

Septembre 2019

Numéro 01



Le Climatoscope

PORTRAIT DES AVANCÉES
SCIENTIFIQUES SUR LES
CHANGEMENTS CLIMATIQUES

CLIMATOSCOPE.CA

Dans ce numéro

ÉDITORIAL DE YANICK VILLEDIEU

ALERTE DANS LES HAUTES
LATITUDES NORD

INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES
POUR RÉDUIRE LES GES

NÉGOCIATIONS CLIMATIQUES
INTERNATIONALES

SANTÉ ET CHANGEMENTS
CLIMATIQUES

ÉCONOMIE VERTE

BILAN DES POLITIQUES
CLIMATIQUES AU CANADA
ET AU QUÉBEC

01



À propos

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

© **Le Climatoscope**

Dépôt légal : quatrième trimestre 2019

Bibliothèque et Archives Canada

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISSN 2562-8011

LE CLIMATOSCOPE

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

CLIMATOSCOPE.CA



COMITÉ DE DIRECTION

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

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

COMITÉ SCIENTIFIQUE

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

Gabriel Blouin-Genest, Professeur 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

COORDONNATRICE

Catherine Dussault Frenette

PROFESSIONNEL DE RECHERCHE

Philippe Simard

RÉVISION LINGUISTIQUE

Catherine Dussault Frenette

REMERCIEMENTS

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

PARTENAIRE PRINCIPAL



PARTENAIRES



Table des matières

ÉDITORIAL

DANS LA MARMITE DU CLIMAT

Yanick Villedieu

6

PERSPECTIVES

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LEURS IMPACTS AU CANADA ET DANS LE MONDE : ÉTAT DES LIEUX

Climatoscope et Copticom, en partenariat avec Ouranos

9

CHANGEMENT DE GOUVERNEMENT À QUÉBEC, CHANGEMENT DANS LA POLITIQUE CLIMATIQUE QUÉBÉCOISE ?

Hugo Séguin, Alain Webster et Annie Chaloux

15

SOMMES-NOUS BIEN INFORMÉS ? : ÉCARTS ENTRE LA COUVERTURE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE LA BIODIVERSITÉ PAR LES MÉDIAS ET LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Pierre Legagneux, Kevin Cazelles et Dominique Gravel

22

SCIENCES ET TECHNOLOGIES

ALERTE DANS LES HAUTES LATITUDES NORD : L'ARCTIQUE RÉAGIT AU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Alain Royer

27

DU RÉCHAUFFEMENT AUX CONSÉQUENCES ÉCOLOGIQUES : S'ADAPTER, MIGRER OU DISPARAÎTRE

Limoilou-Amélie Renaud, Mark Vellend et Fanie Pelletier

31

OÙ TROUVER DU SIROP D'ÉRABLE EN 2100 ?

Gabriel Bergeron et Dominique Gravel

36

LE QUÉBEC RÉCEMMENT FRAPPÉ PAR LES CRUES EXTRÊMES : UNE MANIFESTATION DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ?

Robert Leconte

40

CONSÉQUENCES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES D'INITIATIVES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE : REGARD SUR LE SECTEUR DU CIMENT PORTLAND

Jean-Martin Lessard, Guillaume Habert, Arezki Tagnit-Hamou et Ben Amor

46

RÉDUCTION DES GES D'ÉTABLES À VACHES AU MOYEN DE BIOFILTRES PASSIFS

Alexandre Cabral

54

POLITIQUE

CHANGEMENTS CLIMATIQUES : À QUOI SERVENT LES COP ?

Géraud de Lassus St-Geniès

59

LE CHANT DES SIRÈNES ET LA POLITIQUE ÉTRANGÈRE CANADIENNE SUR LE CLIMAT. *BILAN DU GOUVERNEMENT TRUDEAU*

Annie Chaloux

63

LE DÉFI DE LA LUTTE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES À L'ÉPREUVE DES CONSERVATEURS CANADIENS (2002-2019)

Frédéric Boily

67

ÉTATS-UNIS 2020. CHANGEMENTS CLIMATIQUES : ENJEU ÉLECTORAL ?

Hugo Séguin

71

LA SANTÉ COMME MOTEUR DES NÉGOCIATIONS INTERNATIONALES SUR LE CLIMAT : RETOUR SUR LE RAPPORT SPÉCIAL DE L'OMS À LA CDP 24

Léa Ilardo et Gabriel Blouin Genest

77

ENJEUX DE SOCIÉTÉ

JEUNES ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Propos recueillis par Catherine Gauthier

82

« YOU CAN'T BUILD YOUR WAY OUT OF CONGESTION » : LA LOI FONDAMENTALE DE LA CONGESTION ROUTIÈRE ET L'EFFICACITÉ DES INTERVENTIONS PUBLIQUES VISANT À RÉDUIRE LA CONGESTION

Fanny Tremblay-Racicot

85

INCLUSION DÉMOCRATIQUE : RETOUR SUR UN CAS DE GOUVERNANCE DÉCENTRÉE DE L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Alain Létourneau

90

LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA SANTÉ AU QUÉBEC : L'EXEMPLE DE L'ESTRIE

Geneviève Petit, Éric Lachance, Mélissa Généreux, Charles-Antoine Barbeau-Meunier, Linda Pinsonneault, Huy Hao Dao, Marie-Christine Milot, Geneviève Baron et Alex Carignan

94

CHANGEMENTS CLIMATIQUES, RESSOURCES NATURELLES ET CONFLITS ARMÉS

Jonathan Goyette

100

MIGRATIONS CLIMATIQUES : UN ENJEU COMPLEXE

Dorothée Boccanfuso et Benoît Kafando

105

URGENCE CLIMATIQUE ET ÉQUITÉ SOCIALE : PLAIDOYER POUR UNE TARIFICATION DU CARBONE

Alain Webster

110

ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES DU LAC SAINT-PIERRE

Jie He, Hermann Enomana, Jérôme Dupras et Thomas Poder

116



Presses de l'Université du Québec

50 ans
de savoir

Découvrez nos ouvrages en environnement

Sous la direction de **Annie Chaloux**
et **Hugo Séguin**

Le fédéralisme canadien face aux enjeux environnementaux

Le Canada: un État ingouvernable?



NOUVEAUTÉ
EN LIBRAIRIE LE
23 OCTOBRE



PUQ.CA



Abonnez-vous à
notre infolettre pour
connaître nos nouveautés!

DANS LA MARMITE DU CLIMAT



Contenu riche et diversifié. Constats souvent inquiétants, pour ne pas dire alarmants. Lueurs d'espoir plutôt modestes... Cette première livraison de la revue *Le Climatoscope* offre à ses lecteur.rice.s un menu substantiel – de la bonne « nourriture pour l'esprit », comme le veut la formule. Et elle envoie le message qu'il faut envoyer et renvoyer, encore et toujours : il y a grand péril en la demeure.

Grand péril parce que, partout dans le monde, toutes les observations concordent. Indéniablement, la marmite du climat est sur le feu. Et tout aussi indéniablement, l'eau chauffe. Mais nous ne la regardons pas chauffer de l'extérieur : comme les grenouilles de la fameuse fable, nous sommes *dans* la marmite. Tout particulièrement au Canada où, comme le rappelle l'état des lieux qui ouvre ce *Climatoscope*, « le réchauffement enregistré jusqu'à présent [de 1948 à 2016] est environ deux fois plus important que celui constaté à l'échelle planétaire » :

1,7 °C au Canada contre 0,8 °C en moyenne sur la planète. Sans reprendre toutes les données de cet état des lieux, soulignons que le réchauffement a été encore plus marqué dans le Nord du pays. Au Yukon, dans les Territoires du Nord-Ouest et au Nunavut, il s'est élevé à 2,3 °C, « ce qui correspond à trois fois le réchauffement moyen mondial ».

Faut-il encore le dire ? Les signes que la marmite chauffe sont légion. Les années les plus chaudes jamais enregistrées se multiplient ; les records de chaleur battent rapidement les précédents records de chaleur ; les épisodes de canicules, de sécheresses ou de pluies diluviennes se font plus fréquents ; des kilomètres carrés de forêt disparaissent dans d'immenses incendies ; les glaciers et les banquises fondent, le niveau des océans grimpe ; les récifs coralliens disparaissent à toute allure ; la flore et la faune en prennent pour leur rhume et essaient tant bien que mal de s'adapter plutôt que de disparaître (et les espèces semblent plus souvent perdre que gagner à ce jeu-là) ; la perte de biodiversité, due en partie au dérèglement du système climatique, est telle qu'on évoque parfois une « sixième extinction ». Bref, le climat devient « fou ».

Mais si la Terre est en train de se transformer en une « étuve » qui deviendrait « invivable » ou « inhabitable » pour l'humanité, comme le suggère une étude publiée en 2018 par les *Proceedings of the National Academy of Sciences* des États-Unis, si nous sommes près d'un point de non-retour ou même déjà engagé.e.s dans l'apocalypse climatique, comme le clament parfois les médias, pourquoi les grenouilles ne sautent-elles pas hors de la marmite ? Parce qu'elles ne ressentent pas la graduelle augmentation de la température et s'y habituent peu à peu... jusqu'au moment où il sera trop tard pour réagir et où elles mourront cuites, comme le raconte la fable ? Ou parce que les bords de la marmite sont tout simplement trop hauts pour elles ?

Autrement dit, sommes-nous pieds et poings liés face à une société et à une économie qui carburent, littéralement, aux énergies fossiles ? C'est ce que j'ai tendance à penser dans mes moments de pessimisme, que d'aucuns qualifieront de réalisme. Malgré les avertissements des scientifiques et les belles promesses des politicien.ne.s, malgré les succès apparents de la « diplomatie du climat » (dont le célèbre Accord de Paris, approuvé par près de 200 pays lors de la vingt-et-unième Conférence des Parties, en décembre 2015), le fait brutal est que les émissions de CO₂ et autres GES, les gaz à effets de serre, continuent d'augmenter. Le fait est, également, qu'une énorme proportion de l'énergie consommée dans le monde provient toujours et encore des combustibles fossiles – en gros, le charbon, le pétrole et le gaz fournissent plus des quatre cinquièmes de l'énergie de la planète. Ce qui veut dire que le système

économique mondial est lourdement dépendant du marché du carbone, et ce n'est pas pour rien que le pétrole, dont la production est en hausse, est depuis longtemps surnommé « l'or noir ».

Dans mes moments de réalisme (ou de pessimisme...), je vois bien les énormes difficultés politiques d'un passage au « moins de carbone » dans le bilan énergétique mondial. Au Canada, le bras de fer entre les pro et les anti « pétrole sale » des sables bitumineux est d'une rare vigueur. Et l'opposition à la taxe carbone fédérale est tout aussi vigoureuse. Aux États-Unis, la victoire de l'inénarrable climatosceptique Trump a été qualifiée de « victoire du charbon ». Un peu partout dans le monde, la montée des populismes de droite n'annonce pas des jours meilleurs pour la mise en application des recommandations des scientifiques du climat.

Quant aux difficultés économiques de ce passage au « moins d'énergies fossiles », on en mesure l'ampleur en lisant une étude publiée au début de 2015 dans l'hebdomadaire scientifique *Nature*. Les auteurs de cette étude avançaient que, pour ne pas dépasser une augmentation de la température moyenne de 2 °C, il faudrait *laisser dans le sol* au moins 30% du pétrole (et 75% du pétrole provenant des sables bitumineux), 50% du gaz et 89% du charbon – autrement dit, laisser dans le sol des milliards et des milliards de dollars, ce qui semble pour le moins difficile à imaginer !

Cela dit, peut-on se laisser abattre par le pessimisme et ne rien faire, ou ne rien tenter de faire, en attendant d'être complètement cuit dans la marmite ? Certainement pas. Dans mes moments d'optimisme, que d'aucuns qualifieront d'idéalisme rêveur, je me mets donc à penser que tout n'est pas fichu. Et que la catastrophe annoncée peut encore être évitée, comme le laisse espérer le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), dans un rapport spécial publié en octobre 2018 dans la foulée de l'Accord de Paris, *Global Warming of 1.5 °C*. Selon l'étude du GIEC, limiter le réchauffement à 1,5 °C est un objectif atteignable, mais ambitieux puisqu'il faudrait parvenir à la « neutralité CO₂ » (émissions nettes nulles) vers 2050.

Ambitieux, donc, mais pas complètement irréaliste. Si, politiquement et économiquement, « décarboniser » l'économie s'annonce une tâche difficile, ce n'est pas impossible techniquement. D'abord, parce que les techniques de production d'énergies renouvelables ont monté en puissance. Une première, symbolique, s'est produite aux États-Unis en avril 2019 : l'électricité provenant de sources renouvelables a temporairement dépassé l'électricité provenant des centrales au charbon (temporairement parce qu'avril est un moment de basse demande, pendant lequel de nombreuses centrales au charbon sont arrêtées pour en faire la maintenance).

Ensuite, parce que les coûts des moyens de production des énergies renouvelables ont considérablement diminué – de quelque 80% de 2008 à 2015 pour les panneaux photovoltaïques. Comme le soulignait un rapport publié en mars 2019 par l'organisme californien *Energy Innovation*, le *74 Percent Report*, 74% de l'énergie produite par les centrales au charbon américaines pourraient d'ores et déjà être remplacés par de l'énergie solaire ou éolienne moins chère.

Deux chercheurs de Californie, Mark Jacobson et Mark Delucchi, ont déjà calculé qu'en 2030, le cocktail EVS (pour eau, vent, soleil) pourrait fournir *toute l'électricité mondiale*. « À l'évidence, [notaient-ils dans *Scientific American*,] il existe suffisamment d'énergies renouvelables pour couvrir les besoins de la planète. » Selon leurs calculs, les besoins mondiaux en 2030 seront de 17 térawatts (milliards de kilowatts) de puissance instantanée ; or, le potentiel mondial en éolien serait de 40 à 85 TW, et le potentiel en solaire de 580 TW. On note cependant qu'il faudrait des investissements massifs pour atteindre cet objectif : un demi-million de turbines marémotrices, plus de 5 000 usines géothermiques, près de 300 nouveaux barrages, presque 4 millions d'éoliennes, 1,7 milliard de panneaux solaires sur les toits et quelque 89 000 centrales solaires. Ouf !

La grande faiblesse de sources d'énergie renouvelables comme le solaire et l'éolien, c'est leur intermittence. Mais là encore, des solutions technologiques pointent le bout du nez. Des batteries qu'on pourrait dire industrielles deviennent réalité. La ville de Los Angeles s'est entendue en juillet 2019 avec la firme *8minute Solar Energy* sur la construction d'une méga-centrale solaire dotée de méga-batteries, une installation qui fournira 7% de l'électricité de la ville d'ici 2023, et ce, à moins de 2 cents le kilowatt.

Bien sûr, cette spectaculaire transition énergétique n'est pas sans poser elle-même des problèmes techniques et ne se fera pas à coût écologique zéro. Par exemple, certains matériaux ou composants des systèmes de production d'énergie verte peuvent être rares et venir à manquer. C'est le cas du néodyme utilisé dans les engrenages des éoliennes et dont 90% des réserves connues se trouvent en Chine. C'est aussi le cas du tellure de cadmium et de l'indium pour les cellules photovoltaïques. Ou encore du lithium pour les batteries : certains se demandent si les réserves mondiales seraient suffisantes pour équiper des dizaines de millions de véhicules électriques.

Et surtout, cette transition énergétique ne se fera pas aussi vite qu'on pourrait l'espérer. Selon Vaclav Smil, spécialiste de l'énergie à l'Université du Manitoba, chaque passage entre deux combustibles (du bois au charbon, du charbon au pétrole, et actuellement

du pétrole au gaz naturel) a pris de 50 à 60 ans. « À l'échelle mondiale, [souligne-t-il,] les investissements et les infrastructures nécessaires pour qu'une nouvelle source d'énergie s'impose requièrent deux à trois générations. » Bien sûr, ajoute-t-il, « de nombreuses raisons environnementales poussent à réduire la dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles ». Mais la meilleure carte à jouer, pour accélérer la transition vers les énergies renouvelables, serait encore de « réduire la consommation énergétique mondiale ».

Quoi qu'il en soit, et cela aussi suscite en moi un optimisme mesuré, le vent politique et économique commence à tourner en faveur des énergies renouvelables. Michael Bloomberg, l'ancien maire de New York, a annoncé au début de juin 2019 qu'il donnera 500 millions de dollars pour la campagne *Beyond Carbon*. Cette campagne vise notamment la fermeture de toutes les centrales au charbon américaines (280 ont fermé depuis 2010, il en reste presque autant). Selon lui, « le moment est venu pour que chacun d'entre nous reconnaisse que le changement climatique est le défi de notre temps. »

Sur le plan politique toujours, et même si les engagements nationaux de réduction des émissions de GES ne sont pas mirobolants, la communauté internationale n'a pas baissé les bras depuis l'Accord de Paris. Témoin en est le Sommet Action Climat convoqué par les Nations Unies le 23 septembre 2019. Des dizaines de médias, dans le monde, se sont engagés à accorder une attention toute particulière à la question du climat pendant ce Sommet, dans le cadre du projet *Covering Climate Now*.

Sur le terrain, les choses bougent aussi. La Californie s'attaque vigoureusement à la « décarbonisation » de sa production électrique et, de façon générale, à la lutte aux changements climatiques – et cela sans s'occuper ni de Washington, ni de Trump, ni des climatosceptiques. En Norvège, le parti Travalliste a annoncé, en avril 2019, le refus du pays de forer au large des îles Lofoten, en Arctique ; pourtant, les réserves de pétrole estimées sont de l'ordre de 1 à 3 milliards de barils. À noter également que, selon un relevé de juillet 2019 effectué par Mark Jacobson, de Stanford University, 54 pays et 8 états américains visent 100% d'électricité de sources renouvelables dans un avenir plus ou moins rapproché.

Le 20 juillet 2019, alors qu'on célébrait le 50^e anniversaire des premiers pas de l'humanité sur la Lune, un journaliste du *New York Times*, John Schwartz, se demandait pourquoi l'on ne pourrait pas faire pour le climat ce qu'on avait fait pour la Lune. Il notait que la question du climat est plus complexe qu'aller sur la Lune. Que la réussite de la mission Apollo ne demandait pas un changement de mentalités. Et, surtout, que

l'objectif d'aller sur la Lune n'était pas combattu par de puissants lobbys industriels et économiques, comme c'est le cas dans la question du climat. Pour rééditer l'exploit de la Lune, concluait-il en substance, il faudrait une technologie appelée... volonté politique. J'ajouterais qu'il faudrait également, pour être réaliste, que l'économie penche du bon côté, puisque ce sont bien plus les dollars que les professions de foi écologistes qui pèseront dans la balance de la transition énergétique.

Alors, pessimisme ou optimisme ? Entre les deux, ma raison balance. Mais elle me dit aussi que, si nous sommes bel et bien des grenouilles dans la marmite, nous ne pouvons pas ne pas essayer de toutes nos forces de sauter par-dessus ses bords. Si hauts soient-ils.

Yanick Villedieu

Journaliste scientifique

Animateur de l'émission Les Années-lumière

Ici Radio-Canada Première (1982-2017)

Energy Innovation. (2019). *The Coal Cost Crossover: Economic Viability of Existing Coal Compared to New Local Wind and Solar Resources (74 Percent Report)*. Repéré à https://energyinnovation.org/wp-content/uploads/2019/03/Coal-Cost-Crossover_Energy-Innovation_VCE_FINAL.pdf

International Panel on Climate Change (IPCC). (2018). *Global Warming of 1.5 °C*. Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf

Jacobson, M.Z. et Delucchi, M.A. (2009). A Plan to Power 100 Percent of the Planet with Renewables. *Scientific American*. Repéré à <https://www.scientificamerican.com/article/a-path-to-sustainable-energy-by-2030/>

McGlade, C. et Ekins, P. (2015). The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 °C. *Nature*, 517, 187-190.

Schwartz, J. (2019). We Went to the Moon. Why Can't We Solve Climate Change?. *The New York Times*. Repéré à <https://www.nytimes.com/2019/07/19/climate/moon-shot-climate-change.html>

Smil, V. (2014). A Global Transition to Renewable Energy Will Take Many Decades. *Scientific American*. Repéré à <https://www.scientificamerican.com/article/a-global-transition-to-renewable-energy-will-take-many-decades/>

Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T.M., Folke, C., Liverman, D. ... Schellnhuber, H.J. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33), 8252-8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LEURS IMPACTS AU CANADA ET DANS LE MONDE : ÉTAT DES LIEUX

Climatoscope et Copticom, en partenariat avec Ouranos

Au cours de la dernière année, plusieurs études et rapports scientifiques sont venus préciser l'impact des changements climatiques enregistrés à ce jour au Canada et ailleurs dans le monde. On y retrouve également les meilleures évaluations concernant les impacts à venir du réchauffement climatique, selon différents scénarios d'émissions mondiales de gaz à effet de serre au cours du prochain siècle. En bref, alors que se raffinent les outils tels que les modèles climatiques et notre compréhension des enjeux, il est clair que nous sommes déjà dans une ère de conséquences liées aux choix que l'humanité a privilégiés au cours des deux derniers siècles. L'amélioration rapide de nos connaissances scientifiques devrait nous permettre d'augmenter notre niveau de préparation tout en intervenant sur les causes mêmes du problème.

Dans ce texte, nous rendons compte de cinq rapports scientifiques récents : le rapport sur le climat changeant au Canada – qui fait l'objet d'une attention particulière –, le rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sur le réchauffement planétaire de 1,5 °C, le rapport du programme européen de la Terre Copernicus sur l'évolution des températures, le rapport de la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) sur les espèces menacées d'extinction et le quatrième rapport du National Climate Assessment aux États-Unis.



Rapport sur le climat changeant au Canada

Au Canada, le réchauffement enregistré jusqu'à présent est environ deux fois plus important que celui constaté à l'échelle planétaire et les évaluations d'Environnement et Changement climatique Canada publié en avril 2019 indiquent que cette tendance se poursuivra. Ce rapport produit par les scientifiques de plusieurs ministères fédéraux avec le concours de spécialistes universitaires et la contribution d'Ouranos nous permet d'évaluer les choix qui se présentent à nous. Il repose sur des sources d'informations reconnues par les pairs et des systèmes de connaissances et d'observations des Autochtones.

FAITS SAILLANTS DES CHANGEMENTS OBSERVÉS

Entre 1948 - année où les températures ont commencé à être colligées dans l'ensemble du pays - et 2016, la température annuelle moyenne de la terre et de l'air a augmenté de 1,7 °C au Canada. Dans le monde, la hausse moyenne du mercure a atteint 0,8 °C pendant la même période, d'après les données du Met Office Hadley Centre et le Climatic Research Unit à la University of East Anglia, au Royaume-Uni. Le rapport du gouvernement canadien fait notamment ressortir la dominance des activités humaines dans le réchauffement observé au Canada.

L'augmentation moyenne des températures a toutefois été plus élevée dans le Nord du Canada – les trois territoires : Yukon, Nord-Ouest et Nunavut – de 1948 à 2016. Elle s'est élevée à 2,3 °C, ce qui correspond à trois fois le réchauffement moyen mondial. Les températures ont augmenté davantage en hiver qu'en été, particulièrement dans le Nord de la Colombie-Britannique et de l'Alberta, du Yukon, des Territoires du Nord-Ouest et de l'Ouest du Nunavut, où les changements ont atteint jusqu'à 4 °C à 6 °C. (Figure 1)

Parmi les phénomènes météorologiques observés conséquemment au réchauffement climatique au Canada, le rapport souligne les températures extrêmes chaudes, qui sont devenues encore plus chaudes, tandis que les froids extrêmes le sont de moins en moins. Ces températures extrêmes sont propices aux vagues de chaleur sévères, aux sécheresses et aux feux de forêts, particulièrement dans le Sud des Prairies et en Colombie-Britannique. Les feux de forêt survenus à Fort McMurray à l'été 2016, qui ont ravagé près de 6000 kilomètres carrés dans le Nord de l'Alberta, sont d'ailleurs un exemple évoqué dans le rapport gouvernemental. Ces feux ont entraîné l'évacuation de 80 000 personnes, en plus de causer des dommages de quelque 3,5 milliards de dollars.

Depuis 1948, le nombre de jours de gel – au cours desquels la température minimale quotidienne se situe à 0 °C et moins – et de jours de glace – au cours desquels une température maximale quotidienne ne dépasse pas 0 °C ou moins – a également diminué dans l'ensemble du Canada. Il y a en moyenne 15 jours de gel de moins

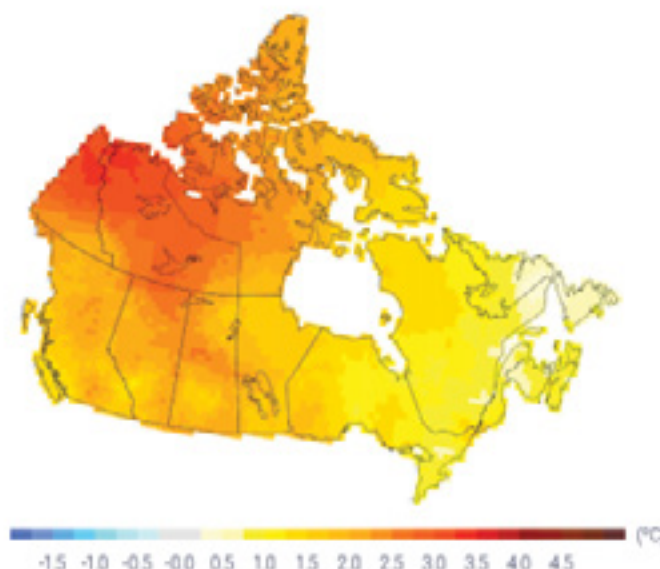


Figure 1. Changements observés (°C) dans les températures annuelles au Canada de 1948 à 2016 d'après les tendances.
Source : Bush et Lemmen (2019, p. 127)

et dix jours de glace de moins, selon les données des 70 dernières années.

Les précipitations annuelles ont aussi augmenté d'environ 20% dans l'ensemble du Canada de 1948 à 2012. Cette hausse est davantage significative pour tout le Nord du Canada et dans certaines parties du Manitoba, de l'Ontario, et de la région de l'Atlantique. Le couvert neigeux a en moyenne diminué de 5% à 10% par décennie depuis 1981, à l'exception du Sud de la Saskatchewan et de certaines régions de l'Alberta et de la Colombie-Britannique où la baisse a été de l'ordre de 2% à 5%.

Depuis 30 ans, la cryosphère a été modifiée. Aspect très important, les glaciers se sont amincis et leur perte de masse est inégale depuis plusieurs milliers d'années. La glace marine estivale de l'Arctique canadien perd de sa superficie à une cadence de 5% à 20% par décennie depuis 1968. D'ailleurs, on s'attend à ce que de vastes parties de l'Arctique canadien soient exemptes de glace en été d'ici 2050, ce qui devrait entraîner des conséquences économiques et géopolitiques majeures. Dans l'Est du Canada, la glace marine hivernale a été réduite de 8% par décennie. Les lacs, incluant 80% de ceux se trouvant dans l'Arctique, sont par ailleurs gelés pendant une moins longue période. De son côté, la température du pergélisol a été à la hausse d'environ 0,1 °C par décennie dans la partie centrale de la vallée du Mackenzie et de 0,3 °C à 0,5 °C par décennie dans l'Extrême-Arctique au cours de 30 à 40 dernières années.

La disponibilité de l'eau douce commence à subir les effets du réchauffement climatique. La distribution saisonnière de l'écoulement fluvial dans les bassins hydrographiques montre des signes de changement. Les crues printanières surviennent de plus en plus tôt. D'après ce qui a été observé, notamment dans l'Ouest du Canada, plusieurs rivières montrent une augmentation des écoulements en hiver et des diminutions en été. Pour plusieurs bassins hydrographiques, il n'est pas encore bien établi dans quelle mesure ces changements relèvent de l'activité humaine ou de la variabilité naturelle du climat. Dans tous les cas, l'écoulement fluvial a un impact sur les écosystèmes aquatiques, la production d'hydroélectricité, l'agriculture, l'industrie, l'approvisionnement en eau potable et les loisirs.

Les trois océans qui bordent le Canada – Pacifique, Atlantique et Arctique – sont plus chauds, plus acides et moins oxygénés, particulièrement dans la couche la plus en surface, ce qui menace les écosystèmes marins. Bien que la salinité de l'eau près de la surface de ces trois océans soit fortement influencée par la variabilité naturelle du climat, on en constate néanmoins une légère diminution. Cette dessalure est cohérente avec les

apports d'eau douce liés à la fonte des glaces terrestres et marines ainsi qu'avec les précipitations.

LES CHANGEMENTS APPRÉHENDÉS

Les choix sociétaux qui seront faits au cours des prochaines décennies seront cruciaux. Les efforts des gouvernements, des entreprises, des organisations et des citoyens détermineront l'ampleur du réchauffement climatique encore à venir. Tous les travaux du GIEC reposent sur des scénarios d'émissions appelés RCP (pour *Representative Concentration Pathways*), traduisant les diverses hypothèses d'émissions futures des différents gaz à effet de serre et particules aérosols et du degré des efforts d'atténuation de ces derniers qui devront être consentis pour limiter le réchauffement planétaire. Deux de ces scénarios – un d'émissions élevées et un scénario de faibles émissions – ont été analysés en détail dans le *Rapport sur le climat changeant au Canada* (Bush et Lemmen, 2019) afin d'illustrer les variations de température au Canada et leurs conséquences. Nous présentons ci-après les changements associés au scénario d'émissions élevées, tandis que les changements associés au scénario de faibles émissions sont résumés dans la section suivante.

SCÉNARIO D'ÉMISSIONS ÉLEVÉES RCP8.5

Ce scénario représente des efforts d'atténuation limités et des émissions de gaz à effet de serre en croissance. La moyenne annuelle de la température pour l'ensemble du Canada se réchaufferait d'environ 6,3 °C d'ici la fin du XXI^e siècle. Selon ce scénario, les températures maximales extrêmes seraient davantage fréquentes, ce qui entraînerait encore plus de vagues de chaleur et accroîtrait les risques de feux de forêt et de sécheresse, entre autres dans le Sud des Prairies canadiennes et à l'intérieur de la Colombie-Britannique pendant l'été.

Les précipitations annuelles moyennes pour l'ensemble du Canada pourraient augmenter dans une proportion pouvant atteindre 24% et même davantage dans la région du Nord du Canada au cours du prochain siècle. Par contre, les précipitations estivales pourraient diminuer dans le Sud du pays. Par exemple, la réduction de la médiane des précipitations pourrait atteindre 30% dans le Sud-Ouest de la Colombie-Britannique. Le degré de confiance est élevé quant à l'augmentation des précipitations annuelles, mais lorsque l'on regarde les changements projetés pour les précipitations saisonnières, le niveau de confiance est un peu plus faible dans certaines régions. (Figure 2)

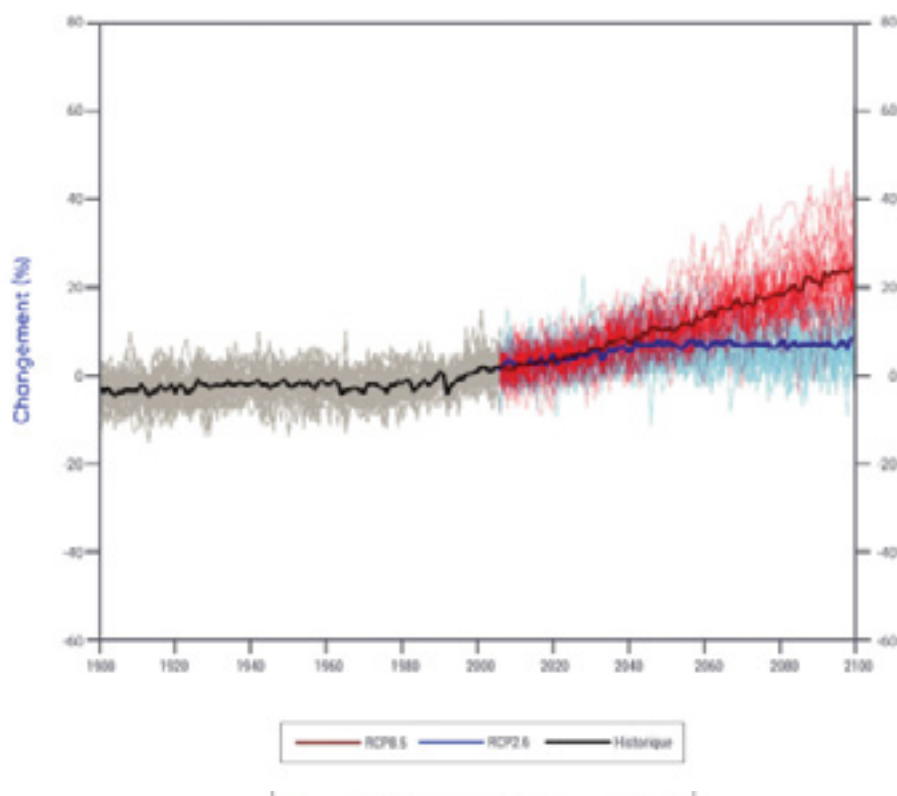


Figure 2. Changement des précipitations (Canada) : Annuel. Source : Bush et Lemmen (2019, p. 136)

Les précipitations extrêmes quotidiennes seraient davantage fréquentes, ce qui accroîtrait les risques de dommages localisés aux infrastructures, y compris dans les régions urbaines.

La diminution du couvert neigeux atteindrait de 15% à 30% d'ici 2050 pour une grande partie du Sud du Canada. Les lacs gèleraient alors 5 à 15 jours plus tard et la débâcle printanière surviendrait 10 à 25 jours plus tôt. Les glaciers de toute la cordillère de l'Ouest perdraient de 74% à 96% de leur volume d'ici 2100. Les petites calottes glaciaires et les plateformes de glace de l'Arctique canadien seraient aussi vouées à disparaître. Le pergélisol dégèlerait sur de grandes surfaces d'ici le milieu du siècle, ce qui entraînerait des impacts négatifs sur les infrastructures nordiques et le cycle du carbone. Les écosystèmes terrestres, aquatiques et marins subiraient les impacts de ces changements dans la cryosphère.

Les pointes printanières des écoulements fluviaux seraient encore plus précoces. Pour plusieurs bassins hydrographiques, les écoulements seront plus importants pendant l'hiver. Le comportement des écoulements du printemps ainsi que celui des autres saisons varie selon les bassins hydrographiques. Notons qu'il faut tout de même faire preuve de prudence sur les liens entre les

changements climatiques et les risques d'inondations. En effet, selon les bassins hydrographiques, les pointes d'écoulement peuvent être dominées par la fonte des glaciers, la fonte de la neige, les pluies torrentielles ou des combinaisons de ces phénomènes. Quant aux inondations urbaines, elles sont très souvent causées par les orages violents. Il faut alors évaluer comment les changements de température et de précipitations se répercuteront sur l'enneigement maximal et les risques d'embâcles dans les différents bassins.

Toujours selon ce scénario, le réchauffement des trois océans se poursuivrait. En hiver, le réchauffement serait plus marqué dans la partie supérieure océanique bordant le Canada atlantique. Durant l'été, la hausse des températures serait plus importante dans les zones de l'océan Arctique dépourvues de glaces et dans le Sud du Canada atlantique.

Par ailleurs, les océans continueraient à s'acidifier, à perdre de l'oxygène et à présenter de la difficulté à retenir le dioxyde de carbone. Les effets seraient plus importants dans le Sud du Canada que dans le Nord. L'augmentation des précipitations et de la fonte des glaciers – et de la banquise pour l'Arctique – seraient responsables d'une augmentation de la dessalure des océans, surtout près de la surface, ce qui entraînerait des conséquences sur

les écosystèmes marins. Toutefois, la salinité serait rehaussée dans les eaux du plateau continental, au Sud du Canada atlantique, en raison du déplacement vers le Nord de l'eau subtropicale plus salée.

Il est aussi prévu dans ce scénario extrême que le niveau relatif de la mer s'élève tout le long des côtes de l'Atlantique et du Pacifique, de même que le long de la côte de Beaufort, dans l'Arctique. Cette hausse du niveau de l'eau pourrait atteindre un mètre par endroit. Avec la fonte des glaces marines, qui auparavant protégeaient le littoral en atténuant les vagues et les ondes de tempête, on s'attend à ce que les infrastructures et les écosystèmes côtiers subissent plus de dommages, particulièrement dans les régions sujettes à la hausse du niveau relatif de la mer. (Figure 3)

LE SCÉNARIO DE FAIBLES ÉMISSIONS

Un scénario de faibles émissions (RCP 2.6) est également envisageable. Dans celui-ci, les émissions de gaz à effet de serre seraient plafonnées presque immédiatement et décroîtraient par la suite. D'ailleurs, parmi l'éventail de scénarios utilisés par le GIEC, le RCP 2.6 est le seul qui assure un réchauffement mondial en deçà de 2 °C conformément à l'Accord de Paris que le Canada a ratifié le 5 octobre 2016. L'augmentation de la température annuelle canadienne pourrait alors être limitée à environ 1,8 °C. Les impacts des changements climatiques

seraient alors de moindre amplitude par rapport au scénario d'émissions élevées.

Perspectives mondiales

Le GIEC, qui représente LA référence mondiale en matière de climat, a avancé en octobre 2018 que si les températures devaient grimper au-delà de 1,5 °C d'ici 2100 par rapport aux températures des niveaux préindustriels, les conséquences seraient significatives. Dans ce rapport, le GIEC évoque des vagues de chaleur plus fréquentes, un risque plus élevé de pluies torrentielles, la disparition de récifs coralliens, la hausse des niveaux des mers, la baisse des prises annuelles de poissons, la fonte des glaciers et la perte de la biodiversité.

Les changements climatiques ont déjà un impact sur la faune et la flore. D'après un rapport de l'IPBES, rendu public au printemps 2019, un million d'espèces végétales et animales sont aujourd'hui menacées d'extinction. Les causes de ces disparitions à venir, présentées par ordre d'importance, sont l'utilisation des terres et des mers, l'exploitation des ressources naturelles, les changements climatiques, les différentes sources de pollution et les espèces envahissantes. Les changements climatiques devraient gagner en importance au cours des prochaines décennies, augmentant ainsi les impacts sur les espèces animales et végétales, prédisent les 450 expert.e.s à l'origine de ce rapport.

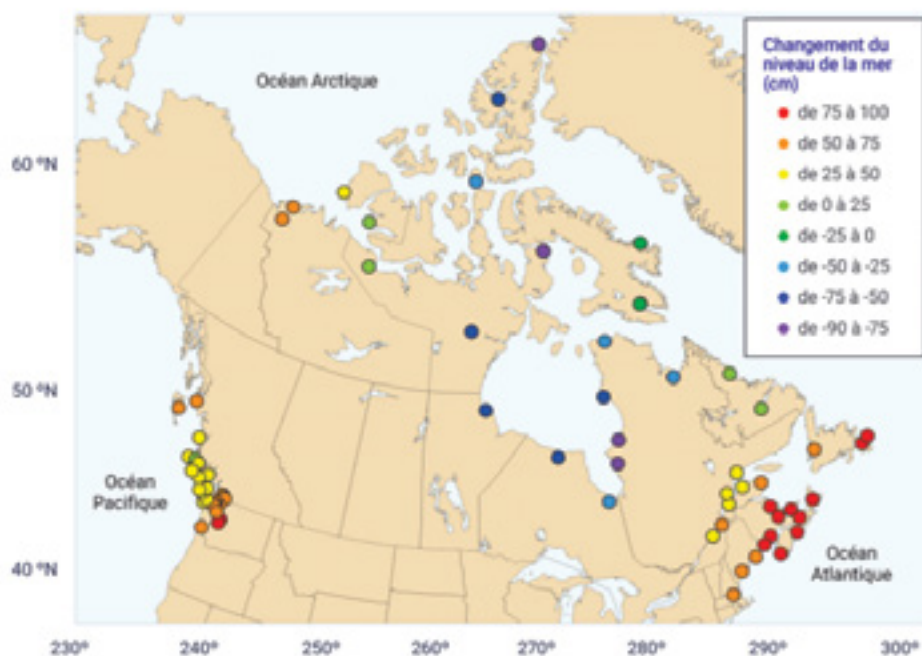


Figure 3. Changement du niveau de la mer dans les régions côtières. Source : Bush et Lemmen (2019, p. 390)

La température moyenne de la planète aurait déjà grimpé d'environ 1,1 °C depuis l'ère industrielle, statuaient en janvier dernier le programme européen de la Terre Copernicus. Cette analyse scientifique rapportait alors que les quatre dernières années – 2015, 2016, 2017 et 2018 – avaient été les plus chaudes par rapport aux moyennes enregistrées pendant la période couvrant les années 1981 à 2010 et que la température planétaire bondit d'environ 0,1 °C à tous les cinq à six ans.

Trois cents scientifiques gouvernementaux, américains se sont aussi fait entendre au mois de novembre 2018. Dans le quatrième *National Climate Assessment*, commandé par le Congrès américain et rassemblant l'expertise des départements et organismes du gouvernement américain, ils et elles affirmaient que les changements climatiques bouleversent déjà des vies humaines et causent des dommages à l'économie de la plus grande puissance mondiale. Cette tendance s'accroîtra d'ici la fin du siècle, ont indiqué les scientifiques. Ils et elles estimaient également que si des mesures ne sont pas prises pour réduire les émissions de dioxyde de carbone et limiter le réchauffement de la planète, les États-Unis pourraient enregistrer des pertes de « centaines de milliards de dollars » d'ici 2100, notamment en raison des dommages causés par les phénomènes météorologiques extrêmes sur les infrastructures et les biens américains.

Des appels à l'action de plus en plus précis

Le GIEC presse les gouvernements de réduire de 45% les émissions de dioxyde de carbone d'ici 2030. Ses expert.e.s assuraient en octobre 2018 que le scénario catastrophe peut être évité, en évoquant notamment les avancées scientifiques, les nouvelles technologies et les changements de mode de vie. Tout dépendra de la volonté politique, ont-ils et elles insisté.

Plusieurs gouvernements ont répondu à l'appel du GIEC, mais aussi à ceux de citoyen.ne.s – particulièrement des jeunes –, qui ont réclamé des actions pour lutter contre les changements climatiques. La jeune Suédoise Greta Thunberg, qui a délaissé les bancs d'école pour cette cause, en a inspiré plusieurs dans le mouvement *Youth for Climate*. Le mouvement *Extinction Rebellion* a aussi bloqué des lieux très fréquentés de Londres pour que le Parlement du Royaume-Uni reconnaisse l'urgence climatique, ce qui a été fait au printemps dernier. Le Parlement irlandais a rapidement emboîté le pas par la suite. Des villes, telles que New York, Londres, Washington et Berlin, se sont également fixé des objectifs conséquents aux demandes du GIEC.

Au Canada, des gouvernements locaux et provinciaux ont commencé à se doter de cibles de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le Québec s'est engagé à réduire ses émissions de 37,5%, par rapport aux niveaux de 1990 d'ici 2030, en diminuant de 40% la dépendance au pétrole et en misant sur l'électrification des transports et des bâtiments. La Colombie-Britannique vise pour sa part une diminution de 40% des émissions de GES, comparativement à 2007.

Des villes canadiennes comme Montréal, Vancouver, Ottawa et Halifax ont de leur côté proclamé l'état d'urgence climatique.

Bien que l'ampleur et les conséquences des changements climatiques à venir au Canada et ailleurs dans le monde ne puissent être exactement quantifiées, les rapports scientifiques sont sans équivoque sur leurs causes et sur la problématique qu'ils représentent. Le climat a changé depuis l'ère industrielle. Les températures ont augmenté et les précipitations sont plus intenses. Le couvert neigeux a diminué et les jours de gel sont moins nombreux, sans compter les glaciers qui sont moins imposants et les océans qui se réchauffent. Les phénomènes météorologiques extrêmes sont aussi davantage fréquents et les populations en subissent les contrecoups, révèlent les rapports.

Des citoyen.ne.s de même que des gouvernements ont déjà commencé à réagir devant ces changements climatiques. Comment le climat évoluera-t-il au cours du prochain siècle? Cela dépendra des décisions individuelles et collectives qui seront prises au cours des prochaines années.

Bush, E. et Lemmen, D.S. (eds.) (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Repéré à https://www.rncan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC_FULLRE-PORT-FR-FINAL.pdf

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2018). *Global Warming of 1,5°C*. Repéré à https://www.climat.be/files/4115/3900/0027/181008_IPCC_sr15_spm.pdf

National Climate Assessment. (2018). *Fourth National Climate Report Assessment*. Repéré à <https://www.globalchange.gov/nca4>

Programme européen de la Terre Copernicus. (2019). *Last four years have been the warmest on record – and CO2 continues to rise*. Repéré à <https://climate.copernicus.eu/last-four-years-have-been-warmest-record-and-co2-continues-rise>

Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques. (2019). *Report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Repéré à https://www.ipbes.net/system/tdf/spm_global_unedited_advance.pdf?file=1&type=node&id=35245



Crédit photo : Wikipedia commons, sous la licence de Attribution-Share Alike 4.0 International

Perspectives

CHANGEMENT DE GOUVERNEMENT À QUÉBEC, CHANGEMENT DANS LA POLITIQUE CLIMATIQUE QUÉBÉCOISE ?

Hugo Séguin

Fellow au Centre d'études et de recherches internationales de l'Université de Montréal (CÉRIUM)
Doctorant au programme d'études environnementales
Université de l'Oregon

Alain Webster

Professeur à l'École de gestion
Université de Sherbrooke

Annie Chaloux

Professeure à l'École de politique appliquée
Université de Sherbrooke

La politique climatique québécoise a fait l'objet d'un remarquable consensus chez les acteurs politiques depuis l'adoption du premier Plan d'action sur les changements climatiques (PACC-1) en 2006. Quels que soient les partis politiques, au pouvoir comme dans l'opposition, ses grands objectifs et mesures phares n'ont jamais été remis en question. Jusqu'à l'élection d'octobre 2018, la dynamique politique québécoise encourageait les partis politiques à vouloir constamment faire plus, et mieux, que leurs adversaires, chacun se réappropriant à sa manière l'action climatique menée par les autres. En sera-t-il de même du gouvernement caquiste de François Legault, dont l'ADN identitaire et entrepreneurial semble de prime abord peu enthousiasmé par les questions environnementales et climatiques ?

Sur la base de ses récentes décisions et déclarations, le gouvernement Legault semble vouloir poursuivre lui aussi le consensus politique québécois sur les questions climatiques et adopter – tout en les adaptant quelque peu dans la vision et le discours – les grands piliers de la politique climatique poursuivie depuis 2006, notamment : le marché du carbone lié à celui de la Californie, l'augmentation de l'offre de transports collectifs, la promotion des véhicules électriques et la poursuite d'une diplomatie climatique sur la scène internationale.

Les bases de la politique climatique québécoise

L'appropriation de l'action climatique par le nouveau gouvernement du Québec s'inscrit dans la continuité du déploiement d'importantes politiques publiques depuis 2006, tant sur le plan interne que sur le plan international. Sous le gouvernement libéral de Jean Charest, le Québec s'est doté d'un plan d'action sur les changements climatiques (PACC-1) et d'une cible de réduction de ses GES de 6% sous les niveaux de 1990 pour 2012, une cible qui sera atteinte notamment par la mise en œuvre d'une série de mesures dans les secteurs des transports, de l'énergie, de l'agriculture, des matières résiduelles et des industries (2012b). Une redevance sur les hydrocarbures – une des toutes premières taxes carbone du continent – est aussi mise en place pour financer la mise en œuvre du plan d'action.

Au niveau international, dès 2008, le Québec se joint à la *Western Climate Initiative*, lancée par la Californie et d'autres États de l'Ouest américain, visant entre autres la mise en place d'un marché du carbone à travers l'Amérique du Nord. D'importantes délégations québécoises se présentent également aux Conférences internationales sur le climat sous l'égide des Nations Unies, les CdP. Le Québec se joint aussi à plusieurs réseaux internationaux d'États fédérés et de gouvernement locaux, dont NRG4SD (*Network of Regional Governments for Sustainable Development*) et le Climate Group, et il s'engage à mettre en œuvre, dans ses champs de compétence, les grands engagements internationaux sur le climat auxquels il souscrit (Chaloux et Séguin, 2012).

Alors que se prépare la 15^e Conférence des Parties qui a lieu à Copenhague (CdP-15) en décembre 2009 et qui vise à donner suite aux engagements de 2012, le Québec adopte une nouvelle cible de réduction des gaz à effet de serre (GES), soit une réduction de 20% de ses émissions sous les niveaux de 1990 pour 2020 (Québec, 2009). Cet objectif, le plus ambitieux de l'ensemble de l'Amérique du Nord, est également plus exigeant que la cible de -17% sous les niveaux de 2005 présentée par le gouvernement fédéral. Cette nouvelle cible québécoise s'inscrira dans un nouveau plan d'action (PACC2020) présenté en 2012, à l'intérieur duquel on y trouve aussi la mise en place du marché du carbone, mesure phare de ce plan d'action, qui encadre à terme 85% de l'ensemble des émissions québécoises. Ce marché du carbone entrera en vigueur en 2013, et sera lié à celui de la Californie à partir de 2014.

Si trois changements de gouvernements ont lieu entre 2012 et 2014 (pensons à la défaite du Parti libéral de Jean Charest en 2012, l'arrivée d'un gouvernement du Parti québécois sous Pauline Marois pour une période de 18 mois, et le retour d'un gouvernement libéral sous Philippe Couillard en 2014), il n'en demeure pas moins que sur la question climatique, il n'y aura pas de changement de direction. Les gouvernements successifs poursuivront les politiques de leurs prédécesseurs. En 2015, alors que la Communauté internationale adopte l'Accord de Paris, le gouvernement du Québec bonifie sa cible de réduction d'émissions en faveur d'une diminution de 37,5% par rapport aux niveaux de 1990 pour 2030, une cible considérée ambitieuse par plusieurs acteurs des milieux environnementaux et scientifiques, s'approchant ainsi de celles avancées par l'Union européenne et la Californie à -40% par rapport aux niveaux de 1990 pour 2030 (Radio-Canada, 2015).

Évolution des cibles de réduction des émissions de GES du Québec

✓ **6% SOUS LES NIVEAUX DE 1990 POUR 2012**

✓ **20% SOUS LES NIVEAUX DE 1990 POUR 2020**

✓ **37,5% SOUS LES NIVEAUX DE 1990 POUR 2030**

✓ **80 À 95 % SOUS LE NIVEAU DE 1990 D'ICI 2050**

Ces nouveaux engagements s'accompagnent par contre d'un certain essoufflement dans les réductions de GES observées dans la province (Environnement et Changement climatique Canada, 2019). Il semble bien que malgré les plans d'actions, les politiques et les engagements, les réductions d'émissions ne sont pas au rendez-vous, du moins pas aux niveaux espérés. Le secteur des transports, notamment, soit le principal secteur émetteur de GES, voit ainsi ses émissions augmenter de 21,3% depuis 1990 (Québec, 2018a). Ce constat oblige alors le gouvernement libéral de Philippe Couillard, en 2016, à revoir son approche dans le secteur des transports. Une nouvelle politique de mobilité durable se voulant très ambitieuse est adoptée en avril

2018 et prévoit des investissements massifs pour le transport collectif, l'électrification des transports et le transport actif (Québec, 2018b). Bien que certains estiment qu'elle arrive tardivement pour contribuer à l'atteinte de la cible de 2020, cette politique est néanmoins saluée par l'ensemble des acteurs du milieu des transports, qui souhaitent son maintien, alors que se dessine la campagne électorale d'octobre 2018. (Figure 1)

Retour sur la campagne électorale québécoise : la CAQ en rattrapage sur la question climatique

Dans ce contexte de doutes quant à l'impact des efforts du Québec, l'élection d'un gouvernement caquiste à l'automne 2018 est venue encore une fois tester la solidité des grands piliers de la politique climatique québécoise, d'autant plus que ce parti n'avait manifesté que très peu d'intérêt pour l'environnement et le climat en campagne électorale. Une forte mobilisation écologiste en cours de campagne aura contribué à imposer l'enjeu climatique comme un des sujets de l'élection et à forcer les partis politiques à s'y intéresser. Peu préparée et prise de court sur cette question, la CAQ a dû reconnaître une fois élue que les changements climatiques constituaient bel et bien pour elle un angle mort qu'il lui fallait combler.

L'environnement s'est ainsi invité très rapidement comme priorité gouvernementale du nouveau gouvernement, derrière l'économie, l'éducation et la santé (Québec, 2018c). Déclarant qu'il avait pris acte des « sincères préoccupations des Québécois pour les défis environnementaux », le premier ministre Legault déclarait, au moment de la présentation du nouveau conseil des ministres, le 18 octobre 2018 : « on a bien reçu le message de la population pendant la campagne. On doit en faire plus pour lutter contre le réchauffement climatique, mais à notre façon pragmatique et en obtenant des résultats » (Legault [Radio-Canada info], 2018). Dès son entrée en fonction, le gouvernement Legault s'est donc voulu à la fois rassurant quant à la poursuite de l'action climatique du Québec, tout en signifiant son intention de se distinguer de ses prédécesseurs qu'il accuse rapidement d'avoir somme toute peu fait en matière de réductions des GES.

Des politiques climatiques aux résultats mitigés

Ce regard critique sur l'efficacité de la politique climatique du Québec n'est pas sans fondement et le bilan que l'on peut dresser apparaît mitigé.

Du côté du verre à moitié plein, notons un ensemble d'éléments positifs. Tout d'abord, reconnaissons les faibles niveaux d'émission de GES au Québec par rapport au reste du Canada. En baisse de 9,1% entre

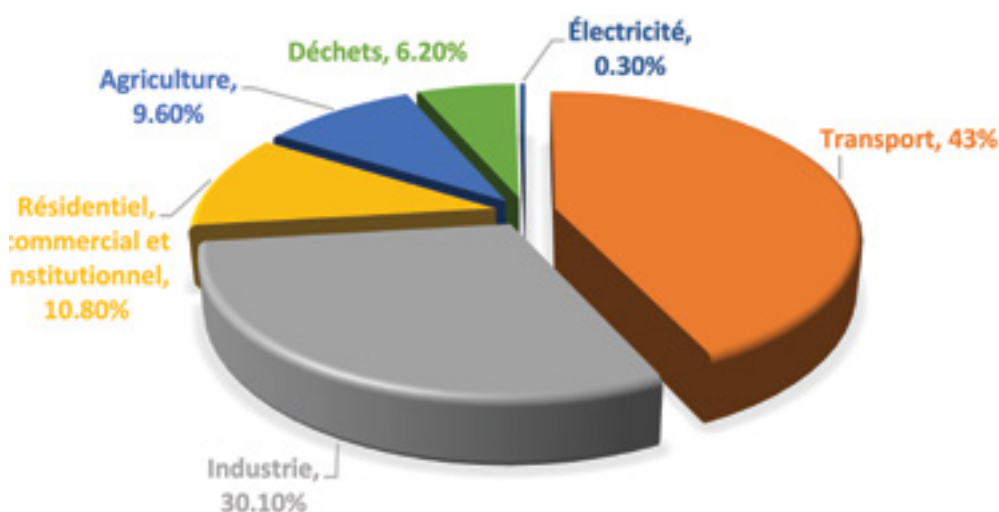


Figure 1. Émissions de GES au Québec par secteur d'activité (2016). Source : Québec (2018a)

1990 à 2016, les émissions québécoises apparaissent des plus enviables par rapport à une croissance de 21,1% dans le reste du Canada. Les émissions par habitant de 9,6 t éq. CO₂/habitant sont également les plus faibles au Canada et sont près de 60% moins élevées que la moyenne dans le reste du Canada qui, elles, s'élèvent à 22,3 t éq. CO₂/habitant (Québec, 2018a). Ce bilan très favorable s'explique en grande partie par la part significative de l'hydroélectricité dans le bilan énergétique. Avec une proportion d'énergie renouvelable de 99% dans la production d'électricité et de 44% dans la consommation totale d'énergie (Whitmore et Pineau, 2018), le Québec possède un bilan exceptionnel en ce qui concerne la part du renouvelable.

L'appui de plus en plus marqué dans l'opinion publique en faveur d'une stratégie de réduction des émissions de GES constitue un autre élément positif important. Ainsi, selon un sondage effectué par Mainstreet en 2018, c'est au Québec que l'on retrouve la plus forte proportion de citoyen.ne.s se disant convaincu.e.s que les changements climatiques sont réels et causés par l'activité humaine (84,7%) et que les entreprises devraient payer si elles polluent l'environnement (86,9%). L'intérêt porté à des approches de mobilisations citoyennes comme celle du Pacte (www.pacte.ca) et de l'initiative La planète s'invite à l'université illustrent bien cette tendance de fond observable au Québec.

Il faut également mentionner dans ce bilan positif ce que nous pourrions qualifier de *cohérence de l'État*, alors que trois gouvernements québécois successifs ont maintenu globalement les mêmes cibles ambitieuses de réduction des émissions et le même cadre de tarification à travers le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission. Cela est fondamental pour plusieurs investisseurs publics et privés qui ont besoin d'une prévisibilité des orientations gouvernementales en matière d'émission et de tarification, réduisant ainsi l'incertitude sur le prix du carbone et favorisant le déploiement d'investissement à bas carbone. La comparaison avec l'Ontario – qui voit sa politique climatique démantelée avec l'arrivée du conservateur Doug Ford – illustre, malheureusement par la négative, les impacts d'une absence de cohérence au-delà des lignes partisans à la suite d'un changement de gouvernement.

Du côté du verre à moitié vide, le Québec est une des juridictions les plus énergivores au monde après les États-Unis et le Canada. Cela s'explique en partie par la forte présence des ressources naturelles dans le secteur industriel, le climat rigoureux et la superficie du territoire. Mais cela reflète également un potentiel significatif d'efficacité énergétique encore non exploité. Sur le plan plus spécifique des GES, le secteur des transports reste le secteur prédominant.

La forte croissance de la vente des camions légers est préoccupante; il se vend, depuis 2015, plus de camions légers au Québec que d'automobiles. Les émissions du secteur des transports de marchandises sont également en très forte croissance (Québec, 2018a). La politique de mobilité durable et la loi favorisant la vente de véhicules à zéro émission (VZE) sont à leurs phases initiales et devront donner des résultats positifs si le Québec veut atteindre ses cibles.

Aussi, il faut mentionner la difficulté de réduire les émissions depuis quelques années et donc d'atteindre la cible prévue de 2020. De 2014 à 2017, les émissions de GES stagnent à près de 78 Mt éq. CO₂, une situation qu'accompagne un certain relâchement dans le déploiement de mesures climatiques. Ainsi, prenant acte de cet essoufflement, le bilan de mi-parcours du PACC 2020, publié en 2018, précise qu'il est notamment « nécessaire de recentrer les investissements sur les objectifs de réduction des émissions de GES et d'adaptation aux impacts des changements climatiques » (Québec, 2018d). Bref, il semble que la politique climatique québécoise ait manqué de souffle au cours des dernières années et les émissions ont cessé de décroître comme prévu. Parallèlement, de nombreuses critiques ont pointé du doigt la gouvernance et la gestion du Fonds vert, où transitent des revenus annuels de plusieurs centaines de millions de dollars tirés du système de plafonnement et d'échange de droits d'émission (SPEDE). Les impacts mitigés et même décevants du réinvestissement de ces revenus, notamment dans le secteur des transports, ont également alimenté la critique et ont forcé le débat autour de la nécessité de réformer la gouvernance du Fonds vert.

LE SYSTÈME DE PLAFONNEMENT ET D'ÉCHANGE DE DROITS D'ÉMISSION (SPEDE) AU QUÉBEC

La tarification du carbone au Québec s'opère via le SPEDE, ou « marché du carbone ».

Dans le cadre d'un SPEDE, le gouvernement fixe le niveau maximal d'émission qu'il juge acceptable, répartit ces droits d'émission entre les différentes sources d'émission, permet un échange de ces droits entre les émetteurs dans le respect du plafonnement global, et s'assure que le niveau total des émissions respecte les droits d'émission émis. Il s'agit donc d'une approche relativement complexe qui nécessite plusieurs décisions réglementaires effectuées dans le cadre de la loi sur la qualité de l'environnement. Nous sommes donc très loin de l'image d'un droit de polluer associé, dans certains

discours publics, à un retrait de l'État de la gestion de l'environnement.

