

Octobre 2024
Numéro 06

Le Climatoscope

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

CLIMATOSCOPE.CA

Dans ce numéro

**DOSSIER SPÉCIAL
LIMITES PLANÉTAIRES**

**S'ADAPTER AUX FEUX DE FORÊT
DANS UN CLIMAT CHANGEANT**

**ÉQUITÉ ET JUSTICE
DANS L'ADAPTATION AUX
CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

**LES SYSTÈMES AQUATIQUES
EN MANQUE D'OXYGÈNE**

**ADAPTATION DE L'INDUSTRIE
TOURISTIQUE DANS LE BAS DU FLEUVE**

**REBOISER LES TERRES
DÉGRADÉES EN HAÏTI**

06

Le Climatoscope

À propos

Le Climatoscope est une revue de vulgarisation scientifique francophone et interdisciplinaire et un lieu d'animation portant directement sur la question des changements climatiques et autour de laquelle gravite une série d'activités de sensibilisation destinée à un public intéressé, mais non expert. Mis sur pied par une équipe de professeurs et professeures de l'Université de Sherbrooke, le projet *Climatoscope* favorise la diffusion de connaissances scientifiques sur les changements climatiques, contribuant ainsi à la sensibilisation, au développement des capacités et à la réflexion sur les problèmes, les défis et les solutions pour faire face à cette réalité.

© Le Climatoscope

Dépôt légal : troisième trimestre 2024
Bibliothèque et Archives Canada
Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISSN 2562-8003

Crédit photo couverture : David Kovalenko via Unsplash

LE CLIMATOSCOPE

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

POUR SUIVRE NOS ACTIVITÉS

climatoscope.ca



COMITÉ ÉDITORIAL

Annie Chaloux, directrice

Olivier Champagne-Poirier, directeur adjoint

Sylvain Vigier, éditeur

COMITÉ SCIENTIFIQUE

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

Frédéric Bouchard, Professeur au Département de géomatique appliquée à l'Université de Sherbrooke

Annie Chaloux, Professeure agrégée à l'École de politique appliquée et au Centre universitaire de formation en environnement de l'Université de Sherbrooke

Olivier Champagne-Poirier, Professeur au Département de communication 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 et président du Comité consultatif sur les changements climatiques

ÉQUIPE

Jennyfer Boudreau, Samuel Enright

RÉVISION LINGUISTIQUE ET MONTAGE

Valérie Bélanger, Caroline Piché

REMERCIEMENTS

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

PARTENAIRES PRINCIPAUX



PARTENAIRES



Table des matières

INTRODUCTION

Les limites planétaires : enjeux, défis et perspectives pour un avenir durable	5
L'équipe du Climatoscope	

ÉDITORIAL

À propos des limites	6
Léa Ilardo	

PERSPECTIVES

Technologies numériques et limites planétaires, (in)compatibilité ?	8
Martin Deron	
Protéger nos forêts, protéger nos communautés : s'adapter aux feux de forêt dans un climat changeant	13
Marie-Emmanuelle Bossé, Yves Bergeron et Simon Massé	
Des archives historiques pour documenter le climat du passé	18
Marie-Michèle Ouellet-Bernier, Najat Bhiry et Laura Brassard	
L'éthique sur le terrain de l'adaptation aux changements climatiques	23
Anthony Voisard et Ivo Wallimann-Helmer	

SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Les systèmes aquatiques en manque d'oxygène	28
Céline Guéguen, Md. Muhyminul Islam et Debra Hausladen	
Entre sol et ciel : perturbations écosystémiques et processus atmosphériques dans l'ouest de l'Arctique canadien	33
Bruno Lecavalier, Vincent Graveline, Léa Cornette, Oliver Sonnentag, James King et Manuel Helbig	
Activité physique, sport et changements climatiques : une course contre la montre	39
Célia Kingsbury, Louis Pitois, Monica Tanase et Paquito Bernard	
Reboiser les terres dégradées pour augmenter les stocks de carbone et d'azote du sol et lutter contre les changements climatiques en Haïti	44
Jean-Pierre Julcin, Terence Epule Epule, Amélie St-Amant-Ringuette, Frény Alcinat, Benoit Limoge et Vincent Poirier	

DROIT ET POLITIQUE

Vers une nouvelle génération de politiques industrielles vertes : défis et perspectives	48
Bruno Arcand	
Prévenir la maladaptation dans l'action climatique : une lunette « équité »	54
Geneviève Grenier, Marie Lapointe et Marie-Hélène Senay	
Référentiel de compétences pour les corps professionnels de l'environnement bâti et de l'aménagement du territoire	60
Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques (OQACC)	
Gouvernance de la décarbonisation des grands événements	66
Diana Carolina Chia	

LES JEUNES POUSSÉS

Lâche ton cell ! Recherche-création sur notre usage du téléphone intelligent	72
Il pleut, il fait beau temps, c'est la fête aux paysans Quelles conditions pour l'agriculture au Québec en 2050 ?	73
L'épicerie ferme à quelle heure ? Effets du réchauffement sur la disponibilité d'insectes pour les oiseaux en Arctique	74
Une surconsommation qui nous consume Freins et leviers à l'adoption de modes de consommation et de production soutenables	75
Le soleil brille pour tout le monde Développer l'énergie solaire dans les zones urbaines de l'Afrique subsaharienne	73
Ce n'est pas la mer qui fait les vagues, c'est le vent Analyse de l'implantation des éoliennes en mer	74
Jamais trop tard pour apprendre Organisation et apports des écoles vertes	75

DOSSIER : LIMITES PLANÉTAIRES

Les limites planétaires : garder la Terre dans des conditions viables pour les sociétés humaines Thierry Lefèvre	76
« Limites planétaires » : quels apports dans la lutte écologique ? Yves-Marie Abraham	82
Une recette pour un climat stabilisé : trois mesures pour recadrer le système agroalimentaire à l'intérieur des limites planétaires Renaud Gignac et François Delorme	86
L'Anthropocène : réalité géologique ou �v�nement planétaire ? Carolyne Houle et Fanie Pelletier	91
Les déchets : angle mort des limites planétaires Olivier Barsalou	97
Les avis d'experts pour améliorer notre compréhension des effets des changements climatiques à grande échelle dans le Grand Nord Émilie Saulnier-Talbot, Éliane Duchesne, Frédéric Bouchard et Joël B�ty	101

ENJEUX DE SOCIÉTÉ

Quel rôle pour les psychologues du travail et des organisations face à la crise climatique ? Anabel Cossette Civitella, Roxane Meilleur et Vassia Peytcheva Sigaut	105
Analyse des facteurs influençant l'adoption de comportements écoresponsables dans l'industrie de la construction : une revue systématique des leviers et obstacles Léo Sajas, Virginie Francoeur et Mario Bourgault	111
« J'ai juste besoin de parler » : les histoires de femmes sinistrées au cœur de la recherche sur les conséquences psychosociales des inondations Typhaine Leclerc, Lily Lessard et Johanne Saint-Charles	117
Résilience climatique et sociale dans l'est de la République démocratique du Congo : quel engagement des jeunes ruraux au Sud-Kivu ? Benjamin Aganze Marhegane	122
L'industrie touristique côtière de la MRC Rimouski-Neigette s'adapte-elle aux changements climatiques ? Josée Laflamme, Anne Fauré et Asmine Desirade	128

Introduction

LES LIMITES PLANÉTAIRES : ENJEUX, DÉFIS ET PERSPECTIVES POUR UN AVENIR DURABLE

Les grands mécanismes qui alimentent les changements climatiques, tout comme leurs conséquences globales effectives ou anticipées, sont aujourd'hui plutôt bien connus des décideurs et du grand public. La démocratisation des sciences environnementales et climatiques, l'attention médiatique et publique grandissante sur ces sujets, ainsi que la mobilisation de la société civile ont permis de mettre ce défi au cœur des préoccupations politiques et sociales actuelles.

En 2009, une équipe internationale de 26 chercheurs et chercheuses a proposé l'idée que les changements climatiques sont une composante au sein d'un ensemble de neuf barrières physicochimiques et biologiques à ne pas dépasser si l'humanité veut pouvoir se développer dans un écosystème sûr¹. Si le concept des « limites planétaires » (*planetary boundaries*, en version originale anglaise) a ensuite été affiné, lors de plusieurs mises à jour, par la même équipe de recherche, il a également été l'objet de critiques et de controverses au sein de la communauté scientifique.

Cela dit, le concept des limites planétaires est rarement discuté dans un cadre interdisciplinaire et n'a pas encore assez percolé en dehors des milieux universitaires pour permettre un débat public sain et éclairé à son sujet. Dans ce nouveau numéro du *Climatoscope*, un dossier spécial propose plusieurs articles pour faire connaître et comprendre ce concept polysémique (voir l'article de T. Lefèvre), les critiques qui peuvent lui être formulées (voir l'article de Y.-M. Abraham), ainsi que des solutions pour permettre d'agir au sein de ces limites (voir l'article de R. Gignac et F. Delorme). Comprendre, contextualiser, proposer : au *Climatoscope*, ce sont trois verbes que nous souhaitons toujours conjuguer afin que la connaissance du plus grand nombre permette l'action et non la résignation.

UN NUMÉRO MARQUÉ PAR LA CULTURE ET LA CONTEMPORANÉITÉ

« Il sera ici question de science, ce qui n'exclut pas la poésie », écrivait Hubert Reeves en 2011 dans son livre

L'Univers expliqué à mes petits-enfants. Pour rappeler qu'arts et sciences sont un mariage fécond, nous avons invité une artiste à prendre l'espace de l'éditorial pour nous présenter en mots sensibles sa perception des limites planétaires. Il s'agit également d'une façon pour Le *Climatoscope* de souligner l'apport exceptionnel qu'a eu Hubert Reeves quant à la vulgarisation des enjeux environnementaux dans l'ensemble de la francophonie, sans jamais oublier d'y introduire une pointe de rêve et d'évasion.

Alors que les Jeux olympiques d'été viennent de se terminer à Paris, on interroge dans les pages de ce numéro les possibilités d'une gouvernance mondiale pour la durabilité et la décarbonation des grands événements planétaires (voir l'article de D. Chia). On rappelle que le pouvoir politique contribue à organiser notre monde social et possède des leviers effectifs dans la lutte et l'adaptation aux changements climatiques (article de B. Arcand), tout en mettant en exergue la nature fondamentalement inéquitable de la situation socio-environnementale qui touche particulièrement les populations dont les niveaux de vie et d'émission de gaz à effet de serre sont parmi les plus faibles sur la planète (article de B. Aganze Marhegane). On soutient également que le monde du travail, par son organisation (voir l'article A. Cossette Civitella) et sa réglementation (article de L. Sajas et al.), est également un acteur puissant de transformation sociale.

« Une question fondamentale se pose d'une façon de plus en plus pressante : la crise planétaire contemporaine prendra-t-elle fin grâce à l'action déterminée des Terriens ou par leur disparition ? » (Hubert Reeves, *Mal de Terre*, 2003.) Ayant conscience que les crises constituent également des terrains fertiles d'opportunités, nous souhaitons que ce nouveau numéro du *Climatoscope* contribue à sa mesure à la résilience mondiale et à un avenir durable.

L'équipe du *Climatoscope*

1. Rockström et al. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2): 32.



Credit photo : Chuttersnap / Unsplash

Éditorial

À PROPOS DES LIMITES

Léa Ilardo
Poète et militante

« Les machines qui nous apportent l'abondance nous laissent néanmoins insatisfaits. Notre savoir nous a rendus cyniques, notre intelligence inhumains. Nous pensons beaucoup trop et ne ressentons pas assez. Étant trop mécanisés, nous manquons d'humanité. Étant trop cultivés, nous manquons de tendresse et de gentillesse. Sans ces qualités, la vie n'est plus que violence et tout est perdu. [...] Vous n'êtes pas des machines ! Vous n'êtes pas des esclaves ! Vous êtes des hommes, des hommes avec tout l'amour du monde dans le cœur. »

– Charlie Chaplin, discours final du dictateur¹

Introduction au monde d'après

Bienvenue dans le monde d'après
Où la question qui nous habite
Se décline à l'infini
Comment rend-on la vie habitable
À force d'avoir cessé d'habiter les nôtres ?

Bienvenue dans le monde d'après
Où il semblerait que nous ayons dépassé
Six des neuf limites planétaires

Ériger notre liste de fin du monde

- Changements climatiques
- Intégrité de la biodiversité
- Cycle de l'azote et du phosphore
- Trou dans la couche d'ozone
- Acidification des océans
- Cycle de l'eau douce
- Transformation des territoires
- Charge en aérosols dans l'atmosphère
- Pollution chimique

Aïe.

Le monde d'après
Le nôtre
Se pense en fonction de sa propre fin

Il faut parvenir à
Garder la Terre

C'est quoi, la recette, donc ?

La Terre n'y peut rien
Les limites sont franchies
Franchissables
Par un noyau d'affranchis
Qui dicte sa cadence

Il faut parvenir à
Garder la Terre

Notre définition de la réussite impose
D'accéder à l'inaccessible
Franchir l'infranchissable
Marquer notre présence en tous lieux,
même encore inconnus
Nos besoins ne seront jamais rassasiés
Nous dépassons les limites
Toujours
Au détriment de ce(ux) qui compte(nt)
Vraiment

Après combien de plans d'eau offerts
à l'industrie minière ?
Après combien de degrés de
réchauffement supplémentaires ?
Après combien d'espèces éteintes ?

1, 2, 3

Ce que l'on nomme progrès
Nous rend sourds et aveugles

4, 5, 6

J'ai beau hurler
Es-tu
Sidérée
Blessé
Révoltée
Que ressens-tu ?

Rien ?

Pendant que l'on regarde ailleurs
C'est la beauté qui meurt
Nos maisons, les pieds dans l'eau,
l'inondation de trop, les albums photos
Nos arbres centenaires, les besoins
de l'industrie, des usines de batteries

7, 8, 9

Quand comprendras-tu
Qu'à ce jeu-là
On ne gagnera pas ?

Nous ne sommes rien
Et tout en même temps

Nous savons tant
Et si peu à la fois

Nous dépassons les limites
Sans vraiment les connaître

Nous devons guérir
D'un cancer inconnu

Nous devons courir
À notre rencontre

Nous devons, nous devons, nous devons

Le pompage de ressources comme raison d'être
Sommes-nous venus au monde pour l'asservir ?

Nous grugeons nos territoires de sérénité
Notre besoin de consolation est immense
Bientôt le fleuve n'aura plus assez de bras
pour nous cueillir
À quoi rêverons-nous lorsqu'auront disparu
les nuées d'étourneaux ?

**Tu penses qu'ils vont parvenir à nous faire
perdre la Terre ?**

On m'a dit un jour
L'histoire n'est jamais écrite à l'avance
Il restera toujours
Des peuples qui se soulèvent
Des fleurs qui percent le béton
Et le fleuve portant en lui notre soif de justice

Poser nos limites

Écoute
Quelque chose bout en toi
Ressens
Les racines d'autres possibles
se déploient sous nos pieds
Dis-leur
Qu'ils ont dépassé les limites
Lève-toi
C'est à nous d'écrire
Une autre suite du monde

1. The Charles Chaplin Film Corporation. (1997). The great dictator. [New York, N.Y.] :[Jewish Media Fund],



Crédit photo : Steve Jurvetson, CC BY 2.0, FlickrR

Perspectives

TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES ET LIMITES PLANÉTAIRES, (IN)COMPATIBILITÉ ?

Martin Deron

Responsable du Défi numérique
Chemins de transition
Université de Montréal

Les mots que nous utilisons pour décrire le numérique influencent notre perception de ce dernier. Les expressions « dans le nuage » ou « dématérialisation » renforcent cette idée selon laquelle les activités numériques demandent moins de ressources et entraînent moins de pollution. Or, l'univers numérique dépend d'une couche matérielle qui passe souvent inaperçue : la production et l'utilisation d'équipements informatiques reposent sur une infrastructure mondiale gourmande en ressources et très polluante. Le secteur du numérique représente environ 3 à 5 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES), et celles-ci connaissent une croissance annuelle importante [Deron et McDonald, 2022]. Compte tenu de ses nombreuses promesses pour l'avenir, mais également de son empreinte écologique croissante, on peut se demander si la numérisation continue de nos sociétés est compatible avec les objectifs de soutenabilité à long terme et le respect des limites planétaires. L'objectif de cet article est d'offrir une meilleure compréhension des liens complexes entre les technologies numériques et la transition socioécologique¹.

1. Cette expression renvoie aux efforts visant « à passer d'une situation contemporaine marquée par des trajectoires insoutenables à un état des sociétés caractérisé par la soutenabilité et l'équité, vis-à-vis des générations présentes et futures » (Renouard et coll., 2020).

Pour y arriver, nous commençons par examiner le rôle joué par les technologies numériques pour la transition. Nous évaluons ensuite leur propre empreinte écologique. À partir des tendances de croissance observées, nous soutenons la nécessité d'un changement de paradigme afin d'atteindre les objectifs de soutenabilité. Finalement, nous présentons trois piliers pour rediriger la numérisation vers un cadre de soutenabilité à long terme.

La numérisation va-t-elle de pair avec la transition socioécologique ?

Selon un rapport commandé par Alphabet, l'intelligence artificielle (IA) pourrait contribuer à réduire les émissions de GES mondiales de 5 % à 10 % d'ici 2030 (Dannouni et al., 2023). Cette affirmation s'ajoute aux nombreuses voix issues des secteurs public et privé ainsi que de la recherche, qui décrivent principalement une utilisation bénéfique des technologies numériques pour la transition socioécologique. Plusieurs exemples de ces utilisations sont présentés ci-après.

En premier lieu, les technologies de collecte d'information (comme les capteurs, les traceurs, etc.) permettent un suivi plus précis et continu des écosystèmes, des espèces ou encore du climat. Grâce à ces innovations, il est possible de surveiller en temps réel l'intégrité des milieux humides, les migrations animales et même l'évolution de populations d'insectes, difficiles à mesurer manuellement. Ces technologies servent également à mieux protéger les espèces et les écosystèmes en détectant les activités de déforestation illégale ainsi que le braconnage dans des zones sensibles. Par ailleurs, ces outils alimentent des modèles statistiques sophistiqués et automatisés, qui sont en mesure de produire des prévisions à partir de grandes quantités de données et qui peuvent s'avérer utiles pour la planification. Il est alors possible de mieux anticiper, entre autres, les récoltes agricoles ou encore la fréquence d'événements climatiques extrêmes tels que les inondations ou les sécheresses. (Rolnick et al., 2022).

Une autre grande catégorie d'usage consiste à optimiser les ressources grâce à différentes stratégies : en cartographiant les flux et en adoptant une gestion automatisée, les équipes de déploiement peuvent par exemple optimiser les parcours et réduire les ressources nécessaires ou les pertes associées. On retrouve ces technologies dans la plupart des secteurs industriels, allant de la gestion des réseaux électriques au nettoyage des routes (Blouin, Audy et Lamghari, 2022).

UNE EMPREINTE MATÉRIELLE COLOSSALE

Bien qu'il y ait de nombreux usages numériques pertinents pour la transition socioécologique, il est important de pouvoir prendre un pas de recul avant de conclure que la numérisation va nécessairement de pair avec des modes vies plus soutenables. Derrière nos usages numériques se trouvent en réalité des dizaines de milliards d'appareils (téléphones intelligents, ordinateurs, téléviseurs et autres objets connectés), des millions de serveurs, mais aussi de nombreuses infrastructures de réseaux (antennes, boîtiers, câbles, etc.). Tous ces équipements représentent une couche matérielle impressionnante : en 2019, la masse totale du numérique était estimée à 223 millions de tonnes, soit l'équivalent de 179 millions de voitures (Bordage, 2019). Et cette estimation ne représente que le poids final des équipements ; elle ne tient pas compte de l'ensemble des ressources qui ont dû être mobilisées pour les fabriquer.

LA FABRICATION

La fabrication des appareils représente une grande partie de l'empreinte environnementale du numérique. Par exemple, 80 % de l'empreinte carbone d'un téléphone intelligent serait associée à sa fabrication (ADEME, 2019). En effet, la production nécessite l'extraction et la transformation d'une cinquantaine de métaux différents, ainsi que de grandes quantités d'eau et d'énergie.

Les appareils numériques sont des produits à forte intensité matière : en moyenne, il faut mobiliser 50 à 400 fois leur poids en matière pour produire des appareils à forte composante électronique. La fabrication d'un ordinateur de 2 kg aura ainsi nécessité 800 kg de matières premières (ADEME, 2019).

L'UTILISATION

L'utilisation des appareils numériques représente une demande énergétique pour faire fonctionner les réseaux, les centres informatiques et recharger les équipements. Jusqu'à présent, les progrès techniques permettaient en grande partie d'absorber la croissance de la demande énergétique. Cependant, la consommation électrique des centres de données pourrait doubler d'ici 2026, portée notamment par l'essor de l'IA (Agence internationale de l'énergie, 2024).

LA FIN DE VIE

Enfin, nous générons de grands volumes de déchets numériques, dont la majorité prend le chemin des lieux d'enfouissement ou est envoyée à l'étranger, pour terminer dans des décharges à ciel ouvert, entraînant

des conséquences nocives pour la santé humaine tout comme celle des écosystèmes. Malheureusement, cette dernière étape du cycle de vie souffre d'une grande opacité et de l'absence d'un suivi rigoureux et se trouve donc probablement sous-estimée (Deron et McDonald, 2022).

DES TRAJECTOIRES INSOUTENABLES

Au-delà de ses conséquences actuelles, ce sont surtout ses trajectoires de croissance qui rendent la numérisation effrénée incompatible avec les objectifs de soutenabilité sur le long terme. Selon l'organisme The Shift Project, les émissions de GES du numérique seraient en hausse de 6 % annuellement, à l'échelle mondiale. Cette dynamique particulièrement rapide rend encore plus difficiles les objectifs de décarbonation du secteur et fait en sorte que les optimisations permises par celui-ci ne sont pas en mesure de compenser le développement incessant de ses infrastructures, parcs et flux (The Shift Project, 2023).

Par ailleurs, les besoins croissants en ressources non renouvelables qui accompagnent la numérisation remettent en question la pérennité même de son développement futur. En effet, même en faisant le choix de s'appuyer fortement sur les technologies numériques pour réduire les conséquences de nos activités, il faut garder à l'esprit que les nombreux équipements nécessaires pour les soutenir font du numérique une ressource limitée. De fait, pour fonctionner, le secteur dépend de ressources non renouvelables et son approvisionnement à long terme sera contraint par la disponibilité décroissante de celles-ci. Cela signifie que plus nous misons sur la numérisation, plus nous nous exposons à la vulnérabilité des chaînes d'approvisionnement qui la soutiennent.

Rendre le numérique compatible avec un cadre de soutenabilité à long terme ne consiste donc pas à accélérer d'autant plus les leviers d'optimisation déjà déployés, mais à le rediriger vers des trajectoires fondamentalement différentes.

Une vision d'un numérique plus soutenable

Dans le cadre du projet Chemins de transition de l'Université de Montréal, environ 140 personnes aux profils et intérêts variés se sont prêtées au jeu d'explorer ensemble le futur de la société québécoise à l'intersection entre les technologies numériques et la transition socioécologique. Plongées dans différents futurs possibles, elles ont été invitées à identifier les éléments clés d'un futur souhaitable pour faire converger numérisation et soutenabilité.

Ces réflexions ont été synthétisées au sein d'une vision pour 2040, articulée autour de trois acquis, fruits du chemin de transition que nous pourrions avoir parcouru d'ici là. Mis en synergie, ces acquis forment le socle d'une société profondément différente présentée à la Figure 1.

LA SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE

La sobriété numérique prône une redirection de la trajectoire actuelle de numérisation effrénée pour l'aligner avec les objectifs de soutenabilité. Elle implique une réduction substantielle du nombre d'appareils numériques produits chaque année, couplée à un allongement important de leur durée d'utilisation. Suivant cette approche, plutôt que le renouvellement prématuré, les pratiques de réemploi, de réparation et de reconditionnement devraient être systématiquement privilégiées. Loin de nécessairement dégrader nos expériences, cela pourrait au contraire favoriser l'émergence de nouveaux savoir-faire ainsi que de pratiques de mutualisation et de partage plus conviviales. En plus d'une évolution dans les pratiques et les coutumes, la sobriété numérique implique également des changements profonds dans la conception des appareils, les modèles économiques et l'accès aux structures de réparation.

Sur le plan logiciel, elle promeut le développement de services plus légers en vue de réduire leur empreinte environnementale et d'accroître leur accessibilité depuis des appareils plus anciens. Cette démarche implique une réévaluation de l'approche habituelle de conception numérique, privilégiant cette fois des fonctionnalités essentielles tout en minimisant les contenus lourds et les fonctionnalités superflues. De la même manière que pour les appareils, des services numériques sobres pourraient ouvrir la voie à d'autres formes de créativité, réorientées vers des fonctionnalités pertinentes et esthétiques compatibles avec des ressources limitées plutôt que la multiplication de fonctionnalités peu ou jamais utilisées.

