (2007), pour qui la communication environnementale est une *discipline de crise*¹ dont l'urgence de la tâche est d'ordre éthique et doit consister non seulement à étudier et à analyser, mais également à intervenir et à changer l'ordre des choses dans un contexte de crise.

La communication environnementale comporte deux dimensions importantes : elle est *pragmatique* et *constitutive* (Cox, 2010). D'un côté, elle est constitutive dans la mesure où tant les échanges verbaux ordinaires que les communications médiatisées technologiquement (presse, radio, Internet, etc.) ont une influence importante sur la perception individuelle et collective tant du social que de l'environnement dit naturel.

D'un autre côté, la communication est *pragmatique* : il faut entendre par là qu'elle permet d'apporter des solutions concrètes sous forme de conscientisation, de persuasion, de mobilisation, d'éducation, etc. La communication est de ce fait le médium (moyen)

1. Pour Cox (2007), les conditions de naissance de la communication environnementale sont indissociables d'un risque majeur qui l'a rendue possible à la suite d'une exploitation effrénée des ressources de notre environnement naturel.

incontournable de production, de médiation, de négociation et de décision entre les différentes propositions en concurrence pour la résolution des problèmes environnementaux auxquels nous sommes collectivement confrontés. Cette dimension pragmatique permet de bien saisir, comme nous allons maintenant le voir, pourquoi les pratiques sont particulièrement importantes en communication environnementale.

La communication environnementale comme espace de pratiques

La communication environnementale est également une activité sociale concrète qui regroupe des formes de communication (interpersonnelle, publique, organisationnelle, interculturelle, médiatique, etc.) qui portent sur des problèmes environnementaux socialement construits, débattus et (ir)résolus.

La communication environnementale en tant que pratique « ne reflète pas simplement les relations entre les humains et l'environnement, elle construit, produit et naturalise ces relations » (Milstein, 2009, p. 345). Par conséquent, la question environnementale devient le lieu d'enjeux et d'intérêts construits à travers

des processus communicationnels et des stratégies discursives et médiatiques. Les contextes des interactions et les intérêts des acteurs en présence sont à prendre en compte pour saisir adéquatement la logique des pratiques en matière de communication environnementale, qu'elles soient verbales ou non verbales, publiques ou interpersonnelles, en face à face ou médiatisées technologiquement.

La communication environnementale comme espace de pratiques recouvre un domaine très large. Si elle est spontanément associée à des figures charismatiques comme Al Gore, Wangari Maathai, Greta Thunberg ou Chico Mendes, elle ne se réduit pas à l'action de ces personnalités fortement médiatisées. Si on retient une définition large de la communication environnementale comme étant toute forme de communication qui porte sur les affaires environnementales (Meisner, 2015), il s'ensuit alors que la communication environnementale ne saurait être le monopole d'environnementalistes vertueux, car même les industries polluantes en sont des acteurs importants. Il convient par conséquent de recourir à une définition pragmatique et de privilégier un critère pratique pour déterminer le domaine et ses acteurs. La communication environnementale regroupe dans cette perspective l'ensemble des pratiques de communication à destination du public entreprises par tout acteur et portant sur le thème de l'environnement.

Parallèlement aux questions relatives au périmètre, à la définition et aux acteurs de la communication environnementale, un autre enjeu a acquis une grande importance en son sein : la question de l'interdisciplinarité, qui a des implications à la fois théoriques et pratiques que nous allons à présent préciser.

Communication environnementale : interdisciplinarité et intersectorialité

La communication environnementale est à la fois un *champ de recherche* et un espace de pratiques qui s'attaque à la crise socioécologique (relation entre le monde social et l'environnement naturel) et qui s'appuie sur des notions telles que le consensus, le dialogue, le partenariat, la pédagogie ou la responsabilité. Ce domaine complexe implique une multiplicité d'acteurs, de formes de savoir et d'enjeux (Kane, 2016). Cette complexité a une conséquence importante : la nécessité de faire dialoguer des acteurs sociaux et des champs de savoir très différents les uns des autres. Il s'agit en d'autres mots de privilégier une approche interdisciplinaire et intersectorielle de la communication environnementale (tant pour la recherche que dans les activités pratiques).

Bénéfices de l'interdisciplinarité : saisir la complexité

Malgré le caractère de plus en plus prolifique de la littérature en communication environnementale (Anderson, 2015 ; Bayes, Bolsen et Druckman, 2020), dans les faits, peu d'attention a été portée à l'intégration dans un cadre de communication élargi de l'apport des différents domaines de savoir (champs disciplinaires) et des différentes catégories d'acteurs (spécialistes, politiques, population citoyenne, etc.). Si on fait le diagnostic de la communication environnementale, on observe qu'il y a un écart entre la nécessité théorique de l'interdisciplinarité et le constat pratique de sa relative discrétion.

Malgré tout, il importe de noter que l'un des apports importants des sciences de la communication est de contribuer à considérer l'environnement comme un objet de préoccupation sociétale et non plus comme le domaine réservé des disciplines dites dures (biologie, climatologie, géologie, chimie, etc.). La communication vient ici au secours des sciences dures qui, tout en proposant un diagnostic de la situation, sont mal outillées pour décider « ce qu'il faudrait faire », ce qui relève de la sphère éthico-politique. C'est pourquoi il semble nécessaire d'élargir la palette d'intervention : « Passer d'un état de fait à un état de droit dans la gouvernance mondiale des biens communs suppose en effet d'associer l'expert, le diplomate et le juriste, mais aussi d'intégrer le point de vue, les aspirations et les droits de l'usager-citoyen. » (Mabi et Massit-Folléa, 2013, p. 3) Cela renforce l'argument en faveur d'une plus grande mixité des savoirs et des acteurs dans le cadre de la gouvernance des questions environnementales.

Les bouleversements des équilibres naturels sont en effet à comprendre comme des problèmes *socioécologiques*, aux dimensions conjointement physiques et sociales. Pour être correctement analysés, ils nécessitent la contribution de plusieurs disciplines scientifiques dans le cadre d'une approche interdisciplinaire. Dans ce cadre, la communication est bien outillée pour établir une *métacommunication* entre les parties prenantes au processus interdisciplinaire et qui sont porteuses de valeurs, de pratiques, de manières de voir et d'expériences différentes². Il s'agit de créer des liens entre trois sphères auparavant distinctes : la recherche scientifique, le savoir expérientiel des acteurs sociaux et les actions sur le terrain. Contrairement aux approches traditionnelles qui considèrent comme naturel et automatique le transfert de la connaissance scientifique vers la sphère de la décision politique (« trickle down and transfer »), la recherche interdisciplinaire se donne explicitement pour objectif de créer, de maintenir et d'améliorer une écologie relationnelle entre les scientifiques, les politiques et la société civile. En raison de son histoire et de ses spécificités, la recherche en communication est particulièrement bien outillée pour aider à penser et à mettre en pratique cette écologie de la relation, puisque c'est son objet d'étude propre. De plus, toute communication peut se ramener d'une certaine manière à une forme ou une autre de mise en relation.

2. À titre d'exemple, les chercheurs et chercheuses en sciences naturelles ont plus tendance à considérer comme des sphères distinctes leurs statuts de chercheurs et de citoyens que ceux et celles en sciences sociales, qui ont plus tendance à intégrer ces deux dimensions dans leur identité.

Mais l'atteinte d'une authentique interdisciplinarité n'est pas chose aisée. Dans les sciences de la communication, cette nécessité se heurte à plusieurs écueils. La difficulté est de « dépasser le stade de la simple analyse des messages pour entreprendre un travail collaboratif avec les communautés, les institutions médiatiques et les scientifiques qui s'intéressent au changement climatique » (Smith et Lindenfeld, 2014, p. 183). L'intersectorialité offre les outils pour surmonter cet obstacle.

Avantages de l'intersectorialité : favoriser le changement

L'interdisciplinarité (d'ordre scientifique) nécessite d'être complétée par une intersectorialité (implication de plusieurs catégories d'acteurs sociaux) pour permettre la prise en compte d'une grande diversité de voix dans le processus de gestion publique des questions environnementales. C'est en effet la condition pour atteindre le stade de la véritable *gouvernance* par opposition à un modèle de *gouvernement* dans lequel seules les autorités publiques prennent la décision avec l'aide des experts sur la base de la légitimité qu'elles estiment avoir acquise par le suffrage électoral. La *gouvernance* est de ce fait un processus beaucoup plus large et inclusif que le *gouvernement*. Ce modèle de gestion est basé sur la prémisse que l'environnement est un *bien commun* qui nécessite de délaisser le modèle technocratique de décision (gouvernement) qui va hiérarchiquement du haut vers le bas (*top down*) pour privilégier une approche basée sur la concertation (gouvernance) qui propose des solutions à partir des préoccupations des citoyens (*bottom up*).

L'apport particulier de la recherche en communication réside dans le fait qu'elle est particulièrement adaptée pour penser la création et le maintien de liens entre la population citoyenne, les activistes et les scientifiques, inscrivant ainsi ce champ de recherche dans une approche de type « résolution de problèmes », qui est très différente de celle de la recherche classique. Il s'agit par là de consacrer la dimension pratique de la recherche en communication environnementale. Cette pragmatique de la communication environnementale ne saurait être réduite aux seuls scientifiques. Elle concerne également la collaboration avec la société civile et les personnes concernées sur le terrain en vue de parvenir à une large synergie, qui est la condition nécessaire d'une dynamique

sociétale. Plus qu'une *recherche*, il s'agirait de mettre en place une *collaboration*. Le caractère multidimensionnel des enjeux environnementaux nécessite par conséquent la prise en compte de différentes formes de savoir, de connaissance et d'expertise détenus par différentes catégories d'acteurs. Cette reconnaissance pose à son tour la question fondamentale de la légitimité des acteurs et de la revalorisation de la place du public dans le processus de gouvernance de l'environnement.

RÉFÉRENCES

- Anderson, A. (2015).** Reflections on environmental communication and the challenges of a new research agenda. *Environmental Communication*, 9(3), 379-383.
- Bayes, R., Bolsen, T. et Druckman, J. N. (2020)** A Research Agenda for Climate Change Communication and Public Opinion: The Role of Scientific Consensus Messaging and Beyond. *Environmental Communication*, 1-19.
- Cox, R. (2007).** Nature's "Crisis Disciplines": Does Environmental Communication Have an Ethical Duty? *Environmental Communication: A Journal of Nature and Culture*, 1, 5-20.
- Cox, R. J. (2010).** *Environmental communication and the public sphere*. Sage : Thousand Oaks, Calif.
- Kane, O. (2016).** *La communication environnementale. Enjeux, acteurs et stratégies*. Paris : L'Harmattan.
- Mabi, C. et Massit-Folléa, F. (2013).** La gouvernance des biens communs. Du climat à internet, premières leçons d'une comparaison. *Communication*, 31(2). Repéré à <http://communication.revues.org/4403>
- Meisner, Mark (2015).** Environmental Communication: What It Is and Why It Matters. Repéré à IECA, <https://theieca.org/resources/environmental-communication-what-it-and-why-it-matters>
- Milstein, T. (2009).** Environmental communication theories. *Encyclopedia of Communication Theory*, 344-349.
- Oravec, C. (1984).** Conservationism vs. Preservationism: "Public Interest" in the Hetch Hetchy Controversy. *Quarterly Journal of Speech*, 70, 444-458.
- Smith, H. M. et Lindenfeld, L. (2014).** Integrating Media Studies of Climate Change into Transdisciplinary Research: Which Direction Should We Be Heading? *Environmental Communication*, 8(2), 179-196.