Il s'agit d'un instrument économique qui, comme la taxation, permet de minimiser les coûts de la réduction des émissions de GES en favorisant la réduction là où il est le moins coûteux de le faire en premier. Si la taxation suppose que l'État fixe un prix sur le carbone et que ce prix induit une réduction des émissions, le SPEDE suppose cependant que l'État fixe d'abord la réduction souhaitée des émissions, via le plafonnement des émissions, et cette réduction induit un prix sur le carbone.

Le SPEDE est implanté en 2013 pour les secteurs industriels et pour la production d'électricité dans le cas des entreprises émettant plus de 25 000 t éq. CO₂. En 2015, la redevance sur les carburants et combustibles fossiles, en vigueur depuis 2007, est abolie et ce secteur est alors également soumis au SPEDE. Pleinement déployé, ce système est alors doté, pour les secteurs soumis à cette réglementation, d'un plafonnement des émissions de 65,3 Mt, soit 83% des émissions totales de GES du Québec en 2015. Il s'agit ainsi d'un des systèmes de plafonnement doté de la plus large couverture des émissions.

Conformément à l'objectif 2030 du gouvernement du Québec qui suppose une réduction de 24 Mt des émissions de GES par rapport aux émissions de 2015, le décret gouvernemental détermine une décroissance progressive du plafonnement des émissions de plus de 20 Mt pour le fixer, en 2030, à 44 Mt. (Figure 2)

Dès la mise en œuvre du système, un prix plancher a été fixé pour la vente aux enchères des droits d'émission et

un mécanisme d'indexation automatique a été également adopté. Le gouvernement met en vente annuellement les unités d'émission lors de quatre ventes aux enchères. Le prix final d'une unité de droits d'émission lors de la vente aux enchères de mai 2019 s'élevait à 23,48\$. Depuis la mise en œuvre du système, la vente aux enchères a généré des revenus de 3,4 milliards de dollars. L'ensemble des revenus est versé au Fonds vert (renommé aujourd'hui le Fonds d'électrification et de changements climatiques) pour financer les diverses mesures du plan d'action sur les changements climatiques. Il n'y a pas ici de mécanismes formels de compensation. Toutefois, 60% des revenus doivent être dédiés au secteur des transports contribuant ainsi à l'élargissement de l'offre de transport en commun. Ce fonds fait l'objet actuellement d'une réforme en profondeur.

Tout système de plafonnement des émissions nécessite la mise en œuvre de mécanismes d'allocation initiale des droits d'émission. Deux mécanismes sont en vigueur pour le SPEDE. Parce que les émetteurs industriels québécois sont exposés à une concurrence nationale et internationale où le prix du carbone est faible ou inexistant, ils reçoivent gratuitement plus de 90% de leurs unités d'émission de GES pour favoriser le maintien de leur compétitivité et limiter le risque de « fuites de carbone ». L'attribution est basée sur des normes d'intensité sectorielles et varie donc selon le niveau de production. L'attribution gratuite est réduite graduellement en distinguant les émissions en provenance de la combustion de celles en provenance des procédés de production. Pour le secteur des carburants et combustibles fossiles, les émetteurs doivent acheter 100% de leurs unités d'émission.

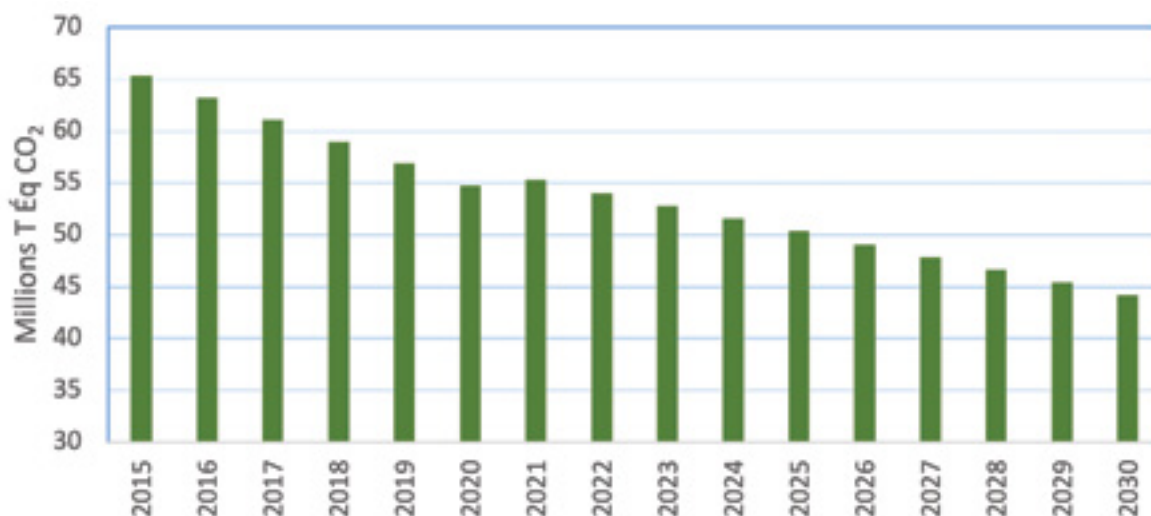


Figure 2. Plafonds d'unités d'émission. Adapté de Gazette officielle du Québec (2012; 2017)

Les entreprises doivent détenir un droit d'émission pour chacune des tonnes de GES qu'elles émettent. Ce droit d'émission peut donc provenir de l'allocation initiale gratuite effectuée annuellement par le gouvernement, de l'achat d'un droit supplémentaire lors d'une vente aux enchères, de l'achat auprès d'une autre entité participante à ce marché lorsque cette dernière peut réduire ses émissions à faible coût ou encore de l'achat de crédits compensatoires pour un maximum de 8% de ses besoins. Ces crédits découlent d'une réduction des émissions vérifiée et conforme aux protocoles réglementaires pour des secteurs non soumis à la réglementation du SPEDE.

La vérification de la conformité s'effectue sur une période triennale. Les émetteurs doivent posséder, pour chaque période de conformité de trois ans, un nombre de droits d'émission équivalent à leurs émissions effectuées au cours de cette période. Ces droits d'émission sont remis au gouvernement à la fin de la période de conformité et chaque droit d'émission ne peut donc être utilisé qu'une fois pour compenser une tonne d'équivalent CO₂.

L'une des particularités du système québécois est qu'il est lié depuis 2014 à celui de la Californie, créant ainsi le marché du carbone de la Western Climate Initiative (WCI), le plus important marché du carbone en Amérique du Nord et le premier à avoir été conçu et à être géré par des gouvernements infranationaux de pays différents. Ce marché du carbone permet le partage des frais de fonctionnement, facilite la surveillance du marché et assure aux entreprises québécoises un accès à un marché de droits d'émission dynamique. En contrepartie, cela pose la question de la pertinence d'éventuel achat de droits d'émission à un coût plus faible provenant de ce marché américain plutôt que le développement de l'innovation pour favoriser la réduction des émissions sur le territoire québécois.

Le SPEDE constitue donc un instrument performant permettant non seulement l'utilisation d'un incitatif de marché provenant de la tarification, mais également une contrainte physique limitant de façon absolue les émissions par le mécanisme de plafonnement des droits d'émission. En contrepartie, et comme le souligne le Commissaire au développement durable, « un manque d'information relative au marché, aux résultats découlant de la mise en place de celui-ci ou à l'utilisation des fonds recueillis pourrait nuire à son acceptabilité sociale. » (VGQ, 2016, p. 3)

Une politique climatique à la sauce caquiste

C'est dans ce contexte d'évaluation plutôt critique de l'action climatique québécoise que le premier ministre s'empresse, dès le discours d'ouverture du 28 novembre 2018, de lancer deux messages complémentaires.

Le nouveau gouvernement du Québec poursuivra tout d'abord une politique climatique déterminée, axée sur les résultats. C'est ainsi qu'il réaffirme l'engagement du Québec à demeurer au sein du marché du carbone avec la Californie, de même qu'à poursuivre d'ambitieux investissements en matière de transports collectifs, deux pièces maîtresses de la politique climatique québécoise. Par contre, le gouvernement Legault se montre critique envers le bilan du précédent gouvernement, qu'il accuse de n'avoir eu « aucun plan sérieux, aucun plan chiffré » et d'avoir négligé la gestion du Fonds vert. Il se montre également sceptique quant à la capacité du Québec de respecter ses engagements de 2020. Dans ce contexte, il demande un bilan de l'action climatique du Québec qui servira de base à l'adoption de mesures pour réduire les émissions de GES pour 2030 (ASSNAT, 2018). Bref, le nouveau gouvernement cherche une façon bien à lui de s'approprier la lutte aux changements climatiques et de se présenter en leader sur cette question.

En matière de gouvernance, le gouvernement Legault rapatrie en juin 2019 au sein du ministère de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques, ainsi que du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, les fonctions de planification et de suivi auparavant confiées à des organismes publics externes comme le Conseil de gestion du Fonds vert et Transition Énergétique Québec (Québec, 2019a). Ce choix s'explique par l'objectif d'exercer un plus grand contrôle sur la mise en œuvre de la politique climatique et les importantes sommes qui lui sont consacrées.

Le nouveau gouvernement réussit également à s'approprier le dossier climatique à travers l'idée « d'électrifier le Québec », une vision qui lui permet de réconcilier son ADN entrepreneurial avec l'impératif de réduire les émissions de GES. Cette vision sera lancée en mai 2019, lors du Conseil général de la CAQ sous le thème de l'économie verte. À cette occasion, le premier ministre Legault endosse résolument les objectifs climatiques du Québec à l'horizon 2030 et s'engage à déployer les efforts pour y arriver, qui reposeront en bonne partie sur l'électrification des transports, des bâtiments et des industries. De cette façon, indique-t-il, « en remplaçant le pétrole qu'on importe par notre électricité, on fait d'une pierre deux coups : on réduit

nos émissions de GES et on s'enrichit » (Discours au Conseil général, 26 mai 2019). À cette idée s'ajoute celle d'augmenter de façon importante les exportations d'électricité renouvelable, de façon à augmenter les revenus d'Hydro-Québec et de réduire les émissions de GES des centrales thermiques au sud de la frontière.

Cette vision devra se traduire dans un nouveau Plan, baptisé Plan d'électrification et de changements climatiques (PECC), dont la responsabilité est confiée au ministre de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques. Le gouvernement en structure l'élaboration autour d'une grande consultation à trois volets, soit : 1) la constitution de groupes de travail thématiques, composés de quelque 75 représentant.e.s de la société civile, de jeunes, d'entreprises et d'expert.e.s chargé.e.s d'identifier des mesures phares qu'il conviendrait d'intégrer au PECC ; 2) la tenue d'une tournée régionale portant sur la lutte aux changements climatiques et la prospérité économique et 3) la tenue d'une consultation en ligne du public. Les résultats de ces consultations doivent alimenter la rédaction du PECC par le gouvernement, dont la sortie est prévue au début de 2020 (Québec, 2019b).

En conclusion

Il semble que l'arrivée d'un nouveau gouvernement caquiste n'aura en rien remis en question le solide consensus politique québécois autour de l'impératif de déployer des mesures coûteuses en matière de lutte aux changements climatiques. Par-delà l'adoption d'une vision plutôt novatrice – l'électrification du Québec – et quelques réaménagements administratifs touchant la gestion des politiques climatiques, le gouvernement de François Legault poursuit à toutes fins pratiques les politiques mises en place par les gouvernements qui l'ont précédé. Cette cohérence se double d'une résilience politique alors que la continuité des politiques climatiques ailleurs dans le monde est bien souvent malmenée par l'alternance des partis politiques, comme ce fut le cas notamment en Ontario, en Alberta, aux États-Unis et en Australie, entre autres.

Quoi qu'il en soit, après presque deux siècles de croissance économique tributaire en bonne partie d'une énergie fossile abondante et à faible coût, nous avons l'obligation de faire une transition énergétique massive en près de trois décennies. Le défi est colossal à l'échelle mondiale, nationale et individuelle. Il pose, ici comme ailleurs, la question de l'ampleur de l'investissement à effectuer par la génération actuelle pour éviter des conséquences néfastes pour les générations à venir et le choix des meilleures stratégies pour optimiser cette transition.

ASSNAT. (2018, 28 novembre). 42^e législature, 1^{re} session. *Journal des débats de l'assemblée nationale*, 45(2). Repéré à <http://www.assnat.qc.ca/fr/travaux-parlementaires/assemblee-nationale/42-1/journal-debats/20181128/230623.html>

Chaloux, A. et Séguin, H. (2012). États fédérés et mise en œuvre de traités climatiques internationaux: le cas du Québec. *Revue de droit de l'Université de Sherbrooke*, 41(3), 607-632.

Environnement et Changement climatique Canada. (2019). *National Inventory Report 1990-2017. Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada*. Repéré à http://data.ec.gc.ca/data/substances/monitor/canada-s-official-greenhouse-gas-inventory/NIR_-_EN_-_Chapter_8_-_Recalculations_and_Improvements.pdf

Gazette officielle du Québec. (2012). 19 décembre, 144^e année, 51.

Gazette officielle du Québec. (2017). 31 août, 149^e année, 35A.

Legault, F. [Radio-Canada info] (2018, 18 octobre). Discours du Premier ministre. Repéré à <https://www.youtube.com/watch?v=BlqpcwNjJBU>

Québec. (2008). *Le Québec et les changements climatiques: un défi pour l'avenir: plan d'action 2006-2012*. Repéré à http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/plan_action/2006-2012_fr.pdf

Québec. (2009). *Cible de réduction des émissions de GES. Avec une cible de -20% pour 2020, le Québec est un leader dans la lutte aux changements climatiques: Communiqué de presse*. Repéré à <http://www.mddp.gouv.qc.ca/infuseur/communiqu.asp?no=1591>.

Québec. (2012a). *Le Québec en action. Vert 2020*. Québec: Gouvernement du Québec.

Québec. (2012b). *Plans d'action sur les changements climatiques: Bilan 2012-2013*. Québec: Gouvernement du Québec.

Québec. (2018a). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2016 et leur évolution depuis 1990*. Québec: Gouvernement du Québec.

Québec. (2018b). *Politique de mobilité durable – 2030: Transporter le Québec vers la modernité*. Québec: Gouvernement du Québec.

Québec. (2018c). Un gouvernement proche des Québécois. Repéré à <https://www.quebec.ca/premier-ministre/actualites/detail/un-gouvernement-proche-des-quebecois-1/>

Québec. (2018d). *Bilan mi-parcours: Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques*, Québec: Gouvernement du Québec.

Québec. (2019a). *Le gouvernement du Québec dévoile sa vision pour la gouvernance du Fonds vert et de la transition énergétique: Communiqué de presse*. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/infuseur/communiqu.asp?no=4181>

Québec. (2019b). *Le ministre Benoit Charrette annonce un exercice sans précédent pour élaborer le prochain Plan d'électrification et de changements climatiques: communiqué de presse*. Repéré à <https://www.newswire.ca/fr/news-releases/le-ministre-benoit-charrette-annonce-un-exercice-sans-precedent-pour-elaborer-le-prochain-plan-d-electrification-et-de-changements-climatiques-855-723290.html>

Radio-Canada (2015, 27 novembre). Réduction des GES: Québec vise 37,5% d'ici 2030. *Ici Radio-Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/752227/quebec-ges-gaz-effets-de-serre-2030-objectif-reduction-environnement>

Vérificateur général du Québec. (2016). *Marché du carbone: portrait et enjeux. Rapport du commissaire au développement durable*. Repéré à https://www.vgq.qc.ca/fr/fr_publications/fr_rapport-annuel/fr_2016-2017-CDD/fr_Rapport2016-2017-CDD-Chap04.pdf

Whitmore, J. et Pineau, P.-O. (2018). *État de l'énergie au Québec 2019*. Repéré sur le site de la Chaire de gestion du secteur de l'énergie. HEC Montréal: http://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2018/12/EEQ2019_WEB.pdf



Perspectives

SOMMES-NOUS BIEN INFORMÉS ? : ÉCARTS ENTRE LA COUVERTURE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE LA BIODIVERSITÉ PAR LES MÉDIAS ET LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Pierre Legagneux

Professeur au Département
de biologie
Université Laval

Kevin Cazelles

Chercheur postdoctoral au
Département de biologie intégrative
Université de Guelph

Dominique Gravel

Professeur au Département
de biologie
Université de Sherbrooke

Les changements climatiques et de biodiversité sont deux enjeux environnementaux de premier plan, souvent liés l'un à l'autre. Ils se produisent actuellement à un rythme supérieur à ce qui est acceptable pour maintenir les processus biophysiques de la planète (Rockström et al., 2009). La réduction de l'impact des activités humaines sur l'environnement nécessite au préalable une compréhension de ces problématiques, d'où l'importance des découvertes scientifiques qui améliorent nos connaissances sur ces enjeux et ouvrent des pistes de réflexion menant à l'élaboration de solutions temporaires ou durables.

Les contributions de la recherche au savoir sont communiquées au moyen d'articles scientifiques dans les revues spécialisées, mais aussi vulgarisées auprès du grand public, des médias, des politicien.ne.s et d'autres acteurs. Ainsi, la société, les gouvernements et les scientifiques interagissent et déterminent le programme politique : les organismes subventionnaires publics orientent la recherche scientifique, qui, à son tour, influence les décisions politiques. La rétroaction entre ces trois sphères est nécessaire à l'établissement d'une saine gouvernance basée sur la connaissance et les faits, ce qui confère une importance majeure à la communication et la diffusion de l'information entre ces sphères.

Dans un tel schéma de gouvernance mondiale sur les enjeux environnementaux, les initiatives internationales majeures en environnement que sont le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) et la plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, souvent présenté comme le « GIEC de la biodiversité » dans la presse francophone) tissent un lien essentiel entre la communauté scientifique et les décideurs

politiques. Ces groupes produisent des synthèses de la littérature scientifique afin d'alimenter la société de connaissances objectives et à jour sur ces vastes sujets et de permettre ainsi des choix sociétaux éclairés (voir <https://www.ipcc.ch/> et <https://www.ipbes.net/>).

La présence du GIEC (créé en 1988) dans le débat public est maintenant incontestable, alors que celle de l'IPBES, créé très récemment (en 2012), est en devenir (le rapport du 6 mai dernier a fait grand bruit dans les médias). Mais dans un cas comme dans l'autre, il semble que la diffusion de la connaissance scientifique aux décideurs politiques demeure insuffisante pour amener les changements de société nécessaires à la résolution de ces enjeux. Les médias n'ayant pas la capacité de relayer toute l'information scientifique en raison de son étendue et de ses subtilités, ceux-ci doivent sélectionner les sujets traités et les vulgariser, et ainsi, certaines connaissances sont priorisées et mises au-devant de la scène au détriment d'autres.

Nous avons cherché à évaluer quantitativement si la couverture médiatique de ces grands enjeux environnementaux (changements climatiques et biodiversité) progresse au même rythme que le développement du savoir dans ces deux domaines de recherche. Dans un monde idéal, la boucle qui lie la science, le public et les décideurs devrait être fermée, rapide et, surtout, objective. Ainsi, notre hypothèse de travail est que le financement de la recherche, la production scientifique et la couverture médiatique devraient suivre les mêmes tendances temporelles, que ce soit pour les changements climatiques ou la perte de biodiversité. La couverture médiatique devrait également témoigner des événements spécifiques comme les découvertes majeures, les conférences internationales et les catastrophes environnementales qui, à terme, ont des effets en cascade sur les décisions politiques, les connaissances scientifiques et celles du public.

Une enquête bibliométrique

Les informations sur les découvertes, leur financement et les événements environnementaux marquants ont été compilées pour une période de plus de 25 années (1990-2016). Nous avons examiné quantitativement la production scientifique, le financement de la recherche et les articles de presse des États-Unis, du Canada et du Royaume-Uni sur les changements climatiques et la biodiversité entre 1991 et 2016. Toutes les requêtes sur les changements climatiques ont été faites avec les mots-clés « *climate change* », « *global warming* » et « *IPCC* » (l'équivalent anglais de l'acronyme GIEC) et celles relatives à la biodiversité ont été faites avec les mots-clés « *biodiversity* », « *ecosystem services* », « *endangered species* » et « *IPBES* ». Nous avons réalisé une étude préliminaire avec une liste élargie de mots-clés afin de mieux définir la notion de biodiversité et les résultats étaient similaires à ceux rapportés ici. Notons que les doublons (un même article présent dans les deux disciplines) ont été supprimés. Une autre étude plus exhaustive portant uniquement sur les tendances bibliométriques liées aux changements climatiques présente des résultats similaires à ceux trouvés dans notre travail et ne rapporte pas de différences marquées entre les 43 pays étudiés (Boykoff, Katzung et Nacu-Schmidt, 2019). Pour de plus amples détails sur la méthodologie, nous invitons les lecteur.ice.s à consulter l'article scientifique de Legagneux et al. (2018).

Notre enquête bibliométrique nous a permis de constater que la production scientifique pour les deux disciplines (mesurée en nombre d'articles) était comparable dans les années 90 et qu'un écart s'est creusé avec le temps (Figure 1A) : en 2016, le nombre d'articles scientifiques sur les changements climatiques est près du double

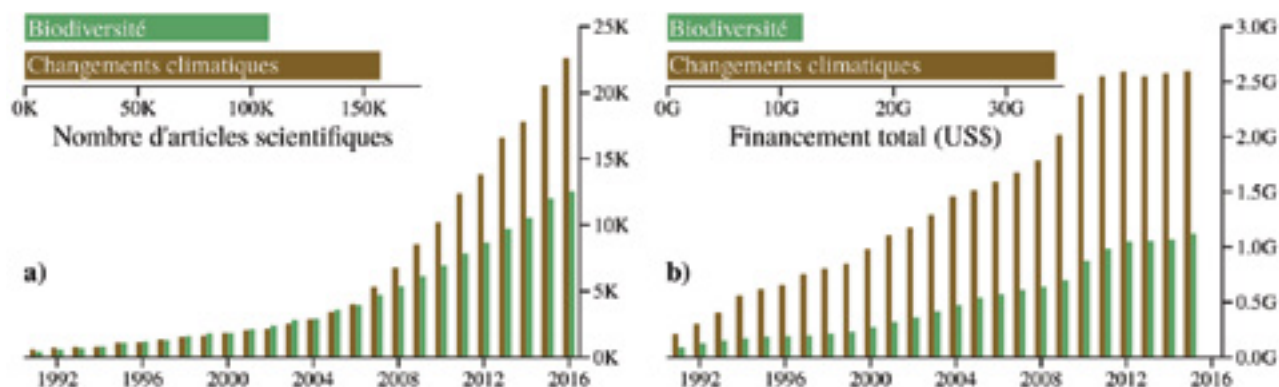


Figure 1A. Production scientifique mondiale sur la biodiversité (vert) et les changements climatiques (brun).

Figure 1B. Financement public de la recherche aux États-Unis et au Canada sur la biodiversité (vert) et les changements climatiques (brun).

de celui portant sur la biodiversité, ce qui souligne la portée actuelle du sujet. Une cassure est survenue autour de 2006, avec une augmentation significative de la productivité en science du climat. La tendance est similaire pour le financement de la recherche pour les deux disciplines (Figure 1B), avec des écarts comparables qui se maintiennent au fil du temps.

Alors que la production scientifique et le financement de la recherche sont intimement liés, la couverture médiatique des enjeux climatiques et de biodiversité, quant à elle, est toute autre (Figure 2). Globalement, la couverture médiatique des changements climatiques était 3,3 fois plus importante que celle de la biodiversité. En 2016, elle a été 8 fois plus importante avec des pics pouvant être jusqu'à 10 à 15 fois plus élevés que ceux atteints pour la biodiversité. Cette différence a commencé en 2000 et l'écart n'a cessé de se creuser depuis 2003. La couverture médiatique des changements climatiques a augmenté significativement depuis 1990, et plus particulièrement au tournant des années 2000.

En revanche, la couverture des enjeux de biodiversité est restée constante au fil des années. Le déficit de communication entre changements climatiques et biodiversité est majeur.

L'application d'une méthode de détection d'événements ponctuels sur chaque série temporelle nous a permis d'y trouver des événements portant a priori sur les changements climatiques ou sur la biodiversité. 14 des 17 pics identifiés pour les changements climatiques ont pu être mis en correspondance avec un ou des événements connus, contre seulement 5 pics sur 15 pour la biodiversité. Les événements majeurs tels que les conférences des Nations Unies sur le climat sont repris par les médias, ce qui contraste avec les événements majeurs liés à la biodiversité qui ressortent très peu de l'analyse, à l'exception du Sommet de la Terre de Johannesburg en 2002, lequel a entraîné une couverture médiatique des enjeux climatiques et de biodiversité.

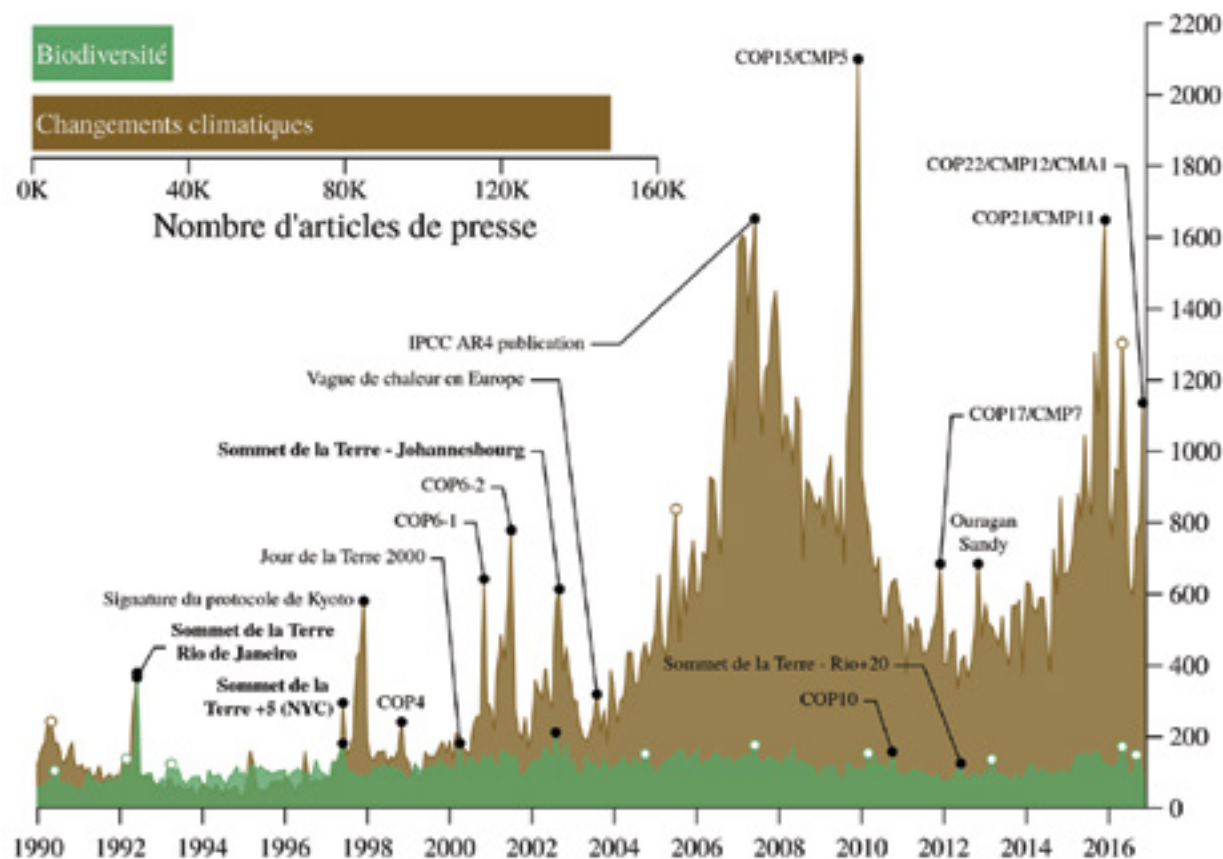


Figure 2. Nombre d'articles de journaux par mois qui traitent de la biodiversité (vert) et des changements climatiques (brun) aux États-Unis, au Canada et en Angleterre. Les événements ponctuels détectés (points noirs) et les événements associés sont montrés. Les sommets sans les marqueurs n'ont pu être associés à des événements connus a priori.

Comment expliquer le déficit de communication des enjeux de biodiversité ?

Le constat est positif pour la science du climat : l'organisation des scientifiques au sein du GIEC soutient la crédibilité de leurs travaux et leurs rapports déterminent le calendrier politico-médiatique. Les enjeux climatiques font la une des journaux, dominent le financement de la recherche et sont incontournables lors des élections. En revanche, les enjeux de diversité biologique accusent un important déficit de communication, qui croît constamment depuis les 15 dernières années. De nombreuses hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce décrochage. Nous en proposons six ci-dessous :

- **Le décalage temporel entre la création du GIEC et de l'IPBES.** L'IPBES a été créé 25 ans après le GIEC. Or l'attention portée aux changements climatiques dans les médias n'a augmenté que 10 à 15 ans après la création de ce dernier. Selon cette logique, l'intérêt des médias pour la biodiversité devrait augmenter dans les années à venir.
- **Le débat entre scientifiques autour de la responsabilité de l'humain dans les changements climatiques.** L'affrontement entre les scientifiques et les climatosceptiques sur l'existence même des changements climatiques et sur leur cause a provoqué un tumulte médiatique qui peut expliquer en partie la plus grande couverture médiatique de ces derniers. Les médias se seraient impliqués dans le débat afin de fournir l'information scientifique nécessaire pour dresser l'état de la situation.
- **Les événements météorologiques extrêmes sont plus perceptibles.** L'association intuitive entre les prévisions météorologiques à court terme et le changement climatique à long terme amène un lien plus direct pour le grand public. Les événements catastrophiques tels que les vagues de chaleur, les inondations ou les ouragans peuvent accroître l'inquiétude du public et leur intérêt pour les informations relatives aux changements climatiques.
- **Le catastrophisme associé aux changements climatiques stimule les médias.** La longévité du succès médiatique des changements climatiques pourrait aussi être expliquée en partie par ses similitudes avec les systèmes de croyances. L'échelle planétaire des changements climatiques et la gravité des bouleversements qu'ils provoquent leur confèrent

une dimension eschatologique qui fait écho à l'anxiété existentielle de l'humain, laquelle engendre un besoin de comprendre et donc une plus grande demande d'information.

- **Une question d'échelle spatiale.** Les effets des changements climatiques sont globaux et largement dus aux émissions de gaz à effet de serre qui circulent à l'échelle planétaire, alors que le nombre de mécanismes impliqués dans l'altération de la biodiversité sont locaux et ne deviennent un problème global que par agrégation. De plus, les effets des changements climatiques sont ressentis directement par le public et peuvent facilement se traduire en termes économiques qui conduisent les décideurs à agir, ce qui est peut-être moins le cas de la perte de biodiversité, surtout pour des pays dont la population est majoritairement urbaine et de plus en plus déconnectée de la nature.
- **Des objectifs difficiles à quantifier pour les changements de biodiversité.** Les actions entreprises afin de réduire l'ampleur des changements climatiques peuvent facilement être résumées dans des affirmations simples telles que « toute action visant à limiter le réchauffement à 1,5 ou 2 °C », alors que les cibles pour la biodiversité sont plus difficiles à traduire auprès du grand public.

Quelles sont les actions que les scientifiques peuvent entreprendre ?

Quelles que soient les raisons qui sous-tendent ce manque de communication sur la biodiversité, la connaissance seule ne suffira pas à résoudre l'un des problèmes les plus pressants de notre planète si elle ne réussit pas à atteindre le public et les décideurs. Que peuvent faire les chercheurs.euse.s qui travaillent sur les pertes de biodiversité ? Est-ce le rôle des chercheurs.euse.s d'intervenir ? Les solutions sont nombreuses. Nous en soulignons trois que nous pensons être particulièrement porteuses :

1. **Mettre en place une plateforme commune portant aussi bien sur les enjeux liés aux changements climatiques que sur ceux liés à la biodiversité dédiée au transfert de connaissances.** La pertinence d'une plateforme intergouvernementale sur le changement global (IPGC) pourrait être envisagée, ne serait-ce que pour développer une meilleure stratégie de communication, plus intégrée, sur les questions environnementales. Une telle plateforme pourrait

par exemple établir comment certains choix de consommation peuvent affecter non seulement la production de GES et le changement d'utilisation des terres, mais également comment ils participent à la perte de biodiversité. Elle pourrait ainsi devenir un formidable outil pour mettre en évidence des synergies entre les deux crises et proposer des solutions intégrées.

2. Trouver des approches efficaces pour communiquer sur les enjeux de la perte de la diversité. L'aspect catastrophique des changements climatiques sollicite des émotions qui motivent les médias à présenter les résultats de travaux scientifiques. Paradoxalement, alors que la science est une affaire de faits et d'objectivité, l'attention qui lui est portée par le public via les médias est motivée par un attachement personnel et subjectif à la nature. L'extinction d'une espèce suscitera souvent une émotion plus intense que la dégradation d'un milieu humide. Les métaphores et les espèces emblématiques (comme l'ours polaire) permettent d'associer des expériences personnelles à ces enjeux et ainsi de fortifier l'adhésion du public.

3. Impliquer davantage les citoyen.ne.s sur les enjeux de biodiversité par des projets de science citoyenne. Ces projets sont actuellement très populaires et tissent des liens forts entre les citoyen.ne.s et la biodiversité qui les entoure. Ainsi, des milliers d'ornithologues amateur.ice.s sont distribué.e.s partout sur le territoire québécois et relatent les changements de biodiversité (Cyr et Larivée, 1993). À titre d'exemple, une nouvelle plateforme a été créée récemment en collaboration avec l'Insectarium de Montréal pour documenter les observations de papillons (Prudic et al., 2017). Cet outil a permis de rapporter de nombreuses migrations causées par les changements climatiques. Cette information est utile non seulement pour combler les lacunes dans les données sur la biodiversité, mais aussi pour sensibiliser le public à la valeur de la nature et à ses bienfaits lorsque l'on s'y reconnecte. De nombreuses initiatives sont également en cours dans les écoles primaires et secondaires [p. ex. Des Nids Chez Vous, Opération PAJE ; Legagneux et al., 2016 ; Samson, 2017].

Espérons que la situation évolue positivement avec le lancement des publications de l'IPBES. Sa fondation remonte à 2012, mais elle repose sur une longue démarche initiée lors du Sommet de la Terre de 1992 et sur la signature de la Convention sur la diversité biologique (dont le secrétariat est situé à Montréal). Un premier rapport de synthèse publié en 2005 par l'ONU (le Millennium Ecosystem Assessment) a notamment établi que les taux d'extinction des espèces sont plus de 10 000 fois supérieurs à la normale et que nous sommes effectivement dans une vague d'extinction massive. Adoptés en 2013, le plan de travail et le mode de

fonctionnement de l'IPBES sont très fortement inspirés du modèle du GIEC, avec la réalisation de synthèses régulières et leur révision par les 132 pays membres. La version préliminaire du premier rapport fut ainsi publiée le 6 mai 2019 à Paris, avec la conclusion-choc qu'« un million d'espèces animales et végétales » (soit plus de 10 % de la diversité totale de la planète) sont en voie d'extinction à très courte échéance. La couverture médiatique fut sans précédent et il reste à voir si ces enjeux occuperont le même espace public que les changements climatiques à l'avenir.

L'effort de vulgarisation et de communication ne peut incomber aux seul.e.s chercheur.euse.s et il est nécessaire qu'une synergie entre les équipes de transferts de connaissances et celles dédiées aux communications avec les médias se mette rapidement en place. Des équipes de communication proactives au sein des institutions académiques peuvent en effet efficacement faire passer l'information entre les chercheur.euse.s et les médias. Cette problématique touche l'ensemble de la recherche et va bien au-delà des enjeux environnementaux évoqués dans cette étude.

Boykoff, M., Katzung, J. et Nacu-Schmidt, A. (2019). Media and Climate Change Observatory Monthly Summary: Life as We Know It. *Media and Climate Change Observatory Monthly Summaries*, 29. doi: [10.25810/8qh4-1973](https://doi.org/10.25810/8qh4-1973).

Cyr, A. et Larivée, J. (1993). A checklist approach for monitoring neotropical migrant birds: Twenty-year trends in birds of Québec using ÉPOQ. Dans D. M. Finch, et P. W. Stangel (dir.), *Status and management of neotropical migratory birds* (p. 229-236). Colorado, États-Unis : U.S. Forest Service, United States Department of Agriculture.

IPBES. (2019). IPBES Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Repéré à <https://www.ipbes.net/global-assessment-report-biodiversity-ecosystem-services>

Legagneux, P., Casajus, N., Cazelles, K., ... Gravel, D. (2018). Our house is burning: discrepancy in climate change vs biodiversity coverage in the media. *Frontiers in Ecology and Evolution*. doi: <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00175>

Legagneux, P., Larocque, G. et Fletcher, O. E. (2016). De la relève en ornithologie dans la région de Rimouski - Des nids chez vous! *QuébecOiseaux*.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington D.C., États-Unis : Island Press.

Prudic, K. L., McFarland, K. P., Oliver, J. C., ... Larivée, M. (2017). eButterfly: Leveraging massive online citizen science for butterfly conservation. *Insects*, 8(2). doi:10.3390/insects8020053

Rockström, J., Steffen, W. L., Noone, K., ... Foley, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2).

Samson, G. (2017). *Retombées de l'Opération PAJE auprès des élèves de la Montérégie- Est, de Drummondville et de Lévis*. Repéré sur le site du Centre de transfert pour la réussite éducative du Québec: https://www.ctreq.qc.ca/wp-content/uploads/2017/11/Opération-PAJE_Rapport_2017-11-07.pdf

ALERTE DANS LES HAUTES LATITUDES NORD : L'ARCTIQUE RÉAGIT AU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Alain Royer

Professeur en géophysique de l'environnement
Université de Sherbrooke

L'Arctique serait-il le canari qui servait autrefois de sentinelle face aux risques du coup de grisou dans les mines de charbon? L'augmentation des températures de l'air à la surface de l'Arctique s'accélère depuis les 20 dernières années. Les variations actuelles du climat des hautes latitudes nord seraient-elles celles que nous pourrions vivre dans les latitudes moindres d'ici 20 ou 50 ans?

Ce phénomène de réchauffement accru serait attribuable à une « rétroaction positive », comme on dit dans le jargon, aussi appelé « effet d'amplification arctique » (EAA). Une « rétroaction » est un processus climatique produit en réponse au réchauffement anthropique global (l'effet de serre). Cette réaction peut soit accélérer ou accentuer le changement initial; on parle alors de « rétroaction positive » si l'augmentation de température est plus forte que la moyenne globale. La rétroaction peut être au contraire « négative » lorsque la perturbation atténue le phénomène initial, par exemple par un refroidissement.

Il est aujourd'hui essentiel de comprendre cet effet d'amplification arctique afin de mieux prévoir le climat futur qui pourrait s'emballer. Ce qui nous attend, ici, dans nos latitudes, pourrait significativement être perturbé par ces anomalies du climat arctique. Nous présentons dans cet article quelques hypothèses avancées pour expliquer ce phénomène d'amplification arctique tout en revenant sur l'état du réchauffement de l'environnement nordique. Nous rappelons à ce titre l'incertitude qui entoure les différents processus d'emballage en lien avec les changements climatiques et qui modifient déjà le climat sous nos latitudes.



Augmentation de la température arctique¹

La littérature recense de nombreux changements de l'environnement du Nord dus à l'impact du réchauffement climatique (voir par exemple les rapports et les récents articles de synthèse suivants : IPCC [GIEC], 2014; AMAP, 2017 et 2019; Blunden, Hartfield et Arndt, 2018; Goosse et al., 2018; RCCC, 2019; Overland et al., 2019; Box et al., 2019). Parmi ces phénomènes, on peut citer, outre une augmentation accrue des températures, la fonte du pergélisol, une diminution de la durée et de la couverture de neige, une augmentation de l'étendue des zones arbustives dans la toundra, la fonte des glaces (glace de mer, glaciers et calottes glaciaires), etc.

Le taux d'augmentation des températures moyennes annuelles de l'air à la surface est deux fois plus important dans l'Arctique (0,4 °C/décennie, avec une anomalie de l'ordre de 1,6 °C pour ces dernières années [2015-2018] par rapport à la période 1950-1980; Overland

1. L'Arctique est définie en général comme la région entourant le pôle Nord jusqu'au cercle polaire arctique (latitude 66° 34'N), mais pouvant aller jusqu'à 55 °N dans l'Est du Canada si l'on prend une définition climatique, limitée par l'isotherme estival de 10 °C, par exemple. La tranche de latitude 60-90°N est souvent prise comme définition de l'Arctique dans les modèles. Globalement, l'Arctique est à moitié océanique (Océan arctique) et à moitié terrestre.

et al., 2019) comparé à la moyenne à l'échelle du globe (0,2 °C/décennie, avec une anomalie actuelle de 0,9° par rapport à la période 1950-1980). On constate ainsi que le seuil de +2 °C inscrit dans l'Accord de Paris est déjà presque atteint en Arctique!

C'est en hiver que ce contraste est le plus important (Figures 1 et 2). Pour l'Arctique (>60°N), on observe un taux moyen de variation de +0,7 °C/décennie, comparée à celui de l'hémisphère Nord qui est de l'ordre de +0,15 °C/décennie (sur la période 1960-2013) [Cohen et al., 2014]. Ces variations ne sont pas uniformes sur l'Arctique et il a été démontré qu'elles dépendent de l'évolution de l'étendue de la glace de mer.

Ce contraste entre les saisons est manifeste pour l'Arctique canadien, avec une augmentation deux fois supérieure l'hiver (+4,83 °C/décennie) que l'été (+2,27 °C/décennie) depuis les 71 dernières années (1948-2018) (Figure 2).

La section suivante discute comment ce contraste pourrait s'expliquer par un EAA plus important en hiver. Cet aspect a été récemment analysé et modélisé par Dai, Luo, Song et Liu (2019).

Effet d'amplification arctique (EAA)

L'augmentation plus importante des températures observée dans le Nord par rapport au reste du globe pourrait s'expliquer par un phénomène de rétroaction positive au réchauffement global anthropique.

Cet effet avait déjà été anticipé dans les années 1980 (voir par exemple Manabe et Stouffer, 1979). Plusieurs mécanismes peuvent en effet générer un effet d'amplification des températures, même s'il y a encore beaucoup d'incertitudes sur toutes les raisons en cause (voir la revue de littérature de Serreze et Barry, 2011; 2014; Goosse et al., 2018 et Box et al., 2019). Le réchauffement climatique global génère dans l'Arctique cinq principaux processus de changements, qui sont comparés dans la Figure 3: 1) un changement du gradient thermique vertical atmosphérique (*Lapse rate*); 2) une modification du coefficient de réflexion du rayonnement solaire à la surface (albédo = rapport entre le rayonnement solaire réfléchi et reçu); 3) une augmentation de la vapeur d'eau atmosphérique; 4) une plus grande couverture nuageuse durant l'hiver et 5) une modification du taux de croissance de la glace de mer selon son épaisseur.

Une récente étude conduite par Dai et al., publiée dans *Nature*, tente pour la première fois de comparer ces

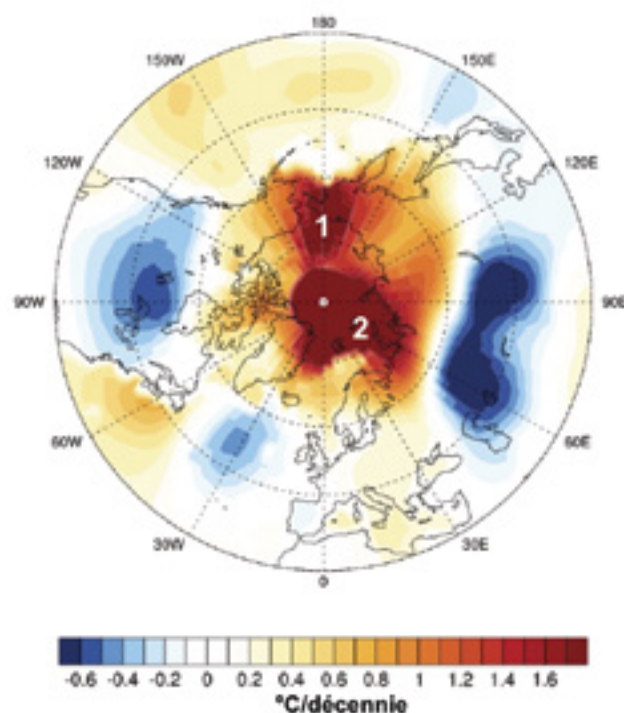


Figure 1. Distribution des changements de température sur la période hivernale (DJF) sur la période 1997-2017 (échelle de couleur) montrant des variations spatiales marquées. Il a été démontré que celles-ci correspondent aux zones de plus fortes variations d'étendue de la glace de mer en hiver (soit la zone 1 dans la mer de Sibérie orientale – Détroit de Béring et la zone 2 de la mer de Barents) et qui contrastent avec les zones de refroidissement des parties centrales de l'Amérique du Nord et de l'Eurasie (Ø45°N). Source : GISS-NASA, courtoisie de X. Zhang and L. Peng, Arctic Research Consortium of the United State.

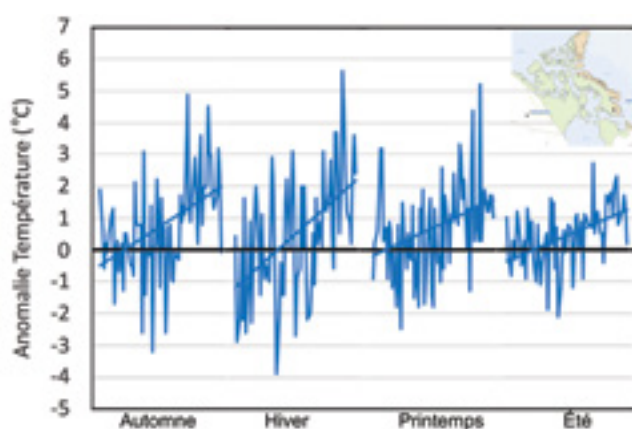


Figure 2. Évolution des « anomalies » de température de la région climatique « Toundra arctique » du Canada (en vert sur la carte en médaillon), de 1948 à 2018, pour les saisons d'automne, d'hiver, de printemps et d'été (écart saisonnier par rapport à la « normale climatique » 1961-1990 moyenne). L'augmentation relative est la plus forte en hiver. L'année 2010 a été le record de chaleur jamais enregistré dans le Nord canadien durant l'hiver (+ 5,6 °C). Source : Stations météorologiques d'Environnement et Changement climatique Canada (2019).

effets exprimés en termes d'énergie relative apportée ou enlevée au système sur 10 ans (exprimés en Watt par m^2 par décennie). Cela permet de quantifier leur importance relative durant un cycle annuel où les conditions changent complètement entre l'été – quand il fait jour tout le temps, plus chaud, et qu'il y a moins de glace de mer – et l'hiver durant la nuit arctique quand la glace de mer se reforme. Les résultats de cette comparaison, détaillés ci-dessous et synthétisés dans la Figure 3, montrent que les effets 1, 3 et 4 amplifient le réchauffement, alors que les effets 2 et 5 atténuent l'EAA (rétroaction négative).

Dans la Figure 3, l'EAA (courbe noire, notée AA) est définie par le rapport entre la tendance des températures de surface de l'Arctique (définie ici entre 67-90 °N) et celle du globe (une valeur > 1 signifie qu'il y a amplification, soit un réchauffement accru de l'Arctique par rapport au reste du globe). On constate que l'EAA est à son maximum l'hiver, soit entre novembre et avril-mai.

1. La première cause du réchauffement arctique accru est un flux de chaleur émis par la surface plus important l'hiver dans des conditions où il y a moins d'échanges dans l'atmosphère (stratification stable). Ce flux de chaleur est exprimé ici par le changement du gradient thermique atmosphérique notée *Long Wave LW_up* (courbe magenta en $\text{W.m}^{-2}/\text{décennie}$, Figure 3). Dans un environnement en réchauffement aux hautes latitudes, des conditions de stratification atmosphérique stable dans la basse atmosphère génèrent un réchauffement plus important à la surface que dans la haute atmosphère, en comparaison avec une atmosphère qui serait uniforme, avec plus d'échanges entre la basse et la haute atmosphère. La tendance au changement de *LW_up* est minimale durant l'été (juin, juillet, août) alors qu'elle est maximale durant l'hiver (Figure 3), en phase avec les variations d'amplitude de l'EAA.

2. La deuxième composante importante du bilan d'énergie est la quantité de rayonnement absorbée par la surface, alors que le rayonnement solaire incident atteint son maximum fin juin. Dans la Figure 3, ce bilan est exprimé par le flux solaire net (noté Short Wave : net SW = rayonnement solaire incident – celui réfléchi, courbe rouge en $\text{W.m}^{-2}/\text{décennie}$). Une diminution d'albédo, soit une plus grande absorption du rayonnement solaire due à la fonte de glace de mer, se traduit au début de l'été par une augmentation du flux solaire net. À partir de fin juin, le réchauffement global accentue la fonte des glaces, ce qui diminue encore l'albédo qui, à son tour, augmente l'absorption solaire par l'eau libre. Cela suggère que l'énergie supplémentaire absorbée durant cette période contribuera à une fonte accélérée de la glace en automne (minimum du flux solaire net d'août à septembre). L'eau qui reste libre de glace durant l'hiver devient alors une source de chaleur

énorme qui contribue significativement à l'EAA durant l'hiver (on peut avoir une différence de 10 à 30 °C entre les surfaces en eau libre et celle en glace l'hiver).

3. La dernière composante du bilan d'énergie considérée est celle résultant des flux de vapeur d'eau (noté flux de chaleur latente, LH) qui a été additionnée, dans la Figure 3, avec le flux de chaleur sensible (SH), un autre mécanisme d'échange de chaleur par les flux turbulents ($\text{SH}+\text{LH}$, trait cyan en $\text{W.m}^{-2}/\text{décennie}$). Les variations des tendances de l'amplitude de $\text{SH}+\text{LH}$ durant l'année suivent exactement celles de l'EAA, avec un maximum hivernal. Cette augmentation hivernale de $\text{SH}+\text{LH}$ résulte d'une augmentation de température de la surface de l'océan, qui entraîne une augmentation accrue de la température atmosphérique durant l'hiver.

4. La physique des nuages est très complexe, car pouvant générer, selon les conditions (été ou hiver) et leur état (nuage de particules de glace ou d'eau, altitude du nuage), aussi bien une rétroaction négative (effet d'écran au soleil), que positive (par effet de serre). Il semblerait qu'une diminution de l'étendue de la glace de mer en hiver provoquerait une augmentation de la couverture nuageuse qui augmenterait la température de surface par effet de serre. Ce mécanisme pourrait accélérer la fonte de la glace de mer (rétroaction positive).

5. Enfin, l'effet de la vitesse de croissance de la glace de mer selon son épaisseur pourrait éventuellement atténuer les processus précédents. En effet, une glace mince croît plus vite qu'une glace épaisse, grâce à sa plus grande conduction de chaleur, pouvant ainsi amortir la réponse aux effets 1, 3 et 4 mentionnés précédemment.

Il ressort ainsi de cette analyse comparative des différents mécanismes en cause pouvant expliquer l'EAA hivernal que l'effet du rayonnement thermique émis par la surface dans une atmosphère fortement stratifiée (effet 1, *LW_up*, Figure 3) est le plus important. L'augmentation de *LW_up* hivernal peut être attribuée à un réchauffement amplifié de l'océan de surface, dû à la combinaison de l'effet d'absorption accrue du rayonnement solaire l'été (albédo de surface plus faible) et de l'ouverture de nouvelles surfaces en eau libre (non englacée) durant l'hiver. L'augmentation des flux sensible et turbulent (effet 3, $\text{SH}+\text{LH}$) contribue aussi à l'EAA, mais de façon moindre, la différence relative hiver moins été de $\text{SH}+\text{LH}$ étant deux fois moindre que celle de *LW_up*.

Les travaux de Dai et al. (2019) montrent aussi que ces observations sont bien reproduites par les modèles, moyenne des simulations provenant de 38 modèles climatiques pour 2006-2016 dans le cadre de l'expérience CMIP5 du GIEC (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, IPCC, 2014) et avec un modèle complètement couplé océan-atmosphère-glace de mer (Hurrell et al.,

2013). Dai et al. (2019) ont en particulier réalisé des expériences de simulations numériques originales isolant l'effet de la glace de mer dans le calcul des flux et montrant la contribution spécifique de l'évolution de la glace de mer arctique sur l'EAA.

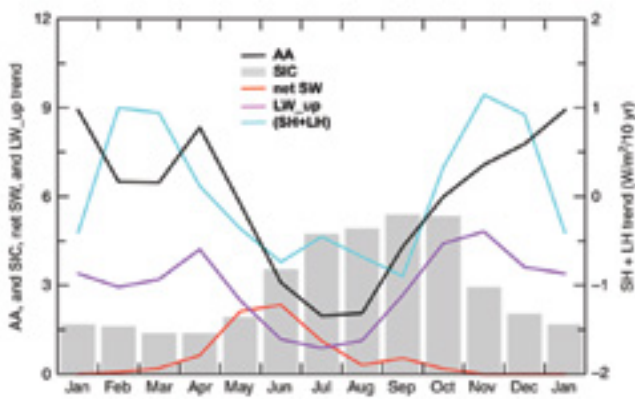


Figure 3. Cycle annuel moyen (1979-2016) des tendances (variations moyennes sur 10 ans) en Arctique (67-90°N) de la couverture de glace (SIC, histogramme en gris, exprimée en $10^5 \text{ km}^2/\text{décennie}$), de l'amplification arctique (AA, trait noir) et des flux d'énergie (net SW trait rouge, LW_up trait magenta et SH+LH trait cyan).

Conclusion

L'augmentation de température observée dans le Nord, deux fois plus importante que partout ailleurs sur la planète, résulte d'un effet d'amplification du réchauffement mondial. L'étude récente de Dai et al. (2019) met en évidence certaines relations de causes à effets, en particulier durant l'hiver où des processus de rétroaction positive accélèrent le réchauffement initial.

Ce cas particulier de l'évolution de l'Arctique, différente du reste du globe, est intéressant, car il démontre que ces processus de rétroaction pourraient devenir une source d'incertitude importante pour les prévisions du climat futur s'ils n'étaient pas (ou mal) pris en compte. Le climat futur ne peut être anticipé par une simple extrapolation des tendances actuelles observées.

Enfin, il est d'autant plus important de mieux connaître ces processus d'emballement apparent au niveau de l'Arctique que ceux-ci influencent déjà le climat de nos latitudes. Par exemple, une cause majeure de cet EAA est l'étendue de plus en plus marquée d'eau libre de glace dans le Nord. La chaleur des eaux ouvertes dans l'océan Arctique est libérée dans l'atmosphère, ce qui entraîne un affaiblissement du vortex polaire, aussi appelé courant-jet (*jet-stream*). À la rencontre de l'air froid arctique et l'air chaud du Sud, ce puissant courant aérien résultant du gradient thermique régule les fluctuations de ces masses

d'air. S'il s'affaiblit, il peut laisser « échapper » une masse d'air polaire vers le sud et pousser une masse d'air chaude et humide vers le nord. Ces changements persistants de patrons du courant-jet provoquent ainsi des événements de températures et de précipitations extrêmes, inhabituels à nos latitudes dans l'hémisphère Nord.

AMAP (2019). *AMAP Climate Change Update 2019: An Update to Key Findings of Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA)* 2017. Repéré à <https://www.amap.no/documents/download/3295/inline>¹

AMAP (2017). *Snow, Water, Ice, and Permafrost in the Arctic (SWIPA)*. Repéré à <https://www.amap.no/documents/download/2987/inline>

Blunden, J., Arndt, D.S. et Hartfield, G. (2018). State of the Climate in 2017. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 99(8), Si-S310. doi:10.1175/2018BAMSStateoftheClimate.1

Box, J., Colgan, W.T., Christensen, T.R., Schmidt, N.M., Lund, M., Parmentier, F.-J. W. ... Olsen, M.S. (2019). Key Indicators of Arctic Climate Change: 1971–2017. *Environmental Research Letters*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aafc1b>

Cohen, J., Screen, J.A., Furtado, J.C., Barlow, M., Whittleston, D., Coumou, D. ... Jones, J. (2014). Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather, *Nature Geoscience*, 7(9), 627-637.

Dai A., Luo, D., Song, M. et Liu, J. (2019). Arctic amplification is caused by sea-ice loss under increasing CO₂. *Nature Communications*, 10, 121.

ECCC (2019). *Climate Trends and Variations Bulletin*, Environment and Climate Change Canada. Repéré à <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/climate-change/science-research-data/climate-trends-variability/trends-variations.html>

IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf

Goosse H., Kay, J.E., Armour, K.C., Bodas-Salcedo, A., Chepfer, H., Docquier, D. ... Vancoppenolle, M. (2018). Quantifying climate feedbacks in polar regions. *Nature Communications*, 9:1919. DOI: 10.1038/s41467-018-04173-0

Hurrell, J.W., Holland, M.M. et Gent, P.R. (2013). The community earth system model: a framework for collaborative research. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 94, 1339-1360.

Manabe S. et Stouffer, R.J. (1979). A CO₂-climate sensitivity study with a mathematical model of the global climate. *Nature*, 282, 491-492.

Overland, J., Dunlea, E., Box, J.E., Corell, R., Forsius, M., Kattsov, V. ... Wang, M. (2019). The Urgency of Arctic Change. *Polar Science*. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2018.11.008>.

RCCC (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Repéré à <https://changingclimate.ca/CCR2019/fr/>

Serreze M. C. et Barry R.G. (2011). Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. *Global and Planetary Change*, 77, 85-96.

Serreze, M.C. et Barry R.G. (2014). *The Arctic Climate System*. New York: Cambridge University Press.

1. Dans le cadre du Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique (PSEA) du Conseil de l'Arctique, le rapport SWIPA est le fruit d'une collaboration d'une centaine de scientifiques du monde entier qui publient régulièrement une synthèse des changements climatiques des régions nordiques et de leurs impacts. Le Conseil de l'Arctique est une instance intergouvernementale réunissant les huit pays circumpolaires : États-Unis, Canada, Russie, Danemark, Finlande, Islande, Norvège et Suède.

DU RÉCHAUFFEMENT AUX CONSÉQUENCES ÉCOLOGIQUES : S'ADAPTER, MIGRER OU DISPARAÎTRE

Limoilou-Amélie Renaud

Département de biologie
Université de Sherbrooke

Mark Vellend

Professeur au Département
de biologie
Université de Sherbrooke

Fanie Pelletier

Professeure au Département
de biologie
Université de Sherbrooke

Nous sommes en 1930, et un homme, agenouillé au sol, ajoute méticuleusement une date à son calepin. Il note la date de floraison d'une plante (le tussilage) qu'il observe (voir la Figure 1A). Sans le savoir, cet homme amorce une étude à long terme sur les réponses des plantes au réchauffement climatique. Près d'un siècle plus tard, des chercheur.euse.s scrutent les informations contenues dans les herbiers du Frère Marie-Victorin, un des botanistes les plus actifs au Québec avant la Seconde Guerre mondiale. Cette méthode originale a permis à une équipe de scientifiques de l'Université Laval, menée par Claude Lavoie, de montrer que le tussilage fleurit aujourd'hui environ 19 jours plus tôt que dans les années 1920, ce qui coïncide avec un devancement de l'arrivée du printemps.