DES USAGES NUMÉRIQUES PRIORISÉS COLLECTIVEMENT ET PARTAGÉS ÉQUITABLEMENT

La réduction de l'empreinte environnementale du numérique est indispensable, mais insuffisante à elle seule. Les dynamiques actuelles de numérisation sont caractérisées par une accumulation perpétuelle d'appareils et de temps passé en ligne, entretenue par des mécanismes addictifs ainsi qu'une logique de rentabilité à court terme et de domination des marchés dictées par de grandes entreprises étrangères (Deron et McDonald, 2022). Pour faire advenir un univers numérique plus soutenable, il semble essentiel de rompre

En 2040, la société québécoise est enfin parvenue à faire converger sa transition numérique et écologique. Son remarquable succès repose sur trois acquis :

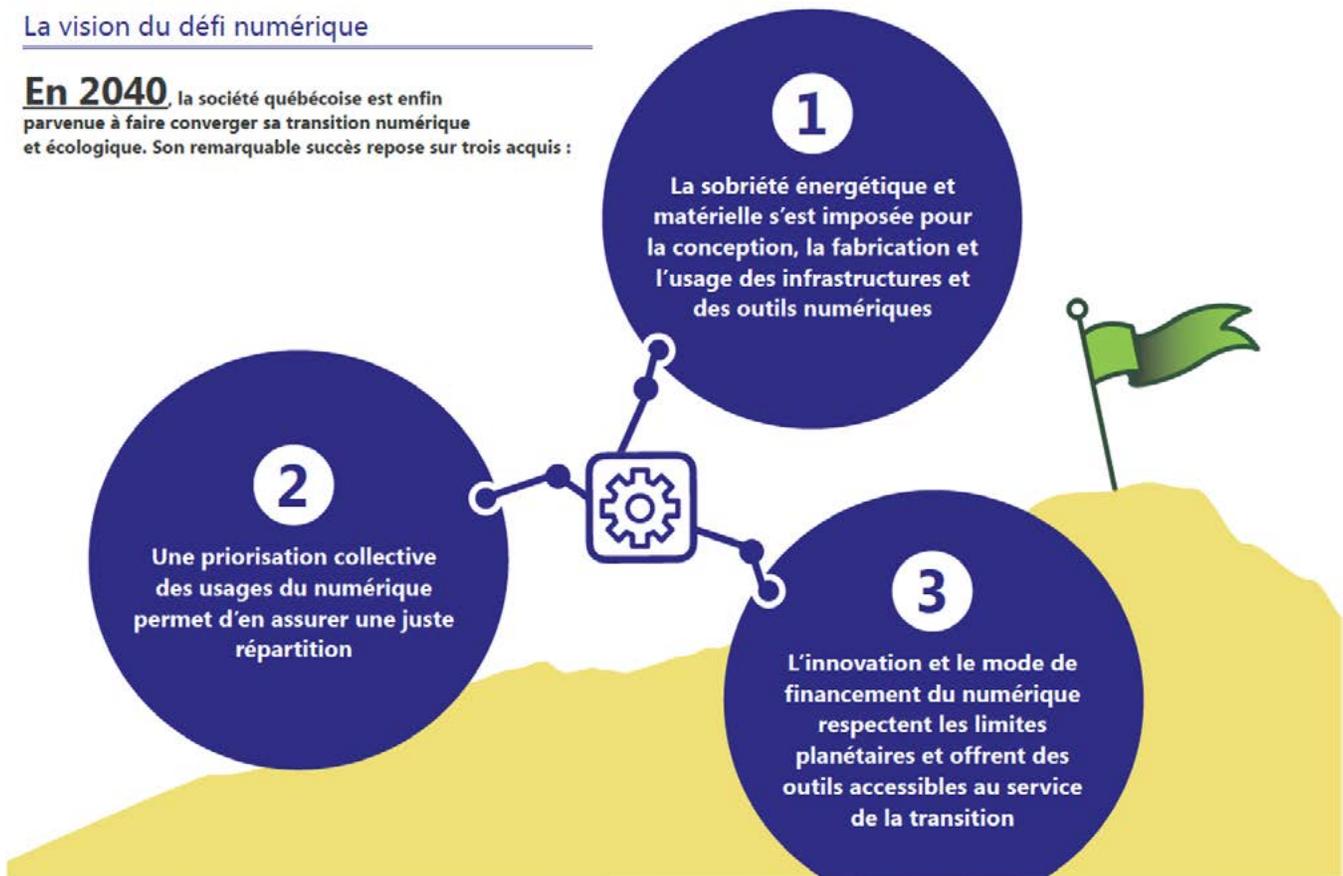


Figure 1. La vision du défi numérique (tiré de Deron et McDonald, 2022)

avec ces trajectoires. Autrement dit, un univers numérique plus respectueux des limites planétaires devrait également être plus collaboratif, inclusif, orienté par les besoins, porté par des parties prenantes locales et surtout, priorisé collectivement.

Considérant la nature critique et non renouvelable des technologies numériques, ainsi que les risques liés à leur approvisionnement et les inégalités d'accès déjà observées, ce deuxième pilier a pour objectif d'orienter le développement numérique là où il peut avoir un réel effet positif. Ce faisant, il vise à mettre en place des mécanismes favorisant une gestion démocratique de la place du numérique dans nos sociétés. En effet, bien que l'accès au numérique de l'ensemble de la population semble en partie devoir passer par une hausse de la connectivité à court terme, il est crucial d'anticiper les limites d'approvisionnement pour penser sa répartition équitable, évitant ainsi le risque d'observer des logiques de distribution non démocratiques, dictées uniquement par les forces du marché. Cette réflexion collective devrait en ce sens réfléchir aux usages numériques considérés essentiels, auxquels il faudrait garantir l'accès équitable pour toutes et tous, et aux usages pour lesquels un renoncement partiel ou total devrait être imaginé dans un cadre de viabilité à long terme.

Cette approche « techno-sobre » ou « techno-discernée » dépeint ainsi un rapport plus réfléchi vis-à-vis de l'intégration ou non du numérique. Elle propose de repenser les usages numériques en fonction des besoins réels et exprimés, garantissant un accès équitable. Parallèlement, en se détachant des dynamiques d'ajouts systématiques, des discussions collectives pourraient aboutir à la décision de ne pas numériser certains usages, voire à envisager la dénumérisation d'autres usages. Plutôt que de prendre des décisions arbitraires décontextualisées, il semble primordial de cartographier et de comprendre les liens d'attachement existants envers ces technologies, qui peuvent grandement varier selon les contextes, afin de les réorienter vers des structures et dispositifs plus viables.

UN SYSTÈME D'INNOVATION BALISÉ PAR LA SOUTENABILITÉ ET DE NOUVEAUX MODÈLES DE FINANCEMENT

Le troisième acquis de la vision réside dans un réalignement du système d'innovation et des modèles économiques sous-jacents. En amont, il propose la mise en place d'un cadre pour l'innovation numérique,

exigeant que les parties prenantes concernées intègrent les limites planétaires dans le développement de leurs projets, pour assurer leur cohérence avec les sociétés dans lesquelles ceux-ci visent à s'intégrer. Ainsi, l'ensemble de l'écosystème, des structures de financement aux équipes de recherche et développement, en passant par les entités publiques et privées chargées de l'implémentation, adopterait et ferait respecter des critères pour sélectionner les projets cohérents avec les objectifs de soutenabilité, tout en abandonnant les autres.

Ce changement de paradigme implique également l'adoption de nouvelles formes de valorisation de l'innovation, basées sur le maintien ou la fermeture, dépassant ainsi le simple modèle d'addition. Pour cela, il suppose une culture renforcée de l'anticipation des retombées positives et des effets négatifs potentiels, abandonnant ainsi le paradigme de neutralité des outils pour davantage de responsabilités en amont, puis tout le long du processus de développement.

Finalement, les modèles économiques du numérique devront eux aussi se transformer pour devenir compatibles avec les limites planétaires. Plutôt que d'entretenir des logiques d'accumulation perpétuelle, d'objets et de données collectées, des technologies soutenables devront s'adosser à de nouveaux modèles de financement dont la pérennité peut être assurée de façon viable. Service public, partenariats publics-communs ou encore solutions décentralisées de type « Fediverse » sont autant d'exemples qui méritent d'être explorés pour concevoir un écosystème numérique soutenable et pérenne.

Conclusion

La numérisation de nos sociétés, en forte accélération, s'accompagne de conséquences environnementales majeures. Même s'il existe de nombreuses utilisations pertinentes des technologies, la croissance de l'empreinte environnementale de l'univers numérique est en phase de devenir un enjeu social, politique et organisationnel majeur à l'ère de la transition socioécologique. Les trajectoires actuelles d'accélération de la numérisation s'inscrivent à contresens des objectifs de soutenabilité, qui militeraient, eux, pour une réduction des émissions de GES et de la pression sur les ressources et les écosystèmes. Pour pouvoir profiter des usages numériques pertinents pour les nombreux défis de demain, il semble crucial de rediriger radicalement la manière dont les technologies numériques sont développées et intégrées à nos sociétés. Cet article propose trois piliers sur lesquels une telle redirection pourrait être réfléchie. Nous pensons que la sobriété numérique, la priorisation collective des usages et le

balisage du système d'innovation par la soutenabilité sont des repères utiles pour penser un tel changement.

RÉFÉRENCES

ADEME (2019). *La face cachée du numérique. Réduire les impacts du numérique sur l'environnement.*

Agence internationale de l'énergie (2024). *Electricity 2024.*

Blouin, F., Audy, J. F. et Lamghari, A. (2022). Circular economy in winter road maintenance: a simulation study. *Sustainability*, 14(23), 15635.

Bordage, F. (2019). *Empreinte environnementale du numérique mondial.* Repéré à GreenIT.fr

Dannouni, A., Deutscher, A. S., Dezzaz, G., Elman, A., Gawel, A., Hanna, M., Hyland, A., Kharij, A., ... et Texier, M. (2023). *Accelerating Climate Action with AI.* Boston Consulting Group (11/23).

Deron, M. et McDonald, M. (2022). Comment faire converger la transition numérique et la transition écologique au Québec dans un horizon de 20 ans ? *Chemins de transition.*

Renouard, C., Beau, R., Goupil, C. et Koenig, C. (2020). *Manuel de la Grande Transition : Former pour transformer.*

Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K. ... et Bengio, Y. (2022). Tackling climate change with machine learning. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 55(2), p. 1-96.

The Shift Project (2023). Note d'analyse – Planifier la décarbonation du numérique en France : cahier des charges. Mai 2023.





Crédit photo : NYS DEC, CC BY-NC-ND 2.0, Flickr, TER

Perspectives

PROTÉGER NOS FORÊTS, PROTÉGER NOS COMMUNAUTÉS : S'ADAPTER AUX FEUX DE FORÊT DANS UN CLIMAT CHANGEANT

Marie-Emmanuelle Bossé*

Spécialiste en transfert de connaissances
et formations
Ouranos

Yves Bergeron

Professeur émérite à l'Institut de recherche
sur les forêts (IRF)
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
Département des sciences biologiques
Université du Québec à Montréal

L'année 2023 a été marquée par une saison record de feux de forêt, qui ont laissé des cicatrices profondes sur le territoire canadien. D'un océan à l'autre, plus de 6 600 incendies de végétation ont affecté les vastes forêts du pays, brûlant de 15 à 20 millions d'hectares de terres boisées sur leur passage. Le Québec n'a pas été épargné par cette saison exceptionnelle, pendant laquelle 713 incendies ont brûlé plus de 4,3 millions d'hectares de forêt (Centre interservices des feux de forêt du Canada, 2024).

Les changements climatiques ont amplifié l'ampleur de cette saison historique. Une étude de la World Weather Attribution (2023) souligne que la sévérité de la saison des feux de forêt au Québec, de mai à juillet 2023, a été 50 % plus intense à cause des changements climatiques provoqués par l'activité humaine. De plus, selon cette même étude, les saisons d'une telle gravité sont au moins sept fois plus susceptibles de se produire dans un climat en changement (World Weather Attribution, 2023). Cette saison extraordinaire illustre l'importance d'agir pour protéger nos forêts et pour atténuer les risques pour nos communautés et nos infrastructures.

* Les auteurs remercient M. Simon Massé, coordonnateur à l'atténuation des risques à la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU) pour sa précieuse collaboration à cet article.

Le phénomène naturel des feux de forêt, mais...

Les feux de forêt sont cruciaux dans le maintien de l'équilibre écologique des forêts boréales canadiennes. Ces forêts, connues pour leur grande capacité à s'adapter aux incendies de végétation, cohabitent avec le feu depuis toujours (Bergeron et Charron, 1995).

En effet, le feu est un allié pour la régénération des forêts, car il enclenche l'ouverture des cônes de nombreuses espèces, comme le pin gris ou l'épinette noire. Ces cônes, revêtus de cires, renferment des graines qui, sous l'influence de la chaleur intense du feu, se libèrent, facilitant ainsi la dissémination des semences dans la forêt (Bergeron et Charron, 1995). Le passage du feu favorise également la décomposition des matières organiques, ce qui stimule la croissance de la végétation. Après un incendie, la forêt peut ainsi se régénérer rapidement dans un nouvel espace dégagé et lumineux (Bergeron et Charron, 1995). Toutefois, les changements climatiques compliquent cette dynamique. Un retour trop rapide du feu peut entraver ce processus en brûlant les jeunes arbres avant qu'ils ne produisent des graines ou, lorsque le feu est trop sévère, en brûlant les cônes dans les arbres matures. En raison du changement climatique, les saisons d'incendies risquent de devenir plus longues, plus intenses et plus imprévisibles, mettant en péril le processus de régénération naturelle des écosystèmes forestiers qui vivent normalement en harmonie avec le feu (Boulanger et al., 2024). Par ailleurs, au cours du dernier siècle, l'exploitation forestière a rajeuni les forêts, ce qui, conjugué aux effets des changements climatiques, les rend encore plus vulnérables aux incendies.

Outre les conséquences sur les écosystèmes forestiers, les feux de forêt peuvent menacer la sécurité des populations, nécessitant parfois des évacuations, en particulier pour les communautés isolées et les Premières Nations. Les incendies peuvent également nuire à la santé des populations, notamment en dégradant la qualité de l'air sur des distances pouvant atteindre des centaines, voire des milliers de kilomètres. Les feux de forêt peuvent aussi mettre en danger des secteurs résidentiels, des installations industrielles ainsi que des infrastructures essentielles de transport, d'énergie et de télécommunication. Enfin, cet aléa peut entraîner une interruption de certaines activités forestières ou touristiques dans les zones touchées, perturbant du même coup l'économie québécoise et canadienne (Boulanger et al., 2024).

Face à l'augmentation projetée de l'activité des feux en raison des changements climatiques ainsi qu'à la récente saison d'incendies de forêt dont le Québec et le Canada ont été le théâtre, une réflexion s'impose quant aux

mesures concrètes qui peuvent être mises en œuvre pour renforcer la résilience des écosystèmes, des populations et de l'économie. Dans cette optique, nous présentons les travaux de divers acteurs, publiés dans des articles scientifiques récents (2023-2024) ou provenant de sources gouvernementales (gouvernement du Québec) et d'instances opérationnelles de lutte contre les feux de forêt sur le territoire (SOPFEU). Les sujets abordés se concentrent sur les solutions visant à adapter le paysage forestier québécois et canadien, ainsi que sur les moyens de rendre l'industrie forestière, les communautés et les infrastructures québécoises plus résilientes.

Des acteurs engagés dans l'aménagement du territoire forestier

L'aménagement forestier est un outil précieux pour limiter les conséquences de l'intensification des incendies de végétation sur les services écologiques et socioéconomiques que nous offre la forêt (Boulanger et al., 2024).

Pour renforcer la résilience et la résistance de nos paysages forestiers face aux incendies, plusieurs stratégies peuvent être envisagées. Parmi elles, la réduction du taux de récolte du bois, qui implique de réduire la quantité de bois disponible aux usines de transformation, notamment dans les forêts boréales exposées à un risque élevé d'incendie. Une diminution du taux de coupe permettrait de conserver davantage de forêts matures, favorisant la régénération naturelle et réduisant leur vulnérabilité à long terme (Jetté et al., 2024). De plus, le fait de conserver une plus grande quantité d'arbres matures permet de réduire les zones vulnérables aux échecs de régénération et de préserver un stock de bois plus important. En cas d'incendie, ce surplus agirait comme une réserve de précaution, limitant ainsi les pénuries de bois (Jetté et al., 2024).

D'autres mesures comprennent le maintien d'arbres semenciers matures dans les coupes et la plantation d'espèces plus résistantes aux feux, comme le pin gris (Jetté et al., 2024). Le maintien d'un nombre suffisant d'arbres semenciers matures pourrait suffire pour restaurer un niveau de régénération faible à modéré, évitant ainsi les coûts élevés de plantations post-incendie, qui sont évalués à 5 000 \$ à 8 000 \$ par hectare (estimations de 2023) (Perrault et al., 2017 ; Boulanger et al., 2024).

Enfin, l'intégration accrue des feuillus, tels que le tremble, le bouleau et l'érable rouge, réputés comme étant moins inflammables que les conifères, pourrait également être une avenue à envisager (Boulanger et al., 2024).

Des simulations suggèrent qu'une plantation manuelle ou le fait de favoriser la régénération naturelle d'espèces feuillues après un incendie ou une coupe pourraient réduire considérablement l'intensité des feux liés au climat, tout en atténuant les pertes d'approvisionnement en bois jusqu'à 50 % (Boulanger et al., 2024). Il faut toutefois rester prudent et tenir compte de l'importance de la biodiversité. Une modification soudaine des forêts dominées par les conifères par un habitat constitué principalement de feuillus pourrait nuire à la persistance de certaines espèces dans ces paysages modifiés. Ainsi, bien qu'il soit difficile et non souhaitable de modifier l'ensemble de la composition des forêts canadiennes, il est réaliste de mettre en œuvre de telles pratiques près des zones habitées et des infrastructures essentielles, grâce à nos connaissances actuelles (Jetté et al., 2024).

Une industrie forestière plus résiliente

L'adaptation de l'industrie forestière, telle que nous la connaissons, est également nécessaire pour faire face à l'amplification des incendies et renforcer la résilience du secteur. Cela implique un changement de paradigme, avec une production et une utilisation moins intensive de bois de conifères, vers une utilisation accrue d'essences de feuillus, comme le tremble et le bouleau blanc ainsi que de peuplements mieux adaptés au feu, comme le pin gris. Il serait aussi possible d'anticiper les changements climatiques en plantant des espèces de la forêt tempérée, comme le chêne ou l'érable. Des plantations tests de ces espèces de feuillus pourraient être faites en bordure de la forêt boréale, là où les conditions locales sont suffisamment favorables. Ce virage, s'il est bien appliqué, pourrait assurer une meilleure durabilité du secteur forestier (Jetté et al., 2024).

La planification de l'aménagement forestier doit également tenir compte des changements climatiques projetés et de leurs répercussions potentielles sur le secteur, en privilégiant des mesures préventives. Cela nécessite le renforcement des compétences et des capacités au sein des communautés, particulièrement pour les populations dont l'économie repose sur l'industrie forestière.

Conjuguées aux actions préventives, des actions réactives devront également être planifiées, comme diminuer le coût de plantation des arbres pour éviter que de vastes étendues forestières soient occupées par des échecs de régénération. L'innovation jouera un rôle clé dans ce processus, et des mesures incitatives doivent être mises en place pour la stimuler (Boulanger et al., 2024). Dans cette perspective, le gouvernement du Québec prévoit investir près de 405 millions de dollars sur cinq ans afin d'appuyer les communautés et le secteur

forestier en réponse aux feux de forêt de 2023 (Finances Québec, 2023). Cela dit, les coûts estimés pour reboiser les zones brûlées lors des feux records de 2023 sont beaucoup plus élevés. Au rythme des fonds prévus à l'heure actuelle par le gouvernement provincial, il faudrait près de 100 ans pour pallier les problèmes de régénération rencontrés (Jetté et al., 2024).

Renforcer les capacités opérationnelles de lutte contre les incendies

Malgré les solutions proposées, l'accroissement projeté des incendies de forêt dans le contexte des changements climatiques pose un défi considérable pour la protection des communautés et des infrastructures résidentielles, municipales, de transport, d'énergie et de télécommunication. Ainsi, il est nécessaire de rehausser les capacités opérationnelles pour lutter contre les feux, une mission confiée à la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU), au Québec. Cette dernière détient actuellement la capacité de lutter contre 30 incendies simultanément, ou un seul feu de plus de 1000 ha, ce qui est faible au regard des feux de l'année dernière et dans le contexte d'un climat changeant.

Après la saison des incendies de 2023, le gouvernement du Québec s'est engagé à investir plusieurs millions de dollars, dont 29 millions sur cinq ans, pour accroître la capacité de la SOPFEU (Finances Québec, 2023 ; Finances Québec, 2024). Les investissements annoncés couvriront aussi l'acquisition de nouveaux équipements, la formation de pompiers supplémentaires, ainsi que la diffusion des bonnes pratiques en matière de prévention et d'atténuation des risques pour les collectivités et les infrastructures en concordance avec les principes « Intelli-feu » (Finances Québec, 2023 ; Finances Québec, 2024).

Atténuer les risques pour les collectivités et les infrastructures

Le gouvernement du Québec prévoit également investir 31,5 millions de dollars supplémentaires pour financer des travaux d'appréciation et d'atténuation des risques associés aux feux de forêt dans les municipalités (Finances Québec, 2023). Dans ce cadre, plusieurs municipalités exposées au risque d'incendie, comme La Tuque et Sept-Îles, envisagent d'implanter des démarches d'atténuation

des risques, en collaboration avec le ministère de la Sécurité publique (MSP) et la SOPFEU, pour limiter les conséquences des incendies de forêt sur leur territoire. Mais qu'est-ce que cela signifie concrètement ?

La SOPFEU a déployé une série d'outils inspirés des programmes Intelli-feu (FireSmart) au Canada, Firewise aux États-Unis, ainsi que des directives du *Guide sur les incendies en milieu périurbain* du Conseil national de recherches du Canada (SOPFEU, 2024). Ces outils offrent un éventail de conseils pratiques pour la construction et l'entretien des bâtiments. Ils visent à éduquer et à sensibiliser les propriétaires aux bonnes pratiques permettant de réduire les risques d'incendie dans la zone d'inflammabilité résidentielle, soit un rayon de 30 mètres autour des bâtiments. Ces conseils reposent sur de nombreuses études scientifiques qui ont démontré que les actions visant précisément à réduire l'inflammabilité des infrastructures et le maintien d'une zone exempte de tout combustible dans l'environnement immédiat du bâtiment sont celles ayant la plus grande portée par rapport à la réduction du risque (SOPFEU, 2024).

Les mesures permettant d'atténuer les risques comprennent les pratiques de contrôle, d'aménagement et d'entretien de la végétation, de même que l'utilisation de matériaux résistants au feu pour les habitations et leurs structures attenantes. Bien appliquées, ces mesures permettent de limiter la propagation des flammes et d'accroître la résistance des bâtiments, assurant ainsi une sécurité accrue de leurs occupants (Bénichou et al., 2021).

À l'échelle des collectivités, la SOPFEU fournit un soutien au personnel d'intervention local dans le processus d'évaluation des risques afin d'identifier les infra-



structures et les secteurs les plus exposés aux incendies de végétation. L'application de mesures d'atténuation des risques, entre autres axées sur la gestion du combustible, a pour objectif de minimiser les dommages potentiels sur ces infrastructures advenant le passage du feu près de la communauté. De plus, une préparation adéquate des services d'urgence en cas de feux de forêt permet de réduire, à plus ou moins long terme, les conséquences d'un tel événement sur la communauté, comme les traumatismes liés aux évacuations ou les pertes économiques. Le rehaussement des capacités d'intervention locales passe notamment par la formation du personnel et par une planification municipale efficiente en situation d'urgence, intégrant des procédures d'évacuation et des sites d'accueil pour les personnes sinistrées (Bénichou et al., 2021).

Ces efforts combinés, de la part de la communauté citoyenne et des municipalités, peuvent contribuer à améliorer la sécurité de la population et à limiter les conséquences des feux de forêt sur les infrastructures résidentielles et municipales. Il est toutefois important de noter que ces mesures d'adaptation doivent prendre en compte la diversité des réalités du terrain : être adaptées à toutes les échelles, du bâtiment à la communauté ; intégrer les différentes réalités socio-économiques et de l'utilisation du territoire.

Une responsabilité commune



À la suite de la saison extraordinaire des feux de forêt en 2023, divers acteurs ont accéléré leur réflexion à travers différentes initiatives pour renforcer la résilience de nos forêts, de nos collectivités et de nos infrastructures.

En investissant dans des stratégies d'aménagement forestier, en repensant l'industrie forestière, en renforçant nos capacités de réponses aux incendies et en donnant les moyens concrets aux communautés et aux municipalités pour atténuer les risques de feux de forêt, nous pouvons forger un avenir où nous pourrions apprendre à mieux vivre avec les incendies de végétation et limiter les conséquences sur nos sociétés. En unissant nos efforts et en nous adaptant, nous pouvons protéger nos communautés et assurer la résilience de nos écosystèmes forestiers.

RÉFÉRENCES

Bergeron, Y. et Charron, D. (s.d.). *Le feu, cet indissociable ami de la forêt boréale*. Quatre-Temps. 19 : 24-26.

Bénichou, N., Adelzadeh, M., Singh, J., Gomaa, I., Elsagan, N., Kinateder, M., Ma, C., Gaur, A., Bwalya, A. et Sultan, M. (2021). *Guide national sur les incendies en milieu périurbain*. Conseil national de recherches du Canada : Ottawa (Ont.). 208 p.

Boulanger, Y. et al. (2024). The 2023 wildfire season in Québec: an overview of extreme conditions, impacts, lessons learned and considerations for the future. *BioRxiv.02.20.581257*. doi: <https://doi.org/10.1101/2024.02.20.581257>

Canadian Interagency Forest Fire Centre (CIFFC) (2024). *Canada Report: 2023 Fire season*. Repéré à https://www.ciffc.ca/sites/default/files/2024-03/CIFFC_2023CanadaReport_FINAL.pdf

Finances Québec (2024). *Budget 2024-2025*. Repéré à https://www.finances.gouv.qc.ca/Budget_et_mise_a_jour/budget/documents/Budget2425_PlanBudgetaire.pdf

Finances Québec (2023). *Point sur la situation économique et financière du Québec - Automne 2023*. Repéré à https://www.finances.gouv.qc.ca/Budget_et_mise_a_jour/maj/documents/AUTFR_lepointNov2023.pdf#page=70

Jetté, J-P., Leduc, A., Gauthier, S. et Bergeron, Y. (2024). Adaptation de l'aménagement forestier face aux incendies forestiers – Quelques options à explorer pour la forêt boréale. *Forestry Chronicle* (soumis).

Perrault-Hebert, M., Boucher, Y., Fournier, R., Girard, F., Auger, I., Thiffault, N. et Grenon, F. (2017). Ecological drivers of post-fire regeneration in a recently managed boreal forest landscape of eastern Canada. *Forest Ecology and Management*, 399:74 - 81.

Société de protection des forêts contre le feu (2024). Protéger son habitation. Repéré à <https://sopfeu.qc.ca/protoger-son-habitation/>

World Weather Attribution (2023). Climate change more than doubled the likelihood of extreme fire weather conditions in Eastern Canada. Repéré à <https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-more-than-doubled-the-likelihood-of-extreme-fire-weather-conditions-in-eastern-canada/#:~:text=Climate%20change%20more%20than%20doubled,burned%20nearly%2014%20million%20hectares.>



Crédit photo : Rob Swystun_CC BY 2.0_FlickrR



Perspectives

DES ARCHIVES HISTORIQUES POUR DOCUMENTER LE CLIMAT DU PASSÉ

Marie-Michèle Ouellet-Bernier

Stagiaire post-doctorale
Département de géographie
et Centre d'études nordiques
Université Laval

Najat Bhiry

Professeure
Département de géographie
et Centre d'études nordiques
Université Laval

Laura Brassard

Étudiante à la maîtrise
Département de géographie
et Centre d'études nordiques
Université Laval

Augmentation des températures, diminution du couvert de glace et de neige, amplification d'événements climatiques exceptionnels : les changements climatiques ont entraîné de nombreuses perturbations tant sur les environnements physiques que dans les sociétés humaines, et ce, au cours des dernières décennies seulement. Au-delà de la variabilité interannuelle du climat, c'est la perspective sur une longue période qui permet de mesurer les changements en définissant une période de référence dite « pré-industrielle » ou « pré-anthropique ». Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) s'appuie sur la période de référence de 1850 à 1900 afin de démontrer l'ampleur des changements climatiques actuels. Dans des régions subarctiques telles que le Nunavik (nord du Québec) et le Nunatsiavut (région autonome des Inuit du Labrador), les données climatiques compilées par Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC) ne couvrent pas l'ensemble du 20^e siècle, et elles sont très souvent discontinues jusqu'au début des années 1980, voire 1990. Par exemple, les plus anciennes données mensuelles de température ne sont disponibles qu'à partir de 1921 à la station de Cape Hopes Advance (près de Quaqtaq, au Nunavik) et à partir de 1927 à la station de Nain (Terre-Neuve-et-Labrador).