LA BIODIVERSITÉ DANS LA PRESSE ÉCRITE QUÉBÉCOISE : UNE CONSTRUCTION SOCIOMÉDIATIQUE COMPLEXE

Olivier Champagne-Poirier

Professeur

Département de communication

Université de Sherbrooke

En septembre 2019, dans le tout premier numéro du *Climatoscope*, Pierre Legagneux, Kevin Cazelles et Dominique Gravel ont présenté l'article intitulé *Sommes-nous bien informés ? Écarts entre la couverture du changement climatique et de la biodiversité par les médias et la littérature scientifique*. Les chercheurs présentaient alors une enquête bibliométrique lors de laquelle ils ont, notamment, évalué le volume de la couverture journalistique allouée aux changements climatiques et à la biodiversité par 12 journaux majeurs des États-Unis, du Canada et du Royaume-Uni, de 1991 à 2016 (Legagneux et al., 2018). Cette enquête leur a permis de conclure à un phénomène de « déficit de communication », en ce que les journaux assurent une couverture relativement stable des enjeux de biodiversité, tandis qu'ils allouent une attention croissante aux changements climatiques. De fait, en 2016, la couverture des changements climatiques était huit fois plus importante que celle de la biodiversité. Cette croissance inégale de l'attention allouée à la biodiversité peut influencer sur l'opinion publique (McCombs, 2014), parce qu'elle contribue à un portrait où les enjeux liés à cette thématique perdent en importance (en comparaison à ceux liés aux changements climatiques). Cela peut entraîner des répercussions sur les actions politiques prises pour se pencher, notamment, sur la perte de biodiversité, de même que sur la sensibilisation des publics à l'égard de cet enjeu (Legagneux et al., 2018).

L'analyse du volume de publications donne à réfléchir concernant l'importance quantitative des enjeux liés à la biodiversité dans la sphère publique. Or, il est également pertinent d'analyser le contenu des articles afin de comprendre à quelle construction de la biodiversité la presse écrite contribue. En effet, « la presse écrite

quotidienne construit à travers l'information un "modèle sociologique" dont la fonction est de servir de repère pour l'ensemble du fonctionnement social » (Nunes, 1978, p. 60). C'est d'ailleurs à ce type d'analyse que nous nous sommes adonnés lors de la présente recherche.

La presse écrite mise sous la loupe par des étudiants et étudiantes en communication

Ce projet cumulant des visées pédagogiques et scientifiques a été réalisé dans le cadre du cours *Recherche en communication stratégique*, avec la collaboration de la cohorte 2021-2023 à la maîtrise en communication de l'Université de Sherbrooke¹. Il traduit notre volonté d'étudier les caractéristiques de la couverture journalistique effectuée par trois médias majeurs distribués sur tout le territoire du Québec (*Le Devoir*, *La Presse/Presse+* et *Le Journal de Montréal*).

1. S'il était possible de signer une publication à 29 têtes, c'est ce qui serait fait ici. Mais comme ce n'est pas possible, il importe de souligner l'apport essentiel de : Justine Bastien, Jennifer-Ann Beaudry, Sara-Ève Belzile, Réjean Blais, Anne-Sophie Blouin, Lysandre Bonin, Camille Duval, Léa Fortin, Maria Camilla Gallego Betancur, Lucas Giardina, Céline Hadjiu, Clara Hainesch, Mégane Huard-Potvin, Linda Kefi, Léo Lefebvre, Élisabeth Léonard, Victoria Magnette, Annabelle Maheu, Audrey-Anne Marcotte, Amandine Moreau, Megan Morin Gendron, Sabrina Petit, Barbara Pierrot, Erin Piret, Mélanie Simard, Clara Schöningh, Elsa Tirou et Mireille Vachon. Le projet n'aurait pas été possible sans l'apport de cette merveilleuse équipe.



Nous avons ciblé tous les articles de ces journaux contenant le mot-clé « biodiversité » et ayant été publiés du 1^{er} janvier 2012 au 31 décembre 2021 (période de 10 ans). Au total, 1 881 articles contenant le mot « biodiversité »² ont été répertoriés grâce à la base de données Eureka³.

Nous avons étudié différents aspects et différentes composantes des articles traitant de biodiversité. En nous appuyant sur les indications de Bernier (2021), nous avons analysé le type de journalisme afin d'évaluer dans quelle mesure la biodiversité est abordée dans des articles dénotant du journalisme 1) d'information, 2) de persuasion ou 3) de promotion. Aussi, pour mieux comprendre comment les journalistes procèdent pour attirer l'attention du lectorat vers les enjeux de biodiversité, nous avons analysé les titres des articles à l'aune de la classification de Martin-Lagardette (2005), où les titres sont 1) informatifs ou 2) incitatifs.

Ensuite, nous avons évalué si les articles abordent des événements positifs ou négatifs au maintien et à la protection de la biodiversité. Plus précisément encore, lorsque les articles abordaient des changements dans la biodiversité, nous avons recouru aux cinq facteurs

anthropiques identifiés par Bowler et ses collègues (2020) afin de relever les causes les plus souvent mises de l'avant par les journalistes : 1) changements climatiques, 2) exploitation des ressources naturelles, 3) densité de la population humaine, 4) pollution, 5) potentiel d'immigration d'espèces exotiques.

Afin de prendre acte des caractéristiques de la biodiversité abordées dans les articles, nous avons aussi utilisé la classification utilisée par Ngom (2021), qui suggère que la biodiversité concerne trois grandes catégories d'écosystèmes : 1- Terrestre ; 2- Marin ; 3- Aquatique. De manière similaire, la catégorisation de Verma (2017) nous a permis d'évaluer quels types d'organismes vivants étaient présents dans les articles traitant de biodiversité : 1) animal, 2) végétal ou 3) microorganismes.

Finalement, devant les constats de Legagneux et al. (2019) à l'effet d'un déficit de communication entre « changements climatiques » et « biodiversité », nous nous sommes questionnés à savoir si la place grandissante des changements climatiques dans les articles de presse se faisait aussi sentir dans les articles abordant la biodiversité : est-ce que ces articles abordent également la question des changements climatiques ? Si les deux sont abordés, est-ce les changements climatiques ou la biodiversité qui constitue le sujet principal ?

Ces différentes indications théoriques ont permis de créer une grille de codification manuelle que nous avons systématiquement appliquée aux 1 881 articles. Les données ont été compilées aux fins d'analyses quantitatives.

Comment les quotidiens abordent-ils la biodiversité ?

Les trois journaux ont des volumes de couverture bien différents. Les articles du journal *Le Devoir* (n=1007) contiennent le mot « biodiversité » environ deux fois plus souvent que ceux de *La Presse/La Presse+* (n=574) et trois fois plus souvent que ceux du *Journal de Montréal* (n=300). Également, le nombre d'articles publiés annuellement par les trois journaux varie grandement. En fait, près de deux fois plus d'articles ont mentionné la biodiversité en 2021 (n=348) qu'en 2012 (n=177). Les mentions de biodiversité dans les articles journalistiques se sont multipliées à partir de 2018 (voir Figure 1).

2. L'ajout de « diversité biologique » à nos critères de recherche n'augmentait le corpus que de 70 articles. Nous avons donc maintenu « biodiversité » comme seul mot-clé afin de simplifier les extraits de cette recherche.

3. À titre comparatif, 11 833 articles traitant des changements climatiques ont été répertoriés durant cette même période.

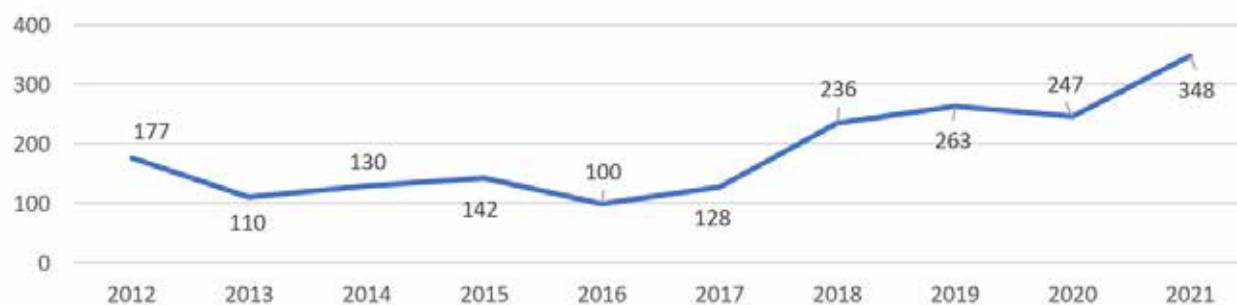


Figure 1. Évolution du volume annuel de publication par les trois journaux à propos de la biodiversité (N=1881)

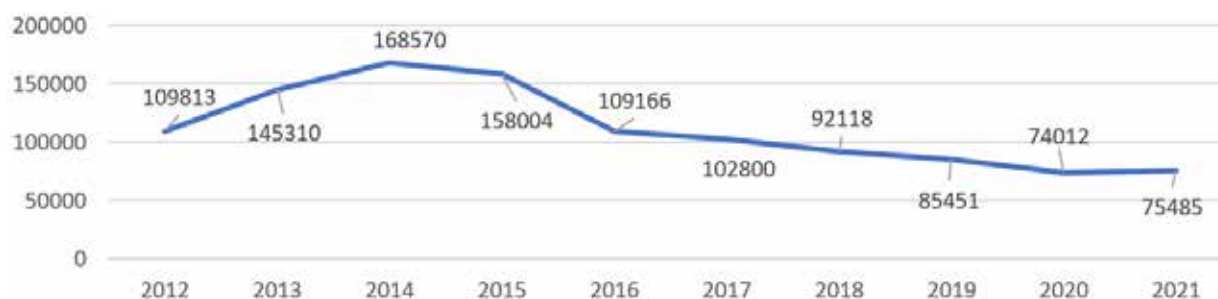


Figure 2. Évolution du volume annuel de publication par les trois journaux (N=1,120,729)

Il est intéressant de mentionner que cette tendance à la hausse s'inscrit en contraste avec une tendance à la baisse sur le plan du nombre annuel d'articles publiés par les trois journaux. Non sans rappeler que les médias d'information canadiens font actuellement face à une crise économique importante qui limite leurs capacités (Lacroix et Carignan, 2021), la Figure 2 permet de constater une baisse radicale à partir de 2016. Il est donc possible d'affirmer que la hausse d'articles traitant de biodiversité s'observe malgré la baisse importante de la production journalistique dans les trois journaux ciblés.

Les caractéristiques journalistiques

En ce qui concerne les pratiques journalistiques, nous constatons que 61 % des articles (n=1148) dénotent du journalisme d'information. Par exemple, suivant la publication du rapport *Biodiversité et changement climatique — résultats scientifiques* par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) en juin 2021, plusieurs articles de type « nouvelles » ont été publiés afin de décrire les composantes du rapport. Malgré cette majorité d'articles visant à informer le lectorat, environ quatre articles sur dix ne s'inscrivent pas dans du journalisme d'information

qui, pourtant, est l'idéal de pratique dominant des médias d'information (fondamentalement, le rôle d'un journaliste est d'informer). En fait, 17,2 % (n=323) des articles dénotent principalement du journalisme de persuasion. Ici, pensons à des chroniqueurs qui, dans leurs articles, défendent des positions personnelles à l'égard de la biodiversité, par exemple, lorsque certains d'entre eux se sont positionnés pour ou contre l'abattage des chevreuils au parc Michel-Chartrand de Longueuil⁴. Aussi, 16,7 % (n=315) des articles dénotent du journalisme de promotion. Ce chiffre surprenant indique qu'environ un article sur six présente la biodiversité d'abord et avant tout tel un argument de vente. Par exemple, certains visent à attirer des voyageurs vers une région du monde ayant une biodiversité particulièrement riche ou vantent des pratiques vinicoles menées en harmonie avec la biodiversité entourant un vignoble. Finalement, 4,9 % (n=92) des articles dénotent du journalisme de divertissement (caricatures, poèmes, anecdote, etc.).

La subjectivité journalistique se manifeste aussi dans les titres des articles. Si une majorité des titres (58,4 %) sont de nature informative (n=1098), une importante part (41,5 %) est incitative (n=780)⁵. Les titres incitatifs tentent de représenter l'esprit de l'article plutôt que son contenu (Martin-Lagardette, 2005). Par exemple, des articles abordant la biodiversité ont pour titres [incitatifs] : « Une impression de vertige » (*Le Devoir*, mai 2019), « Montréal est un zoo » (*La Presse*, juillet 2014) ou « À vos pelles, citoyens ! » (*Le Journal de Montréal*, août 2015).

4. Un débat public a émergé lorsque la Ville de Longueuil a indiqué qu'elle procéderait à l'abattage d'une soixantaine de cerfs de Virginie (espèce en surpopulation) afin de protéger les écosystèmes du parc Michel-Chartrand.