Comme tous et toutes les botanistes depuis plusieurs siècles, le Frère Marie-Victorin conservait ses spécimens de plantes en les pressant entre deux planches rigides. Avec ces spécimens, des informations étaient systématiquement notées : le nom de l'espèce, la présence de fleurs, la date et le lieu de collecte. Aujourd'hui, ces informations forment l'essentiel d'une base de données impressionnante. Des centaines de millions de spécimens ont ainsi été collectés ici

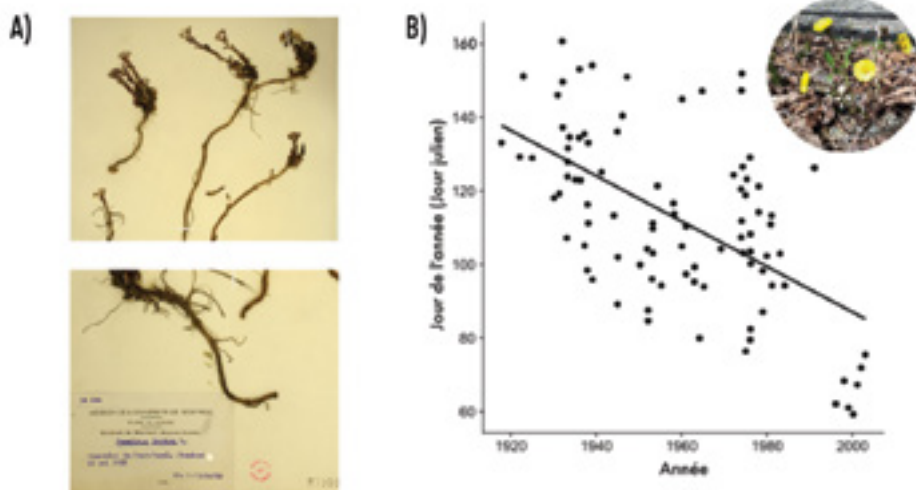


Figure 1A. Devancement des dates de floraison du tussilage au Québec entre les années 1920 et 2000. En A), l'image d'un spécimen de tussilage en fleur récolté en 1922 par le Frère Marie-Victorin lui-même, offert gracieusement par l'Herbier Marie-Victorin (Université de Montréal). L'image du bas est agrandie.

Figure 1B. Les dates de floraison du tussilage en fonction des années au Québec. Les données de tussilage sont extraites de Lavoie et Lachance (2006). Un spécimen de tussilage en floraison de la région de l'Estrie est montré en haut à droite du graphique (photo de Mark Vellend).

et là sur la planète, puis conservés dans des herbiers, permettant aux scientifiques d'étudier des tendances à long terme dans les dates de floraison. À l'aide des données météorologiques historiques, les chercheurs peuvent associer la température à la date de floraison du spécimen. Il a également été possible de montrer qu'entre l'époque du Frère Marie-Victorin et la nôtre, les températures hivernales ont augmenté de 2,3 °C, et les températures printanières, de 0,8 °C. En apparence anodine, un réchauffement des températures de 2,5 °C correspond à la différence de température estivale entre l'Abitibi et Montréal. Il s'agit d'un réchauffement suffisant pour influencer les réponses écologiques de milliers d'espèces de plantes et d'animaux à l'échelle de la planète.

Le tussilage a donc devancé ses dates de floraison pour qu'elles coïncident avec des conditions toujours optimales. L'exemple du tussilage n'en est qu'un parmi tant d'autres qui illustre la diversité des stratégies adoptées par les organismes vivants pour s'adapter au réchauffement climatique. Cet article est un aperçu des connaissances scientifiques sur les stratégies et réponses écologiques que les organismes vivants utilisent pour faire face, notamment, à l'augmentation des températures à l'échelle globale. Toutefois, pour certaines espèces, le réchauffement survient à une vitesse trop rapide, menant à leur disparition, et laissant parfois place à de nouvelles espèces.

S'adapter

Le réchauffement modifie les séquences saisonnières d'événements biologiques que les scientifiques nomment phénologie. Les variations de température sont souvent perçues comme un signal pour démarrer une nouvelle activité du calendrier saisonnier : se reproduire, produire des bourgeons, fleurir, pondre, etc. Les augmentations de température, peu importe la saison, sont donc souvent associées à des bouleversements de l'histoire de vie des plantes et des animaux. La Figure 1B illustre comment le tussilage observé par le Frère Marie-Victorin a devancé sa date de floraison en près de cent ans. Ce devancement est d'autant plus prononcé dans les régions urbaines, car ce sont de véritables îlots de chaleur qui amplifient les effets des variations de température sur la faune et la flore.

Chez les animaux, les dates importantes, comme le moment de la reproduction, varient aussi avec les températures. En milieu nordique, chaque printemps, les mammifères donnent naissance à des nouveaux-nés qui sont vulnérables pendant les premiers jours de leur existence. Ce moment est critique, puisque l'été est court. S'ils naissent trop tard, ces jeunes

n'auront pas suffisamment de temps pour croître et survivre à leur premier hiver. Or, pour se développer, un jeune herbivore a besoin de nourriture fraîche et sa naissance doit coïncider avec le moment où la végétation abonde. Les conditions météorologiques importantes pour les végétaux seront donc aussi déterminantes pour le moment de la mise bas. Par exemple, dans les Rocheuses canadiennes, une population de mouflons d'Amérique a devancé sa date de mise bas de près de 16 jours entre les années 1992 et 2017 (Renaud, Pigeon, Festa-Bianchet et Pelletier, 2019). Devancer la période des naissances permet de toujours maintenir celle-ci dans les conditions optimales – tant pour les brebis qui allaitent que pour les agneaux – puisque le réchauffement se fait aussi sentir dans cette région. Sa phénologie est donc une façon de s'adapter au réchauffement climatique, car on peut ainsi modifier son calendrier pour s'ajuster aux variations de l'environnement.

Toutefois, ce ne sont pas toutes les espèces qui peuvent ajuster leur phénologie. De plus, le lien de cause à effet n'est pas toujours facilement interprétable lorsqu'un changement dans le temps est détecté dans les données scientifiques. Par exemple, il a longtemps été cru que la pneumonie, qui causait des épisodes de mortalité massive du mouflon d'Amérique, se développait lorsqu'un animal était parasité par les vers du poumon, un parasite commun. Or, après analyse approfondie de données scientifiques, il s'est avéré qu'une bactérie transmise par le mouton domestique était responsable de la pneumonie du mouflon. Ce lien de cause à effet était difficile à détecter puisque les moutons domestiques sont des porteurs sains de cette bactérie. Les scientifiques doivent donc faire preuve d'une grande prudence dans l'interprétation d'associations dans les données. Des mécanismes de réponses au réchauffement climatique qui ont été validés par les scientifiques sont présentés ci-dessous.

Le lien entre les augmentations de température et la croissance des plantes est souvent direct. Les températures chaudes déclenchent le début de la croissance végétale. Si ces conditions surviennent plus tôt, de nombreuses plantes poussent et fleurissent plus hâtivement. Cependant, des interactions complexes relient souvent les espèces entre elles. La chaîne alimentaire, qui relie les plantes aux herbivores, ou encore les proies aux prédateurs, comporte plusieurs exemples d'interactions complexes entre les espèces. Les conséquences du réchauffement climatique sur une espèce particulière dépendent non seulement de réponses directes à la température – comme pour les végétaux – mais aussi d'effets indirects générés par le biais d'une autre espèce. La synchronie entre la date de ponte des oiseaux et la disponibilité de leurs proies au printemps est un exemple de ces effets indirects.

Dans l'hémisphère Nord, la quantité de nourriture est souvent très grande pendant certaines périodes de l'année. Par exemple, des oiseaux comme la mésange bleue nourrissent presque exclusivement leurs oisillons avec des chenilles qui sont surtout abondantes au printemps. Les parents ont peu de temps pour produire des petits et les nourrir. Il est donc extrêmement important d'avoir suffisamment de ressources disponibles dans ce court laps de temps. Avec les hivers qui sont de plus en plus doux, les chenilles émergent plus tôt qu'auparavant. Des scientifiques ont montré que, de nos jours, les oiseaux devancent leur période d'accouplement et, par le fait même, leur période d'éclosion et de nourrissage, en fonction non seulement de la température et de la lumière, mais aussi de la nourriture disponible. Leur physiologie et leur système hormonal peuvent donc se modifier très finement si l'environnement change (Figure 2). Ces individus ont un meilleur succès reproducteur que les oiseaux qui ne perçoivent pas les augmentations de température ou encore qui sont incapables d'ajuster leur calendrier d'activités.

Dans l'exemple précédent, les chenilles et les oiseaux semblent avoir ajusté leurs activités annuelles pour que la demande et la disponibilité en nourriture restent en synchronie. Mais qu'arrive-t-il si les proies et les prédateurs ne répondent pas de la même façon au réchauffement climatique ? Une asynchronie entre la date de ponte et l'abondance de chenilles serait certainement néfaste à la croissance des oisillons. Une asynchronie entre deux espèces est d'autant

plus susceptible de survenir lorsque le métabolisme diffère entre les organismes qui interagissent, comme des arthropodes (dont la température corporelle est déterminée par l'environnement) et des oiseaux (dont la température corporelle est produite grâce à leur métabolisme interne).

Plusieurs exemples de décalage temporel entre la date d'émergence des pollinisateurs et la date de floraison ont ainsi été documentés. Ces décalages ont des conséquences démographiques importantes pour les plantes et les services écologiques tels que la production de fruits, qui dépendent de la pollinisation. Par exemple, lors de conditions particulièrement chaudes et sèches qui touchent l'Ouest de l'Amérique du Nord, le cycle de vie des papillons, qui sont des insectes pollinisateurs, est altéré plus fortement que celui des plantes. Les papillons adultes ne migrant pas vers des conditions plus optimales, ce sont les larves qui subissent les conséquences d'une sécheresse : elles meurent, ou alors elles entrent à répétition en diapause, retardant donc l'émergence des papillons. L'asynchronie entre l'émergence des papillons et la floraison de leurs hôtes, tant les plantes qui fournissent le nectar aux papillons adultes que celles qui hébergent les larves plus tôt dans la saison, a mené au déclin, voire à l'extinction locale de populations de papillons pendant les périodes de sécheresse sévère. L'augmentation de la fréquence et de l'importance des sécheresses dans l'Ouest est probablement une conséquence des changements climatiques.

Les mésanges et le réchauffement climatique

Le printemps est hâtif

Les températures hivernales et printanières plus chaudes devancent l'arrivée du printemps. Les chenilles émergent plus tôt.



La ponte est devancée

Les mésanges devancent leurs activités de reproduction. La naissance des oisillons coïncide avec le pic d'abondance des chenilles.

Les oisillons s'envolent

Les adultes nourrissent les oisillons avec les chenilles. Les oisillons ont un bon succès d'envol et il y a peu de mortalité.

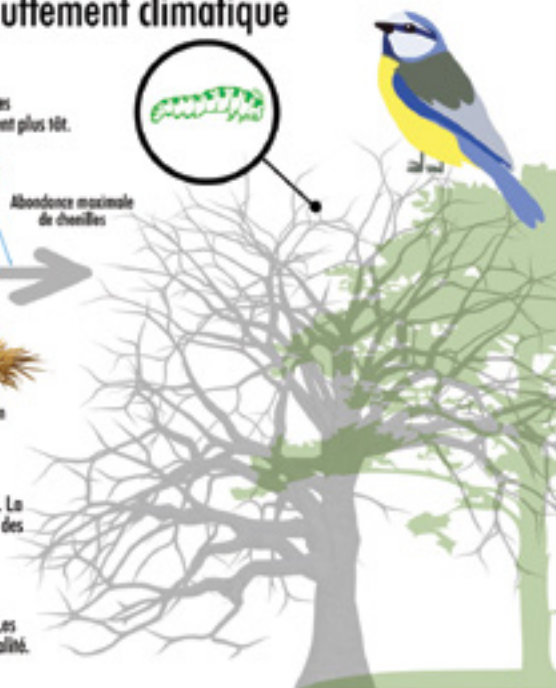


Figure 2. Devancement de la date de ponte chez la mésange bleue en réponse à l'abondance de chenilles. En réponse à l'augmentation des températures printanières, les chenilles émergent de plus en plus tôt. Les mésanges ont ajusté leur reproduction en devançant elles aussi leurs dates de ponte. Ainsi, l'éclosion des oisillons coïncide à nouveau avec le pic d'abondance de chenilles, leur source principale de nourriture. La figure a été réalisée par L.-A. Renaud. Crédits image (mésange et oisillon): shutterstock et depositphotos.

Migrer

En combinant observations et modélisation, le chercheur Murray Humphries, de l'Université McGill, et ses collaborateurs ont prédit que d'ici 2080, les limites de l'aire d'hibernation de la petite chauve-souris brune se déplaceraient de 6 km par année vers le nord dans les provinces canadiennes. En effet, les modèles prédisent un réchauffement allant jusqu'à 6 à 8 °C dans les zones tempérées et subarctiques d'ici 80 ans. Pour continuer d'hiberner dans des conditions optimales, l'espèce n'aurait d'autre choix que d'étendre sa distribution plus au nord. Par ses besoins énergétiques particuliers pendant l'hibernation, la petite chauve-souris brune est donc particulièrement sensible au réchauffement climatique.

Les montées vers les pôles de nombreuses espèces d'oiseaux et de papillons figurent parmi les exemples les plus connus de réponses au réchauffement climatique. En effet, ce ne sont pas toutes les espèces qui peuvent ajuster leur calendrier comme celui de la mésange bleue. D'autres mécanismes sont donc nécessaires pour s'ajuster aux changements climatiques. Des études rapportent que près des deux tiers de 35 espèces de papillons européens ont déplacé les limites de leur distribution vers le nord, et ce, jusqu'à 35 à 240 kilomètres de leurs anciennes limites. Grâce à leur mobilité, ces animaux étendent leur distribution aux endroits qui leur étaient jusque-là trop peu cléments. Bien que le phénomène soit plus lent que chez les animaux, les plantes migrent aussi. Au Parc national du Mont-Mégantic, au Québec, la flore semble curieusement s'être déplacée vers les sommets depuis 40 ans. Les températures minimales quotidiennes y ont augmenté d'environ 2 °C entre 1970 et 2012. En conséquence, les espèces d'arbres adaptées aux températures chaudes, comme l'érable à sucre, ont progressivement remplacé les espèces adaptées aux températures plus froides des sommets montagneux, telles les épinettes et les sapins. Cette migration – précisons que les individus ne se déplacent pas, ce sont les graines qui se disséminent et qui germent plus haut en altitude – s'est effectuée à raison d'environ 9 mètres par décennie, rapprochant du sommet les espèces de basse altitude d'environ 36 m en 40 ans (voir la Figure 3). En comparaison, une différence de 2 °C correspond à un déplacement en altitude d'environ 300 m; le climat migre du bas vers le haut 10 fois plus rapidement que les arbres. En somme, ces derniers ne migrent pas suffisamment rapidement pour suivre le rythme du réchauffement climatique.

Disparaître

Lorsque les réponses biologiques sont insuffisantes pour traquer le réchauffement, les espèces sont exposées à un risque élevé d'extinction. Récemment, des extinctions ont notamment été observées à la suite d'événements climatiques extrêmes, lesquels sont une conséquence moins bien connue du réchauffement climatique. L'extinction d'une espèce de rongeur endémique d'une petite île de la Grande Barrière de Corail, en Australie, est un exemple des conséquences écologiques que peuvent engendrer de tels événements. De nombreuses inondations et la raréfaction de la végétation, combinées à l'augmentation des niveaux des mers, auraient causé l'ensevelissement de l'île où vivait le rongeur, causant la perte de son habitat et la mortalité directe d'individus. À ce jour, peu de cas de disparition liés directement au réchauffement climatique ont été documentés, mais selon les expert.e.s de la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques, celui-ci devrait être un facteur déterminant de l'extinction des espèces.

Le réchauffement et le fonctionnement des écosystèmes terrestres

L'hypothèse d'effets du réchauffement climatique sur la faune et la flore repose sur un nombre croissant de preuves scientifiquement bien établies. Jusqu'à présent, nous avons expliqué comment certaines espèces répondaient au changement de leur environnement. On sait aussi que le réchauffement climatique affecte des écosystèmes entiers, et certains d'entre eux sont particulièrement sensibles au réchauffement. C'est le cas de l'écosystème arctique. Les arbustes sont les arbres de l'Arctique. En effet, au nord du 66° parallèle, les arbres sont absents. Si on se déplace encore plus au nord, on trouve la toundra, une zone végétale constituée principalement de lichens, de mousses, de graminées et de quelques arbustes. Le réchauffement climatique favorise la croissance et l'expansion des arbustes dans la toundra. Depuis quelques décennies, des études sur le terrain ainsi que des analyses d'images satellitaires ont permis de documenter le verdissement de la toundra arctique. L'absorption de plus grandes quantités de CO₂ par les arbustes a le potentiel de réduire l'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et donc de réduire le réchauffement climatique. Cependant, les tiges foncées

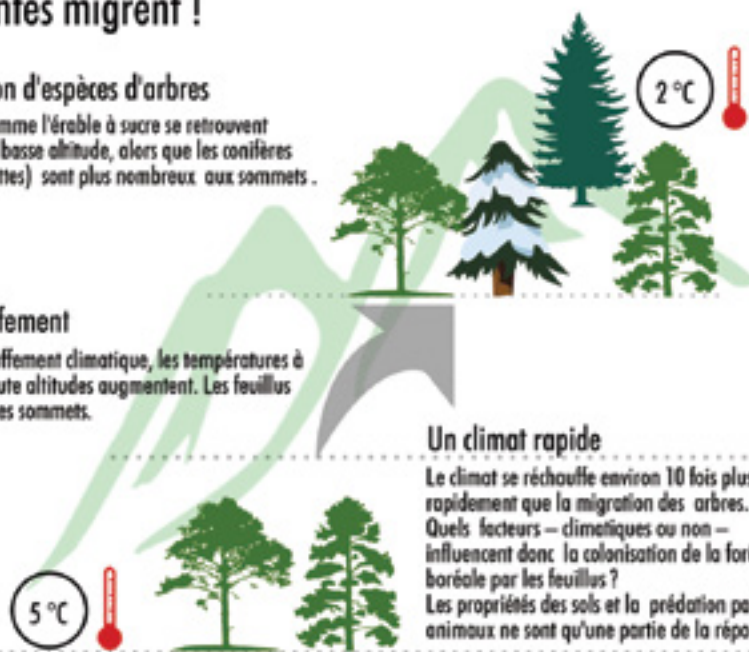
Les plantes migrent !

Composition d'espèces d'arbres

Les feuillus comme l'érable à sucre se retrouvent davantage à basse altitude, alors que les conifères (sapins, épinettes) sont plus nombreux aux sommets.

Le réchauffement

Avec le réchauffement climatique, les températures à basse et à haute altitudes augmentent. Les feuillus migrent vers les sommets.



Un climat rapide

Le climat se réchauffe environ 10 fois plus rapidement que la migration des arbres. Quels facteurs — climatiques ou non — influencent donc la colonisation de la forêt boréale par les feuillus ? Les propriétés des sols et la prédation par les animaux ne sont qu'une partie de la réponse.

Figure 3. Migrations des arbres au Mont-Mégantic en réponse au réchauffement climatique. Les espèces de feuillus dominent le paysage à basse altitude, tandis que les conifères (sapins, épinettes) sont plus nombreux au sommet, car la température y est plus basse. Avec le réchauffement, la composition des espèces d'arbres s'est modifiée. Les espèces de feuillus remplacent peu à peu les espèces de conifères des sommets. D'autres facteurs sont toutefois importants dans la migration des espèces d'arbres, comme le pH du sol et sa composition en microorganismes et la prédation sur les graines. La figure a été réalisée par L.-A. Renaud.

des arbustes dépassent la neige et diminuent le reflet de la radiation solaire (albédo). De plus, les arbustes transpirent plus d'eau, ce qui, en retour, augmente l'effet de serre. En combinaison, ces changements ont tendance à amplifier le réchauffement de la terre. Ainsi, le réchauffement cause des changements dans la végétation, lesquels, en retour, vont influencer le réchauffement. On connaît encore peu de choses sur ce type de rétroaction. De nombreuses incertitudes demeurent dans les prédictions des modèles climatiques, car plusieurs de ces phénomènes sont complexes, mais dans l'état des connaissances actuelles, les chercheurs spécialistes de l'Arctique s'attendent à ce que la rétroaction nette soit positive : le verdissement de la toundra, causé par le réchauffement du climat, devrait accélérer la hausse des températures.

Regard vers le futur : que pouvons-nous faire ?

Les écosystèmes terrestres répondent déjà au réchauffement climatique. Les flux d'énergie et d'éléments nutritifs ont été modifiés et entraînent dans des boucles de rétroaction d'autres effets sur le réchauffement climatique. Des questions préoccupent toutefois les scientifiques plus que jamais : comment les choses se dérouleront-elles à l'avenir ? Que pouvons-nous faire ?

Des actions concrètes au quotidien peuvent bien sûr atténuer l'effet des humains sur le réchauffement climatique. Mais devrait-on encourager les scientifiques

à intervenir dans cette dynamique complexe ? Par exemple, pourrait-on faciliter les migrations et la dispersion des gènes ? Les disciplines de la foresterie, de la restauration écologique et de l'agriculture devraient-elles ajuster leur pratique pour cibler, dans leurs interventions, les espèces les mieux adaptées au réchauffement climatique ? Toutes ces questions sont importantes. Certaines sont même très controversées au sein de la communauté scientifique. Beaucoup d'efforts sont déployés afin de trouver des réponses et des solutions concrètes aux problèmes qui surgissent. Le Frère Marie-Victorin ne se doutait sûrement pas de toutes les implications que ses notes et sa grande curiosité pour les phénomènes naturels autour de lui auraient une centaine d'années plus tard. Cela illustre bien la valeur, souvent sous-estimée, des données à long terme pour notre compréhension des phénomènes naturels et de leurs effets sur les espèces. Bien qu'on commence à accumuler des connaissances sur l'effet du réchauffement sur les écosystèmes, celles-ci ne sont que la pointe de l'iceberg.

Lavoie, C., et Lachance, D. (2006). A new herbarium-based method for reconstructing the phenology of plant species across large areas. *American Journal of Botany*, 93(4), 512–516. <https://doi.org/10.3732/ajb.93.4.512>

Renaud, L.-A., Pigeon, G., Festa-Bianchet, M. et Pelletier, F. (2019). Phenotypic plasticity in bighorn sheep reproductive phenology: from individual to population. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 73(4), 50. <https://doi.org/10.1007/s00265-019-2656-1>



Sciences et technologies

OÙ TROUVER DU SIROP D'ÉRABLE EN 2100 ?

Gabriel Bergeron

Étudiant à la maîtrise
Université de Sherbrooke

Dominique Gravel

Professeur au Département de biologie
Université de Sherbrooke

L'identité culturelle d'une société se développe, entre autres, par son attachement au territoire, à sa biodiversité, à ses écosystèmes et aux richesses qu'ils lui procurent. Et parmi les éléments du terroir québécois se trouvent indéniablement en tête de liste le sirop d'érable et les activités traditionnelles associées à la cabane à sucre. La fonte des neiges, le soleil et le sucre s'allient pour célébrer l'arrivée du printemps, notre façon bien originale d'assumer des hivers rigoureux et notre nordicité. Or cette relation avec le territoire et ses écosystèmes forestiers est susceptible de s'effriter avec un déplacement des conditions propices à la production acéricole vers le nord. L'un des plus forts emblèmes culturels du Québec pourrait-il être ébranlé par les changements climatiques?

L'industrie de l'érable dépend fondamentalement du climat; il serait illusoire de croire qu'elle demeurera inchangée à la suite d'un réchauffement. Bien que l'aire de répartition de l'érable à sucre (*Acer saccharum*, Marsh) couvre une large portion de l'Est de l'Amérique du Nord, les périodes d'alternance entre gels et dégels qui permettent l'exploitation de la sève ne sont rencontrées que dans la portion nordique de sa répartition. Une arrivée de plus en plus hâtive du printemps causée par un réchauffement des températures pourrait déplacer la période de production et, ultimement, menacer la production dans certains secteurs.

Ainsi, la véritable question n'est donc pas de savoir *si* l'acériculture sera affectée par les changements climatiques, mais plutôt de savoir *comment* ils affecteront celle-ci. Répondre à cette dernière question n'est pas aussi simple que de répondre à la première. En effet, il y a beaucoup d'incertitude dans ce que pourrait devenir le nouveau visage de l'industrie acéricole. L'écologie théorique, de concert avec nos connaissances de la biologie de l'érable à sucre, nous permettent de proposer quelques scénarios possibles et d'en anticiper les impacts potentiels sur l'industrie acéricole québécoise.

La coulée, la météo et le climat

L'industrie acéricole au Québec est majoritairement constituée de petits et moyens producteurs, dont l'entreprise est souvent familiale et transmise depuis plusieurs générations. Les producteurs savent très bien que la coulée de l'eau d'érable repose largement sur des conditions météo précises, soit lorsqu'il y a une alternance entre le gel et le dégel. La contraction de bulles de gaz dans les tissus vasculaires du tronc et des branches, la formation de cristaux de glace ainsi que l'accumulation de sucre augmentent la pression hydrostatique et osmotique. S'ensuit alors un mouvement de la sève vers la cime en période de gel. Par la suite, les cellules du tronc et des branches dégèlent avec l'accumulation de chaleur dans les tissus ; l'eau d'érable, forcée par la gravité, est alors poussée dans les vaisseaux et coule vers le bas (O'Malley et Milburn 1983; Tyree, 1983). Le début des cycles de gel-dégel printanier ouvre ainsi la saison des sucres, laquelle persiste tant que la température chute encore au-dessous de zéro ou jusqu'à ce qu'ouvrent les bourgeons. C'est parce que les conditions météo qui définissent ce qu'on appelle la fenêtre de production sont intimement liées au climat que l'industrie acéricole est si sensible aux températures. Toutefois, pour comprendre l'impact qu'auront les changements climatiques sur la fenêtre de production, il faut aborder le problème selon deux aspects fondamentaux de la saison des sucres : le temps et l'espace.

Une saison des sucres devancée

L'e démarrage de la saison des sucres est souvent le premier signe de l'arrivée du printemps. Les conditions propices au phénomène de la coulée reposent sur la météo, alors que la variation à large échelle dans le climat détermine où et quand ces conditions sont remplies. Bien que les conditions météo favorables à la coulée se remplissent bien au-delà de la répartition des érables, le début de la saison des sucres n'a pas lieu au même moment à travers les différentes régions productrices de sirop (Duchesne et Houle, 2014). De manière générale, à des latitudes plus au sud, la fenêtre de production débute tôt, parfois aussi tôt que la mi-janvier. Aux latitudes plus nordiques, la saison peut s'ouvrir aussi tard qu'à la fin mars.

Les changements climatiques causent déjà une arrivée plus hâtive du printemps et l'ouverture de la fenêtre de production n'est pas épargnée. Dans les dernières décennies, les différentes associations de producteurs de sirop d'érable ont déjà noté une tendance vers un entaillage des érables plus tôt en saison. Cet effet se fait particulièrement ressentir en Nouvelle-Angleterre puisque les hivers y sont plus doux. Une étude réalisée par Skinner, DeGaetano et Chabot (2010) indique d'ailleurs qu'avec un réchauffement modéré des températures, la fenêtre de production devrait être devancée de 30 jours d'ici 2100 afin de suivre les conditions printanières propices à la coulée de l'eau d'érable. Pour les régions plus au nord comme la Gaspésie, où le printemps est tardif et l'hiver long, cela signifie seulement que la saison des sucres arrivera beaucoup plus tôt qu'à l'habitude et que la durée sera la même.

Comme la coulée de la sève est un phénomène presque entièrement physique, tout porte à croire que les érables devraient s'adapter à cette coulée plus hâtive. En revanche, pour les régions plus au sud et tempérées, là où les printemps sont plus hâtifs et les hivers plus courts, cela pourrait devancer la fenêtre de production et possiblement la comprimer. Or, si les changements climatiques érodent les conditions hivernales au point où l'automne rejoint presque le printemps et que les nuits de gel se font rares, il serait alors possible que l'on doive tirer un trait sur la production de sirop d'érable dans certaines régions situées plus au sud. À l'inverse, la présence de la forêt boréale au nord de l'aire de répartition de l'érable ne permettra pas de profiter du déplacement des conditions favorables à la coulée.

Du sirop au Nunavik?

Si la fenêtre de production se déplace vers le nord avec le réchauffement climatique, est-ce à dire que l'on pourrait voir une production acéricole jusqu'au Nunavik? Évidemment, la bonne question est de savoir jusqu'où on trouvera des érables en 2100. Le concept de la niche climatique est fort utile pour aborder ce problème et évaluer le potentiel de répartition de l'érable. Cette théorie propose qu'avec suffisamment de temps, une espèce occupera l'ensemble de l'espace où l'on retrouve les conditions climatiques propices à sa survie, à sa croissance et à sa reproduction.

La reproduction, la croissance et la survie de l'érable seraient limitées par des facteurs climatiques. Par exemple, les bourgeons floraux qui produiront les samares ont besoin d'une période sans épisode de gel pour se former et se développer. Alternativement, les semences ont besoin de froid pour la stratification

nécessaire à l'atteinte de la maturité. Les épisodes de froids extrêmes en hiver peuvent quant à eux détruire les bourgeons des feuilles. On comprend que la distribution de l'érable est donc limitée tant au Nord qu'au Sud par les conditions climatiques. Ces bornes délimitent à la fois les espaces géographiques et climatiques à l'intérieur desquels on retrouve l'érable aujourd'hui, un espace que l'on nomme niche climatique.

Or, dans un contexte de changement climatique, les températures qui limitent la croissance et la reproduction de l'érable à sucre ne se retrouveront plus aux mêmes endroits, et la niche se déplacera vers le nord. Il est anticipé que le climat favorable pour l'érable puisse monter bien au-delà de la forêt boréale actuelle. C'est la projection dans l'espace qui permet de réaliser l'ampleur de ce que constitue un réchauffement de 4 °C d'ici 2100 pour une espèce comme l'érable à sucre : la niche climatique, qui trouve actuellement sa limite nord en Mauricie, en Gaspésie et au Témiscamingue, pourrait se retrouver jusqu'au nord d'Eeyou Istchee Baie-James et dans la région d'Ungava (McKenny, Pedlar, Lawrence, Campbell et Hutchinson, 2007). Il va de soi que l'érable ne parviendra pas à atteindre ces régions d'ici une centaine d'années en raison de contraintes de dispersion, d'une reproduction très lente et des conditions de sol défavorables, sans compter que le temps serait insuffisant pour le développement des arbres. Il n'en demeure pas moins que les conditions climatiques permettront la survie et le plein développement d'arbres plantés en ces endroits.

Une migration vers le nord de l'érable à sucre pourrait être favorable pour l'industrie acéricole québécoise. La possibilité de voir des régions aujourd'hui non productrices de sirop d'érable être colonisées par l'érable à sucre pourrait représenter une aubaine pour une industrie qui verra ses compétiteurs situés au sud de la frontière désavantages. Cela, bien entendu, à la seule condition que l'érable soit bel et bien capable de suivre le déplacement de sa niche climatique. Selon de récentes études, la migration de l'érable à sucre se dirige vers un obstacle majeur (Brown et Vellend, 2014; Solarik et al., 2018) : la forêt boréale elle-même. Même si le climat devient favorable à l'érable à sucre jusque dans le nord québécois, les essences résineuses déjà établies s'avèrent être des compétiteurs coriaces pour les semis de l'érable. La colonisation nordique de l'érable serait donc beaucoup plus lente que l'avancée de sa niche climatique et il en résulterait un important décalage entre les deux. Ainsi (climatiquement parlant), l'érable aurait la possibilité de se déplacer vers le nord pour ouvrir de nouveaux territoires à la production de sirop d'érable, mais la capacité réelle de migration est largement inférieure à son potentiel (Talluto, Boulangeat, Vissault, Thuiller et Gravel, 2018).

Emplacement stratégique de la production acéricole du Québec

Il importe de considérer le problème dans son ensemble en intégrant l'effet du climat sur la coulée et sur la répartition. Les amateurs de science-fiction le savent très bien : l'espace et le temps sont toujours connectés, et la situation du sirop d'érable ne fait pas exception. Les changements climatiques devanceront la fenêtre de production, la déplaceront vers le nord, tout comme les populations de l'érable. Pour imaginer le futur de l'industrie acéricole tout en restant crédibles, il faut absolument considérer la jonction entre ces phénomènes.

C'est la vitesse d'un phénomène par rapport à l'autre qui doit être documentée. Il va de soi que la production acéricole requiert des conditions météo favorables et des érables. L'absence de l'une ou de l'autre de ces conditions rend impossible la production. Ainsi, nous distinguons trois scénarios : un déplacement, une contraction ou une expansion de la zone propice à l'acériculture.

Dans un premier scénario, on pourrait observer un déplacement de la zone de production de sirop d'érable si le mouvement de la fenêtre de production et la migration de l'érable se font à des vitesses similaires. Dans ce cas de figure, certaines régions au sud seront perdantes alors que d'autres au nord seront gagnantes, mais il n'y aura pas de perte globale dans la superficie propice à l'acériculture. Les dates de première coulée seront bien sûr devancées, situation à laquelle chaque acériculteur devra s'adapter. La création de nouvelles érablières au même rythme que les fermetures devrait néanmoins permettre à l'industrie de rester à flot sans grande difficulté. La dispersion de l'érable étant fort limitée relativement à la vitesse de déplacement de sa niche, ce scénario requerrait la plantation d'arbres et un changement des pratiques de foresterie pour que la production demeure intouchée.

En revanche, comme mentionné précédemment, l'avancée de la fenêtre de production pourrait être plus rapide que la colonisation de l'érable à sucre puisque la forêt boréale lui fera obstacle. Dans ce second scénario, les pertes de production au sud ne seraient pas compensées par des gains au nord. C'est dans cette situation que l'on devrait craindre pour l'avenir de l'industrie du sirop d'érable puisque l'on assisterait à une contraction de la zone propice à la récolte. Or ce sont les États-Unis qui y seraient les plus vulnérables et le Québec pourrait être en quelque sorte avantagé stratégiquement par ce scénario en raison de la

concentration de la zone de production sur son territoire. Finalement, si la migration de l'érable à sucre est plus rapide que le mouvement de la fenêtre de production, on observerait alors une expansion de la zone de production. Cette situation est très peu probable puisque les plus récentes recherches indiquent que la colonisation de la forêt boréale par l'érable sera très lente. Cependant, cela pourrait se produire dans un contexte où des plantations massives d'érables étaient mises en place pour accélérer sa migration. Il s'agit aussi du seul scénario où l'on pourrait réellement observer des gains dans la couverture de la zone propice à l'acériculture. La différence entre ces trois scénarios démontre l'importance de considérer à la fois le mouvement de la fenêtre de production et le changement dans la distribution de l'érable.

Il est encore impossible aujourd'hui de dire avec certitude lequel de ces scénarios est le plus probable. Des études intégrant l'incertitude des prévisions climatiques et de la migration de l'érable à sucre sont nécessaires afin de répondre à cette question et ainsi offrir aux acériculteurs des outils pour faire face aux changements qui menacent leur industrie. D'ici là, pas de quoi s'affoler; il ne devrait pas y avoir de pénurie de sirop. Seulement, notre attachement au territoire pourrait se voir complètement changé et nous devrions revoir la notion de terroir. La culture étant intimement liée à la biodiversité et aux écosystèmes, qu'en adviendra-t-il avec leur déplacement vers le nord ?

Brown, C. D. et Vellend, M. (2014). Non-climatic constraints on upper elevational plant range expansion under climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281, <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1779>

Duchesne, L. et Houle, D. (2014). Interannual and spatial variability of maple syrup yield as related to climatic factors. *PeerJ* 2, e428.

McKenny, D., Pedlar, J. H., Lawrence, C., Campbell, K. et Hutchinson, M.F. (2007). Beyond Traditional Hardiness Zones: Using Climate Envelopes to Map Plant Range Limits. *BioScience*, 11, 929-937.

O'Malley, P. E. R. et Milburn, J. A. (1983). Freeze-induced fluctuations in xylem sap pressure in *Acer pseudoplatanus*. *Canadian Journal of Botany*, 61, 3100-3106.

Skinner, C. B., DeGaetano, A. T. et Chabot, B. F. (2010). Implications of twenty-first century climate change on Northeastern United States maple syrup production: impacts and adaptations. *Climatic Change*, 100, 685-702.

Solarik, K.A., Messier, C., Ouimet, R., Bergeron, Y. et Gravel, D. (2018). Local adaptation of trees at the range margins impacts range shifts in the face of climate change. *Global Ecol Biogeogr*, 27, 1507-1519.

Talluto, M.W., Boulangeat, I., Vissault, S., Thuiller, W. et Gravel, D. (2017). Extinction debt and colonization credit delay range shifts of eastern North American Trees. *Nature Ecology and Evolution*, 1, 0182.

Tyree, M. T. (1983). Maple Sap Uptake, Exudation, and Pressure Changes Correlated with Freezing Exotherms and Thawing Endotherms. *Plant physiology*, 73, 277-285.



LE QUÉBEC RÉCEMMENT FRAPPÉ PAR LES CRUES EXTRÊMES: UNE MANIFESTATION DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES?

Robert Leconte

Professeur au Département de génie civil et génie du bâtiment
Université de Sherbrooke

Introduction

Les printemps 2017 et 2019 auront frappé l'imaginaire collectif en raison de l'ampleur des crues ayant touché de nombreuses rivières du Québec et des dommages qui leur sont associés. En 2019, près de 6700 résidences localisées dans 51 municipalités et distribuées dans presque toutes les principales régions du Québec ont été inondées, sans compter les nombreuses autres résidences qui se sont retrouvées isolées en raison de routes submergées et de glissements de terrain. Le bilan en 2017 était similaire, avec 5371 maisons inondées dans 261 municipalités et 4066 personnes évacuées. Les débits dans plusieurs rivières ont excédé les valeurs mesurées depuis que les stations de jaugeage ont été installées. À titre d'exemple, en 2019, le débit journalier dans la rivière Rouge à la hauteur du Barrage de la Chute-Bell, où Hydro-Québec a craint pour la stabilité de l'ouvrage, a atteint $975 \text{ m}^3/\text{s}$, la plus forte valeur jamais enregistrée depuis 1964. Une analyse statistique révèle qu'un tel débit a une chance d'être dépassé en moyenne une fois tous les 175 ans (voir encadré : Période de retour et probabilité de dépassement). Il s'agit d'un événement exceptionnel. Pourtant, un autre événement extrême se produisait au même endroit en 1998, cette fois-ci avec un débit maximal journalier de $914 \text{ m}^3/\text{s}$. Deux crues printanières majeures en 20 ans : est-ce la conséquence des changements climatiques?



La genèse des événements hydrologiques extrêmes

Pour tenter de répondre à cette question, il faut comprendre les mécanismes responsables d'événements hydrologiques extrêmes. On parle ici d'événements dont la période de retour est faible, soit de l'ordre de 20 ans et plus. Les facteurs responsables des grandes crues printanières diffèrent de ceux causant les crues éclair estivales.

Dans le cas des crues printanières, une combinaison d'ingrédients en influence l'ampleur. Par exemple, la présence d'un imposant manteau neigeux, combinée à de fortes averses de pluie et à des températures au-delà de la normale qui entraînent une accélération de la fonte, peut générer en peu de temps de grands volumes d'eau de ruissellement. Cette eau va rapidement emprunter le réseau hydrographique, lequel ne pourra la faire transiter vers l'exutoire du bassin sans causer des débordements. C'est ce qui explique les crues exceptionnelles de 2017 et 2019. L'hiver 2018-2019 a été particulièrement froid et enneigé, avec des accumulations importantes de pluie en avril. Le printemps 2017 n'a pas été en reste : il est tombé en pluie plus du double de la normale en avril dans plusieurs régions de la province, cela combiné à la présence d'une grande quantité de neige au sol, notamment en Mauricie et en Outaouais. Par ailleurs, un imposant couvert de neige au printemps ne signifie pas nécessairement un hiver enneigé. Ainsi, dans la vallée du Saint-Laurent, une tempête de neige avait laissé jusqu'à 70 cm de neige le 14 mars 2017, alors que les accumulations de neige avaient jusqu'à ce moment été modestes. Enfin, d'autres facteurs viennent influencer l'ampleur de la crue, dont la sévérité du gel au sol, qui réduit l'infiltration de l'eau de ruissellement et la présence d'un imposant couvert de glace de rivière, propice à la formation d'embâcles lors de la fonte printanière ou durant des redoux hivernaux. L'inondation record de la rivière Rouge au Manitoba en 1997 et celle de la rivière Chaudière en Beauce en 2019 ont été influencées par ces processus.

Les processus en jeu dans le cas de crues estivales sont comparativement moins complexes et sont essentiellement le résultat d'une averse d'une grande intensité sur un bassin versant dont le sol est déjà fortement humide. La capacité d'infiltration du sol en est réduite, augmentant les quantités d'eau ruisselée durant l'averse. C'est ce qui s'est passé lors du déluge de Saguenay du 19-21 juillet 1996 : entre 15 et 40 mm de pluie étaient tombés dans les 4 jours ayant précédé

la tempête, laquelle avait laissé jusqu'à 245 mm de précipitations dans le bassin versant de la rivière Kénogami.

En plus des facteurs hydrométéorologiques, d'autres éléments, dont la transformation graduelle du territoire, peuvent influencer le régime hydrologique des bassins versants. Par exemple, l'urbanisation entraîne une augmentation des surfaces imperméables. Cette augmentation a deux effets hydrologiques distincts : 1- une augmentation du volume de ruissellement causée par la réduction de la capacité d'infiltration du sol et son accélération en raison des surfaces imperméables qui sont plus lisses que les surfaces naturelles; 2- une réduction de la recharge de la nappe phréatique vu la réduction des quantités d'eau infiltrées, entraînant une réduction des débits en période d'étiage. Zhang, Villarini, Vecchi et Smith (2018) ont par exemple prouvé que l'urbanisation avait exacerbé les effets de la quantité de précipitation tombée à Houston au passage de l'ouragan Harvey en 2017. La disparition des milieux humides au détriment des superficies agricoles et/ou urbaines est un autre exemple de pression anthropique sur le régime hydrologique de bassins versants, dont la capacité à retenir temporairement l'eau en période de crues se trouve réduite (Gunnell, Mulligan, Francis et Hole, 2019).

On en retient donc qu'un événement hydrologique extrême est le résultat de conditions hydrométéorologiques « gagnantes » (p. ex. : épais manteau neigeux, précipitations liquides importantes, températures élevées, sol gelé, sol saturé, etc.), souvent combinées à des modifications de l'utilisation du territoire qui viennent exacerber l'événement hydrologique.

Enfin, il faut reconnaître que des événements hydrologiques extrêmes sont soumis à la variabilité (ou aléa) climatique, qu'il y ait ou non des changements climatiques. À titre d'exemple, Saint-Laurent et Hähni (2008) ont effectué une recension historique des inondations pour les villes riveraines de l'Estrie. Les auteurs notent que l'Estrie a été marquée par deux périodes durant lesquelles le nombre d'inondations a augmenté, soit entre 1924 et 1940 et entre 1970 et 1998, alors que la période entre 1950 et 1960 a été marquée par une diminution du nombre d'inondations coïncidant avec une baisse de la pluviométrie durant ces années. La question que l'on doit se poser est la suivante : la fréquence et la sévérité des événements hydrologiques extrêmes sont-elles appelées à augmenter en raison des changements climatiques? D'une manière plus générale, que connaît-on des impacts des changements climatiques sur le comportement hydrologique de nos rivières?

Prévoir les régimes hydrologiques futurs

La Direction de l'expertise hydrique du Québec (DEH, anciennement le Centre d'expertise hydrique du Québec) a produit l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional (DEH, 2018), qui décrit l'impact anticipé des changements climatiques sur les crues, les étiages et l'hydraulicité (les débits moyens), aux horizons 2050 et 2080 (périodes futures allant respectivement de 2041 à 2070 et de 2071 à 2100), de bassins versants au Sud du 53^e parallèle pour deux scénarios de trajectoire de forçage radiatif. Ces scénarios représentent des trajectoires possibles, jusqu'en 2100, de la concentration de tous les gaz en équivalent- CO_2 qui contribuent au réchauffement de la Terre, appelées « Representative concentration pathways » (RCP) (Van Vuuren et al., 2011). L'Atlas hydroclimatique utilise les RCP 4.5 et 8.5, qui correspondent à des scénarios respectivement optimiste et pessimiste d'émissions de gaz à effet de serre (GES), le nombre représentant la différence entre le rayonnement solaire reçu et le rayonnement infrarouge réémis par la Terre, exprimée en Watts par m^2 de surface. Pour une Terre qui ne subit ni réchauffement ni refroidissement de son climat, le forçage radiatif serait nul.

Le Tableau 1, compilé à partir de l'Atlas hydroclimatique (2018), présente le changement anticipé aux horizons 2050 et 2080 pour le débit journalier maximal annuel de récurrence de 20 ans au printemps de rivières sélectionnées situées au Sud (sous-région Sud) et au Nord du fleuve Saint-Laurent (sous-région centrale). Comme on peut le constater, plusieurs rivières verront leur débit maximal annuel diminuer dans un climat futur lors de la crue printanière, alors que d'autres rivières, situées plus au Nord et à l'Est de la province, verront leur débit journalier annuel augmenter dans le futur. (Tableau 1)

De telles différences sont le résultat d'effets hydroclimatiques antagonistes sur la génération de la fonte printanière. Dans la sous-région centrale du Québec, les projections climatiques montrent aux horizons 2050 et 2080 une augmentation de la température hivernale et printanière plus importante que dans la sous-région Sud, alors que des augmentations similaires en précipitations sont à prévoir pour les deux régions, selon les données du Tableau 2. En effet, étant donné que la température hivernale est plus élevée au Sud qu'au Nord, l'augmentation de la température dans un climat futur entraînera une hausse de la précipitation liquide comparativement plus importante dans la sous-région Sud et, par conséquent, une réduction anticipée de la couverture nivale, d'où la diminution de l'ampleur de la fonte printanière anticipée à l'horizon 2050 dans cette

	Rivière (Ouest en Est)	Horizon 2050		Horizon 2080	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Nord du Fleuve Saint-Laurent (sous- région centrale)	Rouge	-6,2	-5,3	-6,8	-17,1
	Batiscan	-3,0	0,4	-4,0	-8,1
	Aux Outardes	5,9	8,9	6,9	11,9
	Romaine	4,0	4,4	5,7	5,2
Sud du Fleuve Saint- Laurent (sous-région Sud)	Châteauguay	-7,5	-9,3	-7,3	-14,6
	St-François	-7,9	-9,8	-8,9	-14,9
	Chaudière	-4,3	-4,8	-5,7	-10,4
	St-Jean	-4,1	-3,7	-3,7	-6,8

Tableau 1. Changement anticipé en % pour le débit journalier maximal annuel de récurrence de 20 ans au printemps de rivières sélectionnées situées au Sud (sous-région Sud) et au Nord (sous-région centrale) du fleuve Saint-Laurent (données tirées de l'Atlas hydroclimatique du Québec Méridional 2018).

		Changement d'ici 2050		Changement d'ici 2080	
		Sous-région centrale	Sous-région Sud	Sous-région centrale	Sous-région Sud
Hiver	T	+3 à +5,5°C	+2 à +5°C	+4,5 à +9,5°C	+4,5 à +8°C
	P	+4 à +32%	0 à +32 %	+6 à +47%	+1 à +43%
Printemps	T	+1,5 à +4,5°C	+2 à +5°C	+2,5 à +8,5°C	+2,5 à +8°C
	P	+6 à +25%	+2 à +25%	+8 à +45%	+4 à +39%

Tableau 2. Changement anticipé de température moyenne et de précipitation totale au Québec en hiver et au printemps aux horizons 2050 et 2080 (adapté de Bourque et Simonet, 2008)

sous-région par rapport à la sous-région centrale. Comment expliquer alors les récentes crues qui ont affligé le Sud du Québec depuis les dernières années? On note que les données présentées au Tableau 1 sont des tendances, qui occultent la variabilité naturelle du climat. Aussi, l'incertitude rattachée à de telles projections doit être prise en compte, incertitude dont on peut mieux comprendre la provenance lorsqu'on connaît la façon dont sont calculés les débits des rivières dans un contexte de changements climatiques.

La modélisation en appui à la projection des impacts

La projection du régime hydrologique des bassins versants en condition de climat futur repose sur la modélisation climatique et la modélisation hydrologique. Aujourd'hui, l'état des connaissances scientifiques et leur fédération à travers les travaux du Groupe d'experts

intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la complexité et le réalisme physique des modèles, de même que les capacités sans cesse grandissantes des machines de calcul, permettent de produire des simulations hydrologiques sur une période temporelle s'étendant jusqu'à l'année 2100. La Figure 1 ci-dessous présente la démarche générale employée pour caractériser le régime hydrologique des bassins versants en climat futur. Cette démarche implique le recours à des modèles de climat et hydrologiques en cascade, où les sorties d'un modèle servent d'intrants au modèle suivant.

L'établissement de projections hydrologiques implique la génération de chroniques de température et de précipitation, habituellement à une échelle de temps journalière. À la base de ces chroniques se trouve le modèle de circulation générale (MCG). Un MCG est un modèle climatique qui solutionne les équations de Navier-Stokes discrétisées décrivant le mouvement de fluides dits Newtoniens, dont font partie les gaz, comme l'atmosphère, et les liquides, comme l'eau. La solution de ces équations permet d'obtenir, dans

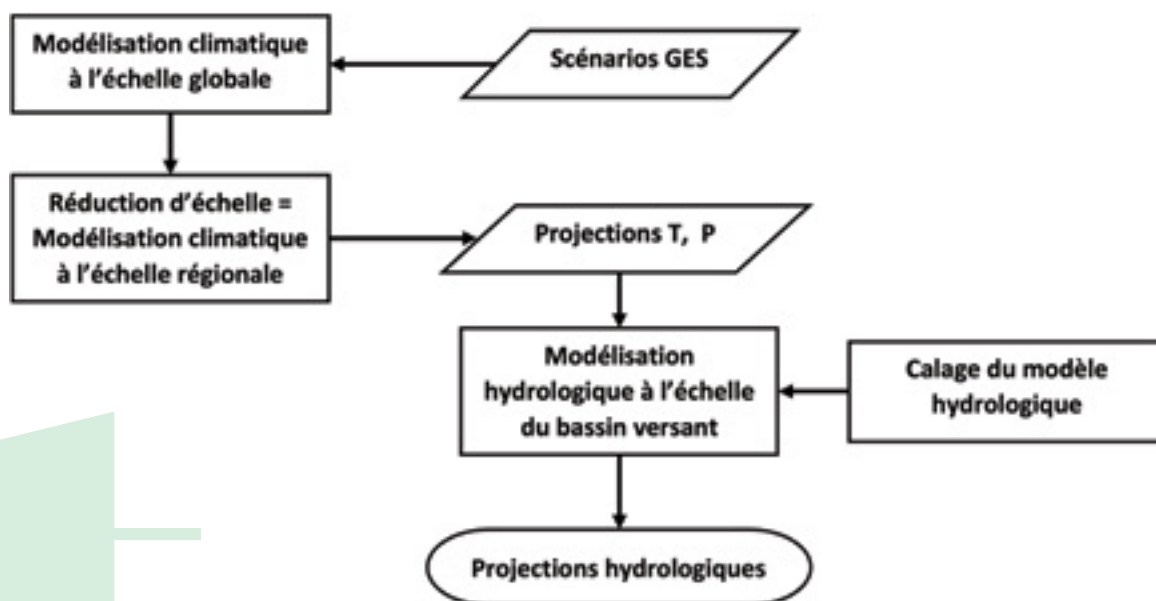


Figure 1. Démarche de modélisation

l'atmosphère et dans les océans, la vitesse, la pression et la température du fluide (air et eau). À ces équations, s'ajoutent des « paramétrisations » pour la prise en compte de phénomènes à des échelles fines, comme la précipitation, l'humidité du sol, l'accumulation et la fonte de neige, ainsi que des équations décrivant l'effet de serre (Flato, 2011). On peut donc simuler l'évolution du climat soumis à des augmentations de concentrations en (GES).

La résolution horizontale de ces modèles est toutefois faible, soit de l'ordre de 300 km, pour permettre la couverture complète de la Terre. Une réduction d'échelle spatiale est requise pour les études régionales, comme l'étude de bassins versants. Cette « mise à l'échelle » peut se faire par l'imbrication de modèles régionaux de climat (MRC) qui sont « pilotés » par les MCG et dont la résolution spatiale est typiquement de l'ordre de 40 à 50 km et pouvant aller jusqu'à 10 à 15 km. C'est le cas notamment du modèle régional canadien du climat (MRCC) du Centre pour l'étude et la simulation du climat à l'échelle régionale (ESCER) de l'UQAM (Caya et Laprise, 1999). La Figure 2 montre un exemple de l'évolution de la température moyenne annuelle et de la précipitation totale annuelle sur une région d'environ 25 km par 25 km englobant le territoire de la Ville de Sherbrooke,

produit par des simulations du MRCC à haute résolution de 12 km piloté par le modèle du système terrestre canadien CanESM2 à 310 km de résolution avec le scénario RCP 8.5. On peut y voir que suivant cette simulation, il y aura une augmentation graduelle de la température et de la précipitation dans un climat futur.

La dernière étape de la chaîne de calculs est de faire tourner un modèle hydrologique en utilisant comme intrants des chroniques de température et de précipitations provenant des projections climatiques. Un tel modèle est un assemblage d'équations décrivant les cheminements de l'eau en surface (ruissellement), dans le sol (infiltration, écoulement souterrain) et dans le réseau hydrographique (rivières, lacs) dans un bassin versant (Singh et Woolhiser, 2002). Le modèle hydrologique doit être préalablement ajusté, opération appelée « calage », pour que les débits simulés correspondent le mieux possible à ceux mesurés au cours d'une période historique d'observations. Le résultat final de la chaîne de calculs est une chronique de débits simulés à l'exutoire du bassin versant, appelée projection hydrologique, reflétant l'impact des changements climatiques sur le régime hydrologique du bassin.

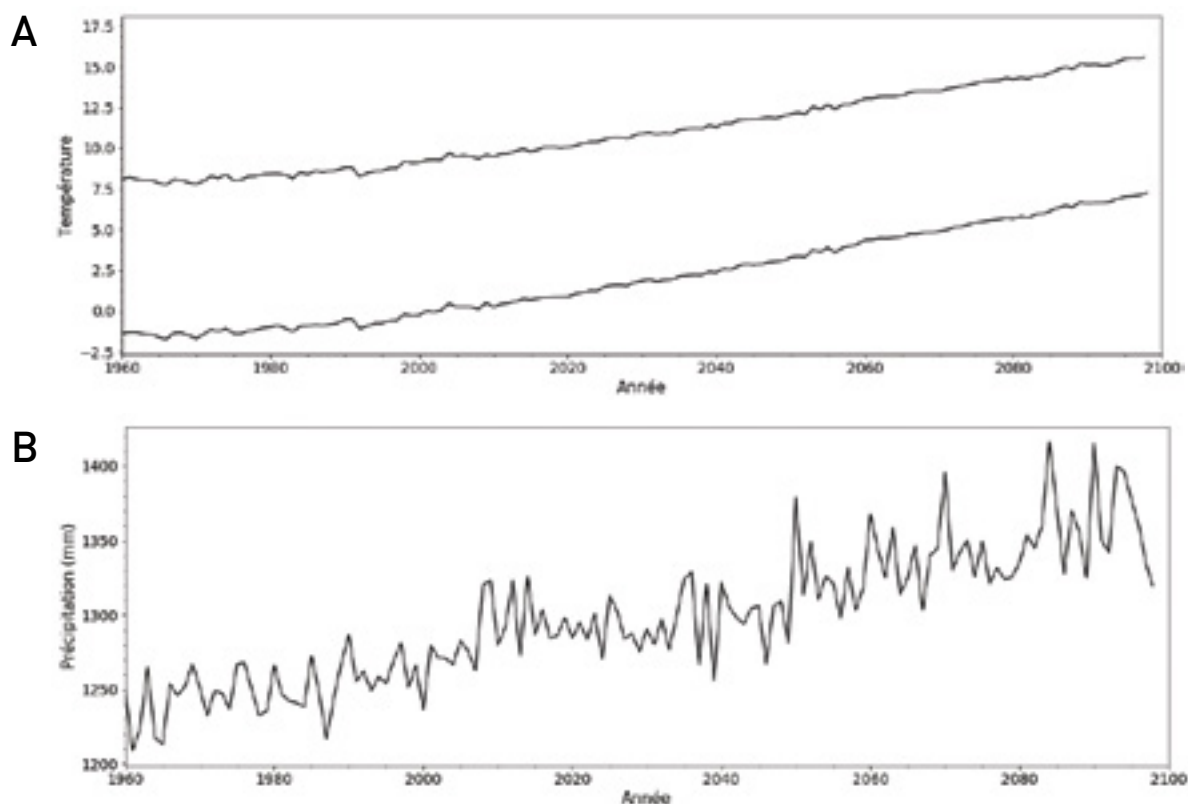


Figure 2. Évolution anticipée de la température annuelle moyenne et de la précipitation totale annuelle de 1960 à 2100 dans la région de Sherbrooke, au Québec, selon le scénario RCP 8.5. a) Température minimale (courbe inférieure) et maximale (courbe supérieure), °C; b) précipitation, mm.

Enfin, toute projection hydrologique comporte des incertitudes. Une analyse exhaustive de ces incertitudes a montré que la précision des débits futurs durant la période de crue printanière dépendra, dans l'ordre, des facteurs suivants : les imprécisions des modèles climatiques, la variabilité naturelle du climat, les imprécisions du modèle hydrologique et le scénario d'émission de GES (Chen, Brissette, Poulin et Leconte, 2011). On doit donc être prudent dans l'interprétation de projections hydrologiques qui n'incluent pas une analyse d'incertitude. *L'Atlas hydroclimatique du Québec* a pris soin d'incorporer une telle analyse dans la présentation de ses résultats.

En conclusion : les crues récentes au Québec sont-elles le résultat des changements climatiques?

Une réponse sans équivoque est difficile à fournir. Selon Burns et Whitfield (2016), des changements ont eu lieu dans les régimes de crue au Canada entre 1961 et 2010, et d'autres changements sont à prévoir dans le futur en réponse aux changements climatiques. La nature et l'ampleur de ces changements dépendent des mécanismes responsables de la genèse des crues. Ces auteurs ont par ailleurs noté une décroissance généralisée de la magnitude de la crue annuelle dans les bassins versants dominés par la fonte nivale, alors qu'une augmentation est notée dans des bassins où on retrouve un régime mixte de crues, générées soit par la fonte printanière, les orages estivaux et les averses automnales, ou encore par la pluie printanière sur un bassin enneigé. Par ailleurs, les projections hydrologiques produites par la DEH montrent qu'en général l'amplitude de la crue printanière dans le Québec méridional est appelée à diminuer dans le futur. Les récentes inondations au Québec ne semblent donc pas a priori porter la signature des changements climatiques anticipés. Toutefois les projections hydrologiques constituent des tendances futures. La variabilité naturelle du climat, qui se manifeste par des fluctuations climatiques saisonnières et aussi interannuelles, influence l'occurrence des événements extrêmes. Cette variabilité est appelée à changer en amplitude et en fréquence en raison d'une « accélération » du cycle hydrologique, lui-même alimenté par une plus grande quantité d'énergie et d'eau dans l'atmosphère. On peut donc penser que les récentes crues au Québec reflètent un changement dans la variabilité d'un régime climatique en transition.

PÉRIODE DE RETOUR ET PROBABILITÉ DE DÉPASSEMENT

En hydrologie, il est courant d'associer les événements extrêmes en termes de période de retour. On dit qu'une crue dont la période de retour est de 20 années va se produire en moyenne une fois tous les 20 ans. Aussi, une zone inondable dont la période de retour est de 20 ans sera inondée en moyenne une fois tous les 20 ans. Une interprétation erronée de ce concept est que l'événement extrême va se produire exactement tous les 20 ans. C'est là qu'intervient la notion de probabilité de dépassement. Une crue de période de retour de 20 années aura une probabilité de se produire chaque année de 0,05 ou 5%, soit 1/20. La probabilité d'obtenir la crue de 20 ans lors de deux années consécutives est faible, mais bien réelle. En d'autres termes, ce n'est pas parce qu'une crue de période de retour de 20 ans vient d'avoir lieu que nous sommes à l'abri d'une autre crue exceptionnelle l'année suivante. Dans les faits, une crue centenaire pourrait même se produire!

Bourque, A. et Simonet, G. (2008). Québec. Dans D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éds.) *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007* (171-226), Repéré sur le site du Gouvernement du Canada : https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/full-complet_f.pdf

Burns, D. H., et Whitfield, P. H. (2016). Changes in floods and flood regimes in Canada. *Revue canadienne des ressources hydriques*, 41 (1-2), 139-150.

Caya, D. et Laprise, R. (1999). A Semi-Implicit Semi-Lagrangian Regional Climate Model: The Canadian RCM. *Monthly Weather Review*, 127, 341-362.