Sachant que les régions arctiques et subarctiques sont particulièrement touchées par la hausse des températures et l'ensemble des conséquences qui en découlent (p. ex., la diminution du couvert de glace, les conséquences sur la chasse et la pêche, la perte de repères culturels) (Royer, 2019), il s'avère important de s'intéresser aux conditions climatiques du passé. Les archives historiques présentent des données fiables, locales et à une fine résolution : journalière, mensuelle ou annuelle. Elles permettent de retracer l'évolution du climat moyen (température, vent, précipitations, glace de mer), en plus de rapporter des informations sur des événements (climatiques) exceptionnels (effets des éruptions volcaniques, feux de forêt) (Pfister et al., 2018), ou même de se renseigner sur les modes dominants de circulation atmosphérique, comme l'oscillation nord-atlantique (ONA). La mise en commun des données historiques de l'est du Nunavik et du Nunatsiavut a permis de brosser un portrait de la variabilité régionale de la région de 1800 à 1950.

Climatologie historique

La climatologie historique utilise les archives historiques (écrites ou orales) afin de reconstituer le climat. En s'appuyant sur des journaux de voyage, des récits de vie ou des rapports d'expédition, il est possible de tirer à la fois des informations quantitatives et qualitatives. Les premières informations regroupent les mesures de la température, la vitesse et la direction des vents ou les dates d'englacement et de déglacement. Les secondes sont plutôt des perceptions qualitatives basées sur les commentaires et observations de l'environnement. Une revue de littérature a permis de sélectionner les écrits de personnes ayant séjourné ou vécu dans les régions à l'étude et faisant référence au climat ou à la nature (p. ex., glace, neige, floraison). Plusieurs archives personnelles, comme des récits de vie ou des comptes-rendus d'expédition, ont été analysées. Néanmoins, les archives institutionnelles, comme celles de la Compagnie de la Baie d'Hudson, demeurent le discours dominant pour cette région.

Changements du climat

TEMPÉRATURE DE L'AIR

Les mesures instrumentales sont faiblement représentées dans les archives historiques. Elles demandent des instruments de mesure fiables et un suivi quotidien des températures. Néanmoins, des données sont disponibles

sur de courtes périodes et permettent de mettre en perspective la hausse actuelle des températures. À Nain, les données de la première Année polaire internationale et de celles d'ECCC (2024) offrent une perspective sur l'évolution des températures. En hiver, les moyennes de température ont augmenté de ~3,4 °C, et en été de près de 1,5 °C, de 1911 à 2024. Cette augmentation graduelle au cours du dernier siècle semble toutefois s'accélérer à partir des années 1990 (tableau 1).

BANQUISE CÔTIÈRE

La durée du couvert de glace correspond au nombre de jours entre les dates d'englacement et de déglacement. En combinant les informations provenant de plusieurs archives historiques, il est possible d'obtenir des données sur une plus longue période. À Kangiqsujuaq, les données historiques (1880-1950) rapportent près de 221 jours d'englacement (Ouellet-Bernier et al., 2024). Les observations récentes montrent une importante diminution de cette période, passant à ~204 jours de 1991 à 2020 (SCG, 2021). Au Nunatsiavut, la durée moyenne d'englacement était de ~195 jours de 1790 à 1910 (Ouellet-Bernier et de Vernal, 2020) et d'environ 168 jours de 1991 à 2020 (SCG, 2021) ; une diminution de près de quatre semaines (figure 1 d-e et figure 2).

Nain	Été	Hiver	Période	Source
1881-1910	8,0 °C	-19,1 °C	24-29 ans	API
1911-1939	9,1 °C	-17,9 °C	10-16 ans	API
1931-1960	8,8 °C	-17,1 °C	13-18 ans	ECCC
1941-1970	8,3 °C	-16,4 °C	7-11 ans	ECCC
1951-1980	8,5 °C	-15,3 °C	7-9 ans	ECCC
1961-1990	8,9 °C	-16,4 °C	11-13 ans	ECCC
1971-2000	9,0 °C	-16,5 °C	21 ans	ECCC
1981-2010	9,2 °C	-15,6 °C	27 ans	ECCC
1991-2020	9,3 °C	-15,3 °C	30 ans	ECCC
2005-2024	9,4 °C	-14,5 °C	17-18 ans	ECCC

Tableau 1. Évolution des normales climatiques (°C) à Nain (Nunatsiavut). Moyennes estivales calculées à partir des moyennes journalières des mois de juin, de juillet et d'août ; moyennes hivernales calculées à partir des moyennes journalières des mois de décembre, de janvier et de février. La période présente la couverture des données pour un maximum de 30 ans. ECCC = Environnement et Changement Climatique Canada, API = Année polaire internationale.

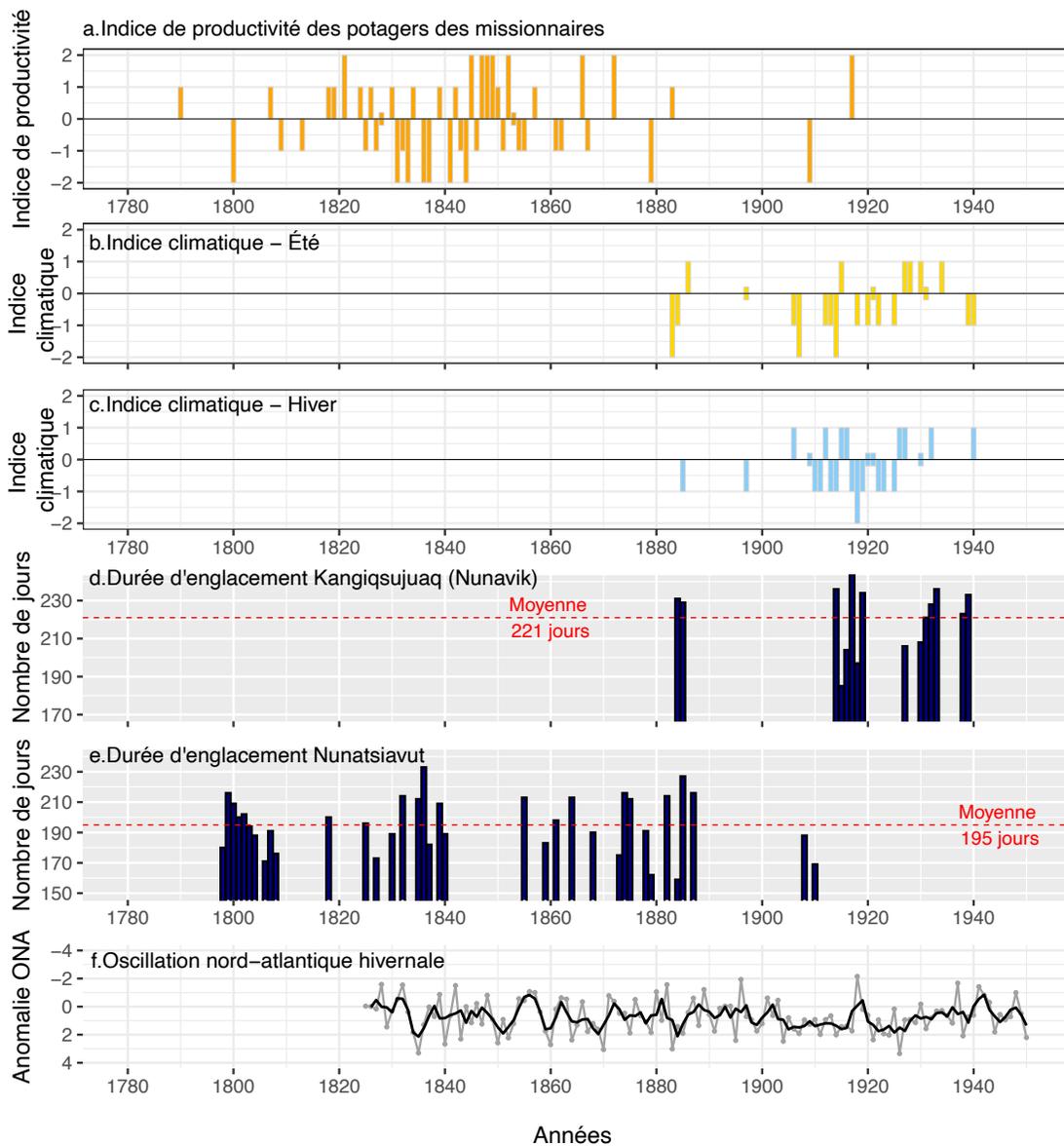


Figure 1. Compilation des indicateurs climatiques et oscillation nord-atlantique. a. Indice de productivité des potagers des missionnaires moraves établis au Nunatsiavut (2 = très bon, 1 = bon, 0 = moyen, -1 = faible et -2 = désastreux). b.-c. Indice climatique du détroit d'Hudson en été et en hiver (2 = exceptionnellement bonnes conditions climatiques, 1 = bonnes conditions climatiques, 0 = normale, -1 = mauvaises conditions climatiques, -2 = exceptionnellement mauvaises conditions climatiques). d.-e. Durée d'englacement à Kangiqsujuaq et au Nunatsiavut. Le trait rouge pointillé montre la moyenne de la durée d'englacement pour la période de données disponibles. f. Indice d'anomalie de l'oscillation nord-atlantique en hiver (moyenne de décembre à mars ; ligne grise). La ligne noire montre une moyenne mobile sur trois ans (Jones et al., 1997).

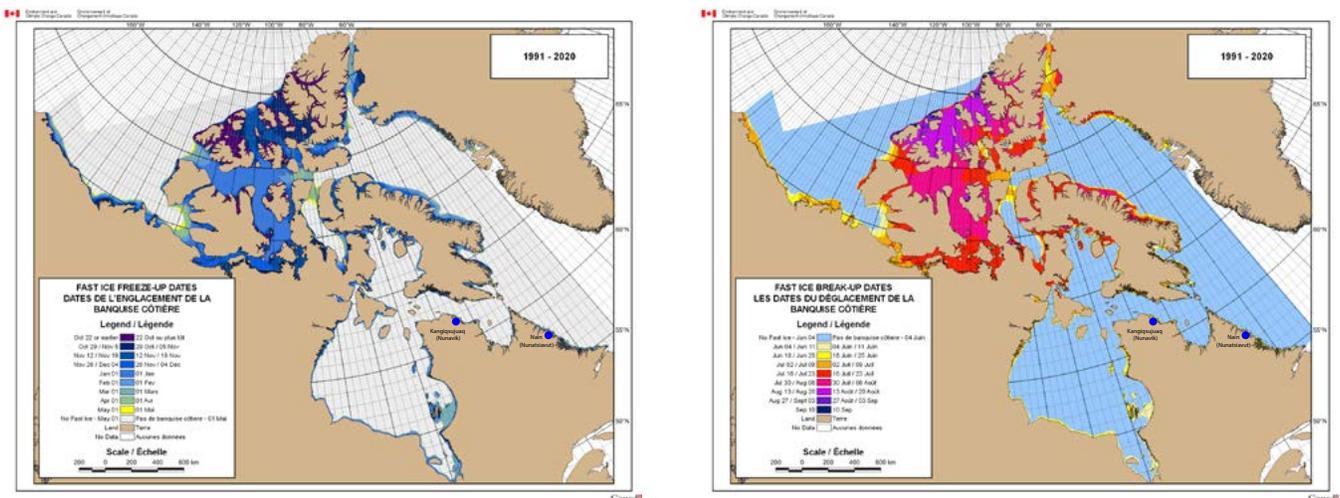


Figure 2. Date de l'englacement (a) et du déglacement (b) de la banquise côtière, 1991-2020. Les villages de Kangiqsujuaq (Nunavik) et Nain (Nunatsiavut) sont désignés par un point bleu. Source : Service canadien des glaces, 2021.

Événements (climatiques) exceptionnels

Comme il peut être difficile de retracer l'état moyen du climat, il est intéressant de s'attarder aux événements climatiques exceptionnels décrits dans les archives historiques. Les années exceptionnellement froides ou caractérisées par une présence de glace marquée suscitent un vif intérêt en raison de leurs implications directes pour la population humaine. Des conditions exceptionnelles froides ont été rapportées en 1816, en 1864 et en 1885 sur la côte du Labrador, de même que dans le détroit d'Hudson de 1883 à 1884 et de 1910 à 1920.

Les conditions froides et de glaces exceptionnelles survenues en 1816 et en 1883 peuvent être associées aux éruptions volcaniques en Indonésie du Tambora (1815) et du Krakatoa (1883), menant à des baisses de température dans l'hémisphère nord. En effet, lors de ces éruptions, des particules soufrées sont poussées jusqu'à la stratosphère, où elles viennent se disperser dans l'hémisphère nord et retomber après un an, voire deux. En reflétant une partie du rayonnement solaire, les particules entraînent un court et léger refroidissement (Stoffel et al., 2015). Au Nunatsiavut, l'année

Quelques extraits sur les événements (climatiques) exceptionnels (traduction libre de l'anglais)

- **Détroit d'Hudson** : « Cette année et l'année dernière ont été des années exceptionnelles quant à la quantité de glace présente dans le détroit d'Hudson » — Expédition du détroit d'Hudson (Gordon, A.R. (1884). Report of the Hudson's Bay expedition, under the command of Lieut. A.R. Gordon. Department of Marine and Fisheries, Canada.).
- **Nain** : « Au milieu du mois de juillet, une fumée foncée et vaporeuse, et quelque chose comme des cendres ont envahi l'atmosphère » — [Juillet 1921] Missionnaires moraves (*Periodical Accounts (1790-1961)*). Periodical accounts relating to the missions of the Church of the United Brethren established among the heathen, 169 vol. Brethren's Society for the Furtherance of the Gospel.).

1816 est la seule année où le bateau de ravitaillement des missionnaires moraves n'a pu rejoindre le village d'Hopedale, en raison des glaces qui ont tardé à se déloger. De 1883 à 1885, les données de température montrent en effet une différence marquée avec la période actuelle (2 à 5 °C), et ce, probablement en raison du refroidissement à la suite de l'éruption du Krakatoa. D'autres événements exceptionnels peuvent aussi être extraits des archives historiques, tels que les feux de forêt ou les avalanches.

Variabilité régionale

Dans le nord-est canadien, l'oscillation nord-atlantique est le mode de circulation atmosphérique ayant la plus grande influence à l'échelle régionale. L'indice de l'ONA désigne la différence de pression entre l'Islande et les Açores. Lorsqu'elle est en phase positive, la différence de pression est plus grande et les conditions climatiques sont généralement plus froides sur la côte est de l'Amérique du Nord (d'où l'axe inversé en figure 1f) (Hurrell, 1995). La phase positive s'accompagne généralement de vents forts alors qu'au cours de la phase négative, des vents plus chauds du sud et de l'est remontent jusqu'au Nunatsiavut et au Nunavik.

Aux données sur la durée du couvert de glace de mer discutées précédemment vient s'ajouter un indice de productivité des potagers telle que rapportée par les missionnaires moraves du Nunatsiavut. De plus, des indices climatiques – été et hiver – élaborés à partir des perceptions climatiques extraites des archives historiques du détroit d'Hudson (Ouellet-Bernier et al., 2023) permettent de présenter des périodes généralement plus chaudes (valeur positive) ou généralement plus froides (valeur négative) (figure 1 b-c). Une phase positive de l'ONA, de 1830 à 1840, s'exprime par un couvert de glace plus long que la moyenne et une productivité maraîchère jugée désastreuse par les missionnaires. De 1880 à 1890, une présence de glace persistante à la fois au Nunatsiavut et à Kangiqsujuaq ainsi que des indices climatiques négatifs s'inscrivent également dans une phase positive de l'ONA. Au cours des phases à tendance négative, on peut observer des périodes d'englacement plus courtes et un rendement accru dans les potagers. C'est le cas en 1850-1860 et en 1870-1880. De 1915 à 1920, de plus courtes périodes d'englacement accompagnent l'ONA négative. Cependant, les indices climatiques rapportent une perception négative du climat (figure 1 b-c). En fait, la phase négative de l'ONA peut aussi entraîner davantage de précipitations, de tempêtes ou de blizzards, ce qui influence négativement la perception du climat.

Quelques extraits sur le climat (traduction libre de l'anglais)

- **Nain** : « L'hiver dernier, la météo a été remarquablement douce; mais il y a eu beaucoup d'averses de neige et de neige fondante » — [Hiver 1806-Été 1807] Missionnaires moraves (Periodical accounts, 1807 – voir référence complète encadré 1).
- **Détroit d'Hudson** : « Chaque année, la glace se forme environ au milieu du mois de novembre, et au cours des sept dernières années, elle s'est brisée à plus ou moins une journée du 26 juin » — [Saison de glace 1883-1884] Expédition du détroit d'Hudson (Gordon, 1884 – voir référence complète encadré 1).

Discussion autour du climat

Les archives historiques montrent une augmentation des températures de 1,5 à 3 °C au cours des 100 à 140 dernières années, entraînant une réduction de la durée du couvert de glace de 3 à 4 semaines sur les côtes du Nunatsiavut et du nord-est du Nunavik.

Cette perspective historique sur l'état, l'évolution ou les effets des changements observés permet d'alimenter les réflexions et discussions climatiques. Si la recherche présentée ici repose exclusivement sur les archives écrites, il est également possible de se rapporter aux archives orales, dans notre région et autour de nous, en engageant des discussions avec des personnes âgées. Ces discussions intergénérationnelles permettent d'échanger et de susciter l'engagement dans la collectivité. Dans les archives écrites ou les discours d'individus, la mémoire collective du climat se conserve et se partage, que ce soit dans un contexte de recherche ou de sensibilisation aux changements climatiques.

RÉFÉRENCES

Environnement et Changement Climatique Canada (2024). *Données climatiques historiques*. Repéré à https://climat.meteo.gc.ca/index_f.html

Hurrell, J.W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269 (5224), p. 676-679. <https://doi.org/10.1126/science.269.5224.676>

Jones, P.D., Jónsson, T. et Wheeler, D. (1997). Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland. *International Journal of Climatology*, 17(13), p. 1433-1450. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19971115\)17:13<1433::AID-JOC203>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19971115)17:13<1433::AID-JOC203>3.0.CO;2-P)

Ouellet-Bernier, M.-M., Bhiry, N. et Brassard, L. (2024). Land-fast ice freeze-up and break-up in the Hudson Strait (Canada) from 1880 to 1950: Determining the role of temperature and wind conditions. *Quaternary Science Reviews*, 334, 108704. <http://doi.org/10.1016/j.quascirev.2024.108704>

Ouellet-Bernier, M.M. et de Vernal, A. (2020). Winter freeze-up and summer break-up in Nunatsiavut, Canada, from 1770 to 1910. *Pages Magazine*, 28(2), p. 52-53. <http://doi.org/10.22498/pages.28.2.52>

Ouellet-Bernier, M.-M., de Vernal, A., Chartier, D. et Boucher, E. (2020). Historical perspectives on exceptional climatic years at the Labrador/Nunatsiavut coast 1780 to 1950. *Quaternary Research*, 101, p. 114-128. <https://doi.org/10.1017/qua.2020.103>

Pfister, C., Camenisch, C. et Dobrovolný, P. (2018). Analysis and interpretation: temperature and precipitation indices. Dans : White, S., Pfister, C., Mauelshagen, F. (éds) *The Palgrave Handbook of Climate History*. Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1057/978-1-137-43020-5_11

Royer, A. (2019). Alerte dans les hautes latitudes nord : l'Arctique réagit au réchauffement climatique. *Climatoscope*, 1, p. 27-30.

Service canadien des glaces (2021). *Normales climatiques des glaces sur 30 ans*. Environnement et Changement Climatique Canada. Repéré à <https://iceweb1.cis.ec.gc.ca/30Atlas/page1.xhtml?grp=Guest&lang=fr>

Stoffel, M., Khodri, M., Corona, C., Guillet, S., Poulain, V., Bekki, S., Guiot, J., Luckman, B.H., Oppenheimer, C., Lebas, N., Beniston, M. et Masson-Delmotte, V. (2015). Estimates of volcanic-induced cooling in the Northern Hemisphere over the past 1,500 years. *Nature Geosciences*, 8, p. 784-788. <http://doi.org/10.1038/ngeo2526>



Crédit photo : Frederick Wilkerson Waugh. Collection R.F. Waugh. Bibliothèque et Archives Canada, e011310537-005_s2_CC BY 2.0_Flickr



Crédit photo : Strange perception_CC-BY-ND 2.0; Flickr_TER

Perspectives

L'ÉTHIQUE SUR LE TERRAIN DE L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Anthony Voisard

Chargé de cours
Département des lettres et humanités
Université du Québec à Rimouski

Ivo Wallimann-Helmer

Professeur
Institut des sciences de l'environnement
et des humanités environnementales
Université de Fribourg

Règle générale, les éthiciens et éthiciennes du climat développent des arguments centrés sur la juste distribution des ressources atmosphériques et des droits d'émissions dans les structures politiques de l'atténuation des changements climatiques. En revanche, les dispositifs éthiques permettant de guider les choix difficiles des différentes parties prenantes locales confrontées aux défis de l'adaptation aux changements climatiques demeurent largement négligés à ce jour. Afin de remédier à cette lacune, cet article vise à examiner les enjeux éthiques et normatifs d'un terrain en particulier, soit la commune de Guttannen, en Suisse, déjà sévèrement vulnérabilisée par les répercussions des perturbations climatiques. Pour ce faire, deux modélisations d'éthique pratique seront mises à profit dans la présente analyse, soit l'éthique environnementale pragmatiste et le principalisme méthodologique (Voisard et Wallimann-Helmer, 2023). En nous inspirant de ces deux approches éthiques, nous souhaitons offrir des avenues pertinentes au développement d'outils d'analyse éthique capables d'informer et d'accompagner la gouvernance climatique locale.

Le cas de Guttannen, en Suisse

Guttannen est une commune suisse située près du col du Grimsel dans les Alpes bernoises¹. Cette commune, comprenant un village du même nom, se trouve dans l'arrondissement germanophone d'Interlaken-Oberhasli, l'un des dix arrondissements administratifs du canton de Berne. Selon les standards suisses, la commune occupe un vaste territoire, soit 200 km². En comparaison, la superficie totale de la commune de Guttannen dépasse celle du canton suisse d'Appenzell Rhodes-Intérieures ou équivaut à près au double de la superficie de Paris. Au fil des siècles, les habitants de la commune ont su s'adapter aux conditions souvent difficiles de la vie en haute montagne.

La région de Guttannen demeure toutefois peu peuplée et se compose principalement de rochers et de glaciers. Malgré une qualité de vie relativement élevée dans un cadre d'apparence bucolique, Guttannen est confrontée au phénomène d'exode rural, de même qu'au vieillissement de la population, comme plusieurs autres villages de montagne en Suisse. Le dépeuplement de cette commune d'environ 250 habitants et habitantes fait craindre en particulier la possibilité de la fermeture définitive de l'école primaire. À Guttannen, les habitants doivent composer avec les hivers rigoureux et les avalanches, qui représentent habituellement le principal danger dans cette région alpine. Ces conditions météorologiques difficiles peuvent provoquer la fermeture de la route cantonale, interdisant temporairement l'accès au village par voie terrestre durant la période hivernale. Au cours des dernières années, les coulées de boues et de débris provenant de la montagne locale ont suscité de grandes inquiétudes, tout particulièrement durant la période de 2009 à 2012, ainsi qu'une couverture médiatique abondante en Suisse.

Les changements climatiques accélèrent la fonte des glaciers locaux et provoquent le dégel du pergélisol, et la roche des hautes montagnes environnantes devient alors davantage friable pendant la saison estivale. Lors de précipitations, les rochers fragilisés, dont la taille peut atteindre celle de petits chalets, sont ainsi emportés vers le bas de la montagne. Ce phénomène déclenche d'importantes coulées de boue, de même que de graves inondations, modifiant le cours de la rivière locale, ce qui peut entraîner des dommages importants aux bâtiments résidentiels, à la route cantonale et aux infrastructures

1. Pour obtenir plus de renseignements sur le cas de Guttannen, veuillez consulter les travaux du réseau interdisciplinaire Knowledge for Climate.

énergétiques. Depuis la lave torrentielle de 2012, la situation paraît s'être calmée, et aucun autre événement climatique similaire d'une telle ampleur n'a touché la population locale.

Différentes possibilités d'adaptation climatique ont été évaluées ces dernières années, y compris l'option de la délocalisation d'une partie de la population située dans le hameau de Boden. Sur le plan des mesures prises jusqu'à présent en réponse aux changements survenus, un système d'alerte précoce et un système de surveillance ont été installés pour protéger les zones résidentielles et les infrastructures, et une résidence a dû être abandonnée et démolie. Lors du processus participatif d'élaboration de la stratégie régionale d'adaptation aux changements climatiques, il est toutefois apparu que, contrairement aux hypothèses initiales, les besoins régionaux d'adaptation aux changements climatiques ne concernaient pas uniquement la gestion des risques naturels.

Diverses mesures visant le développement régional ont également été mises en œuvre, comme la construction d'un stupa de glace, l'installation d'une mini-maison futuriste et autosuffisante au cœur du village, et la mise en place d'un audioguide thématique pour sensibiliser le grand public aux changements météorologiques et climatiques dans l'Oberland bernois. Ces initiatives visent à améliorer la qualité de vie, l'économie locale, la vie culturelle et l'attrait touristique de la commune. L'administration municipale espère ainsi attirer de nouveaux habitants et habitantes et freiner l'exode rural.