5. Trois articles ne comportaient pas de titre.

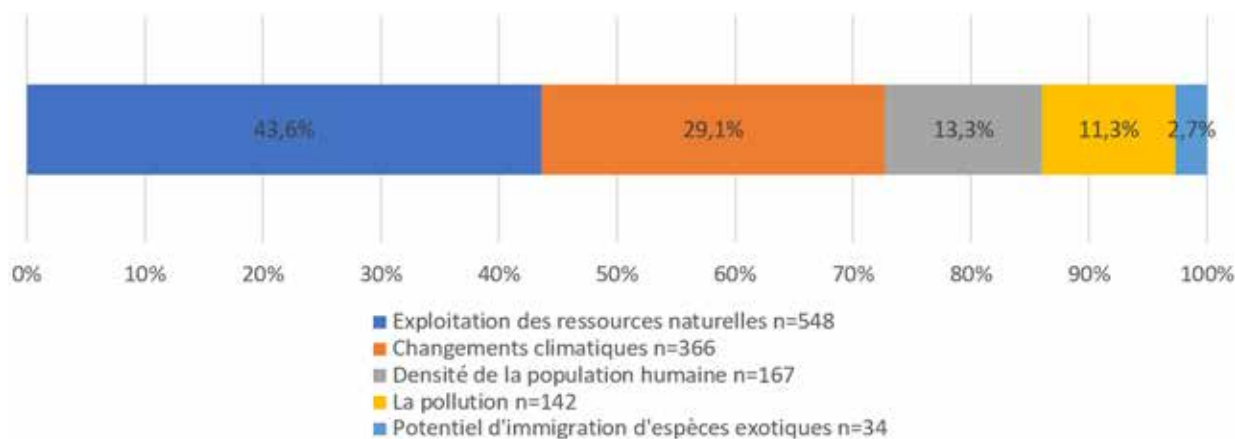


Figure 3. Facteurs anthropiques présentés dans les articles (n=1257)

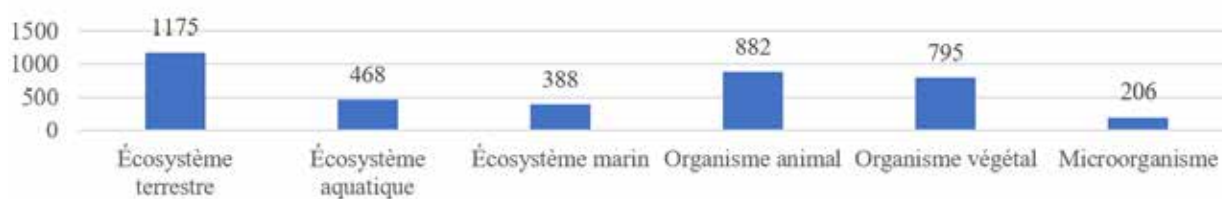


Figure 4. Composantes de la biodiversité présentées dans les articles (N=1881)

Les caractéristiques de la biodiversité

Concernant les caractéristiques de la biodiversité présentées par les articles, nous constatons que la mention de la biodiversité dans les journaux étudiés est souvent contingente à la présence d'un événement ou d'un phénomène nuisant à celle-ci ou la menaçant. En fait, 49,1 % des articles (n=923) présentent ce cadre, tandis que 37,9 % des articles (n=713) relatent un événement ou un phénomène valorisant ou contribuant à la biodiversité et que 13 % des articles (n=245) ne permettent pas l'association à un cadrage particulier.

Ces événements ou phénomènes, qu'ils soient positifs ou négatifs, sont associés à des facteurs anthropiques dans 66,8 % des articles (n=1257). Comme l'illustre la Figure 3, les conséquences des actions humaines sur la biodiversité sont souvent associées à l'exploitation des ressources naturelles et aux changements climatiques.

Ensuite, sur le plan des composantes de la biodiversité mises de l'avant, toutes ne sont pas également présentes dans les articles (voir figure 4).

Lorsque les journaux québécois traitent de biodiversité, ils le font la plupart du temps (dans 62,5 % des articles) en abordant des enjeux liés aux écosystèmes terrestres, tels que la biodiversité urbaine, les forêts, les montagnes ou les sols. Plus rares sont les articles traitant d'écosystèmes aquatiques (24,9 %) tels que les lacs, les marais et les tourbières, ou d'écosystèmes marins (20,6 %) tels que les océans et les mers. Pour ce qui est des organismes vivants, on constate que 46,9 % des articles mentionnent des organismes animaux, 42,3 % des organismes végétaux et seulement 11 % des microorganismes (bactéries, champignons, protozoaires ou virus).

Finalement, concernant la place des changements climatiques dans la couverture de la biodiversité, nous constatons que 61,7 % des articles (n=1161) traitent uniquement de la biodiversité, tandis que 38,3 % des articles (n=720) abordent également les changements climatiques. Au sein des articles abordant les deux enjeux (n=720), on constate qu'une majorité (59,2 %) va accorder une place primaire aux changements climatiques et une place secondaire à la biodiversité. Ainsi, même dans les articles sélectionnés du fait qu'ils abordent la biodiversité, on constate une tension sur le plan de l'attention journalistique allouée aux deux enjeux : une importance plus grande est donnée aux

contenus se rattachant à l'étiquette « changements climatiques ». Comme mentionné plus tôt, cela peut contribuer à brosser un portrait où les enjeux de biodiversité sont socialement considérés comme secondaires, de moindre importance. Qui plus est, nos analyses indiquent qu'au fil des dix années étudiées, les changements climatiques ont de plus en plus préséance sur la biodiversité ($r=0,119$, $p<0,01$).

Des outils pour une communication environnementale stratégique

Toute personne désireuse de communiquer à propos des enjeux de biodiversité doit être consciente du contexte communicationnel au sein duquel elle inscrit ses activités. Que ce soit pour des personnes qui sont chercheuses universitaires, vulgarisatrices scientifiques ou expertes gouvernementales, la prise en compte du contexte, notamment médiatique, est essentielle à des fins de communication stratégique.

La présente étude a permis de mieux saisir comment des pratiques journalistiques et différents cadrages offrent un portrait particulier des enjeux de biodiversité. À ce titre, nous retenons que la couverture journalistique gagne en volume, mais qu'elle est particulièrement marquée par la subjectivité journalistique. Nous constatons aussi que les événements et phénomènes nuisibles ou menaçants occupent une place de choix dans la couverture. Le rôle de l'humain par rapport aux changements dans la biodiversité est d'ailleurs souvent souligné. Ensuite, les articles tracent un portrait où biodiversité rime avec « écosystème terrestre », « organisme animal » et « organisme végétal ». Les autres types d'écosystèmes et d'organismes sont beaucoup moins susceptibles d'être inclus à l'agenda médiatique.

Finalement, concernant les constats ayant servi de bougie d'allumage à cette recherche, soit ceux de Legagneux et de ses collaborateurs (2019), nous remarquons que le déficit de communication entre changements climatiques et biodiversité ne s'exprime pas seulement dans une dynamique où se comparent des articles distincts. Même des articles abordant la biodiversité peuvent être considérés comme déficitaires, en ce sens qu'ils abordent cette thématique de manière secondaire à celle des changements climatiques.

Afin d'évaluer les répercussions sociales de cette

médiatisation inégale, de futures études pourraient permettre de mieux comprendre les rôles stratégiques des notions de biodiversité et de changements climatiques dans les activités de communication environnementale. Par exemple, est-ce qu'une même action (par exemple, ne pas tondre sa pelouse avant le mois de juin afin de favoriser la pollinisation) sera perçue différemment si elle est cadrée dans la lutte contre les changements climatiques plutôt que dans la lutte pour la préservation de la biodiversité ? Est-ce que l'action sera perçue comme moins pressante ou moins importante si elle est cadrée dans la lutte pour la préservation de la biodiversité ? Ce sont là d'autres questions pour d'autres recherches !

RÉFÉRENCES

- Bernier, M-F. (2021).** *Les journalismes : information, persuasion, promotion, divertissement*. Québec, Les Presses de l'Université Laval.
- Bowler, D. E., Bjorkman, A. D., Dornelas, M., Myers-Smith, I. H., Navarro, L. N., Niamir, A., Supp, S. R., Waldock, C., Winter, M., Vellend, M., Blowes, S. A., Böhning-Gaese, K., Bruehlheide, H., Elahi, R., Antão, L. H., Hines, J., Isbell, F., Jones, H. P., Magurran, A. E., Sarmiento Cabral, J., Bates, A. E. (2020).** Mapping human pressures on biodiversity across the planet uncovers anthropogenic threat complexes. *People and Nature*, 2(2), 380-394. <https://doi.org/10.1002/pan3.10071>
- Lacroix, C. et Carignan, M-E. (2020).** Une crise dans la crise : comment les journalistes perçoivent-ils leurs rôles et leur avenir en temps de pandémie ? *Les Cahiers du Journalisme* 5 : R3-R18.
- Legagneux, P., Casajus, N., Cazelles, K., Chevalier, C., Chevrinai, M., Guéry, L., Jacquet, C., Naud, M.-J., Noisette, F., Ropars, P., Vissault, S., Archambault, P., Bêty, J., Berteaux, D., et Gravel, D. (2018).** Our house is burning: discrepancy in climate change vs. biodiversity coverage in the media as compared to scientific literature. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5 :175. doi: 10.3389/fevo.2017.00175
- Legagneux, P., Cazelles, K. et Gravel, D. (2019).** Sommes-nous bien informés ? Écarts entre la couverture du changement climatique et de la biodiversité par les médias et la littérature scientifique. *Le Climatoscope*, (1), 22-26.
- Martin-Lagardette, J.-L. (2005).** *Le guide de l'écriture journalistique*. La découverte.
- McCombs, M. (2004).** *Setting the Agenda: the mass media and public opinion*. Polity Press.
- Ngom, D. (2021).** Biodiversité, restauration écologique et intensification écologique : quelles imbrications ? *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Repéré à : <http://journals.openedition.org/vertigo/28605>
- Nunes, G. (1978).** Discours massmédias : propos pour l'analyse de la presse écrite quotidienne. *Langage & société*, 5(1), 59-61.
- Verma, A. K. (2017).** Necessity of Ecological Balance for Widespread Biodiversity. *Indian Journal of Biology*, 4(2), 158 160. <https://doi.org/10.21088/ijb.2394.1391.4217.15>



Enjeux de société

L'ART DE L'URGENCE : DE NOUVEAUX RÉCITS POUR PENSER LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Wild Time, 2021
Crédit photo : Isabelle Hayeur

Valérie Paquet

Chargée de cours et doctorante
Département de communication sociale et publique
Université du Québec à Montréal

Jonathan Rouleau

Chercheur et conseiller, politiques publiques
ARTENSO

Les défis écologiques actuels inspirent, influencent et transforment les pratiques artistiques contemporaines, mais la place accordée aux arts dans les discours sur les changements climatiques demeure limitée. Ces pratiques révèlent pourtant des manières pertinentes et uniques de réfléchir aux enjeux socio-environnementaux, en plus de dévoiler l'existence d'une communauté artistique et culturelle bien active dans l'arrimage de la culture et de la transition. Souvent situés au cœur d'une pratique d'art engagé, c'est-à-dire une forme artistique dans laquelle la recherche esthétique se construit en parallèle d'un message politique revendiqué par l'artiste, ces projets établissent une forme de médiation culturelle. Nous entendons cette dimension comme la capacité de rejoindre, de mobiliser et de sensibiliser des individus, autant ceux qui réfléchissent d'ores et déjà aux changements climatiques que ceux qui sont généralement éloignés de ces discours.

À partir d'une recherche documentaire menée au courant de l'année 2021 sur les rapports entre interventions artistiques et écologiques (ARTENSO et Paquet, 2021), nous affirmons que l'art est un vecteur social efficace pour mettre en évidence les leviers et les freins à la prise de conscience environnementale. Il est à noter que plusieurs organismes, tels que Écoscéno, encouragent les pratiques écoresponsables au sein des productions culturelles au Québec. Cependant, nous nous sommes davantage intéressés aux artistes qui créent explicitement des ponts entre leurs pratiques artistiques et des réflexions de « nature écologique ». L'objectif de cet article est d'exposer certaines interventions culturelles importantes permettant de dévoiler les possibilités de la culture dans le contexte de l'urgence climatique.