Chen, J., Brissette, F. P., Poulin, A. et Leconte, R. (2011). Overall uncertainty study of the hydrological impacts of climate change for a Canadian watershed. *Water Resources Research*, 47(2) : W12509. doi:10.1029/2011WR010602.

Direction de l'expertise hydrique (2018). *Document d'accompagnement de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional*. Repéré à <http://www.cehq.gouv.qc.ca/atlas-hydroclimatique/doc-accompagnement.pdf>

Flato, G. (2011). Earth systems models : an overview. *WIREs Climate Change*, 2(6) : 783-800.

Gunnell, K, Mulligan, M., Francis, R. A. et Hole, D. G. (2019). Evaluating natural infrastructure for flood management within the watersheds of selected global cities. *Science of the Total Environment*, 670, 411-424.

Saint-Laurent, D. et Hähni, M. (2008). Crues et inondations majeures des villes de l'Estrée : variations climatiques et modifications anthropiques (Québec, Canada), *Environnement Urbain*, 2.

Singh, V.P et Woolhiser, D. A. (2002). Mathematical modeling of watershed hydrology. *Journal of Hydrologic Engineering* 7(4), 270-292.

Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K. ... Nakicenovic, N. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109 (1-2), 5-31.

Zhang, W., Villarini, G., Vecchi, G.A. et Smith, J.A. (2018). Urbanization exacerbated the rainfall and flooding caused by hurricane Harvey in Houston, *Nature*, 563(7731), 384-388.

CONSÉQUENCES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES D'INITIATIVES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE: REGARD SUR LE SECTEUR DU CIMENT PORTLAND

Jean-Martin Lessard

Candidat au doctorat au
Département de génie civil
et génie du bâtiment
Université de Sherbrooke

Guillaume Habert

Professeur au
Département de génie
civil, de l'environnement
et de géomatique
ETH Zürich

Arezki Tagnit-Hamou

Professeur au Département
de génie civil et génie du
bâtiment
Université de Sherbrooke

Ben Amor

Professeur au
Département de génie
civil et génie du bâtiment
Université de Sherbrooke

L'initiative de développement durable de l'industrie du ciment



À la suite de la ratification de l'Accord de Paris sur le climat en 2016, le Canada s'est fixé un objectif de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre (GES) de 30% en dessous du niveau de 2005 d'ici 2030. L'atteinte de ces objectifs requiert l'adoption d'initiatives de développement durable ambitieuses et progressives dans tous les secteurs industriels.

Un des secteurs fortement interpellés est celui de la production de ciment Portland, principal élément liant du béton. Les procédés de fabrication du ciment Portland génèrent environ 7% des émissions mondiales de GES produits par les activités humaines et près de 80% de ceux provenant de l'industrie de la construction (Aïtcin et Mindess, 2017). Bien qu'il ne représente que de 10 à 12% de volume total d'un béton ordinaire, le ciment représente de 74% à 81% des émissions totales de GES (Boesch et Hellweg, 2010). Ces émissions découlent en grande partie de la production du clinker, composant majeur du ciment Portland.

Lors de la production du clinker, les matières premières (calcaire broyé, sable et argiles) sont calcinées à des températures avoisinant les 1450 °C. À ces températures, le calcaire (CaCO_3) se décarbonate et laisse s'échapper le CO_2 chimiquement lié dans la roche ($\text{CaO} + \text{CO}_2$). Ainsi, l'origine de ces émissions est double : environ 40% proviennent de la combustion des combustibles pour atteindre les températures de cuisson et 60% proviennent des procédés de décarbonatation du calcaire. On estime globalement à 1 tonne de GES pour 1 tonne de clinker produit.

Pour réduire l'empreinte carbone de leur production, les 24 cimenteries majeurs sur la planète se sont engagés, en ratifiant l'«Initiative de développement durable de l'industrie du ciment» (IDCC), à intensifier de 15% d'ici 2050 la substitution du clinker par d'autres matériaux cimentaires dans le ciment (IEA/WBSCD, 2018). Les plus couramment utilisés à grande échelle sont les cendres volantes de charbon, sous-produits de centrales thermiques au charbon, et les laitiers de haut-fourneau, sous-produits de sidérurgie. En plus de diminuer la dépendance aux ressources naturelles des cimenteries, ces symbioses industrielles ont pour effet de découpler leur croissance économique des pressions induites sur l'environnement par leurs opérations et de donner une nouvelle vie aux matières résiduelles.

Conséquences sur les changements climatiques d'initiatives de développement durable: voir au-delà des frontières du produit

Pour évaluer le rendement sur les changements climatiques d'une initiative de développement durable comme celle des cimenteries, une compréhension de ses conséquences sur les flux de matières premières, de matériaux, de produits et de déchets directement et indirectement sollicités est primordiale. Des déséquilibres sont susceptibles de survenir sur les marchés nationaux et internationaux allant bien au-delà des frontières du produit même. Toutefois, ces interactions à grande échelle sont actuellement omises par les analystes en raison de l'absence d'outils permettant de les inclure. Il est donc ardu pour les décideurs (gouvernement, industrie, associations, etc.) d'y voir clair lors de l'élaboration de plans stratégiques pour lutter contre les changements climatiques.

À titre d'exemple, le rendement de l'IDCC sur les aspects éco-économiques dépendra du nouvel équilibre final des flux commerciaux (offre = demande) induit par son application, ce qui est spécifique à chaque région. Cet équilibre est fonction de la disponibilité régionale de ces matériaux et des secteurs desquels ils sont originaires. Les réglementations récentes visant à limiter les émissions de GES des centrales électriques au charbon ont significativement réduit la disponibilité des cendres volantes de charbon au Canada. Les laitiers sont également devenus moins abondants en raison du ralentissement de plusieurs complexes de fer et

d'acier intégrés puisque le recyclage du fer et de l'acier s'accroît.

Les nouvelles demandes d'ajouts cimentaires dans le secteur du ciment Portland canadien induites par l'atteinte des cibles de substitution de clinker de l'IDCC dépendront de plus en plus des importations (Figure 1). Les activités de traitement des déchets et l'augmentation des émissions indirectes de GES liées au transport doivent être prises en compte lors de l'évaluation du rendement global de ces nouvelles synergies et ainsi éviter un déplacement du problème.

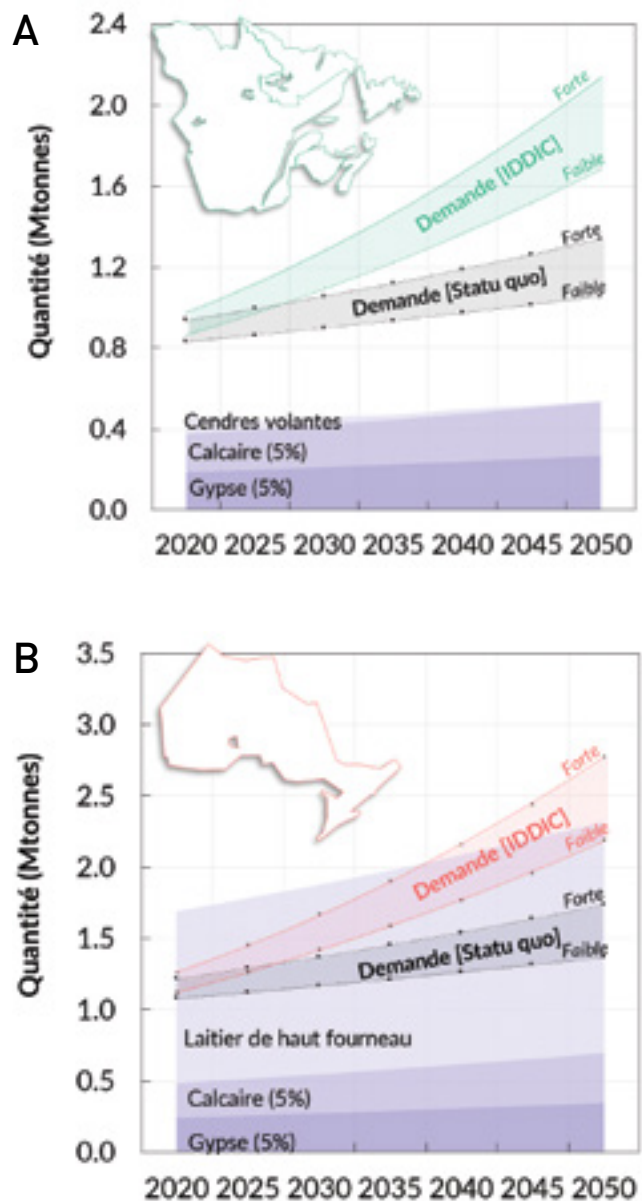


Figure 1. Superposition du fuseau de demandes (fortes et faibles) et des disponibilités d'ajouts minéraux : a) situation dans la province du Québec et les provinces de l'Atlantique; b) situation dans la province de l'Ontario

Modélisation des conséquences éco-économiques à grande échelle

Dans le cadre de ce projet de recherche, nous développons un modèle de modélisation pour étudier les conséquences éco-économiques que les déséquilibres d'initiatives de développement durable applicables à grande échelle sont susceptibles de générer sur les marchés nationaux et internationaux. Ce dernier offre également des perspectives temporelles, à court, moyen et long terme permettant d'inclure une variété de paramètres évolutifs survenant simultanément dans plusieurs régions et/ou plusieurs secteurs.

Cette nouvelle approche se définit par le maillage mathématique des chaînes matériaux-produits-résidus d'un ensemble de secteurs industriels à fort potentiel synergique opérant dans une ou plusieurs régions, c'est-à-dire les secteurs dont les matières résiduelles peuvent être favorablement échangées comme matières secondaires vers d'autres secteurs (Figure 2).

Chaque chaîne sectorielle modélise conformément la capacité de production et de gestion de ses matières résiduelles, l'efficacité technologique et les contraintes techniques de la région dans laquelle elle s'intègre. Ensuite, les flux de matières premières, secondaires et résiduelles sont optimisés afin de minimiser les coûts des activités de l'ensemble des secteurs pour satisfaire les demandes régionales de produits. Ainsi, les flux de

matières secondaires sont mis en concurrence avec les flux de matières premières pour les producteurs. L'utilisation de matières secondaires permet également d'éviter les coûts de mise en disposition finale.

Conséquences de « l'initiative de développement durable de l'industrie du ciment » sur les changements climatiques

Nous avons utilisé le modèle pour examiner les répercussions sur les changements climatiques du levier de substitution du clinker de l'IDDIC pour la province du Québec et les provinces de l'Atlantique (QC+AT), la province de l'Ontario (ON), le Midwest des États-Unis (MWUS) le Nord-Est des États-Unis (NEUS) (Figure 3). Nous nous sommes intéressés aux secteurs à fort potentiel de synergie industrielle du ciment Portland, de l'électricité au charbon et de la sidérurgie pour les périodes de 2020 à 2050. Cela nous permet de couvrir l'ensemble des cibles de substitution et d'inclure les mutations sectorielles progressives se produisant simultanément dans les autres secteurs que celui du ciment Portland. Les données alimentant le modèle ont été obtenues à l'aide d'indicateurs macroéconomiques, des statistiques nationales, des données sectorielles, la banque de données d'inventaire du cycle de vie *ecoinvent v3.5*, la méthode de caractérisation des impacts environnementaux IPCC2013 100a v1.03 et des jugements d'expert.e.s.

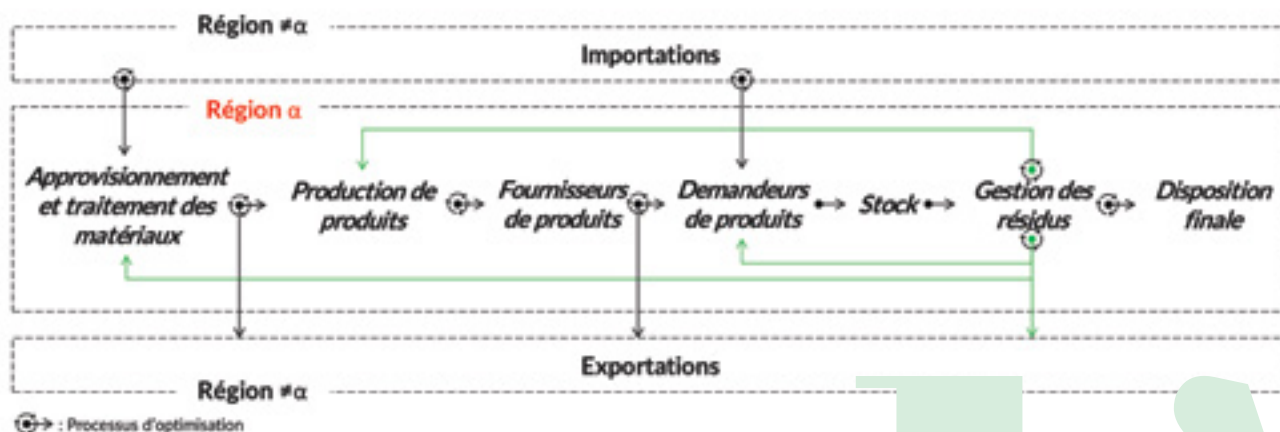


Figure 2. Chaîne matériau-produit-résidu d'un secteur régional générique.

Deux scénarios d'évolution des taux de remplacement de clinker dans la production du ciment Portland mélangé ont été comparés (Tableau 1) :

- 1. Scénario Statu quo :** consiste dans la poursuite des opérations actuelles dans le secteur du ciment, impliquant un taux de remplacement de clinker moyen constant à 25%.
- 2. Scénario IDDIC :** consiste à l'application du levier de substitution du clinker de l'IDDIC similairement à l'ensemble des régions. Les taux ciblés de substitution de cette feuille de route sont de 40% d'ici 2050, soit une augmentation de 15% par rapport au scénario précédent.

EXEMPLE D'INTERACTIONS OBTENUES

La Figure 4 illustre un exemple de résultats de la modélisation, ciblés sur le secteur du ciment du scénario pour la période de 2050. La direction (origine-destination) et la taille des flux résultants représentent la configuration optimale des échanges pour cette période dans laquelle les flux matière-produit-résidus sont à l'équilibre aux coûts d'opération les plus bas. La demande de produits régionaux est entièrement satisfaite par des sources d'approvisionnement nationales ou étrangères, en fonction de la disponibilité et des coûts matériels et non matériels (énergie, transport). À titre d'exemple, les cimentiers de la région [QC+AT]

Code	Description	Taux de remplacement de clinker, %			
		2020	2030	2040	2050
[Statu Quo]	Poursuite des opérations actuelles	25	25	25	25
[IDDIC]	Application du levier de substitution du clinker de l'IDDIC	26 (+1)	30 (+5)	35 (+10)	40 (+15)

Tableau 1. Description des scénarios étudiés

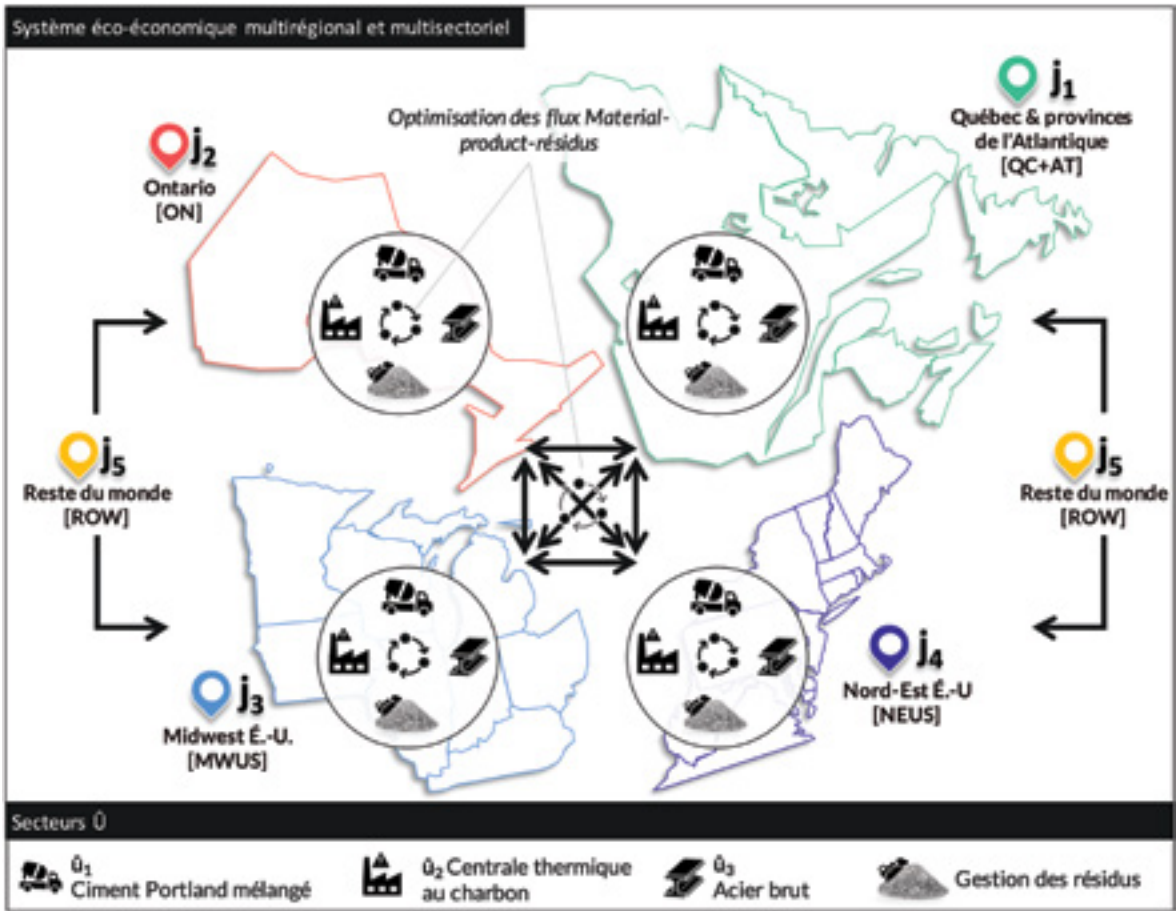


Figure 3. Description du système multirégional et multisectoriel étudié.

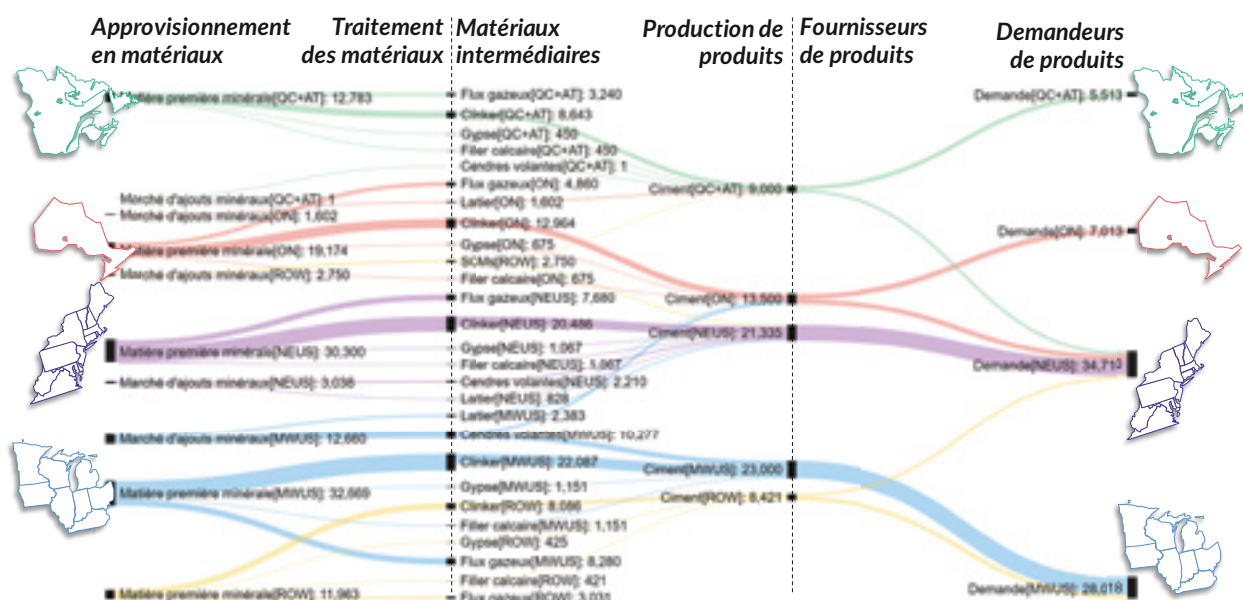


Figure 4. Exemple illustratif d'optimisation des flux matériau-produit-résidu multirégionaux et multisectoriels du scénario IDDIC ciblé sur le secteur du ciment à l'horizon de 2050, en kilotonnes

fournissent 5 513 kilotonnes intérieurement et 3 487 kilotonnes sont destinées à l'exportation vers la région [NEUS]. Pour produire leur ciment Portland mélangé, ceux-ci ont recours à des cendres volantes de charbon locales, des laitiers de haut fourneau de la région [ON] ainsi qu'à des ajouts minéraux indéfinis du reste du monde [ROW].

Grâce à ces résultats, il nous est possible de caractériser les échanges sur les marchés nationaux et internationaux en une vaste gamme d'indicateurs biophysiques et économiques (coûts, masse, volume, GES, etc.). De plus, pour isoler uniquement les conséquences induites par l'application des paramètres distincts, nous soustrayons les résultats du scénario [IDDIC] à ceux du scénario [*Statu quo*]. De la sorte, les valeurs négatives et positives reflètent respectivement des réductions et des augmentations par rapport à la situation actuelle (scénario [*Statu quo*]).

INTENSITÉ DE GES DE LA PRODUCTION DE CIMENT PORTLAND

La Figure 5 montre que la substitution progressive du clinker tel que prescrit par l'IDDIC permet de réduire efficacement l'intensité de GES de la production de ciment Portland (masse de CO₂ eq./masse de ciment Portland produit). Bien que les taux de remplacement de clinker soient appliqués identiquement pour chacune des régions, les bénéfices varient en fonction de la localisation géographique du secteur. Pour 2050, ces bénéfices atteignent environ -130 kg CO₂ eq./tonne de ciment et -140 kg CO₂ eq./tonne de ciment pour les

régions canadiennes et américaines, respectivement. La ligne pointillée représente les bénéfices estimés sans tenir compte des interactions interrégionales et intersectorielles. Ces différences régionales sont directement liées à la proximité entre les secteurs du ciment Portland et les sources d'approvisionnement et la disponibilité locale de ces ajouts minéraux. La raréfaction de ces matériaux sur les marchés canadiens entraîne un besoin significatif d'importations afin de satisfaire les cibles de substitution de l'IDDIC.

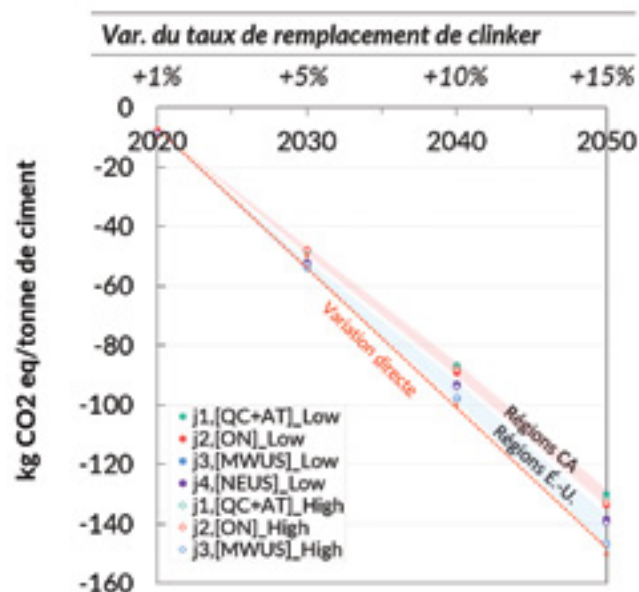


Figure 5. Fuseau d'intensité des émissions de GES de la production de ciment Portland

ÉMISSIONS RÉGIONALES DE GES

Lorsqu'analysée en valeur absolue, l'application du scénario [IDDIC] provoque des réductions d'émissions de GES pour les régions canadiennes contrairement à un accroissement pour les régions américaines (Figure 6).

L'augmentation du taux de substitution de clinker bonifie proportionnellement la capacité de production des cimenteries, puisque celles-ci sont typiquement limitées par la capacité de ce matériau intermédiaire. En incorporant moins de clinker dans la production de ciment Portland, il est possible de produire davantage

pour une même capacité de production. Cela engendre des mutations importantes sur le plan des échanges commerciaux de produits. Les régions américaines, lesquelles dépendent étroitement de l'approvisionnement étranger de ciment Portland dans le scénario [*Statu quo*], voient leur dépendance aux importations diminuée dans le scénario [IDDIC]. Conséquemment, bien que la quantité de GES par unité de ciment diminue, leurs émissions intérieures de GES s'accroissent puisqu'ils produisent davantage de ciment localement, sollicitant des mouvements de matières premières, secondaires et intermédiaires. Il s'agit d'un déplacement de flux carbone, lequel était initialement généré dans les régions [QC+AT] et [ROW].

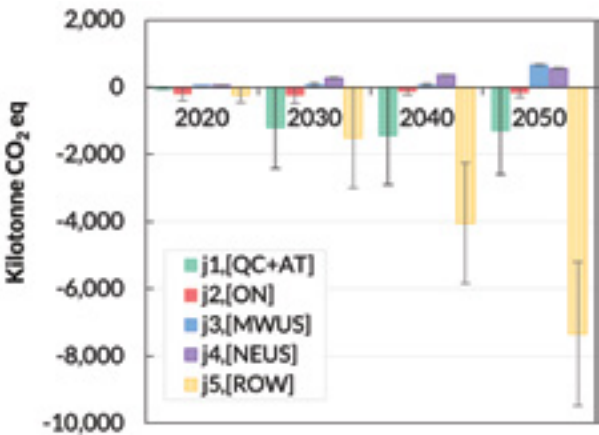


Figure 6. : Émissions régionales de GES en conséquence à l'application du scénario [IDDIC]

AU-DELÀ DES GES

À l'image de l'indicateur de GES, une vaste gamme d'indicateurs physiques et économiques peut découler de l'outil de modélisation (Tableau 2). Sommairement, les bénéfices de l'application du scénario IDDIC sont mitigés en fonction de la région examinée, bien que les teneurs de substitutions soient les mêmes pour l'ensemble de celles-ci. Ces effets ne sont pas captés en analysant un modèle à une seule région (système global), sans fractionnement géographique. La disponibilité locale d'ajouts minéraux est un facteur clé pour maximiser favorablement le rendement éco-économique d'une telle initiative.

Indicateurs	Système global	j1 [QC+AT]	j2 [ON]	j3 [MWUS]	j4 [NEUS]
Coûts d'opération annuels	+	-	-	+	+
Émissions de gaz à effet de serre	+	+	+	-	-
Résidus mis en rebut	+	o	o	+	+
Balance commerciale - Niveau des produits	N/A	-	+	+	+
Balance commerciale - Niveau des matériaux	N/A	-	-	+	-
Consommation intérieure de matières premières minérales	N/A	+	+	-	-
Consommation intérieure de matières secondaires	N/A	o	o	+	+

Symboles
 +: Favorable
 -: Défavorable
 o: Aucun effet
 N/A: Non-Applicable

Tableau 2. : Effets de l'application de l'« Initiative de développement durable de l'industrie du ciment » sur les régions selon différents indicateurs éco-économiques

La poudre de verre, un matériau cimentaire local

Les résultats présentés précédemment montrent l'intérêt de développer des matériaux cimentaires localement, de façon à réduire les coûts et les émissions indirectes de GES liés au transport et de réduire la dépendance aux importations des régions ayant très peu d'autres sources, comme le Québec.

Depuis 2004, la Chaire SAQ de valorisation du verre dans les matériaux de l'Université de Sherbrooke étudie la possibilité de valoriser les déchets de verre mixte dans la fabrication du ciment et du béton. Ce procédé consiste à broyer finement (microniser) les déchets de verre en fine poudre pour bénéficier des caractéristiques physico-chimique et minéralogique du verre en plus d'offrir une solution durable à la problématique québécoise de gestion des résidus de verre postconsommation (Voir l'Encadré Problématique des résidus de verre postconsommation). Des travaux de recherche ont permis de démontrer qu'une utilisation jusqu'à 30% de poudre de verre en remplacement cimentaire permet d'augmenter la durabilité des bétons, en réduisant l'ensemble de leurs propriétés de transport, tout en gardant des performances mécaniques équivalentes à long terme (Zidol, 2014). Cela permet de diminuer les pressions sur les changements climatiques du secteur du ciment (Deschamps, Simon, Tagnit-Hamou et Amor, 2018; Lessard, Cloutier, Tagnit-Hamou et Amor, 2017).

En 2018, la poudre de verre a été reconnue comme matériau cimentaire officiel par le Groupe CSA dans son Compendium de matériaux cimentaires CSA-A3000-18, ce qui est susceptible de bousculer sa demande auprès du marché des ajouts cimentaires. Ce développement est donc en étroite synergie avec les objectifs de substitution du clinker de l'IDDIC.

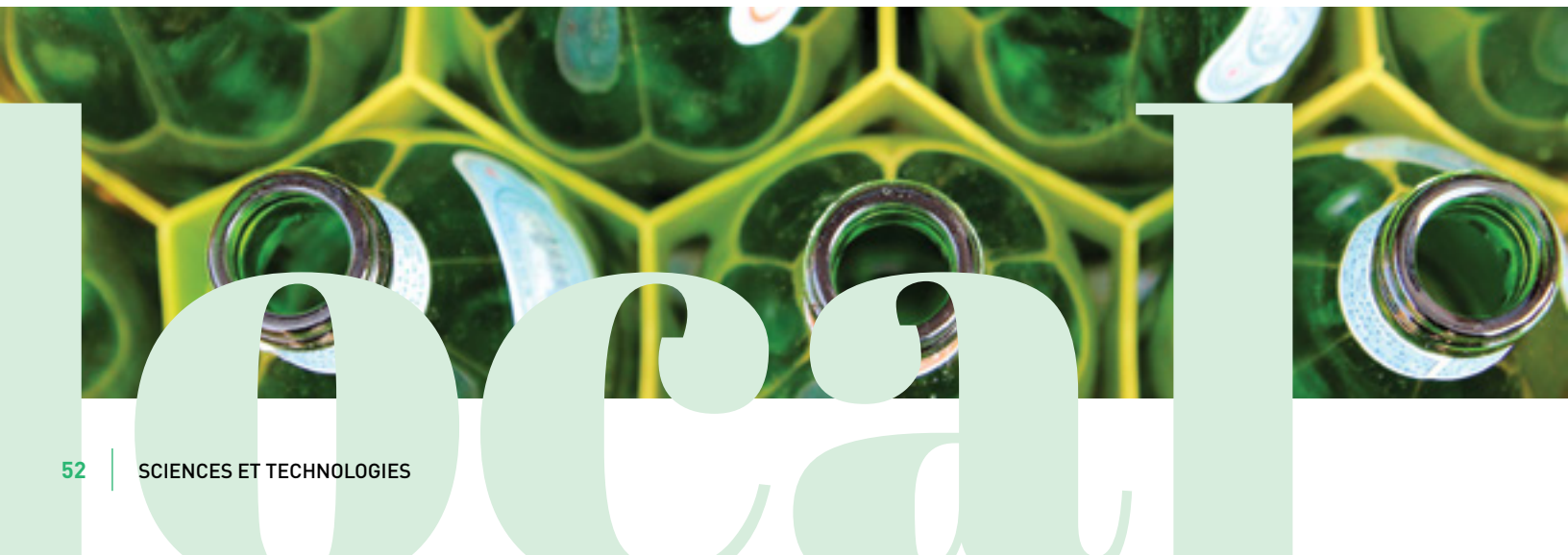
Conclusion

Pour évaluer le rendement d'initiative de développement durable à grande échelle sur les changements climatiques, comme l'« Initiative de développement durable de l'industrie du ciment », il est important d'intégrer la façon dont les flux de ressources, de matériaux, de produits et de résidus seront affectés à travers l'économie. Leurs conséquences éco-économiques sont susceptibles de se faire sentir bien au-delà des frontières de produits en raison des déséquilibres provoqués sur les marchés régionaux, entraînant avec eux (directement et indirectement) des pressions sur l'environnement.

Les déplacements de flux carbone identifiés pour les régions américaines sont un exemple d'interactions à grande échelle contre-intuitives que permet de tracer notre nouvelle approche de modélisation. Dans le contexte de l'application de systèmes de comptabilisation du carbone suivant l'approche « pollueur-payeur » et pour l'atteinte des cibles de GES fixé à la suite de l'Accord de Paris sur le climat, ces informations sont cruciales.

Les rendements d'initiative de développement durable à grande échelle, comme celle des cimentiers, dépendent fortement de la disponibilité locale de matériaux et de produits. Cela encourage le développement de matériaux cimentaires locaux, comme la poudre de verre. En plus de réduire les émissions de GES indirects liées au transport, d'offrir une solution durable à la problématique de gestion des résidus de verre de postconsommation, cela permet de réduire la dépendance aux importations des provinces canadiennes.

Ces nouvelles perspectives éco-économiques permettent d'offrir un meilleur soutien aux décideurs dans l'opérationnalisation du développement durable impliquant des boucles de circularité matérielle entre régions et entre secteurs à fort potentiel synergique.



PROBLÉMATIQUE DES RÉSIDUS DE VERRE POSTCONSOMMATION

Dans les dernières années, les centres de tri ont connu des difficultés pour trouver des débouchés de valorisation du verre mixte en raison d'un manque de débouchés économiquement viables et de la forte contamination du calcin, menant principalement à sa mise en décharge. Selon le Bilan 2015 de la gestion des matières résiduelles de Recyc-Québec, seulement 14% des 159 000 tonnes de verre récupérées par le milieu résidentiel ont été acheminées aux fins de recyclage pour une seconde vie, notamment en étant transformées en granulats et abrasifs (RECYC-QUÉBEC, 2015, p. 39).

Comme schématisé à la Figure 7, il existe une variété de synergies industrielles potentielles pouvant mettre en valeur les propriétés physico-chimiques des déchets de verre. Outre, bien sûr, le secteur du verre même, les secteurs des abrasifs et matériaux granulaires, des produits cimentaires et des isolants de laine minérale en sont quelques exemples (Éco Entreprise Québec, 2019).

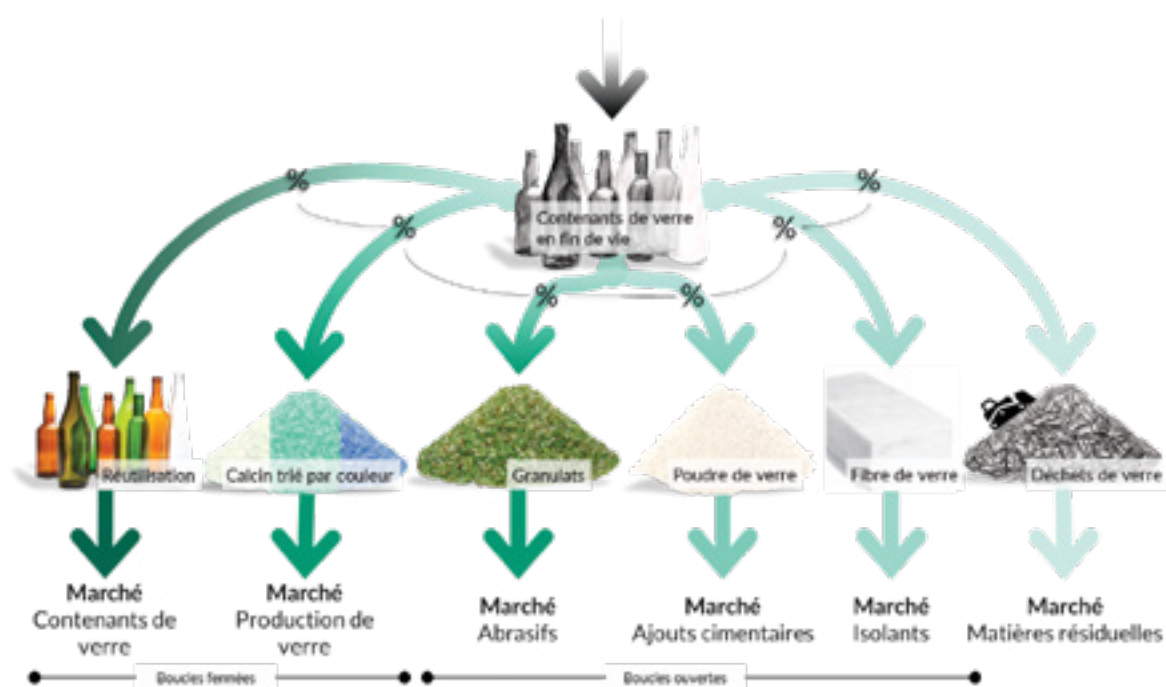


Figure 7 : Avenues de valorisation possibles des résidus de verre postconsommation.

Aïtcin, P.-C. et Mindess, S. (2017) *Sustainability of Concrete*. New York: Taylor & Francis.

Boesch, M. E. et Hellweg, S. (2010) Identifying improvement potentials in cement production with life cycle assessment. *Environmental Science and Technology*, 44(23), 9143-9149.

Deschamps, J., Simon, B., Tagnit-Hamou, A. et Amor, B. (2018) Is open-loop recycling the lowest preference in a circular economy? Answering through LCA of glass powder in concrete. *Journal of Cleaner Production*, 185, 14-22.

Éco Entreprise Québec. (2019) *Bilan du plan Verre l'innovation : la solution pour le recyclage de 100 % du verre de la collecte sélective au Québec*. Repéré à https://www.eeq.ca/wp-content/uploads/Bilan_complet_PVI.pdf

IEA/WBSCD. (2018) Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry. Repéré à <https://www.wbcsd.org/4m2sq>

Lessard, J.-M., Cloutier, J., Tagnit-Hamou, A. et Amor, B. (2017) Environmental benefits of using glass powder in manhole production. American Concrete Institute, *ACI Special Publication*, 320.

RECYC-QUÉBEC. (2015) *Bilan 2015 de la gestion des déchets au Québec*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2015.pdf>

Zidol, A. (2014) Durabilité en milieux agressifs des bétons incorporant la poudre de verre. (Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke). Repéré à <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/5954>



Sciences et technologies

RÉDUCTION DES GES D'ÉTABLES À VACHES AU MOYEN DE BIOFILTRES PASSIFS

Alexandre R. Cabral

Professeur au Département de génie civil et génie du bâtiment
Université de Sherbrooke

La fermentation entérique des bovins génère du gaz méthane (CH_4), dont le potentiel de réchauffement planétaire est de 28 à 36 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone (CO_2). L'élevage du bétail est responsable de 12 à 18 % des émissions anthropiques mondiales de gaz à effet de serre (GES) et les émissions d'origine agricole pourraient atteindre environ 8 millions de tonnes en équivalent dioxyde de carbone (Mt éq. CO_2) par année d'ici 2050 (Shafer et al., 2011). Selon la U.S. EPA (2012), environ 17 % des émissions mondiales de CH_4 (ou 3,3 % des émissions totales de GES) proviennent de la fermentation entérique.

Le secteur laitier est le troisième secteur agricole en importance au Canada et se concentre au Québec et en Ontario, où se trouvent 82 % des fermes laitières. Dans les fermes laitières du Québec, les vaches restent confinées dans l'étable durant l'hiver. L'air d'une étable typique est changé 6 à 7 fois par heure pour maintenir un environnement de haute qualité pour les animaux. Cela conduit à de forts débits de gaz d'échappement, qui contiennent de très faibles concentrations de CH_4 . Malgré les faibles concentrations, les quantités totales de CH_4 émises directement dans l'atmosphère sont très élevées. Il en résulte que 40,8 % des émissions totales de GES du secteur agricole du Québec, soit 3,14 Mt éq. CO_2 , sont attribuables à la fermentation entérique de bovins (Gouvernement du Québec, 2016).

Les principales stratégies de réduction des émissions de CH_4 étudiées dans le contexte de l'élevage incluent, entre autres, de solides pratiques et technologies de gestion de la nutrition. L'empreinte carbone des fermes laitières pourrait diminuer par l'utilisation de biofiltres, qui sont des dispositifs contenant un milieu poreux à travers lequel percole le gaz à traiter, en l'occurrence le gaz d'échappement de l'étable. Des microorganismes vivant dans ce milieu peuvent, entre autres, oxyder le CH_4 en CO_2 .

La biofiltration est une technique couramment appliquée dans les secteurs agricole et industriel pour la réduction des émissions de GES, mais cette technologie a reçu relativement peu d'attention lorsqu'il s'agit de la réduction des émissions des bâtiments d'élevage d'animaux. Cette situation s'explique, en bonne partie, par les forts débits et faibles concentrations de CH_4 dans les gaz d'échappement des bâtiments, ce qui rend difficile l'oxydation biotique du CH_4 en CO_2 .

Dans un biofiltre destiné au traitement des émissions d'étables à vaches dans les fermes laitières, illustré à la Figure 1, des bactéries méthanotrophes (qui sont des bactéries capables de se développer en n'utilisant que le méthane comme source de carbone et d'énergie et qui sont omniprésentes dans l'environnement), sont capables d'oxyder le CH_4 en CO_2 en conditions aérobies, c'est-à-dire en présence d'oxygène. Les températures optimales de fonctionnement de la plupart des méthanotrophes se situent entre 25 et 35 °C (Boeckx et Van Cleemput, 1996), bien que les communautés méthanotrophes aient la capacité de s'adapter à des températures variant entre 0 et 55 °C (Einola, Kettunen, et Rintala, 2007).

Comme la température du lit (la couche où l'oxydation a lieu) interne du biofiltre a une influence marquante sur l'activité méthanotrophe, on pourrait s'attendre à ce que, dans des conditions climatiques rigoureuses, telles que celles observées pendant les hivers québécois, l'oxydation du CH_4 dans les biofiltres s'arrête complètement. Cependant, notre expertise en biofiltration passive du méthane (Ahoughalandari, Cabral, et Leroueil, 2018; Ndanga, Bradley, et Cabral, 2015; Roncato et Cabral, 2012) et l'analyse que nous avons faite de la situation particulière des étables dans

les fermes laitières canadiennes, où les vaches restent confinées pendant l'hiver, nous indiquaient qu'il serait possible de trouver les conditions appropriées pour installer des biofiltres efficaces et ainsi réduire les émissions de GES des fermes laitières.

L'objectif principal de notre étude était donc de vérifier la validité de l'hypothèse voulant qu'un biofiltre adjacent à l'étable d'une ferme laitière et construit avec des matériaux disponibles dans la ferme puisse soutenir l'activité d'oxydation biotique du CH_4 en CO_2 , et ce, même si le biofiltre est exposé à de grandes variations de température et aux hivers des régions nordiques. Si cette hypothèse s'avère, la biofiltration pourrait être utilisée pour réduire les émissions des fermes laitières. Dans cette étude, nous avons déterminé le niveau d'efficacité d'oxydation pouvant être atteint et la taille du biofiltre pour une étable typique.

Matériels et méthodes

Pour notre étude, dont la méthodologie est décrite en détail dans Fedrizzi, Cabana, Ndanga et Cabral (2018), nous avons testé des lits constitués de différents mélanges de matériaux communément retrouvés dans une ferme laitière, comme ceux-ci : compost, paille, sciure de bois et copeaux de bois. Avant chaque expérience, nous avons acclimaté (ou conditionné) le matériau du lit. Une fois le mélange sélectionné, trois séquences d'acclimatation/test de biofiltration ont eu lieu : la première a duré quelque 200 jours ; la 2^e, 240 jours ; et la 3^e, 128 jours. D'une à l'autre, nous réutilisons la moitié du matériau du lit conditionné, afin de faciliter le démarrage de la phase subséquente.

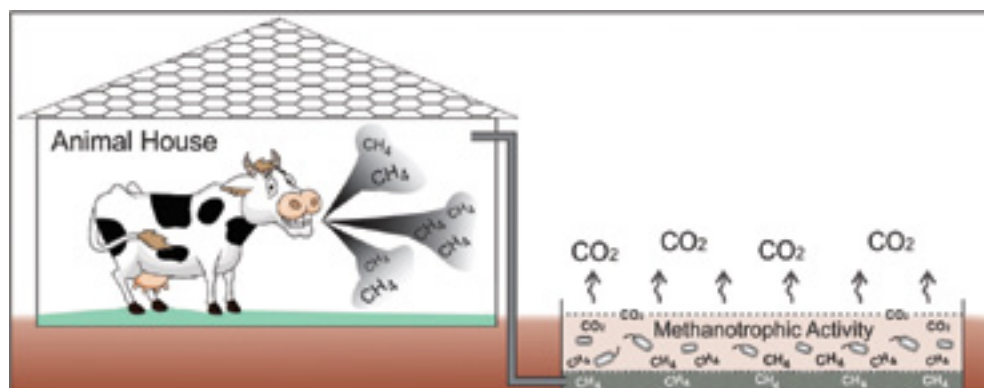


Figure 1. Schéma d'un biofiltre adjacent à une étable. Source : Fedrizzi, Cabana, Ndanga et Cabral (2018)

La Figure 2 présente un schéma du système de biofiltration et de contrôle des biofiltres modélisés à l'échelle du laboratoire, alors que la Figure 3 présente une photo du montage. Pour la conception du biofiltre expérimental, nous avons adopté le volume suggéré par Melse et Van der Welf (2005), soit 1300 m³. L'épaisseur du biofiltre a été déterminée de façon que le gaz passe suffisamment de temps dans le lit filtrant pour que la réaction d'oxydation biotique ($\text{CH}_4 \rightarrow \text{CO}_2$) puisse être achevée. Le temps de résidence (*empty-bed residence time*; EBRT) adopté fut de 0,21 h. Cette valeur a été établie lors d'essais préliminaires avec les mélanges de matériaux présélectionnés. Afin de simuler la ventilation d'une ferme laitière, les biofiltres ont été alimentés par un débit constant de gaz d'échappement synthétique égal à 0,036 m³ h⁻¹. Ce gaz avait une concentration constante de CH₄ de 0,22 g m⁻³ [ou 300 ppm; valeur proposée par un chercheur d'Agriculture et Agroalimentaire Canada]. L'oxygène était présent comme dans l'air normal, ne représentant donc pas un frein à l'oxydation biotique. Le débit d'échappement a été calculé sur la base des prémisses suivantes : un taux de ventilation minimum égal à 1 000 m³ jr⁻¹ par vache (Turnbull et Huffman, 1988) et un très grand biofiltre.

Pour déterminer l'influence des cycles de température sur l'efficacité des biofiltres à réduire les émissions de CH₄, nous avons soumis les biofiltres à des variations de

température simulant des cycles naturels, incluant les conditions hivernales. Le système de refroidissement était constitué de tubes en cuivre enroulés autour du tiers supérieur de la colonne de Plexiglas® et reliés à un bain à température contrôlée. Seule la partie supérieure des colonnes (biofiltre modélisé) était refroidie, afin de simuler la pénétration du gel, en hiver. Ainsi, le haut de la colonne était soumis à des températures allant de 21 °C à -5 °C, alors qu'au bas, le gaz synthétique était d'environ 17 °C, soit une température moyenne dans une étable à vaches.

Résultats

À la suite de tests préliminaires avec différents mélanges de ces matériaux, nous avons sélectionné un mélange de compost et de paille, qui a été utilisé pour des expériences sur des colonnes à écoulement continu, en laboratoire. Nos résultats montrent que d'autres mélanges testés avaient une capacité d'oxydation du CH₄ un peu plus faible, mais du même ordre de grandeur, que celui du mélange compost-paille (Tableau 1 dans Fedrizzi, Cabana, Ndanga et Cabral, 2018). Ainsi, il serait tout à fait viable d'utiliser d'autres mélanges et de les acclimater (ou conditionner) pour optimiser leur performance.

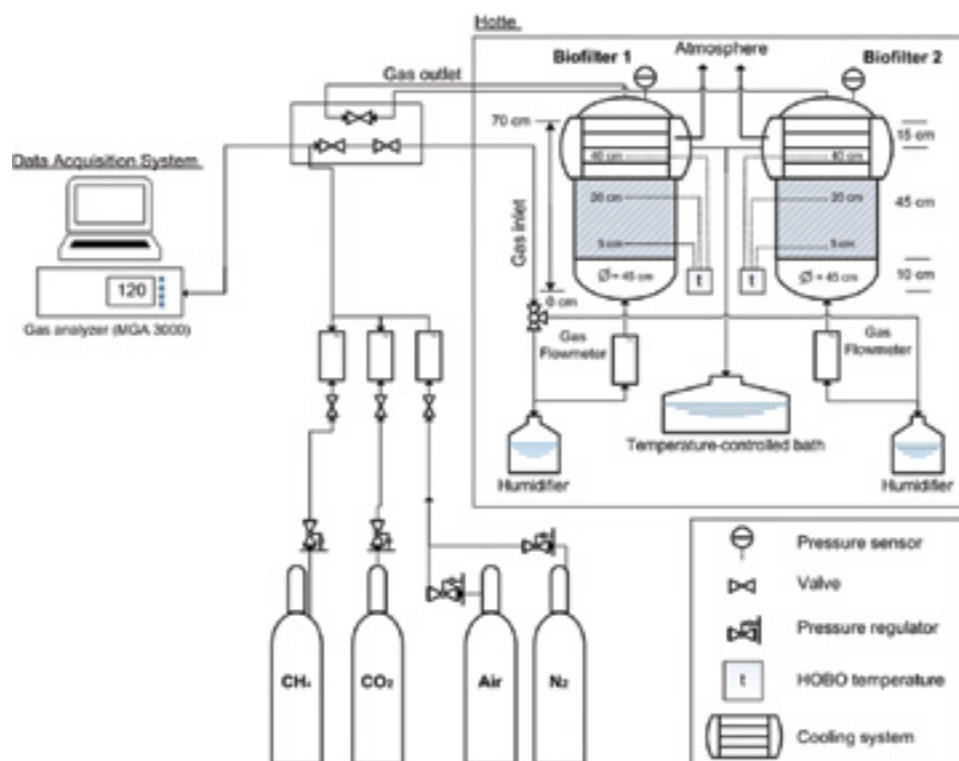


Figure 2. Système de biofiltration utilisé dans les expériences sur colonne à écoulement continu. Source : Fedrizzi, Cabana, Ndanga et Cabral (2018)



Figure 3. Montage sans système de refroidissement et avec ce système.

La Figure 3 présente la 3^e séquence de tests avec les deux colonnes (C1 et C2), qui inclut deux cycles complets de gel-dégel. Les résultats des deux premières séquences sont présentés et discutés en détail dans Fedrizzi, Cabana, Ndanga et Cabral (2018). L'axe vertical de droite à la Figure 3 présente l'efficacité d'oxydation du CH_4 . On observe que pour les deux biofiltres l'efficacité d'oxydation (ligne pointillée) se maintient près de 100 % tout au long des deux cycles de gel-dégel de la 3^e séquence.

L'axe vertical de gauche permet de suivre l'évolution dans le temps de la température à trois points le long de chacun des deux biofiltres (lignes continues des deux graphiques). Les points situés en haut (à 40 cm de la base) étaient les plus proches du refroidissement, alors que les points de contrôle situés au bas (à 5 cm de la base) étaient exposés au gaz introduit à 17 °C. Les températures dans la partie inférieure des biofiltres sont restées suffisamment élevées pour permettre l'activité microbienne d'oxydation du CH_4 , alors que les températures près du milieu ont varié de quelques degrés seulement. Seules les températures au point de contrôle situé près du haut des colonnes, plus exposées aux cycles de gel/dégel, ont varié de façon prononcée.

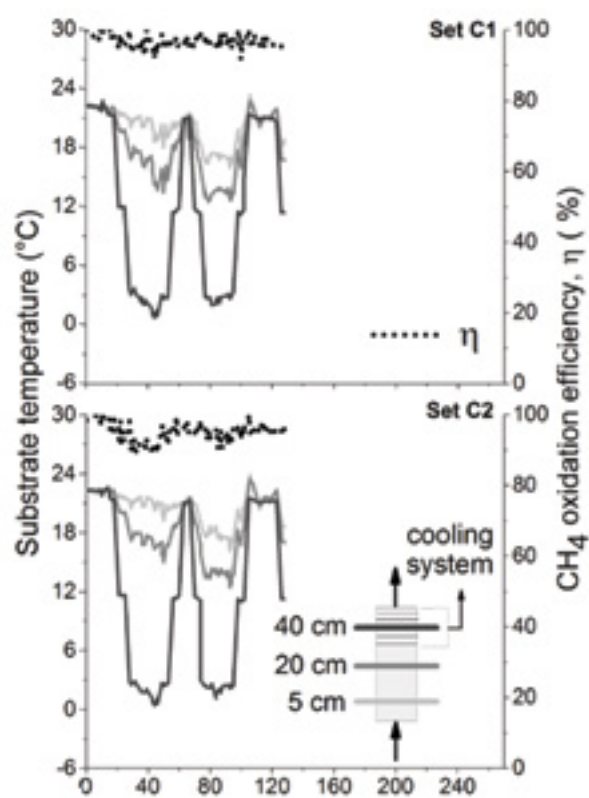


Figure 4. Évolution dans le temps de l'efficacité d'oxydation du CH_4 en fonction de la température pour la 3^e séquence de test. Le graphique du haut reproduit les résultats de la colonne 1, et celui du bas, les résultats de la colonne 2 (adapté de Fedrizzi, Cabana, Ndanga et Cabral, 2018).

Conclusions et limitations

Les résultats de notre étude montrent qu'il est possible d'oxyder la presque totalité du CH₄ des gaz d'échappement des bâtiments d'élevage de vaches laitières. Ce type de résultat est possible s'il y a construction de très grands biofiltres. Or, de gros biofiltres ne posent pas de problème dans les fermes laitières canadiennes, car il y a souvent suffisamment d'espace pour les installer et les matériaux nécessaires (paille, compost, sciure et copeaux de bois, etc.) sont abondants. L'étude montre aussi (résultats non présentés ici) que certaines étapes préalables à la mise en fonctionnement sont cruciales, notamment l'acclimatation.

Étant donné que le nombre de vaches au Canada est estimé à 945 000, si les gains d'efficacité obtenus dans notre étude étaient transposés aux conditions réelles, les biofiltres passifs à faible coût seraient en mesure de réduire tout près de 3 Mt éq. CO₂ chaque année, soit 5 % des émissions associées au secteur agricole canadien, ou 0,45 % des émissions totales de GES du pays.

Une étude à l'échelle pilote de l'efficacité d'un biofiltre passif de grandes dimensions, exposé à de forts débits et à de faibles concentrations de méthane, ainsi qu'aux éléments, permettra de confirmer si cette solution prometteuse s'avère. Avant d'être adoptée dans le contexte des fermes laitières, la technologie de biofiltration passive devra passer le test des coûts. Dans un contexte favorable (p. ex. si on inclut la réduction des émissions des fermes laitières dans le cadre du système d'échanges de crédits de carbone), cette solution permettrait aux fermes laitières, exposées aux aléas des accords internationaux, de trouver une source de revenus intéressante.

Ahoughalandari, B., Cabral, A. R., et Leroueil, S. (2018). Elements of design of passive methane oxidation biosystems: fundamental and practical considerations about compaction and hydraulic characteristics on biogas migration. *Geotechnical and Geological Engineering Journal*, 36(4), 2593-2609. doi:10.1007/s10706-018-0485-z

Boeckx, P., et Van Cleemput, O. (1996). Methane oxidation in a neutral landfill cover soil: Influence of moisture content, temperature, and nitrogen-turnover. *Journal of Environmental Quality*, 25(1), 178-183. doi:10.2134/jeq1996.00472425002500010023x

Einola, J.-K. M., Kettunen, R. H., et Rintala, J. A. (2007). Responses of methane oxidation to temperature and water content in cover soil of a boreal landfill. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 1156-1164.

Fedrizzi, F., Cabana, H., Ndanga Mbakop, É., et Cabral, A. R. (2018). Biofiltration of methane from cow barns: effects of climatic conditions and packing bed media acclimatization. *Waste Management*, 78, 669-676. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.038>

Gouvernement du Québec. (2016). Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2014 et leur évolution depuis 1990. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/changements/ges/2014/Inventaire1990-2014.pdf>

Melse, R. W., et Van Der Welf, A. W. (2005). Biofiltration for Mitigation of Methane Emission from Animal Husbandry. *Environ. Sci. Technology*, 39, 5460-5468.

Ndanga, E. M., Bradley, R. L., et Cabral, A. R. (2015). Does vegetation affect the methane oxidation efficiency of passive biosystems? *Waste Management*, 38(1), 240-249. doi:10.1016/j.wasman.2015.01.031

Roncato, C. D. L., et Cabral, A. R. (2012). Evaluation of methane oxidation efficiency of two biocovers: Field and laboratory results. *Journal of Environmental Engineering*, 138(2), 164-173. doi:10.1061/[ASCE]EE.1943-7870.0000475

Shafer, S. R., Walthall, C. L., Franzluebbers, A. J., Scholten, M., Clark, H., Meijs, J., ... Richard, G. (2011). Emergence of the global research alliance on agricultural greenhouse gases. *Carbon Management*, 2(3), 209-214. doi:10.4155/cmt.11.26

Turnbull, J. E., et Huffman, H. E. (1988). Principes et taux de ventilation mécanique. Repéré à https://www.agrireseau.net/documents/Document_93242.pdf

USEPA. (2012). Global anthropogenic non-CO₂ greenhouse gas emissions: 1990-2030. Repéré à <https://www.epa.gov/global-mitigation-non-co2-greenhouse-gases/global-anthropogenic-non-co2-greenhouse-gas-emissions>



Nations Unies

Conférence sur les Changements Climatiques 2015

COP21/CMP11

Paris France



Crédit photo : Arnaud Bouissou - MEDDE / SG COP21

Politique

CHANGEMENTS CLIMATIQUES : À QUOI SERVENT LES COP ?

Géraud de Lassus St-Geniès

Chargé de cours à forfait à la Faculté de droit
Université de Sherbrooke
Chargé de cours à la Faculté de droit
Université Laval

C'est un évènement qui se répète chaque année. Généralement vers la fin du mois de novembre a lieu une grande conférence des Nations Unies sur le climat : la COP. Fortement médiatisées et réunissant souvent entre 20 et 30 000 personnes, ces rencontres internationales qui s'étendent sur deux semaines sont l'occasion pour les États de faire le point sur leur action en faveur du climat et de discuter de ce qui devrait être fait pour éviter un dérèglement majeur du système climatique.

Compte tenu de la nature globale du problème des changements climatiques, l'intérêt de ces rencontres est *a priori* évident. On le sait, les changements climatiques sont causés par l'accumulation de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Or, comme ces GES peuvent être émis de n'importe où, une lutte efficace contre le dérèglement du climat suppose de développer des stratégies universelles. D'où la nécessité que la communauté internationale se réunisse pour définir de telles stratégies.

Pourtant, les COP n'ont pas si bonne presse. Leur utilité est souvent questionnée, non sans raison d'ailleurs. Voilà maintenant 25 ans que les COP se succèdent (la première COP – la COP1 –, s'est tenue à Berlin en 1995 ; la COP25 qui se tiendra à Santiago, au Chili, est donc la 25^e COP). Or, durant cette période, les concentrations de GES dans l'atmosphère n'ont cessé d'augmenter. Les expert.e.s préviennent désormais les citoyen.ne.s qu'une COP « ne sauvera pas le sort de la planète (Leblanc, 2018) et – lassitude ou cynisme – on se demande ce qu'il faut encore attendre de ces conférences où le rythme des discussions est toujours trop lent et où les résultats obtenus (souvent après des marathons diplomatiques) paraissent toujours trop peu ambitieux. Alors, à quoi ces COP peuvent-elles bien servir ?

On peut envisager la question dans un sens purement juridique, et y répondre en disant que les COP servent à faire le point sur l'application des traités internationaux sur le climat et à prendre des décisions pour en favoriser l'application effective. C'est en effet ce mandat que les États ont confié à la COP, qui est une institution qu'ils ont eux-mêmes créée. Mais se limiter à cette réponse conduirait à occulter le fond du problème, qui est de savoir en quoi réunir annuellement les États pour parler des changements climatiques est utile à la lutte contre ces changements climatiques.