Vers une éthique climatique de terrain

Du point de vue pragmatiste, l'éthique joue un rôle fondamental dans les questions de politique climatique, qu'il soit question d'atténuation ou d'adaptation aux changements climatiques, car les considérations éthiques résident au cœur des processus décisionnels d'où émergent divers éléments appréciatifs et prescriptifs qui seront nécessairement à évaluer. Nous pouvons identifier au moins dix types de questionnement réflexif qui sont soulevés par les démarches localisées d'adaptation aux changements climatiques (Voisard, Létourneau et Thomas, 2021), et à partir de ceux-ci, discuter du cas de Guttannen en priorisant les dimensions éthiques les plus pertinentes. À notre avis, les champs de questionnement les plus pertinents dans ce cas-ci sont les suivants :

- 1) D'abord, la discussion éthique présuppose une prise en compte des *facteurs qui influencent l'action climatique*, comme les motivations et les valeurs des acteurs locaux. On peut noter, par exemple,

un fort attachement de la population au lieu où il demeure : Guttannen représente, dans la conscience collective, une terre natale « Heimat » (Guttannen bewegt, 2021), c'est-à-dire l'endroit où la population locale se sent tout à fait chez elle. De plus, la commune de Guttannen est dotée d'un paysage d'une grande valeur sur les plans écologique et esthétique, que les fermes locales, parmi d'autres, se sont efforcées de préserver avec soin jusqu'à aujourd'hui. Il s'agit de l'une des communes périphériques intégrées au patrimoine mondial de l'UNESCO dans la région des Alpes Jungfrau-Aletsch. Enfin, en prêtant attention aux discours de cette population de haute montagne, nous postulons que la tolérance aux risques liés aux dangers naturels se révèle relativement élevée : « C'est ce qui façonne un peu l'humain ici. Les dangers [...] Et vous ne pouvez pas les éviter, dans un certain sens. Vous devez vivre avec la nature et accepter ce qu'elle apporte. » (Guttannen bewegt, 2021, traduction libre)

- 2) Ensuite, à un deuxième niveau de questionnement, il s'agit de tenir compte des *opportunités d'accès aux ressources* pour la mise en place d'actions d'adaptation aux changements climatiques. Les ressources d'adaptation aux changements climatiques (humaines, technologiques, financières, etc.) ne sont évidemment pas réparties de la même façon sur tous les territoires, et nous pouvons considérer la commune de Guttannen comme étant assez bien privilégiée en ce sens. Cette commune peut, par exemple, compter sur l'appui d'un vaste réseau de collaborateurs et de collaboratrices, tant sur le plan local, régional que national, pour la mise en œuvre de sa stratégie d'adaptation aux changements climatiques.
- 3) Troisièmement, du point de vue de la *participation procédurale*, il faut aussi clarifier qui sera intégré au processus de prise de décision, et quel sera le poids décisionnel de chacune des parties prenantes à la planification d'adaptation aux changements climatiques. À Guttannen, l'engagement et la large participation des personnes concernées sur le plan régional ont joué un rôle crucial dans le succès de la planification d'adaptation aux changements climatiques. L'intégration des perspectives régionales et le recours à des spécialistes crédibles ont contribué à une plus grande acceptation sociale de la stratégie.
- 4) Quatrièmement, on devrait arriver normalement à établir des *priorités d'action* qui seront retenues par les personnes consultées à différentes étapes

de la planification d'adaptation aux changements climatiques. La stratégie du Grimsel prévoit un total de six mesures concrètes pour lesquelles des acteurs et actrices responsables sont désignés (Bender-Gäl et al., 2016) :

1. Mise en place d'un comité de pilotage de la stratégie d'adaptation aux changements climatiques pour la région du Grimsel ;
2. Réaffectation de biens vacants pour l'habitation à Guttannen et à Boden ;
3. Amélioration de la diffusion des connaissances sur les risques naturels ;
4. Préparation pour le développement de l'éventuel chemin de fer du Grimsel ;
5. Amélioration des communications événementielles dans le secteur du tourisme ;
6. Commercialisation du paysage et des processus dynamiques naturels.

En résumé, l'approche pragmatiste fournit un éclairage précieux, à la fois descriptif et interprétatif, sur les implications éthiques de l'adaptation aux changements climatiques. Cette méthode met en évidence la nécessité de considérer les valeurs locales, en offrant une compréhension profonde et nuancée des enjeux propres à chaque communauté. En prenant en compte les particularités culturelles et sociales, cette démarche aide à formuler des stratégies d'adaptation qui respectent et intègrent les préoccupations et priorités des populations locales, renforçant ainsi l'efficacité et l'acceptabilité des mesures mises en œuvre. Pour aller un peu plus loin dans notre analyse éthique, nous souhaitons maintenant mettre en évidence les recommandations normatives pouvant ressortir de cette étude de cas. Pour ce faire, une seconde approche de la prise de décision éthique, soit le principalisme méthodologique, peut être mise à profit.

Spécifier et pondérer les principes de la justice climatique

Pour analyser un cas d'une perspective normative, il faut d'abord identifier un champ de questionnement pertinent, pour ensuite formuler une question éthique précise. Nous proposons ici de nous concentrer sur le

quatrième champ de questionnement précédemment identifié, en formulant la question éthique ainsi : quelles sont les options les plus appropriées parmi les six mesures jugées prioritaires dans la stratégie du Grimsel ? Le principalisme nous permet de fournir des pistes de réponse à cette interrogation en parcourant deux étapes, soit en spécifiant et en pondérant les principes de la justice climatique. Les principes de la justice climatique sont étroitement liés à l'éthique, car ils concernent avant tout la répartition équitable des bénéfices et des fardeaux associés aux changements climatiques. Trois des principes les plus discutés en matière d'éthique climatique sont susceptibles de nous éclairer dans le cas de Guttannen : le principe du pollueur-payeur, le principe de la capacité contributive et le principe de la justice procédurale. La spécification des principes nécessite une interprétation de ceux-ci pour un contexte donné, en identifiant quelle partie prenante doit faire quoi, pour qui et comment. Voici un exemple de spécification dans le cas de Guttannen :

A) Principe du pollueur-payeur : la commune ne peut être accusée d'être responsable des risques accrus dus au changement climatique. Cela serait absurde parce que le changement climatique est causé, en grande partie, par les activités d'une variété d'êtres humains répartis sur plusieurs territoires et plusieurs générations, et non pas précisément par l'administration de cette petite commune des Alpes suisses. La municipalité de Guttannen est toutefois responsable de veiller à ce que les bâtiments

demeurent sécuritaires dans la démarche de réaffectation de biens vacants à des fins d'habitation dans le village de Guttannen et le hameau de Boden.

B) Principe de la capacité contributive : l'administration communale et les autres institutions publiques sont en mesure d'aider à la mise en œuvre de la stratégie d'adaptation aux changements climatiques, à la diffusion des connaissances sur les dangers naturels et à l'évaluation des risques climatiques. Leur rôle est essentiel pour garantir que les habitants et habitantes de Guttannen savent à quels dangers ils sont confrontés, ce qu'ils peuvent faire pour les éviter et pourquoi ces dangers surviennent.

C) Principe de la justice procédurale : la prise de décision et l'évaluation des risques doivent être effectuées par les parties prenantes régionales concernées par le dérèglement climatique et les différentes parties prenantes à la stratégie du Grimsel, y compris son comité de pilotage. Les acteurs régionaux ne restreignent pas leur champ d'action à la gestion des risques naturels. Ils adoptent une vision large de l'adaptation aux changements climatiques : celle-ci comprend le développement régional ainsi que la promotion de la vie culturelle et touristique de la communauté.

La méthodologie principaliste ne suggère pas une hiérarchisation fixe des principes de l'éthique climatique. Au contraire, on suppose que leur poids dans l'analyse éthique diffère d'un cas à l'autre. En effet, la pondération



des principes éthiques permet, dans une seconde étape, de clarifier le classement des principes dans un contexte particulier de gouvernance climatique. Cela peut signifier que même si deux contextes concernent l'adaptation climatique, les mêmes principes ne doivent pas nécessairement être utilisés pour trancher l'affaire et que ces principes, même s'ils sont identiques, peuvent conduire à des implications différentes s'ils sont spécifiés différemment dans des contextes donnés.

Dans le cas de Guttannen, le principe du pollueur-payeur nous semble avoir le moins de poids, car les habitants et habitantes contribuent certes aux changements climatiques, mais de manière si marginale que les considérations correspondantes n'ont guère de poids dans la délibération éthique. En revanche, la possibilité de hiérarchiser nettement l'importance du principe de la capacité contributive et le principe de la justice procédurale paraît moins claire, mais en raison de la nécessité d'agir, le principe de la capacité contributive occupe une place prépondérante dans notre analyse. Alors qu'il nous semble pertinent d'associer la population locale aux décisions lors de l'évaluation des risques accrus, leur expérience des dangers naturels environnants pourrait ne pas être suffisante pour estimer ce qui constitue un niveau de risques raisonnables pour les années à venir. L'avis de spécialistes informés demeure essentiel. En outre, l'administration régionale doit continuer de jouer un rôle important dans la diffusion des données et leur vulgarisation auprès de la population locale, tout comme elle doit continuer les efforts de mise

en œuvre de la stratégie d'adaptation aux changements climatiques. En même temps, le comité de pilotage de la stratégie pourrait déjà évaluer si de nouvelles mesures seraient pertinentes et nécessaires, et prévoir les mécanismes et les ressources pour les soutenir, dans le cas de l'atteinte des limites de l'adaptation et de pertes et préjudices climatiques dans la région.

En conclusion

Cet article a exploré l'application des perspectives pragmatiste et principaliste à l'éthique climatique, en montrant comment elles peuvent guider les décisions de gouvernance climatique locale. Grâce à l'exemple de Guttannen, nous avons illustré l'importance de considérer les niveaux descriptif, interprétatif et normatif pour offrir un cadre éthique complet et adaptatif. Notre analyse a mis en lumière la capacité de cette approche éthique à s'adapter aux spécificités locales tout en offrant des orientations claires pour l'articulation de décisions environnementales responsables. En conjuguant flexibilité et rigueur éthique, ce cadre permet de répondre aux défis climatiques avec une sensibilité accrue aux valeurs locales et aux exigences de justice environnementale. Les personnes qui prennent des décisions et les praticiens et praticiennes de l'adaptation aux changements climatiques sont encouragés à adopter des approches similaires pour assurer des interventions justes et inclusives. En outre, de futures recherches devraient explorer l'application de cette approche éthique dans divers contextes géographiques et culturels afin d'élargir notre compréhension des enjeux moraux concrets et propres à l'action climatique.

RÉFÉRENCES

Association « Guttannen bewegt » (2021). *Das Wetter und wir*. Repéré à <https://www.guttannen-bewegt.ch/themenpfade>

Bender-Gàl, R., Wyss, M., Schweizer, S. et Abplanalp, H. (2016). *Klimaadaptionsstrategie Grimselgebiet*. Oberingenieurkreis I und Regionalkonferenz Oberland-Ost. Repéré à : https://www.oberland-ost.ch/images/pdf/regionalentwicklung/klimaadaptionsstrategie_grimselgebiet_2016.pdf

Voisard, A., Létourneau, A. et Thomas, I. (2021). *Éthique et adaptation aux changements climatiques : un outil à l'usage des acteurs de terrain*. MRC Memphrémagog. Repéré à https://adaptationmemphre.ca/wp-content/uploads/2021/01/Fiche_E%CC%81thique-et-adaptation-aux-changements-climatiques_VF.pdf

Voisard, A. et Wallimann-Helmer, I. (2023). Towards a Practical Climate Ethics: Mapping Out Two Approaches to Guide Ethical Decision-Making in Concrete Climate Governance Contexts. *Ethics, Policy & Environment*. <https://doi.org/10.1080/21550085.2023.2236504>



LES SYSTÈMES AQUATIQUES EN MANQUE D'OXYGÈNE

Céline Guéguen

Professeure
Département de chimie
Université de Sherbrooke

Md. Muhyiminul Islam

Étudiant au doctorat
Département de génie civil et bâtiment
Université de Sherbrooke

Debra Hausladen

Professeure
Département de génie civil et bâtiment
Université de Sherbrooke

L'oxygène est crucial pour la plupart des organismes aquatiques et la santé des écosystèmes aquatiques. Les concentrations en oxygène dissous sont le reflet de la balance entre les processus qui le produisent (par ex., photosynthèse et dissolution) et qui le consomment (respiration et oxydation des composés réduits). Cet équilibre est influencé par de nombreux facteurs tels que la stratification thermique, la production de matière organique et l'enrichissement en nutriments d'origine anthropique qui entraînent la stimulation de la production primaire et l'eutrophisation. En effet, de faibles valeurs en oxygène indiquent une qualité de l'eau médiocre pour les eaux de surface. Cependant, pour les eaux souterraines, la qualité de l'eau a une relation plus complexe avec l'oxygène dissous, qui dépend en grande partie de la géologie de l'aquifère. Par conséquent, l'étude des variations spatiales et temporelles en oxygène dans les eaux de surface et souterraines permet d'en apprendre beaucoup sur la santé des milieux aquatiques.



Oxygène et hausse des températures

Les eaux plus chaudes ont une capacité réduite à dissoudre les gaz, y compris l’oxygène, par rapport aux eaux plus froides. En effet, à mesure que la température augmente, les molécules d’eau deviennent plus énergétiques et s’écartent, créant ainsi moins d’espace pour la dissolution des molécules de gaz. Par conséquent, la solubilité de l’oxygène dans l’eau diminue avec l’augmentation de la température, entraînant une baisse des concentrations d’oxygène dans les eaux qui se réchauffent.

Un plan d’eau est stratifié thermiquement si les températures sont différentes entre les eaux de surface et les eaux plus profondes. Dans le cas d’un lac stratifié, les activités photosynthétiques dans la couche de surface peuvent agir comme une source nette en oxygène, mais les processus de respiration consomment également de l’oxygène et provoquent donc la prolifération des algues nuisibles. C’est la balance entre la production d’oxygène et sa consommation qui déterminera le niveau en oxygène dans les eaux de surface. Dans le contexte des réchauffements climatiques, les conséquences de l’augmentation des températures sont multiples. Par exemple, cette dernière accélérera la respiration hétérotrophe au détriment de la production primaire, renforcera la stratification thermique, et perturbera la recharge en oxygène des eaux profondes. Cette stratification est appelée à se renforcer avec le réchauffement climatique. Il est en revanche difficile de prédire l’évolution à long terme des concentrations en oxygène (Jane et al., 2021). Des changements dans la fréquence et l’intensité des précipitations auront également un effet sur les interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines, ce qui exercera une influence sur les niveaux d’oxygène dissous dans les deux réservoirs.

Dans ce contexte, les scientifiques utilisent des bases de données dans lesquelles les mesures en oxygène dissous ont été compilées depuis des décennies, pour mieux comprendre les variations à long terme en oxygène et ses causes. Jane et al. (2021) ont notamment montré que la diminution de la concentration en oxygène dans les eaux de surface et en profondeur de 393 lacs, de 1941 à 2017 était associée à la réduction de la solubilité de l’oxygène dans des eaux plus chaudes et au renforcement de la stratification thermique dans les eaux profondes. Ces problèmes liés à la diminution en oxygène dissous dans les eaux profondes des lacs et des réservoirs ont été observés dès les années 1960-1970. Ces processus d’appauvrissement en oxygène ne sont pas restreints aux eaux continentales : les eaux côtières sont aussi touchées par ces phénomènes. Les estuaires et les régions côtières sont influencés par l’enrichissement en nutriments (azote et phosphore) provenant de l’utilisation des terres dans les bassins versants et des apports en eaux usées non traitées qui stimulent la production primaire et donc la consommation en oxygène. Cette réduction en oxygène dissous dans les eaux côtières a été observée dès le milieu du 20^e siècle (Keeling et al., 2020) et constitue un des plus importants changements environnementaux dans les écosystèmes marins.

Plus près de nous, les eaux de l’estuaire maritime du Saint-Laurent ne sont pas épargnées par cette réduction en oxygène. Jutras et al. (2023) ont montré que l’oxygène dissous dans les eaux profondes de l’estuaire du Saint-Laurent a chuté de 55 % de 1934 à 1985-2010. En plus de l’augmentation spatiale croissante de la superficie des eaux appauvries en oxygène, l’épaisseur de cette couche hypoxique (contenant peu d’oxygène ; figure 1) a augmenté depuis deux décennies. Cette diminution en oxygène dissous est très inquiétante, car la désoxygénation des eaux peut mener à l’hypoxie, voire à l’anoxie dans certains cas. Ces effets délétères se font ressentir sur tout l’écosystème, y compris les écosystèmes benthiques et les habitats des poissons (Devergne et al., 2022).

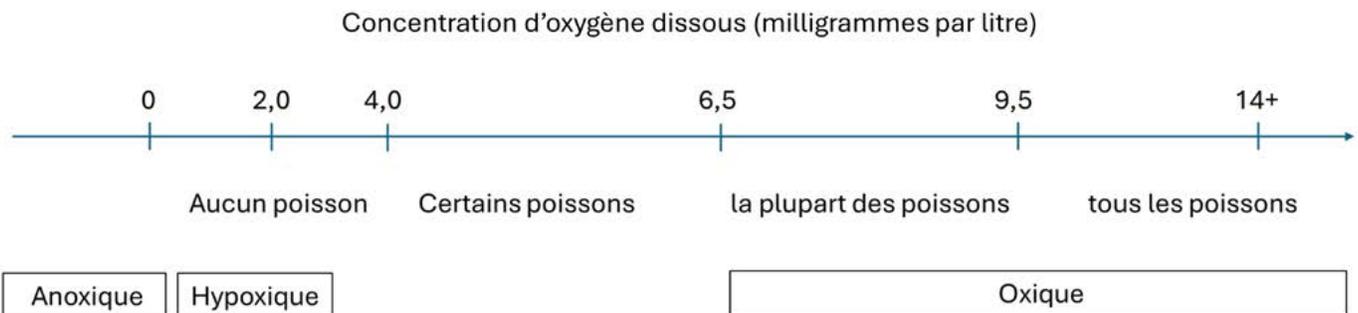


Figure 1. Concentration en oxygène dissous [milligrammes par litre, mg/L] dans les eaux oxiques, hypoxiques et anoxiques et les effets sur la vie des poissons. Les concentrations inférieures à 5,5 mg/L ont un effet négatif pour la plupart des poissons.

Périodes de précipitations intenses

Les concentrations en oxygène varient avec les saisons et sur un cycle journalier, avec un maximum durant le midi solaire quand la photosynthèse domine, et un minimum en fin de nuit associé aux processus de respiration qui prédominent la nuit. Ces variations naturelles peuvent être perturbées par des phénomènes météorologiques tels que des épisodes de précipitations intenses. Ces fortes pluies entraînent un lessivage important des sols et des sédiments dans le bassin versant. Les composés organiques et inorganiques ainsi mobilisés sont rapidement transportés vers les plans d'eau. Une fois dans le milieu aquatique, une partie de ces composés sera dégradée par les microbes qui, ce faisant, consomment l'oxygène dissous. Cette désoxygénation peut mener à l'hypoxie et même à l'anoxie dans certains cas. Une récente étude a montré que les populations de perches, de bars, de brèmes et de gardons dans le troisième plus grand lac au Danemark ont été réduites de 45 à 63 % en quelques jours à la suite d'un épisode d'épuisement de l'oxygène lié à de fortes pluies estivales (Kragh et al., 2020). Les événements pluvieux intenses peuvent aussi être bénéfiques pour l'oxygénation et la santé des plans d'eau. En effet, il a été montré que l'apport d'eaux de pluie plus froides peut affaiblir la stratification thermique jusqu'à entraîner un mélange des eaux profondes pauvres en oxygène avec les eaux de surface plus oxygénées. Les fortes précipitations sont difficiles à prévoir, mais

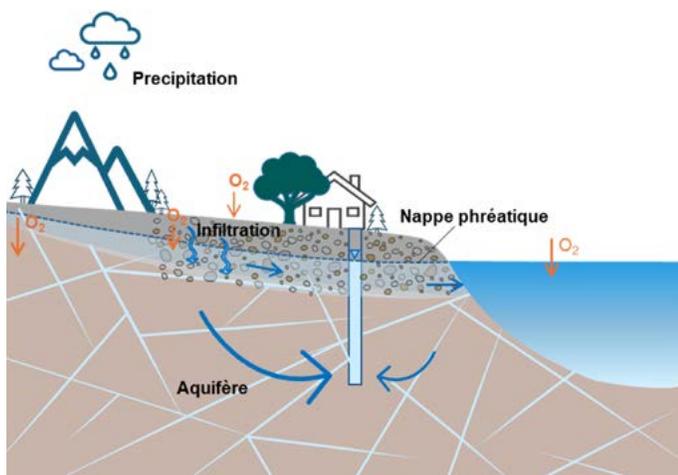
ce sont des phénomènes dont la fréquence augmentera probablement en été au Québec selon les prédictions d'Ouranos (www.ouranos.ca), le consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques.

Rôle de l'oxygène dissous dans les processus d'oxydoréduction dans les eaux souterraines

Les eaux de surface interagissent étroitement avec les milieux terrestres (figure 2a). Ce vaste réseau d'eau présent sous la surface (les eaux souterraines) alimente ou est alimenté par les eaux de surface. Environ 2,5 milliards de personnes dans le monde dépendent de celles-ci pour leur eau potable. Comme l'eau souterraine est stockée dans des roches fracturées ou entre les grains de sédiment, la géologie locale influence la relation entre l'oxygène dissous et la qualité de l'eau. Des contaminants métalliques d'origine naturelle existent dans presque tous les aquifères et peuvent constituer une menace importante pour la qualité des eaux souterraines.

L'oxygène dissous est l'un des principaux moteurs des processus redox dans le sol et les systèmes d'eaux souterraines qui influencent la qualité des eaux souterraines. Les réactions redox, qui impliquent le transfert d'électrons entre espèces chimiques, jouent un rôle crucial dans la qualité des eaux souterraines.

(a) Interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface



(b) Développement périphérique et augmentation du pompage des eaux souterraines

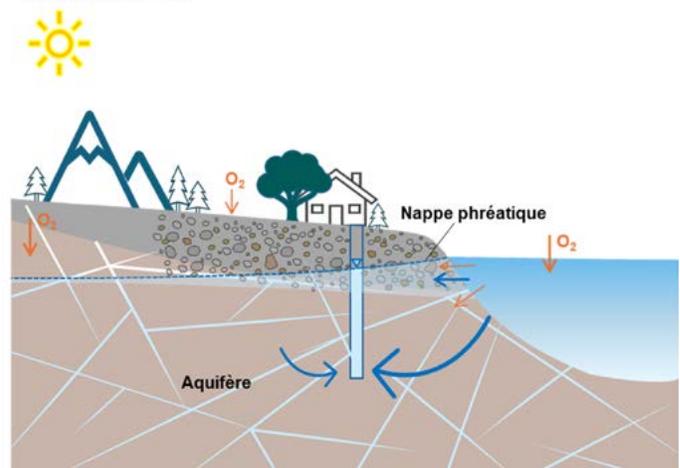


Figure 2. a) Les eaux souterraines s'écoulent généralement vers les lacs, les rivières et les régions côtières. b) Conséquences de l'augmentation du pompage des eaux souterraines pendant les saisons sèches.

Les micro-organismes, tels que les champignons et les bactéries, facilitent ce transfert d'électrons, en utilisant souvent la matière organique comme source d'électrons (Stumm et Morgan, 2012).

Les changements de concentration ou de disponibilité en oxygène dus à des facteurs naturels ou anthropiques peuvent modifier les activités microbiennes régissant les processus redox dans les eaux souterraines. Dans les eaux souterraines oxiques, l'oxygène agit comme le principal accepteur d'électrons et stimule l'activité microbienne aérobie. À l'inverse, lorsque le processus de désoxygénation se produit et que les conditions deviennent anoxiques, différents accepteurs d'électrons, comme le nitrate, le manganèse et le fer prennent le relais. La solubilité et la toxicité potentielle des métaux, notamment l'arsenic (As), le chrome (Cr), l'uranium (U) et le manganèse (Mn), peuvent être modifiées. En outre, ces réactions d'oxydoréduction peuvent influencer l'adsorption et la désorption sur les particules du sol, régulant davantage la libération des contaminants dans l'eau environnante.

CONSÉQUENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'OXYGÈNE DANS LES EAUX SOUTERRAINES

Un effet important de la hausse des températures est l'accélération du métabolisme microbien dans les aquifères, ce qui entraîne l'épuisement de l'oxygène dissous et le passage de conditions oxiques à anoxiques. Les changements climatiques peuvent augmenter les précipitations ou le dégel du pergélisol dans les régions plus froides, modifiant l'hydrogéologie régionale en augmentant le niveau d'eau des nappes phréatiques et en relâchant de la matière organique dans les eaux souterraines. Ce matériel organique peut stimuler la croissance microbienne, épuiser l'oxygène dissous et faire évoluer l'environnement vers des conditions anoxiques (Stumm and Morgan, 2012). Ces modifications du milieu peuvent favoriser la libération de métaux comme le manganèse (Mn) dans les eaux souterraines. Avec le développement de conditions réductrices dans les aquifères peu profonds, davantage susceptibles d'être touchés par le réchauffement, le manganèse peut être libéré (Riedel, 2019). Les changements dans les conditions environnementales contrôlant la mobilité et la toxicité des contaminants dans les eaux souterraines peuvent présenter un risque important pour la santé publique, en particulier pour les populations qui dépendent de sources non surveillées en dehors des centres urbains.

RISQUES POUR LA SANTÉ

Le manganèse et l'arsenic peuvent être associés à de graves problèmes de santé (mortalité infantile, problèmes cardiovasculaires et neurologiques, cancer de la vessie et de la peau) (Hafeman et al., 2007 ; Kullar et al., 2019). Le manganèse et l'arsenic sont présents dans les eaux souterraines du Québec, particulièrement dans la région de l'Estrie, où environ 40 % des résidents et résidentes dépendent directement des eaux souterraines pour leur eau potable (Lefebvre et al., 2019). Ces deux éléments sensibles au changement de concentration en oxygène dissous deviennent de plus en plus mobiles dans des conditions pauvres en oxygène. Une conséquence importante de la hausse des températures est l'accélération des activités microbiennes qui épuisent l'oxygène dissous et entraînent un appauvrissement en oxygène. Cela favorise un changement des concentrations de métaux tels que le manganèse et l'arsenic, augmentant ainsi le risque pour les populations qui dépendent de sources d'eau potable. La prévalence de ces contaminants dans les eaux souterraines met en évidence la vulnérabilité des communautés qui dépendent des eaux souterraines. Cela souligne la nécessité cruciale d'une gestion rigoureuse des eaux souterraines et d'un traitement méticuleux avant consommation pour garantir la sécurité de la santé publique.

Nécessité de poursuivre les recherches pour une gestion proactive

Les eaux souterraines et les eaux de surface maintiennent un équilibre délicat dans la nature, s'écoulant l'une dans l'autre en fonction du gradient hydraulique naturel ou d'interventions anthropiques (le pompage excessif des eaux souterraines, par exemple) (figure 2 b). Il est essentiel de mieux comprendre ces systèmes afin de garantir la santé et la durabilité de nos ressources en eau. De plus, notre dépendance à l'égard des eaux souterraines s'intensifie en raison de l'évolution du climat et de l'accroissement de la population ; il est donc primordial d'en préserver la qualité. Des contaminants naturels se trouvent dans presque tous les plans d'eau de surface et souterraine et constituent une menace. Des programmes exhaustifs de surveillance des eaux de surface et souterraines constituent la première ligne de défense, car ils nous permettent de suivre les niveaux de contaminants et d'identifier les zones vulnérables

aux contaminants. La collecte de données sur les eaux souterraines et de surface à haute résolution temporelle et spatiale est essentielle pour comprendre l'influence de l'environnement bâti et des changements climatiques sur la qualité des eaux. Cela nous permettra d'élaborer des stratégies plus efficaces de gestion et de protection de cette ressource vitale qu'est l'eau, garantissant ainsi la préservation de la qualité des eaux de surface et souterraines pour les générations à venir.