Art et écologie

La réappropriation artistique des discours sur les enjeux environnementaux est plutôt récente, même si les pratiques d'art environnemental sont revendiquées depuis les années 1960. Ces dernières sont caractérisées par l'« art dans la nature » ou « art avec la nature », dans lesquelles le courant du *land art* est emblématique. De manière générale, les préoccupations écologiques, sauf quelques exceptions, sont inexistantes pendant ces décennies. Selon Ardenne (2018), il faut attendre les années 1990 et le tournant des années 2000 pour qu'il soit possible d'évoquer l'émergence d'un art dit écologique. « Les pratiques relevant de l'art écologique ont pour principal dénominateur commun une interrogation sur notre relation à la nature et sur l'état de la "planète" » (Pouteau, 2016). Les pratiques artistiques et écologiques sont des dimensions qui, lorsqu'elles sont articulées conjointement, savent attirer l'attention sur des enjeux environnementaux, interroger les rapports populations-environnement et encourager la lutte contre les changements climatiques.

La puissance transformatrice du récit

Au Québec, des artistes comme Isabelle Hayeur s'insèrent dans ce courant. Cette dernière se décrit comme une artiste de l'image et sa démarche artistique s'insère explicitement au cœur de perspectives environnementales et sociales. Son récent projet photographique, intitulé *Wild Time*, nous transporte, grâce à une vingtaine de photographies grand format, en Colombie-Britannique durant l'été 2021, période durant laquelle la province enregistre une chaleur record et d'importants feux de forêt. Le narratif autour des œuvres propose une réflexion à la fois sur les changements climatiques et sur les coutumes autochtones, afin de repenser notre manière de prendre soin de la forêt. Pour Hayeur, la création est un outil de prise de conscience, mais aussi d'émerveillement : « Viser à maîtriser la nature sans la comprendre ni la respecter mènera inéluctablement à l'échec. Il faut donc repenser notre rapport au territoire et apprendre à cohabiter avec lui afin de ne pas céder à la quête illusoire d'un monde toujours plus contrôlé et sécuritaire » (isabelle-hayeur.com/wild-time_fr).

L'artiste Mykalle Bielinski utilise la performance théâtrale pour aborder le réchauffement climatique. Dans son spectacle *Warm Up*, elle présente un « échauffement de survie » : elle produit elle-même, grâce à un vélo branché à une batterie, l'électricité dont



elle a besoin pour créer sa performance. L'artiste est ainsi seule sur scène et pédale pour qu'il y ait spectacle. Parallèlement, elle explore des thèmes comme la décroissance, l'effondrement, l'épuisement, mais aussi la guérison. « Entre performance sportive, manifeste, concert et méditation, *Warm up* dénonce les exploitations permises par la surconsommation et esquisse les contours d'une écologie durable où la nature n'est plus seulement qu'une ressource » (www.mykallebielinski.com). Cette performance, au-delà de la sensibilisation, invite à la transformation de soi et des narratifs traditionnels, grâce à une prise de conscience culturelle : elle se constitue à travers les représentations et les récits. En produisant elle-même l'énergie nécessaire pour créer cette performance, l'artiste dévoile l'immatérialité derrière la création énergétique.

Cette communauté engagée ne comprend pas uniquement des artistes proposant des œuvres individuelles. Des organismes comme la TOHU participent aussi à ce changement en proposant simultanément de repenser les contextes de diffusion et les programmations, en plaçant les activités de médiation



Warm Up, 2021
Crédit photo : Maxime Côté

culturelle au cœur de ces initiatives. La TOHU est un lieu de diffusion spécialisé en cirque contemporain, ainsi qu'un espace de médiation pour penser les changements climatiques. Cette sensibilité pour les enjeux environnementaux se retrouve aussi dans les œuvres présentes sur le site, comme celle de Michael A. Robinson. Les artistes comme Robinson, s'inscrivant dans le mouvement du surcyclage, insufflent une seconde existence à des matériaux, la visée étant de « recycler par le haut » et donc de valoriser des objets en les transformant qualitativement. La programmation de la TOHU comprend des collectifs comme Barcode Circus Company, dont le projet *Branché*, en collaboration avec la compagnie Acting for Climate, explore des thématiques liées à la crise climatique et propose une façon novatrice de faire du cirque avec un minimum d'impact sur l'environnement. Les activités de médiation culturelle, ancrées dans les principes du développement durable, sont vastes, passant de l'interprétation du parc Frédéric-Back à l'apiculture. Cet espace de création et d'expérimentation converge entre culture, environnement et engagement communautaire.

Vers un maillage culture-environnement affirmé : pratiques, cohérence et récit

Au-delà des initiatives répertoriées, la recherche montre qu'il existe actuellement une conjoncture favorable pour impulser une transition socioécologique dans laquelle les milieux des arts et de la culture sont parties prenantes. Toutes les personnes interrogées lors de la recherche s'accordent autour des liens indissociables entre culture et transition, et, parallèlement, soulignent l'importance d'une mise en commun des connaissances et de l'élaboration d'un réseau d'accompagnement. Trois éléments distinctifs ont émergé de cette recherche et méritent une attention particulière, soit l'échelle des pratiques, le besoin de cohérence ainsi que la centralité du récit.

PRATIQUES

Les territoires, les espaces urbains et les quartiers sont au cœur des réflexions associées à la transition, notamment dans leurs dimensions culturelles. La ville se révèle être l'échelle d'intervention privilégiée, car elle héberge un vivier de ressources humaines, techniques et politiques déterminantes à la pleine réalisation de la transition, et qu'elle est appelée à jouer un rôle de premier plan dans le cadre des transformations socioécologiques. Plusieurs participantes et participants ont déclaré qu'il était nécessaire de verdir le secteur de la culture et de soutenir son rôle dans l'élaboration des politiques et de la gouvernance participative. Favoriser une implication culturelle dans la régénération et les infrastructures urbaines axées sur l'environnement en réponse aux défis environnementaux devient incontournable. L'arrimage nouveau entre transition et culture induit l'inclusion d'une dimension culturelle à chaque étape, de la participation citoyenne aux infrastructures de la ville, en soulignant son rôle essentiel en tant que laboratoire pour tester et développer de nouvelles approches. La nécessité de tisser du lien social par la culture sur un territoire donné est en cohérence avec les valeurs de la transition socioécologique, de la participation citoyenne et de la médiation culturelle.

COHÉRENCE

Force est de constater qu'actuellement, le secteur des arts et des industries culturelles fait autant partie du problème que de la solution. Il s'agit d'un secteur polluant et d'un producteur de déchets important, qui ne peut plus ignorer ses émissions de gaz à effet de serre (GES), et par conséquent sa participation aux enjeux climatiques. Plusieurs organismes ont vu le jour ces dernières années afin d'intégrer des pratiques écoresponsables dans le secteur des arts et de la culture, comme Écoscénio, au Québec. Ils incitent le milieu culturel à se remettre en question, accélèrent la prise de conscience et stimulent la création d'outils pour faire autrement. Une cohérence entre les pratiques et le message est indispensable : on commence par prendre conscience de son empreinte et de ses biais, à la suite de quoi on peut modifier ses pratiques pour passer à l'étape de la sensibilisation.

RÉCITS

Sans les instrumentaliser, il devient indispensable dans le contexte actuel de valoriser les pratiques artistiques qui soutiennent une vision renouvelée et qui remettent en question le *statu quo*. La notion de récit doit être plus centrale pour affirmer le pouvoir majeur des arts dans la transformation. Il est temps de diversifier les façons d'imaginer et de représenter ce qui se passe et où l'on s'en va. En ce sens, il est important de se tourner vers celles et ceux dont c'est le métier de raconter, et ce, dans toutes les disciplines artistiques, autant en art visuel qu'en danse. Au cœur des possibles de la culture, il y a un rôle à jouer pour les artistes. Cette capacité d'aller

rejoindre, mobiliser et sensibiliser doit aussi permettre de toucher les personnes qui sont traditionnellement éloignées des discours sur la transition. Cela peut être possible en stimulant la participation citoyenne, et particulièrement grâce à la médiation culturelle.

Conclusion

Une version de l'Agenda 21 de la culture, publiée en 2012, positionne la culture comme quatrième pilier du développement durable et suggère que « la culture, dans toute sa diversité, est nécessaire pour trouver les réponses aux défis se posant à l'humanité actuellement » (Agenda 21C, 2012, p. 5). Or, l'inscription de cibles environnementales dans les politiques culturelles et, inversement, l'inscription de cibles culturelles dans les plans vers la transition demeurent sous-valorisées. Ces maillages peuvent pourtant soutenir les pratiques et les droits culturels et environnementaux, participer à l'implantation de pratiques écoresponsables, sensibiliser et autonomiser les collectivités et encourager la citoyenneté écologique mondiale. Afin d'atteindre ces objectifs, les milieux culturels et environnementaux doivent entretenir des rapports constants, gravitant autour d'un langage partagé et en définition, et inscrire la participation concrète des personnes au cœur des enjeux qui influencent leur vie.

RÉFÉRENCES

Ardenne, P. (2018). *Un art écologique. Création plasticienne et anthropocène*. Bruxelles : Le Bord de l'Eau.

ARTENSO et Paquet, V. (2021). Culture et transition socio-écologique. L'art de l'urgence : conjuguer pratique des arts et pratiques écologiques. Repéré à https://artenso.ca/wp-content/uploads/2021/11/Artenso_culture_transition_nov21.pdf

Ministère de la Culture et des Communications du Québec. (2012). *Agenda 21 de la culture du Québec*. Repéré à <https://www.mcc.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/agenda21/A21C-Brochure-FR-2013.pdf>

Pouteau, S. (2016). Des modalités d'intervention « art-science — philosophique » pour éprouver les temporalités de l'urgence environnementale. *Vertigo*, 16(1), doi : 10.4000/vertigo.16976



Branché, 2021
Crédit photo : JF Savaria



Enjeux de société

UNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE JUSTE POUR LE QUÉBEC ET LE CANADA

Alexandre Gajevic Sayegh

Professeur

Département de science politique
Université Laval

Laurent Lauzon-Rhéaume, Jeanne Desrosiers,

Félix Bhérer-Magnan, Sarah-Jane Vincent

Étudiantes et étudiants au doctorat, à la maîtrise et au baccalauréat
Département de science politique
Université Laval

La transition énergétique est et sera difficile, car les coûts à court terme sont concentrés dans des régions dépendantes des énergies fossiles pour leur électricité, ou dont l'économie dépend de la production d'énergies fossiles, comme l'Alberta et la Saskatchewan. L'action climatique y est perçue comme une attaque à leur gagne-pain et à leur manière de vivre. Une relance verte et juste est-elle possible dans de tels contextes ? Comment prendre soin de nos travailleurs durant la transition ?

La justice climatique suppose la distribution équitable des bénéfices et des fardeaux de la lutte aux changements climatiques ainsi que l'inclusion significative des parties prenantes dans la formulation des politiques d'atténuation et d'adaptation (Gajevic Sayegh, 2020). Cette conception de la justice explore les dimensions distributives et procédurales de la justice, en s'attardant sur les notions de distribution et d'inclusion des parties prenantes (d'autres approches — p. ex. basées sur la justice relationnelle, la citoyenneté ou sur le droit administratif — sont exclues de l'analyse). En appliquant cette définition à la transition énergétique, cet article examine ce qu'implique une transition juste en pratique au Québec et au Canada.

Crédit photo : Sander Weeteling

Les quatre sections de cet article explorent quatre approches complémentaires pour la mise en place d'une transition énergétique juste pour le secteur pétrolier et gazier au Canada : la création nette d'emplois durant la transition, le soutien à la main-d'œuvre des industries les plus directement touchées par la décarbonisation, le soutien aux communautés indirectement touchées par la transition et l'inclusion des parties prenantes, y compris les communautés autochtones, dans la formulation de mesures pour une transition juste. Ce texte offre une analyse des politiques publiques mises en œuvre ou annoncées, en présentant une analyse normative des politiques toujours manquantes pour assurer une transition juste pour ce secteur de l'économie canadienne.