Le mandat de la COP

Le terme « COP » est un acronyme anglais qui signifie *Conference of the Parties* (Conférence des Parties). Les « Parties » dont il est ici question sont les 196 États (ainsi que l'Union européenne) qui ont ratifié la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (ci-après, la « CCNUCC »). La COP est donc la réunion des membres de ce traité international, qui fut adopté en 1992 dans le but de protéger le système climatique – il s'agissait alors du premier traité international consacré à ce problème – et qui est toujours en vigueur.

Le fait que les membres de ce traité se réunissent une fois par année dans le cadre d'une COP est explicitement prévu par la CCNUCC. Cette convention définit également le mandat de la COP, qui consiste à « faire régulièrement le point de l'application de la Convention » et à prendre « les décisions nécessaires pour [en] favoriser l'application effective » (article 7.2). Pour comprendre pourquoi cette COP fut créée et investie d'une telle mission, il faut revenir sur l'approche qui fut privilégiée par les États pour élaborer la CCNUCC.

Au lieu de chercher à adopter un traité qui aurait défini, une fois pour toutes, des engagements précis en

matière de lutte contre les changements climatiques pour l'ensemble des États (ce qui de toute façon n'aurait politiquement pas été possible), les négociateurs de la CCNUCC optèrent pour une démarche plus souple et plus progressive. Celle-ci consistait à inscrire dans un traité un objectif commun, des principes directeurs ainsi qu'un ensemble d'obligations générales auxquels tous les États pourraient souscrire, et à prévoir la création d'une institution qui permettrait par la suite aux Parties de se réunir régulièrement afin de préciser le contenu de ces obligations. L'idée était qu'en instaurant un processus de négociation continu, les États pourraient plus facilement tenir compte de l'évolution des connaissances scientifiques et technologiques, trouver des terrains d'entente pour surmonter leurs divergences et progresser ainsi dans la lutte contre les changements climatiques.

Selon cette approche, la CCNUCC énonce donc un objectif commun (« stabiliser [...] les concentrations de gaz à effet de serre à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique » ; article 2), des principes destinés à guider l'action collective (dont le principe des responsabilités communes et différenciées ; article 3) et un ensemble d'obligations à destination des Parties (article 4). Ces obligations consistent par exemple à : préparer un inventaire national des émissions de GES ; prendre des mesures d'atténuation ; décrire ces mesures dans un rapport ; ou encore, en ce qui concerne les pays développés, fournir des ressources financières et technologiques aux pays en développement. Ces obligations étant formulées en des termes généraux, la CCNUCC prévoit une COP afin que les Parties puissent en détailler le contenu et en préciser les modalités d'application.

Ainsi, la fonction de la COP consiste d'abord et avant tout à rendre opérationnelles les obligations qui sont énoncées dans la CCNUCC. Ce sont donc des décisions de la COP qui définissent : la méthodologie à suivre pour préparer les inventaires nationaux de GES ; les informations à mentionner dans les rapports décrivant les mesures d'atténuation mises en place par les Parties ; les procédures relatives à l'examen de ces rapports et des inventaires de GES (qui doivent être transmis à la COP) ; ou la façon dont les pays développés peuvent transférer des ressources financières et technologiques aux pays en développement.

Sur tous ces aspects, la COP adopte régulièrement des décisions qui représentent en quelque sorte les règlements d'application de la CCNUCC. Ces décisions peuvent aussi lancer des programmes de travail sur des thématiques données et créer de nouveaux organes (par exemple pour administrer un fonds ou un programme de travail). La COP dispose en effet du pouvoir de créer des organes subsidiaires (il y en a aujourd'hui une dizaine) qui

relèvent de son autorité. À ce titre, elle est aussi amenée à prendre des décisions concernant la gestion de ces organes (approbation des rapports d'activité, adoption de directives à leur intention, questions financières).

Le rôle la COP ne se limite toutefois pas à ces fonctions. Qualifiée d'« organe suprême » de la CCNUCC [article 7.1], elle est compétente pour adopter des décisions sur toute question que les Parties pourraient juger pertinent d'aborder pour atteindre l'objectif de ce traité. Ce qui, compte tenu de la transversalité du problème du climat, signifie que la COP peut adopter des décisions sur à peu près tous les sujets. Au cours des dernières années, elle a par exemple mis en place un plan d'action en faveur de l'égalité des sexes, lancé une plateforme pour promouvoir les connaissances des communautés locales et des peuples autochtones dans le domaine du climat et initié un programme de travail sur les liens entre agriculture et changements climatiques. Les sujets couverts par la COP sont donc extrêmement variés et il n'existe aucune limite quant au nombre de décisions qui peuvent être adoptées (depuis 1995, la COP en a adopté plus de 470).

Plus important encore, la COP est compétente pour examiner le caractère adéquat des engagements contractés par les Parties et élaborer d'autres traités internationaux contenant de nouveaux engagements. C'est ainsi qu'en 1995, la COP1 décida d'ouvrir des négociations qui menèrent, en 1997, à l'adoption du Protocole de Kyoto par la COP3. De même, en 2011, la COP17 adopta un mandat de négociation qui se termina en 2015 avec l'adoption de l'Accord de Paris par la COP21. Ces deux traités sur le climat, qui sont venus compléter la CCNUCC, ont ainsi été négociés dans le cadre de la COP (au sein d'organes subsidiaires). Ils ne lient cependant que les États qui les ont ratifiés et ne s'imposent donc pas automatiquement à tous les membres de la CCNUCC.

La particularité du Protocole de Kyoto et de l'Accord de Paris est qu'ils possèdent chacun leur propre conférence des Parties. Cela s'explique par le fait que ces traités ont été élaborés selon la même approche qui avait été retenue pour développer la CCNUCC. La conférence des Parties au Protocole de Kyoto est désignée par l'acronyme CMP. Celle de l'Accord de Paris est désignée par l'acronyme CMA. La CMP et la CMA remplissent, à l'égard du Protocole de Kyoto (article 13) et de l'Accord de Paris (article 16), respectivement les mêmes fonctions que la COP remplit à l'égard de la CCNUCC. Leur rôle principal consiste donc à adopter des décisions pour préciser les modalités de mise en œuvre des dispositions du Protocole de Kyoto et de l'Accord de Paris.

La COP, la CMP et la CMA ont chacune leur propre ordre du jour et adoptent uniquement des décisions qui se

rapportent au traité qui a prévu leur création. Cependant, les sessions de la CMP et de la CMA se tiennent durant les deux semaines au cours desquelles la COP se réunit. Une conférence des Nations Unies sur le climat n'est donc pas, à proprement parler, juste une « COP ». Il s'agit en fait de la réunion de trois conférences des Parties : celles de la CCNUCC (197 Parties), celles du Protocole de Kyoto (192 Parties) et celles de l'Accord de Paris (185 Parties). Ainsi, la prochaine conférence sur le climat qui aura lieu à Santiago sera la réunion de la COP25, de la CMP15 et de la CMA2.

L'utilité des COP

On a vu que les COP servent à permettre aux membres de la CCNUCC de prendre des décisions pour favoriser l'application effective de ce traité. Seulement, cette fonction correspond uniquement au mandat qui a été confié à la COP par les États. Or, on peut aussi s'interroger sur l'utilité de réunir annuellement la communauté internationale pour discuter des changements climatiques, et se demander si les COP aident réellement à résoudre le problème du climat.

Certes, les COP n'ont jusqu'à présent pas permis d'endiguer la crise climatique. Mais leur utilité reste bien réelle. D'abord, elles amènent les États à se pencher sur des questions qui sont essentielles pour lutter contre les changements climatiques (par exemple : comment rehausser le niveau d'ambition des politiques nationales ? Comment transférer des ressources financières et technologiques ? Comment renforcer les capacités dans les pays les moins avancés ? Comment s'assurer que chacun fasse bien ce qu'il a dit qu'il ferait ? Comment éviter que les engagements ne soient pas respectés ?). Bien sûr, les réponses que les États apportent à ces interrogations ne sont pas forcément satisfaisantes. La règle consistant à ce que toutes les décisions de la COP se prennent par consensus conduit très souvent à des blocages ou à des compromis à minima. On se doute bien que les 197 Parties qui participent aux COP n'ont pas toutes la même conception de ce que devrait être la lutte contre les changements climatiques.

Mais des réponses imparfaites et un dialogue continu sont quand même plus utiles qu'une absence totale de réponse et un silence de la communauté internationale. Sans compter que la portée des décisions qui sont adoptées par la COP (ou la CMP ou la CMA) ne doit pas être sous-estimée. Sinon, les États (et notamment ceux qui sont les plus réfractaires à l'action) n'accorderaient pas autant d'attention à leur élaboration. En indiquant ce que les Parties doivent, devraient ou peuvent faire, ces décisions fixent des balises (et même parfois des règles)

qui indiquent dans quel sens agir, ce qui facilite la mise en place des politiques climatiques nationales. De plus, elles forment une légalité internationale qui permet de renforcer la légitimité de ces politiques nationales lorsqu'elles s'y conforment, mais aussi d'évaluer l'action des États par rapport à des standards internationaux sur lesquels la communauté internationale s'est entendue. La critique consistant à dire qu'un État ne respecte pas les règles internationales sur le climat est toujours percutante. Mais encore faut-il que ces règles existent.

Ensuite, les COP permettent de rappeler à chacun l'urgence et la nécessité d'agir pour protéger le climat. Ces rencontres constituent ainsi un espace où les gouvernements sont interpellés sur leur action, tant par leurs pairs que par la société civile (très présente, bien organisée et extrêmement mobilisée durant les COP), et où peut donc s'exercer une certaine pression sur les États pour qu'ils intensifient leurs efforts. L'importance de cet aspect ne doit pas, là aussi, être sous-estimée. Car les COP attirent l'attention médiatique et, quoi qu'on en dise, la plupart des États sont soucieux de l'image qu'ils projettent sur la scène internationale. De façon plus pragmatique, les COP sont aussi l'occasion pour les États de prendre la mesure des efforts que chacun réalise. Cet exercice est essentiel car beaucoup d'entre eux ne sont prêts à agir que s'ils ont l'assurance que leurs voisins en feront de même.

L'utilité des COP tient encore à ce qu'elles donnent une visibilité à de nouveaux enjeux de la lutte contre les changements climatiques (comme l'importance de mobiliser les savoirs traditionnels ou d'intégrer une perspective féministe dans les politiques nationales, les femmes étant plus vulnérables aux effets néfastes des changements climatiques dans beaucoup de pays). Les COP permettent ainsi d'impulser de nouvelles dynamiques dans la prise en charge du problème du climat, lesquelles reflètent l'évolution des connaissances scientifiques et des préoccupations de la société internationale. Plus généralement, les COP sont des espaces où circule une quantité très importante d'information et où s'opère un échange de connaissances et de bonnes pratiques entre les États, les ONG, les entreprises et les scientifiques.

Que ce soit pour permettre la construction de règles communes, maintenir une pression sur les États, rassurer les gouvernements sur le fait qu'ils ne sont pas seuls à agir, favoriser l'échange d'information ou stimuler la mobilisation de la société civile, les COP sont donc essentielles pour progresser dans la lutte contre les changements climatiques.

Cela dit, comme ces progrès restent pour l'instant très relatifs – rappelons que les émissions de GES mondiales continuent d'augmenter – on peut se demander si l'utilité

des COP ne tient pas aussi à ce qu'elles permettent de donner une impression de progrès. Puisque lors des COP les États adoptent des règles, lancent des programmes de travail et trouvent des consensus, on ne peut nier qu'ils agissent et « progressent » dans leur action. Mais que ces progrès sur le plan diplomatique se traduisent par des progrès tangibles sur le plan des réductions des émissions de GES est autre chose. Pour désigner ce décalage entre l'univers des COP et le monde réel, certains auteurs évoquent ainsi un « schisme de réalité » (Aykut, Dahan, 2014). Et on comprend l'importance de ce schisme lorsque l'on constate, par exemple, que les enjeux énergétiques (pourtant centraux dans la résolution du problème du climat) ne sont jamais discutés lors des COP, ou encore lorsque l'on observe les États passer plus d'une heure à savoir si telle question devrait plutôt être discutée dans le cadre d'un « atelier » ou d'une « table-ronde », pour les voir finalement convenir qu'il n'y aucune différence entre les deux formules... Dire que les COP sont essentielles à la lutte contre les changements climatiques n'enlève rien au fait que les discussions qui se tiennent lors de ces rencontres apparaissent parfois hors-sol et totalement déconnectées de ce qu'est le problème du climat et de l'urgence qu'il y a à le résoudre.

Conclusion

A quoi sert la COP ? Conçue à l'origine comme un organe chargé de favoriser l'application effective de la CCNUCC, la COP représente aujourd'hui bien plus que cela. Elle est l'institution centrale, mais aussi le centre d'impulsion, de la gouvernance du climat. Par son rôle structurant et dynamisant, elle permet de faire « vivre » la lutte contre les changements climatiques. Certes, le système des COP a ses limites (lourdeur et lenteur du processus, diversité et complexité des questions abordées, règle du consensus, déconnection de certaines réalités...) et on ne peut s'étonner que son efficacité toute relative ait alimenté un certain désenchantement à l'égard de ces grandes conférences des Nations Unies sur le climat. Mais aussi légitime qu'il soit, on prendra garde tout de même à ce que ce désenchantement n'aille pas jusqu'à remettre en cause la nécessité du dialogue multilatéral. Car sur une question aussi vitale et globale que celle des changements climatiques, qui peut prétendre qu'il serait réellement mieux de n'avoir aucun processus de coopération impliquant tous les États ?

Aykut, S.C. et Dahan, A. (2014). *Gouverner le climat ? : vingt ans de négociations internationales*. Paris, France : Presses de la Fondation nationales des sciences politiques.

Leblanc, É. (2018, 3 décembre). La COP24, ça sert à quoi ? *Ici Radio-Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1139141/environnement-cop24-changements-climatiques>



Politique

LE CHANT DES SIRÈNES ET LA POLITIQUE ÉTRANGÈRE CANADIENNE SUR LE CLIMAT

BILAN DU GOUVERNEMENT TRUDEAU

Annie Chaloux

Professeure à l'École de politique appliquée
Université de Sherbrooke

**« *Canada is back my friend,
and we are here to help.* »**

Telle était la phrase lancée par le nouveau premier ministre Justin Trudeau à son arrivée à la 21^e Conférence des Parties (CdP-21) à Paris en 2015. Les attentes étaient fortes, tant sur le territoire canadien que sur la scène internationale : on pouvait légitimement anticiper une nouvelle politique étrangère canadienne à l'égard du climat qui soit plus engagée dans la lutte contre les changements climatiques. Le rôle constructif alors joué par la nouvelle ministre de l'Environnement, Catherine McKenna, dans le dernier droit permettant d'accoucher de l'Accord de Paris en 2015, mais aussi le discours et, plus largement, l'attitude générale du nouveau gouvernement canadien sur cette question avait généré son lot d'espoir dans la lutte globale contre les changements climatiques. Quatre années ont passé, et il devient pertinent de s'interroger sur ce retour annoncé du Canada face aux changements climatiques sur la scène internationale. Plus concrètement, quel bilan pouvons-nous faire de la politique étrangère canadienne à l'égard du climat à l'aube de l'élection fédérale qui approche à grands pas?

La politique canadienne sur le climat : un enjeu à la fois local et international

Il demeure très difficile, voire impossible, d'analyser la politique des changements climatiques en faisant abstraction des enchevêtrements entre l'interne et l'international. On ne peut donc pas dissocier la politique étrangère des politiques publiques intérieures, puisque la crédibilité et le respect des engagements internationaux du Canada dépendent des actions prises à l'interne, et inversement. Pourtant, le fédéralisme canadien n'offre pas de réponse claire quant au partage des compétences sur les changements climatiques, puisque les deux ordres de gouvernement peuvent agir à partir de leurs compétences respectives (Bélanger, 2011; Harrison, 2007). Cela crée un contexte où les décisions relatives aux politiques climatiques canadiennes sont parfois prises par le fédéral – pensons par exemple au cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques de même qu'à sa mesure la plus connue qui est la tarification carbone –, mais aussi, et la plupart du temps, par les provinces, ou même les villes. Par conséquent, une transformation réelle, tangible et crédible du rôle du Canada sur la scène internationale doit s'appuyer sur des décisions et des actions concrètes de la plupart des acteurs infraétatiques. Autrement, la politique étrangère canadienne ne restera qu'au stade du discours politique et de la rhétorique.

C'est justement ce qu'avait promis le chef du Parti libéral pendant sa campagne électorale en 2015. Celui-ci s'engageait notamment à se présenter à la Conférence de Paris sur le climat avec les provinces canadiennes et à établir, avec elles, un cadre pancanadien sur le climat, mais aussi, et surtout, de rétablir la réputation du Canada sur la scène internationale (Leblanc, 2015).

Les premières tentatives fédérales de réguler le climat

Dès l'arrivée au pouvoir du gouvernement Trudeau, celui-ci a entrepris de nombreuses démarches afin de respecter ses engagements pris en campagne électorale. Sur la scène internationale, le gouvernement Trudeau s'est rapidement distancié du discours et des politiques des Conservateurs, qualifiés par plusieurs d'obstructionnistes (Chaloux,

Quelques compétences constitutionnelles clefs face aux changements climatiques

FÉDÉRAL

- ✓ RÉGLEMENTATION DES QUESTIONS DE NATURE INTERPROVINCIALE
- ✓ PAIX, ORDRE ET BON GOUVERNEMENT
- ✓ LA RÉGLEMENTATION DU TRAFIC ET DU COMMERCE
- ✓ LOI CRIMINELLE

PROVINCES

- ✓ LA PROPRIÉTÉ ET LES DROITS CIVILS
- ✓ LES INSTITUTIONS MUNICIPALES
- ✓ RESSOURCES NATURELLES NON RENOUVELABLES ET FORESTIÈRES
- ✓ LES MATIÈRES DE NATURE PUREMENT LOCALE OU PRIVÉE

2014; Fauteux, 2015). Cela s'est d'abord concrétisé par l'adoption d'une approche constructive dans les négociations internationales sur le climat. Quelques semaines seulement après l'élection fédérale se tenait la 21^e CdP qui se déroulait à Paris. Le gouvernement canadien s'y est présenté avec une attitude fort différente du gouvernement qui l'avait précédé. Il s'est d'ailleurs engagé à fournir une aide financière aux pays en développement de 2,65 milliards de dollars d'ici 2020, afin de permettre « la transition vers des économies à faibles émissions de carbone qui sont à la fois durables et plus résilientes » (Gouvernement du Canada, 2015). Aussi, lors de la CdP-21, la nouvelle ministre de l'Environnement a appuyé de nombreuses positions très progressistes, notamment sur la question de la limitation des températures de 1,5°C, sur la reconnaissance des savoirs autochtones et sur la question du genre (Maciunas et Saint-Geniès, 2018). Cette confiance retrouvée envers le Canada a même poussé le président de la Conférence à nommer la ministre canadienne comme facilitatrice, à un moment alors critique de cette importante négociation onusienne (Chaloux, 2017).

Il n'en demeure pas moins que sur certains aspects des négociations internationales à ce moment et depuis, le gouvernement Trudeau est demeuré prudent, voire conservateur. Sur la contribution en termes de réduction d'émissions de GES, il a maintenu celle proposée par le gouvernement précédent, soit une réduction de 30% sous les niveaux de 2005 et n'a jamais renforcé celle-ci dans les négociations qui ont suivi. Il est également demeuré réfractaire à ce que l'atteinte des cibles de réduction des émissions de GES inscrites à l'Accord de Paris soit juridiquement obligatoire pour chaque État (Ljunggren, 2015). Le faible intérêt du Canada envers une possible compensation des pays développés envers les pays en développement concernant la question des pertes et des dommages découlant des changements climatiques montre aussi l'attitude plus conservatrice du gouvernement.

Dans les négociations internationales, les pertes et les dommages désignent des impacts considérés comme irréversibles et permanents dus aux changements climatiques et que les stratégies d'adaptation ne permettent pas d'éviter. Ces pertes et dommages peuvent découler de phénomènes météorologiques extrêmes, comme des inondations, des sécheresses et des ouragans, mais peuvent aussi être le résultat de phénomènes de plus longue durée (salinisation des terres et de l'eau, hausse du niveau des mers, érosion des sols, etc.). Ce sont généralement surtout les pays en développement – les plus vulnérables – qui en sont victimes, alors que ce sont eux qui ont le moins contribué au problème des changements climatiques.

Du côté des relations intergouvernementales canadiennes, on peut observer là aussi un changement de ton et d'attitude par rapport au gouvernement antérieur. En effet, de retour de la Conférence de Paris et conformément à une promesse électorale, le gouvernement Trudeau convoque une rencontre à Vancouver avec tous les premiers ministres des provinces et territoires afin de mettre en place un processus de collaboration intergouvernementale sur la question du climat. On adopte alors la Déclaration de Vancouver sur la croissance propre et les changements climatiques. Cette dernière vise à renforcer le niveau d'ambition sur la question des changements climatiques ainsi qu'à atteindre les objectifs climatiques internationaux du Canada et place la tarification carbone comme l'un des instruments privilégiés pour atteindre nos cibles d'émissions de GES.

En décembre 2016, le Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques est rendu public. La plupart des provinces (à l'exception de la Saskatchewan et du Manitoba à ce moment) et le

fédéral s'entendent alors pour mettre en place une série de mesures qui permettrait de réduire les émissions de GES, dont la tarification carbone. Les provinces ont alors le choix d'opter pour leur propre système (en mettant en place soit un marché du carbone, soit une taxe, qui, dans les deux cas, doit respecter certains critères fixés par le fédéral), ou de se voir imposer un modèle de tarification carbone défini par Ottawa. Qui plus est, le cadre pancanadien accroît également le rôle joué par le gouvernement fédéral, notamment par l'octroi d'investissements supplémentaires dans les infrastructures vertes et la transition économique. Ce plan, à long terme, est donc ambitieux, et témoigne d'une collaboration sans précédent par l'ensemble des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, par rapport aux tentatives précédentes (Chaloux, 2014).

Cependant, la collaboration intergouvernementale entre le fédéral et les provinces n'a pas duré. Les changements de gouvernements dans plusieurs provinces ont eu raison du quasi-consensus pancanadien. Aujourd'hui, l'Alberta, la Saskatchewan, le Manitoba, l'Ontario et le Nouveau-Brunswick ont tous appuyé les démarches de contestation judiciaire de la taxe carbone fédérale, entreprises par la Saskatchewan et l'Ontario, et entendent porter en appel la décision récente rendue dans cette affaire par la Cour d'appel de la Saskatchewan, en faveur d'Ottawa. Les tensions sont donc vives au pays sur la régulation de cette problématique. Pendant ce temps, et malgré les contestations, la tarification du carbone prévue par Ottawa s'applique déjà et continuera de s'appliquer à moins d'une décision contraire de la Cour suprême du Canada.

Pendant ce temps, en octobre 2016, le gouvernement procède à la ratification de l'Accord de Paris, qui entrera en vigueur en novembre 2016. Le Canada continuera de participer activement aux Conférences des Parties, mais peu à peu, certaines voix s'élèvent pour dénoncer le double discours du gouvernement canadien, notamment sur la question énergétique et des sables bitumineux, et le respect, quasi-impossible, de ses engagements internationaux face à la réduction de ses émissions de GES. Notamment, dans un rapport publié en novembre 2018, intitulé *Climate Transparency*, un *think tank* international très reconnu, on indique que non seulement la contribution du Canada à la réduction des émissions de GES demeure insuffisante face aux objectifs de l'Accord de Paris, mais surtout, que ce dernier n'atteindra probablement pas son objectif de réduction d'émissions prévu pour 2030 (Climate Transparency, 2018). Ainsi, non seulement l'objectif du Canada dans la lutte contre les changements climatiques est considéré peu ambitieux, mais la possibilité d'atteindre ces objectifs demeure faible, et ce, même avec l'adoption du Cadre pancanadien. Le bilan dressé sur le Canada face à la lutte

globale contre les changements climatiques n'est donc pas si reluisant, quatre ans après l'arrivée des libéraux au pouvoir.

Le chant des sirènes : le problème du pétrole des sables bitumineux

L'aspect probablement le plus problématique dans le bilan du gouvernement Trudeau sur la question du climat concerne les ressources pétrolières, et plus particulièrement celles provenant des sables bitumineux, qui minent, d'une part, la crédibilité du pays sur la scène internationale, et qui, d'autre part, contribuent à exacerber les tensions entre les gouvernements des provinces et du fédéral.

Sur la scène internationale, si le gouvernement Trudeau s'est engagé, lors du G20 et lors du Sommet des leaders nord-américains en 2016, à mettre fin aux subventions octroyées aux combustibles fossiles d'ici 2025, il ne semble qu'aucune action concrète n'ait été prise en ce sens dans les dernières années, comme en témoigne le rapport du vérificateur général du Canada en 2017 et le récent rapport du FMI, paru en mai 2019 (Coady, Le Parry, Nghia-Piotr et Shang, 2019). L'exemple le plus éloquent de ce manque de cohérence est le financement d'infrastructures permettant l'accroissement du secteur des sables bitumineux comme le rachat de l'oléoduc Trans Mountain à l'été 2018. Le gouvernement Trudeau se trouve donc dans un contexte de double discours, qui nuit considérablement à la crédibilité du Canada sur la scène internationale.

Toujours en regard de la question pétrolière, le gouvernement fédéral n'a pas su se distancier du « chant des sirènes », et opter pour des politiques publiques qui limiteraient la production d'hydrocarbures au pays. En effet, son appui à la production de pétrole provenant des sables bitumineux (de l'Alberta et de la Saskatchewan), pourtant gravement polluante, certes en termes d'émissions de GES, mais aussi en termes de qualité de l'air, de l'eau, des sols et de composés toxiques résiduels, va à l'encontre des objectifs de lutte contre les changements climatiques. En augmentation, la production de GES générée par cette industrie dépasse maintenant les émissions du Québec, soit 81 Mt en 2017 (Gouvernement du Canada, 2019) et de ce fait, l'accroissement de la production de pétrole issu des sables bitumineux annule les réductions d'émissions produites ailleurs au pays, ce qui nous éloigne constamment des cibles et engagements canadiens en termes de réduction d'émissions.

En somme, la politique climatique du gouvernement Trudeau démontre que celui-ci est encore trop sensible au « chant des sirènes » pour amorcer la transition qui permettrait au Canada de respecter ses engagements internationaux, mais aussi de redorer véritablement le blason canadien sur la scène internationale. Quoi qu'il en soit, un premier virage a tout de même été amorcé depuis l'arrivée du gouvernement Trudeau au pouvoir sur cette question avec, entre autres, l'instauration de son système de tarification carbone. Il est clair que la communauté internationale suivra de près la prochaine campagne électorale et les engagements des principaux partis politiques canadiens sur cette question.

Bélanger, A. (2011). Canadian federalism in the context of combating climate change. *Const. F.*, 20, 21.

Chaloux, A. (2014). Promesses enterrées : l'évolution de la politique climatique du Canada à l'ère des Conservateurs. *Canadian Foreign Policy Journal*, 20(1), 96-106. doi:10.1080/11926422.2014.906359

Chaloux, A. (2017). Le retour du Canada dans les négociations climatiques internationales ? *France Forum*, (65), 64-66. Repéré à <https://www.institutjeanlecanuet.org/content/le-retour-du-canada-dans-les-negociations-climatiques-internationales>

Climate Transparency. (2018). *Brown to Green. The G20 Transition to a low-carbon economy 2018* (p. 43). Climate Transparency. Repéré à <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2019/01/2018-BROWN-TO-GREEN-REPORT-FINAL.pdf>

Coady, D., Le Parry, I., Nghia-Piotr, L. et Shang, B. (2019). *Global Fossil Fuel Subsidies Remain Large: An Update Based on Country-Level Estimates* (IMF Working Paper no WP/19/89) (39 p.). Fonds monétaire international. Repéré à <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2019/WPIEA2019089.ashx>

Fauteux, P. (2015, 23 décembre). Accord de Paris sur le climat : Le retour en grâce du Canada. *CMKZ*. Repéré 5 juin 2019, à <http://cmkz.ca/accord-de-paris-sur-le-climat-le-retour-en-grace-du-canada/>

Gouvernement du Canada. (2015). Le premier ministre annonce un soutien pour le financement de la lutte contre les changements climatiques | Premier ministre du Canada. Repéré 5 juin 2019, à <https://pm.gc.ca/fra/nouvelles/2015/11/27/premier-ministre-annonce-soutien-financement-de-la-lutte-contre-les-changements-climatiques>

Gouvernement du Canada. (2019). *National Inventory Report 1990-2017: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada*. Environnement et Changement climatique Canada.

Harrison, K. (2007). The road not taken: Climate change policy in Canada and the United States. *Global Environmental Politics*, 7(4), 92-117.

Leblanc, É. (2015, 20 octobre). Les promesses de Justin Trudeau en matière d'environnement. *Ici Radio-Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/745284/elections-justin-trudeau-promesses-environnement-changements-climatiques-paris>

Ljunggren, D. (2015, 27 novembre). Carbon-reduction targets shouldn't be legally binding, Canada says, backing U.S. approach | CBC News. *CBC News*. Repéré 5 juin 2019, à <https://www.cbc.ca/news/politics/cop21-canada-climate-change-deal-1.3341423>

Maciunas, S. et Saint-Geniès, G. de L. (2018). *The Evolution of Canada's International and Domestic Climate Policy: From Divergence to Consistency?* (no 21). Centre for International Governance Innovation.

LE DÉFI DE LA LUTTE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES À L'ÉPREUVE DES CONSERVATEURS CANADIENS (2002-2019)

Frédéric Boily

Professeur en science politique
Université de l'Alberta

L'Ouest canadien représente un enjeu majeur pour les politiques canadiennes de lutte aux changements climatiques. L'importance de l'exploitation pétrolière en Alberta et la production de gaz à effet de serre (GES) qui en résulte sont d'une telle importance que le Canada atteindra difficilement les objectifs qu'il s'est donnés lors de la COP 21 à Paris. Le Canada s'est en effet engagé à réduire ses émissions de 30% entre 2005, année de référence, et 2030. Or les émissions de GES ont augmenté, en Alberta, de 18 % entre 2005 et 2017, essentiellement en raison du secteur de l'énergie : « L'augmentation de 43 Mt des émissions produites par la consommation de combustibles dans le secteur de l'extraction de pétrole et de gaz s'explique par une hausse de 158 % de l'extraction de bitume et de pétrole brut synthétique des sables bitumineux canadiens depuis 2005. » (Gouvernement du Canada, 2019) Rappelons que si l'Alberta totalise 12 % de la population canadienne, elle produit 40 % des émissions de GES au pays (Tombe, 2018). On comprend alors que cette province soit devenue une préoccupation majeure pour le gouvernement canadien dans l'atteinte de ses objectifs de réduction fixés à Paris.

Heureusement pour le gouvernement fédéral, la lutte aux changements climatiques s'était aussi imposée, en Alberta, comme une priorité du gouvernement provincial néodémocrate de Rachel Notley (2015-2019), et ce, même si l'appui à la construction du pipeline *Trans Mountain* a pu laisser croire le contraire. Avant d'analyser les mesures néodémocrates, il est indispensable de rappeler le contexte qui a précédé l'arrivée de ce gouvernement au pouvoir en mai 2015. Ce rappel permettra de comparer son approche avec celle des gouvernements conservateurs provinciaux, tout comme de voir que le nouveau gouvernement du Parti conservateur uni (PCU) de Jason Kenney renoue avec l'approche qui prévalait avant 2015.

L'approche conservatrice : de la lutte contre Kyoto à la séquestration (2002-2015)

Avant 2015, les efforts du gouvernement conservateur provincial albertain se limitaient à peu de choses en matière de lutte aux changements climatiques. Rappelons que les conservateurs de Ralph Klein (1993-2006) étaient parmi les premiers à s'opposer au protocole de Kyoto. C'est ainsi que les conservateurs ont utilisé des fonds du gouvernement (1,5 million de dollars) pour faire entendre leur profond

mécontentement à l'égard de ce protocole endossé par le gouvernement libéral de Jean Chrétien, une position que le premier ministre Klein décrivait comme une « très agressive action défensive » (CBC News, 2002). À vrai dire, les conservateurs de Klein n'avaient pratiquement rien de bien concret à présenter même s'ils avaient fait adopter un plan (*The Climate Change and Emissions Management Act*, novembre 2003) qui proposait de réduire de 50 % les émissions d'ici 2020. Le but était toutefois de préserver la compétitivité du secteur énergétique avec des mesures peu contraignantes et qui tablaient sur des avancées technologiques. C'est essentiellement la même logique qui a prévalu par la suite avec le nouveau premier ministre conservateur, Ed Stelmach (2006-2011).

La principale mesure du gouvernement de Stelmach était celle du captage et de la séquestration du carbone dans le sol. À cette fin, on a annoncé, en 2008, la création d'un fonds de deux milliards de dollars destiné à favoriser les projets de séquestration ainsi que deux autres milliards pour des projets de transports publics. Le gouvernement estimait alors que les projets de séquestration pourraient réduire de 5 millions de tonnes annuellement les émissions (*Alberta surges ahead with climate change action plan*, juillet 2008). Ce même gouvernement avait aussi annoncé une taxe de 15\$ la tonne pour les entreprises dont les émissions étaient au-dessus de 100 000 tonnes par année. Refusant d'emprunter les chemins de la taxation carbone pour tous les consommateurs et les producteurs, ou encore de joindre une bourse du carbone comme l'ont fait d'autres provinces, les conservateurs croyaient que des solutions technologiques provenant du secteur privé permettraient de réduire les émissions de GES de l'industrie pétrolière et rendraient acceptable l'empreinte environnementale de la province.

Or, dès 2012, le vérificateur général de l'Alberta affirmait qu'il n'était pas possible de savoir si le gouvernement avait pu atteindre ses objectifs de réduction de 20 mégatonnes en 2010 (Saher, 2012). En fait, en 2015, il ne restait que deux projets de captation en cours et le fonds de 2 milliards avait été réduit à 1,3 milliard. Si le vérificateur général se gardait d'émettre des conclusions définitives, on pouvait néanmoins affirmer, comme le concluait un journaliste au terme d'une enquête fouillée, qu'il s'agissait d'un échec des politiques conservatrices pour freiner les changements climatiques (Thomson, 2015). En somme, la confiance envers les solutions technologiques était trop grande au regard des résultats obtenus. Par la suite, les gouvernements conservateurs d'Alison Redford, de Dave Hancock et de Jim Prentice annonçaient un nouveau plan qui n'a jamais vu le jour.

Le plan de lutte contre les changements climatiques des néodémocrates (2015-2019)

Lorsque les néodémocrates provinciaux ont remporté l'élection générale de mai 2015, ils ont pris des actions qui, dans le contexte albertain, juraient fortement avec celles des conservateurs. Au contraire de ces derniers qui répétaient que les émissions de GES en provenance de l'Alberta étaient insignifiantes, les néodémocrates reconnaissaient la nécessité, du point de vue de l'industrie même, que le gouvernement améliore le bilan environnemental de la province.

Six mois après son arrivée au pouvoir, le gouvernement néodémocrate dévoilait son *Climate Leadership Plan* (novembre 2015). Notons que le dévoilement du plan a été fait en présence de quelques dirigeants des plus importantes compagnies pétrolières (*Suncor*, *Shell* et *Canadian Natural Resources Ltd* par exemple) ainsi que des leaders environnementaux et autochtones. Cette présence indiquait que le gouvernement néodémocrate était parvenu à obtenir l'appui d'acteurs clés, tant économiques que sociaux ou encore des Premiers Peuples, lui assurant ainsi une certaine légitimité auprès des électeur.rice.s. Le plan était ambitieux à défaut d'être radical puisqu'il prévoyait de fermer 18 centrales, d'ici 2030, qui produisent de l'électricité au charbon et de les remplacer par de la production d'électricité avec des énergies renouvelables (30 %), le reste étant produit grâce au gaz naturel; il faut savoir qu'à ce moment, 55 % de l'électricité produite en Alberta dépendait de polluantes centrales au charbon. Le plan prévoyait également une taxation du carbone, d'abord à 20 \$ la tonne en 2017, et de 30 \$ par la suite avec des augmentations pour les années subséquentes en conformité avec le plan fédéral. En décembre 2016, le gouvernement néodémocrate mettait aussi un plafond de 100 mégatonnes d'émissions de GES par année pour l'industrie pétrolière (*Oil Sands Emissions Limit Act*). L'ensemble des mesures lançait clairement le message que la province albertaine avait un rôle important à jouer dans la lutte aux changements climatiques. Surtout, le gouvernement néodémocrate adoptait la même approche que le gouvernement libéral de Justin Trudeau qui venait d'être porté au pouvoir.

Certes, l'adoption de ces mesures répondait aussi à des objectifs économiques, car l'image publique des sables bitumineux avait été ternie tant aux États-Unis qu'en Europe, rendant ainsi difficile la poursuite des projets de développement (Boily, 2012). Délaissant les campagnes

de relations publiques conservatrices, les néodémocrates ont donc choisi d'adopter des politiques qui, comme nous l'avons vu plus haut, lançaient un double message : le premier, que le gouvernement albertain était sérieux dans la lutte aux changements climatiques, le second, que les nouvelles normes environnementales rendaient acceptables la poursuite du développement de l'industrie. Malheureusement pour le gouvernement néodémocrate, les difficultés économiques rencontrées par la province à partir de la récession de 2016 sont venues saboter la légitimité des mesures, lesquelles sont devenues largement impopulaires.

En effet, la baisse des prix du pétrole, les difficultés rencontrées par les producteurs pour exporter le pétrole sur les marchés extérieurs, les retards dans la construction du *Trans Mountain* et un fort taux de chômage, notamment du côté de Calgary, ont produit un profond ressac contre l'ensemble des propositions environnementales du gouvernement. C'est ainsi que l'on a assisté à une véritable révolte contre la tarification du carbone non seulement au sein des troupes conservatrices, mais aussi dans une grande partie de l'électorat albertain, surtout dans les régions.

L'arrivée des conservateurs unis (2019)

Lors de la campagne électorale d'avril 2019, la lutte aux changements climatiques n'était nullement une priorité du parti de Jason Kenney. Cela dit, il faut noter un changement avec les conservateurs unis qui reconnaissent l'influence humaine dans les changements climatiques : « Le monde est aux prises avec la tension entre nos besoins pour des industries énergétiques basées sur le carbone (*carbon-based energy industry*) et le consensus que les émissions contribuent directement aux changements climatiques. » (United Conservatives, 2019, p. 34) Cet extrait du programme montre que les conservateurs cherchent stratégiquement à se dissocier de l'image de climatosceptiques qui collait au défunt parti politique *Wild Rose* (dont la chef avait mentionné que la science était encore incertaine à propos des changements climatiques), et qui s'est fusionné, en 2017, avec les progressistes conservateurs pour donner naissance au Parti conservateur uni.

Mais là s'arrêtent les changements qui relèvent de l'image, et non de l'attitude, le chef du PCU ayant constamment affirmé qu'il démantèlerait les mesures proposées par les néodémocrates avant lui. D'ailleurs, le premier projet de loi du gouvernement a été d'abolir la taxe carbone dès le mois de juin 2019. En fait, la question des changements climatiques occupe une place très

mineure dans leur programme, le terme climat étant parfois pris dans le sens économique du terme, celui du « climat d'investissement » (*climate investment*) (United Conservatives, 2019, p. 32).

Avec le gouvernement conservateur uni de Jason Kenney, on assiste au retour à l'attitude pré-2015, soit celle voulant que les efforts albertains en matière de lutte aux changements climatiques ne doivent nuire ni à l'économie, ni au secteur énergétique. Il revient également à l'esprit des propositions qui prévalaient antérieurement au sein de la grande famille conservatrice, celle des solutions technologiques avec le *Technology Innovation and Emissions Reductions* (TIER), un système qui, à partir du 1^{er} janvier 2020, demandera aux grands émetteurs de contrôler leurs émissions de GES : « *Under this new system, existing facilities with emissions above 100,000 tonnes of carbon dioxide (or equivalent), other than electricity generators, will have to meet an emissions performance target of reducing their emissions intensity by 10% (increasing by 1% per year) compared to their average performance between 2016 and 2018.* » (United Conservatives, 2019, p. 34.) Toutefois, il s'agit de l'intensité des émissions et non pas de réductions nettes, sans compter que le programme conservateur en dit peu sur l'arrêt, pour 2030, de la production d'électricité au charbon prévu par les néodémocrates, qui constituait un élément central pour réduire les émissions albertaines. Au total, ce n'est pas que les conservateurs unis n'ont pas de plan; c'est plutôt que celui-ci n'est pas en mesure de contribuer à vraiment réduire les émissions et de permettre ainsi d'atteindre la cible de 510 mégatonnes que le Canada veut atteindre en 2030 (The Globe and Mail, 2019).

Une opposition grandissante

Cette « nouvelle » approche préconisée par les conservateurs, qui constitue en un retour aux années antérieures avec un accent sur les grands émetteurs et un rejet de la taxe carbone, est également similaire à ce que l'on retrouve en Saskatchewan, une province dont les émissions de GES ont augmenté de 14 % entre 2005 et 2017 (Gouvernement du Canada, 2019). En effet, dans cette province, le chef du Parti saskatchewanais (Scott Moe), un parti qui est à droite sur l'échiquier politique, est lui aussi fermement opposé à la taxe sur le carbone du gouvernement fédéral. De plus, dans la continuité du précédent chef (Brad Wall), le gouvernement de la Saskatchewan préconise des politiques similaires à celles des conservateurs albertains d'avant 2015.

Dans un document rédigé en 2017, le gouvernement saskatchewanais affirme que les solutions technologiques sont prioritaires dans la lutte aux

changements climatiques (Government of Saskatchewan, 2017). À l'image des conservateurs albertains, le gouvernement du Parti saskatchewanais reconnaît que l'activité humaine « exacerbe » les changements climatiques, mais il refuse de s'engager dans la voie de la taxation. Au Manitoba aussi, le gouvernement conservateur de Brian Pallister est contre la taxe carbone, même si son opposition est exprimée avec moins de force que ses homologues albertain et saskatchewanais. De l'avis du premier ministre manitobain, la taxe sur le carbone est seulement une mesure parmi d'autres préconisées par son gouvernement, comme la séquestration du méthane (CBC News, 2018). C'est la Colombie-Britannique qui demeure une province à part dans l'Ouest canadien, cette province ayant adopté il y a déjà dix ans la taxe carbone. Selon une étude, la taxe aurait permis de réduire de 5 % à 15 % l'augmentation des émissions de GES (Murray et Rivers, 2015). Cependant, au total, il s'agit d'une diminution, depuis 2005, de 1,5 % des GES (Gouvernement du Canada, 2019). Chose certaine, la voie ouverte par la Colombie-Britannique n'a pas été suivie.

En effet, les gouvernements conservateurs provinciaux restent opposés à la taxation sur le carbone, croyant tous que la lutte aux changements climatiques doit plutôt passer par des mesures touchant les grands émetteurs et des avancées technologiques.

Or, au mois de juin 2019, le chef du Parti conservateur du Canada sur la scène fédérale a révélé son propre plan de lutte aux changements climatiques et son approche est similaire à celle de ses homologues provinciaux. Si les conservateurs fédéraux affirment vouloir respecter l'accord de Paris, ils avancent les mêmes orientations d'ensemble, à savoir l'opposition à la taxe carbone et l'obligation, pour les grands émetteurs de GES qui dépasseront les normes, de développer des technologies vertes (Parti conservateur du Canada, 2019). De plus, le chef conservateur renoue avec certaines politiques de son prédécesseur (Stephen Harper) en promettant des crédits d'impôt aux particuliers qui voudront apporter des « améliorations vertes » (Marquis, 2019). Cependant, le plan des conservateurs fédéraux est avare de détails sur la manière dont toutes ces mesures produiraient des effets concrets.

Ainsi, l'approche conservatrice, tant fédérale que provinciale, mise sur les électeur.rice.s, notamment dans l'Ouest du pays, qui refusent la solution de la taxe carbone pour lutter contre les changements climatiques. Or, le Canada n'est pas isolé à cet égard; pensons, par exemple, à la révolte des Gilets jaunes, en France, contre un prix sur le carbone. C'est ce qui a fait dire à l'économiste français Christian Gollier, un partisan convaincu de la taxe carbone, que le problème ne relève pas seulement des gouvernements, mais aussi

d'une partie de la population qui refuse de réduire les émissions de GES grâce à la taxe carbone (Gollier, 2019). On pourra trouver le jugement sévère; il n'empêche que l'approche conservatrice doit aussi se comprendre à la lumière de ces électeur.rice.s réfractaires à la taxation du carbone. Pour les gouvernements désireux d'emprunter la voie de la taxe carbone, cela représente un défi supplémentaire afin de dégager un consensus en faveur de cette approche.

Boily, F. (2012). Le Canada au miroir de l'Alberta. *Études canadiennes/Canadian Studies*, (73), 9-23.

CBC News. (2002, 18 septembre). *Alberta launches campaigns against Kyoto*. Repéré à <https://www.cbc.ca/news/canada/alberta-launches-campaign-against-kyoto-1.349305>

CBC News. (2018, 2 novembre). *Pallister defends Manitoba climate plan amid widespread public skepticism*. Repéré à <https://www.cbc.ca/news/canada/manitoba/pallister-carbon-tax-climate-change-poll-1.4888519>

Gollier, C. (2019). *Le climat à la fin du mois*. Paris, France : Les Presses universitaires de France.

Gouvernement du Canada. (2019). *Sources et puits de gaz à effet de serre : sommaire 2019*. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/emissions-gaz-effet-serre/sources-puits-sommaire-2019.html#toc6>

Government of Saskatchewan. (2017). *Climate Change: White paper*. Repéré à <https://www.saskatchewan.ca/~media/news%20release%20backgrounders/2016/oct/final%20%20white%20paper%20%20oct%2017.pdf>

Marquis, M. (2019, 19 juin). Andrew Scheer dévoile son plan vert. *La Presse*. Repéré à <https://www.lapresse.ca/actualites/politique/201906/19/01-5230836-andrew-scheer-devoile-son-plan-vert.php>

Murray, B.C. et Rivers, N. (2015). *British Columbia's revenue-neutral carbon tax: a review of the latest "grand experiment" in environmental policy*. Durham, Caroline du Nord : Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University.

Parti conservateur du Canada. (2019). *Un vrai Plan pour protéger notre environnement*. Repéré à <https://www.conservateur.ca/cpc/le-plan-climatique-dandrew-scheer/>

Saher, M.N. (2012). *Report of the Auditor General*. Repéré sur le site du gouvernement de l'Alberta <https://open.alberta.ca/data-set/90c5577c-0d5b-440e-84b7-c7101c902b2f/resource/4132965b-b54e-44c5-91a1-eececb043a1/download/oagoct2012report.pdf>

The Globe and Mail. (2019, 21 avril). *Jason Kenney has a climate plan – it just isn't a very good one* [Éditorial]. Repéré à <https://www.theglobeandmail.com/opinion/editorials/article-jason-kenney-has-a-climate-plan-it-just-isnt-a-very-good-one/>

Thomson, G. (2015, 1er juillet). Pipe Dreams. The failures of Alberta carbon-pricing experiment. *Alberta views*. Repéré à <https://albertaviews.ca/pipe-dream/>

Tombe, T. (2018, 24 février). Pipelines and carbon taxes: We're thinking about them all wrong. *CBC News*. Repéré à <https://www.cbc.ca/news/canada/calgary/road-ahead-trevor-tombe-opinion-alberta-pipelines-carbon-taxes-1.4547589>

United Conservatives. (2019). *Alberta strong & free: Getting Alberta back to work*. Repéré à https://www.albertastrongandfree.ca/wp-content/uploads/2019/03/Getting-Alberta-Back-to-Work_UCP-2019Platform.pdf



Politique

ÉTATS-UNIS 2020

CHANGEMENTS CLIMATIQUES : ENJEU ÉLECTORAL ?

Hugo Séguin

Fellow au Centre d'études et de recherches internationales de l'Université de Montréal (CÉRIUM)
Doctorant au programme d'études environnementales
Université de l'Oregon

Pour la première fois, les changements climatiques pourraient enfin émerger comme un des enjeux des prochaines élections présidentielles américaines. Tour d'horizon de dynamiques profondes.

Prévoir la trajectoire des idées politiques et les résultats électoraux est devenu un exercice périlleux. Cela étant dit, l'évolution de l'opinion publique américaine, des changements profonds dans le secteur de l'énergie, l'arrivée massive de cohortes électorales porteuses d'idées nouvelles et l'entrée au congrès de nouvelles figures aux idées progressistes décomplexées forcent aujourd'hui une reconfiguration du discours et des plateformes politiques. Faisons le pari que les élections présidentielles américaines de 2020 – et encore davantage celles qui suivront – pourraient marquer le début d'un grand dégel pour un ensemble d'idées comme les changements climatiques, l'assurance-maladie universelle et la lutte aux inégalités, des idées considérées comme tabou par la quasi-totalité de la classe politique américaine au cours des derniers cycles électoraux.

Une opinion publique en évolution rapide

Aux États-Unis, l'appartenance à une « famille » politique – Républicains ou Démocrates – constitue le principal clivage sur les questions climatiques. Ce clivage semble être le produit d'un travail de longue haleine orchestré par des forces politiques économiques et intellectuelles conservatrices, au point où s'opposer aux efforts de lutte contre les changements climatiques – y compris en nier l'existence – fait désormais parti du credo identitaire de la droite conservatrice américaine (voir, en particulier, Skocpol et Hertel-Fernandez, 2016).

Cette situation cache une réalité souvent négligée : la moitié de l'électorat américain (47%) se déclare indépendant et ne s'identifie ni au Parti républicain (27%) ni au Parti démocrate (26%) (Gallup, s.d.). L'hostilité bruyante des ténors conservateurs à l'endroit de toute politique climatique fait ainsi oublier que les trois quarts de l'électorat ne s'y identifient pas. De plus, l'électorat républicain apparaît beaucoup plus divisé que l'on ne pourrait le penser. Prenons la juste mesure d'un certain nombre de données :

- Le climatocépticisme n'est porté que par une infime minorité au sein de l'électorat. Les trois quarts des Américain.e.s adultes (73%) croient qu'un réchauffement climatique est en cours (+10% depuis mars 2015) et une majorité convaincante (62%) en attribue la cause principale à l'activité humaine (+10% depuis mars 2015). À l'inverse, seul.e.s 7% des Américain.e.s se disent « extrêmement convaincu[e]s » ou « très convaincu[e]s » qu'aucun réchauffement n'est en cours (Leiserowitz et al., 2018).
- L'importance (*salience*) des questions climatiques est en forte hausse. Quelque 69% de l'électorat se dit « assez » (40%) ou « très préoccupé » (29%) par le réchauffement climatique, une hausse de 17% depuis mars 2015 (Leiserowitz et al., 2018).
- Une bonne majorité d'Américain.e.s souhaite une plus grande implication de l'État. Quelque 62% des électeur.rice.s estiment que le gouvernement américain n'en fait pas assez pour protéger l'environnement (+14% depuis 2015), alors que 57% affirment que la protection de l'environnement doit être une priorité, même au prix de limiter la croissance économique (35% affirment au contraire que la croissance économique doit être priorisée, même au détriment de l'environnement) (Newport, 2018a).
- Plus de la moitié des électeur.rice.s républicain.e.s (52%) affirment qu'il existe des preuves solides que la planète se réchauffe. Bien que 59% d'entre eux et elles souhaitent que la croissance économique prime, y compris au détriment de l'environnement, une bonne proportion des électeur.rice.s républicain.e.s semble accepter assez facilement une plus grande intervention de l'État en faveur de mesures environnementales : quelque 61% favorisent l'adoption de normes environnementales plus strictes pour les entreprises et 57% se montrent favorables à ce que le gouvernement appuie financièrement le développement des énergies alternatives (Newport, 2018a).

Bref, la fameuse « base » conservatrice américaine sur laquelle semble reposer les politiques anti-environnementales de l'administration Trump apparaît beaucoup moins importante et solide que ce que le niveau de vitriol et de décibels de nombreux.euses commentateur.rice.s politiques laisse entendre.

Les questions climatiques peuvent ainsi être de plus en plus considérées comme un courant dominant (*mainstream*) aux États-Unis. Cette évolution semble accompagner un autre « dégel » politique en faveur de mesures jugées « socialistes » ou faisant appel à davantage d'intervention de la part de l'État. De manière générale, le « socialisme » est perçu positivement aujourd'hui par 37% des électeur.rice.s américain.e.s et par 47% des électeur.rice.s démocrates. Signe de renouvellement des attitudes politiques peut-être, plus de la moitié des électeur.rice.s de 18 à 29 ans (51%) ont aujourd'hui une vision favorable du « socialisme » (Newport, 2018b).

Un nouveau paysage économique, technologique et environnemental

Le secteur de l'énergie aux États-Unis est en profonde transition, ce qui brouille les repères hérités des dernières décennies. Le parti pris idéologique de l'administration Trump en faveur d'une industrie du charbon en plein effondrement se montre impuissant à contenir la transition vers les énergies renouvelables, le stockage de l'énergie, la production décentralisée d'électricité et le développement de véhicules électriques. Le territoire américain, toute allégeance partisane confondue, se couvre de panneaux solaires et de parcs éoliens, alors que ferment une à une les vieilles centrales au charbon. Aux côtés de secteurs pétrolier et gazier encore très robustes, des centaines de milliers d'emplois sont

aujourd'hui créés dans les nouvelles technologies énergétiques et environnementales, dans les grandes villes libérales de la Côte Ouest comme de la Côte Est, tout comme dans les villes-centres du Midwest.

En 2019, 66% de la nouvelle capacité de production d'électricité proviendra de l'énergie éolienne (46%), du solaire (18%) et d'autres sources d'énergie alternatives (2%). Seul le tiers de cette nouvelle énergie proviendra du gaz naturel (34%) (U.S. Energy Information Agency, 2019a). Le charbon, pendant des décennies la première source de production d'électricité, est en chute libre : de 45% en 2010, la part du charbon en représentera moins du quart (22%) en 2020, à égalité avec l'ensemble des énergies renouvelables (20%), en forte progression (U.S. Energy Information Agency, 2019b). La Figure 1 montre l'évolution du système de production énergétique américain.

Les marchés financiers canalisent des centaines de milliards de dollars chaque année dans le développement des énergies renouvelables, dont les rendements boursiers dépassent largement ceux du secteur des énergies fossiles depuis 2017, un an après l'entrée en fonction de l'administration Trump (Winkler, 2019). Les marchés ne semblent avoir fait que peu de cas des nombreuses mesures fédérales mises en place pour tenter de relancer les secteurs pétrolier et charbonnier.

Les analystes notent que la transition actuelle est encouragée par le développement de politiques publiques – notamment au niveau des États américains, mais également du gouvernement fédéral américain ; les décisions d'affaires du secteur public et privé, stimulées par la forte chute des prix des énergies renouvelables ; et le développement de nouvelles technologies, notamment dans les batteries et dans le stockage de l'énergie.

On note également que, pour la seule année 2019, les politiques d'achat préférentiel des grandes entreprises – Facebook, Microsoft, AT&T, etc. – représentaient 6,43 GW de production d'énergies renouvelables, soit plus du quart des nouvelles capacités de production d'électricité prévue en 2019 (Motyka, 2018)

Les opportunités de carrière pour les jeunes américain.e.s se multiplient dans les domaines des services d'efficacité énergétique (notamment dans le secteur de la construction), de l'éolien et des technologies énergétiques émergentes. On ne compte plus aujourd'hui que moins de 200,000 emplois dans l'industrie du charbon, alors que le secteur des véhicules électriques, hybrides ou à l'hydrogène en compte plus de 250,000. Plus de 240,000 Américain.e.s travaillent à temps plein dans des entreprises du secteur de l'énergie solaire (et 93,000 à temps partiel), auxquelles on peut ajouter 110,000 œuvrant dans le secteur éolien (*National Association of State Energy Officials, and Energy Futures Initiative*, 2019). Ces centaines de milliers d'Américain.e.s, réparti.e.s largement sur le territoire, représentent des segments d'électeur.rice.s pour lesquels la transition énergétique prend un visage très concret. Leurs représentant.e.s politiques, républicain.e.s comme démocrates, doivent aujourd'hui en tenir compte dans les discours qu'ils et elles tiennent et dans les politiques publiques qu'ils et elles soutiennent.

Une nouvelle donne énergétique s'est mise en place aux États-Unis, renforcée par des tendances lourdes qui sont là pour rester. Le discours anti-environnemental, méprisant envers les énergies renouvelables et ignorant des enjeux climatiques de l'administration américaine, apparaît de plus en plus déconnecté de la réalité, d'autant plus que se multiplient les impacts des changements climatiques sur le territoire.

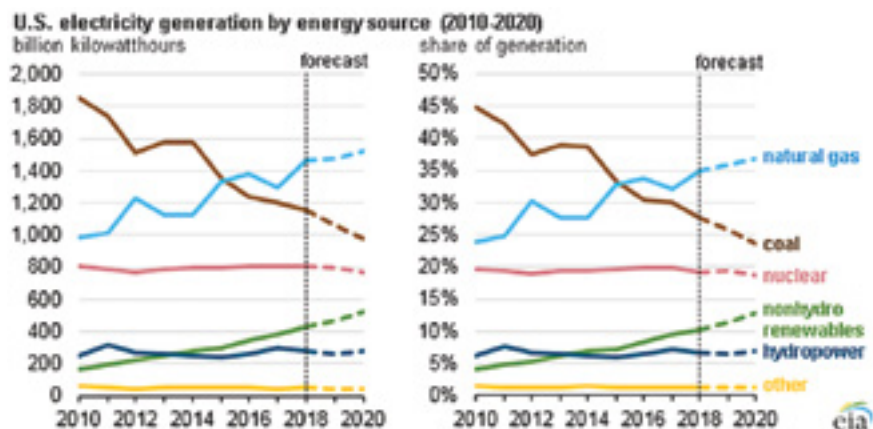


Figure 1. Production d'électricité, par source (2010-2020)

Des changements climatiques aux impacts de plus en plus ressentis

Un des obstacles à la mobilisation du public sur les questions climatiques provient, dit-on, de notre incapacité à nous préoccuper de changements qui s'opèrent loin de nous, qui affectent des personnes ne faisant pas partie d'un de nos groupes d'appartenance ou qui surviendront plus tard dans le temps (American Psychological Association, 2009). Mais il semble bien que la multiplication d'événements météorologiques extrêmes, associés de plus en plus directement aux changements climatiques, contribue à un profond changement de perception au sein de l'électorat américain.

Ainsi, près de 50% des Américain.e.s affirment aujourd'hui avoir personnellement fait l'expérience du réchauffement climatique, une hausse surprenante de 15 points entre mars 2015 et décembre 2018. Une même proportion indique croire que les États-Unis subissent « aujourd'hui » les impacts du réchauffement climatique (Leiserowitz et al., 2018). L'augmentation du nombre de « désastres climatiques et météorologiques » – cyclones et tempêtes tropicales, sécheresses et feux de forêt – y est sans doute pour quelque chose. La *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) du gouvernement américain note une augmentation du nombre de catastrophes climatiques ayant entraîné des coûts de plus de 1 milliard de dollars, la période 2016-2018 dépassant du double les moyennes annuelles de long terme. Pour la seule année 2018, le territoire américain a subi 14 de ces catastrophes, dont des feux de forêt catastrophiques en Californie et dans le Pacific Northwest, de même que des ouragans dévastateurs ayant frappé notamment les côtes des Carolines (Smith, 2019).

Le tout récent *Rapport d'évaluation nationale sur le climat* (*National Climate Assessment*), produit du travail de centaines d'expert.e.s, d'agences et de départements du gouvernement fédéral américain, confirme ces tendances et prévient les Américain.e.s de l'accélération de ces impacts. Ce rapport fut rejeté avec un certain mépris par le président Trump, qui a simplement indiqué « ne pas croire à ses conclusions », ainsi que par de nombreux.euses politicien.ne.s et commentateur.rice.s républicain.e.s¹.

Élections 2020, le début d'un grand dégel pour les changements climatiques ?

L'électorat évolue sur les questions climatiques et une grande transition énergétique est en cours aux États-Unis. Est-ce à dire que, pour la première fois de l'histoire, les changements climatiques seront l'un des enjeux centraux des élections de 2020²? Possible, mais pas gagné. Au moins deux scénarios pourraient nuire à l'émergence des changements climatiques comme un des enjeux électoraux de cette campagne auprès d'un nombre important d'électeur.rice.s : l'apparition d'un sujet polarisant sur lequel se joueraient les élections de 2020 et les résultats du conflit entre l'aile réformatrice et l'aile conservatrice du Parti Démocrate.