RÉFÉRENCES

Devergne, J., Servilli, A., Garcia Fernandez, C. et Loizeau, V. (2022). Changement climatique et océan : quel avenir pour les poissons ? *The Conversation*. Repéré à <https://theconversation.com/changement-climatique-et-océan-quel-avenir-pour-les-poissons-183465>

Hafeman, D., Factor-Litvak, P., Cheng, Z., van Geen, A. et Ahsan, H. (2007). Association between manganese exposure through drinking water and infant mortality in Bangladesh. *Environmental Health Perspectives*, 115(7), 1107–1112. <https://doi.org/10.1289/ehp.10051>

Jane, S.F., Hansen, G.J.A., Kraemer, B.M. ... et Rose, K.C. (2021). Widespread deoxygenation of temperate lakes. *Nature* 594, p. 66–70. 10.1038/s41586-021-03550-y

Jutras, M., Mucci, A., Chaillou, G., Nesbitt, W.A. et Wallace, DWR (2023). Temporal and spatial evolution of bottom-water hypoxia in the St Lawrence estuarine system. *Biogeosciences*, 20, 839–849. 10.5194/bg-20-839-2023

Keeling, R.E., Körtzinger, A. et Gruber, N. (2010). Ocean deoxygenation in a warming world. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 2, 199–229. 21141663. 10.1146/annurev.marine.010908.163855

Kragh, T., Thorø Martinsen, K., Kristensen, E. et Sand-Jensen, K. (2020). From drought to flood: Sudden carbon inflow causes whole-lake anoxia and massive fish kill in a large shallow lake. *Science of The Total Environment*, 739, 140072, 10.1016/j.scitotenv.2020.140072

Kullar, S. S., Shao, K., Surette, C., Foucher, D., Mergler, D., Cormier, P., Bellinger, D. C., Barbeau, B., Sauvé, S. et Bouchard, M. F. (2019). A benchmark concentration analysis for manganese in drinking water and IQ deficits in children. *Environment International*, 130(February), 104889. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.083>

Lefebvre, R., Ballard, J.-M., Raynauld, M., Huchet, F., Colléau, É. et Laurencelle, M. (2019). Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES Estrie) : Rapport d'étape de la phase 1. Rapport de recherche (R1851). Québec, Canada.

Riedel, T. (2019). Temperature-associated changes in groundwater quality. *Journal of Hydrology*, 572, 206–212.

Stumm, W. et Morgan, J.J. (2012). *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*. John Wiley & Sons.





Sciences et technologies

ENTRE SOL ET CIEL : PERTURBATIONS ÉCOSYSTÉMIQUES ET PROCESSUS ATMOSPHÉRIQUES DANS L'OUEST DE L'ARCTIQUE CANADIEN

Bruno Lecavalier

Étudiant à la maîtrise en géographie
Département de géographie
Université de Montréal

Vincent Graveline

Étudiant à la maîtrise en géographie
Département de géographie
Université de Montréal

Léa Cornette

Étudiante à la maîtrise en géographie
Département de géographie
Université de Montréal

Oliver Sonnentag

Professeur agrégé
Département de géographie
Université de Montréal

James King

Professeur adjoint
Département de géographie
Université de Montréal

Manuel Helbig

Professeur adjoint
Department of Physics
and Atmospheric Science
Dalhousie University

Imaginez que vous vous engagez dans une randonnée estivale dans le sud du Québec. Il fait chaud et humide, le ciel est bleu. Vous entrez dans une section forestière du sentier ; les conditions changent soudainement. La surface du sol n'est plus exposée comme au début du sentier : le sommet des arbres fournit de l'ombre, absorbant l'énergie du soleil et refroidissant l'air près du sol. Sur votre chemin, les feuilles et les racines d'un arbuste assimilent l'eau et utilisent la lumière pour soutirer du carbone à l'air. Aux abords du boisé, la présence des arbres mélange vigoureusement l'air. La végétation exerce un contrôle beaucoup plus important sur les processus atmosphériques que l'on peut imaginer. La perception de ce lien, longuement connu des communautés autochtones et ayant graduellement fait sa place dans l'esprit des scientifiques occidentaux au cours des derniers siècles, a grandement varié dans le temps. Notamment, on a jadis cru que les forêts représentaient des « tueurs de pluie », pour éventuellement renverser ce statut en faveur de l'habileté de ces milieux à accélérer le cycle hydrologique (ou cycle de l'eau) (Bonan et Mote, 2020). La compréhension des liens entre le couvert du sol et les processus atmosphériques représente un domaine fondamental de la recherche visant à améliorer notre compréhension des contrôles du système climatique.

L'ensemble des perturbations climatiques, comme le dérèglement des précipitations et l'intensité croissante des feux de forêt exacerbés par le réchauffement planétaire, véhiculent d'innombrables bouleversements au sol. Le couvert du sol, qui représente les types de surfaces terrestres, qu'elles soient végétalisées ou non, connaît des perturbations à l'échelle mondiale. Les glaciers, les milieux humides et la forêt boréale, entre autres, en portent les évidentes marques. Comment ces changements au couvert du sol pourraient-ils à leur tour influencer le climat ? Auraient-ils le potentiel d'exacerber ou alors d'atténuer le réchauffement climatique ? Ces questions sont d'une importance plus marquée dans les régions arctiques, où une hausse de la température bien plus rapide que la moyenne globale (Rantanen et al., 2022) est responsable de perturbations écosystémiques importantes.

De la feuille au thermomètre

Les écosystèmes agissent comme des portails à travers lesquels l'énergie et les gaz (p. ex., vapeur d'eau, dioxyde de carbone) circulent constamment. Précisons que l'énergie désigne la capacité d'un système ou d'un objet à induire un changement au sein d'un autre : dans le contexte de l'énergie solaire, elle compose le moteur du système climatique mondial. Tout d'abord, les caractéristiques de la végétation, telles que sa couleur et la densité, influencent l'albédo. L'albédo représente la quantité d'énergie solaire réfléchie lorsqu'elle atteint la surface terrestre ; un albédo élevé indique qu'une forte proportion de l'énergie solaire est renvoyée vers le ciel. Ce phénomène est d'ailleurs un des principaux véhicules derrière les îlots de chaleur. Les vastes étendues de matériaux tels que le béton, l'asphalte et la brique réduisent l'albédo, forçant une rétention importante de l'énergie et une hausse de la température. En modulant l'albédo, les écosystèmes influencent d'abord la quantité d'énergie disponible pour effectuer différents processus écosystémiques, notamment la photosynthèse.

Les caractéristiques d'un écosystème jouent ensuite un rôle crucial dans la manière dont ce bassin d'énergie est redistribué, c'est-à-dire sous quelle forme cette énergie est convertie et dans quelle direction elle se déplace. L'énergie disponible pour les écosystèmes peut être utilisée sous trois formes différentes. Premièrement, elle peut être utilisée pour le phénomène d'évapotranspiration, représentant la somme de l'eau liquide évaporée au sol et émise sous forme gazeuse par la végétation. L'énergie y est utilisée pour effectuer le changement de phase de l'eau liquide vers la forme

gazeuse, ce qu'on appelle un échange de chaleur latente. Deuxièmement, l'énergie peut être directement transmise à l'air lors d'un échange de chaleur dite sensible. Ce transfert, qui n'implique aucun changement de phase, est responsable du réchauffement de l'air qui entre en contact avec l'énergie disponible. Par exemple, une surface dénudée de végétation et/ou sèche, où l'évapotranspiration est très faible, est propice à la conversion d'énergie en chaleur sensible, ce qui favorise une température de l'air plus élevée. Troisièmement, l'énergie peut également prendre la direction des profondeurs en étant conduite dans le sol. Ce transfert d'énergie est responsable du réchauffement du sol, un phénomène important dans l'Arctique. Le sol y étant partiellement gelé en permanence, la magnitude de ce flux d'énergie est critique dans la dynamique du dégel des premières couches de terre. La profondeur de cette couche dégelée influence notamment la stabilité du sol et les échanges de gaz entre la surface et l'atmosphère.

Également, la présence de végétaux influence le mouvement de l'air en créant de la turbulence. Sous l'effet de l'écoulement de l'air contre les obstacles, l'atmosphère est animée par des tourbillons et des remous irréguliers. C'est ainsi que l'influence des écosystèmes peut se propager plus haut, alors que les mouvements turbulents de l'air propulsent l'énergie et les gaz verticalement. La couche atmosphérique dans laquelle cet effet terrestre se produit se nomme la couche limite planétaire. D'une importance primordiale pour l'ensemble de la vie terrestre, cette couche renferme l'influence exercée par les caractéristiques écosystémiques sur les dynamiques météorologiques. Comment peut-on concrètement étudier le lien entre ce qui se passe dans les écosystèmes et ce qui se produit dans cette portion de l'atmosphère ?

Relier ciel et terre

Au sol, on cherche à comprendre la forme et la direction que prend l'énergie du soleil lorsqu'elle se retrouve à la surface. La covariance des turbulences est une méthode centrale quant à la mesure des échanges turbulents entre la terre et l'atmosphère. Employant divers instruments installés sur des tours (figure 1, à gauche) qui mesurent la composition chimique et le mouvement de l'air, cette technique permet d'énoncer selon quelle magnitude le paysage émet et assimile l'énergie ainsi que différents gaz. Cette méthode nous donne ainsi une idée des conditions la surface, soit 50 % du portrait recherché ; le ciel reste à être examiné. À ce jour, l'outil principal employé pour caractériser les conditions atmosphériques est le ballon

météorologique, dit radiosonde, embarquant des appareils qui enregistrent les variables météorologiques (température, pression, humidité, etc.). Cependant, cette méthode ne permet pas un suivi temporel continu, et les instruments LiDAR (*Light Detection and Ranging*) se sont imposés dans la dernière décennie pour surveiller en continu l'état de l'atmosphère. Les cénomètres, un type d'instrument LiDAR, sont des outils prometteurs à cet usage (figure 1, à droite).

Par exemple, en identifiant l'altitude où la concentration d'aérosols diminue nettement, les cénomètres fournissent une estimation de la hauteur de la couche limite

planétaire, car l'atmosphère au-dessus de cette couche, appelée l'atmosphère libre, est généralement moins chargée en particules. Également, la présence de nuages, due à la densité des gouttelettes d'eau et des particules autour desquelles elles se forment, est associée à une forte atténuation de la lumière émise par le cénomètre, permettant une définition claire de leur altitude. La colocalisation des tours de covariances des turbulences et des cénomètres suscite un intérêt croissant pour sa capacité à lier les processus terrestres et atmosphériques selon une haute résolution temporelle.



Figure 1. Instruments de mesure pour l'analyse des changes de matière et d'énergie entre sol et ciel. À gauche : tour de covariance des turbulences ; à droite : cénomètre. Source : Bruno Lecavalier.

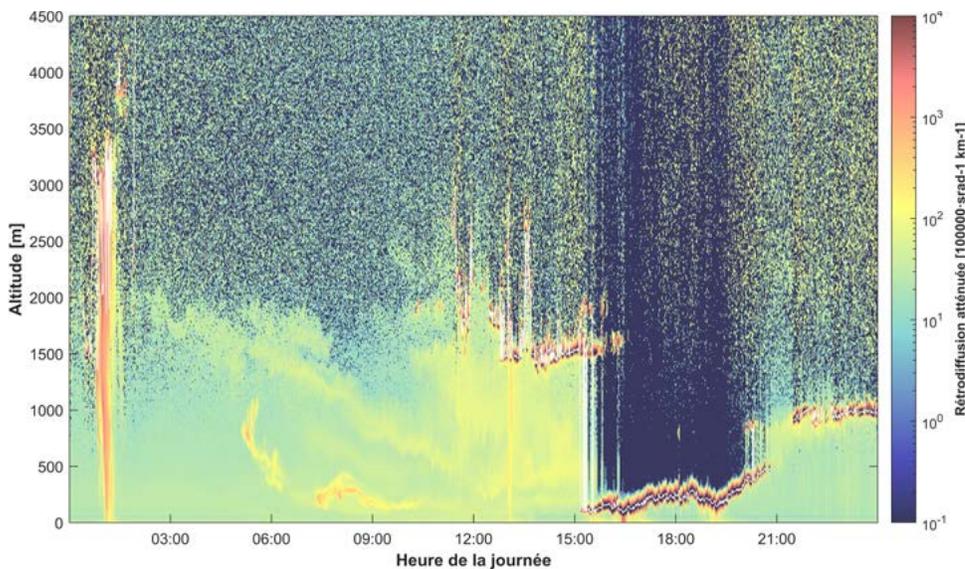


Figure 2. Profil de rétrodiffusion des aérosols d'un cénomètre Vaisala CL51, le 26 juillet 2023, à la station de recherche de Trail Valley Creek. Les couleurs représentent le coefficient de rétrodiffusion atténuée. La valeur du coefficient à une altitude donnée est déterminée par l'influence des particules sur le passage de la lumière émise par le laser du cénomètre. Un coefficient élevé indique une forte rétrodiffusion, signalant que la lumière est fortement atténuée par les particules atmosphériques à l'altitude donnée. Les lignes blanches représentent l'altitude à laquelle la base des nuages est observée (non publié, Lecavalier, 2024).

L'écotone forêt-toundra

Il semble parfois incrusté dans l'imaginaire collectif que la hausse des températures se traduirait en un mouvement de la limite nordique des arbres, où le réchauffement permettrait la croissance d'arbres à des latitudes supérieures que la démarcation actuelle. Tandis que certaines régions constatent l'empiètement de la forêt boréale dans la toundra arctique, la dynamique de cette transition à l'échelle de l'Arctique circumpolaire est largement plus hétérogène (Dial et al., 2024). Une chose est néanmoins certaine, la limite des arbres, aussi appelée l'écotone forêt-toundra, est un lieu de changements écosystémiques variés et croissants. La région désignée des Inuvialuit, aux Territoires du Nord-Ouest, au Canada, couvre 435 000 km² de l'ouest de l'Arctique canadien. De cette superficie, une proportion importante est assurée par l'écotone forêt-toundra. En se basant sur les constats des communautés y habitant, et appuyés par les résultats de différentes études, on relève que l'empiètement des arbustes représente une perturbation végétale répandue dans la région. Dans certaines zones, on recense un couvert croissant d'arbustes plus grands, productif et dense (Lantz et al., 2013). Dial et al. (2024) avancent également qu'une densification des arbres, susceptible de s'exacerber, se produit dans ces régions. Comment ces changements de végétation pourraient-ils influencer l'atmosphère et la trajectoire des changements climatiques de cette localité du Bas-Arctique ?

Le gradient du lien terre-atmosphère

OBSERVER ET SIMULER

Les résultats d'une nouvelle étude de Graveline et al. (2024) font part de différences importantes quant aux transferts énergétiques observés dans les écosystèmes de l'écotone forêt-toundra. La station de recherche de Trail Valley Creek est située dans la toundra, à 60 km au nord de la communauté d'Inuvik, dont les environs s'appellent *Nuna Aliannaittuq*, ce qui signifie « paysage magnifique », en Inuvialuktun. Le site de recherche de Havikpak Creek, une forêt subarctique près de la ville d'Inuvik, représente une section davantage méridionale de ce gradient de végétation. Des tours de covariance des turbulences ainsi qu'une multitude d'instruments météorologiques sont installés à ces stations depuis plus d'une décennie. Il est fréquent de recourir à des techniques de modélisation pour étudier exhaustivement la relation entre la terre et l'atmosphère. Ici, 10 années de données de covariance des turbulences (2013-2022) sont utilisées pour fournir les conditions de surface destinées aux simulations du modèle CLASS (*Chemistry Land-Surface Atmosphere Soil Slab Model*). La structure atmosphérique et les conditions météorologiques simulées par cette technique, notamment la température et la profondeur de la couche limite planétaire, sont alors validées par comparaison avec des observations issues de radiosondages aux deux stations

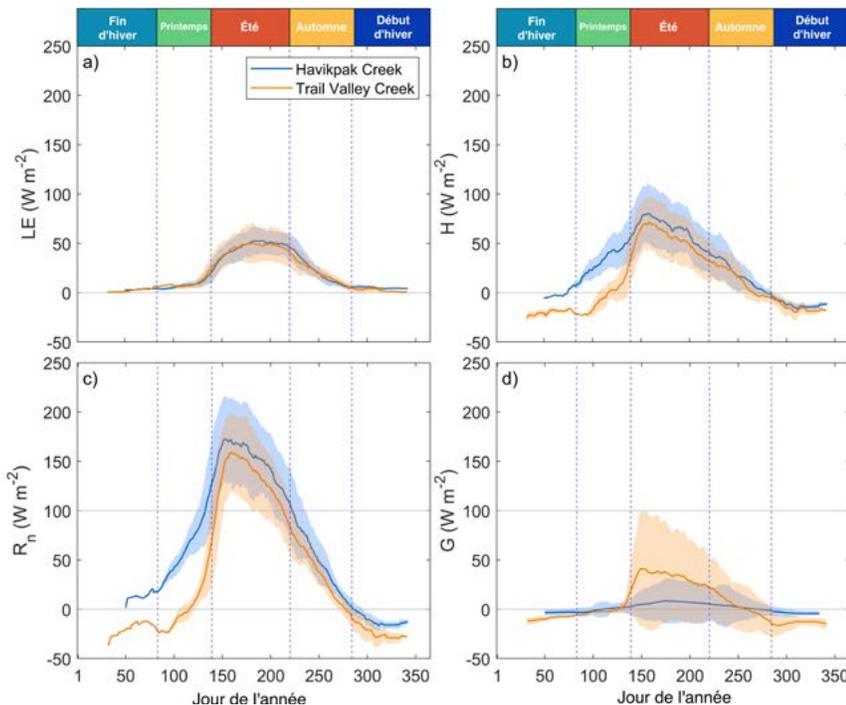


Figure 3. Moyennes mobiles sur 14 jours des composantes du bilan énergétique sur l'ensemble des années (2013-2022) : a) flux de chaleur latente (LE, $W \cdot m^{-2}$); b) flux de chaleur sensible (H, $W \cdot m^{-2}$); c) rayonnement net (R_n , $W \cdot m^{-2}$); d) flux de chaleur du sol (G, $W \cdot m^{-2}$) à Havikpak Creek (forêt) et à Trail Valley Creek (toundra). Les lignes verticales en pointillés indiquent le début et la fin des différentes saisons. Les zones ombrées indiquent l'écart type, soit la déviation attendue par rapport à la moyenne (reproduit de Graveline et al., 2024; utilisé avec la permission de Elsevier Science & Technology Journals).

de recherche. On trouve premièrement que la radiation nette, à interpréter comme la quantité d'énergie retenue à la surface terrestre, est plus élevée au site forestier tout au long de l'année par rapport à la toundra, située à 60 km au nord (figure 3).

Ceci est essentiellement dû au faible albédo des arbres denses et de couleur plus foncée, qui force une rétention d'énergie plus importante. L'énergie y est ensuite majoritairement convertie sous forme de chaleur sensible, haussant la température de l'air. Pendant le printemps, une saison fortement marquée par la fonte des neiges, cette différence est particulièrement importante. La végétation basse de la toundra est alors enfouie sous la neige, ce qui fournit un albédo élevé et mène à une réflexion importante des rayons solaires. En contrepartie, les arbres, qui eux sont découverts, influencent activement les conditions météorologiques. De plus, les arbres augmentent la capacité de l'écosystème à effectuer des échanges turbulents avec l'atmosphère. En contrepartie, la toundra, où la végétation est considérablement moins imposante, est moins efficace pour effectuer ces transferts verticaux. De plus, dans la toundra, on note que la végétation pose une résistance plus faible aux pertes d'eau par évapotranspiration, en comparaison avec la forêt. La toundra refroidirait donc l'air, car l'évapotranspiration soutire de l'énergie, qui serait autrement convertie sous forme sensible. De plus, étant moins protégée des rayons solaires, la surface de la toundra absorbe davantage d'énergie, faisant de son sol un puits de chaleur plus marqué que le sol forestier, ombragé par la canopée.

PERTURBATIONS ÉCOSYSTÉMIQUES, SYNONYMES DE CHANGEMENTS ATMOSPHÉRIQUES ?

À Havikpak Creek, le réchauffement de l'air ainsi que le fort brassage mécanique, tous deux véhiculés par la présence d'arbres, sont favorables au développement d'une couche limite planétaire plus profonde, chaude et sèche. L'approfondissement de cette couche favorise également des échanges avec l'atmosphère qui surplombe la couche limite planétaire. L'entraînement d'air plus sec de l'atmosphère dite libre, où la surface n'exerce plus d'influence importante, contribue à davantage assécher l'air. En contrepartie, en favorisant l'évapotranspiration et le transfert d'énergie vers le sol, les caractéristiques de la toundra contribueraient à la formation d'une couche moins profonde, plus froide et humide. À la lumière de ces relations, qu'impliquent les changements écosystémiques actuels et projetés ? La présence des arbres au site forestier est liée au réchauffement et à l'assèchement de l'air. Attribuant ce contrôle en grande partie au caractère dense et foncé de la végétation forestière, on avance que la prolifération d'arbustes pourrait avoir un effet similairement réchauffant et asséchant sur l'atmosphère. Cette conséquence serait particulièrement importante lors de la fonte de la neige, une période déterminante quant au cours des processus écosystémiques et météorologiques de la saison suivante. Il est ainsi possible d'envisager une rétroaction positive véhiculée par ces changements écosystémiques ; la densification de la végétation à l'échelle régionale, qui est véhiculée par la hausse de température, exacerberait elle-même le réchauffement de cette région (figure 4).

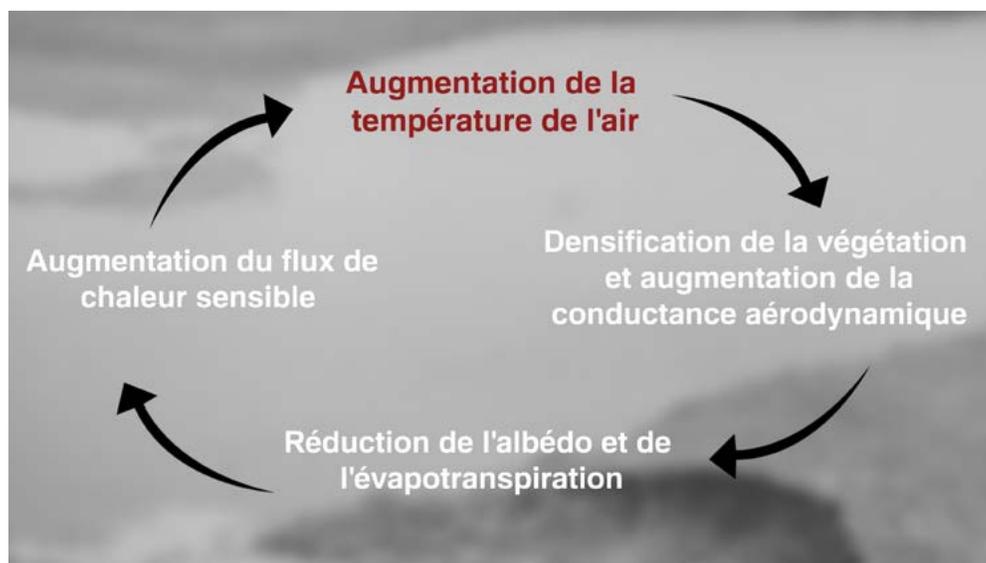


Figure 4. Schéma représentant la potentielle rétroaction positive entre le réchauffement, la densification de la végétation et les échanges énergétiques turbulents (non publié, Lecavalier, 2024).

De l'huile sur le feu

Les processus écosystémiques s'imbriquent à petite échelle au sein de vastes milieux, mais ils composent communément un aspect central du système climatique. Le travail de Graveline et al. soutient que, malgré leur proximité géographique, les caractéristiques respectives de la forêt et de la toundra imposent des influences contrastées sur les dynamiques météorologiques. Advenant leur progression, les perturbations écosystémiques à l'écotone forêt-toundra sont susceptibles de constituer un facteur déterminant dans le cours des changements climatiques régionaux. En plus de cet aléa, les feux balayent les Territoires du Nord-Ouest selon une intensité croissante. En 2023, la région d'Inuvik n'a pas été épargnée des flammes, qui ont ravagé plus de 200 km² de toundra au nord de la ville. Comment la perte subite du couvert végétal influence-t-elle le lien étroit entre les écosystèmes, les échanges turbulents et les processus météorologiques ? La quantité massive d'aérosol émise par les feux, un agent météorologique important, pourrait-elle également influencer la liaison terre-atmosphère ? L'exploration de ces questions bénéficiera grandement de la méthode de collecte de données en continu fournie par les célomètres et la covariance des turbulences. Ces prochaines étapes représentent quelques maillons dans la chaîne

de rétroactions nécessitant une attention au sein du domaine des biogéosciences atmosphériques. En cherchant à approfondir nos connaissances sur la nature du lien terre-atmosphère de l'écotone forêt-toundra, nous participons au développement d'une compréhension plus éclairée de notre système climatique et de ses vulnérabilités.

RÉFÉRENCES

- Dial, R. J., Maher, C. T., Hewitt, R. E., Wockenfuss, A. M., Wong, R. E., Crawford, D. J., Zietlow, M. G. et Sullivan, P. F. (2024).** Arctic sea ice retreat fuels boreal forest advance. *Science*, 383(6685), 877-884. <https://doi.org/10.1126/science.adh2339>
- Graveline, V., Helbig, M., Gosselin, G. H., Alcock, H., Detto, M., Walker, B., Marsh, P et Sonnentag, O. (2024).** Surface-atmosphere energy exchanges and their effects on surface climate and atmospheric boundary layer characteristics in the forest-tundra ecotone in northwestern Canada. *Agricultural and Forest Meteorology*, 350, 109996.
- Lantz, T. C., Marsh, P. et Kokelj, S. V. (2013).** Recent Shrub Proliferation in the Mackenzie Delta Uplands and Microclimatic Implications. *Ecosystems*, 16(1), 47-59. <https://doi.org/10.1007/s10021-012-9595-2>
- Mote, P. et Bonan, G. B. (2020).** *Seeing the Forest for the Trees : Forests, Climate Change, and Our Future*. 2020, GC032-01.
- Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T. et Laaksonen, A. (2022).** The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment*, 3(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>

ACTIVITÉ PHYSIQUE, SPORT ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES : UNE COURSE CONTRE LA MONTRE

Célia Kingsbury

Candidate au doctorat en promotion de la santé
École de santé publique, département de médecine sociale et préventive
Université de Montréal

Louis Pitois

Étudiant au doctorat en sciences de l'environnement
Institut des sciences de l'environnement
Université du Québec à Montréal

Monica Tanase

Étudiante au doctorat en santé et société
Institut santé et société
Université du Québec à Montréal

Paquito Bernard

Professeur en sciences de l'activité physique
Chercheur au centre de recherche de l'Institut universitaire en santé mentale de Montréal
Université du Québec à Montréal



Crédit photo : Shutterstock Runner. CC BY-NC 2.0: Flickr

Les défis liés aux changements climatiques et à la pratique d'activités physiques et sportives gagnent en visibilité au Québec et dans le monde. Toutes les formes d'activité physique sont actuellement menacées par les changements climatiques : compétitions sportives, activités de loisir (p. ex., le ski de fond), travail (p. ex., livraison à vélo), déplacements actifs et même le jardinage. En 2018, le semi-marathon de Monterey, en Californie, a été interrompu à cause des feux de forêt. Pensons aussi à l'annulation du marathon de Minneapolis, en 2023, en raison d'une vague de chaleur massive. Plus près de nous, la pratique du patinage de loisir sur la rivière L'Assomption (la plus importante patinoire naturelle au Québec) a été annulée cet hiver, faute d'une épaisseur de glace sécuritaire. Pensons aussi à l'annulation du Ironman Mont-Tremblant en raison de la piètre qualité de l'air due aux feux de forêt.