La création d'emplois durant la transition

Un enjeu central de la transition énergétique juste est la perte d'emplois pour le personnel des industries à forte intensité en carbone. La transformation majeure des systèmes économiques et énergétiques demandée par cette transition exige un repositionnement important de ces industries. Par exemple, l'abandon du secteur de l'exploitation pétrolière et gazière pourrait à lui seul mettre à risque de 312 000 à 450 000 personnes qui sont directement ou indirectement employées dans l'industrie d'ici 2050, selon une étude réalisée par la Banque TD en 2021. En outre, les emplois à risque sont particulièrement concentrés dans certaines régions du Canada, comme l'Alberta et la Saskatchewan. Cependant, les données les plus récentes sur le sujet nous indiquent que la transition énergétique canadienne permettra de compenser ces pertes.

Emplois directs : emplois qui sont générés directement par les activités principales (comme l'exploitation pétrolière et gazière).

Emplois indirects : emplois dans les industries qui fournissent les biens et services destinés à soutenir les activités principales (p. ex. : création d'équipements).

Tout d'abord, il est important de noter que les secteurs d'activité à faibles émissions en carbone permettent généralement, *ceteris paribus*, de créer plus d'emplois et d'engendrer davantage de retombées économiques que les secteurs à forte intensité en carbone, selon un rapport prospectif publié par Clean Energy Canada en 2021. L'implantation de politiques climatiques qui favorisent les industries propres aurait donc un fort

potentiel de création d'emplois. On peut d'ailleurs constater, à l'échelle canadienne, que l'atteinte des objectifs climatiques internationaux serait créatrice de plusieurs dizaines de milliers d'emplois nets d'ici 2030, avec des gains nets de 82 000 à 109 000 emplois selon Clean Energy Canada et Montt et al. (2018). Les pertes d'emplois dans les secteurs polluants seraient ainsi plus que compensées par les opportunités présentées par la transition énergétique d'ici la fin de la décennie.

Toutefois, bien que les salaires du secteur des technologies environnementales et propres soient généralement supérieurs à la moyenne canadienne selon le rapport de Clean Energy Canada, ils ne sont pas nécessairement à la hauteur de ceux du secteur des énergies fossiles. En outre, les emplois créés pourraient avoir une répartition géographique différente des emplois actuels dans les secteurs fossiles, autant à l'échelle provinciale que nationale. Il demeure alors important pour les décideurs publics de tenir compte de ces enjeux. Malgré tout, certaines tendances laissent présager que les provinces qui dépendent le plus des industries fossiles pourraient voir un gain d'emploi significatif dans les secteurs verts. Par exemple, en Alberta, le domaine des technologies propres va engendrer à lui seul la création de près de 170 000 emplois nets d'ici 2050 selon les conclusions d'un rapport publié en 2021 par un consortium d'accélérateurs de technologies propres (mené par Delphi Group) œuvrant dans cette province. Dans ce même ordre d'idées, suivant les conclusions du rapport de Clean Energy Canada publié en 2021, les emplois dans ce secteur sont appelés à augmenter de 164 % en Alberta et de 100 % en Saskatchewan au cours de la prochaine décennie.

Ces données nous indiquent que la transition énergétique canadienne pourrait permettre une création nette d'emplois à l'échelle du pays, voire dans les provinces les plus touchées par la transition.

Le soutien à la main-d'œuvre

Dans les plans de lutte aux changements climatiques du gouvernement Trudeau depuis son premier mandat, on retrouve le concept de transition juste, qui est une sous-composante de la justice climatique ne concernant que les travailleurs des secteurs fossiles. Or, ce concept a été uniquement appliqué au cadre de l'élimination progressive du charbon. À travers le mandat attribué au Groupe de travail sur la transition juste, le gouvernement s'était vu recommander des investissements divisés entre le soutien aux communautés touchées par le retrait du charbon (35 millions \$), la diversification des activités économiques (135 millions \$) et la formation du personnel (jusqu'à 5000 \$ par personne). Trois ans

après ces recommandations dévoilées en 2019, les mesures de soutien mises en place depuis seront examinées selon les trois axes suivants : les montants alloués par le gouvernement fédéral, les secteurs visés et la précision des mesures comme telles.

Premièrement, jusqu'à maintenant, le gouvernement canadien a alloué seulement une fraction des investissements recommandés par le groupe de travail, soit 29 millions \$ pour la transition juste dans le secteur du charbon en date de 2021, suivant les constats du rapport intitulé *Supporting Workers and Communities in a Coal Phase-Out* (traduction libre : Soutenir les travailleurs et les communautés dans l'élimination du charbon) publié par l'Institut Pembina au début de l'année 2022. Ces investissements sont insuffisants pour assurer une véritable justice en matière de transition énergétique, comme le met en évidence le rapport publié du Centre canadien de politiques alternatives (CCPA) en 2021. Le gouvernement fédéral indique dans son nouveau Plan de réduction des émissions du Canada pour 2030, mis à jour au début de l'année 2022, qu'il est conscient de la nécessité d'augmenter ces sommes, mais ne présente pas de mesures chiffrées en ce sens.

Deuxièmement, le gouvernement fédéral reconnaît également le besoin d'élargir ce soutien durant la transition à la main-d'œuvre du pétrole et du gaz, sans toutefois présenter des mesures pour le faire. De manière analogue, au palier provincial, certains gouvernements ont des plans uniquement pour le secteur du charbon, comme l'Alberta, qui met en place des programmes de soutien à la main-d'œuvre suivant la documentation gouvernementale officielle disponible. Cependant, la majorité des provinces n'ont pas de plan précis pour soutenir les personnes pénalisées par l'élimination du charbon ni pour celles travaillant dans le secteur du pétrole et du gaz, comme c'est le cas en Saskatchewan, au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse.

Troisièmement, les programmes financés ne correspondent pas toujours aux besoins des populations touchées pour ce qui est de la formation ou de l'aide à l'embauche. Ceci s'explique par des lacunes informationnelles des administrations publiques sur les secteurs, les régions, les marchés, les communautés et les individus concernés permettant la mise en place de programmes ciblés et efficaces, comme précisé dans le rapport de l'Institut Pembina en 2022. En effet, les membres du personnel ne se voient pas garantir la possibilité de trouver un emploi correspondant à leurs qualifications dans leur région avec des conditions de travail équivalentes, la sûreté de leur fonds de pension ou un soutien financier leur permettant d'entamer une réorientation de carrière. Ce manque d'accompagnement suscite ainsi une aliénation de ceux-ci quant à la transition énergétique et ses prétendus bénéfices,

contrairement à l'adhésion qu'il serait souhaitable de susciter, comme le soulignent un mémoire de l'un des plus importants syndicats au Canada (Unifor, mémoire publié en 2021) ainsi que Harrahill et Douglas (2019).

Le soutien à la main-d'œuvre que demande une transition juste requiert de la part des gouvernements la mise en place de mesures concernant la formation, la compensation des pertes de revenus et la relocalisation pour permettre au personnel des industries fossiles de trouver de nouveau de l'emploi dans des secteurs connexes leur garantissant des conditions de travail et des avantages sociaux (Krawchenko et Gordon, 2021).

Le soutien aux communautés

De nombreuses communautés seront touchées indirectement par la transition énergétique au Canada, parce qu'elle exige une transformation en profondeur du système énergétique. Même si l'économie de l'une d'entre elles repose déjà sur la production d'énergies renouvelables ou de systèmes qui y sont liés, elle sera quand même concernée. Une communauté — une ville, une association locale, une coopérative, une entreprise ou un commerce — est à la fois un sentiment et un ensemble de relations entre les gens. Un soutien particulier devrait être offert aux communautés bâties autour de l'industrie pétrolière et gazière. L'Alberta et Terre-Neuve-et-Labrador sont les provinces canadiennes dont la croissance du produit intérieur brut (PIB) repose principalement sur l'industrie des énergies fossiles, selon les données officielles disponibles sur le site Web de ces deux gouvernements, celle-ci représentant respectivement 27 % et 13,7 % de leur PIB (D. Brown et Whitten, 2022). En outre, près de 62 % des emplois provenant de l'industrie du gaz et du pétrole sont concentrés en Alberta, selon les résultats d'un rapport publié en 2021 par le Réseau action climat Canada.

Il existe plusieurs communautés mono-industrielles au Canada. Nous pouvons compter 55 communautés de 10 000 personnes ou plus vulnérables à la transition (Samson, Arnold, Weseem, et Beugin, 2021). Une transition juste viserait donc à soutenir les communautés bâties autour des énergies fossiles appelées à disparaître d'ici 2050. La région de Wood Buffalo, qui comprend notamment la ville de Fort McMurray, est l'une des régions au pays qui regroupent le plus de travailleurs œuvrant dans les industries des énergies fossiles, dont 15 000 emplois directs et autant d'emplois indirects (Abédi, 2018). Les deux autres régions ayant la plus grande proportion de main-d'œuvre sont celles de Grande Prairie et de Red Deer, toujours en Alberta (Abédi, 2018).

Pour ce faire, les paliers de gouvernement devraient investir davantage dans ces communautés particulièrement touchées, en implantant des mesures de diversification économique ciblées comme la restauration des zones écologiques exploitées ou la rénovation d'infrastructures, et des mesures auprès des membres du personnel et leurs familles souhaitant se reloger ailleurs au pays, selon la publication d'un rapport publié en 2021 par le *Centre for Future Work*, un institut de recherche canado-australien. Selon les conclusions formulées par le rapport intitulé *Ça passe ou ça casse* publié en 2021 par l'Institut climatique du Canada, le gouvernement et les autorités locales devraient aussi prioriser l'implantation des projets de production et de distribution d'énergies renouvelables dans les régions où les communautés seront touchées de façon importante par la décarbonisation. Un exemple important serait d'implanter une ferme solaire dans la région de Wood Buffalo et d'éventuelles installations de production d'hydrogène vert ou de batteries (Samson, 2022).

L'inclusion des parties prenantes

Une transition juste n'exige pas seulement que les politiques de transition comme telles soient justes, mais demande également l'inclusion des parties prenantes dans l'élaboration et la mise en place de ces politiques. Dans les contextes canadiens et québécois, outre la main-d'œuvre et les industries, nous devons notamment inclure les communautés autochtones, les familles, les ONG et la société civile comme parties prenantes.

De nombreux projets hydroélectriques se sont développés sur des territoires ancestraux sans la permission des communautés autochtones touchées, estime Antoine Paquet dans son mémoire de maîtrise déposé en 2022. Cette dynamique de non-inclusion

Justice procédurale : inclusion des parties concernées dans les processus décisionnels.

Justice distributive : distribution équitable des bénéfices et des fardeaux résultant d'un processus, entre les parties concernées.

Justice de reconnaissance : reconnaissance des processus de gouvernance préexistants, ainsi que des droits, visions du monde, histoires et cultures des différentes parties prenantes dans les décisions.

(Bennett, Blythe, Cisneros-Montemayor, Singh et Sumaila, 2019)

est injustifiable du point de vue de la transition juste. L'intégration des parties prenantes s'arrime aux principes de reconnaissance et de justice procédurale, qui s'ajoutent aux politiques de justice distributive vues plus haut. La justice climatique demande de reconnaître que les parties prenantes existent, qu'elles ne partagent pas nécessairement la vision de l'industrie ou de l'État, mais qu'elles doivent être incluses dans le processus transitionnel et dans la répartition des gains de cette transition (Bennett, Blythe, Cisneros-Montemayor, Singh, et Sumaila, 2019).

Cette inclusion peut s'incarner de plusieurs façons, mais l'un des points principaux est d'établir une gestion commune des projets énergétiques ainsi que de partager les bénéfices de cette transition. L'exemple de la Nation Taykwa Tagamou, en Ontario, illustre le succès que peut avoir un partenariat bien négocié ainsi qu'une participation au processus décisionnel significative pour les personnes représentant la communauté. La centrale électrique Peter Sutherland, dont 35 % des parts appartiennent à la Nation Taykwa Tagamou, fournit l'énergie à la communauté en plus d'avoir des retombées économiques importantes pour celle-ci (Bull, 2021). Au Québec, la filière éolienne tirerait profit d'ententes avec les communautés autochtones, car plusieurs d'entre elles habitent le territoire le plus propice pour développer cette option renouvelable, selon le mémoire de maîtrise publié en 2022 par Antoine Paquet. La filière solaire n'est pas en reste, car il s'agit d'un type d'énergie que de nombreuses communautés autochtones voient positivement, souligne-t-il dans son mémoire.