Trump, « Me Politics » et le contrôle de l'agenda

Il est difficile de prévoir ce qui constituera « la question de l'urne » à plus d'un an d'une élection. Risquons tout de même brièvement deux observations, fondées sur la personnalité polarisante et surdimensionnée du président américain.

Les élections de 2020 seront sans doute en bonne partie un référendum sur la personne même de Donald Trump, dont la popularité auprès d'un bloc solide de 40-44% des électeur.rice.s américain.e.s se maintient beau temps, mauvais temps (voir, entre autres, *FiveThirtyEight*, s.d.). La popularité relative du président influencera grandement le positionnement des candidat.e.s se présentant aussi devant l'électorat. Ainsi, un référendum sur la personne de Donald Trump pourrait également en être un pour des centaines de candidat.e.s aux élections de 2020 associé.e.s ou adversaires du président.

De même, l'incroyable capacité de Donald Trump à contrôler l'agenda et à entraîner le système politique dans son orbite lui confère la possibilité de structurer les élections de 2020 autour d'un enjeu polarisant de son choix. Une guerre – ou des rumeurs de guerre ; une nouvelle menace d'invasion de migrant.e.s aux frontières ; la désignation de boucs émissaires ; ou

1. Le président gazouille régulièrement sur les changements climatiques, notamment pour se moquer de ceux et celles qui s'en préoccupent : Tweeter, Feb 10, 2019 05:04:48 PM - Well, it happened again. Amy Klobuchar announced that she is running for President, talking proudly of fighting global warming while standing in a virtual blizzard of snow, ice and freezing temperatures. Bad timing. By the end of her speech she looked like a Snowman(woman)!

2. En plus de l'élection du président, 2020 est également une année électorale pour le tiers des sénateur.rice.s, la totalité des 435 représentant.e.s au Congrès et 11 gouverneur.e.s, sans compter les élections dans les États de l'Union.



même la récupération politique d'un attentat peuvent constituer un « enjeu de l'urne » qui fouettera ses partisan.e.s et les amènera à aller voter. Ainsi, dans un tel contexte, les changements climatiques, même portés par une portion importante d'électeur.rice.s, pourraient être relégués en arrière-plan.

Le *Green New Deal*, au cœur du combat pour l'âme du Parti Démocrate ?

Si le Parti Républicain est solidement devenu aujourd'hui le Parti de Donald Trump, le Parti Démocrate semble aux prises avec des questions tant existentielles que stratégiques qui compromettent son unité. Une aile « réformiste », en forte montée, met de l'avant la lutte aux inégalités socio-économiques, la réforme en profondeur du système de santé et la lutte aux changements climatiques. L'aile « centriste », en contrôle du Parti depuis des décennies, est davantage caractérisée par son appui à des changements politiques incrémentaux, de crainte de pousser des électeur.rice.s plus frileux.euses dans les bras du Parti Républicain. Les élections présidentielles de 2016 ont été le théâtre de la lutte entre ces deux camps, les centristes mené.e.s par

Hillary Clinton ayant défait, puis étouffé, l'élan donné à l'aile réformiste par Bernie Sanders.

Les élections de 2020 se présentent à nouveau comme une lutte à finir entre les deux ailes, le degré d'importance à accorder aux changements climatiques – et notamment l'idée d'un *Green New Deal* – constituant en quelque sorte un test séparant les candidat.e.s à l'investiture démocrate. Poussé par une nouvelle vague de parlementaires réformistes, le *Green New Deal* vise à entraîner les États-Unis dans une rapide transition énergétique et climatique juste et équitable sur le plan social et économique. On y retrouve à la fois des objectifs de décarbonisation de l'économie et des engagements en faveur de garanties d'emplois et de couverture médicale pour tous et toutes (United States Congress, 2019). Si la plupart des candidat.e.s à l'investiture démocrate soutiennent le *Green New Deal*, l'adhésion est beaucoup plus mitigée de la part du candidat officiel de l'aile centriste, Joe Biden, qui cherche à séduire un électorat plus conservateur autour de politiques modérées.

Sur le plan stratégique, le choix entre les deux ailes n'est pas évident. D'un côté, la plupart des gains démocrates aux élections de mi-mandat de novembre 2018 auraient été acquis auprès d'électeur.rice.s républicain.e.s modéré.e.s ayant voté pour Donald Trump en 2016. Cet électorat pourrait être facilement effarouché par

un virage trop à gauche du Parti Démocrate (Dionne, 2019). Plusieurs analystes font néanmoins valoir que la montée en puissance des idées réformistes est de nature à galvaniser une nouvelle génération d'électeur.rice.s et les amener aux urnes en nombre record. Ces dernier.ère.s n'ont pas tort : aux élections de mi-mandat de novembre 2018, le taux de participation des 18-29 ans est passé de 20% (2014) à 36%. En 2020, les Milléniaux et les GenZ (18-29 ans) représenteront plus du tiers de l'électorat (Misra, 2019), et leurs positions sur les enjeux climatiques sont les plus affirmées. Sondé.e.s en 2015, 32% des 18-29 ans se disaient en accord avec l'idée que « le gouvernement doit en faire plus sur les changements climatiques, même au détriment de la croissance économique » contre 23% se disant en désaccord. Au printemps 2019, ces chiffres étaient passés respectivement à 46% et 16% (Harvard Kennedy School, Institute of Politics, 2019).

Vu de cette façon, les Démocrates semblent devoir faire face à des choix déchirants : viser le centre pour conserver des électeur.rice.s modéré.e.s, ou proposer des changements radicaux susceptibles d'enthousiasmer de nouveaux électeur.rice.s et les pousser jusqu'aux urnes. Une autre option consisterait à trouver le moyen de faire tenir les différentes ailes ensemble sous un même grand chapiteau. L'avenir des changements climatiques comme enjeu électoral pourrait ainsi reposer sur les résultats des luttes intestines au sein du Parti Démocrate.

Conclusion

L'hostilité de l'administration Trump envers les questions climatiques semble de plus en plus en porte-à-faux avec l'évolution rapide des préoccupations des électeur.rice.s et des transformations du système énergétique américain. La fameuse « base » à laquelle semble destiné ce positionnement politique apparaît de moins en moins représentative d'un électorat américain en grande mutation.

Les élections de 2020 verront un renouvellement d'une partie de la classe politique américaine, à tous les niveaux de gouvernance. Une partie de ce renouvellement amènera à l'avant-scène une série d'idées fortes, dont la lutte aux changements climatiques, associée à gauche depuis des décennies et considérée comme politiquement tabou.

Faisons le pari que les changements climatiques, pour la première fois de l'histoire politique des États-Unis, émergeront enfin comme enjeux structurants des politiques publiques et des préoccupations des électeur.rice.s. Il serait plus que temps.

American Psychological Association (APA) (2009). *Psychology and Global Climate Change: Addressing a Multi-Faceted Phenomenon and Set of Challenges. A Report by the American Psychological Association's Task Force on the Interface Between Psychology and Global Climate Change.* Repéré à https://www.apa.org/images/climate-change_tcm7-87250.pdf.

Dionne, E.J. (2019, 3 mars). A Bigger Challenge to Democrats than Socialists: Their Liberal Republicans. *The Washington Post*. Repéré à https://www.washingtonpost.com/opinions/a-bigger-challenge-to-democrats-than-socialists-their-liberal-republicans/2019/03/03/31d78192-3c89-11e9-a2cd-307b06d0257b_story.html?noredirect=on&utm_term=.c7b5e6558905.

FiveThirtyEight (s.d.). Latest Polls. Repéré à <https://projects.fivethirtyeight.com/polls/>

Gallup (s.d.). *Party Affiliation: Trends since 2004. Polling Results.* Repéré à <https://news.gallup.com/poll/15370/party-affiliation.aspx>

Harvard Kennedy School, Institute of Politics. 2019. Spring 2019 Harvard IOP Youth Poll Results. Repéré à <https://iop.harvard.edu/about/newsletter-press-release/spring-2019-harvard-iop-youth-poll-results>.

Leiserowitz, A., Maibach, E., Rosenthal, S., Kotcher, J., Ballew, M., Goldberg, M., et Gustafson, A. (2018). *Climate change in the American mind: December 2018.* Yale University and George Mason University. New Haven, CT: Yale Program on Climate Change Communication. Repéré à <https://climatecommunication.yale.edu/wp-content/uploads/2019/01/Climate-Change-American-Mind-December-2018.pdf>.

Misra, J. (2019). Voter Turnout Rates Among All Voting Age and Major Racial and Ethnic Groups Were Higher Than in 2014. Repéré à <https://www.census.gov/library/stories/2019/04/behind-2018-united-states-midterm-election-turnout.html>.

Motyka, M. (2018). 2019 Renewable Energy Industry Outlook. Repéré à <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energy-resources/us-renewable-energy-outlook-2019.pdf>.

National Association of State Energy Officials, and Energy Futures Initiative (2019). The 2019 U.S. Energy & Employment Report. Repéré à <https://static1.squarespace.com/static/5a98cf80ec4eb7c5cd928c61/t/5c7f3708fa0d6036d7120d8f/1551849054549/USEER+2019+US+Energy+Employment+Report.pdf>.

Newport, F. (2018a, 29 mars). Americans Want Government to Do More on Environment. Repéré à <https://news.gallup.com/poll/232007/americans-want-government-more-environment.aspx>

Newport, F. (2018b, 13 août). Democrats More Positive About Socialism Than Capitalism. Repéré à <https://news.gallup.com/poll/240725/democrats-positive-socialism-capitalism.aspx>.

Skocpol, T. et Hertel-Fernandez, A. (2016). The Koch Network and Republican Party Extremism. *Perspectives on Politics*, 14(3), 681-99.

Smith, A.B. (2019). 2018's Billion Dollar Disasters in Context. Repéré à <https://www.climate.gov/news-features/blogs/beyond-data/2018s-billion-dollar-disasters-context>.

United States Congress (2019). H.Res.109 - Recognizing the Duty of the Federal Government to Create a Green New Deal. Repéré à <https://www.congress.gov/bills/116th-congress/house-resolution/109/text>.

U.S. Energy Information Agency (2019a). New Electric Generating Capacity in 2019 Will Come from Renewables and Natural Gas. Repéré à <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=37952>.

U.S. Energy Information Administration (2019b). Short-Term Energy Outlook. Repéré à <https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/electricity.php>.

Winkler, M. A. (2019, 15 mai). Trump Likes Fossil Fuels. Investors Don't. *Bloomberg*. Repéré à <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2019-05-15/clean-energy-beats-the-market-as-trump-touts-fossil-fuels>.

LA SANTÉ COMME MOTEUR DES NÉGOCIATIONS INTERNATIONALES SUR LE CLIMAT : RETOUR SUR LE RAPPORT SPÉCIAL DE L'OMS À LA CDP 24

Léa Ilardo

Étudiante à la maîtrise en études politiques appliquées
Université de Sherbrooke
Vice-présidente de l'Association québécoise Zéro Déchet
Instigatrice et co-porte-parole du collectif La planète s'invite à l'Université

Gabriel Blouin Genest

Professeur adjoint à l'École de politique appliquée
Université de Sherbrooke

Santé et changements climatiques : un moment historique

Les enjeux sanitaires sont rarement mis au premier plan lorsqu'il est question des changements climatiques. Pourtant, ces derniers représentent aujourd'hui une des menaces les plus importantes à la santé publique¹, tant au niveau local que mondial (OMS, 2018a). L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit la santé comme un « état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité » (OMS, s.d.). On constate alors que les changements climatiques peuvent interférer avec la santé en affectant non seulement les aspects physiologiques (blessures, maladies, infections, etc.), mais également les conditions sociales (habitat, climat social, systèmes de santé, etc.), les systèmes de soutien à la vie (agriculture, systèmes hydriques, air, etc.) ainsi que la santé mentale (stress, anxiété, dépression, etc.). L'importance des impacts des changements climatiques sur la santé publique provient notamment de la diversité et de la multidimensionnalité de leurs effets et dépend également de la nature de ceux-ci, de leur intensité et du niveau d'exposition (Watts et al., 2018, p. 587). Ces effets sur la santé peuvent être la fois directs (exposition aux conséquences immédiates des changements climatiques, comme la hausse de température ou la montée du niveau des eaux)



1. La santé publique fait ici référence aux « activités organisées de la société visant à promouvoir, à protéger, à améliorer et, le cas échéant, à rétablir la santé de personnes, de groupes ou de la population entière » (Agence de santé publique du Canada). Le terme santé se réfère quant à lui à l'état de santé des individus.

et indirects [conséquences non immédiates des perturbations climatiques, comme les mouvements de population], ajoutant à la complexité de l'adaptation et de la résilience (OMS, 2018a). Qui plus est, les changements climatiques ne représentent qu'une des composantes des perturbations environnementales affectant la santé. À la fois complexes, multidimensionnels et indirects, ces impacts n'en restent pas moins un véhicule des plus pertinents aujourd'hui pour renforcer la mobilisation internationale dans la lutte aux changements climatiques. Si la sauvegarde des écosystèmes et de la nature, en tant qu'argument justifiant des actions plus importantes pour lutter contre les changements climatiques, tarde toujours à rejoindre une majorité de gouvernements et de citoyen.ne.s, la préservation de la vie humaine ainsi que sa pleine dignité sont de plus en plus employées comme arguments dans le but de fédérer les acteurs les plus récalcitrants. Cet article propose un retour sur une des premières tentatives officielles d'utiliser la santé publique comme sujet fédérateur des négociations climatiques internationales : la publication du rapport spécial de l'OMS à la 24^e Conférence des Parties (CdP) en 2018.

La place de la santé dans les négociations climatiques de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques

Depuis quelques années, les enjeux liés à la santé ont été progressivement intégrés au régime climatique international de lutte contre les changements climatiques, tout particulièrement celui de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), qui inclut l'Accord de Paris². Cet accord, signé lors de la CdP21 en décembre 2015, est non pas uniquement un accord environnemental, mais est également largement reconnu comme étant un « accord international de santé publique » (UN Climate Change News, 2018). L'accord de Paris représente en fait possiblement « le plus important accord de santé publique du 21^e siècle » (UN Climate Change News, 2018). Le préambule de l'Accord de Paris est clair à ce sujet : « les Parties devraient respecter, promouvoir et prendre en considération leurs obligations respectives concernant [...] le droit à la santé » et ledit accord reconnaît le rôle central des « actions d'atténuation et leurs co-bénéfices pour l'adaptation, la santé et le

développement durable » (Nations Unies, 2015, p. 2). Ce qui représente un élément novateur ici, c'est que l'on voit apparaître pour une des premières fois le recours à la santé publique comme véhicule pour tenter de réunir les différents acteurs impliqués dans les négociations climatiques internationales. La santé devient progressivement un outil des négociations climatiques internationales et participe au renforcement du régime climatique international. La santé publique, bien que depuis longtemps intégrée comme variable centrale dans les travaux scientifiques portant sur les changements climatiques, y entame son ascension comme « objet politique international ». Cette ascension trouvera son apogée lors de la CdP 24 durant laquelle fut publié et diffusé le rapport spécial de l'OMS.

Le rapport spécial « Santé et changements climatiques » de l'OMS : un appel pour passer à l'action

« La sévérité de l'impact des changements climatiques sur la santé est de plus en plus claire. Les changements climatiques sont le plus grand défi du 21^e siècle, menaçant tous les aspects de la société dans laquelle nous vivons, et le retard continu pris pour relever l'ampleur du défi augmente les risques pour les vies humaines et la santé. »

(OMS, 2018a)

Ainsi débute le rapport spécial de l'OMS intitulé « Santé et changements climatiques » présenté lors de la CdP24 à Katowice, en Pologne, en décembre 2018. Rédigé à la demande du Premier ministre des îles Fidji, M. Bainimarama, alors président de la 23^e CdP, ce document de soixante-quatorze pages s'adresse directement aux acteurs réunis à la conférence internationale sur le climat avec pour objectif de servir de véhicule politique fédérateur. Basé sur la contribution

2. On retrouve également une place importante accordée à la santé dans le rapport spécial de l'IPCC sur 1,5 °C (IPCC, 2019).



de plus de 80 professionnel.le.s et expert.es de la santé, ses conclusions sont sans équivoque : les changements climatiques ont d'ores et déjà de forts impacts négatifs sur la santé et portent largement atteinte au « droit à la santé » tel que cité dans l'Accord de Paris.

En se donnant trois mandats principaux – 1) fournir une connaissance globale de l'interconnexion entre santé et changements climatiques, 2) présenter un aperçu des initiatives mises en place pour répondre aux défis sanitaires des changements climatiques, et 3) émettre des recommandations pour les négociateurs et les décideurs de la CCNUCC afin de répondre adéquatement aux conséquences sanitaires des changements climatiques – les acteurs internationaux de la santé publique tirent la sonnette d'alarme et tentent d'influencer le cours des négociations internationales sur le climat. La santé publique représente selon eux un véhicule plus que nécessaire afin de réunir les différents acteurs impliqués, en particulier les gouvernements les plus réfractaires qui pourraient être, ils en font l'hypothèse, plus concernés par la protection de la vie de leurs citoyen.ne.s que de la nature. En effet, alors que les effets négatifs de la pollution de l'air sur la santé étaient déjà bien étudiés, l'OMS insiste dans ce rapport sur le lien direct entre pollution de l'air et changements climatiques, qui tirent leur origine de la même activité : la combustion d'énergies fossiles, qui pollue l'air et

constitue une source majeure d'émission de CO₂. Ainsi, réduire les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, méthane, NO₂) est non seulement indispensable pour atténuer les changements climatiques et l'intensité des événements climatiques extrêmes, mais également pour épargner de nombreuses vies humaines, la pollution de l'air étant responsable d'environ sept millions de morts chaque année au niveau international (OMS, 2018a). Santé et changements climatiques sont aujourd'hui indissociables. La nature unificatrice de cette réalité est l'hypothèse que fait l'OMS.

Les inégalités économiques et sociales exacerbées par les changements climatiques : prélude au rapport de l'OMS

Si les changements climatiques sont un phénomène planétaire, leurs conséquences ne touchent toutefois pas tout le monde de la même façon, en particulier lorsqu'il est question de santé. En effet, ceux-ci « affectent particulièrement la santé des populations les plus pauvres et les plus vulnérables, comme les petits États insulaires en développement (groupe connu sous

l'acronyme PEID, ou SIDS, pour Small Island Developing States) et les pays les moins développés, élargissant de facto les injustices en matière de santé » (OMS, 2018a). Il n'est plus à prouver qu'un déterminisme socio-économique sous-tend les risques sanitaires liés aux changements climatiques, souvent décrits comme des « multiplicateurs de pauvreté » (Lloyd et Hales, s.d.), car responsables, par exemple, de l'endommagement de nombre d'habitations et d'infrastructures lors d'événements extrêmes, ou encore aggravant l'insécurité alimentaire et hydrique dans des zones déjà vulnérables. De fait, on comprend pourquoi le Premier ministre fidjien, directement interpellé par les impacts des changements climatiques sur la santé de sa population, a fait de cet enjeu le sujet clé des CdP 23 et 24. M. Bainimarama avait alors demandé à l'OMS de travailler à l'élaboration de ce rapport, et avait également lancé une initiative spéciale sur les changements climatiques et la santé dans les PEID, qui sera mise en place de 2019 à 2023. Celle-ci vise à apporter à leurs systèmes de santé un soutien politique, technique et financier pour répondre aux conséquences des changements climatiques sur la santé, à fournir une meilleure base factuelle sur les effets des changements climatiques sur la santé et à promouvoir l'atténuation de ce phénomène dans les secteurs les plus polluants (OMS, 2018a). Ainsi, les changements climatiques s'instituent non pas uniquement comme « multiplicateurs de la pauvreté », mais également comme multiplicateurs des inégalités de santé au niveau international, faisant potentiellement de cet objet un puissant véhicule politique, à la fois au niveau national et international, pour répondre aux changements climatiques.

Une « révolution blanche » aux réponses toujours en attente

La prise de position politique opérée par le secteur de la santé, clairement établie à travers la dénonciation de l'inaction des décideurs politiques, traduit l'importance d'intensifier les efforts dans la lutte contre les changements climatiques et s'attache à opérer une prise de conscience quant à la nécessité de se saisir sérieusement du sujet. Parmi les sept recommandations émises par l'OMS se retrouvent principalement l'identification et la promotion des actions visant à réduire à la fois les émissions de carbone et la pollution atmosphérique, ainsi que la prise en compte systématique de la santé dans les contributions

nationales déterminées, les plans nationaux d'adaptation et les communications nationales avec la CCNUCC. L'organisation onusienne s'approprie même un vocabulaire économique en consacrant une partie entière du rapport à la façon d'assurer un soutien économique à la santé et à l'action climatique, en recommandant aux décideurs de la CCNUCC d'inclure les conséquences sur la santé des mesures d'atténuation et d'adaptation dans la conception des politiques économiques et fiscales, y compris la tarification du carbone et la réforme des subventions aux combustibles fossiles.

L'OMS cherche en effet à modifier la compréhension des actions ou des politiques à initier pour lutter contre les changements climatiques, trop souvent apparentées à des coûts, en gains bénéfiques en termes de qualité de vie et de santé publique (Campbell, 2018). D'un point de vue strictement financier, les dernières études indiquent par exemple que la valeur des gains pour la santé découlant de l'action pour le climat représenterait environ le double du coût des politiques d'atténuation des changements climatiques au niveau mondial (OMS, 2018b). Ainsi, même dans une logique purement mathématique, la préservation de la vie et la santé publique représentent des gains notables dans la lutte aux changements climatiques. C'est précisément cette perspective positive et orientée sur les gains que cherchait à mettre de l'avant l'OMS sous l'impulsion du Premier ministre des îles Fidji, M. Bainimarama. La santé a ainsi tout le potentiel pour venir rassembler les différents acteurs lors des négociations climatiques internationales.

Malheureusement, la « révolution blanche³ » menée lors de la CdP 24 (en référence aux blouses blanches portées par les professionnel.le.s de santé) n'a pas provoqué de retentissement particulier dans l'arène politique et médiatique internationale, comme l'espéraient les professionnel.le.s de la santé – ce qui est également le cas pour bon nombre de rapports, tous plus alarmants les uns que les autres, exposant les conséquences générales liées au phénomène des changements climatiques.

Un rapide détour par la presse nous indique qu'un message a toutefois retenu l'attention publique ; celui selon lequel la lutte contre les changements climatiques pourrait sauver des millions de vies d'ici le milieu du siècle. Ainsi, en filigrane de ses actions, l'OMS soulève un important débat et interroge directement les décideurs politiques : « Combien de morts [en lien avec les changements climatiques] sont acceptables pour vous ? » (Neira, 2018)

3. Expression utilisée par la D^{re} Maria Neira (2018).

Cette question, centrale pour l'avenir non pas de la planète, mais bien de l'humanité qui y loge, a le mérite d'être franche. L'inaction politique en matière de changements climatiques ne se traduit pas uniquement en nombre d'espèces en voie de disparition ou d'écosystèmes contaminés. Elle se matérialise aussi en millions de morts, et n'a donc rien à envier aux pires crimes contre l'humanité de l'histoire moderne. C'est ce fardeau historique que nous devons assumer si l'absence d'engagement continue d'être la principale réponse aux changements climatiques.

Conclusion : pour une prise en compte de la santé des générations présentes et futures

Malgré la complexité de la politique internationale du climat, le rôle de lanceur.euse.s d'alerte joué par les scientifiques, et en particulier les professionnel.le.s de santé, reste un indispensable éveilléur de conscience. Les données fournies par l'OMS ont l'avantage d'être ancrées dans le présent (pensons au nombre de morts déjà causées par la pollution de l'air) et anthropocentrées, donc plus à même de provoquer des avancées au sein du processus de négociations climatiques. À la suite de la CdP24, s'est tenue en avril 2019 la première conférence humanitaire mondiale sur la santé et les changements climatiques, sous le titre « Prendre soin de l'humanité à +2 °C », à laquelle l'OMS a été invitée afin de prendre part aux discussions (OMS, 2019).

Cependant, cette conférence ainsi que le rapport de l'OMS présenté à la CdP 24 ne font que réaffirmer l'engagement de la communauté de la santé dans la lutte contre les changements climatiques, les données scientifiques relatives aux conséquences de ce phénomène sur la santé publique étant déjà connues et étudiées depuis plusieurs années. Katowice aura tout de même été l'occasion pour l'OMS de tirer la sonnette d'alarme en mettant sur la table la menace propre des changements climatiques à la santé humaine et non pas uniquement à l'environnement, de même que de faire part de son impatience devant le manque d'engagements pris à l'issue des rendez-vous annuels de la CCNUCC (Climate Council, 2018).

En attendant, notons que la santé ne fait pas partie des sujets abordés à la CdP 25 (<https://www.cop25.cl/en/rumbo-tematicas.html>), qui aura lieu en décembre prochain à Santiago, au Chili. C'est peut-être donc aux groupes citoyens et militants de reprendre la balle au

bond. Si les gouvernements et les acteurs politiques traditionnels ne sont pas convaincus par l'argument de menace à la vie humaine pour prendre des actions significatives, c'est aux premier.ère.s concerné.e.s, soit celles et ceux dont la santé est ou sera affectée, de se faire entendre politiquement. Dans un contexte où le développement durable cherche à répondre « aux besoins du présent sans compromettre la capacité de satisfaire ceux des générations futures » (CMED, 1987), il est peut-être temps d'inclure la santé dans cette interprétation des besoins. Sinon, c'est l'existence même de ces générations futures qui est compromise.

Campbell, D. [UNFCCC Climate Action Studio] (2018). *Dr. Diarmid Campbell, World Health Organization.* [Vidéo en ligne]. Repéré à https://www.youtube.com/watch?time_continue=233&v=yLSHZI3mRz8

Climate Council. (2018). *"Fossil fuels are killing us" - Dr Maria Neira at COP 24.* Repéré à https://www.youtube.com/watch?time_continue=65&v=Twu2LOEo7KM

CMED. (1987). Rapport Brundtland. Notre avenir à tous. Repéré à https://www.diplomatie.gouv.fr/sites/odyssee-developpement-durable/files/5/rapport_brundtland.pdf

IPCC (2019). *Global Warming of 1.5 °C.* Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf

Lloyd, S.J. et Hales, S. (s.d.). *Challenges and gaps in assessing impacts of climate change on health in rural areas. Background paper for Expert Group Meeting on Eradicating Rural Poverty to Implement the 2030 Agenda for Sustainable Development.* Repéré à https://www.un.org/development/desa/dspd/wp-content/uploads/sites/22/2019/03/Lloyd_background_paper_final2.pdf

Nations Unies. (2015). *Accord de Paris.* Repéré à https://unfccc.int/sites/default/files/french_paris_agreement.pdf

Neira, M. [Courtney Howard] (2018). *WHO's Special Report on Health and Climate Change from #COP24.* [Vidéo en ligne]. Repéré à https://www.youtube.com/watch?v=CQP8U4yn_fg

OMS. (2019). *World Conference on Health and Climate Change, Taking care of humankind at +2°C.* Repéré à <https://www.who.int/globalchange/mediacentre/news/health-climate-change-global-conference/en/>

OMS. (2018a). *COP24 Special Report – Health & Climate Change.* Repéré à <https://www.who.int/globalchange/.../COP24-report-health-climate-change/en/>

OMS. (2018b, 5 décembre). *Health benefits far outweigh the costs of meeting climate change goals.* Repéré à <https://www.who.int/news-room/detail/05-12-2018-health-benefits-far-outweigh-the-costs-of-meeting-climate-change-goals>

OMS. (s.d.). *Constitution.* Repéré à <https://www.who.int/fr/about/who-we-are/constitution>

UN Climate Change News. (2018, 3 mai). *The Paris Agreement is a Health Agreement – WHO.* Repéré à <https://unfccc.int/news/the-paris-agreement-is-a-health-agreement-who>

Watts, N., Amann, M., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Bouley, T., Boykoff, M. (2018). *The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. The Lancet, 391(10120), 581-630.*

Jeunes et changements climatiques

Au cours de la dernière année, le Québec a connu une mobilisation sans précédent et menée par les jeunes. Uni.e.s pour exiger des actions à la hauteur de la crise climatique, les collectifs Pour le futur au secondaire, le Devoir environnemental collectif (DEC) au niveau collégial et La planète s'invite à l'Université (LPSU) ont mené des actions de manière soutenue pendant des mois, avec pour moment fort les quelques 150 000 personnes manifestant dans les rues de Montréal le 15 mars 2019. Des jeunes leaders féminines nous parlent de leurs demandes et leurs espoirs.

Nous remercions Catherine Gauthier, directrice générale d'ENVironnement JEUnesse, pour ces propos recueillis auprès de jeunes leaders en environnement.



Joséphine Bertoux, 16 ans

Montréal, Collège international Marie de France

Ca ne sert plus à rien de le nier ; les changements climatiques sont imminents et il faut absolument agir ! Nous n'avons plus le temps de tourner autour du pot : selon les rapports alarmants des scientifiques, il ne nous reste que onze ans avant que cette crise globale ne devienne irréversible.

Je m'appelle Joséphine Bertoux et je suis membre du Devoir Environnemental Collectif (DEC), une organisation créée par des étudiant.e.s du CÉGEP. Constatant que les mesures environnementales mises en place au Québec sont largement insuffisantes, nous nous inquiétons pour le futur de notre planète. Cependant, si nous sommes alarmistes, nous restons optimistes : nous pensons que si les gouvernements et les citoyen.ne.s prennent les mesures écologiques nécessaires, nous pouvons arriver à contrer le problème grandissant des changements climatiques.

Tout d'abord, nous pensons que le gouvernement devrait faire de l'environnement une priorité d'action. Par exemple, nous revendiquons un arrêt immédiat et complet de l'investissement dans les énergies fossiles, d'autant plus que le Québec a plusieurs solutions de rechange à sa portée permettant la mise en place d'énergies renouvelables : il serait par exemple tout à fait pertinent d'y développer les énergies éolienne, hydraulique ou encore géothermique.

Nous lui demandons aussi de favoriser l'écoresponsabilité de la population, en bannissant notamment, comme l'a fait l'Union européenne, les plastiques à usage unique dans tous les milieux, en incorporant le développement durable dans la base de l'éducation nationale ou encore en développant les transports en commun pour inciter la population à les emprunter davantage.

Enfin, nous vous demandons, citoyen.ne.s, de vous mobiliser et d'essayer, de votre côté, de réduire votre empreinte écologique individuelle. Renseignez-vous sur l'impact environnemental des produits que vous achetez et essayez d'avoir recours à des solutions de rechange durables ; révoltez-vous publiquement contre l'inaction de vos gouvernements et, surtout, réduisez votre consommation personnelle le plus possible. Rappelez-vous que, comme chaque arbre contribue à la largeur d'une forêt, chaque action écoresponsable contribue à la lutte contre les changements climatiques !

Jeanne Peyroche, 16 ans

Montréal, Collège international Marie de France

Nous savons depuis longtemps qu'il faut trier ses déchets, prendre une douche et non un bain, etc. Certains disent que ça ne va rien changer. En effet, maintenant que nous avons tardé à agir, je pense que nous devons nous rendre compte que même si nous devons continuer à les mettre en pratique, ces habitudes ne suffisent plus ! Ce n'est pas la simple bonne volonté de quelques personnes une ou deux fois par semaine qui va limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C.

Des mesures radicales et immédiates doivent être prises par les gouvernements. Ces derniers doivent mettre fin aux investissements dans les énergies fossiles pour se concentrer sur les énergies renouvelables. Ils doivent réduire les émissions de carbone. Il faut également stopper le surchauffage et la surclimatisation des centres commerciaux et des cinémas. Quant à nous, nous devons arriver à vivre sans plastique. Il faut arrêter la surconsommation, le gaspillage de masse, la consommation d'aliments venant de l'autre bout du monde, etc.

Les gouvernements ont plusieurs moyens à leur disposition pour agir : investir dans les transports en commun, ajouter des pistes cyclables, interdire les plastiques à usage unique, imposer des taxes aux chaînes qui ne respectent pas des normes strictes contre le gaspillage, mettre en place un cours dans les écoles qui sensibilise les élèves à la cause écologique et qui leur apprend ce qu'il est possible de faire ainsi que comment le faire. La lutte écologique doit devenir collective. Si nous devons toutes et tous agir à notre échelle, le gouvernement doit emboîter le pas, et ce, de manière transparente. Nous devons manger bio et local ! Si nous, les consommateur.rice.s, boycottons les grosses industries commerciales et alimentaires – y compris la restauration rapide –, elles n'auront d'autre choix que de se tourner vers des solutions de rechange respectueuses de l'écologie.

Enfin, je pense que des campagnes de sensibilisation doivent continuer à prendre place, et encore plus, car oui, nous devons changer nos habitudes radicalement. Il faudra aller vers un style de vie de plus en plus minimaliste ! Sans nous en rendre compte, nous vivons déjà avec beaucoup de produits inutiles. Il faut que ça change !

Rosalie Thibault, 21 ans
Montréal, McGill University

Les actions à prioriser pour lutter contre les changements climatiques devraient être en lien direct avec l'atteinte des cibles du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), soit la réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre (GES). D'emblée, l'ère des énergies fossiles se doit d'être enterrée pour laisser place à une propagation en masse des énergies vertes. Le désinvestissement de l'exploitation des combustibles fossiles est le premier pas à emboîter pour envoyer un signal clair aux industries pétrolières et gazières de se trouver une nouvelle vocation et d'enclencher la recherche et le développement de sources d'énergie renouvelable afin de rendre celles-ci accessibles à toutes et à tous. Concrètement, un réseau de transport collectif efficace et branché sur cette énergie non polluante pourrait connecter les régions entre elles, et aux centres urbains, remédiant ainsi à l'un des secteurs les plus importants en termes d'émissions de GES au Canada : le transport.

Ensuite, l'étalement urbain devrait être un champ d'action parallèle pour contrer un phénomène dévastateur des habitats naturels et de la biodiversité. Il est essentiel de faire appel à la créativité d'urbanistes

pour développer des villes à haute densité plutôt qu'étendre les banlieues. L'épicerie, le travail, l'école et même la pharmacie devraient être accessibles à pied. Évidemment, l'étalement urbain n'est pas la seule raison du déclin de la biodiversité, puisque l'industrie alimentaire en est tout aussi coupable. Des flatulences de vaches à l'épuisement des populations de poissons en passant par la déforestation pour cultiver la nourriture des bovins et autres animaux d'élevage, les problèmes majeurs issus de la consommation de viande sont incontournables lorsqu'on cherche à lutter contre les changements climatiques. On pourrait pourtant y remédier en finançant l'élaboration de produits substitués comme la viande végétale ou peut-être même celle produite en laboratoire afin de réduire et éventuellement éliminer la viande animale de notre alimentation.

Ces priorités d'action ont chacune des solutions concrètes d'application pratique assez accessibles. Toutefois, ces différents moteurs de la crise climatique découlent surtout de l'engrenage de fond qu'est le système économique. Je crois donc plus que tout à l'innovation d'une économie n'étant pas en contradiction avec les lois de la nature (une croissance infinie aux dépens de ressources finies) et que la solution d'ensemble se traduit par une réforme de l'économie telle que nous la connaissons aujourd'hui.



Crédit photo : Arnaud Bouissou - MEDDE / SG COP21



« *You can't build
your way out of
congestion* »

Enjeux de société

LA LOI FONDAMENTALE DE LA CONGESTION ROUTIÈRE ET L'EFFICACITÉ DES INTERVENTIONS PUBLIQUES VISANT À RÉDUIRE LA CONGESTION

Fanny Tremblay-Racicot

Professeure en administration municipale et régionale
École nationale d'administration publique

Lors d'un séjour de recherche chez nos voisins du Sud, je me suis étonnée d'entendre un responsable de la planification des transports d'une grande métropole américaine affirmer que la congestion routière n'était pas un problème, car celle-ci représenterait un signe de vitalité économique. Selon d'autres intervenant.e.s rencontré.e.s lors du même séjour, aspirer à une absence de congestion n'est pas souhaitable, car le réseau routier est conçu pour absorber le pic de trafic à l'heure de pointe du matin; ne pas avoir de congestion à l'heure de pointe signifie donc que le réseau routier est en surcapacité. Pourtant, les coûts environnementaux, sociaux et économiques liés à la congestion routière sont bien réels et ceux-ci affectent quotidiennement la santé, la qualité de vie et le portefeuille de tous et de toutes les citoyen.ne.s, qu'ils et elles soient conducteur.rice.s, passager.ère.s, résident.e.s ou contribuables. La congestion est-elle un problème? Si tel est le cas, comment la réduire?

Ce texte présente les effets de la congestion et explique les fondements scientifiques de la notion contre-intuitive de la demande induite en transports en vertu de laquelle une augmentation de la capacité routière ne fait qu'accroître la circulation. Il aborde également l'efficacité des mesures visant à atténuer la congestion, notamment les transports collectifs et l'écofiscalité. Quelques pistes de réflexion sur le leadership politique et la prise de la décision basée sur les données probantes sont offertes en guise de conclusion.

Conséquences de la congestion routière

La capacité du réseau routier représente le nombre de véhicules maximal pouvant circuler sur une voie pendant une certaine période de temps, à une certaine vitesse et sous certaines conditions. Elle est généralement déterminée à l'avance, en fonction des prévisions de la demande de pointe (celle du matin), par les ingénieurs civils qui planifient les travaux routiers.

Quant à la congestion routière, celle-ci se définit comme étant une circulation en accordéon où les véhicules roulent au ralenti ou en mode « arrêt-départ ». Elle peut être de nature incidente, lorsqu'elle est causée par un accident ou un chantier de construction, par exemple, ou de nature récurrente, lorsque la quantité de véhicules sur le réseau routier excède la capacité de celui-ci. Quant à la mesure de la congestion, celle-ci ne fait pas consensus dans la littérature scientifique. Elle peut être déterminée en pourcentage d'une valeur cible (p. ex. lorsque les véhicules roulent à 60% de la vitesse à écoulement libre), ou en valeur cible (p. ex. lorsqu'ils roulent à moins de 25 km/h dans une zone de 100 km/h) (Tessier, 2015, p. 7-8). Les conséquences de cette circulation discontinue se mesurent généralement en termes de temps additionnel de déplacement, auquel sont associés les coûts liés à l'utilisation additionnelle des véhicules (carburant, usure et entretien). Certaines études comptabilisent également les émissions de gaz à effet de serre (GES) et les conséquences des accidents supplémentaires générés par le temps additionnel passé dans le trafic. La congestion entraîne également d'autres coûts directs et indirects souvent non chiffrés, comme l'usure prématurée des routes et l'impact sur la santé des populations.

Ainsi, les coûts socioéconomiques de la congestion dans la région métropolitaine de Montréal auraient atteint 4,2 G\$ en 2018 (Conseillers ADEC, 2018), une estimation comparable ou cohérente avec les résultats de Toronto (3,3 G\$ en 2008) (GTТА, 2008) et la moyenne des 15 plus grandes métropoles américaines (5,2 G\$ USD en 2014) (TTI, 2015). Selon les plus récentes données compilées par la firme INRIX, Montréal serait la deuxième ville la plus congestionnée au Canada, avec un total de 145 heures perdues par habitant.e dans le trafic à l'heure de pointe en 2018, après Toronto, qui occupe le premier rang des villes canadiennes avec 167 heures perdues par habitant.e, et avant Québec, au neuvième rang avec 85 heures perdues par habitant.e (INRIX, 2018).

Outre ses impacts socioéconomiques, la congestion routière accroît la pollution atmosphérique produite par

la combustion des énergies fossiles par les moteurs, ce qui a pour conséquences un accroissement des problèmes respiratoires, des décès prématurés ainsi que plusieurs types de cancers, et ce, particulièrement pour les populations limitrophes, souvent défavorisées (McCubbin et Delucchi, 2003).

Les véhicules à essence et au diesel émettent également du dioxyde de carbone (CO₂), un puissant GES responsable du réchauffement climatique (Black, 2010). Au Canada, le secteur des transports (routier, aérien, maritime, ferroviaire et hors route) est la deuxième plus importante source d'émissions de CO₂, représentant 28% des émissions totales (ECCC, 2019). Au Québec, le transport génère la plus importante source d'émissions de CO₂, avec 43% des émissions totales en 2016, dont 80% provenaient des transports routiers (MDDELCC, 2018). Une analyse plus fine de l'inventaire québécois révèle que les émissions de CO₂ provenant des transports routiers ont augmenté de 52% entre 1990 et 2016, dont l'essentiel est attribuable aux émissions des camions légers (+125%) et des véhicules lourds (+171%) (TRANSIT, 2018). Bien que les émissions de GES attribuables spécifiquement à la congestion routière ne soient pas systématiquement inventoriées, celles-ci servent souvent à justifier les nouveaux projets routiers. Mais pourquoi la congestion persiste-t-elle, malgré les interventions gouvernementales visant à la réduire?

Loi fondamentale de la congestion routière et demande induite en transports : « Si vous les construisez, ils vont conduire! »

La réponse des gouvernements aux problèmes persistants de congestion et de ses conséquences néfastes a généralement été d'augmenter la capacité routière, soit en construisant de nouvelles routes, soit en ajoutant des voies aux routes existantes. Or cette mesure s'avère inefficace, car contrairement au sens commun, l'augmentation de la capacité ne fait qu'accroître l'utilisation des véhicules. En effet, les nouvelles routes engendrent une demande supplémentaire équivalente à la nouvelle capacité. Ce quasi-équilibre naturel entre la demande et l'offre explique le fait que les voies atteignent les niveaux de congestion préexpansion entre 5 et 10 ans après la construction de nouvelles voies (Duranton et Turner, 2011). Ce qu'Anthony Downs

avait appelé « la loi fondamentale de la congestion autoroutière » en 1962 a depuis été confirmé par un grand nombre d'études scientifiques prenant en compte différents types de routes et de régions métropolitaines dans différents pays, à différents moments, ainsi que différents facteurs comme le climat, le prix du carburant, le revenu des ménages et la croissance de la population.

À quoi peut-on attribuer cette loi contre-intuitive de la congestion routière? Le nouveau trafic causé par l'augmentation de la capacité routière, communément appelé la « demande induite », provient de quatre sources : 1) l'augmentation du camionnage et du trafic commercial; 2) le changement des habitudes de déplacement des individus et des ménages; 3) la migration de la population; et, dans une moindre mesure, 4) le détournement du trafic provenant d'autres voies (Duranton et Turner, 2011). La logique est simple : à court terme, le nouveau segment routier diminue les temps de déplacement, donc les coûts, ce qui incite les individus et les entreprises à voyager davantage, à changer d'heure de départ ou d'itinéraire, à choisir la voiture plutôt que les transports en commun, à déménager plus loin des lieux d'emploi, etc. Cette augmentation de la demande vient donc, à moyen terme, compenser de manière proportionnelle la nouvelle offre routière, et, du même coup, la réduction des émissions de GES qui auraient pu être associée à une diminution de la congestion, d'où l'expression « *you can't build your way out of congestion* » ou « on ne peut se sortir du trafic en construisant des routes ».

Qui plus est, le réseau routier peut ne pas être utilisé à sa capacité optimale par les usager.ère.s, car ceux et celles-ci prennent une décision individuellement quant à l'itinéraire le plus rapide pour leur déplacement, et ce, indépendamment des choix des autres. En effet, les usager.ère.s n'ayant aucun incitatif à changer de trajet, ils et elles peuvent choisir d'emprunter une route et que celle-ci ne s'avère pas être la plus rapide, dû aux choix concourants des autres usager.ère.s de la route. Autrement dit, les décisions prises par les automobilistes en fonction de leur propre intérêt, et en supposant que les autres feront un choix, peuvent ne pas correspondre à l'optimal social. Ainsi, l'ajout d'une voie de circulation peut augmenter le temps total de déplacement sur l'ensemble du réseau (et vice-versa), d'où la nécessité de coordonner les déplacements individuels¹. Si les nouvelles voies ne réduisent pas la congestion, pourquoi alors continue-t-on d'en construire ?

Outre la congestion, un autre argument souvent évoqué pour justifier l'augmentation de la capacité routière

est celui de la création d'emploi et du développement économique. Bien que les infrastructures routières créent de l'emploi lors de leur construction, et bien que l'augmentation des déplacements engendre des bénéfices économiques liés aux activités générées (livraison, navettage, activités sociales), ces déplacements induits engendrent des coûts importants en termes de pollution, d'émissions de GES et de congestion. De plus, la plupart des études n'ont pas observé de lien entre, d'un côté, l'augmentation de la capacité routière et, de l'autre, l'emploi et l'activité économique. En effet, c'est plutôt un déplacement de l'activité économique à travers une même région métropolitaine qui est constaté (Handy, 2005). Par exemple, les entreprises effectuant la production et l'exportation de biens lourds à transporter vont être localisées le long de la nouvelle infrastructure routière, mais cela n'aura pas d'effet important sur la valeur totale de la production (Duranton, Morrow et Turner, 2014). L'augmentation de la capacité routière semble ainsi être une fausse bonne idée qui, en plus d'être inefficace pour atténuer la congestion, ne comporte peu ou pas d'effets directs et indirects positifs pour les régions urbaines, que ce soit en termes économiques, sociaux ou environnementaux.

Efficacité des interventions publiques

L'accroissement de la capacité routière ne permettant pas véritablement d'endiguer les problèmes de congestion, comment améliorer la fluidité de la circulation routière? L'augmentation des transports collectifs est souvent mise de l'avant comme étant la principale solution alternative à la construction de voies additionnelles ou de nouvelles routes. Cependant, conformément à la loi fondamentale de la congestion, l'espace libéré par l'utilisation des transports collectifs est compensé par la demande additionnelle qu'il crée, ce qui en fait aussi une mesure inefficace pour réduire la congestion (Duranton et Turner, 2011). En fait, si l'objectif est uniquement de faire diminuer le trafic automobile, la seule méthode efficace du côté de la gestion de l'offre est la réduction de la capacité routière, car la loi de la congestion routière fonctionne également en sens inverse : on fait référence alors à la « demande réduite ». En plus de faire diminuer la demande de déplacements, le retranchement du nombre de voies et la restriction de la circulation comportent également des bénéfices sociaux, environnementaux et économiques mesurables

1. Appartenant à la théorie des jeux et similaire au dilemme du prisonnier, ce phénomène se nomme le paradoxe de Braess, provenant du mathématicien du même nom (Braess, 1968).



Crédit photo : Rémi Jouan

et documentés [Cairns, Atkins et Goodwin, 2002]. Quant aux systèmes de transport intelligents, ceux-ci permettent de maximiser l'utilisation des infrastructures existantes en temps réel, augmentant ainsi la fluidité de la circulation. Cependant, la diminution des temps de déplacement faisant, à terme, augmenter la demande en transport, ces systèmes ne constituent pas une solution viable afin d'atténuer la congestion routière.

Plusieurs outils permettent de gérer la demande en transport, c'est-à-dire la quantité et le type de véhicules sur les routes, ainsi que les horaires de déplacement. D'abord, l'imposition de mesures écofiscales, comme la taxe sur l'essence, la tarification au kilométrage et la taxe sur les stationnements, peuvent contribuer à réduire l'utilisation des véhicules, car une augmentation des coûts de déplacement fait diminuer la demande. De plus, l'écofiscalité incite également les automobilistes à emprunter les modes de transports collectifs et actifs,

pour autant que ces choix s'offrent à eux. Ainsi, une étude révèle qu'augmenter la taxe sur l'essence à 0,46\$/L au Québec et instaurer une tarification routière de 0,15\$/km dans le Grand Montréal permettrait d'atteindre le quart de la cible québécoise de la réduction des émissions des GES provenant des transports², en plus d'augmenter l'utilisation des transports collectifs de presque 40% (TRANSIT, 2018).

Outre l'augmentation du coût des déplacements motorisés, les dirigeants.e.s ont également accès à plusieurs autres mesures de gestion de la demande qui possèdent des niveaux d'efficacité, de complexité, de coûts et de temporalité variables. Celles-ci incluent notamment le télétravail, les horaires variables, la gestion du stationnement et les politiques de croissance dite « intelligente », lesquelles permettent de réduire les distances de déplacement et la nécessité ou la volonté de les effectuer en automobile³. La réduction des besoins de déplacements ainsi que le réaménagement

2. Plus précisément, ce scénario « pollueur-payeur » et « utilisateur payeur » permettrait de réduire les émissions de GES de 2,22 Mt éq. CO₂, alors que la *Politique de mobilité durable* du Gouvernement du Québec vise une réduction de 8,48 Mt éq. CO₂ d'ici 2030 (TRANSIT, 2018, p. 42).

3. L'encyclopédie en ligne de *transportation demand measures* du *Victoria Transport Policy Institute* offre un inventaire exhaustif des outils de gestion de la demande en transports (<https://www.vtpi.org/tdm/tdm12.htm>).

de l'espace autrefois dédié à la circulation automobile et aux stationnements ont également des conséquences positives sur la santé publique, la qualité de vie urbaine, les valeurs foncières, la consommation locale, etc.

Choix politiques basés sur des données probantes : comment passer du populisme à l'acceptabilité sociale?

Comment parvenir à effectuer les choix de planification les plus efficaces, alors que ceux-ci sont impopulaires? L'initiative de recherche portant sur le rôle du leadership politique dans construction d'un urbanisme durable (Davis, 2019) révèle les différentes stratégies et tactiques ayant mené aux décisions politiques transformationnelles de certaines villes et métropoles. Parmi celles-ci, on souligne l'attente de l'ouverture de fenêtres d'opportunités, le recours à l'expertise technique, les projets pilotes, le choix et l'habilitation des alliés, le cadrage favorable des enjeux, la compensation des inconvénients, ainsi que le travail multiniveau. Les études de cas dévoilent également les différents parcours possibles vers l'adoption de choix politiques désirables du point de vue de la durabilité des transports, mais qui peuvent d'abord être impopulaires. Ainsi, une initiative peut être mise de l'avant à la suite d'une décision « choc », d'une série de changements incrémentaux, d'un effort de collaboration, d'un conflit, de négociations ouvertes, de jeux de coulisses, etc. Bref, la meilleure option dans un contexte donné n'est pas inatteignable; il s'agit de l'identifier, de bien la documenter, et de déployer les moyens afin d'obtenir les appuis nécessaires, de sorte qu'elle soit connue et reconnue comme étant souhaitable par la population et par les représentants des paliers de gouvernement concernés.

Black, W. (2010). *Sustainable Transportation: Problems and Solutions*. New York : Guilford Press.

Braess, D. (1968). *Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung. Unternehmensforschung Operations Research - Recherche Opérationnelle*, 12(1), 258-268.

Cairns, S., Atkins, S. et Goodwin, P. (2002). Disappearing Traffic? The Story So Far. *Proceedings of the Institution of Civil Engineering, Municipal Engineer*, 151(1), 13-22.

Conseillers ADEC inc. (2018). *Les coûts socioéconomiques de la congestion routière à Ville de Laval et dans la Couronne Nord*. Dans Communauté Métropolitaine de Montréal. Suivi du PMAD 2012-2018. Cahiers Métropolitains, 7, p. 46.

Davis, D.E. (2019). The Project. Transforming Urban Transport - The Role of Political Leadership (TUT-POL). Repéré à <http://www.transformingurbantransport.com/strategies-and-tactics>

Downs, A. (1962). The Law of Peak-Hour Expressway Congestion. *Traffic Quarterly*, 16(3), 393-409.

Duranton, G., Morrow, P.M. et Turner, M. (2014). Roads and Trade: Evidence from the U.S., *The Review of Economic Studies*, 81(2), 681-724.

Duranton, G. et Turner, M.A. (2011). The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US Cities. *American Economic Review*, 101, 2616-2652.

Environnement et Changements climatiques Canada (ECCC) (2019). *Rapport d'inventaire national 1990-2017 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada – Sommaire*. Repéré à http://publications.gc.ca/collections/collection_2019/eccc/En81-4-1-2017-fra.pdf

Greater Toronto Transportation Authority (GTTA) (2008). *Costs of Road Congestion in the Greater Toronto and Hamilton Area: Impact and Cost Benefit Analysis of the Metrolinx Draft Regional Transportation Plan*. Repéré à http://publications.gc.ca/collections/collection_2019/eccc/En81-4-1-2017-fra.pdf

Handy, S. (2005). Smart Growth and the Transportation-Land Use Connection: What Does the Research Tell Us? *International Regional Science Review*, 28(2), 1-22.

INRIX (2018). INRIX 2018 Global Traffic Scoreboard. Repéré à <http://inrix.com/scorecard/>

McCubbin, D. et Delucchi, M. (2003). The Health Effects of Motor Vehicle-Related Air Pollution. Dans D. Hensher et K. Button (eds.). *Handbook of Transport and the Environment* (p. 411-428). Oxford : Elsevier.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDEELCC) (2018). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2015 et leur évolution depuis 1990*. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2015/inventaire1990-2015.pdf>

Tessier, M-A. (2015). *Développement d'indicateurs d'analyse et de suivi de la congestion routière* (Mémoire de maîtrise, Université de Montréal) Repéré à https://publications.polymtl.ca/1957/1/2015_MarcAndreTessier.pdf

TRANSIT (2018). *Prochaine station, l'écofiscalité : Réduire les émissions de gaz à effet de serre en transport au Québec en tarifiant adéquatement les déplacements motorisés*. Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1233551.pdf>

Texas A&M Transportation Institute (TTI) (2015). *2015 Urban Mobility Scorecard*. Repéré à <https://pdfs.semanticscholar.org/2efb/66f800cd8f3218c348fd83ce8443f8138c0d.pdf?ga=2.69825104.1711823316.1568037598-300169493.1568037598>

INCLUSION DÉMOCRATIQUE : RETOUR SUR UN CAS DE GOUVERNANCE DÉCENTRÉE DE L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Alain Létourneau

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

Parler d'inclusion démocratique, c'est chercher à impliquer les citoyen.ne.s dans les processus de prise de décision des organes politiques. Évidemment la première question qui vient, c'est celle de savoir comment le faire. Cette tâche complexe se joue sur de multiples échelles : au niveau national, au niveau des provinces ou des états, des régions, des villes; sans oublier des questions qui chevauchent différentes juridictions, dont le niveau international. On sollicite la participation des citoyen.ne.s dans des forums, des commissions, des organismes. Certains types de sondages peuvent aussi être construits comme des outils de participation citoyenne – pensons au *Deliberative Polling* développé notamment par James S. Fishkin depuis une bonne vingtaine d'années (Fishkin, 2009). Les chantiers à débattre sont nombreux et, bien sûr, on peut discuter longuement des priorités qu'il faut accorder entre ces dossiers! Par définition, un programme d'action est limité par les buts qu'il poursuit et ce qu'il peut mobiliser comme forces et comme moyens.



Pourquoi cibler l'adaptation?

Parmi l'ensemble des questions dont il faut traiter, il y a l'immense chantier des changements climatiques : ce qui est à faire et avec quelle participation. Au passage, sans doute vaudrait-il mieux parler de *dérèglements climatiques*, pour saisir un peu mieux l'aspect dramatique du processus, car parler simplement de changements demeure très neutre. On est un peu débordés par tout ce qui est à faire : se protéger du dérèglement climatique, mais aussi lutter contre la pollution, contre la perte de biodiversité, etc.

Est-il justifié de s'occuper de l'adaptation, alors que ce qui semble importer, ce sont les mesures visant la réduction des GES? Quiconque s'est donné la peine d'enquêter sur le climat sait que la très grande partie de nos problèmes vient de l'usage des combustibles fossiles : transport, production d'électricité (dans certains pays), déforestation ainsi qu'une part de la production agricole. Les organisations, incluant les différentes composantes de nos gouvernements, doivent poursuivre leurs efforts en vue d'instaurer des solutions sobres en carbone. Il faut réduire l'émission des gaz à effet de serre, et cesser de faire disparaître les évier de carbone (*carbon sinks*, souvent appelés « puits ») comme les forêts.

Cependant, les scénarios relativement optimistes qui supposeraient des actions décisives et drastiques de la part des gouvernements (et nous en sommes malheureusement loin) demandent de cibler une hausse maximale des températures moyennes de l'ordre de 2°C à l'horizon 2100 (GIEC, 2015). Plusieurs auteurs affirment que cette estimation de date est une demande irréaliste : au train où vont les choses, on aura déjà dépassé cette hausse de température en 2050¹. Le système climat est immensément complexe; il change très lentement et certains processus, déjà en cours, demandent des décennies avant de déployer tous leurs effets. C'est ce qu'on appelle la stationnarité du système climat. Ce système du climat et, surtout, la régulation des actions humaines qu'il suscite représentent, en lien avec les autres problèmes environnementaux comme la perte de biodiversité et la pollution en tout genre, un défi

comme l'espèce humaine n'en a jamais rencontré jusqu'à présent. Cela témoigne de l'importance qu'il y a à le relever – on doit le faire si l'on veut léguer à nos enfants, et aux leurs, un monde et une qualité de vie semblables à ce qu'ont connu les générations passées et présentes. De plus, cette responsabilité nous incombe aussi devant l'ensemble des espèces non humaines, qui n'ont rien à voir avec nos usages énergétiques et qui, pourtant, sont sévèrement menacées².

Donc, pour résumer, il faut continuer de faire des efforts de décarbonisation. Toutefois, pour le moment, la société canadienne rate la cible – et elle n'est pas la seule (Oliver et Peters, 2018). Et c'est en raison de la stationnarité du climat et de ce peu d'efficacité politique à mettre en œuvre le tournant requis qu'il nous faut des programmes d'action en adaptation aux changements climatiques. Si nous n'essayons pas sérieusement de nous adapter, cela revient à nous condamner à de plus importantes souffrances. Comprenons bien qu'il s'agit de processus visant l'adaptation qui ne pourront être menés à bien une fois pour toutes, mais qui vont demander par la suite des répétitions, devant une situation qui va continuer de changer. (Adger, Lorenzoni et O'Brien, 2009; Ford et Berrang-Ford, 2011; Thomas et Da Cunha, 2017; Létourneau, 2017).

Pourquoi les villes et les MRC, et comment organiser la participation?

Quels sont les acteurs principaux à cibler? Il faut comprendre que les villes et les municipalités sont directement sur le front, puisqu'elles ont à charge la gestion de la proximité. Pour ne donner qu'un exemple, ce sont les villes et les régions qui sont inondées (ONERC, 2010). Le Québec s'est doté d'une politique visant cette adaptation; les grandes villes se sont déjà donné un tel plan, mais aucune municipalité régionale de comté (MRC)³ ne l'a encore fait à ce jour, en 2019 (Gouvernement du Québec, 2013). Depuis 2017, avec ma cochercheuse Isabelle Thomas, professeure d'urbanisme à l'Université de Montréal, et avec le soutien d'Ouranos et de la MRC Memphrémagog ainsi que du Centre Sève, je dirige un projet de recherche-action en

1. Comme le rapporte Michel Damian, professeur émérite de l'Université de Grenoble, jusqu'au rapport du GIEC de 2013, avec un doublement de la quantité de CO₂ (ppm) depuis l'âge industriel, les modèles supposaient une variation entre 2,5°C de plus et 4,5°C pour 2100. En préparation du rapport de 2021, on escompte maintenant un haut de fourchette à plus de 5°C pour les mêmes périodes de référence. Voir : Damian, M. (2019, 13 mai).

2. Pas uniquement, puisque la perte de biodiversité n'a pas que les usages énergétiques pour cause. Mais, parions que ces derniers ainsi que la déforestation y jouent tout de même un rôle en favorisant le déploiement massif de notre espèce sur tous les coins du globe.

3. Les MRC regroupent souvent sur un territoire plusieurs municipalités.

adaptation⁴. Ce projet implique les partenaires de ce milieu, dans une approche structurée qui se développe sur trois ans; au moment d'écrire ces lignes, nous en sommes à la deuxième année. Le but visé est d'aider la MRC Memphrémagog à se donner non pas un plan, mais bien une stratégie d'adaptation aux changements climatiques. Nous avons adopté une approche de type gouvernance, escomptant une sensibilisation mutuelle des décideurs et des acteurs, dans un va-et-vient structuré (voir entre autres Young, 2013). Nous faisons participer la population dans le but d'opérer une sensibilisation des citoyen.ne.s, incluant les décideurs, anticipant de ce travail structuré de communication, la facilitation des processus de prise de décision.