Dans un contexte où l'avenir de la pratique d'activités physiques et sportives est menacé, notre équipe de recherche en sciences de l'activité physique a tenté de mieux comprendre ces enjeux en se posant deux questions : premièrement, comment les changements climatiques influencent-ils la pratique d'activités physiques et deuxièmement, comment la pratique d'activités physiques contribue-t-elle aux changements climatiques ?

Pour répondre à ces questions, nous avons effectué une revue de la littérature en 2021. En suivant les recommandations du *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), nous avons fouillé les bases de données suivantes : Pubmed, PsyArticles, CINAHL, SportDiscus, GreenFILE, GeoRef. À la suite de l'analyse des critères d'inclusion, nous avons relevé plus de 70 articles publiés dans des revues à comité de lecture.

Trois conclusions principales se dégagent de nos recherches : premièrement, les activités physiques et sportives sont sévèrement touchées par les changements climatiques ; deuxièmement, certaines activités physiques et sportives amplifient les changements climatiques et troisièmement, les activités physiques peuvent également faire partie de la solution.

La pratique d'activités physiques sportives, victime des changements climatiques

Tout d'abord, notre revue de littérature a répertorié les conséquences de trois résultantes des changements climatiques sur la pratique d'activités physiques et sportives. Il s'agit des conditions météorologiques extrêmes, de la pollution de l'air et des catastrophes naturelles.

Les **conditions météorologiques extrêmes**, telles que les canicules ou les hivers imprévisibles, imposent leurs

contraintes. Dans le contexte d'activités physiques de loisir pratiquées en contexte de vagues de chaleur, la participation augmente lorsque la température atteint jusqu'à 28-29 °C, mais diminue considérablement au-delà de 36 °C (Obradovich et Fowler, 2017). Concernant les déplacements actifs, on note une réduction importante du nombre de déplacements quotidiens à vélo lorsque la température atteint 26 à 28 °C. De plus, les résidents et résidentes ayant un statut socioéconomique plus faible utilisent davantage un mode de déplacement non motorisé durant les vagues de chaleur, ce qui augmente le risque de conséquences graves pour leur santé. Les conditions de pratique des sports d'hiver, comme le ski ou le patinage, se détériorent rapidement du fait des conditions météorologiques hivernales variables (pluviométrie accrue, couvert de neige plus faible). En ce sens, les conditions météorologiques extrêmes et la variabilité des températures nécessitent d'ajuster les pratiques et l'entretien des sites. D'ici une décennie, certaines pratiques pourraient même disparaître du fait de la baisse de leur rentabilité ou de conditions de pratiques non sécuritaires.

Quant à elle, la **pollution de l'air** limite les activités en plein air et les déplacements actifs, particulièrement dans les zones urbaines, où le smog devient un obstacle majeur pendant les mois d'été chauds. Ce smog, défini comme étant une brume causée par l'accumulation d'un mélange de contaminants atmosphériques, touche surtout les groupes vulnérables, y compris les personnes âgées et celles souffrant de maladies respiratoires, ce qui réduit leur participation à des activités physiques d'intensité modérée à élevée (Laffan, 2018). À titre d'exemple, une étude chinoise a montré que l'augmentation d'un niveau moyen de la concentration de la pollution de l'air réduisait le niveau

Le changement climatique menace les sportifs, les JO et les livreurs à vélo?

Faire du sport pour le loisir, réaliser des performances, se déplacer en bougeant, ou travailler en extérieur va devenir de plus en plus compliqué, voir impossible à cause des vagues de chaleur, de l'accroissement de la pollution et des catastrophes naturelles.



Figure 1. Infographie illustrant les conséquences des changements climatiques sur les activités physiques et sportives. Source : Bernard et al. (2021)¹.

1. Les auteurs soulignent la participation de Tamara Marcia Martel, étudiante en design, à l'élaboration des infographies des figures 1 à 4.

total d'activité physique (ce qui comprend tout type d'activité physique) hebdomadaire de 30 minutes.

Puis, les **catastrophes naturelles**, comme les ouragans et les inondations, endommagent l'infrastructure nécessaire à l'activité physique, soulignant l'importance de la reconstruction et de la résilience post-catastrophe pour le bien-être des communautés. Les études sont unanimes pour dire que le fait d'y être exposé augmente le risque d'inactivité physique à moyen terme (Bell et al., 2019).

La figure 1 résume les conséquences des changements climatiques sur les activités physiques et sportives.

Les activités physiques et sportives peuvent aussi amplifier les changements climatiques

A l'inverse, les résultats de la revue de littérature ont montré que la pratique de certaines activités physiques et sportives contribuait aux changements climatiques. Une des raisons de ce constat est liée à l'empreinte carbone associée aux déplacements en avion ou en voiture pour pratiquer un sport, chez les athlètes de niveau amateur et professionnel. Ces déplacements ont lieu à différentes échelles, soit les déplacements liés à la pratique hebdomadaire d'un sport (ex. : entraînement), aux compétitions, aux excursions d'une journée et aux vacances sportives (ex. ski en Colombie-Britannique, trek au Népal) (Wicker, 2018).

Chez les sportifs et sportives de niveau professionnel, une étude a estimé qu'un joueur de soccer professionnel en Angleterre (Premier League) émettait plus de 30 tonnes de gaz à effet de serre en une seule saison, en raison de ses déplacements en avion et de ses séjours en hôtels de luxe (Tóffano Pereira et al., 2019). Une étude allemande réalisée chez des athlètes de niveau amateur montre que ceux et celles qui pratiquaient une activité physique de plein air avaient les plus fortes empreintes carbone, représentant jusqu'à un tiers de leur empreinte annuelle (pour les golfeurs ou surfeurs). Il est intéressant de souligner le paradoxe entre la pratique d'une activité physique ou sportive en nature et les effets néfastes environnementaux que cette pratique peut entraîner sur l'environnement naturel.

Les figures 2 et 3 à la page suivante résument les conséquences de la pratique d'activités physiques et sportives sur les changements climatiques.

L'activité physique, un moyen de lutter contre les changements climatiques

Malgré l'effet néfaste de certaines pratiques sportives sur les changements climatiques, l'activité physique peut également faire partie de la solution.

En effet, l'activité physique pour se déplacer, comme le vélo et la marche, fait partie de l'arsenal de solutions pour réduire l'utilisation de la voiture. Ces activités physiques contribuent à **réduire la pollution de l'air** localement et à **réduire les émissions de gaz à effet de serre** liés aux trajets en voiture. Par exemple, remplacer 10 % des trajets en voiture par le vélo d'ici 2030 réduirait la pollution de l'air de 9 %, voire de 26 %, si cette mesure était combinée avec une augmentation de l'utilisation des transports en commun (Xia et al., 2015).

Il existe plusieurs solutions pour remplacer la part modale de la voiture par des déplacements à vélo. Parmi celles-ci, on note le développement d'infrastructures cyclables, comme l'aménagement de stationnements à vélos et la mise en place de systèmes partagés de vélo (ex. Bixi). En plus d'augmenter le niveau d'activité physique lié aux déplacements, ces initiatives offrent des bénéfices en matière de réduction des **gaz à effet de serre**. Les résultats de la revue de littérature montrent que les effets les plus importants sont dans les villes où le transport actif est encore peu développé.

De plus, l'émergence du vélo à assistance électrique est une solution de rechange croissante à l'usage de la voiture. Le vélo électrique est notamment utilisé pour les trajets les plus longs ou pour transporter des charges ou des enfants. Par exemple, selon une étude suédoise, la substitution de 80 % des trajets en voiture par le vélo à assistance électrique permettrait une réduction allant jusqu'à 20 % des **émissions totales de CO₂** liées au transport (Winslott Hiselius et Svensson, 2017).

Finalement, c'est l'approche multimodale qui joue un rôle décisif dans la lutte contre les changements climatiques. Celle-ci combine dans l'ordre des priorités les transports en commun, le vélo ou la marche et les voitures électriques de petite taille, qui peuvent répondre aux besoins de déplacement des individus tout en réduisant les **émissions de gaz à effet de serre**.

Le sport accélère le changement climatique

Les déplacements d'un footballeur professionnel anglais représentent plus de 3 fois l'empreinte carbone annuelle d'une famille.



Voyager en avion ou seul en voiture pour faire du sport aggrave notre empreinte carbone



Created by @tamaramarcliamartel / tamaramartel.com



@PaquitoBernard et al. Sports Medicine (2021)

Figure 2 et 3. Infographies illustrant les conséquences de la pratique d'activités physiques et sportives sur les changements climatiques. Source : Bernard et al. (2021).

L'activité physique, une solution face au changement climatique

Remplacer les courts trajets en voiture par de la marche ou du vélo permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique.

Figure 4. Infographie illustrant les effets positifs de l'activité physique sur les gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique. Source : Bernard et al. (2021).



Created by @tamaramarcliamartel / tamaramartel.com



@PaquitoBernard et al. Sports Medicine (2021)

La figure 4 résume les effets positifs de l'activité physique sur les émissions de GES et la pollution atmosphérique.

Des pistes de solutions

Parc cette revue de la littérature, des pistes de solutions ont pu être identifiées. Parmi celles-ci, on retient entre autres le développement d'infrastructures résilientes, la planification flexible d'événements sportifs et la promotion d'activités physiques à l'intérieur durant les périodes météorologiques à risque. Ces mesures, accompagnées de politiques visant à réduire les émissions polluantes, sont essentielles pour garantir que les individus puissent continuer à mener des vies actives et saines malgré les conséquences croissantes des changements climatiques.

En conclusion, l'intégration de l'activité physique dans les stratégies d'adaptation et d'atténuation des changements climatiques est essentielle non seulement pour la santé individuelle, mais aussi pour la santé environnementale globale. Les approches multidimensionnelles et les solutions innovantes telles que le sport au ralenti (*Slow Sport*) peuvent contribuer à développer des pratiques sportives plus durables et respectueuses de l'environnement, renforçant ainsi notre capacité collective à répondre aux défis climatiques actuels et futurs (Malchrowicz-Moško et al., 2018).

RÉFÉRENCES

Bell, S. A., Choi, H., Langa, K. M. et Iwashyna, T. J. (2019). Health Risk Behaviors after Disaster Exposure Among Older Adults. *Prehospital and Disaster Medicine, 34*(1), p. 95-97. <https://doi.org/10.1017/S1049023X18001231>

Brand, C., Götschi, T., Dons, E., Gerike, R., Anaya-Boig, E., Avila-Palencia, I., de Nazelle, A., Gascon, M., Gaupp-Berghausen, M., Iacorossi, F., Kahlmeier, S., Int Panis, L., Racioppi, F., Rojas-Rueda, D., Standaert, A., Stigell, E., Sulikova, S., Wegener, S. et Nieuwenhuijsen, M. J. (2021). The climate change mitigation impacts of active travel : Evidence from a longitudinal panel study in seven European cities. *Global Environmental Change, 67*, 102224. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102224>

Da Silva, L. et Bleau, S. (2019). *Analyse économique des mesures d'adaptation aux changements climatiques appliquée au secteur du ski alpin au Québec.* Repéré à <https://www.ouranos.ca/fr/projets-publications/analyse-economique-mesures-adaptation-ski-alpin>

Laffan, K. (2018). Every breath you take, every move you make : Visits to the outdoors and physical activity help to explain the relationship between air pollution and subjective wellbeing. *Ecological Economics, 147*(C), p. 96-113.

Malchrowicz-Moško, E., Płoszaj, K. et Firek, W. (2018). Citius, Altius, Fortius vs. Slow Sport : A New Era of Sustainable Sport. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15*(11), article 11. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112414>

Obradovich, N. et Fowler, J. H. (2017). Climate change may alter human physical activity patterns. *Nature Human Behaviour, 1*(97). <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0097>

Tóffano Pereira, R. P., Filimonau, V. et Ribeiro, G. M. (2019). Score a goal for climate : Assessing the carbon footprint of travel patterns of the English Premier League clubs. *Journal of Cleaner Production, 227*(August), Article August.

Wicker, P. (2018). The carbon footprint of active sport tourists : An empirical analysis of skiers and boarders. *Journal of Sport & Tourism, 22*(2). <https://pub.uni-bielefeld.de/record/2942650>

Winslott Hiselius, L. et Svensson, Å. (2017). E-bike use in Sweden - CO₂ effects due to modal change and municipal promotion strategies. *Journal of Cleaner Production, 141*, 818-824. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.141>

Xia, T., Nitschke, M., Zhang, Y., Shah, P., Crabb, S. et Hansen, A. (2015). Traffic-related air pollution and health co-benefits of alternative transport in Adelaide, South Australia. *Environment International, 74*, 281-290. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.004>



Crédit photo : Fort Carson_CC BY 2.0_FlickrR

REBOISER LES TERRES DÉGRADÉES POUR AUGMENTER LES STOCKS DE CARBONE ET D'AZOTE DU SOL ET LUTTER CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN HAÏTI

Julcin Jean-Pierre

Candidat au doctorat en sciences naturelles
Unité de recherche en agriculture et agroalimentaire
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Terence Epule Epule

Professeur
Unité de recherche en agriculture et agroalimentaire
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Amélie St-Amant-Ringuette

Chargée de projet spécialiste en environnement
et adaptation aux changements climatiques
Centre d'étude et de coopération internationale (CECI)

Frény Alcinat

Spécialiste en ressources naturelles et transfert
de technologies
Centre d'étude et de coopération internationale (CECI)

Benoit Limoges

Expert en sciences et biodiversité
Viridis Terra International (VTI)

Vincent Poirier

Professeur
Unité de recherche en agriculture et agroalimentaire
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue



Les arbres, régulateurs par excellence du climat

Les forêts énergétiques durables (FED) sont des plantations artificielles d'arbres à croissance rapide utilisées particulièrement pour la production de biomasse. Différentes méthodes existent pour mettre en place des FED, dont le semis direct, qui consiste à enfouir les graines dans le sol avec une certaine quantité de compost, selon un protocole adapté au type de sol. Cette opération nécessite peu d'intervention humaine. La récolte de la biomasse végétale se fait après trois ans, approximativement, par la coupe d'une partie des arbres de la parcelle quand leur diamètre est supérieur à deux centimètres. On parle de gestion durable des FED lorsque la coupe se fait de manière rotative. Elle se fait aussi pendant la période humide pour faciliter la reprise des arbres, permettant ainsi aux FED de se régénérer facilement. En Haïti, ces forêts sont plantées à haute densité (c.-à-d. 20 000 arbres ha⁻¹) sur des terres dégradées (notamment par une érosion et une forte exploitation) et sont constituées d'espèces légumineuses à croissance rapide et fixatrices d'azote (N) telles que l'*Acacia mangium*, le *Leucaena leucocephala* et le *Prosopis juliflora* (ci-après nommés Acacia, Leucena et Prosopis, respectivement). La particularité de cette plantation dense est la production d'arbres de plus petit volume individuel, mais présentant une plus grande production de biomasse par hectare. Elle permet aussi de freiner le développement d'autres espèces concurrentes. La biomasse produite est utilisée par les populations locales pour produire de l'énergie à partir du charbon de bois écoénergétique. Pour trois tonnes de bois, on obtient en moyenne une tonne de charbon. Cette pratique n'est pas courante en Haïti : il s'agit d'une innovation



Crédit photo : Montréal - barnyz

introduite par le Centre d'étude et de coopération internationale (CECI) et Vidiris Terra International (VTI) dans le cadre du projet « KLIMA : Konbit pou Lite kont chanjman klimatik », ce qui signifie « travailler ensemble pour lutter contre les changements climatiques ». Ce projet a permis de mobiliser de jeunes entrepreneurs agricoles pour accompagner des propriétaires de terres dégradées à mettre en place des FED à partir de semis direct. La formation et l'accompagnement des personnes productrices dans l'expérience ont permis une bonne appropriation et durabilité des FED après la fin du projet. L'expérience a pu être reproduite deux fois depuis le premier projet, de 2018 à 2021. Les FED visaient à accroître la capacité de stockage du carbone (C) des terres dégradées, à restaurer des terres dégradées, à réduire la pression sur les forêts naturelles, à renforcer la résilience des populations face aux aléas climatiques,

ainsi qu'à leur procurer une activité génératrice de revenus durables. En effet, les FED ont une énorme capacité de stockage de carbone en raison de leur importante biomasse végétale aérienne et racinaire, même si la biomasse aérienne est récoltée régulièrement. Étant constituées de légumineuses, elles peuvent aussi fixer l'azote (N) atmosphérique dans le sol et ainsi accroître leur fertilité. La haute densité de ces plantations leur confère une excellente capacité de rejet de souche après le taillage.

Ces forêts peuvent contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et jouent donc un rôle important dans l'atténuation des changements climatiques. Les arbres agissent comme réservoir en stockant du carbone dans leur biomasse, c'est-à-dire en l'entreposant sous forme de composés organiques dans le tronc, les branches et les racines. Par la photosynthèse, ils absorbent le dioxyde de carbone (CO₂), l'un des principaux GES, contribuant ainsi à diminuer la concentration atmosphérique de ce gaz. Les arbres utilisent le CO₂ pour fabriquer des composés organiques. La photosynthèse joue donc le rôle d'entrée du carbone dans les forêts, alors que les sorties sont principalement représentées par la respiration autotrophe et hétérotrophe. Le carbone demeure stocké dans la biomasse de la plante jusqu'à sa mort, moment où une partie est retournée dans l'atmosphère. Les jeunes plantes prennent le relais et c'est ainsi que, dans son ensemble, la forêt demeure un réservoir de carbone. Toutefois, pour être considérée comme réservoir de carbone, la quantité de CO₂ absorbée pour une période donnée doit être supérieure à celle rejetée. La photosynthèse et les respirations autotrophes et hétérotrophes sont des processus qui influencent le stockage du carbone dans les forêts tropicales et qui peuvent varier en fonction du stade de développement des arbres.

La capacité de stockage du carbone des FED a été évaluée de 2018 à 2021 et montre qu'en 18 mois, l'Acacia a stocké davantage de carbone dans sa biomasse (3,3 Mg C ha⁻¹)¹, suivi de Prosopis (2,2 Mg C ha⁻¹) et de Leucena (1,1 Mg C ha⁻¹). Ceci montre que la croissance des espèces légumineuses fixatrice d'azote dans les FED, en particulier celle de l'Acacia, peut permettre de stocker rapidement des quantités importantes de carbone dans la biomasse aérienne et racinaire des arbres et ainsi contribuer de manière considérable à réduire les émissions de GES et à lutter contre les changements climatiques en Haïti. Le fait que cette méthode puisse facilement se reproduire et nécessite peu d'intrants représente une solution concrète et accessible pour les populations haïtiennes.

1. Mg ha⁻¹ : mégagramme par hectare, soit 1 000 kg pour 10 000 m²

Le sol, véritable allié du climat

Le sol est la couche superficielle de la croûte terrestre sur laquelle les plantes poussent. Sa structure se réfère à la façon dont les particules de sable, de limon et d'argile sont arrangées les unes aux autres. Dans un sol bien structuré, les particules de sable et de limon sont liées par l'argile, la matière organique et le calcium pour former des agrégats. Les grands espaces vides entre les agrégats permettent la circulation de l'eau et de l'air, ainsi que l'enfoncement des racines dans le sol, tandis que les petits espaces retiennent l'eau que les plantes utilisent. Le sol est considéré comme le deuxième plus grand réservoir de carbone de la biosphère ; il peut stocker trois à quatre fois plus de carbone, en comparaison avec toute la végétation terrestre (Paustian et al., 2016). Pour stocker du carbone dans le sol, il faut en accroître les quantités accumulées dans les couches superficielles et profondes. Afin que le carbone demeure dans le sol à long terme, il faut en augmenter les formes stabilisées par les particules fines et les microagrégats (<0,25 mm) du sol pour qu'il soit protégé de la décomposition microbienne. La matière organique joue un rôle important sur le plan environnemental, car elle contribue au stockage du carbone. La présence du carbone dans le sol permet d'augmenter l'agrégation et la stabilité de la structure du sol. Le contenu en carbone du sol influence aussi la disponibilité des éléments nutritifs et la biodiversité du sol. Ainsi, les agrégats de même que la teneur en particules fines de la taille des argiles influencent fortement le stockage et la stabilité du carbone du sol.

De 2018 à 2021, les concentrations de carbone et d'azote ainsi que les stocks de ces éléments ont été évalués avant et après la plantation des FED. L'analyse des sols échantillonnés en 2021 montre que la teneur en argile du sol a influencé sa concentration en carbone et en azote, ainsi que les quantités de carbone et d'azote stockées. Les sols à forte teneur en argile montrent des concentrations en carbone et en azote environ 3,7 et 3,2 fois plus élevées que ceux à faible teneur en argile. L'influence de la teneur en argile sur les stocks de carbone et d'azote suit la même tendance que celle observée pour les concentrations. Les sols argileux sont plus riches en agrégats stables ; l'argile et les agrégats du sol participent au stockage du carbone du sol. Le carbone des sols riches en argile serait mieux protégé physiquement et par conséquent plus stable que celui qui se trouve dans les sols à faible teneur en argile. Ce carbone est protégé par occlusion dans les agrégats contre la dégradation due aux activités des microbes et des enzymes. La protection physique du carbone dépend des minéraux argileux présents dans le sol ; ceux avec

une surface spécifique (surface totale par unité de masse) plus importante adsorbent plus de carbone et d'azote que ceux ayant une surface spécifique plus faible. La dégradation de la matière organique par les micro-organismes serait plus élevée dans les sols sableux pauvres en argile, car il y a moins de particules fines et d'agrégats capables de protéger le carbone et l'azote de la décomposition. Les sols sableux sont donc plus vulnérables à la dégradation et à la perte de carbone, et leur teneur en matière organique est généralement plus faible.

Bon nombre de sols tropicaux sont pauvres et comptent sur le recyclage des éléments nutritifs provenant de la matière organique pour maintenir leur fertilité. La fertilité du sol est une caractéristique lui permettant de fournir des éléments nutritifs essentiels en quantité et en qualité pour soutenir la croissance des plantes. Or, les FED sont capables d'augmenter la quantité de matière organique dans le sol grâce aux dépôts de litière, améliorant ainsi la qualité et la fertilité du sol. En effet, les débris végétaux, comme les feuilles, les branches et les troncs qui tombent sur le sol, ainsi que ceux qui se décomposent dans le sol, tels que les racines et les exsudats racinaires, apportent de la matière organique au sol. La contribution relative de ces apports influence les concentrations et les stocks de carbone et d'azote du sol.

Les plantes des FED fixent le CO₂ atmosphérique pour produire des composés organiques. Une partie du carbone rejoint l'atmosphère par la respiration cellulaire des différentes parties des plantes. L'autre partie est assimilée dans la biomasse végétale et rejoint par la suite le sol par la décomposition des résidus végétaux qui tombent sur le sol ou par les racines. Finalement, le carbone quitte le sol, soit sous forme de particules arrachées par l'érosion, de carbone dissous dans l'eau ou de CO₂ après la minéralisation des matières organiques.



Pas qu'une question de stockage du carbone

L'azote est un élément clé pour la croissance de la plante. Les espèces des FED sont des légumineuses, elles fixent le N_2 atmosphérique, qui est transformé en azote utilisable grâce à certaines bactéries vivant dans le sol. Les produits résultant de la fixation que sont l'ammonium (NH_4) et l'ammoniac (NH_3) sont transformés en nitrite (NO_2) et en nitrate (NO_3). Par le processus de dénitrification, l'azote retourne dans l'atmosphère sous forme de N_2 .

La décomposition des résidus de récolte après la coupe des arbres restaure la fertilité des sols des FED en azote, un élément limitant pour la croissance de la végétation. Un lien intime existe entre les cycles de l'azote et du carbone : la disponibilité de l'azote dans le sol influence, entre autres, la production de biomasse et agit du même coup sur l'accumulation du carbone dans le sol. Il est donc important d'étudier à la fois le carbone et l'azote du sol pour mieux comprendre comment restaurer la fertilité des sols dégradés et y stocker du carbone, et ainsi permettre aux populations haïtiennes et aux systèmes agricoles et forestiers de s'adapter aux changements climatiques.

Tout comme c'est le cas pour le carbone, la quantité d'azote stocké dans le sol peut être influencée par plusieurs facteurs, dont l'espèce végétale. Ainsi, pour les trois espèces étudiées, les concentrations en carbone et en azote ainsi que les stocks de ces éléments ont été plus élevés dans les sols sous *Leucena*. La quantité de carbone stocké dans la couche de 0 à 20 cm de profondeur dans le sol a été en moyenne de 32 Mg C ha^{-1} pour *Leucena*, 20 Mg C ha^{-1} pour *Acacia* et 15 Mg C ha^{-1} pour *Prosopis*. Bien qu'il s'agisse d'espèces de la famille

des fabacées, plantées sur des sols dégradés et soumises aux mêmes conditions climatiques, les résultats montrent que l'espèce végétale influence grandement les stocks de carbone et d'azote du sol. En matière de changements globaux de stocks de carbone dans l'ensemble sol-plante, des gains en carbone de l'ordre de 2 à 4 Mg de C ha^{-1} ont été observés respectivement sous *Acacia* et *Leucena*, de 2018 à 2021. Ces résultats démontrent que l'utilisation de ces espèces pour reboiser les sols tropicaux dégradés s'avère prometteuse pour restaurer la fertilité des sols en azote et stocker du carbone, et parallèlement permettrait de réduire les concentrations des GES dans l'atmosphère. Il y a urgence d'agir en matière de reforestation en Haïti afin de stocker du carbone et de restaurer les sols dégradés. Ceci permettra de réduire la concentration en CO_2 atmosphérique, principal GES, et de s'adapter aux changements climatiques. La reforestation représente donc une solution réelle pour lutter contre les conséquences de plus en plus fortes des changements climatiques qui perturbent la population haïtienne.