Afin de favoriser cette participation, il faut entendre les préoccupations des groupes concernés, prendre le temps de développer des partenariats, inclure ces communautés dans le processus décisionnel face aux projets, respecter les droits territoriaux ancestraux et s'assurer que les gains obtenus soient au profit des communautés concernées (Bull, 2021).

Conclusion

Une transition juste a le potentiel de susciter une plus grande adhésion des personnes et d'accroître l'acceptabilité sociale de la population envers les politiques climatiques au Québec et au Canada. Or, tant en ce qui concerne le soutien à la main-d'œuvre que l'inclusion des parties prenantes, les initiatives gouvernementales, au pays, en matière de transition juste, sont nettement insuffisantes.

Cet article a démontré que la transition énergétique engendrera une création nette d'emplois au Canada et que les mesures pour une transition juste sont

identifiables et à la portée des gouvernements fédéraux et provinciaux. Considérant le caractère juste de ces politiques, leur potentiel en tant que levier d'acceptabilité sociale et la création d'emplois durables durant les prochaines décennies, la transition juste doit devenir une priorité politique. La mise en place de mesures concrètes de soutien aux travailleurs, de soutien aux communautés et d'inclusion des parties prenantes permettrait de mettre en place une transition plus juste.

RÉFÉRENCES

Abedi, M. (26 janvier 2018). Canadian cities with the most fossil fuel jobs — and what lies ahead for them | Globalnews.ca. *Global News*. Repéré à <https://globalnews.ca/news/3987534/canada-cities-fossil-fuel-jobs/>

Bennett, N. J., Blythe, J., Cisneros-Montemayor, A. S. M., Singh, G. G. et Sumaila, U. R. (2019). Just Transformations to Sustainability. *Sustainability*, 11(14), 3881. doi:10.3390/su11143881

Brown, D. et Whitten, E. (8 avril 2022). NL Budget 2022: The More Things Change, The More They Stay the Same. *The Independent*. Repéré à <https://theindependent.ca/news/politics/nl-budget-2022-the-more-things-change-the-more-they-stay-the-same/>

Bull, T. (2021). Partenariats autochtones : la clé pour honorer les engagements climatiques du Canada ? *Institut climatique du Canada*. Repéré à <https://institutclimatique.ca/publications/partenariats-autochtones/>

Gajevic Sayegh, A. (2020). Environmental Justice. In J.-F. Morin et A. Orsini (Eds.), *Essential Concepts of Global Environmental Governance*. New York: Routledge.

Harrahill, K. et Douglas, O. (2019). Framework development for "just transition" in coal producing jurisdictions. *Energy Policy*, 134, 110990. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110990>

Krawchenko, T. A. et Gordon, M. (2021). How Do We Manage a Just Transition? A Comparative Review of National and Regional Just Transition Initiatives. *Sustainability*, 13(11). doi:10.3390/su13116070

Montt, G., Wiebe, K. S., Harsdorff, M., Simas, M., Bonnet, A. et Wood, R. (2018). Does climate action destroy jobs? An assessment of the employment implications of the 2-degree goal. *International Labour Review*, 157(4), 519-556. doi: <https://doi.org/10.1111/ilr.12118>

O'Hagan, S. et Cecil, B. (2007). A Macro Level Approach to Examining Canada's Primary Industry Towns in a Knowledge Economy. *Journal of Rural and Community Development*, 2, 18-43.

Samson, R. (2022). Is clean growth the secret to Canada's just transition? Repéré à <https://climateinstitute.ca/is-clean-growth-the-secret-to-canadas-just-transition/>



Crédit photo : Casey Horner

Enjeux de société

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LEURS RÉPERCUSSIONS SUR LES INÉGALITÉS DE GENRE

Marianne-Sarah Saulnier

Chercheuse postdoctorale
École de travail social
Université McGill

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les populations qui sont déjà les plus vulnérables et les plus marginalisées dans le monde sont les plus touchées par les changements climatiques. Les femmes constituent une population hautement à risque, étant donné qu'elles représentent 70 % du 1,3 milliard de personnes qui vivent sous le seuil de la pauvreté et 60 % de la population mondiale qui souffre de famine. Elles sont aussi plus concernées par les changements climatiques en raison des tâches et discriminations subies et vécues relativement à leurs conditions sociales.

Un rapport de l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 2015) concluait que l'intégration d'une analyse comparative entre les sexes¹ permettrait une atténuation et une adaptation plus efficaces aux changements climatiques. Pourtant, l'ampleur du fardeau des femmes lié aux changements climatiques et le rôle qu'elles peuvent jouer pour améliorer la situation ne sont encore que peu compris en raison de données insuffisantes (Ampaire et al., 2020). Or, s'y attarder

permettrait non seulement de participer à l'avancement des connaissances générales sur les changements climatiques d'un point de vue sexospécifique, mais aussi de prendre acte des solutions d'actions concrètes et réalisables qui peuvent découler du savoir des femmes, en leur offrant une plus grande capacité de parole et d'action dans des situations concernant directement leur bien-être.

Ce texte aborde les effets des changements climatiques sur les inégalités de genre, une réalité peu connue et pourtant de plus en plus présente mondialement. Parce que les catastrophes et migrations climatiques sont déjà fortement en branle dans les pays d'Asie du Sud, l'article porte sur la réalité des femmes des milieux ruraux de cette région, de manière à comprendre comment les changements climatiques influent sur leur quotidien.

1. L'analyse comparative entre les sexes désigne différentes méthodes qui visent une meilleure compréhension des relations entre les hommes et les femmes quant à leurs accès aux ressources, aux activités, aux défis et aux difficultés qu'ils rencontrent les uns par rapport aux autres.



Femmes dans un champ d'ail, Jodhpur, Inde.
Photo de l'autrice, 2018

Changements climatiques en Asie du Sud : un bref survol

L'Asie du Sud abrite plus de 20 % de la population mondiale. Cette forte démographie rend, de prime abord, cette région plus vulnérable aux changements climatiques en raison des problèmes associés à la dégradation des ressources naturelles, à l'insécurité alimentaire et à la pauvreté. L'augmentation de la température, la fonte des glaces de l'Himalaya à un rythme élevé, l'élévation du niveau de la mer dans les zones côtières, les inondations ou encore l'augmentation de la fréquence des cyclones sont des indicateurs importants des changements climatiques dans la région. L'Asie du Sud dépend de la mousson pour la viabilité de son agriculture, mais les précipitations changent

et diminuent d'année en année (Dimitrova et al., 2021). La hausse des températures a des conséquences négatives directes sur les ressources en eau et le rendement agricole. Parmi ces pays, on compte bien entendu l'Inde, bientôt considérée comme étant le pays le plus peuplé au monde et dont 70 % de la population totale habite en milieu rural et repose donc sur l'exploitation de la nature et de ses produits.

En Inde, les conséquences sociales des changements climatiques sont dramatiques. Par exemple, on observe dans les dernières années une montée record des suicides chez les agriculteurs (Gummadi, Jyotishi et Jagadeesh, 2021). Si la détresse des agriculteurs est documentée, celle de leurs épouses l'est moins. Pourtant, on estime à ce jour que la production alimentaire des pays non occidentaux dépend à 80 % du travail des femmes. C'est le cas en Inde, pays qui repose sur l'exploitation de la nature et de ses produits, où les femmes représentent plus de 65 % de la main-d'œuvre agricole (CSW, 2019). On explique cette statistique par le fait que lors de catastrophes climatiques, les hommes sont souvent amenés à se déplacer dans des centres urbains pour chercher un mode de subsistance alternatif. Ainsi, ce sont généralement les femmes qui restent sur les terres. Par contre, elles sont rarement propriétaires et leur rôle d'agricultrice est souvent considéré comme informel. De cette manière, non seulement elles n'ont aucun pouvoir sur les décisions financières et familiales, mais lors de catastrophes naturelles, elles sont aussi contraintes à migrer seules avec leurs enfants vers d'autres endroits pour survivre. Cette situation menace leur sécurité sexuelle et physique.

Inégalités de genre et changements climatiques

De nombreuses études démontrent que les femmes sont plus fortement touchées par les changements climatiques en raison des tâches et discriminations qui leur sont socialement attribuées. Ce désavantage est probant, parce que des statistiques illustrent que les femmes ont 14 fois plus de risques de mourir dans une catastrophe climatique que les hommes². Par exemple, durant le tsunami qui a frappé l'Asie du Sud à la fin de 2004, les décès étaient composés à environ 80 % de femmes (Rahiem, Rahim et Ersing, 2021). Ce chiffre s'explique par plusieurs raisons. D'abord, parce que les femmes ne sont pas prévenues à temps lorsqu'il y a

2. Développement et Paix, Chaud devant : impacts des changements climatiques dans les pays du Sud et recommandations pour une action du Canada, rapport officiel, 2015. En ligne : https://www.dev.org/sites/www.dev.org/files/documents/materials/rapport_chaud_devant.pdf.



une catastrophe. Elles sont souvent tenues à l'écart des réseaux de nouvelles ou encore, elles n'ont pas l'alphabétisation nécessaire pour les lire. De plus, en Asie du Sud, par exemple, les femmes ne peuvent pas sortir de chez elles sans être accompagnées et donc, elles ne peuvent pas se sauver à temps. On ne leur apprend pas à nager ou encore, elles sont quotidiennement éloignées de leur foyer en raison de leurs tâches alimentaires quotidiennes.

Socialement et culturellement, les rôles associés aux femmes font en sorte qu'elles sont en majeure partie responsables de l'approvisionnement en eau et en bois de chauffage. À mesure que les conséquences des changements climatiques grandissent, ces tâches deviennent plus difficiles et prennent plus de temps. En Inde, on estime que les femmes parcourent de 5 à 20 km chaque jour. Ces éloignements de plus en plus longs en dehors du village les rendent beaucoup plus à risque de subir des agressions de toutes sortes.

Une migration climatique qui augmente les violences basées sur le genre

La violence basée sur le genre³ est exacerbée en situation de migration climatique. Selon le Secrétaire général des Nations Unies, Antonio Guterres, les changements climatiques sont désormais considérés comme étant le facteur clé qui accélère tous les autres facteurs de déplacement forcé et qui multiplie les menaces. Les syndromes de stress post-traumatique, la perte de biens et de moyens de subsistance, la pénurie de nourriture et de services de base à la suite de catastrophes météorologiques peuvent tous entraîner des tensions sociales. On peut par exemple penser à la Syrie, où la guerre civile a succédé

3. La violence basée sur le genre prend racine dans l'inégalité entre les sexes. Elle désigne des actes nuisibles et violents dirigés contre une personne ou un groupe de personnes en raison de leur identité de genre.

à une longue sécheresse. On sait statistiquement que les conflits favorisent la violence familiale, les mariages d'enfants, la traite des personnes et les viols envers les femmes [Ozcurumez, 2021]. Cette vulnérabilité augmente encore plus lorsque ces dernières se retrouvent seules à devoir gérer la terre ou encore à devoir s'en éloigner pour fuir une catastrophe climatique. Une fois dans les abris et les refuges, le risque perdure, car ceux-ci sont rarement adaptés pour accueillir un grand nombre de réfugiés et sont bien souvent considérés comme non sécuritaires pour les femmes. C'est par exemple ce qu'une enquête menée par la Fondation Khan et le Centre de ressources et de recherche pour les femmes en Asie-Pacifique (ARROW) a démontré alors que 93 % des femmes interrogées ont dit ne pas se sentir en sécurité dans les refuges au Bangladesh (Khan Foundation et ARROW, 2015). Les raisons principales comprennent le malaise et les tensions dues à la cohabitation avec les hommes sans aucune intimité et l'absence de toilettes et de douches réservés aux femmes. De plus, l'accès limité aux ressources de base oblige les femmes à sortir des refuges et des camps pour aller chercher de la nourriture, de l'eau et du bois, les exposant ainsi à un risque plus élevé de harcèlement, d'agressions sexuelles ou même de viols.