Qui faisons-nous participer, et de quelle manière? Dans le cadre d'échanges préparatoires menés en étroite collaboration avec la MRC, nous avons estimé que les parties prenantes les plus pertinentes pour le milieu pouvaient, dans un premier temps, être regroupées en secteurs, plutôt que sur une base uniquement territoriale – puisque plusieurs fonctions se retrouvent en plusieurs espaces distincts du territoire. Ces regroupements par secteurs ne sont pas un cas isolé en adaptation, quoique la manière de le faire varie énormément selon les projets (Biebeler, Bardt, Chrischilles, Mohammadzadeh et Striebeck, 2014). Les choix ont été faits en raison des caractéristiques et des spécificités régionales. Après les avoir énumérés, j'expliquerai pourquoi ils ont été retenus. Il s'agit de **1)** l'aménagement et la gestion urbaine **2)** la sécurité publique **3)** la santé et les services sociaux, **4)** le milieu agricole, **5)** le secteur touristique.

1) Les 17 municipalités concernées et la MRC qui les regroupe mobilisent des ressources sur le territoire en affectant la manière de l'habiter, d'y circuler et de s'approvisionner, ce qui implique de la planification et de la gestion urbaine. **2)** Parler de changements climatiques, c'est parler aussi d'aléas climatiques, par exemple les inondations et les feux. Nous posons les questions : a-t-on ce qu'il faut pour intervenir, et quelle est la compréhension des expert.e.s de sécurité au sujet de ce territoire particulier ? **3)** Les changements au système climatique entraînent des effets potentiels importants sur la santé de gens : tout le problème des zoonoses comme la maladie de Lyme, mais aussi les maladies liées à l'eau en cas d'inondation, les espèces envahissantes, les secours requis en situation d'urgence et les aménagements requis devant les îlots de chaleur⁵. **4)** Bien que la MRC soit urbanisée, elle est largement aussi peuplée d'exploitations agricoles, tant sur son flanc ouest que du côté est. Il s'agit d'une composante

déterminante de la région. **5)** Enfin, avec son parc national, ses stations de ski, ses lacs et ses espaces de villégiature, la MRC Memphrémagog détient une composante touristique centrale à sa vie économique, et ce, été comme hiver. Pensons à Owl's Head, au Mont-Orford avec son parc national et sa station de ski, à North Hatley, à la promenade de Magog, aux lacs Massawippi et Memphrémagog, etc. Toute une vie régionale et locale se décline sur le mode de l'offre saisonnière d'activités qui répondent à des besoins variés.

Des invitations ciblées pour une réunion de table sectorielle ont rassemblé chaque fois une vingtaine de participant.e.s bien impliqué.e.s dans les questions et qui ont de toute façon à les prendre en charge. Elles ont permis de mettre à l'épreuve et d'enrichir certaines analyses de vulnérabilités tant sociales, économiques que territoriales, ce qui est forcément une étape essentielle de toute démarche visant à renforcer l'adaptation. La vulnérabilité peut en effet être un fait du territoire, quand par exemple les gens sont installés en zone inondable, mais cela peut aussi être le fait d'une sensibilité sociale plus élevée, ce qui est lié à des statuts permettant moins d'information ou de mobilité chez certaines populations. Évidemment, les deux aspects se combinent dans la pratique; il faut sans doute alors porter une attention particulière à ces milieux plus susceptibles d'être grandement affectés par les bouleversements du système climatique. Nous avons aussi organisé une table régionale d'une durée d'une journée (appelée TRACC) regroupant tous ces secteurs, et en cherchant aussi à obtenir la participation de certaines personnes qui avaient manqué les tables sectorielles. Il était alors question de concrétiser l'échange et la communication pour tous les acteurs de la région, de mieux faire connaître ce qui était ressorti lors des tables sectorielles, en commençant par dégager une meilleure compréhension des vulnérabilités de la MRC dans son ensemble. Le but de ce processus était d'élargir la connaissance des problèmes à l'intérieur de la MRC en impliquant le plus largement possible les acteurs dans la construction de cette connaissance.

Du point de vue d'une philosophie politique engagée, une telle approche pouvait sembler tabler uniquement sur les expertises du milieu, et avoir procédé uniquement par cooptation, ce qui représentait une faiblesse à laquelle il fallait tenter de remédier. Dans le but de permettre une expression des avis des citoyen.ne.s, et afin de rendre compte des aspects plus locaux et des perceptions à l'échelle des municipalités singulières, des rencontres ont été tenues au printemps 2019 au niveau de quatre

4. Ce projet est coordonné par Nathalie Bleau et relève du programme Environnement bâti du consortium Ouranos.

5. Dans la littérature spécialisée, on note que les îlots de chaleur (*heat island*, ou *heat spot*) sont particulièrement touchés lorsqu'il y a des vagues de chaleur. Pensons ici aux grandes surfaces asphaltées ou bétonnées.

villes en différents endroits du territoire, sur la base d'un appel plus large. Les invitations ont été lancées par l'équipe de recherche et non par la MRC (quoique nous avons obtenu leur aide), dans le but de permettre une indépendance du propos. Le but de ces rencontres était de repartir de certains points identifiés lors des tables sectorielles et régionales, mais de cibler les priorités d'action telles que vues par des agents ne se limitant pas aux sphères consultées et impliquant la société civile, des groupes citoyens et les mouvements sociaux, sans pour autant exclure les administrateurs des villes concernées ou d'autres acteurs, partenaires réguliers de celles-ci. Intitulées « Cafés climat », ces rencontres ont déjà permis de mieux cerner la pluralité des intérêts et des perspectives sur le terrain. Nous avons pu, à l'occasion de ces cafés, toucher du doigt certaines faiblesses précises, dont certaines n'avaient pas été mentionnées auparavant. Certains groupes plus critiques ont également participé. Ce sera aux rapports finaux d'entrer dans les détails.

Comme il s'agit d'un processus en cours, il est trop tôt pour en tirer des leçons. Les solutions choisies peuvent être de divers ordres, et avoir plus ou moins de radicalité. Elles peuvent aussi mettre en jeu des visions tout à fait opposées de ce que serait une adaptation qu'on pourra ensuite estimer valable. Dans une prise de parole récente, le journaliste anglais George Monbiot revenait sur sa proposition de recréation des espaces sauvages : restaurer les milieux humides, reconstruire les forêts dévastées; on pourrait compter aussi dans cela la revégétalisation notamment en milieu urbain, les sols perméables de même que le mouvement visant à mieux respecter l'espace des rivières (Monbiot, 2013). Des solutions peuvent être sobres en carbone, tout en permettant de renforcer l'absorption des gaz à effet de serre dans la nature, et en prévenant les risques d'inondation. Si toutefois l'objectif est d'accompagner les milieux dans un cheminement de réflexion qui reste celui des habitants du territoire, il faudra voir jusqu'où ils et elles voudront aller. Ensuite, la question de savoir avec quelles ressources entamer les processus demande déjà une meilleure prise de conscience des programmes disponibles et de ce que ces derniers permettent ou non. Nous assumons à cet égard une importante fonction de veille concernant ce qui peut être proposé comme sources de financement aux municipalités.

Adger, W.N., Lorenzoni, I. et O'Brien, K.P. (2009). *Adapting to climate change: Thresholds, values, governance*. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.

Biebeler, H., Bardt, H., Chrischilles, E., Mohammadzadeh, M. et Striebeck, J. (2014). Anpassungsbedarf und anpassungsmaßnahmen regionaler akteure in deutschland. Dans, H. Biebeler, H. Bardt, E. Chrischilles, M. Mohammadzadeh, et J. Striebeck (dir.), *Wege zur anpassung an den klimawandel: regionale netzwerke, strategien und maßnahmen*, Köln, Allemagne : IW Medien.

Damian, M. (2019, 13 mai). Les climatologues s'inquiètent : les nouveaux modèles pointent vers un réchauffement de 50C. *Reporterre*. Repéré à <https://reporterre.net/Les-climatologues-s-inquietent-les-nouveaux-modeles-pointent-vers-un>

Fishkin, J.S. (2009). *When the people speak: Deliberative democracy and public consultation*. Oxford, Royaume-Uni : Oxford University Press.

Ford, J.D. et Berrang-Ford, L. (2011). *Climate change adaptation in developed nations: From theory to practice*. Berlin, Allemagne : Springer.

Gouvernement du Québec. (2013). *Le Québec en action, Vert 2020. Stratégie gouvernementale d'adaptation aux changements climatiques 2013-2020*. Repéré à http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/plan_action/strategie-adaptation2013-2020.pdf

Létourneau, A. (2017). L'adaptation aux changements climatiques devant les questions de gouvernance de l'eau. *Cahiers de Géographie du Québec*, 61(174), 447-467. Monbiot, G. (2013). *Feral: Rewilding the land, the sea and human Life*. Toronto, Canada : Penguin Books.

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

Oliver, J.G.J. et Peters, J.A.H.W. (2018). *Trends in global CO2 and total greenhouse gas emissions*. Repéré sur le site du PBL Netherlands Environmental Assessment Agency : https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2018-trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions-2018-report_3125.pdf

Thomas, I. et Da Cunha, A. (2017). *La ville résiliente : Comment la construire?* Montréal, Québec : Les Presses de l'Université de Montréal.

Young, O.R. (2013). *On environmental governance: Sustainability, efficiency, and equity*. Abingdon-on-Thames, Royaume-Uni : Routledge.



Enjeux de société

LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA SANTÉ AU QUÉBEC : L'EXEMPLE DE L'ESTRIE

Geneviève Petit

Professeure au Département des sciences de la santé communautaire
Université de Sherbrooke

Éric Lachance

Professeur au Département de médecine de famille
Université de Sherbrooke

Mélissa Généreux

Professeure au Département des sciences de la santé communautaire
Université de Sherbrooke

Charles-Antoine Barbeau-Meunier

Étudiant au Programme de doctorat en médecine
Université de Sherbrooke

Linda Pinsonneault

Professeure au Département des sciences de la santé communautaire
Université de Sherbrooke

Huy Hao Dao

Professeur au Département des sciences de la santé communautaire
Université de Sherbrooke

Marie-Christine Milot

Étudiante au Programme de doctorat en médecine
Université de Sherbrooke

Geneviève Baron

Professeure au Département des sciences de la santé communautaire
Université de Sherbrooke

Alex Carignan

Professeur au Département de microbiologie et d'infectiologie
Université de Sherbrooke

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) soutient que les changements climatiques représentent la plus grande menace pour la santé dans le monde au 21^e siècle. Ceux-ci influencent négativement plusieurs déterminants sociaux et environnementaux de la santé comme l'accessibilité à la nourriture et la qualité de cette dernière, l'eau et l'air. Blessures, impacts psychosociaux, aggravation de maladies respiratoires, malnutrition, maladies infectieuses, décès : les conséquences sanitaires sont susceptibles d'affecter les populations sur tous les continents.

Le Canada se réchauffe deux fois plus rapidement que la moyenne mondiale en raison de sa proximité au pôle Arctique, où le réchauffement est accéléré comparativement à l'équateur (Bush et Lemmen, 2019). Ainsi, le Québec n'est certainement pas à l'abri des changements climatiques. Dans le Sud de la province, les températures moyennes observées ont augmenté de plus d'un degré depuis 1970 et des répercussions se font déjà sentir dans notre environnement.

Ce réchauffement, accompagné d'une plus grande variabilité du climat (augmentation du risque d'orages, de tempêtes et d'extrêmes hydrométéorologiques en général), représente un défi grandissant pour les professionnel.le.s de la santé. Dans la région de l'Estrie, les professionnel.le.s de santé publique ont effectué une analyse qui leur ont permis d'identifier quatre principaux problèmes environnementaux associés aux changements climatiques, soit :

- les vagues de chaleur;
- les inondations;
- les tiques à pattes noires;
- le pollen de l'herbe à poux.

Ces problèmes ont des impacts importants sur la santé, c'est-à-dire potentiellement graves ou qui touchent un grand nombre de personnes. Le stress et les pertes (humaines et matérielles) engendrées par ces différents problèmes environnementaux peuvent aussi représenter une source majeure de problèmes psychologiques significatifs pouvant persister dans le temps. De plus, ces impacts sont variables selon les différents contextes sociaux des individus et des communautés, générant des inégalités sociales de santé.

Inspirée des travaux des *Centers for Disease Control and Prevention* des États-Unis (CDC), la Direction de santé publique de l'Estrie a développé en 2016 une roue illustrant les principaux impacts sanitaires des changements climatiques (DSP-Estrie, 2016) (voir Figure 1).

Les impacts des changements climatiques sur la santé

VAGUES DE CHALEUR

Le nombre de journées chaudes (plus de 30 °C) est appelé à augmenter en Estrie, passant d'une moyenne de 3 journées par année à 11 ou 19 selon un scénario modéré ou élevé (Ouranos, 2019). On s'attend alors à une augmentation de fréquence, de durée et d'intensité des épisodes de chaleur extrême (Doyon, Bélanger et Gosselin, 2006), c'est-à-dire une période d'au moins 3 jours consécutifs de température dépassant les seuils de chaleur élevée et étant associés à une plus forte probabilité d'excès de mortalité.

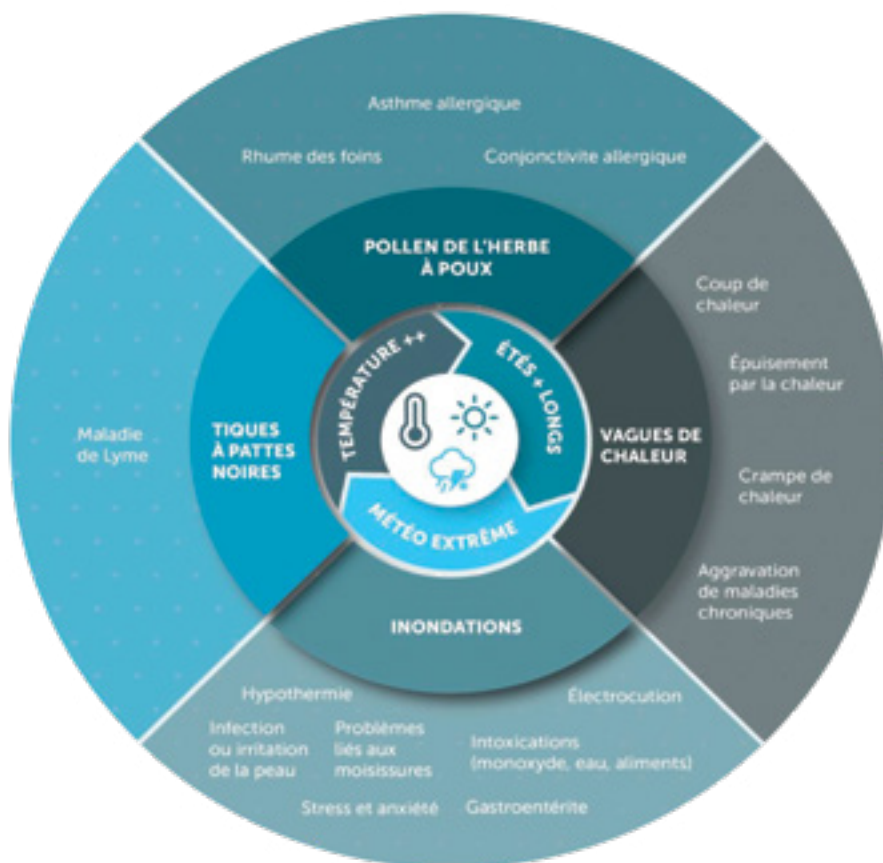


Figure 1. Principaux impacts des changements climatiques sur la santé des Estrien.ne.s

Les problèmes de santé liés aux vagues de chaleur peuvent être majeurs et mener au décès. Ils surviennent lorsque les capacités d'adaptation sont insuffisantes (capacités à se protéger de la chaleur, à se rafraîchir, à évacuer la chaleur et à maintenir un équilibre hydrique et électrolytique). Les principales manifestations sont : les crampes musculaires, la perte de connaissance, l'épuisement dû à la chaleur, le coup de chaleur, ainsi que l'aggravation des maladies chroniques.

Ces risques liés à la chaleur sont plus importants pour certains groupes de personnes, notamment : les nourrissons et les jeunes enfants, les personnes qui travaillent à la chaleur ou effectuant des activités physiques exigeantes, les personnes âgées, les personnes vivant seules ou en perte d'autonomie et les personnes souffrant de maladies chroniques. Par ailleurs, l'impact des vagues de chaleur est plus important en milieu urbain en raison des îlots de chaleur.

L'épisode de chaleur extrême de juillet 2018 en Estrie a été important, causant des problèmes de santé chez au moins 79 personnes, incluant 15 décès (DSP-Estrie, 2019). Pour éviter les problèmes de santé, il est recommandé de rester au frais, de bien s'hydrater et de réduire les efforts physiques. Aussi, pour mieux gérer les impacts à plus long terme, il est aussi essentiel que les communautés travaillent à la mise en place de mesures environnementales (plus d'espaces verts, moins d'espaces minéralisés, adaptation à la chaleur du parc immobilier, etc.).

INONDATIONS

Les inondations représentent la catastrophe naturelle la plus importante au Québec et engendrent des coûts sociaux et économiques importants. Leur fréquence sera également accrue en raison des changements climatiques et du dérèglement du cycle de l'eau, perturbant la vie de plusieurs milliers de personnes. De par l'ampleur des pertes subies et des stress vécus, ce type d'événement peut avoir de graves conséquences autant sur la santé physique que psychologique, variant selon la nature et l'ampleur inondations, ainsi que selon les facteurs de vulnérabilité et de protection de la population exposée (Alderman, Turner et Tong, 2012).

Les inondations peuvent être à l'origine de risques d'électrocution, d'intoxication au monoxyde de carbone, de blessure, de noyade, de morsure d'animaux, d'hypothermie, d'infection cutanée et de tétanos, d'infection d'origine alimentaire ou hydrique, d'infection respiratoire, de stress, de détresse et d'insomnie, et ce, peu de temps suivant les événements. (Menne et Murray, 2013).

Au cours des mois et des années suivant l'événement, les principaux problèmes de santé pouvant être observés sont les problèmes respiratoires liés aux moisissures, ainsi que les troubles de l'humeur ou d'anxiété, le trouble de stress post-traumatique, et les abus de substances (telles que drogues ou alcool) (Menne et Murray, 2013). Selon une enquête montréalaise menée auprès de 200 sinistré.e.s des inondations printanières de 2017, ceux et celles-ci étaient près de deux fois plus nombreux.euses à rapporter un état de santé passable ou mauvais, et près de cinq fois plus nombreux.euses à rapporter un état de santé mentale passable ou mauvais comparativement à la population générale.

Bien que relativement épargnée des crues printanières historiques de 2017 et 2019, l'Estrie a connu des inondations d'importance sur son territoire au cours des dernières années. Actuellement, le Québec doit revoir les usages et les aménagements en zones inondables afin de réduire les vulnérabilités aux crues des eaux.

TIQUES À PATTES NOIRES

L'augmentation de la température au Canada et au Québec bouleverse les écosystèmes et la biodiversité, et crée un environnement plus propice aux tiques, notamment en favorisant leur survie, en prolongeant leur période d'activité et en augmentant l'étendue géographique et l'abondance des animaux leur servant de réservoirs et d'hôtes (les souris et les chevreuils). L'exposition humaine aux tiques est également susceptible d'accroître en raison d'un début plus précoce des activités de plein air au printemps et une fin plus tardive à l'automne (Bouchard et al. 2019).

On peut ainsi s'attendre à une augmentation des infections susceptibles d'être transmises par ces tiques au cours des prochaines années. Parmi les infections possibles, la maladie de Lyme est, jusqu'à maintenant, celle qui est la plus répandue au Québec. Depuis plusieurs années, on observe une augmentation des cas déclarés de cette maladie causée par la bactérie *Borrelia burgdorferi*. Cette bactérie peut être transmise à l'humain par la morsure de la tique *Ixodes scapularis*, surnommée tique à pattes noires ou tique du chevreuil. Les populations de tiques à pattes noires sont aujourd'hui bien établies dans le Sud de la province et se retrouvent particulièrement dans les régions boisées, les arbustes, les hautes herbes et les amas de feuilles mortes.

L'Estrie est la région du Québec présentant le taux d'incidence de maladie de Lyme le plus élevé de la province. Cette région a dû et devra encore s'adapter pour faire face à cette maladie émergente, notamment en déployant des mesures de surveillance, de

sensibilisation et de prévention visant à documenter et à mieux prévenir la maladie. Un diagnostic précoce et un traitement rapide permettront également de réduire les conséquences cliniques, ce qui renforce la nécessité de continuer d'éduquer et de soutenir les citoyen.ne.s et les professionnel.le.s de la santé en lien avec cette maladie.

HERBE À POUX

La rhinite allergique (communément appelée rhume des foins), causée par le pollen de l'herbe à poux (*Ambrosia artemisiifolia*) est déjà un problème de santé fréquent avec un impact significatif sur la santé de la population. Il risque de s'accroître avec les changements climatiques.

Selon des données d'enquêtes québécoises, près de 14 % de la population adulte souffrirait d'allergie à l'herbe à poux (Canuel et Lebel, 2012) pouvant se manifester par des symptômes d'irritation des yeux, de congestion, d'écoulements nasaux et d'asthme. Des surinfections, notamment des otites, des sinusites et des pneumonies, peuvent également survenir. La réduction de la qualité de vie et l'évitement des activités de loisirs qui occasionnent une exposition ont également été rapportés chez les personnes atteintes. Des coûts sociaux importants sont associés à la perte de temps de travail, aux consultations médicales, aux traitements ainsi qu'aux stratégies d'évitement du pollen (purificateurs d'air, etc.).

Deux mécanismes distincts contribuent à l'impact des changements climatiques sur les allergies au pollen de l'herbe à poux. D'une part, en présence d'une concentration accrue de CO₂, les plans d'herbe à poux émettent un pollen plus abondant et plus allergisant (Ziska, Epstein et Schlesinger, 2009). D'autre part, le

retard des premiers gels entraîne un allongement de la période végétative, prolongeant la fin de la saison de l'herbe à poux.

Malgré tout, des méthodes de contrôle de la plante simples et relativement peu coûteuses ont été démontrées efficaces pour atténuer les effets du pollen sur la santé des personnes allergiques (DSP-Montérégie, 2013). Une mobilisation des instances gouvernementales et des municipalités est requise pour réduire les répercussions sanitaires associées à l'herbe à poux.

IMPACTS PSYCHOSOCIAUX

Les changements climatiques représentent un risque important pour la santé psychologique. Ainsi, la dégradation des ressources naturelles et celle d'infrastructures, l'insécurité alimentaire, l'instabilité économique, les pertes humaines et matérielles, les déplacements de population et les tensions géopolitiques concomitantes peuvent être une source importante de stress, et peuvent aussi précipiter des troubles de stress post-traumatique et des épisodes dépressifs (Hayes, Blashki, Wiseman, Burke, et Reifels, 2018). Tel que présenté au Tableau 1, les impacts peuvent être regroupés en trois catégories (Doherty et Clayton, 2011; INSPQ, 2019).

Dans le Sud du Québec, on a d'ailleurs remarqué une augmentation des admissions hospitalières pour des troubles de santé mentale, comme des troubles psychotiques, des manies et des déliriums pendant les vagues de chaleur et d'humidité (Hayes, Blashki, Wiseman, Burke, et Reifels, 2018).

Effets directs	Effets indirects*	Impacts sociaux et communautaires
- Trouble de stress post-traumatique - Dépression - Problèmes de consommation de drogues et d'alcool - Suicide	- Détresse émotionnelle - Anxiété - Émotions dépressives comme la culpabilité et le désespoir	- Conflits (compétition pour les ressources, migrations humaines) - Bris des réseaux sociaux (en lien avec les pertes d'emploi, de proches) - Perte des bienfaits psychologiques associés à la nature et à un environnement sain

Tableau 1. Impacts psychosociaux associés aux aléas climatiques. Source : INSPQ (2019)

* Réponse émotionnelle aux images de dégradation environnementale et aux impacts des changements climatiques véhiculés dans les médias et dans la société.

La menace des changements climatiques pour la santé mentale est telle qu'on recense maintenant de nouveaux phénomènes en ce sens :

- l'écoanxiété (anxiété ressentie face aux problèmes associés aux changements climatiques);
- l'écoparalysie (sentiment de ne pouvoir réaliser des actions efficaces contre les risques des changements climatiques);
- la solastalgie (sentiment de destitution conséquent à la perte de son environnement et le réconfort que celui-ci apportait, comme lorsqu'on annule une activité sociale ou sportive) (Hayes, Blashki, Wiseman, Burke, et Reifels, 2018).

INÉGALITÉS SOCIALES DE SANTÉ

Les changements climatiques sont également susceptibles d'accroître les inégalités sociales de santé chez certains groupes de la population tels que les enfants, les personnes âgées et les personnes de faible statut socioéconomique (Hayes, Blashki, Wiseman, Burke, et Reifels, 2018). Cela passerait par 3 facteurs explicatifs :

- une plus grande exposition aux aléas climatiques;
- une plus grande susceptibilité aux dommages causés par ces aléas;
- une moins grande capacité à faire face aux dommages et à se rétablir à la suite de ceux-ci.

En Estrie, en prenant l'exemple de la chaleur, il est clair que l'accès à certaines mesures d'adaptation (p. ex. la climatisation du logement) n'est pas égal pour tous et toutes. On constate aussi que les îlots de chaleur sont généralement habités par des gens considérés plus vulnérables et qu'on retrouve des îlots de chaleur dans chacune des 15 communautés les plus défavorisées sur les plans matériel et social de l'Estrie.

Conséquemment, la réduction des îlots de chaleur par des initiatives de verdissement urbain aurait des retombées sanitaires positives et permettrait de réduire les inégalités sociales de santé, tout en contribuant à revitaliser des quartiers et à favoriser de saines habitudes de vie (DSP-Estrie, 2016).

Conclusion et pistes d'intervention pour les professionnel.le.s et le réseau de santé

RÔLE DES PROFESSIONNEL.LE.S DE LA SANTÉ

Les professionnel.le.s de la santé ont une responsabilité par rapport à cet enjeu sociétal important. Ils et elles sont des acteurs clés vis-à-vis de la menace des changements climatiques : non seulement jouissent-ils et elles de la confiance du public et d'un accès privilégié aux populations à risque, ils et elles disposent aussi d'arguments majeurs pour motiver des mesures d'adaptation sanitaires et durables (OMS, 2019).

ADAPTATION DE LA PRATIQUE

Les professionnel.le.s de la santé sont appelé.e.s à accompagner la population à travers les changements apportés par les enjeux climatiques en l'éduquant sur les risques et les mesures préventives à adopter face aux aléas tels que les vagues de chaleur, les morsures de tiques et les situations d'inondations et en collaborant avec les partenaires de la communauté pour agir collectivement sur les risques, les conséquences et les mesures à prendre.



Les professionnel.le.s peuvent également sensibiliser la population aux mesures « co-bénéfiques », c'est-à-dire améliorant la santé des usager.ère.s tout en diminuant les émissions de GES et la pollution de l'air, en étant des promoteurs du transport actif, du verdissement, et de la réduction de la consommation de viande rouge (Perrotta, 2019).

ADAPTATION DU MILIEU DE LA SANTÉ

Le milieu de la santé doit aussi faire preuve d'adaptation. D'abord, des infrastructures résilientes par rapport aux aléas tels que les vagues de chaleur sont nécessaires. Puis, la santé climatique et environnementale devra faire partie des curriculums de formation des professionnel.le.s de santé et du développement professionnel continu. Enfin, de concert avec les autres secteurs de la société, celui de la santé devra développer des plans de durabilité, préconisant notamment une réduction du gaspillage alimentaire, l'emploi d'énergies renouvelables, la végétalisation des sites de soins et la mobilisation d'équipes de « champions verts » pour réaliser et soutenir ces visées (Perrotta, 2019).

ACTION POLITIQUE

Enfin, au nom du bien commun, les professionnel.le.s de la santé et leurs associations sont aussi un puissant levier politique, et ont déjà entamé plusieurs démarches de mobilisation et de sensibilisation des citoyen.ne.s et des acteurs politiques qui doivent être soutenues et renforcées dans les prochaines années.

Le poète Friedrich Hölderlin écrivait : « Là où croît le péril, croît aussi ce qui sauve ». Face à l'enjeu du siècle que représentent les changements climatiques, lesquels menacent unilatéralement la santé et l'épanouissement de nos populations, le réseau et les professionnel.le.s de la santé peuvent faire une grande différence.

Alderman, K., Turner, L.R. et Tong, S. (2012). Floods and human health: A systematic review. *Environment International*, 47, 37-47.

Bouchard, C., Dibbernardo, A., Koffi, J., Wood, H., Leighton, P.A. et Lindsay, L.R. (2019). Augmentation du risque de maladies transmises par les tiques dans le contexte des changements climatiques et environnementaux. *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, 45(4), 89-98.

Bush, E. et Lemen, D.S. (eds.) (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Repéré à https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC_FULLREPORT-FR-FINAL.pdf

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

Direction de la santé publique de la Montérégie (DSP-Montérégie) (2013). *Mobiliser une communauté du sud du Québec pour contrer l'herbe à poux : analyse des coûts de l'intervention et de ses effets sur la distribution spatiale des plants, du pollen et des symptômes d'allergie chez des adultes*. Repéré sur le site de l'Institut national de santé publique du Québec : https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1758_MobiliCommuSudQcHerbePoux_AnalyCoutsIntervEffets.pdf

Direction de santé publique de l'Estrie (DSP-Estrie) (2016, juin) Changements climatiques : qu'en est-il des risques pour la santé des Estriens ? *Vision santé publique – bulletin d'information de la direction de santé publique de l'Estrie*, (30). Repéré à : https://www.santeestrie.qc.ca/clients/SanteEstrie/Publications/Sante-publique/Bulletin-vision/2016/30_Vision_sante_publique_Changements_climatiques.pdf

Direction de santé publique de l'Estrie (DSP-Estrie). (2019) Chaleur extrême : juin-juillet 2018 – Bilan estrien. *Vision santé publique – bulletin d'information de la direction de santé publique de l'Estrie*, 49, mars. Repéré à : https://www.santeestrie.qc.ca/clients/SanteEstrie/Publications/Sante-publique/Bulletin-vision/2019/49_Vision_sante_publique_Chaleur-Extreme.pdf

Doherty, T.J. et Clayton, S. (2011). The Psychological Impacts of Global Climate Change, *American Psychologist*, 66(4), 265-276. DOI: 10.1037/a0023141

Doyon, B., Bélanger, D. et Gosselin, P. (2006). *Effets du climat sur la mortalité au Québec méridional de 1981 à 1999 et simulations pour des scénarios climatiques futurs*. Repéré sur le site de l'Institut national de santé publique du Québec : <https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/536-EffetsCimatMortalite-Quebec.pdf>

Hayes, K., Blashki, G., Wiseman, J., Burke, S., et Reifels, L. (2018). Climate change and mental health: risks, impacts and priority actions. *International Journal of Mental Health Systems*, 12(28). DOI: 10.1186/s13033-018-0210-6.

Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) (2019). Mon climat, ma santé – pour mieux s'adapter aux changements climatiques. Repéré à <http://www.monclimatmasante.qc.ca/accueil.aspx>

Menne, B. et Murray, V. (2013). *Floods in the WHO European Region: health effects and their prevention*. Repéré sur le site du World Health Organization : http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/189020/e96853.pdf

Ouranos (2019). Portraits climatiques, Sommaire pour l'Estrie. Repéré à <https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques/#/regions/7>

Organisation mondiale de la santé (OMS) (2019). *Projet de stratégie mondiale OMS sur la santé, l'environnement et les changements climatiques. La transformation nécessaire pour améliorer durablement la vie et le bien-être grâce à des environnements sains*. Repéré à http://www.wpro.who.int/about/regional_committee/69/documents/rc_draft_who_global_strategy-fr.pdf

Perrotta, K. (2019). Boîte à outils pour les professionnels de la santé. Association canadienne des médecins pour l'environnement (ACME). Repéré à <https://cape.ca/boite-a-outils-sur-les-changements-climatiques-pour-les-professionnels-de-la-sante/>

Ziska, L. H., Epstein, P.R. et Schlesinger, W.H. (2009). Rising CO₂, climate change, and public health: exploring the links to plant biology. *Environmental Health Perspectives*, 117(2), 155-158.

CHANGEMENTS CLIMATIQUES, RESSOURCES NATURELLES ET CONFLITS ARMÉS

Jonathan Goyette

Professeur au Département d'Économie
Université de Sherbrooke

Selon les données du programme sur les conflits d'Uppsala, le nombre de conflits armés est significativement en hausse depuis 2012. En parallèle, la dernière décennie a connu les quatre années (2015 à 2018) les plus chaudes jamais enregistrées selon l'organisation météorologique mondiale. S'agit-il d'une simple corrélation ou existe-t-il un lien de causalité entre les variations du climat et la violence ?

Le climat¹ et la géographie expliqueraient, selon plusieurs penseur.euse.s, une partie de la variation des inégalités à travers les sociétés, qui sont à la source de nombreuses violences au fil des siècles. Cette idée était déjà partagée au cours de l'Antiquité. Hippocrate, dans son *Traité des airs, des eaux et des lieux*, affirme que les différences entre les « hommes » et les sociétés sont tributaires des différences climatiques et géographiques. Cette idée n'est donc pas nouvelle lorsqu'elle est énoncée par Ibn Kaldoun dans *Muqaddimah* (Gates, 1967) ou dans la « Théorie des climats »,



1. Le consensus au sein de la littérature consiste à utiliser le terme « variations météorologiques » pour des changements météo sur des périodes courtes (jour, mois, année), tandis que le mot « climat » réfère à la distribution de ces variations sur des périodes plus longues (décennie, siècle). En ce sens, la météo décrit une réalisation spécifique de la distribution climatique d'une zone spécifique.

de Montesquieu (1748), présentée dans *L'esprit des lois* et dans *Lettres persanes*, où l'auteur affirme qu'un « excès de chaleur rend les hommes apathiques et paresseux », ce qui expliquerait la différence entre le niveau de développement des pays chauds et celui des pays à température plus modérée.

Plus récemment, Ladurie (2011) étudie la courbe de température moyenne mensuelle à Paris de 1676 jusqu'à nos jours et démontre qu'aux 14 fluctuations climatiques répertoriées durant ces 335 années correspondent des événements-clés de l'histoire française : chute de Louis XIV, famine, révolte, etc. Diamond (1997) argue qu'une situation privilégiée en termes climatiques et géographiques a généré, pour les populations de l'Eurasie, un avantage comparatif dont les effets se font encore sentir aujourd'hui. La sédentarisation découlant des pratiques d'agriculture a favorisé l'éclosion des trois principaux ingrédients de cet avantage comparatif : une immunité aux microbes des animaux domestiqués et d'élevage, la maîtrise de la sidérurgie et le développement des fusils et des canons.²

De nombreux.euses chercheur.euse.s s'interrogent depuis sur le rôle du climat et de la géographie pour expliquer divers phénomènes sociétaux, tels que la distribution des inégalités, la violence, etc. Certaines études empiriques attestent qu'il existe effectivement un biais défavorable pour les pays qui sont plus proches de l'équateur. Dell et al. (2009) démontrent qu'un degré Celsius supplémentaire de la température moyenne d'un pays est associé à une réduction du produit national brut par habitant de 8,5%. Selon ces auteurs, les variations de température expliqueraient jusqu'à 23% de la variation actuelle des revenus entre les pays. Or, ce biais est voué à s'accroître en raison des changements climatiques, car les pays pauvres et chauds seront particulièrement affectés par les effets négatifs des changements climatiques.

Température, climat et violence

Sur le plan individuel, des études en psychologie démontrent qu'une chaleur excessive génère une hausse des comportements agressifs dans plusieurs contextes. Par exemple, les habitant.e.s de l'Arizona font un usage plus agressif de leur klaxon lors de journées plus chaudes, la probabilité qu'un lanceur au baseball atteigne

un frappeur est plus élevée durant un match joué à température plus élevée, et le nombre de meurtres et d'agressions augmentent significativement durant l'été aux États-Unis (Anderson, 1989).

Or, est-ce que ces conséquences observées à un niveau microéconomique sont aussi présentes au niveau macroéconomique ? Il semble que ce soit le cas. Burke et al. (2009) avancent qu'un degré Celsius supplémentaire est associé à une augmentation de 4,5% de l'incidence de guerres civiles en Afrique subsaharienne entre 1981 à 2002. Selon Hsiang et al. (2011), la probabilité d'un conflit double dans les régions tropicales lors d'El Niño (températures plus élevées) en comparaison à La Niña (températures plus faibles). Les oscillations d'El Niño joueraient un rôle dans 21% des conflits civils entre 1954 et 2004³. Selon une méta-analyse, Hsiang et Burke (2014) concluent qu'une augmentation d'un degré Celsius de la température contemporaine (ce qui prend en compte l'ensemble des variables climatiques) augmenterait, respectivement, de 2,4% et 11,3% la probabilité de conflits interpersonnels et intergroupes. Toutefois, il existe des divergences entre les résultats des études micro et macroéconomiques, laissant supposer qu'il existe une relation non linéaire entre climat et violence. Burke et al. (2015) démontrent que les effets de la température sur diverses variables économiques et politiques sont positifs jusqu'à une température moyenne de 13 degrés Celsius et diminuent ensuite.

Toutefois, les résultats sur le lien climat-violence ne sont pas tous aussi tranchés. Le débat porte sur divers aspects méthodologiques et de taxonomie (voir Dell et al. 2014). Les multiples définitions d'un conflit complexifient l'analyse du phénomène. Généralement, un conflit est défini par un seuil minimal de décès sur un champ de bataille (p. ex. 1000 morts ou plus pour une guerre). De plus, les types de conflits sont variés : civils, interétatiques, unilatéraux, etc., ce qui réduit les possibilités d'une analyse holistique sur le sujet. Les résultats empiriques varient énormément en fonction de l'échantillon traité (régions et/ou périodes). D'ailleurs, des enjeux méthodologiques importants ont trait à la corrélation temporelle des conflits – la persistance des conflits dans le temps ainsi que l'existence de conflits latents –, et aussi à la corrélation spatiale, notamment les effets de débordement d'un conflit vers d'autres pays, dus aux flux migratoires forcés.

Une autre question d'importance porte sur l'hétérogénéité des résultats : pourquoi un événement climatique participe-t-il au déclenchement d'un conflit

2. Diamond (1997) affirme que « les germes eurasiens ont tué plus d'indigènes d'Amérique et non-Eurasiens que les fusils et les armes d'acier des Eurasiens ».

3. Grove (2006) affirme que l'oscillation d'El Niño, survenue à la fin du 18^e siècle, aurait contribué au déclenchement des événements menant à la révolution française. Selon Blom (2019), le petit âge glaciaire survenu en deux épisodes entre le 14^e et 16^e siècles aurait eu des conséquences globales : fin de la dynastie Ming, chamboulement de l'ordre social occidental et avènement du monde moderne.



dans un pays, mais pas dans un autre ? Quelles sont les autres dimensions, hormis le climat et la géographie, qui réduisent ou exacerbent le déclenchement et/ou la durée d'un conflit ? Diverses pistes à explorer portent sur la qualité institutionnelle, les effets d'équilibre général, notamment le prix des denrées et la relocalisation des facteurs⁴.

Ainsi, les conflits violents ne s'expliquent pas seulement à partir des variations climatiques. Celles-ci agissent plutôt comme « multiplicateurs de menaces ». De nombreuses interactions avec d'autres facteurs, telles que les conditions institutionnelles, économiques et politiques, doivent être prises en compte pour développer une compréhension approfondie du lien climat-conflit (Mach et al. 2019). De plus, si les variations du climat induisent de la violence tant au niveau micro que macroéconomique, le mécanisme sur le plan individuel proposé par Tiihonen et al. (1997), selon lequel une hausse de la température inhibe la transmission neurologique de la sérotonine en charge de contrôler l'agressivité, ne semble pas suffisant pour comprendre comment s'organise la violence au niveau agrégé. Dans un conflit intergroupe, le comportement des un.e.s dépend de celui des autres, et cela empêche d'effectuer une simple extrapolation à partir de la somme des comportements individuels pour décrire le mécanisme qui mène au résultat agrégé (Schelling, 2006).

Mécanismes

Différents mécanismes (mettant en cause ou non le climat) ont été avancés pour expliquer l'émergence et la durée des conflits intergroupes. Les griefs religieux, ethniques et idéologiques semblent souvent causer des affrontements violents. De nombreux conflits civils, qui ont émergé après la guerre froide, résultent, selon Fearon et Laitin (2003), de l'accumulation de frustrations et de conflits larvés et latents, antérieurs à la fin de la guerre froide. Ainsi, ce qui peut apparaître comme un nouveau conflit n'est qu'un ancien conflit irrésolu que les classes politiques utilisent pour s'arroger le pouvoir. La polarisation d'une majorité grâce à la manipulation de l'information contre une minorité émerge dans ces cas comme un mécanisme de déclenchement ou d'exacerbation d'un conflit (Glaeser (2005)⁵). Le faible niveau socio-économique et la faible capacité sécuritaire et/ou institutionnelle d'un État sont souvent identifiés comme des causes potentielles de déclenchement et de durée de la violence armée. Un corollaire de la faiblesse institutionnelle implique que certains conflits sont générés par des chocs macroéconomiques tels qu'une hausse du prix des denrées alimentaires, une hausse de l'inflation, etc. Comme mentionné plus tôt, des flux migratoires (provoqués par un événement climatique, un autre conflit,

4. Par exemple, la mobilité du capital et du travail réduit le risque de conflits tandis que des contraintes à la mobilité des populations peuvent exacerber les effets des changements climatiques sur la violence.

5. Il s'agit de cette rhétorique du « nous contre eux », utilisée *ad nauseam* au cours de l'Histoire (p. ex. l'Allemagne nazie contre les Juifs, les républicains sous George W. Bush contre l'axe du Mal, etc.).

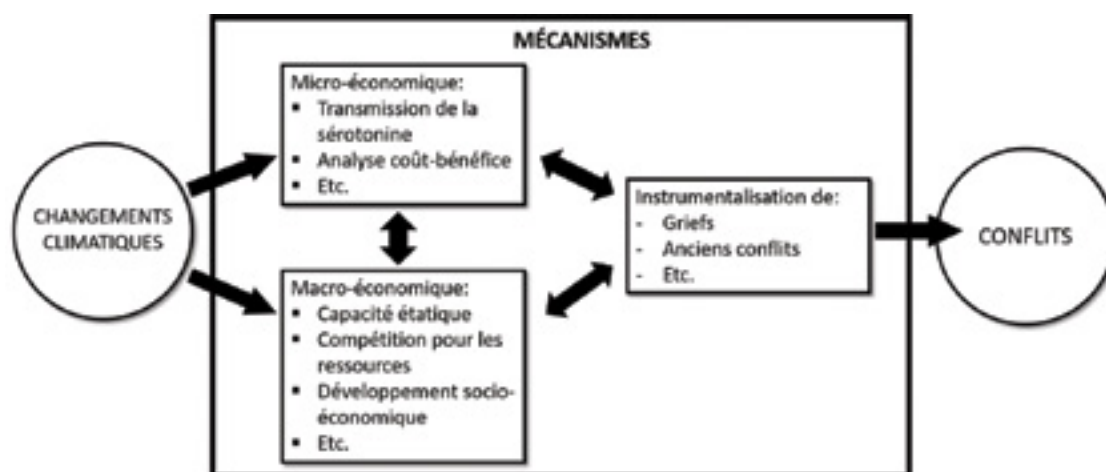


Figure 1. Mécanismes climat-conflits

etc.) peuvent être déstabilisateurs et créer un terreau fertile pour de nouvelles violences en terre d'accueil.

Or, dans tous ces cas, le véritable enjeu est l'appropriation du pouvoir et le contrôle des ressources d'une économie (Collier et Hoeffler, 2002). La compétition pour l'accès, l'obtention et le contrôle des ressources sociétales semble la plus importante motivation derrière la violence armée. Dès lors, une exacerbation de cette compétition, provoquée par un événement climatique, apparaît comme un mécanisme-clé pour approfondir notre compréhension du lien climat-violence (Homer-Dixon, 1994).

D'un point de vue microéconomique, la décision de participer à un conflit s'évalue sur la base d'une analyse coût/bénéfice par les combattant.e.s potentiel.le.s. Le coût d'un conflit représente ce qu'un individu risque de perdre en participant. Plus ce coût est faible pour un individu, et plus il sera enclin à participer à un conflit. Ainsi, dans un contexte où les ressources sont rares, où les individus n'ont pas beaucoup d'opportunités ou d'alternatives pour travailler, la probabilité que le bénéfice excède le coût de combattre est d'autant plus élevée qu'un événement climatique risque d'exacerber la compétition pour les ressources et de réduire les opportunités alternatives pour les combattant.e.s potentiel.le.s. De plus, un choc climatique agit à plusieurs niveaux, non seulement en réduisant les opportunités alternatives des individus, mais aussi en réduisant les ressources étatiques pour assurer la sécurité (ou l'oppression) de la population.

La rareté des ressources locales exacerbe la compétition pour ces ressources lorsqu'un événement climatique

déstabilise un équilibre précaire. Par exemple, Maystadt et Ecker (2014) affirment que des sécheresses, en provoquant une escalade des prix du bétail, sont à la source du conflit somalien. Ban Ki-moon décrit le déclenchement du conflit au Darfour comme une crise écologique due en partie aux changements climatiques (Moon, 2007). Sinai (2015) émet une hypothèse semblable pour le cas de la Syrie qui, entre 2006 et 2011, a connu les pires sécheresses et les pires récoltes de son histoire, ce qui aurait contribué au déclenchement de ce conflit.

Afin d'examiner l'interaction climat-ressource-violence, Goyette et Smaoui (2019) examinent l'effet de l'interaction entre les variations de température à travers le temps (1946 à 2014) et les variations d'une mesure exogène du potentiel agricole à travers 172 pays sur l'incidence des conflits civils armés. Cette approche exploite les variations exogènes d'une variable climatique à travers le temps, ce qui permet une identification causale de son effet sur les variables socio-économiques, notamment en séparant les effets du climat des effets des variables qui sont potentiellement corrélées avec le climat (niveau de développement, faible capacité étatique, inégalité intergroupe, etc.⁶). L'interaction de variations spatiales et temporelles permet d'identifier un mécanisme précis et les résultats préliminaires indiquent qu'une variation annuelle d'un degré Celsius relativement à la moyenne d'un pays augmente l'incidence de conflits de 3% dans les pays à faible potentiel agricole. Les effets à long terme indiquent qu'il y a une intensification de l'impact du climat sur la violence avec une hausse de 9% de l'incidence de conflits en réponse à une variation décennale d'un degré Celsius relativement à la moyenne pour les pays à faible potentiel agricole.

6. Nunn et al. (2019) démontrent que les changements climatiques ont des effets à long terme sur les variables socio-économiques à travers un processus historique.

Conclusion

L'analyse de données archéologiques indique qu'au lieu d'être la cause du déclin de plusieurs civilisations, les conflits violents sont le résultat d'une réponse institutionnelle inadéquate à la dégradation environnementale (voir Brander et Taylor, 1998 à propos de l'île de Pâques) ou à des événements climatiques (voir Gibbons, 1993 à propos de l'empire akkadien et Kuil, Carr, Prskawetz, Salinas, Viglione et Blöschl, 2019 à propos des Mayas). Une compréhension approfondie du phénomène est donc nécessaire pour développer des politiques économiques et institutionnelles efficaces. Étant donné l'augmentation probable des températures globales au cours du prochain siècle, cette compréhension est essentielle pour définir une fonction de dommages liés aux changements climatiques, qui permettra d'évaluer les coûts de l'inaction (dont les pertes de vie au combat) et les bénéfices de la mitigation et/ou de l'adaptation (Dell et al., 2014). Burke et al. (2018) indiquent, dans la plus récente étude évaluant différents scénarios à partir d'une telle fonction de dommage, que nous augmentons de 60% nos chances d'éviter une perte de 20 billions de dollars US en revenu mondial en limitant le réchauffement à 1,5 plutôt que 2 degrés Celsius.

Anderson, C. A. (1989). Temperature and aggression: Ubiquitous effects of heat on occurrence of human violence. *Psychological Bulletin*, 106(1), 74-96.

Blom, P. (2019). *Nature's mutiny: How the little ice age of the long 17th century formed the west and shaped the present*. New York, États-Unis : Liveright.

Brander, J. A. et Taylor, M. S. (1998). The simple economics of Easter Island: A Ricardo-Malthus model of renewable resource use. *American Economic Review*, 88(1), 119-138.

Burke, M. B., Miguel, E., Satyanath, S., Dykema, J. A. et Lobell, D. B. (2009). Warming increases the risk of civil war in Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(49), 20670-20674.

Burke, M., Davis, W. M. et Diffenbaugh, N. S. (2018). Large potential reduction in economic damages under UN mitigation targets. *Nature*, 557(7706), 549-533.

Burke, M., Hsiang, S. M., Miguel, E. (2015). Climate and conflict. *Annu. Rev. Econ.*, 7(1), 577-617.

Collier, P. et Hoeffler, A. (2002). On the incidence of civil war in Africa. *Journal of Conflict Resolution*, 46(1), 13-28.

Dell, M., Jones, B. F. et Olken, B. A. (2009). Temperature and income: Reconciling new cross-sectional and panel estimates. *American Economic Review*, 99(2), 198-204.

Dell, M., Jones, B. F. et Olken, B. A. (2014). What do we learn from the weather? The new climate-economy literature. *Journal of Economic Literature*, 52(3), 740-798.

Diamond, J. (1997). *Guns, germs, and steel: The fates of human societies*. New York, États-Unis : WW Norton.

Fearon, J. D., et Laitin, D. D. (2003). Ethnicity, insurgency, and civil war. *American Political Science Review*, 97(1), 75-90.

Gates, W. E. (1967). The spread of Ibn Khaldun's ideas on climate and culture. *Journal of the History of Ideas*, 28(3), 415-422.

Gibbons, A. (1993). How the Akkadian empire was hung out to dry. *Science*, 261(5124), 985.

Glaeser, E. L. (2005). The political economy of hatred. *The Quarterly Journal of Economics*, 120(1), 45-86.

Goyette, J. et Smaoui, M. (2019). *Civil armed conflicts: The impact of the interaction between climate change and agricultural potential*. Manuscrit en rédaction.

Grove, R. H. (2006). The great el Niño of 1789-93 and its global consequences: Reconstructing an extreme climate event in world environmental history. *The Medieval History Journal*, 10(1-2), 75-98.

Hippocrate. (s.d.). *Traité des airs, des eaux et des lieux*.

Homer-Dixon, T. F. (1994). Environmental scarcities and violent conflict: Evidence from cases. *International security*, 19(1), 5-40.

Hsiang, S. M. et Burke, M. (2014). Climate, conflict, and social stability: what does the evidence say? *Climatic Change*, 123(1), 39-55.

Hsiang, S. M., Meng, K. C. et Cane, M. A. (2011). Civil conflicts are associated with the global climate. *Nature*, 476(7361), 438-441.

Iyigun, N. N., Nunn, N. et Qian, N. (2017). *The long-run effects of climate change on conflict, 1400-1900* [Document de travail no w23033]. Cambridge, États-Unis : National Bureau of Economic Research.

Kuil, L. Carr, G., Prskawetz, A., Salinas, J. L., Viglione, A. et Blöschl, G. (2019). Learning from the ancient Maya: Exploring the impact of drought on population dynamics. *Ecological Economics*, 157, 1-16.

Ladurie, E. L. (2011). *Histoire du climat depuis l'an mil* (Tome 2). Paris, France : Flammarion.

Mach, K. J., Krann, C. M., Adger, W. N., Buhaug, H., Burke, M., Fearon, J. D., ... Uexkull, N. V. (2019). Climate as a risk factor for armed conflict. *Nature*, 571, 193-197.

Maystadt, J.-F. et Ecker, O. (2014). Extreme weather and civil war: Does drought fuel conflict in Somalia through livestock price shocks? *American Journal of Agricultural Economics*, 96(4), 1157-1182.

Montesquieu, C. L. de S. (1748). *L'Esprit des lois*. Genève, Suisse : Barrillot et fils.

Montesquieu, C. L. de S. (1764). *Lettres persanes*. Cologne, Allemagne : Pierre Marteau.

Moon, B. K. (2007, 16 juin). A climate culprit in Darfur. Repéré à <https://www.un.org/sg/en/content/sg/articles/2007-06-16/climate-culprit-darfur>

Schelling, T. C. (2006). *Micromotives and macrobehavior*. New York, États-Unis : WW Norton.

Sinai, A. (2015). Aux origines climatiques des conflits. *Le Monde diplomatique*, 8(737), 2.

Tiihonen, J., Räsänen, P. et Hakko, H. (1997). Seasonal variation in the occurrence of homicide in Finland. *American Journal of Psychiatry*, 154(12), 1711-1714.



Enjeux de société

MIGRATIONS CLIMATIQUES : UN ENJEU COMPLEXE

Crédit photo : Wikipedia commons, sous la licence
de Attribution-Share Alike 4.0 International

Dorothee Boccanfuso

Professeure titulaire à l'École de gestion
Université de Sherbrooke

Benoît Kafando

Doctorant à l'École de gestion
Université de Sherbrooke

Les premiers mouvements migratoires de l'être humain moderne remontent à l'ère du paléolithique. La dynamique de ces mouvements était en partie expliquée par le rythme des oscillations climatiques. Toutefois, l'ampleur des migrations de cette période était moins préoccupante comparativement à celle observée à notre époque. En effet, de nos jours, le nombre de migrant.e.s climatiques s'est accru du fait de la vitesse des changements climatiques et de ses effets en particulier dans les pays en développement. Ainsi, un grand nombre d'individus quittent très souvent leur lieu de résidence vers d'autres destinations à l'intérieur ou à l'extérieur du pays d'origine. En 2018 seulement, plus de 16 millions de personnes ont migré pour des raisons climatiques (IDMC, 2019). Les populations qui se déplacent à la suite de catastrophes naturelles ou environnementales sont appelées « migrant.e.s climatiques ». Pour sa part, l'Organisation internationale pour les migrations (OIM, 2007) qualifie de migrant.e.s climatiques toutes « personnes ou [tous] groupes de personnes qui, pour des raisons impérieuses liées à un changement climatique soudain ou progressif influant négativement sur leur vie ou leurs conditions de vie, sont contraintes de quitter leur foyer habituel ou le quittent de leur propre initiative, temporairement ou définitivement, et qui, de ce fait, se déplacent à l'intérieur de leur pays ou en sortent ».

Les migrations provoquées par les catastrophes liées aux changements climatiques peuvent être internes (nationales) ou externes (internationales). Elles sont internes lorsque les individus se déplacent à l'intérieur du pays d'origine. Ces types de migrations sont fréquents au Sahel où les mouvements de populations se font généralement des zones arides vers celles mieux arrosées. Les migrations sont externes ou internationales quand les individus quittent leur pays d'origine pour aller s'installer dans d'autres pays, comme c'est le cas de certains déplacements de populations des pays sahéliens vers les pays côtiers, ou plus généralement les migrations des pays en développement vers certains pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Théoriquement, aucun pays dans le monde

n'est à l'abri des catastrophes climatiques. Toutefois, les conclusions des recherches sur le sujet convergent vers l'idée que les pays en développement (PED) et les États insulaires sont les plus exposés (Banque Mondiale, 2018). Cet article a pour objectif d'éclairer l'opinion publique sur l'état des lieux des débats menés autour des migrations climatiques. Plus spécifiquement, nous présenterons un rapide historique de ce phénomène en nous appuyant sur la littérature scientifique. Nous reviendrons ensuite sur les principales causes et conséquences de ces migrations. Puis, nous présenterons quelques mesures préconisées pour une meilleure adaptation aux changements climatiques et à leurs conséquences ainsi qu'une meilleure atténuation de ces derniers.

Historique et brève revue de littérature sur les migrations climatiques

Dès la seconde moitié du 19^e siècle, les facteurs environnementaux figuraient dans les revues systématiques comme des déterminants majeurs des migrations. En effet, dans les années 1880, Ravenstein (1889) attirait déjà l'attention sur l'émergence de « flux migratoires » provoqués par des « climats peu attrayants ». Deux décennies plus tard, Semple (1911) évoquait dans ses travaux la recherche de « terres meilleures » et d'un « climat plus doux » pour justifier les mouvements de populations. Malgré ces premières ébauches déjà exhaustives, les articles s'intéressant au lien entre climat et migrations vont disparaître de la littérature scientifique jusqu'en 1970. Quatre arguments sont mis de l'avant pour expliquer ce désintérêt (Piguet, Pécoud et de Guchteneire, 2011). Premièrement, la conception selon laquelle le progrès technologique diminuerait l'influence de la nature sur la vie humaine avait pris des proportions importantes. Deuxièmement, la justification des migrations par les changements climatiques a été rejetée pour son caractère déterministe et scientifiquement dépassé. Troisièmement, les facteurs économiques ont pris une place prépondérante dans l'explication des flux migratoires, laissant peu d'espace aux facteurs environnementaux. Finalement, les études sur les migrations forcées prenaient uniquement en compte les déplacé.e.s de guerre tout en soustrayant aux catastrophes climatiques la possibilité d'occasionner des mouvements de populations. Le débat sur le lien entre le climat et les migrations resurgit avec la publication

du rapport « Réfugiés environnementaux » du Haut-Commissariat des Nations unies pour les Réfugiés (HCNUR). Ce n'est qu'à partir des années 1990 que les recherches sur les migrations provoquées par les changements climatiques se sont intensifiées; l'objectif étant alors d'attirer l'attention des décideurs publics sur la nécessité de préserver le climat.

Récemment, plusieurs études ont permis de mettre en évidence le rôle des changements climatiques dans l'explication de l'intensité des migrations dans les différents pays du monde. En effet, en s'appuyant sur le cas du Sahel, Cissé, Malicki, Barbier et Maïga (2010), et Gemenne et al. (2017) ont montré l'importance du rôle de la sécheresse et de la désertification dans l'intensification des flux migratoires. Dans les autres régions du monde, l'élévation du niveau de la mer, les inondations et les fortes précipitations figurent parmi les catastrophes naturelles ou environnementales susceptibles de provoquer plus de déplacements de populations (Piguet, Pécoud et de Guchteneire, 2011). Il est cependant difficile, à partir de cette littérature, de chiffrer le nombre de migrant.e.s climatiques et de faire des projections, car les méthodologies utilisées pour la collecte des données sont généralement faibles¹. Toutefois, la Banque mondiale, dans ses prévisions, estime que d'ici 2050, plus de 140 millions de personnes auront migré pour des raisons climatiques en Afrique subsaharienne, en Asie du Sud et en Amérique latine². Pour la même période, l'ONU chiffre ces futurs flux à environ un milliard de personnes. Le HCNUR, dans son rapport publié en 2012, estime pour sa part que chaque année, les personnes déplacées à la suite des changements climatiques sont plus nombreuses que celles qui se déplacent en raison de conflits.

Déterminants des migrations climatiques

Dans cette section, nous discutons des « événements climatiques à évolution lente » et des « événements climatiques de nature soudaine » ; deux facteurs majeurs liés au climat et qui sont à l'origine des migrations des populations. En plus de ces deux facteurs directement liés au climat, nous présentons d'autres facteurs non directement liés au climat, mais qui entraînent aussi des déplacements massifs de populations.

1. Très souvent, il y a une tendance à l'exagération ou à la manipulation des chiffres afin de sensibiliser la population sur la question des relations entre le climat et les migrations. À titre illustratif, du premier rapport du PNUE à celui de la BM (2018), plusieurs chiffres circulent, mais peu sont scientifiquement fondés. Il convient alors d'être prudent avec les statistiques avancées.

2. Voir le rapport *Groundswell : Se préparer aux migrations climatiques internes* publié par la Banque mondiale en 2018.