Perspectives

Les sols d'Haïti sont très dégradés. La dégradation des terres est causée principalement par la fragilité du milieu physique (fortes pentes, nature des matériaux), la forte pression démographique, la violence des phénomènes climatiques, les pratiques culturales érosives, ainsi que la coupe intensive de bois pour la satisfaction des besoins énergétiques et pour la construction. Ceci se traduit par une forte pression sur les ressources ligneuses. Les FED constituées d'espèces légumineuses à croissance rapide sont une solution de rechange, car les arbres sont capables de produire de la biomasse et de régénérer la fertilité des sols. De ce fait, les arbres ne jouent pas seulement le rôle de régulateurs du climat par l'absorption de CO_2 , ils participent aussi à l'amélioration de la fertilité des sols dégradés. Donc, pour réduire les concentrations de GES dans l'atmosphère, la plantation d'arbres à croissance rapide de la famille des légumineuses s'avère prometteuse pour lutter et s'adapter aux changements climatiques. Les arbres sont de véritables partenaires climatiques, mais il est important d'envisager l'introduction d'autres pratiques agroécologiques pour s'adapter aux conséquences des changements climatiques. Notamment, l'utilisation d'énergies renouvelables et de biocombustibles permettrait aussi de réduire les concentrations de GES atmosphériques.

RÉFÉRENCES

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P. et Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532, p. 49-57. <https://doi.org/10.1038/nature17174>



Crédit photo : luvinx / CC BY 2.0 / FlickrR



Droit et politique

VERS UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE POLITIQUES INDUSTRIELLES VERTES : DÉFIS ET PERSPECTIVES

Crédit photo : Premier ministre du Québec
Photographe Emilie Nadeau

Bruno Arcand

Candidat au doctorat
École d'administration publique et de politique gouvernementale
Université Carleton

La politique industrielle verte s'est récemment imposée comme une stratégie centrale dans la lutte contre les changements climatiques. Ce type de politique climatique n'est pas entièrement nouveau. En effet, il a été implicitement appliqué par le passé pour développer des technologies vertes. Aujourd'hui, les gouvernements recourent à cette stratégie de façon plus explicite pour atteindre des objectifs à la fois économiques, environnementaux et géopolitiques. Pays traditionnellement perçu comme un défenseur du « libre marché », les États-Unis en sont un bon exemple : l'administration américaine a récemment souligné le rôle central d'une « stratégie industrielle moderne » pour assurer la prospérité économique et la sécurité nationale dans un contexte de transition mondiale vers une économie verte (Maison-Blanche, 2023). Le Canada suit lui aussi cette voie. En 2022, la ministre des Finances Chrystia Freeland a souligné la nécessité pour le pays de se doter d'une « politique industrielle robuste » pour construire une économie « plus durable et plus prospère » (ministère des Finances, 2022). Cet essor global d'une nouvelle génération de politiques industrielles vertes n'est pas sans susciter des critiques. Pour certaines personnes, cette stratégie n'est pas si différente des politiques industrielles passées, qu'elles perçoivent comme ayant été inefficaces et coûteuses.

Dans ce contexte, ce bref article divisé en trois parties vise à vulgariser certains des enjeux autour de la montée d'une nouvelle génération de politiques industrielles vertes. La première partie définit la notion de politique industrielle verte. Ensuite, la deuxième portion examine le changement de justification des politiques industrielles vertes : d'un « mal nécessaire » à un « outil stratégique » pour relever les défis politiques et géopolitiques de la transition énergétique. La troisième partie, quant à elle, examine certaines des leçons tirées des expériences passées qui ont échoué et présente certains principes pour assurer une politique industrielle verte robuste.

Politique industrielle : de quoi s'agit-il ?

La politique industrielle verte peut être considérée comme un effort intentionnel de l'État pour façonner la structure de l'économie de façon à générer une prospérité économique verte (c.-à-d. à faible émission de gaz à effet de serre [GES] et efficace dans l'utilisation des ressources). L'idée centrale est que les États ont un rôle de stratégie à jouer : celui d'influencer la direction et le rythme du développement économique vers l'atteinte de certains objectifs environnementaux et économiques. Les moyens d'y parvenir comprennent notamment des investissements publics dans les technologies vertes, des exigences en matière de contenu local, des réglementations visant à encourager l'utilisation d'énergies vertes, ainsi que des programmes de formation professionnelle. Mais au-delà de l'utilisation d'instruments politiques en particulier, les spécialistes considèrent généralement que ce qui distingue les politiques industrielles vertes, c'est vraiment l'intention du gouvernement de créer des industries précises dans l'économie verte afin d'en tirer des bénéfices nationaux.

Pourquoi avons-nous besoin d'une politique industrielle verte ?

Dans les débats sur l'action climatique, la politique industrielle verte a longtemps été considérée comme un mal nécessaire. La sagesse traditionnelle voudrait que la tarification du carbone soit le meilleur moyen de lutter contre les changements climatiques. Cependant, comme cet instrument fait l'objet de plusieurs résistances politiques, les gouvernements doivent se tourner vers des solutions moins efficaces pour réduire leurs émissions de GES. Les politiques industrielles vertes, généralement considérées par les économistes

comme la « deuxième meilleure option », sont un moyen d'y parvenir. Pour les décideurs politiques, l'objectif central est alors de minimiser le coût économique de leur stratégie climatique, tout en privilégiant les mécanismes de marché, si possible.

Au cours des dernières années, le rôle de la politique industrielle verte dans les débats climatiques a commencé à prendre une nouvelle forme (Allan et al., 2021). Aujourd'hui, cette stratégie n'est plus considérée comme une simple solution de rechange de deuxième ordre aux mécanismes du marché. Elle est devenue une stratégie climatique dominante dans de nombreux pays pour atteindre la carboneutralité d'ici 2050. Pour les États, l'attrait de cette stratégie réside dans sa promesse de faire avancer l'agenda climatique tout en apportant des solutions à leurs autres préoccupations. En effet, la transition vers une économie verte implique une transformation profonde des systèmes de production et de consommation actuels (basés sur la combustion d'énergies fossiles), qui est susceptible de modifier les rapports de force (économiques et géopolitiques) au sein de l'économie mondiale. Dans ce contexte, la politique industrielle verte offre aux nations un outil stratégique pour sécuriser leurs intérêts nationaux face à de multiples contraintes, tant nationales que mondiales (Allan et al., 2021). Nous soulignons ici deux principales raisons pour lesquelles cette stratégie climatique se révèle cruciale.

LUTTER CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET RENFORCER LA SÉCURITÉ NATIONALE

Actuellement, la Chine — un régime autoritaire et dont les intérêts géopolitiques ne sont pas toujours compatibles avec ceux des pays de l'Occident — domine plusieurs segments clés des chaînes de valeur des technologies vertes (Lewis, 2024). Ces segments comprennent notamment les panneaux solaires, le traitement de minéraux critiques, ainsi que plusieurs principaux composants des turbines éoliennes. Ce positionnement stratégique de la Chine reflète d'ailleurs son utilisation judicieuse d'une série d'instruments associés aux politiques industrielles vertes (Allan et al., 2021).

Pour de nombreuses démocraties libérales, cette concentration géographique des capacités productives de technologies vertes pose des risques sur le plan géopolitique. Par exemple, Pékin pourrait utiliser sa position de marché dominante pour influencer les prix mondiaux de façon à avantager son industrie domestique et/ou à déstabiliser la concurrence étrangère. Les minéraux critiques en sont un bon exemple : la chute récente des prix de plusieurs métaux sur les marchés mondiaux suscite des inquiétudes croissantes quant au risque de manipulation des prix. En principe, on considère la baisse du prix des technologies vertes

comme une bonne chose pour la transition énergétique (puisqu'elle réduit son coût). Cependant, lorsqu'elle est le résultat de stratégies anticoncurrentielles visant à promouvoir des intérêts géopolitiques, elle présente des risques à long terme pour l'avenir de l'économie verte, car les prix peuvent remonter si les intérêts nationaux du pays producteur en sont favorisés.

C'est dans ce contexte que de nombreux gouvernements se tournent vers des politiques industrielles vertes pour contrer ces menaces à leur sécurité nationale. Les États-Unis ont une stratégie audacieuse à cet égard, qui a le potentiel de réorganiser en profondeur la configuration actuelle de nombreuses chaînes d'approvisionnement vertes. Le secteur des voitures électriques (y compris les batteries et minéraux critiques) en est un bon exemple. La politique industrielle verte américaine combine au moins trois mesures clés : premièrement, de généreuses subventions pour l'achat et la production de voitures électriques (et de leurs composantes) sur le territoire américain, notamment par l'intermédiaire de la *Loi sur la réduction de l'inflation* (Inflation Reduction Act [IRA]) ; deuxièmement, des droits de douane sur plusieurs biens importés de Chine ; et troisièmement, l'exclusion des subventions de l'IRA concernant les minéraux critiques ou de composants de batteries produits par des entreprises détenues à plus de 25 % par des entités étrangères considérées comme préoccupantes (y compris la Chine) (Brunelli, 2024). La manière dont les pays, au sein du système international, positionneront leurs entreprises dans cette concurrence croissante entre les États-Unis et la Chine sera donc cruciale pour leur développement économique et leur sécurité nationale.

LEVER LES OBSTACLES POLITIQUES À L'ACTION CLIMATIQUE

Des recherches récentes montrent que la politique industrielle verte est un outil important pour créer les conditions politiques favorables à l'introduction de politiques environnementales contraignantes (ex. réglementations et tarification carbone) (Meckling et al., 2015). L'une des raisons est que les investissements dans les technologies vertes contribuent à la création de coalitions (entreprises, travailleurs et travailleuses) ayant des intérêts matériels dans la promotion d'une économie verte. Ces groupes d'intérêt peuvent ainsi servir d'alliés à l'État pour surmonter l'influence des « intérêts fossiles » généralement hostiles à l'action climatique.

La politique industrielle verte peut également aider à maintenir le soutien politique en faveur de l'action climatique. En combinant des objectifs environnementaux avec d'autres préoccupations de l'État, elle peut aider à maintenir le soutien public aux efforts de décarbonation, même lorsque la protection de l'environnement n'est pas une priorité sur l'agenda politique. La *Loi sur la réduction de l'inflation* est un bon exemple. Décrite par l'Agence internationale de l'énergie comme l'action climatique la plus importante depuis l'Accord de Paris (Meredith, 2023), cette politique publique américaine a néanmoins été présentée comme une mesure pour contrer l'inflation et protéger le pouvoir d'achat américain (comme son nom l'indique). La mesure semble pour l'instant populaire auprès de l'opinion publique. Selon un sondage, une majorité de la population soutient cette loi, y compris parmi l'électorat républicain (Navigator, 2024). Ainsi,



la politique industrielle verte apparaît comme une stratégie prometteuse pour créer et maintenir un appui politique en faveur de l'action climatique.

Bonnes pratiques pour avancer des politiques industrielles vertes robustes

L'enthousiasme croissant pour les politiques industrielles vertes ne doit pas occulter le fait que ce type d'intervention étatique peut échouer. En général, l'opposition aux politiques industrielles repose sur deux arguments principaux. Le premier est que les gouvernements n'ont pas l'expertise pour allouer efficacement les ressources dans l'économie. Le deuxième est qu'attirés par le chant des sirènes électorales, les gouvernements ont tendance à prioriser les initiatives politiquement populaires aux dépens des mesures économiquement judicieuses.

Pour illustrer ces défis, prenons deux exemples de politique industrielle verte. La première est la *Loi sur l'énergie verte et l'économie verte* de l'Ontario (2009), qui offrait des subventions aux producteurs d'énergie renouvelable (notamment aux fabricants de panneaux solaires et de turbines éoliennes) afin de construire une économie verte prospère. Bien que cette politique ait eu des effets positifs sur l'environnement et l'emploi, elle n'a pas permis de créer une industrie domestique compétitive dans ces secteurs. Aujourd'hui, la chaîne de valeur des panneaux solaires et des turbines éoliennes

est largement dominée par la Chine (Lewis, 2024). Certes, les règles de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) ont constitué un obstacle à la stratégie de l'Ontario, mais ces mêmes contraintes s'appliquaient également à la Chine. Ce constat soulève donc des interrogations quant à la solidité de l'analyse économique qui a guidé la décision de l'Ontario de concurrencer la Chine dans la fabrication de ces technologies, afin de construire une économie verte prospère sur son territoire.

L'expérience de l'industrie du « charbon propre » aux États-Unis est un autre exemple instructif illustrant certains des défis d'une politique industrielle verte. Dans ce cas, les décideurs politiques sont confrontés à une industrie en déclin — le charbon — et se tournent vers les technologies de séquestration et de stockage du carbone (CSC) pour préserver les emplois et les entreprises du secteur. De 2010 à 2017, le département américain de l'énergie a alloué près d'un demi-milliard de dollars à cinq projets de « charbon propre ». Or, quatre des cinq projets ont été abandonnés avant même d'avoir été construits. La seule centrale au charbon dotée d'un système de CSC qui a été opérationnelle a fermé en 2020 en raison de problèmes techniques et financiers. Cet exemple illustre les risques d'une stratégie gouvernementale réactive, axée sur les besoins de l'industrie plutôt qu'une stratégie anticipant les opportunités économiques dans l'économie verte. Si les technologies de CSC peuvent en principe jouer un rôle dans la transition énergétique (notamment pour les industries difficiles à électrifier), l'idée de générer des gains économiques en décarbonant l'une des énergies les plus polluantes a toujours été quelque peu discutable. À la lumière de ces expériences, mais aussi des discussions autour des défis géopolitiques et politiques de la transition énergétique, trois éléments clés ressortent pour favoriser des politiques industrielles vertes robustes.

Le premier élément est une bonne compréhension des dynamiques de l'économie internationale. Concrètement, cela implique d'évaluer les chaînes de valeur à l'échelle nationale et mondiale afin d'identifier les domaines dans lesquels un pays a une chance d'être compétitif à long terme. Comme le montre l'exemple de l'Ontario, négliger cette dimension risque de conduire à une politique industrielle verte qui surestime ses bénéfices. Pour les décideurs politiques, un point de départ consiste à analyser les domaines dans lesquels le pays possède déjà des atouts et où les chaînes de valeur sont encore immatures.



Le deuxième élément est l'importance d'aligner les objectifs économiques et climatiques sur les autres préoccupations des pouvoirs publics. Comme le montre la deuxième section, les gouvernements agissent aujourd'hui dans un contexte où les questions environnementales, géopolitiques et politiques sont étroitement liées. En pratique, cela implique de structurer un dialogue entre une variété d'acteurs pour développer et mettre en œuvre une politique industrielle verte multidimensionnelle.

Le troisième élément consiste à investir dans des *institutions économiques* afin de structurer une interaction productive entre l'État et le secteur privé. Comme le montre l'exemple du « charbon propre » aux États-Unis, une stratégie industrielle *réactive* risque de refléter les intérêts des industries établies plutôt que l'intérêt général. La présence d'institutions jouant le rôle d'intermédiaires entre le secteur public et privé est importante pour développer conjointement une vision prometteuse de l'économie verte et aligner les initiatives privées et publiques en conséquence. Au Québec, Propulsion Québec est un exemple d'organisme intermédiaire créé par le gouvernement pour faciliter l'échange d'informations de qualité entre l'État et les entreprises (Arcand et al., à paraître). Rassemblant des spécialistes et une diversité d'acteurs dans le secteur du transport électrique et intelligent, cet organisme fournit une expertise indépendante au gouvernement et coordonne l'écosystème autour d'objectifs communs.

Conclusion

La politique industrielle verte est en vogue, et son intérêt ne se limite plus à une solution de rechange aux politiques environnementales plus traditionnelles (comme la tarification du carbone). Elle constitue désormais une approche stratégique que les États peuvent utiliser pour trouver leur place dans l'économie verte mondiale. En liant les questions économiques et géopolitiques à l'action climatique, cette stratégie aide à ouvrir la boîte à outils des options existantes pour transformer l'économie et atteindre la carboneutralité d'ici 2050. En même temps, il s'agit d'une stratégie exigeante pour les gouvernements, qui doivent adapter leurs façons de faire (structures organisationnelles et pratiques) pour répondre aux nombreuses contraintes qu'impose un tel rôle actif dans l'économie. Certains de ces défis sont bien connus (difficulté de gérer les pressions des entreprises établies), tandis que d'autres sont nouveaux (tensions géopolitiques entre la Chine et les États-Unis). Pour la communauté de recherche en sciences sociales, la politique industrielle verte offre donc un terrain fertile pour explorer les promesses et les défis des politiques climatiques face aux enjeux économiques, géopolitiques et politiques qui nous attendent.

RÉFÉRENCES

- Allan, B., Lewis, J. I. et Oatley, T. (2021).** Green industrial policy and the global transformation of climate politics. *Global Environmental Politics*, 21(4), 1-19. https://doi.org/10.1162/glep_a_00640
- Arcand, B., Allan, B., et Eaton, D. (à paraître).** *L'impact de Propulsion Québec : Une politique industrielle efficace dans le secteur des VE. L'Accélérateur de transition*
- Brunelli, K. (2024).** China Hawks Are Putting the Green Transition at Risk. *Foreign Policy*. Repéré à <https://foreignpolicy.com/2023/12/06/china-electric-vehicle-restrictions-biden-us-green-transition/>
- Lewis, J. I. (2024).** The climate risk of green industrial policy. *Current History*, 123(849), 14-19. <https://doi.org/10.1525/curh.2024.123.849.14>
- Maison-Blanche (2022).** *Remarks on Executing a Modern American Industrial Strategy by NEC Director Brian Deese*. Repéré à <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2022/10/13/remarks-on-executing-a-modern-american-industrial-strategy-by-nec-director-brian-deese/>
- Meckling, J., Kelsey, N., Biber, E. et Zysman, J. (2015).** Winning coalitions for climate policy. *Science*, 349(6253), 1170-1171. <https://doi.org/10.1126/science.aab1336>
- Meredith, S. (2023).** IEA chief lauds U.S. Inflation Reduction Act as most important climate agreement since Paris accord. *CNBC*. Repéré à <https://www.cnn.com/2023/01/17/iea-chief-says-ira-most-important-climate-agreement-since-paris-accord.html>
- Ministère des Finances (2022).** *Allocution de la vice-première ministre à l'occasion de l'Énoncé économique de l'automne de 2022*. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/ministere-finances/nouvelles/2022/11/allocution-de-la-vice-premiere-ministre-a-loccasion-de-lenonce-economique-de-lautomne-de-2022.html>
- Navigator (2024).** *The Inflation Reduction Act: A policy guide for advocates*. Repéré à <https://navigatorresearch.org/wp-content/uploads/2024/04/Navigator-Update-04.30.2024.pdf>





Instaurez le changement en environnement

Influencez les négociations climatiques ou concrétisez des projets qui rendront les villes et municipalités plus durables : soyez la personne qui mettra en place le changement qui fera une différence pour l'avenir.

Découvrez des programmes en politique appliquée à la hauteur de vos ambitions :

- Maîtrise en études politiques appliquées – cheminement en environnement
- Microprogramme de 2^e cycle en politiques et négociations climatiques internationales

PRÉVENIR LA MALADAPTATION DANS L'ACTION CLIMATIQUE : UNE LUNETTE « ÉQUITÉ »

Geneviève Grenier

Conseillère scientifique
Institut national de santé publique du Québec

Marie Lapointe

Conseillère scientifique spécialisée
Institut national de santé publique du Québec

Marie-Hélène Senay

Conseillère scientifique
Institut national de santé publique du Québec

Pour faire face aux conséquences importantes des changements climatiques, des transformations substantielles doivent rapidement être mises en place. Nous devons changer nos façons de nous déplacer, de manger, de nous divertir, de consommer, etc. Du côté de la gouvernance, les municipalités se trouvent en première ligne de l'action climatique en raison de leur rôle en aménagement du territoire, en transport, en loisirs, en gestion des matières résiduelles et en verdissement, par exemple.

Les politiques publiques visant l'adaptation aux changements climatiques doivent être pensées avec une lunette « équité » afin de ne pas aggraver les inégalités sociales et précariser davantage les personnes vivant déjà en situation de vulnérabilité. Effectivement, les effets des changements climatiques sont vécus de manière inégale, les individus en situation de vulnérabilité étant plus susceptibles d'en souffrir. De plus, les personnes disposant d'un statut socioéconomique plus favorisé contribuent davantage aux changements climatiques, y sont moins sensibles et jouissent d'une meilleure capacité d'adaptation. Il faudra donc, pour une adaptation équitable, moduler les efforts demandés et les contreparties offertes selon les capacités des différents groupes et individus, et ce, dans tous les secteurs.





Crédit photo : Zvi Leve_ CC BY-NC 2.0_ Flickr_ BIS

En prenant pour exemple l'éco-embourgeoisement, et sans prétendre à l'exhaustivité, voici certains écueils potentiels ainsi que des pistes d'intervention pour mettre en place des solutions d'adaptation qui soient résolument équitables.

Changements climatiques : les risques pour la santé

Les changements climatiques présentent de nombreux risques pour la santé, dont celui d'amplifier les inégalités existantes et d'exacerber la vulnérabilité de groupes ou d'individus. Plusieurs aléas touchant la province sont appelés à s'intensifier au cours des prochaines années (Demers-Bouffard, 2021). L'augmentation de la fréquence et de l'importance des canicules, des précipitations extrêmes, des feux de forêt, de la transmission de zoonoses, des inondations, des pollens, de l'érosion côtière, du dégel du pergélisol et des submersions côtières sont déjà perceptibles. Les effets de ces changements sur la santé ne sont pas négligeables. Ceux-ci pourraient entraîner l'augmentation de la prévalence des maladies cardiovasculaires ou respiratoires, des maladies infectieuses, des allergies, de l'insécurité alimentaire, de l'anxiété et de la dépression. Le sentiment d'appartenance à la communauté et la cohésion sociale pourraient également être mis à mal.

ACTION CLIMATIQUE : RISQUES ET COBÉNÉFICES

La lutte contre les changements climatiques comporte aussi son lot de défis. L'action climatique peut toutefois également générer des cobénéfices pour la santé et l'économie si elle est réfléchie dans cet objectif. En tête des bienfaits potentiels se trouvent la réduction de la pauvreté et la croissance de la main-d'œuvre par la qualification et le développement de nouvelles filières d'emploi, la diminution des maladies cardiovasculaires due à une meilleure qualité de l'air, la diminution de la sédentarité et de l'obésité par l'accessibilité d'un mode de vie plus actif et une meilleure santé mentale grâce à l'accès à la nature ainsi qu'aux espaces verts et bleus. En misant sur les cobénéfices dans la transition vers une société carboneutre, résiliente et adaptée aux changements climatiques, on peut réduire les effets négatifs des changements climatiques sur la santé. Pour ce faire, il faudra, dans une perspective d'équité, tenir compte des inégalités préexistantes, dont les inégalités sociales de santé.

live

ment

SANTÉ : UN ÉTAT CORRÉLÉ AU STATUT SOCIOÉCONOMIQUE¹

Généralement, l'état de santé des personnes est fortement associé à leur statut socioéconomique. Les personnes qui jouissent d'un statut socioéconomique plus élevé sont habituellement en meilleure santé tandis que celles ayant un statut juste en dessous, jusqu'aux plus démunies, connaissent un état de santé plus fragile (Institut national de santé publique du Québec, 2018).

Le nombre moyen d'années vécues en bonne santé décroît proportionnellement avec la défavorisation matérielle et sociale (Figure 1). Le 20 % des personnes les plus favorisées vivent en moyenne neuf années de vie en bonne santé de plus que le 20 % des personnes les plus défavorisées (Institut national de santé publique du Québec, 2018). Ces écarts s'observent sur tout le gradient et se maintiennent également dans le temps, car les chiffres de 2000-2001 et de 2011-2012 sont largement comparables. Ainsi, bien que l'ensemble de la population vive plus longtemps en bonne santé, les écarts sont malheureusement maintenus.

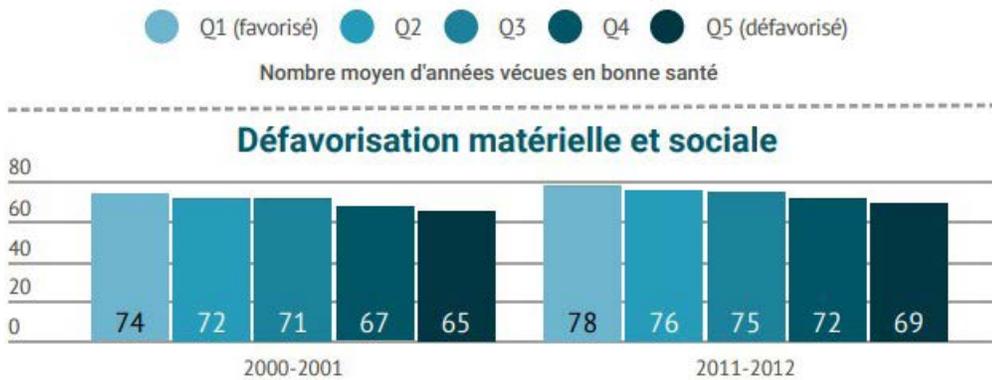


Figure 1. Nombre d'années vécues en bonne santé. Source : Institut national de santé publique du Québec (2018).

	Moyenne canadienne d'émission de GES (TCO ₂ e/capita) en 2019
100 % des citoyens canadiens	19,4
1 % des citoyens les plus riches	190,2
10 % des citoyens les plus riches	60,3
40 % des citoyens à revenu moyen	20,9
50 % des citoyens les plus pauvres	10,0

Tableau 1. Empreinte carbone selon différents groupes de la population du Canada. Adapté de Chancel, L., Piketty, T., Saez, E., Zucman, G. et al., 2021, et tiré de Senay et al., 2023.

Empreinte carbone : une question de ressources et de pouvoir

Comme les résultats de santé, la contribution individuelle à la production de gaz à effet de serre (GES) dépend de la répartition des ressources et du pouvoir. Elle augmente donc avec le statut socioéconomique. Au contraire, moins elles disposent de capital économique, moins les personnes produisent de GES.

Par exemple, les données de 2019 (Chancel, L., Piketty, T., Saez, E., Zucman, G. et al., 2021) montrent que les 10 % des individus les plus riches émettent 60,3 TCO₂e/capita par année. Les 40 % des personnes à revenu moyen produisent 20,9 TCO₂e/capita. Le 1 % le plus riche de la population rejette, pour sa part, 190,2 TCO₂e/capita (Tableau 1). Les efforts demandés dans la réduction des émissions devront donc être modulés selon les émissions passées et présentes (Senay et al., 2023).