Il est à noter que la vaste majorité des migrations climatiques se déroulent à l'intérieur même des frontières des pays. Pour quatre migrants et migrantes dans le monde, trois sont internes et un seulement est international. Dans la majorité des cas, les gens ne veulent pas quitter leur milieu de vie, ils veulent plutôt se mettre à l'abri. Les migrations se font donc souvent sur de courtes distances.

On estime que 30,7 millions de personnes ont été déplacées en raison de catastrophes d'origine climatique en 2020. C'est trois fois plus que le nombre de personnes déplacées pour les guerres et conflits armés. Pour ce qui est plus particulièrement des femmes en situation de migration climatique, pratiquement aucune d'entre elles ne réussit à quitter son pays. D'abord en raison du taux de mortalité élevé en situation de migration climatique, causé par différentes violences ou un manque de ressources, mais aussi parce que la grande majorité de ces femmes n'ont jamais les moyens financiers de quitter leur pays. En fait, les personnes migrant à l'extérieur du pays, et en particulier vers le Canada, sont les populations urbaines ayant le plus de ressources financières. Pour ces personnes, le lien entre la décision de quitter leur pays et l'environnement est très souvent indirect.

Une parole importante, mais peu écoutée

Malgré ce portrait plutôt sombre, les femmes ne sont pas que des victimes des changements climatiques : elles sont aussi porteuses de solutions importantes quant à l'élaboration de politiques ou de pratiques environnementales viables sur le plan local et national (Larson et al., 2018). La portée de cette parole n'est pas à prendre à la légère : elle peut inspirer d'autres milieux où les femmes se mobilisent et créer des dialogues entre diverses organisations de femmes à l'échelle internationale. Parce qu'elles occupent un rôle central dans le travail de la terre et le contact avec les ressources naturelles (telles que l'eau, le bois, les textiles végétaux, etc.), leurs connaissances, savoirs et expériences sur les enjeux climatiques peuvent être extrêmement riches pour la mise en place de solutions d'adaptation au climat.

C'est par exemple ce qu'on a pu observer au Bangladesh, dans le village de Chauhali. Laily Begum, une femme dont la survie repose sur le travail de la terre depuis 30 ans, a développé une manière de préserver ses plants face à la hausse des températures et aux inondations de plus en plus fréquentes⁴. Deux fois par semaine, elle se rassemble avec un groupe d'agriculteurs et d'agricultrices composé principalement de femmes afin de partager ses techniques agricoles, qui comprennent entre autres la pollinisation manuelle, la culture mixte, les jardins suspendus ou flottants, le stockage de semences ou encore l'utilisation de compost. Au fil du temps, elle a créé un véritable réseau de femmes qui s'entraident pour une meilleure adaptation aux changements climatiques. Manika Begum, dans la même région, a fait le même processus en racontant à un groupe de femmes la manière dont elle préservait ses semences dans des bouteilles de verre recyclées (UQOCI, 2015). Donner une voix aux femmes permet de partager leurs idées et leurs solutions bien souvent ignorées des autorités ou dans les discours dominants, en plus d'augmenter leur agentivité et leur sécurité alimentaire. La portée positive de ce type de réseau est un phénomène qu'on observe ailleurs dans le monde, par exemple au Kenya avec le Mouvement de la ceinture verte. Ce projet, dirigé uniquement par des femmes, propose de planter des arbres autour des villes et des villages pour combattre la déforestation, générer des revenus et freiner l'érosion du sol.

4. « Beating climate change the "smart" way », *Welt hunger hilfe*, Mamunur Rashid. En ligne : <https://welthungerhilfeindia.org/beating-climate-change-the-smart-way/>



Jeune fille dans un champ de menthe, Osian, Inde.
Photo de l'autrice, 2018.

Malheureusement, ce type d'initiatives est encore trop souvent invisibilisé à ce jour, car les femmes sont majoritairement absentes des processus décisionnels concernant les conséquences des changements climatiques. Le débat international sur le climat n'a, jusqu'à maintenant, pas cherché à intégrer de façon significative les femmes dans les politiques environnementales (Alhassan, Kuwornu et Osei-Asare, 2019).

Conclusion

A ce jour, aucun outil juridique ne protège les droits des migrants et migrantes climatiques, car le statut de réfugié ne leur est pas reconnu selon la Convention de Genève. En effet, bien que les changements climatiques soient irréversibles, ils sont progressifs et à ce titre, ne représentent pas une menace imminente. En date d'aujourd'hui, selon la Convention relative au statut des réfugiés de 1951, le statut de réfugié n'est accordé que lorsqu'une personne craint d'être persécutée en raison de sa race, de sa religion, de sa nationalité, de son appartenance à un groupe social ou de ses opinions politiques. La sécurité des migrants et migrantes climatiques et particulièrement celle des femmes est donc hautement précaire. Toutefois, les changements climatiques vont appeler, dans les prochaines années, à une redistribution de la population mondiale, car les experts et expertes estiment que des millions, voire jusqu'à un milliard d'êtres humains pourraient migrer en raison des changements climatiques d'ici 2050. Il faut s'y attarder, d'abord en investissant dans l'amélioration des conditions de vie dans les refuges et abris pour diminuer la violence basée sur le genre. Ensuite, en développant des outils pour accueillir les réfugiés et réfugiées climatiques. Il est toutefois nécessaire de le faire en adressant plus particulièrement la situation des femmes et particulièrement celles des milieux ruraux,

désavantagées par une multitude d'intersections et dont la situation se détériore grandement par des violences exacerbées à leur égard en situation de migration climatique.

RÉFÉRENCES

- Alhassan, S. I., Kuwornu, J. K. M. et Osei-Asare, Y. B. (2019).** Gender dimension of vulnerability to climate change and variability. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 195-214.
- Ampaire, E. L., Acosta, M., Huyer, S., Kigonya, R., Muchunguzi, P., Muna, R. et Jassogne, L. (2020).** Gender in climate change, agriculture, and natural resource policies: insights from East Africa. *Climatic Change*, 158(1), 43-60.
- CSW. (2019).** Commission on the Status of Women (Vol. 1): United Nations Women.
- Dimitrova, A., Ingole, V., Basagana, X., Ranzani, O., Mila, C., Bal-
lester, J. et Tonne, C. (2021).** Association between ambient temperature and heat waves with mortality in South Asia: Systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 146, 106170.
- Foundation, K. et ARROW. (2015).** A Scoping Study. Women's Sexual & Reproductive Health and Rights (SRHS) and Climate Change. What is the Connection?
- Gummadi, S., Jyotishi, A. et Jagadeesh, G. (2021).** Juxtaposing Farmers' Suicides and Climate Change Vulnerability: An Empirical Analysis of Indian States. *Space Culture, India*, 9(1), 66-79.
- Larson, A. M., Solis, D., Duchelle, A. E., Atmadja, S., Resosudarmo, I. A. P., Dokken, T. et Komalasari, M. (2018).** Gender lessons for climate initiatives: A comparative study of REDD+ impacts on subjective wellbeing. *World Development*, 108, 86-102.
- Ozcurumez, S. (2021).** Sexual and Gender-Based Violence and Social Trauma [*Social Trauma—An Interdisciplinary Textbook* (p. 279-285): Springer.
- Rahiem, M. D., Rahim, H. et Ersing, R. (2021).** Why did so many women die in the 2004 Aceh Tsunami? Child survivor accounts of the disaster. *International journal of disaster risk reduction*, 55, 102069.
- UQOCI, C. q. f. e. d. (2015).** Femmes et changements climatiques.



Enjeux de société

VERDISSEMENT ET SANTÉ PUBLIQUE : QUAND LES COMMUNAUTÉS SE MOBILISENT

Crédit photo : Nathalie Segato

Mélanie Beaudoin

Conseillère scientifique et
coordonnatrice professionnelle
Direction de la santé
environnementale, au travail
et de la toxicologie
Institut national de santé publique
du Québec

Marie Lapointe

Conseillère scientifique spécialisée
Direction de la santé
environnementale, au travail
et de la toxicologie
Institut national de santé publique
du Québec

Daniela Kowu

Agente de planification,
de programmation et de recherche
Direction de la qualité, de l'évaluation,
de l'éthique et des affaires
institutionnelles
CHU de Québec – Université Laval

Les changements climatiques perturbent déjà la santé et le bien-être de la population québécoise. Notamment, les épisodes de chaleur extrême peuvent causer une surmortalité et une augmentation des hospitalisations (Bustanza et al., 2013). Malheureusement, le nombre de jours où la température dépasse 30 °C dans la région de Montréal, par exemple, pourrait passer de 11 jours annuellement pendant la période 1981-2010 pour atteindre jusqu'à 42 jours par année pour la période 2041-2070, selon les scénarios climatiques d'Ouranos (2021).

En ville, où vit plus de 80 % de la population québécoise, la minéralisation et la faible canopée des quartiers centraux provoquent une augmentation de températures estivales pouvant atteindre jusqu'à 12 °C de plus par rapport aux zones rurales environnantes (Drapeau et al., 2021). Ces îlots de chaleur urbains perturbent particulièrement la santé et le bien-être des populations vulnérables comme les personnes à faible revenu, les personnes âgées, les jeunes enfants, les femmes enceintes et leur fœtus, les personnes souffrant de maladies chroniques, celles aux prises avec des ennuis de santé mentale et les personnes vivant seules ou en perte d'autonomie (Drapeau et al., 2021). Les îlots de chaleur urbains amplifient, lors d'épisodes de chaleur extrême, les problèmes de santé directement liés à la chaleur (par exemple, la déshydratation ou les coups de chaleur) ou aux maladies chroniques (telles que les maladies cardiovasculaires ou le diabète).

Le verdissement constitue l'une des mesures préconisées pour lutter contre les îlots de chaleur urbains et contribuer à l'adaptation des villes par rapport à la crise climatique (Drapeau et al., 2021). Le rafraîchissement moyen de 1 °C à 4,7 °C généré par la plantation de végétaux peut s'étendre à près d'un kilomètre (Drapeau et al., 2021). Le verdissement offre plusieurs autres bénéfices pour la santé physique et mentale des citoyens en réduisant la pollution atmosphérique et le bruit, en favorisant le contact avec la nature, en offrant des opportunités d'activité physique, etc. Le verdissement contribue aussi à créer des communautés plus résilientes, entre autres en renforçant le capital social par la socialisation et en favorisant le développement d'un sentiment d'appartenance (Beaudoin et Levasseur, 2017).

Les projets de verdissement communautaire évalués

Afin de favoriser la réalisation d'actions concrètes de lutte contre les îlots de chaleur urbains, l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), dans le cadre du « *Plan d'action sur les changements climatiques 2006-2012 du gouvernement du Québec* », a lancé des appels de propositions à l'échelle provinciale.

Une quarantaine de projets de lutte contre les îlots de chaleur urbains destinés aux populations vulnérables ont été réalisés par des acteurs des secteurs public et communautaire de 2010 à 2014¹. Les aménagements visaient des places fraîches, des ruelles vertes, des stationnements écologiques, des cours d'école, des aires de jeu de centres de la petite enfance ou l'aménagement de l'enveloppe de bâtiments. Plus de 3 000 arbres et 26 000 arbustes/plantes grimpantes/vivaces et annuelles ont été plantés, plus de 600 m² de toiture verte ont été implantés et plus de 1 500 bacs d'agriculture ont été installés.

Près de dix ans plus tard, l'INSPQ a souhaité évaluer la pérennité des aménagements et de leurs bienfaits. Cet article présente les résultats de cette évaluation par rapport aux bénéfices perçus, aux obstacles rencontrés et aux facteurs de succès et de pérennité, autant sur les plans environnementaux que sociaux. Ces constats permettent également d'émettre des recommandations pour favoriser la réussite de projets de verdissement urbains. Seule la portion liée aux actions de verdissement des projets est discutée, bien que certains projets comprenaient des actions complémentaires sur les matériaux de recouvrement du sol et des bâtiments.