Les événements climatiques à évolution lente (*slow-onset climate events*) sont un des facteurs avancés dans la littérature pour expliquer l'impact des changements climatiques sur les migrations. Ces types d'événements influent de façon indirecte sur l'intensité des migrations des populations à travers la détérioration de leurs conditions de vie. Ils interagissent très souvent avec des facteurs contextuels d'ordre socio-économiques, politiques, démographiques et culturels, ce qui *in fine* exacerbe la vulnérabilité des individus et pousse ces derniers à recourir aux migrations comme stratégie d'adaptation. Les événements climatiques à évolution lente font référence à la salinisation des terres agricoles, à la désertification et à la sécheresse. Ils se distinguent des événements climatiques de nature soudaine (*rapid-onset climate events*) tels que les phénomènes météorologiques et hydrologiques extrêmes. Les migrations dans le cas d'événements soudains et extrêmes s'apparentent en général à des migrations forcées (voir la section suivante). Le lien entre le climat et les migrations est généralement direct dans le contexte des événements climatiques de nature soudaine. En plus des facteurs liés au climat, d'autres facteurs, comme les politiques gouvernementales et les conflits armés, ont eux aussi leur importance dans l'explication des migrations humaines. Goyette et Smaoui (2019) montrent que la rareté des ressources (eau et terres arables), provoquée par les changements climatiques, est un facteur déterminant des conflits armés. Ces types de conflits s'accompagnent généralement de plusieurs déplacements de populations (Zoubir, 2017). Soulignons qu'il existe d'autres déterminants des migrations, mais qui ne sont pas des effets directs des variations climatiques ou induits par celles-ci. C'est le cas notamment de la croissance démographique, du mariage, de la recherche d'emploi et de la religion.

Conséquences des migrations climatiques

Les migrations climatiques sont perçues comme des conséquences des changements climatiques venant déstabiliser les conditions de vie initiales. Ces migrations peuvent être adaptatives ou forcées. Les migrations seront adaptatives lorsque des individus quittent leur lieu habituel de résidence pour échapper à une détérioration progressive de leurs conditions de vie dans un contexte de vulnérabilité exacerbée par des changements climatiques du type progressif. Les migrations adaptatives sont souvent déployées en dernier ressort et sur une longue distance. Elles peuvent

également s'effectuer sur une courte distance pour répondre à une urgence climato-environnementale. Ce dernier cas correspond généralement à un événement du type soudain, mais qui permet un retour possible des populations, alors que les migrations forcées correspondent à une situation où les individus sont contraints de se déplacer à cause des conditions de vie devenues insoutenables. Toutefois, ces deux types de migrations peuvent être internes ou externes et ont des conséquences à la fois sur les zones de départ et d'accueil.

Partant du cas des pays sahéliens, par exemple, les migrations internes sont les plus fréquentes, car les populations touchées n'ont généralement pas les moyens de migrer dans d'autres pays. Par conséquent, ces migrations se font des zones rurales vers les villes (Cissé, Malicki, Barbier et Maïga, 2010). L'exode des personnes habitant en zone rurale vers la ville entraîne une hausse de la population urbaine, laquelle se trouve à la source de plusieurs problèmes dont la santé publique, l'accès au logement et, plus largement, la pauvreté. Plus spécifiquement, l'afflux de la population rurale vers les zones urbaines alimente les crises de logement (prolifération des bidonvilles et étalement urbain). La surpopulation des villes pourrait aussi amplifier les problèmes d'insalubrité avec pour corollaire l'augmentation de la fréquence des maladies d'origine alimentaire, hydrique et respiratoire³. Enfin, l'afflux de la population rurale vers les centres urbains et périurbains provoque des pressions élevées sur l'utilisation des ressources disponibles (écoles et hôpitaux), ce qui réduit le bien-être des citoyen.e.s.

Lorsque les migrations climatiques sont internationales, elles entraînent la fuite des « cerveaux », ce qui pourrait bloquer le processus de développement du pays d'origine. Les émigré.e.s eux et elles-mêmes peuvent voir leurs conditions de vie se dégrader à la suite de l'inadéquation entre leur offre de main-d'œuvre et la demande sur le marché de travail du pays d'accueil. Cette inadéquation entraîne systématiquement une augmentation du taux de chômage, ce qui pourrait susciter une recrudescence de certains maux sociaux tels que le banditisme, les violences sexuelles, les suicides, etc.

Même si les effets négatifs sont les plus mis en exergue dans la littérature sur les migrations climatiques, il faut cependant souligner que ces dernières peuvent générer des effets favorables. En effet, lorsque les migrations se font des zones moins développées vers celles développées, les transferts de fonds qui en

3. Voir Roy et Auger (2005).

découlent contribuent au développement de la zone de départ à travers les réalisations des infrastructures scolaires, énergétiques et sanitaires, ce qui permet de renforcer les capacités adaptatives et de résilience des familles restées sur place. Les fonds transférés par les migrant.e.s, grâce à leurs effets positifs sur l'épargne et l'investissement, favorisent également la création d'emplois supplémentaires⁴. La réduction du niveau de chômage qui s'ensuit entraîne une baisse du taux de pauvreté. En outre, les compétences acquises par les migrant.e.s pendant leur séjour en terre étrangère peuvent bénéficier à la zone de départ une fois ceux et celles-ci de retour, grâce aux transferts de connaissances et de divulgations de bonnes pratiques. À propos des effets positifs des migrations sur les pays d'accueil, les travaux de d'Albis, Boubtane et Coulibaly (2019) montrent que la migration peut contribuer à générer un dividende démographique à travers la hausse de la part de la main-d'œuvre dans la population totale, ce qui entraîne à son tour un accroissement du PIB par habitant.e. Enfin, il est nécessaire de souligner que dans un contexte de changements climatiques, les migrations ne sont pas forcément une mauvaise adaptation à ces derniers; elles peuvent constituer une réelle stratégie d'adaptation efficace souhaitable, notamment pour les populations particulièrement vulnérables. À cet effet, les politiques devraient aller dans le sens d'une facilitation des migrations.

Quelques mesures préconisées pour une meilleure adaptation aux changements climatiques ainsi qu'une meilleure atténuation de ceux-ci

Avant les années 1990, les politiques publiques ne reconnaissaient pas la dégradation de l'environnement comme un moteur majeur des migrations des populations. La Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) de 1992 fut le point de départ en matière de formulation de politiques sur les migrations climatiques. Dans cette convention, deux mesures furent préconisées : l'atténuation, qui consiste à mettre en œuvre des politiques destinées à réduire les gaz à effet de serre (GES), et l'adaptation, qui repose sur

des mesures à prendre pour réduire la vulnérabilité des populations face aux risques climatiques. Afin de rendre les mesures d'atténuation effectives, la notion de « justice climatique » a été retenue comme thématique centrale à la 21^e Conférence des Parties (COP21). Elle a consisté à faire admettre aux pays développés leur part plus grande de responsabilité dans l'émission des GES et à obtenir ensuite d'eux des efforts de réduction de ces émissions. Abordant le cas des stratégies d'adaptation, le rapport *Groundswell : Se préparer aux migrations climatiques internes* de la Banque Mondiale contient un certain nombre de mesures qui visent à réduire la vulnérabilité des populations face aux catastrophes naturelles ou environnementales. Ces mesures s'articulent, d'une part, autour de l'intégration des migrations climatiques dans les politiques nationales et, d'autre part, du développement des travaux de recherche sur les changements climatiques.

En effet, dans certaines situations comme le cas des dangers causés par des conditions météorologiques et atmosphériques extrêmes, il vaut mieux aider les populations particulièrement vulnérables à se déplacer plutôt que de chercher à les maintenir sur place. Dans un contexte pareil, les migrations constituent plutôt des réponses rationnelles face au risque climatique. Par conséquent, les décideurs publics ont tout intérêt à prévoir dans leurs plans de développement des stratégies qui favorisent les migrations des populations. Par ailleurs, la concrétisation du principe juridique formulée à l'issue de la COP24 et qui consiste à obtenir des pays du Nord des compensations financières pour aider les pays du Sud à faire face aux effets des changements climatiques pourrait être intégrée dans la définition de ces politiques migratoires. Dans le même ordre d'idées, les décideurs publics devraient prioriser la création de leviers permettant d'améliorer substantiellement les conditions de vie socio-économiques des populations vulnérables. Pour ce faire, ils pourraient, par exemple, développer des activités génératrices de revenus ou instaurer des systèmes de protection financière plus sensibles aux besoins des groupes vulnérables (assurances et crédits agricoles, semences améliorées ou adaptées, irrigation, etc.). Enfin, l'introduction des questions liées aux changements climatiques dans les enquêtes nationales permettrait aussi d'améliorer les connaissances sur les migrations climatiques et de favoriser la prise de décisions appropriées grâce à l'analyse et la compréhension de données probantes collectées.

4. Voir Adams et Page (2005).



Crédit photo : Wikipedia commons, sous la licence de Attribution-Share Alike 4.0 International

Conclusion

Cet article vise à éclairer l'opinion publique sur l'état des lieux des débats menés autour des migrations climatiques et à mettre de l'avant la complexité du phénomène. La littérature connexe fait état d'un phénomène qui n'est pas nouveau, mais qui, depuis quelques années, connaît un regain. De cette littérature, nous relevons qu'en général, la relation entre les changements climatiques et les migrations est indirecte. Dans ce contexte, les changements climatiques exacerbent la vulnérabilité des populations, occasionnant ainsi l'adoption des migrations comme stratégie d'adaptation. Toutefois, la relation entre le climat et les migrations peut être directe lorsque les événements climatiques sont de nature soudaine. Qu'elles soient directement ou indirectement le fait des changements climatiques, les migrations sont souvent perçues comme ayant des conséquences négatives. Or, pour les zones de départ tout comme celles d'accueil, les migrations peuvent entraîner des effets positifs sur la croissance économique. Les catastrophes liées aux changements climatiques étant difficiles à anticiper, la protection de l'environnement et la gestion concertée des migrations climatiques par les États sont entre autres des mesures préconisées par certaines institutions pour limiter les conséquences négatives sur les êtres humains.

Adams, R. et Page, J. (2005). Do international migration and remittances reduce poverty in developing countries? *World Development*, 33(10), 1645-1669.

D'Albis, H., Boubtane, E. et Coulibaly, D. (2019). Immigration and public finances in OECD countries. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 99, 116-151. doi: 10.1016/j.jedc.2018.12.003.

Banque Mondiale. (2018). *Groundswell : Se préparer aux migrations climatiques internes*. Repéré à <https://www.banquemondiale.org/fr/news/infographic/2018/03/19/groundswell---preparing-for-internal-climate-migration>

Cissé, P., Malicki, Z., Barbier, B. et Maïga, A. (2010). Les migrations, une stratégie d'adaptation à la variabilité climatique en zones sahéliennes. *Revue de géographie du laboratoire Leïdi*, 8, 184-196.

Gemenne, F., Blocher, J.M.D., De Longueville, F., Vigil Diaz Teleni, S., Zickgraf, C., Gharbaoui, D. et Ozer, P. (2017). Changement climatique, catastrophes naturelles et déplacements de populations en Afrique de l'Ouest. *Geo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales*, 41(3).

Goyette, J. et Smaoui, M. (2019). Civil armed conflicts: the interaction between climate change and agricultural potential. RIEEM Discussion Paper Series, No. 1903.

HNHCR. (2012). *Les réfugiés dans le monde. En quête de solidarité*. Repéré à <https://www.unhcr.org/fr/4fc7257d9.pdf>.

IDMC. (2019). Global Report on Internal Displacement 2019, rapport. Repéré à <https://environmentalmigration.iom.int/fr/node/1515>.

OIM. (2007). *Document de travail : Migration et environnement. 94^e session, MC/INF/288*. Repéré à https://www.iom.int/jahia/webdav/shared/shared/mainsite/about_iom/fr/council/94/MC_INF_288.pdf

Organisation des Nations Unies. (1992). Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convfr.pdf>

Piguet, É., Pécoud, A. et de Guchteneire, P. (2011). Changements climatiques et migrations: quels risques, quelles politiques? *L'information géographique*, 75(4), 86-109.

Ravenstein, E. G. (1889). The Laws of Migration. *Journal of the Royal Statistical Society*, 52(2): 241-305.

Roy, R. et Auger, P. (2005). Insalubrité, syndrome de Diogène et santé publique. Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/bise/insalubrite-syndrome-de-diogene-et-sante-publique>

Semple, E. C. (1911). *Influences of Geographic Environment*. New York : Henry Holt and Company.

Zoubir, Y. H. (2017). Défis sécuritaires, migrations, instabilité et extrémisme violent au Sahel. *Annuaire IEMed. de la Méditerranée 2017*. Repéré à https://www.iemed.org/publicacions-fr/historic-de-publicacions/anuari-de-la-mediterrania-fr/sumaris/observatori/arees-danalisi/arxiu-adjunts/anuari/med.2017/french/IEMed_MedYearbook2017fr_migrations_extremisme_sahel_zoubir.pdf

URGENCE CLIMATIQUE ET ÉQUITÉ SOCIALE : PLAIDOYER POUR UNE TARIFICATION DU CARBONE

Alain Webster

Professeur au Département d'économie
Université de Sherbrooke

L'ampleur du défi climatique

L'ampleur et la rapidité des changements climatiques sont largement documentées par la communauté scientifique. Pour le Secrétaire général des Nations Unies, « malgré une dynamique encourageante, nous ne progressons pas assez rapidement. Le changement climatique est plus rapide que nous » (UNSG, 2018). Pour le GIEC (2018), la réussite de cette transition nécessitera des changements majeurs dans de multiples secteurs tels que l'énergie, l'industrie, le bâtiment, le transport, l'agriculture et l'urbanisme.

Comment alors influencer les comportements d'agents économiques aussi diversifiés que le consommateur qui utilise un carburant pour assurer ses déplacements, une agricultrice qui les emploie pour sa production ou un industriel qui utilise ces mêmes carburants pour assurer les besoins énergétiques de son entreprise?



La notion d'externalité

Les bénéfices liés à la réduction des gaz à effet de serre (GES) sont principalement globaux et futurs, tandis que les coûts de cette atténuation sont supportés immédiatement par des citoyen.ne.s à l'échelle locale. Dans ce contexte, et parce qu'ils ne sont ni obligés ni incités à le faire, les acteurs économiques, règle générale, ne prennent pas en compte les dommages qu'ils causent par l'émission des GES. Une situation classique « d'externalités négatives » où l'absence d'une saine gestion engendre ce qu'il convient d'appeler la « tragédie des biens communs », soit une dégradation du bien commun découlant de sa surexploitation.

Pour corriger cette situation, les gouvernements peuvent mettre en place des règlements selon une approche traditionnelle dite de « *command and control* » : une approche efficace lorsque le nombre d'acteurs est restreint ou que l'on cherche à imposer une norme spécifique. Pour la science économique, la correction qui s'impose est d'un autre ordre. Il s'agit d'intégrer ces coûts environnementaux dans la prise de décision par une démarche dite d'internalisation des coûts environnementaux, démarche proposée par l'économiste Arthur Pigou dès... 1920. Cette notion d'internalisation des coûts est même transposée en principe dans la loi sur le développement durable au Québec : « la valeur des biens et des services doit refléter l'ensemble des coûts qu'ils occasionnent à la société durant tout leur cycle de vie, de leur conception jusqu'à leur consommation et leur disposition finale » (Éditeur officiel du Québec, 2019).

Le principe qui sous-tend cette imputation des coûts environnementaux est le principe du pollueur-payeur. Défini par l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) dès 1972, ce principe est également intégré à la loi québécoise : « les personnes qui génèrent de la pollution ou dont les actions dégradent autrement l'environnement doivent assumer leur part des coûts des mesures de prévention, de réduction et de contrôle des atteintes à la qualité de l'environnement et de la lutte contre celles-ci » (Éditeur officiel du Québec, 2019).

Il s'agit donc d'une approche qui vise :

- l'efficacité économique : les prix doivent refléter la réalité économique des coûts de pollution;
- l'efficacité environnementale : l'incitation à minimiser la pollution jusqu'à un niveau jugé socialement acceptable ;
- la recherche de l'équité : à défaut d'être assumés par le pollueur, les coûts environnementaux incomberont à l'État, et donc au contribuable et cela indépendamment du fait qu'il contribue ou non à cette dégradation.

L'approche économique s'applique particulièrement bien pour la réduction des GES puisqu'on y retrouve une multitude d'acteurs dont on cherche à modifier les comportements. Pour favoriser cette substitution des énergies fossiles, il faudrait donc que le prix de l'énergie reflète son coût total, soit le coût de production et le coût des dommages climatiques engendrés par sa production et sa consommation; en d'autres termes : le prix carbone (Gollier, 2019). Pour Jean Tirole, prix Nobel d'économie en 2014, cette tarification du carbone constitue même « la condition nécessaire pour qu'une politique écologique de grande envergure puisse se réaliser » (2018, p. 293).

Recommandations internationales

Les recommandations visant la tarification du carbone sont courantes pour les grands organismes multilatéraux. C'est notamment le cas de la Commission mondiale sur l'économie et le climat, de l'OCDE, des Nations Unies et de l'Union européenne. Pour la directrice générale du Fonds Monétaire International ainsi que pour le président de la Banque Mondiale, la mise en œuvre de « taxes sur le carbone, programmes d'échange de quotas d'émission, et autres mécanismes tarifaires, de même que la suppression de subventions inefficaces, pourront conférer aux entreprises et aux ménages la certitude et la prévisibilité nécessaires pour entreprendre des investissements à long terme dans un développement soucieux du climat » (Lagarde et Kim, 2015). Même l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime qu'une tarification du carbone contribue à réduire les impacts des changements climatiques et est bénéfique pour la santé humaine (OMS, 2018).

La tarification du carbone favoriserait donc les changements de comportement dans l'investissement, la production et la consommation, en plus d'induire les progrès techniques qui diminueront les coûts futurs de réduction d'émissions. Pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, la tarification devrait être de 40 à 80 dollars par tonne de CO₂ en 2020 et 50 à 100 dollars en 2030 (Commission de haut niveau sur les prix du carbone, 2017). Dans ce contexte, il faut souligner l'importance de l'horizon temporel. Les agents économiques opteront pour des biens à faible teneur en carbone ou développeront des technologies propres que s'ils anticipent un prix carbone suffisamment élevé à l'avenir. Pour reprendre l'expression de Jean Tirole, il s'agit donc de réduire l'incertitude sur le prix carbone de demain (2018).

Avantages théoriques

La littérature économique présente généralement l'efficience, l'incitation aux changements technologiques et la création de revenus comme les principaux avantages des instruments économiques. Ces avantages sont par ailleurs documentés depuis plusieurs décennies (Pearce et Turner, 1990).

En réaction à cette nouvelle tarification, chaque acteur économique cherchera à abaisser ses coûts en déployant des méthodes de réduction des émissions tant que ses coûts marginaux de réduction seront inférieurs à la tarification. Les firmes ayant de faibles coûts marginaux seront ainsi incitées à accroître leur réduction pour éviter cette tarification, favorisant ainsi une baisse des émissions là où elle est la moins coûteuse. On parle alors d'une approche dite efficiente, puisqu'elle minimise le coût de la réduction des émissions pour l'ensemble de la société. Du point de vue environnemental, cela signifie également que pour une même dépense environnementale, une approche efficiente permet d'effectuer une plus grande réduction des émissions de GES.

La tarification favorise également la mise en œuvre de nouvelles innovations technologiques ou l'accélération de la recherche et du développement dans les systèmes bas-carbone puisque la réduction des émissions de GES découlant de ces innovations engendre une réduction de la tarification du carbone. Une étude publiée par l'OCDE en 2018 souligne ainsi que les secteurs soumis au système européen de plafonnement des émissions ont vu leur chiffre d'affaires et la valeur des actifs fixes croître plus rapidement (Dechezleprêtre, Nachtigall et Venmans, 2018).

Finalement, la tarification du carbone génère des revenus et induit la question de l'utilisation de ces sommes. Les revenus peuvent, par exemple, être retournés aux contribuables dans un scénario « fiscalement neutre » sous forme de réduction d'impôts, utilisés pour éviter ou atténuer les enjeux d'équité en compensant les ménages les plus pauvres et les travailleurs pénalisés par cette transition, utilisés pour financer de nouvelles dépenses d'adaptation, d'infrastructures faibles en carbone, d'encouragement à l'innovation ou encore simplement retournés au fond consolidé de l'État. Ces choix doivent être faits en tenant compte des circonstances économiques et sociales propres à chaque pays et des engagements de l'Accord de Paris (Commission de haut niveau sur les prix du carbone, 2017).

Contraintes

Malgré ses atouts, cette nécessaire tarification du carbone suscite encore de vives oppositions, visibles à l'échelle nationale et internationale. Ces oppositions peuvent être associées à plusieurs facteurs dont : un scepticisme face aux enjeux climatiques, une défense des secteurs à forte intensité de GES (comme les sables bitumineux), une méfiance envers la « financiarisation » de l'environnement, une crainte des impacts sur la charge fiscale ou la concurrence internationale, le syndrome du *passager clandestin* ou l'accroissement des inégalités. Les quatre derniers cas méritent un approfondissement.

CHARGE FISCALE

Comment choisir le bon instrument de gestion en considérant cette question de la charge fiscale ? La tarification du carbone engendre une hausse visible de la charge fiscale, mais lorsque ces coûts sont mis en relation avec la réduction des dommages environnementaux, le bénéfice social est positif. De plus, la tarification établit un lien direct entre l'émetteur carbone et le payeur de cette charge conformément au principe pollueur-payeur. Avec une approche réglementaire ou de subvention, le coût de ces approches est généralement moins visible, mais ces approches sont moins efficaces, contribuant ainsi à engendrer un bénéfice social plus faible. De plus, dans une approche de subvention, c'est l'État et donc, au final, le ou la contribuable qui assume cette charge sociale à l'encontre du principe du pollueur-payeur.

Dans le choix de l'instrument de gestion, la transparence des coûts et gains environnementaux devient donc un enjeu clé de l'acceptabilité de la tarification du carbone.

FUITE DE CARBONE

Imposer des coûts supplémentaires aux industries fortement émettrices de GES et soumises à la concurrence internationale peut porter atteinte à leur compétitivité et engendrer un transfert de la production à l'étranger sans aucune réduction de GES à l'échelle globale. Pour contrer cette situation, Nordhaus, prix Nobel d'économie 2018, propose à terme que la taxe carbone s'applique à l'échelle mondiale ou à un ensemble de pays, nommé le « *Climate Club* », utilisant cette taxe carbone au niveau national doublée d'une taxe douanière envers les pays refusant cette tarification carbone (2018). À court terme cependant, toutes politiques climatiques nécessitent un design qui limite cette « fuite de carbone »

tout en maintenant l'incitation à l'atteinte des objectifs climatiques. Il s'agit d'une approche qui s'observe dans toutes les politiques de tarification mises en place à ce jour.

PASSAGER CLANDESTIN

Face à cet enjeu complexe, doit-on réduire les émissions québécoises et canadiennes étant donné qu'elles représentent une très faible proportion du bilan mondial? Transposée à l'échelle individuelle, pourquoi modifier mon profil d'émission en assumant individuellement un coût sachant que les bénéfices de cette action seront très faibles pour moi à court terme et qu'ils seront répartis ensuite entre plusieurs générations elles-mêmes dispersées à l'échelle du globe? La prise en compte d'un enjeu global comme les changements climatiques ouvre la porte à ce comportement du « passager clandestin ». Dans cette logique, chaque pays (ou chaque individu) a intérêt à en faire le moins possible, en espérant que les autres résoudre le problème à sa place. Cela traduit une forme d'égoïsme générationnel, pour reprendre l'expression de Christian Gollier. Pourquoi renoncer à un bien-être actuel pour éviter ou réduire les dommages subis par les générations futures? La réponse est probablement à la fois climatique (la nécessaire réduction à court terme des émissions de GES); économique (un coût de réduction beaucoup plus faible que la valeur des dommages globaux); et éthique (la nécessaire prise en compte de ses impacts sur les bénéfices des générations futures).

ÉQUITÉ

La crise des gilets jaunes en France, qui a émergé à partir de l'hiver 2019, a illustré avec acuité l'importance de cet enjeu dans l'élaboration des politiques environnementales. L'approche française impose une surcharge relativement plus élevée aux ménages plus pauvres ou ne possédant pas ou peu de possibilités de substitution pour des enjeux essentiels comme le chauffage ou le transport. Le défi de la tarification est donc de proposer un dispositif efficace, mais également juste. « L'efficacité requiert que le signal-prix soit sauvegardé et la justice requiert que le partage des coûts des mesures environnementales soit équitable » (Bureau, Henriot et Schubert, 2019). Dans ce contexte, la correction des inégalités présentes dans nos sociétés relève de la politique fiscale dans son ensemble, mais il faut à tout le moins que la stratégie climatique déployée soit accompagnée de mécanismes adéquats de compensation pour éviter d'accroître ces inégalités.

Ces contraintes sont sérieuses et illustrent la difficulté de réaliser cette transition énergétique tant à l'échelle nationale qu'internationale. La bonne nouvelle cependant est que le cadre théorique et la mise en œuvre empirique

montrent qu'il est possible (et souhaitable) de traiter adéquatement ces contraintes lors de la conception d'une politique publique de tarification du carbone tout en conservant le puissant levier de l'incitation économique. Ces contraintes soulevées ne représentent donc nullement un frein au déploiement d'une politique de tarification du carbone.

Deux approches de tarification

Deux approches, avec plusieurs nuances, sont possibles pour assurer cette tarification : une taxe carbone ou un système de plafonnement et d'échange des émissions. La première fixe un prix carbone qui induit une réduction des émissions; la seconde fixe un plafonnement des émissions qui engendre un prix carbone. À l'échelle mondiale, l'institut I4CE évalue que les instruments de tarification du carbone, présents sous la forme de 25 systèmes de taxes carbone et 26 marchés de quotas échangeables, ont généré 45 milliards \$US de recettes en 2018 (Postic et Métivier, 2019); des recettes à mettre toutefois en parallèle avec l'estimation de l'Agence internationale de l'énergie qui évalue les subventions à la consommation d'énergies fossiles à 260 milliards \$US en 2016.

Ces deux approches de tarification sont actuellement utilisées à l'échelle canadienne, d'abord au niveau provincial, puis au niveau fédéral. Au Québec, le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission (SPEDE) est en vigueur depuis 2013. Au niveau fédéral, après des décennies d'inaction, une tarification du carbone est en vigueur début 2019 dans les provinces ne disposant pas d'un tel mécanisme de marché (voir l'encadré « Le système fédéral de tarification du carbone » à la page suivante, et l'encadré « Le système de plafonnement et d'échange de droits d'émissions (SPEDE) au Québec » à la page 18.).

En guise de conclusion

Imposer un prix sur le carbone fait donc largement consensus auprès des organisations internationales, de plusieurs pays et de milliers d'économistes, dont plusieurs récipiendaires du prix Nobel d'économie. Cette diversité des appuis illustre bien le fait qu'il ne s'agit pas ici d'une politique de droite ou de gauche. Dans ce contexte, il nous semble étonnant de constater que la pertinence d'une tarification du carbone au Canada soit encore un objet de débat partisan. Tant qu'il n'en coûte rien d'émettre ces polluants, les entreprises et les individus

ne sont pas incités à les réduire ni à modifier leurs comportements. L'enjeu politique ne devrait donc pas être le principe d'une tarification, mais bien la meilleure façon de déployer cet instrument dans le contexte québécois et canadien en intégrant adéquatement les enjeux d'équité et de concurrence internationale. De plus, parallèlement à sa mise en œuvre à l'échelle nationale, il faut également œuvrer au déploiement de son application à l'échelle internationale. Et dans cette « diplomatie climatique », difficile selon nous, pour ne pas dire impossible, d'être crédible sans commencer par faire partie des États qui déploient cet instrument essentiel. La tarification du carbone n'est évidemment pas une fin en soi. Une politique globale de réduction des GES devrait inclure également l'abolition des subventions pour l'énergie fossile, l'investissement dans les infrastructures à faible niveau de GES, dont le transport en commun, et des stratégies de développement des filières propres. La tarification du carbone constitue toutefois l'élément central d'une telle politique contribuant à nous faire progresser plus rapidement et de façon plus stratégique dans ce qui est, sans aucun doute, le défi majeur de ce début de XXI^e siècle.

Le système fédéral de tarification du carbone

Entré en vigueur en 2019, le système fédéral de tarification du carbone comprend deux approches : une redevance sur les combustibles et, pour les grandes industries émettant plus de 50 000 t éq. CO₂, un système de tarification fondé sur le rendement (STFR). Ces approches sont en vigueur dans les provinces qui n'ont

pas leur propre système de tarification du carbone, soit l'Ontario, le Manitoba, le Nouveau-Brunswick et la Saskatchewan¹.

La tarification du carbone est fixée à 20 \$/t éq. CO₂ en 2019-2020 et augmentera annuellement de 10 \$ pour atteindre 50 \$ la tonne en 2022-2023, soit la fourchette inférieure des cibles internationales de tarification du carbone. Le gouvernement devrait obtenir 2,63 milliards de dollars de cette tarification en 2019-2020 dont 2,4 milliards provenant de la redevance sur les combustibles (Directeur parlementaire du budget [DPB], 2019, p. 7). Dans une approche de fiscalité neutre, 90% des revenus de cette redevance seront versés aux ménages sous la forme de paiements non imposables basés sur la composition du ménage. Le solde de cette redevance financera un programme de soutien à la réduction des émissions destiné aux PME, municipalités, communautés autochtones et institutions d'enseignement et de santé. Le coût pour les ménages comprend des coûts directs (achat final d'énergie comme l'électricité, le chauffage et le transport, coût variant selon les ménages et selon les provinces en fonction du mixte énergétique pour la production d'électricité) ainsi que des coûts indirects (résultant de l'augmentation du prix de vente des biens et services non énergétiques). De par leur consommation plus élevée, les ménages du quintile supérieur, soit les 20 % les plus riches, paieront entre deux et trois fois plus que les ménages à faible revenu. Avec le remboursement fiscal, 80% des ménages devraient recevoir une somme plus élevée que le coût assumé et seuls les ménages du quintile à revenu le plus élevé auront un coût net (Figure 1). Cette démarche permet donc de prendre en compte de façon simple les principaux impacts en matière d'équité.

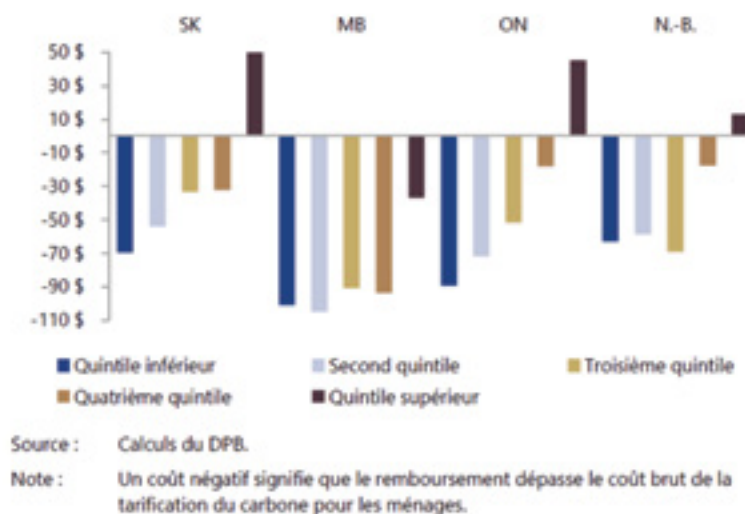


Figure 1. Répartition par quintile du coût net de la redevance en 2019-2020 pour les quatre provinces. Source : DPB (2019a).

1. La tarification pour l'industrie s'applique partiellement en Saskatchewan (électricité et transport du gaz naturel) et à l'Île-du-Prince-Édouard. Des modalités particulières s'appliquent au Yukon et au Nunavut.

La tarification des grandes industries s'appliquera pour les émissions au-delà d'une norme correspondant, selon les secteurs, à 80 ou 90 % de la moyenne de l'intensité des émissions de GES des grands émetteurs. La tarification du carbone ne s'appliquera donc, selon les secteurs, que sur les 10 à 20 % des émissions de GES des grands émetteurs. De plus, les firmes qui performant mieux que la norme pourront vendre des crédits aux autres émetteurs. Cette approche pour les grands émetteurs industriels peut ainsi être associée à un système d'échange de droits d'émission, mais sans plafonnement.

Le DPB estime que les revenus de cette tarification seront de 200 millions \$, somme qui devrait être versée aux provinces. Cette approche permet de prendre en compte les enjeux de concurrence internationale en limitant la tarification à une faible proportion des émissions tout en conservant son aspect incitatif à la marge. Par contre, cela se traduit par un différentiel dans la tarification du carbone et, surtout, ne permet pas un plafonnement des émissions comme dans le cas du système québécois.

Bien qu'il s'agisse ici de la démarche centrale de l'action gouvernementale, le système déployé ne permet pas d'atteindre la cible canadienne de 2030. L'analyse réalisée à l'automne 2018 par Environnement et changement climatique Canada estime en effet que la tarification du carbone réduirait les émissions de GES de 50 à 60 Mt en 2022 lorsque la redevance fédérale sera à 50 \$ la tonne. Pour atteindre les cibles prévues dans le cadre de l'Accord de Paris, les émissions canadiennes devraient être réduites de 79 Mt additionnelles en 2030.

Le DPB reprend l'argumentaire de l'efficacité de la tarification : « le consensus parmi les économistes est que la tarification explicite du carbone est l'approche la plus rentable pour réduire les émissions de GES [...]. Les mesures réglementaires et les subventions imposent généralement un coût économique plus élevé, quoique moins visible, que la tarification explicite du carbone » (DPB, 2019b, p. 13). Dans ce contexte, si toutes ces réductions ne sont effectuées que par un système de tarification à large spectre, « une tarification supplémentaire du carbone passant de 6 \$ la tonne en 2023 à 52 \$ la tonne en 2030 serait nécessaire pour atteindre la cible d'émissions de GES du Canada en vertu de l'Accord de Paris [...]. Le DPB estime que cette approche de tarification engendrerait en 2030 un niveau de PIB inférieur de 0,35 % » (DPB, 2019b, p. 3).

La démarche fédérale de tarification du carbone permet de prendre en compte ces enjeux d'équité entre les ménages ainsi que les enjeux de concurrence internationale. Elle permet une réduction significative des émissions avec un impact économique relativement faible. Si cette démarche de tarification est essentielle,

elle reste néanmoins insuffisante dans sa forme actuelle pour l'atteinte des cibles prévues dans l'Accord de Paris. Elle soulève également à l'échelle canadienne une vive discussion sur le partage des compétences fédérales provinciales en matière d'environnement. Il s'agit d'une opposition de principe avec certaines provinces qui s'opposent à toutes taxations des GES et une démarche de compétence avec les provinces qui, comme le Québec, ont mis en place des stratégies innovantes de tarification et de réduction des émissions de GES depuis plusieurs années.

Bureau, D., Henriët, F. et Schubert, K. (2019). Pour le climat : une taxe juste, pas juste une taxe. *Notes du conseil d'analyse économique*, 2(50), 1-12.

Commission de haut niveau sur les prix du carbone. (2017). *Rapport de la Commission de haut niveau sur les prix du carbone*. Repéré à https://static1.squarespace.com/static/54ff9c5ce4b0a53decccf-b4c/t/59b7f2409f8dce5316811916/1505227332748/CarbonPricing_FullReport.pdf

Dechezleprêtre, A., Nachtigall, D. et Venmans, F. (2018), The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance. *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, 1515. <https://doi.org/10.1787/4819b016-en>

Directeur parlementaire du budget. (2019a). *Analyse financière et distributive du système fédéral de tarification du carbone*. Repéré à https://www.pbo-dpb.gc.ca/web/default/files/Documents/Reports/2019/Federal%20Carbon/Federal_carbon_pricing_FR.pdf

Directeur parlementaire du budget. (2019b). Comblant l'écart : tarification du carbone pour atteindre la cible de l'Accord de Paris. Repéré à https://www.pbo-dpb.gc.ca/web/default/files/Documents/Reports/2019/Paris_Target/Paris_Target_FR.pdf

Éditeur officiel du Québec. (2019). *Loi sur le développement durable*. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/developpement/loi.htm>

GIEC. (2018). *Global Warming of 1.5°C*. Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf

Gollier, C. (2019). *Le climat après la fin du mois*. Paris, France : PUF.

Lagarde, C et Kim, J.Y. (2015, 20 octobre). Vers la tarification du carbone. [Billet de blogue]. Repéré à <https://blogs.worldbank.org/fr/voices/vers-la-tarification-du-carbone>

OMS. (2018). *COP24 Special Report – Health & Climate Change*. Repéré à <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/276405/9789241514972-eng.pdf>

Nordhaus, W.D. (2018). Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics. Repéré à <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2018/nordhaus/lecture/>

Pearce, D.W. et Turner, R.K. (1990). *Economics of natural resources and the Environment*. Baltimore: John Hopkins Press.

Postic, S. et Métivier, C. (2019). Les comptes mondiaux du carbone en 2019. Repéré à <https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2019/05/i4ce-PrixCarbon-VF.pdf>

Tirole, J. (2018). *Économie du bien commun*. Paris, France : Presses universitaires de France.

United Nations Secretary-General. (2018, 5 septembre). Secretary-General's remarks at launch of the New Climate Economy report. Repéré à <https://www.un.org/sg/en/content/sg/state-ment/2018-09-05/secretary-generals-remarks-launch-new-climate-economy-report>



Crédit photo : MFFP

Enjeux de société

ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES DU LAC SAINT-PIERRE

Jie He

Professeure au Département d'économie
Université de Sherbrooke

Hermann Enomana

Ancien étudiant de maîtrise au Département d'économie
Université de Sherbrooke

Jérôme Dupras

Professeur au Département des sciences naturelles
Université du Québec en Outaouais

Thomas Poder

Professeur à l'École de santé Publique
Université de Montréal

Le lac Saint-Pierre est le dernier élargissement majeur du fleuve Saint-Laurent avant l'estuaire. Avec une longueur de près de 30 km, une largeur de 13 km et une profondeur moyenne de 3 m, il constitue la plus grande plaine inondable d'eau douce du Québec (MDDEFP, 2013). L'écosystème unique de ce lac est caractérisé par une grande diversité de milieux humides qui servent d'habitat pour un grand nombre d'espèces fauniques et floristiques. Le lac Saint-Pierre a été désigné site Ramsar en 1998¹, et a été déclaré réserve de la biosphère en 2000 par l'UNESCO.

Bien que plusieurs programmes gouvernementaux aient été mis en place au cours des dernières décennies, l'intégrité de l'écosystème du lac Saint-Pierre a été profondément affectée par les activités humaines dans les bassins versants de ses affluents et sa plaine inondable, entraînant ainsi des pertes d'habitat pour la faune et la flore (MDDEFP, 2013). Les changements climatiques ont le potentiel d'entraîner des modifications importantes du régime hydrologique du lac,

1. La Convention de Ramsar, aussi appelée Convention sur les zones humides, est un traité intergouvernemental qui sert de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources.

avec, entre autres, des crues qui seront probablement moins élevées ou plus précoces et des étages plus sévères (Huard, 2015). Ces situations risquent de rendre les efforts d'amélioration de la qualité de l'eau et des habitats naturels du lac Saint-Pierre encore plus difficiles.

Nous résumons dans cet article les principaux résultats d'un projet de recherche (He, Dupras et Poder, 2016) dont les objectifs sont d'évaluer les coûts potentiels des changements climatiques sur les services écosystémiques du lac Saint-Pierre. Nous nous intéressons notamment aux avantages des différentes stratégies d'adaptation relativement à la préservation de ces services à travers une série de méthodes pouvant couvrir à la fois les valeurs d'usage et de non-usage des services écosystémiques du lac Saint-Pierre. En fournissant de nouvelles évaluations, la plupart pour des services écosystémiques non marchands, nous visons à faciliter la prise de décision tant publique que privée pour l'adaptation aux changements climatiques. Ce projet de recherche vise donc ultimement à aider diverses parties prenantes à prendre en compte les impacts des changements climatiques dans leurs décisions et à mettre en place des stratégies d'adaptation et de mitigation pour préserver l'intégrité des services écosystémiques produits par le lac Saint-Pierre.

Valeur des services écosystémiques et méthodes d'évaluation non-marchande

Costanza et al. (1998) définissent les services écosystémiques comme étant les conditions et les processus par lesquels les écosystèmes naturels et les espèces qui les composent rendent possibles la vie humaine et son émancipation. Pour inclure à la fois les avantages tangibles et intangibles des services écosystémiques, nous adoptons la notion de valeur économique totale qui chapeaute l'ensemble des valeurs issues de la nature (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). La valeur économique totale inclut la valeur d'usage directe, la valeur d'usage indirecte et la valeur de non-usage. La valeur d'usage directe représente la valeur traditionnellement véhiculée sur les marchés économiques (bois d'œuvre, biens alimentaires, produits forestiers, etc.). La valeur d'usage indirecte représente la valeur générée par la nature qui affecte le bien-être

humain, mais qui n'est pas véhiculée sur les marchés traditionnels, comme la régulation du climat, les habitats pour la faune et les fonctions esthétiques ou spirituelles qui contribuent à l'utilité de l'utilisateur. Les valeurs de non-usage mesurent les satisfactions qu'un individu peut obtenir grâce au simple maintien d'un service écosystémique sans l'intention de l'utiliser un jour. Nous distinguons souvent ici la valeur d'existence et la valeur d'héritage.

Nous évaluons les variations de la valeur économique des services écosystémiques du lac Saint-Pierre sous les impacts des changements climatiques via deux différentes méthodes. Tout d'abord, la méthode de coût de voyage, qui évalue les services écosystémiques associés aux activités récréotouristiques, et la méthode des choix de multi-attributs, qui mesure la valeur totale des services écosystémiques du lac Saint-Pierre pour la population générale du Québec. Les deux méthodes se basent sur la théorie économique, laquelle modélise la prise de décision des individus selon les variations de leur bien-être dues aux changements des conditions environnementales.

Les deux méthodes reposent sur la réalisation d'un sondage en ligne en 2015 auprès de la population québécoise de 18 ans et plus². Le recrutement des répondant.e.s a été confié aux deux firmes d'enquête en ligne *Survey Sampling International* et *Research Now*, qui possèdent chacune un panel de répondant.e.s québécois.e.s internautes de plusieurs dizaines de milliers de personnes. Le questionnaire contient trois parties : la première comporte des questions sur les connaissances et la sensibilité des répondant.e.s aux problèmes environnementaux du lac Saint-Pierre. C'est aussi dans cette partie que nous avons posé des questions sur les activités récréotouristiques que les répondant.e.s exercent sur le lac. La seconde partie constitue le cœur de l'enquête et renferme une série de questions sur les variations potentielles des activités des répondant.e.s sur le lac dues aux changements hypothétiques de la qualité des services écosystémiques sous les effets des changements climatiques. La troisième partie de notre questionnaire comporte une série de questions visant à identifier les caractéristiques socioéconomiques de chaque répondant.e. La construction du questionnaire est le fruit de notre groupe de travail multidisciplinaire constitué de biologistes, d'écologistes, de géographes, d'hydrologues, d'économistes et de gestionnaires des ministères concernés.

2. Soulignons un enjeu méthodologique en lien avec l'échantillonnage. Bien que l'enquête en ligne soit aujourd'hui considérée comme le mode d'enquête le plus économique, efficace et populaire pour des études similaires, nous avons rencontré des difficultés dans le contrôle de qualité des réponses obtenues. Cet élément peut potentiellement affecter l'efficacité de l'extrapolation de nos résultats issus de l'échantillon à la population générale. Nous appelons ainsi à des précautions dans l'interprétation des résultats en raison des potentielles limites et biais des méthodes utilisées, ces dernières se basant toutes sur des scénarios hypothétiques.

Coût de voyage

L'étape centrale de cette méthode consiste à estimer une fonction pour expliquer comment le nombre de visites d'un individu i (V_{it}) est influencé par les coûts de déplacement pour une visite C_i , ses caractéristiques sociodémographiques Z_i et la qualité du lac Q_t ($t=1/0$, dont 0 signifie le statu quo et 1 la situation sans intervention). Pour ce faire, nous utilisons les informations collectées auprès des 155 répondant.e.s qui ont effectué au moins une visite au lac Saint-Pierre pendant les derniers 12 mois et qui ont prédit le nombre de leurs visites futures si la qualité du lac se détériore sous les effets des changements climatiques (voir le Tableau 1 pour les descriptions des conditions du lac sous les effets des changements climatiques et les comparaisons par rapport au statu quo, fruits de discussions de notre panel d'expert.e.s).

Notre estimation statistique basée sur les réponses de ces 155 visiteur.euse.s démontre que la détérioration du lac Saint-Pierre causée par les changements climatiques entraînera une réduction du nombre de visites en moyenne de 4,54 fois à 2,43 fois par année.

En décrivant la fonction de la demande, c'est-à-dire la relation entre le nombre de visites (V_{it}) et le coût de voyage (C_i) dans la Figure 1, nous constatons que pour un individu dont le profil sociodémographique est de Z_i , toutes choses étant égales par ailleurs, lorsque la qualité du lac Saint-Pierre se détériore sous les impacts des changements climatiques, la fonction de la demande V_{i0}

se déplace vers la gauche de V_{i1} . Si le coût de voyage pour chaque visite est de C_i , tel qu'illustré dans la Figure 1, nous pouvons ainsi obtenir le rectangle vert qui mesure la perte de revenus touristiques due à la réduction de nombre de visites de même que la surface bleue ΔA_i , qui représente la perte de satisfaction des visiteur.euse.s due à la réduction de la qualité du lac Saint-Pierre sous les effets des changements climatiques. Étant donné que dans notre échantillon, 155 répondant.e.s, soit 7% des 2099 personnes ayant complété le questionnaire, ont visité le lac Saint-Pierre, nous supposons que 7% de la population du Québec visitent ce dernier. L'extrapolation des résultats du niveau individuel à l'échelle de la population donne une estimation de la perte qui équivaut à une diminution de revenus touristiques de 100M\$/an et une baisse de satisfaction des visiteur.euse.s de 232M\$/an.

Choix de multi-attributs

La méthode de coût de voyage estime seulement la valeur d'usage du lac Saint-Pierre pour les visiteur.euse.s. La méthode des choix de multi-attributs, pour sa part, permet d'estimer toutes les composantes de la valeur économique totale, y compris les valeurs d'usage indirecte (passives) et les valeurs de non-usage. Dans cette partie de l'étude, nous nous focalisons sur la population générale du Québec. Il faut bien voir, en effet, qu'en plus des valeurs d'usage associées aux activités récréotouristiques, le lac Saint-Pierre fournit également d'autres services écosystémiques à la population plus élargie, tels que la régulation du climat ainsi que les composants des valeurs de non-usage (valeur d'existence, valeur d'héritage).

La méthode des choix de multi-attributs vise à présenter plusieurs scénarios hypothétiques caractérisés par une variation indépendante des attributs (p. ex. habitat des poissons et condition des rives, etc.) et de leurs niveaux (p. ex. mauvaise, moyenne ou bonne) aux répondant.e.s (visiteur.euse.s ou non). Chaque scénario hypothétique interventionniste propose des améliorations dans les attributs, mais exige certains montants de paiement obligatoire (taxe provinciale dans cette étude). En fonction de ces propositions, les répondant.e.s choisissent le scénario préféré, en comparant les améliorations proposées par rapport au coût à payer. La méthode des choix de multi-attributs vise à modéliser les choix des répondant.e.s pour déterminer la façon dont un individu évalue l'importance de chacun de ces attributs et de leurs niveaux. Cette méthode nous permet ainsi de hiérarchiser et de quantifier chacun des attributs de façon indépendante (Dupras, Revéret et He, 2013). Le Tableau 3 illustre une carte de choix que nous avons utilisée dans notre questionnaire.

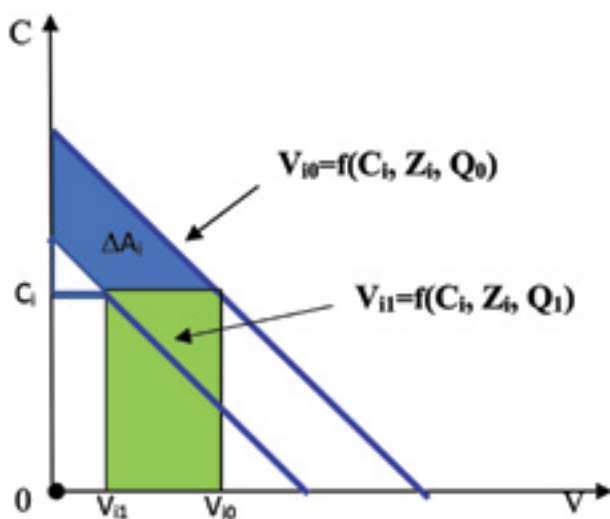


Figure 1. Modification de la fréquentation du site après une détérioration du lac Saint-Pierre

Au total, 1 058 individus de 18 ans et plus ont répondu aux questions basées sur les cartes de choix. En nous basant sur leurs réponses, nous estimons la probabilité pour un scénario alternatif d'être sélectionné par un individu en fonction de ses caractéristiques socioéconomiques, des niveaux des attributs et du coût associé. Une fois les paramètres estimés, il nous sera possible de déduire la volonté à payer pour chaque attribut étudié.

Par la suite, nous extrapolons nos résultats pour calculer la valeur totale des services écosystémiques du lac Saint-Pierre pour la population du Québec, puis nous les rapportons dans le Tableau 2. Comme nous pouvons le constater, la population du Québec semble prioriser davantage la qualité de l'eau, la qualité de l'habitat pour les poissons et le statut de l'UNESCO et de Ramsar du site, peu importe si elle est utilisatrice ou non du lac. En additionnant les composants statistiquement significatifs, nous obtenons une valeur totale des services écosystémiques du lac Saint-Pierre de 2990M\$ par an, soit environ 88% de la valeur totale des services écologiques du lac.

Conclusion

Malgré l'intérêt croissant qu'ils suscitent, les instruments intégrant la notion de la valeur des services écosystémiques, tels que les paiements pour services écosystémiques, sont encore loin d'être les stratégies politiques dominantes dans la conservation de la biodiversité et la protection du milieu. Au Québec, l'utilisation de politiques publiques économiques basées sur les redevances pour services écosystémiques en est encore à ses premiers balbutiements (voir la revue de Dupras et Klein, 2015). Les résultats rapportés dans ce projet démontrent l'importance d'agir aux menaces des changements climatiques, non seulement pour les utilisateur.rice.s direct.e.s du lac, mais encore plus pour les non-utilisateur.rice.s, qui représentent plus de 92% de la population du Québec et plus de 88% de la valeur totale (usage et non-usage) des services écosystémiques du lac Saint-Pierre. Ces informations peuvent également être interprétées comme des avantages potentiels si des stratégies d'adaptation étaient mises en place dans le but de faciliter la prise de décision dans l'adoption de mesures d'adaptation aux changements climatiques.

La hiérarchisation des services écosystémiques que nous avons trouvée avec la méthode des choix de multi-attributs est globalement représentative de la littérature similaire sur le sujet (voir Hall, Stuntz et Schweiger, 2004 et la méta-analyse réalisée par He et al., 2015). Les valeurs de non-usage trouvées pour le lac Saint-Pierre sont relativement élevées, un ménage étant prêt à payer plus de 800 \$/an pour une amélioration type de ce lac.

Un chiffre aussi grand présente possiblement un biais de double comptage ou des problèmes de chevauchement entre les attributs. Toutefois, ces chiffres ne sont pas très différents des résultats obtenus par d'autres exercices de volonté à payer menés au Québec pour des objets relativement similaires. Par exemple, He et al. (2016) rapportent que les ménages québécois sont prêts à payer entre 468 et 527 \$/an pour doubler la superficie des milieux humides du Sud du Québec en 2013. De même, au Manitoba, l'amélioration de la qualité de l'eau, de la biodiversité et de deux autres services écosystémiques des milieux humides a généré une volonté à payer de 319 à 352 \$ (dollars de 2013) (Pattison, Boxall et Adamowicz, 2011).

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B. ... van den Belt, M. (1998). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics* 25(1), 3-15. doi:10.1016/S0921-8009(98)00020-2.

Dupras J. et Klein B. (2015). L'intégration des services écosystémiques dans des dispositifs politiques au Québec, Dans J. Dupras et J.P. Revéret (dir.), *Nature et Économie: un regard sur les écosystèmes du Québec* (p. 251-265). Québec : Presses de l'Université du Québec.

Dupras, J., Revéret, J.P. et He, J. (2013). L'évaluation économique des biens et services écosystémiques dans un contexte de changements climatiques. Un guide méthodologique pour une augmentation de la capacité à prendre des décisions d'adaptation. Repéré sur le site d'Ouranos : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportReveret2013_FR.pdf

Hall, N.D., Stuntz, B.B. et Schweiger, L. (2007). *Climate Change and Great Lakes Water Resources*. Repéré sur le site de la National Wildlife Federation: http://online.nwf.org/site/DocServer/Climate_Change_and_Great_Lakes_Water_Resources_Report_FI.pdf?docID=2442.

He, J., Moffette, F., Fournier, R., Revéret, J.P., Théau, J., Dupras, J., Boyer, J.P., Varin, M. (2015). Meta-Analysis for the Transfer of Economic Benefits of Ecosystem Services Provided by Wetlands within Two Watersheds in Quebec, Canada. *Wetland Ecology and Management*, 23(4), 707-725.

He, J., Dupras, J. et Poder, T. (2016). The Value of Wetlands in Quebec: a comparison between Contingent Valuation and Choice Experiment. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 6(1), 51-78.

Huard, D. (2015). Étude économique régionale des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint-Laurent. Description des scénarios climatiques. Repéré sur le site d'Ouranos : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/ACA-GLSL_sc%C3%A9narios_VF.pdf

MDDEFP (2013). *Retombées économiques des activités de chasse, de pêche et de piégeage au Québec en 2012: Synthèse*. Repéré à <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/faune/statistiques/retombees-economique-ccp.pdf>

Millenium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Repéré à <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>

Pattison, J., Boxall, P.C. et Adamowicz, W.L. (2011). The Economic Benefits of Wetland Retention and Restoration in Manitoba. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroéconomie*, 29(2), 223-244.

	Aujourd'hui	Avec les changements climatiques
Qualité d'habitat pour les poissons	En détérioration 1. Huit espèces de poissons menacées, équivalent à 10% des 79 espèces qui s'y trouvent 2. La perchaude fait l'objet d'un moratoire de 5 ans sur la pêche sportive et commerciale	En détérioration accélérée 1. Augmentation du nombre d'espèces de poissons à statut précaire dans les prochaines décennies 2. Restriction de la pêche sportive et commerciale dans les prochaines décennies
Qualité d'habitat pour les oiseaux	Risque de détérioration Douze (12) espèces d'oiseaux vulnérables ou menacés, équivalent à 4% des 288 espèces existant sur le lac	En détérioration Augmentation du nombre d'espèces d'oiseaux à statut précaire, modification des communautés d'oiseaux et apparition d'espèces plus typiques des régions du sud
Qualité de l'eau	Moyenne Baignade interdite au sud du Lac 	Mauvaise (sud) Seules les activités sans contact avec l'eau sont permises 
Condition riveraine (espace disponible pour les activités récréotouristiques)	Situation actuelle	Une réduction de l'espace disponible d'environ 20% par rapport à la situation actuelle
Statut de l'UNESCO et de site Ramsar	Maintenu	Menacé

Tableau 1. Scénarios proposés pour la méthode du coût de voyage

Population du Québec (A)	8 214 672 personnes	
Taille de ménage en moyenne au Québec (B)	2,3 personnes/ménage	
Nombre total de ménages au Québec (C=A/B)	3 571 596,52 ménages	
Volonté à payer moyenne d'un ménage pour les améliorations des attributs du « sans intervention » à notre scénario hypothétique type (dont les niveaux des attributs sont précisés ci-dessous)		
	Moyenne par ménage	Valeur totale
Habitat pour les poissons : Amélioration importante	195,64 \$/ménage	698 747 143,2 \$/an
Habitat pour les oiseaux : Amélioration importante	Non-significatif ^a =0	0
Qualité de l'eau : bonne qualité	498,16 \$/ménage	1 779 226 522 \$/an
Conditions riveraines (améliorée de 20%)	Non-significatif=0	0
Statut de Unesco/Ramsar maintenus	143,48 \$/ménage	512 452 668,7 \$/an
Valeur totale	837,28 \$/ménage	2 990 426 334 \$/an

Un résultat non-significatif signifie que, statistiquement, les choix des répondant.e.s ne varient pas avec les niveaux de l'attribut concerné.

Tableau 2. Valeur totale du lac Saint-Pierre pour la population du Québec

Si vous choisissez l'intervention A ou B, vous devrez payer une taxe provinciale dont le seul but serait d'aider à mettre en place ces interventions. Aucun paiement ne sera demandé pour le choix du cas « sans intervention ». Cependant la condition du lac Saint-Pierre continuera à se dégrader sous la pression des activités humaines et des changements climatiques, dégradant ainsi leurs fonctions écologiques comme mentionné dans le tableau.			
	Sans intervention	Intervention A	Intervention B
Qualité d'habitat pour les poissons La baisse et les variations du niveau d'eau risquent de réduire le nombre et la qualité des frayères et des refuges, de changer les patrons de migration des espèces, d'affaiblir la capacité de la filtration d'eau, de favoriser l'apparition d'algues, d'accentuer les problèmes de pollution, de favoriser l'arrivée des espèces envahissantes, etc.	En détérioration accélérée Augmentation du nombre d'espèces de poissons à statut précaire et de restriction à la pêche sportive et commerciale dans les prochaines décennies.	En amélioration Une baisse des espèces de poissons à statut précaire dans les prochaines décennies. La suppression du moratoire de pêche sur la perchaude.	En amélioration importante Une baisse importante des espèces de poissons à statut précaire dans les prochaines décennies. Augmentation du potentiel de pêche.
Qualité d'habitat pour les oiseaux La baisse et les variations du niveau d'eau risquent de réduire la qualité des berges, l'accessibilité à la nourriture, la superficie des refuges et des lieux de reproduction, en particulier pour les oiseaux migrateurs.	En détérioration Augmentation du nombre d'espèces d'oiseaux à statut précaire, modification des communautés d'oiseaux et l'apparition d'espèces plus typiques des régions du sud.	En amélioration importante Une importante baisse des espèces d'oiseaux à statut précaire et le retour de certains oiseaux migrateurs sur le Lac.	En amélioration Une baisse des espèces d'oiseaux à statut précaire et maintien de la composition des communautés d'oiseaux.
Qualité de l'eau La baisse et les variations du niveau d'eau risquent d'affaiblir la capacité de filtration d'eau des milieux humides, favorisant la multiplication des crises d'algues, et d'accentuer les impacts négatifs des sédiments et des contaminants comme le phosphate, les pesticides et les polluants municipaux et industriels.	Mauvaise Seulement des activités qui n'ont pas de contact avec l'eau sont permises : 	Moyenne Seulement les activités avec contacts secondaires avec l'eau et celles qui n'ont pas de contact avec l'eau sont permises : 	Bonne Toutes les activités avec/sans contacts primaires avec l'eau sont permises : 
Conditions riveraines La baisse et les variations du niveau d'eau risquent de provoquer le dépérissement des forêts riveraines, l'invasion par des plantes exotiques et la modification des compositions de la communauté végétale des rives, réduisant ainsi la qualité paysagère des rives, l'accessibilité à l'eau et l'espace disponible pour des activités récréotouristiques comme la nage, le canotage ou la planche à voile.	20% de réduction des espaces par rapport à la situation actuelle.	10% de réduction des espaces par rapport à la situation actuelle.	0% de réduction des espaces par rapport à la situation actuelle.
Statut de réserve mondiale de la biosphère de l'UNESCO et de site Ramsar La désignation d'un statut de réserve mondiale est basée sur la qualité des écosystèmes. Compte tenu des risques de la perte de qualité des aspects décrits plus haut, le Lac Saint-Pierre pourrait perdre ces désignations.	Menacé	Maintenu	Maintenu
Coût (une taxe provinciale spéciale par ménage par an pour mettre en place des mesures mentionnées plus haut).	0\$/an	20\$/ an	250\$/ an
Je choisis			

Tableau 3. Exemple de choix de scénarios dans la méthode des choix multi-attributs

LE SAVOIR CHANGE TOUT

L'Université de Sherbrooke a augmenté ses activités de recherche de façon fulgurante au cours des dernières années. Elle s'est donné comme mandat d'aviver chez ses étudiantes et étudiants une passion pour la résolution de problèmes et l'innovation. Elle leur donne accès à des réseaux de recherche de calibre mondial et favorise ainsi chez eux l'acquisition de connaissances et de compétences transversales.



L'UdeS FORME LA PROCHAINE GÉNÉRATION
DE CHERCHEUSES ET CHERCHEURS.



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

CLIMATOSCOPE.CA