1. La localisation des projets est présentée sur le site : www.monclimatma.sante.qc.ca/carte-des-projets-contre-les-ilots-de-chaleur.aspx

Trente-six projets ont été visités en 2019. Ces visites ont permis d'évaluer l'état de la végétation, l'occupation de l'espace et l'utilisation des lieux ainsi que la perception de fraîcheur procurée par la végétation. Des entrevues ont été réalisées pour 29 projets avec une personne responsable de la réalisation du projet ou de son suivi au sein des organismes promoteurs. Divers sujets ont été abordés concernant la participation des partenaires et citoyens, les retombées sociales et communautaires perçues, l'entretien et la pérennisation des plantations, ainsi que les défis rencontrés.

Les bénéfices observés du verdissement urbain

En matière de bénéfices sur la santé physique, bien que la mesure directe de l'effet de la végétalisation sur la température ambiante n'ait pas été possible, la perception du confort thermique a été rapportée lors des visites terrain et des entrevues. Dans 92 % des cas, on ressent une amélioration du confort thermique. En outre, le potentiel de diminution de la température augmentera dans le temps alors que les arbres gagneront en maturité. De plus, 55 % des zones verdies contribuent à la pratique d'activité physique, notamment par le jardinage (42 % des projets comprenaient de l'agriculture), le jeu ou le transport actif.

La participation citoyenne aux efforts de verdissement contribue également aux bénéfices en lien avec la santé des communautés. En effet, l'un des bienfaits les plus rapportés est la socialisation : 72 % des personnes-ressources rencontrées en ont fait mention. Les bénéfices rapportés comprennent : une augmentation du sentiment de sécurité ; une diminution des incivilités comme le vandalisme ; une perception plus positive du milieu de vie ; une augmentation du sentiment d'appartenance et une plus grande mixité sociale.

Les partenariats et la participation citoyenne favorisent la pérennité des projets

Le taux de survie de la végétation plantée était important pour l'ensemble des projets visités. À cet égard, certains des facteurs pouvant favoriser la pérennité sont le partenariat et l'implication citoyenne. En effet, 60 % des projets ont été réalisés en partenariat : les municipalités, écoles et organisations reliées à l'habitation se sont souvent adjointes les services d'un organisme à but



Crédit photo : Parole d'excluEs



Crédit photo : Daniela Kowu

Transformation d'une partie d'un stationnement à Montréal-Nord, réalisée en partenariat avec Parole d'excluEs et la SHAPEM (La photo de gauche a été prise pendant les travaux en 2010 et la photo de droite a été prise lors du suivi en 2019).

non lucratif (OBNL) œuvrant en verdissement. Ces organismes peuvent contribuer à la mobilisation et à l'engagement de diverses personnes touchées par les actions. D'ailleurs, 72 % des projets comprenaient une forme de participation citoyenne, allant de la consultation à la participation aux plantations et à leur entretien. Dans plusieurs cas, cette participation citoyenne a également permis de compenser les ressources financières limitées de plusieurs porteurs de projet, qui ne leur permettaient pas d'employer des paysagistes. Sans compter que plusieurs bienfaits sociaux rapportés, tels que la socialisation, le sentiment d'accomplissement et le sentiment d'appartenance, sont grandement influencés par la participation.

Les défis du verdissement communautaire

La mise en œuvre de ces projets a parfois comporté quelques défis. Pour les OBNL en particulier, un défi fréquemment rapporté est celui du roulement de personnel, entraînant une perte des connaissances de l'historique du projet, des partenaires et de la relation avec les citoyens et citoyennes. Dans certains cas, une démobilisation de ces groupes a été observée avec le temps.

Concernant la pérennité des plantations, certains facteurs ont nui à l'entretien et à la survie des végétaux. La plupart des projets auraient bénéficié d'un financement accru pour l'entretien des plantations. Ensuite, certains aménagements ont été victimes de leur succès : la fréquentation des lieux a entraîné le piétinement des plantations ou la présence de déchets. Par ailleurs, le manque de connaissances sur les besoins en matière

d'habitat et d'entretien des végétaux est lié à une mortalité importante des végétaux dans certains projets. Par exemple, certaines plantations n'ont pas résisté à l'hiver ou encore sont mortes par manque d'arrosage. Parfois, des plantes exotiques envahissantes ont pris le dessus sur les plantations d'origine en raison du manque d'entretien.

Des recommandations pour pérenniser les projets de verdissement communautaires

POUR DES PARTENARIATS DURABLES

Les partenariats peuvent contribuer à la résilience des projets et à étendre les bénéfices à une plus grande partie de la population. Les partenariats réussis sont favorisés par une clarté dans la définition des objectifs poursuivis ainsi que dans les rôles et responsabilités de chaque personne. Une bonne communication à toutes les étapes est aussi gage de succès. Tous ces éléments doivent être précisés dès le départ et sont à revisiter au fil du projet, selon les capacités de chacun et de chacune. En milieu scolaire, en plus d'une volonté forte de l'établissement, les partenariats sont souhaitables si l'expertise n'est pas disponible au sein même de l'organisation.

Pour pallier le roulement des intervenants et intervenantes, il est recommandé de tenir une « encyclopédie » du projet colligeant les informations sur les personnes impliquées ; leurs rôles, responsabilités et coordonnées ;

les aménagements faits et les calendriers d'entretien, par exemple. Cette encyclopédie devrait être mise à jour le plus régulièrement possible. De cette manière, de nouveaux participants pourront s'intégrer de manière plus efficace et il y aura moins de risques de perdre l'historique du projet.

POUR UNE PARTICIPATION CITOYENNE OPTIMALE

L'engagement citoyen dans le projet est favorisé par une participation active à tous les stades : de la conception à la plantation et l'entretien. En particulier, la consultation des populations ciblées par les interventions ou touchées par le projet permet de prendre en compte leurs besoins et leur intérêt à participer.

Une consultation en amont du projet permet de mettre en place une intervention de verdissement qui correspond aux besoins des futurs usagers et usagères et qui en décuplera les bénéfices grâce à une appropriation accrue. Cette gestion participative est souvent adoptée par les OBNL, mais peut être appliquée dans d'autres contextes, comme en milieu scolaire.

Une remobilisation saisonnière doit être prévue pour pallier le roulement des participantes et participants (résidents et résidentes dans les habitations, élèves et parents pour les projets scolaires), mais aussi pour permettre à d'autres personnes intéressées de rejoindre l'initiative qui, autrement, pourrait devenir hermétique.

POUR UN VERDISSEMENT PÉRENNE

Afin de sélectionner les bonnes espèces à planter au bon endroit, il est crucial de s'informer auprès de spécialistes du verdissement (pépiniéristes, architectes paysagistes, botanistes, etc.). Par exemple, dans les cours d'école comme dans les parcs, il faut prévoir des plantations qui peuvent survivre au piétinement ou qui seront protégées de manière adéquate. Les plantes vivaces rustiques demandent moins d'entretien et résistent mieux aux conditions météorologiques, peu importe la saison. Enfin, bien que l'agriculture urbaine procure de nombreux bénéfices, elle demande un entretien important, voire quotidien, selon les plantes choisies. Il faut planifier cet investissement en temps et en ressources dès le départ pour ne pas se retrouver avec des bacs et plates-bandes abandonnés après quelques années.

Pour maximiser les effets sur la santé par la diminution des températures, les arbres ont le plus fort potentiel de rafraîchissement comparé à d'autres types de végétation et leurs effets se bonifient dans le temps. Si le budget

le permet, il est préférable de prioriser les arbres de plus fort calibre, qui vont avoir un effet plus rapidement pour réduire la chaleur. De plus, les arbres ainsi que les vignes demandent moins d'entretien, outre un arrosage les premières années, sont moins vulnérables au piétinement lorsqu'ils ont atteint une certaine taille et sont susceptibles d'avoir une plus grande pérennité.

Pour minimiser les conséquences néfastes sur la santé, il faut aussi éviter de planter des espèces à fort potentiel allergène (tels que les bouleaux). Les arbustes et herbacées indigènes compétitifs sont à privilégier pour limiter la prolifération des espèces végétales exotiques envahissantes et nuisibles, comme l'herbe à poux.

Le budget pour l'entretien et le remplacement des végétaux dans les années qui suivront les aménagements est à planifier dès le départ. Ces sommes peuvent être plus ou moins importantes selon la nature du projet. Par exemple, les arbres de forts calibres sont plus coûteux, mais risquent de mieux résister aux dommages accidentels (par exemple, le piétinement) que des arbres de petit calibre. Au contraire, les budgets de remplacement de végétaux risquent d'être plus importants lorsque des espèces peu adaptées à la rigueur des hivers québécois ont été plantées ou pour les projets d'agriculture urbaine comprenant une forte proportion d'espèces annuelles. Il est donc recommandé d'être prudent sur le plan budgétaire, car les budgets sont souvent sous-estimés, mais sont nécessaires à la pérennité des aménagements.

Des pistes de recherche pour maximiser les bénéfices

Afin de favoriser encore plus les bonnes pratiques de verdissement urbain communautaire et ainsi maximiser les bénéfices sur la santé des communautés, de nombreuses avenues de recherche restent à explorer.

En matière de bénéfices sur les communautés, une attention particulière devrait être portée sur les freins rencontrés à la participation et à l'accès aux bénéfices des initiatives de verdissement au Québec par certains groupes (par exemple, les populations racisées) et sur les façons de promouvoir des initiatives encore plus inclusives. Dans le même ordre d'idées, il serait pertinent de mieux comprendre l'influence potentielle des projets de verdissement sur l'intégration des immigrants et

immigrantes dans leur nouveau milieu de vie. Enfin, il est essentiel de mieux comprendre les leviers pour prévenir le processus d'éco-embourgeoisement (ou gentrification verte ou environnementale). En effet, le verdissement urbain peut parfois augmenter l'attractivité des quartiers et donc la valeur foncière des propriétés (Wolch et al., 2014). Ce phénomène pourrait éventuellement rendre les logements trop dispendieux pour les ménages à plus faible revenu, qui pourraient se voir déplacés de leur milieu de vie et ne pas être à même de bénéficier du verdissement de leur quartier.

En ce qui a trait aux plantations, il vaudrait la peine de mieux étudier les préférences en matière d'aménagement paysager pour répondre aux besoins multiples des populations ciblées afin de maximiser à la fois les bénéfices sociaux et écologiques par une plus grande appropriation des espaces verts. La « performance » de différents assemblages végétaux pourrait aussi être évaluée, notamment en matière de rafraîchissement et d'habitat pour la biodiversité urbaine.

En terminant, ce regard porté sur ces projets a démontré l'engouement de la population pour le verdissement et ses bénéfices sociaux et environnementaux. Un constat fort émerge de la démarche : l'implication de la communauté constitue un gage de succès et de pérennité

des projets de verdissement tout en maximisant les bienfaits sociaux et sanitaires. Plusieurs initiatives ont d'ailleurs été bonifiées avec le temps ou encore ont inspiré des initiatives similaires. En bref, ces projets de verdissement communautaires génèrent un vent de fraîcheur sur nos municipalités, qui en ont bien besoin pour faire face à la crise climatique.

RÉFÉRENCES

Beaudoin, M. et Levasseur, M.-È. (2017). *Verdir les villes pour la santé de la population : Revue de la littérature*. Institut national de santé publique du Québec.

Bustinza, R., Lebel, G., Gosselin, P., Bélanger, D. et Chebana, F. (2013). Health impacts of the July 2010 heat wave in Quebec, Canada. *BMC public health*, 13(1), 1-7.

Drapeau, L.-M., Beaudoin, M., Vandycke, L. et Brunstein, M. (2021). *Mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains : Mise à jour 2021*. Institut national de santé publique du Québec.

Ouranos. (2021). Portraits climatiques. Version 1.2. <https://portclim.ouranos.ca/#/regions/28>

Wolch, J. R., Byrne, J. et Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities "just green enough". *Landscape and urban planning*, 125, 234-244.





Le Climatoscope, bien plus qu'une revue

Des événements de vulgarisation gratuits et ouverts au public

- Bar des sciences
- Dialogues pour le climat
- Conférences
- Webinaires



Suivez nos événements et
nos publications sur notre
page Facebook

CLIMATOSCOPE.CA



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