1. Cette section de l'article et les deux suivantes reprennent certains éléments du document de Senay, M.-H. et al. (2023) : Pour une transition juste : tenir compte des inégalités sociales de santé dans l'action climatique. INSPQ. <https://www.inspq.qc.ca/publications/3342>

MIEUX VAUT ÊTRE RICHE ET EN SANTÉ QUE PAUVRE ET MALADE

Comme elles sont en meilleure santé, les personnes plus favorisées sont moins sensibles aux conséquences des changements climatiques. De surcroît, le statut socio-économique assure l'accès aux autres déterminants de la santé, par exemple, un logement, une éducation et une alimentation de qualité (Association canadienne de santé publique, s. d.) ou encore un réseau social. Par conséquent, le statut socioéconomique est aussi un prédicteur majeur de la capacité d'adaptation des individus aux conséquences des changements climatiques. Autrement dit, plus les personnes sont riches, plus elles sont en santé et plus elles ont les moyens d'échapper aux aléas climatiques ou d'en amoindrir les conséquences sur leur santé.

Parce qu'ils disposent souvent de moins de ressources et sont en moins bonne santé, certains groupes sont moins aptes à faire face aux risques posés par les changements climatiques et leurs conséquences (Senay et al., 2023). Pensons aux personnes âgées, aux personnes atteintes de maladies chroniques, aux Premières Nations, aux Inuit et aux Métis, à certaines catégories de travailleuses et travailleurs ainsi qu'aux personnes à faible revenu, en situation de handicap ou d'itinérance, racisées ou à statut migratoire précaire. Ces personnes peuvent subir des effets accrus des changements climatiques parce qu'elles ont des logements inadéquats, des conditions de santé particulières (maladies chroniques, handicaps, problématiques de santé mentale, etc.), un manque de réseau de soutien, une difficulté d'accès aux soins de santé, etc.

Passer en mode solution

UNE LUNETTE « ÉQUITÉ » POUR RÉFLÉCHIR AUX INÉGALITÉS, DONT LES INÉGALITÉS SOCIALES DE SANTÉ

Le fardeau porté par certains groupes désavantagés peut être accru par les interventions publiques si elles n'intègrent pas directement un objectif de réduction des inégalités. Une absence de coordination ou de modulation des politiques pourrait ainsi générer des effets non anticipés et indésirables — la maladaptation. L'application d'une lunette « équité » dans toutes les interventions constitue une issue prometteuse pour éviter des effets délétères des politiques sur la santé et promouvoir l'inclusion sociale de certains groupes

sociaux.

Toute initiative gouvernementale ou municipale qui s'engage à tenir compte de l'équité prendra donc acte du portrait socioéconomique de la population du milieu visé afin de développer une compréhension fine des défis qu'elle rencontre : faible revenu, manque de réseau social, transport en commun et actif limité, âge avancé, etc. Une telle lunette permettrait d'éviter d'augmenter les vulnérabilités rencontrées par les individus ou les groupes sociaux en plus de multiplier les cobénéfices dans différents secteurs.

LE CAS DU VERDISSEMENT URBAIN ET DE L'EMBOURGEOISEMENT

Les quartiers abritant des personnes à plus faible revenu sont aussi généralement les moins « verts ». Ces quartiers sont donc plus susceptibles de présenter de nombreux îlots de chaleur urbains, comme des secteurs fortement minéralisés et peu végétalisés (p. ex., les routes et les stationnements asphaltés), et de disposer de moins de parcs pour pratiquer des activités sportives et récréatives. Le verdissement de ces quartiers est prôné, avec raison, comme solution d'adaptation aux changements climatiques qui comportent de multiples cobénéfices – notamment pour la santé mentale, physique et psychosociale de sa population.

Toutefois, le verdissement peut entraîner un phénomène d'éco-embourgeoisement (Lapointe, 2024). En effet, si l'ajout de nouveaux parcs, jardins communautaires et arbres de rue se fait dans des quartiers avec une population moins nantie, il est possible que les résidentes et résidents de longue date se voient contraints de changer de logement et de quartier ou subissent de l'exclusion sociale en demeurant dans leur quartier. Ces personnes ont souvent des revenus modestes, sont locataires et présentent d'autres facteurs pouvant les placer en situation de vulnérabilité, comme le fait de faire partie d'une famille monoparentale ou d'être une personne âgée, racisée, autochtone, allophone, à mobilité réduite, etc. Parce que le verdissement des quartiers en augmente souvent l'attractivité, cette demande accrue se reflète dans le prix de l'immobilier et, par conséquent, des loyers. Les personnes déplacées faute de pouvoir absorber cette hausse de coûts risquent alors de perdre leur réseau d'entraide et de soutien en plus des services (écoles, soins de santé, organismes communautaires, etc.) auxquels elles sont habituées. Les personnes qui parviennent à rester dans leur quartier peuvent, elles aussi, perdre leurs repères. Par exemple, l'offre commerciale et de services change et peut moins répondre aux besoins de ces personnes, notamment à cause de la hausse des loyers, qui peut entraîner le déplacement

ou la fermeture d'organismes communautaires ou de commerces abordables.

Bien que ce phénomène soit encore peu étudié au Québec, l'exemple du canal de Lachine, à Montréal est, lui, bien documenté (Behrens et al., 2023). Ce site post-industriel a été réhabilité par Parcs Canada, au début des années 2000, en parc linéaire favorisant le transport actif. Dans les années qui ont suivi, un phénomène d'embourgeoisement s'est produit dans les quartiers avoisinant les plus rapprochés du centre-ville. De nouvelles constructions ont vu le jour, attirant des populations plus jeunes, souvent sans enfant, plus éduquées et mieux nanties.

L'application d'une lunette « équité » permet d'anticiper des effets non souhaitables du verdissement — qui lui, est, le plus souvent, souhaitable. Une analyse des conditions socioéconomiques de la population du quartier permettrait d'identifier si certaines personnes sont plus susceptibles de subir les effets de l'éco-embourgeoisement. Considérant que ces personnes pourraient devoir composer avec des effets délétères de l'éco-embourgeoisement, des mesures peuvent être mises en place en aval du déploiement du projet de verdissement.

L'éco-embourgeoisement et, surtout, ses conséquences négatives ne sont pas inéluctables. Les municipalités

disposent d'outils réglementaires et d'autres leviers pour verdir tout en protégeant les personnes qui peuvent se trouver en situation de vulnérabilité face à l'éco-embourgeoisement. La publication *Verdissement urbain et embourgeoisement : guide à l'intention des municipalités pour promouvoir un verdissement équitable* (Lapointe, 2024) propose de nombreuses pistes d'actions prometteuses principalement liées à deux enjeux : l'habitation et la participation citoyenne. Voici un aperçu.

PRÉVENIR LES DÉPLACEMENTS EN AGISSANT SUR L'OFFRE DE LOGEMENT

En bonifiant l'offre de logement social tout en protégeant les droits des locataires, les municipalités peuvent éviter les déplacements des personnes à plus faible revenu. Par exemple, une municipalité peut utiliser son droit de préemption pour acquérir des propriétés dans les zones à risque d'embourgeoisement et les céder à des OBNL d'habitation pour créer de nouveaux logements sociaux. Pour protéger les locataires, les municipalités peuvent, par exemple, utiliser une réglementation pour maintenir les usages de maisons de chambres et les résidences pour personnes âgées. Un registre des loyers pourrait contribuer à protéger les locataires d'augmentations



de loyer excessives. Ces actions devraient, dans l'idéal, être prises en amont des projets de verdissement, pour réduire la spéculation immobilière qui peut en découler.

LUTTER CONTRE L'EXCLUSION SOCIALE GRÂCE À LA PARTICIPATION CITOYENNE

La participation citoyenne peut contribuer à prévenir l'exclusion sociale et permettre la réalisation de projets de verdissement qui correspondent vraiment aux besoins et aux préférences de la population du quartier. En outre, la participation citoyenne favorise le sentiment d'appartenance et la cohésion sociale ainsi que l'autonomisation (*empowerment*). Or, mettre en œuvre un processus de consultation n'est pas nécessairement suffisant pour rejoindre les populations en situation de vulnérabilité. Ce sont souvent les mêmes personnes qui participent même si, en théorie, le processus est ouvert à tous et à toutes. Pour joindre les personnes qui n'ont pas souvent voix au chapitre, il faudra aller vers elles, dans leur milieu de vie, et s'adjoindre l'aide d'organismes communautaires qui ont gagné leur confiance (par exemple, des organismes d'entraide et de défense des droits de certains groupes de personnes). Les directions de santé publique peuvent

aussi participer à l'identification des groupes de personnes en situation de vulnérabilité en conjuguant les portraits sociodémographiques de la population à l'expérience terrain qu'elles détiennent, en plus de s'adjoindre celle des organismes communautaires.

UN CHAMP PRIORITAIRE, MAIS EN ÉMERGENCE AU QUÉBEC

Ces préoccupations sont certes cruciales pour assurer une transition juste, mais sont toujours en émergence. C'est pourquoi l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) souhaite outiller les décideurs et les acteurs de la santé publique, de l'environnement et du monde municipal afin que la transition contribue aussi à réduire les inégalités sociales de santé au Québec.

S'il importe d'agir pour lutter contre les changements climatiques et leurs effets, le faire dans un esprit de collaboration et d'équité permettrait que les coûts et les bénéfices de la transition soient équitablement partagés et, surtout, qu'on ne laisse personne derrière.

RÉFÉRENCES

Association canadienne de santé publique (s. d.). *Les déterminants sociaux de la santé*. Repéré à <https://www.cpha.ca/fr/les-determinants-sociaux-de-la-sante>

Behrens, K., Mayneris, F. et Seror, M. (2023). *Répercussions sociodémographiques et retombées fiscales de la réhabilitation et de la mise en valeur du lieu historique national du Canal-de-Lachine* (2023s-25, Cahiers scientifiques, CIRANO.) <https://doi.org/10.54932/Z10A9230>

Chancel, L., Piketty, T., Saez, E. et Zucman, G. (2021). *World Inequality Report 2022*. World Inequality Lab.

Comité consultatif sur les changements climatiques (2022). *L'aménagement du territoire au Québec : Fondamental pour la lutte contre les changements climatiques*. Repéré à <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/organismes-lies/comite-consultatif-changements-climatiques/amenagement-territoire.pdf?1651784206>

Demers-Bouffard, D. (2021). *Les aléas affectés par les changements climatiques : Effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation*. INSPQ. Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/publications/2771>

Human Early Learning partnership (2011). *Universalisme proportionné : synthèse*. UBC. Repéré à http://earlylearning.ubc.ca/media/publications/proportionate_universality_brief_fr_4pgs_-_29apr2013.pdf

Institut national de santé publique du Québec (2018). *Les inégalités sociales de santé au Québec – L'espérance de vie en bonne santé*, sur le site Santéscope. Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/santescope/syntheses/evbs-complet.pdf>

Lapointe, M. (2024). *Verdissement urbain et embourgeoisement : guide à l'intention des municipalités pour promouvoir un verdissement équitable*. INSPQ. Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/publications/3443>

RÉFIPS (2018). *Guide d'implantation de l'approche de la santé dans*





Crédit photo : Eetke, CC BY 2.0, Flickr, BIS

Droit et politique

RÉFÉRENTIEL DE COMPÉTENCES POUR LES CORPS PROFESSIONNELS DE L'ENVIRONNEMENT BÂTI ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques (OQACC)*
Université Laval

L'adaptation aux changements climatiques et la formation continue au Québec

L'Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques (OQACC) et le consortium Ouranos, deux organismes cofinancés par Ressources naturelles Canada (Gouvernement du Canada, 2024) et le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (Gouvernement du Québec, 2020), ont choisi de travailler de concert à la création d'une formation en adaptation aux changements climatiques s'adressant à la fois aux spécialistes du génie, de l'urbanisme et de l'architecture. Ces professionnels et professionnelles ont accès à 5 modules totalisant 15 heures de formation en ligne asynchrone et dont l'objectif premier est d'accroître suffisamment les compétences, les croyances et les connaissances pour qu'ils adoptent des comportements favorisant l'adaptation de l'environnement bâti et du territoire aux changements climatiques.

* Liste des auteurs par ordre de priorité. Sauf mention, tous les auteurs sont membres de l'Université Laval.
Myriam Roy-Lelièvre, Pierre Valois, Laurence Poulin, Sandrine Tremblay-Houde, Adrien Cantat, Nishodi Indiketi, François Anctil, Geneviève Cloutier et Catherine Dubois (Société québécoise des infrastructures)



Figure 1. Étapes de réalisation du portrait des besoins des professionnels et professionnelles du génie, de l'urbanisme et de l'architecture.

Pour ce faire, les responsables du projet devaient élaborer cette formation en prenant appui sur les besoins précis des spécialistes des domaines visés. À cet effet et dans le cadre d'une démarche donnant lieu aux quatre étapes générales décrites à la figure 1, l'équipe a d'abord travaillé à délimiter le portrait général des besoins principaux de ces professionnelles et professionnels en la matière. Une fois les grands paramètres identifiés, l'équipe a conçu un référentiel de compétences susceptible de répondre à ces besoins et qui fait l'objet du présent article.

Notons au passage que tant la démarche suivie pour concevoir ce référentiel que les grandes composantes de son contenu sont transposables à tout projet dont l'un des objectifs serait de favoriser, au sein d'une profession, l'adoption de comportements encourageant une adaptation aux changements climatiques.

La notion de compétence

Le caractère générique de la compétence fait qu'elle doit être transposable dans plusieurs contextes ou situations (Tardif, 2006). Pour parvenir à la traduire en objectifs d'apprentissage, il faut l'opérationnaliser, c'est-à-dire déterminer quelles sont les ressources à mobiliser dans le cadre de la formation à créer et identifier les types de tâches que les personnes apprenantes doivent être en mesure d'effectuer au terme de la formation. La pyramide de Miller (1990) qu'illustre la figure ci-dessous décrit des niveaux potentiels de complexité d'une compétence. L'axe latéral de la pyramide illustre le fait que le développement d'une compétence passe graduellement de connaissances très spécifiques à des habiletés plus générales pour aboutir finalement à des attitudes et des savoir-être. Au bas de la pyramide se trouvent les aspects plus strictement cognitifs de la compétence (des connaissances et des

savoir-faire plutôt techniques). Les niveaux plus élevés de la pyramide sont le siège des composantes plus dynamiques et comportementales de la compétence que sont les stratégies et les moyens mis en œuvre pour parvenir à atteindre les objectifs finaux et plus complexes de la compétence.

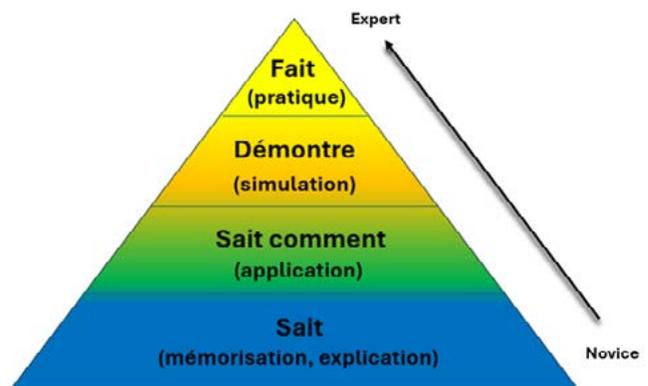


Figure 2. Adaptation de la pyramide de Miller (1990)

Un référentiel de compétences en adaptation aux changements climatiques

LA DÉMARCHE UTILISÉE

Le référentiel proposé a été réalisé par un partenariat regroupant des spécialistes de l'OQACC et du consortium Ouranos, ainsi que trois personnes spécialisées dans les enjeux climatiques : une professeure (aménagement du territoire) et un professeur (génie civil et génie des eaux) de l'Université Laval ainsi qu'une conseillère en

développement durable de la Société québécoise des infrastructures (architecture). À cette équipe se sont greffés des représentants des trois ordres professionnels ciblés par la formation, à savoir l'Ordre des ingénieurs du Québec (OIQ), l'Ordre des urbanistes du Québec (OUQ) et l'Ordre des architectes du Québec (OAQ) (Valois et al., 2021).

La démarche générale adoptée par le groupe de travail pour élaborer ce référentiel a donné lieu aux sept étapes et opérations générales suivantes, qui ont été réalisées de 2019 à 2023 :

1. le groupe s'est d'abord efforcé de dresser une liste initiale exhaustive des thèmes de formation en se basant sur les recommandations de trois spécialistes en adaptation aux changements climatiques issus des milieux universitaires et gouvernementaux ;
2. pour juger de l'importance et de l'exhaustivité des thèmes proposés, il a ensuite fait appel à un échantillon de 34 individus faisant partie de la population ciblée (professionnels et professionnelles du génie, de l'architecture et de l'urbanisme) ;
3. en prenant appui sur les référentiels de compétences propres à chacun des trois ordres professionnels en cause, deux professionnelles de recherche de l'OQACC ont énoncé une liste de compétences s'appliquant à chacun des ordres en particulier ;
4. trois des quatre spécialistes invités à dresser la liste initiale des thèmes potentiels de formation à l'étape 1 ont été chargés de valider la liste des compétences définies ;
5. une équipe de six personnes formée de membres issus de l'OQACC et d'Ouranos a procédé à la révision des trois listes de compétences retenues pour s'assurer que la terminologie utilisée convenait à chacune des professions et juger si, de façon réaliste, les compétences pouvaient être effectivement développées dans le cadre d'une formation de durée limitée ;
6. trois représentants et représentantes des ordres professionnels concernés ont été invités à valider les listes de compétences constituées ;
7. l'équipe de recherche a colligé l'ensemble des informations et est parvenue à identifier une compétence générale et quatre compétences connexes.

LE RÉFÉRENTIEL DE COMPÉTENCES

Le référentiel de compétences proposé est composé d'une compétence générale et de quatre compétences connexes. Quelques exemples d'apprentissages associés à chacune des compétences permettent d'en éclairer la nature et de les détailler. Ces exemples respectent

le caractère multiniveau de la complexité d'une compétence considérée plus haut, à savoir que les premiers apprentissages associés à une compétence sont essentiellement des connaissances et habiletés précises alors que les apprentissages supérieurs relèvent plutôt du domaine des attitudes ou des savoir-être.

Au centre du référentiel, la compétence générale regroupe tout ce qui se rattache à l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques à une pratique professionnelle. Pour qu'un individu soit effectivement en mesure d'intégrer l'adaptation aux changements climatiques à sa pratique professionnelle, il se doit d'avoir développé, au moins partiellement, une ou des compétences connexes associées à la compétence générale dans le référentiel. Ce dernier a d'ailleurs été conçu pour qu'il y ait une certaine complémentarité entre les compétences connexes pour pouvoir considérer que la compétence générale a été globalement développée. On notera au passage que les savoirs climatiques entourent la compétence générale sans pour autant être rattachés à aucune des quatre compétences connexes. Ces savoirs correspondent à des connaissances de base qu'un professionnel doit acquérir pour parvenir à développer les compétences du référentiel. Ils constituent en quelque sorte les assises de l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans une pratique professionnelle. Au nombre de ces savoirs climatiques de base se trouvent la distinction entre les concepts d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques, les explications sur des concepts tels que les gaz à effet de serre, l'albédo et la variabilité naturelle.



Autour de la compétence générale, une première compétence connexe vise à ce que le spécialiste soit capable de faire appel aux diverses plateformes de projection climatique. Les apprentissages reliés à cette compétence débutent avec la description des plateformes de projection du climat et la question de la sélection des variables adéquates relatives à la production de projections climatiques. Ces variables peuvent référer à un horizon de temps, à un modèle climatique ou à un scénario climatique. Par la suite, les apprentissages à réaliser se complexifient lorsqu'il est question d'évaluer les risques engendrés par les changements climatiques dans le cadre d'un projet en particulier et, finalement, de justifier le choix des projections climatiques considérées les plus appropriées dans le cadre d'un cas particulier.

Une seconde compétence connexe met davantage l'accent sur la capacité comme telle à mettre en œuvre une démarche d'adaptation aux changements climatiques. Pour développer cette compétence, les personnes apprenantes doivent d'abord apprendre à établir des liens entre la protection du public, les milieux de vie et certains concepts d'adaptation aux changements climatiques, comme la vulnérabilité, l'exposition au risque et la capacité d'adaptation des gens. Les apprentissages portent par la suite sur la mise en pratique des étapes d'une démarche d'adaptation, soit la reconnaissance d'un enjeu, comment s'y préparer en analysant les options possibles, la mise en place de mesures d'adaptation aux changements climatiques et, enfin, l'ajustement selon les résultats obtenus. Le professionnel ou la

professionnelle devrait être apte à réaliser une analyse de risques associés aux changements climatiques et à recommander des actions ou des mesures d'adaptation appropriées. Implicitement, cette compétence implique la capacité de sélectionner les ressources et de faire appel aux programmes d'appui offerts pour la réalisation de projets d'adaptation.

La troisième compétence du référentiel amène le ou la spécialiste à concevoir des projets résilients aux changements climatiques. À cette fin, les apprentissages portent d'abord sur la capacité d'identifier divers types de mesures d'adaptation, d'avoir conscience des limites qui leur sont propres, de déterminer des champs d'application auxquels ils se prêtent et leurs inconvénients respectifs. À cette gamme de savoirs s'ajoute la capacité pour le professionnel ou la professionnelle d'identifier les mesures d'adaptation non structurelles, comme les lois, les règlements, les codes ou les normes s'appliquant à des projets particuliers. Le spécialiste intègre et porte à un niveau supérieur la maîtrise de cette compétence en apprenant à implanter des mesures d'adaptation structurelles, c'est-à-dire des infrastructures grises, vertes ou naturelles dans des projets et en cherchant à instaurer des mesures d'adaptation qui soient innovantes. C'est à cette compétence que se raccroche la capacité d'agencer des mesures d'adaptation appropriées à l'environnement bâti et au territoire existant.

La quatrième et dernière compétence du référentiel est, quant à elle, axée sur tout ce qui se rapporte à la collaboration avec les diverses parties prenantes d'un projet pour



Crédit photo : Gattton Academy and Clinton Lewis_ CC BY-NC-ND 2.0_ Flickr

étence

en optimiser l'effet potentiel d'adaptation. Les apprentissages reliés à cette compétence s'intéressent d'abord à la capacité du spécialiste de situer le rôle plus précis de sa profession dans le domaine de l'adaptation aux changements climatiques. Le volet plus pratique de cette compétence porte sur des apprentissages associés à l'élaboration de mesures conjointes d'adaptation définies avec diverses spécialités professionnelles, à la structuration de projets d'adaptation impliquant les différentes parties prenantes concernées, dont la communauté citoyenne, les personnes élues, la clientèle ou les gestionnaires et, ultimement, à rallier les parties prenantes à l'idée de la nécessité de devoir s'adapter aux changements climatiques.

LA TRANSPPOSITION DU RÉFÉRENTIEL

Comme il a été souligné, le référentiel de compétences a servi de base à la création d'une formation. S'il est prétentieux d'affirmer que cette formation mène au développement complet des quatre compétences décrites, il est néanmoins assuré qu'elle contribue à leur développement.

Les paragraphes qui suivent présentent une description succincte des contenus des cinq modules de formation :

- **Module 1 (Savoirs climatiques) :** Ce module constitue en quelque sorte une introduction générale sur le sujet. Il permet d'acquérir ou de valider les principales notions de base associées aux changements climatiques, dont les liens entre les concentrations de gaz à effet de serre et les changements climatiques, les changements observés dans le

monde en général, au Canada et au Québec en particulier ainsi que leurs impacts potentiels sur les pratiques professionnelles ciblées. Cette vue générale devrait faciliter l'approfondissement de certains éléments associés par la suite à ces notions.

- **Module 2 (Compétence 1) :** Ce module vise à favoriser la compréhension de la modélisation climatique, l'utilisation des données climatiques de façon efficace dans la pratique professionnelle de l'apprenant ou de l'apprenante de même qu'une interprétation juste des changements attendus en fonction de l'analyse de certaines données climatiques.
- **Module 3 (Compétences 2 et 4) :** Le troisième module met en lumière la complexité de certains termes de la science de l'adaptation et précise le sens de certains termes parfois confondus les uns les autres. Il s'intéresse en outre à présenter des solutions potentielles pour surmonter certains défis rencontrés au moment d'appliquer des mesures d'adaptation, comme l'absence de données appropriées, le manque d'expertise pertinente, les coûts élevés, les faibles bénéfices à court terme ou encore un échéancier serré.
- **Module 4 (Compétences 2 et 4) :** Ce module a pour fonction première de décrire en détail les diverses étapes d'une démarche d'adaptation ainsi que les outils qui s'y rattachent. Ce ne sont pas les mêmes outils qui sont présentés aux professionnels du génie, de l'architecture et de l'urbanisme. Cette différenciation des apprentissages vise à approfondir les compétences en lien avec chacune des professions. De façon indirecte, cela est également susceptible de contribuer à une meilleure collaboration interdisciplinaire, chaque professionnel jouant un rôle différent, mais

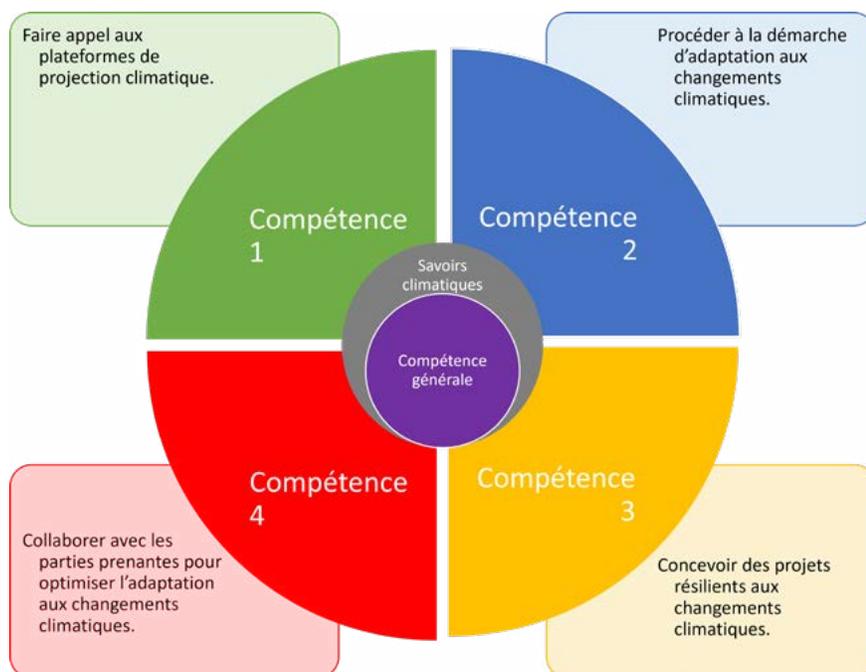


Figure 3. Schéma du référentiel de compétences.

complémentaire à celui des autres dans l'avancement d'un projet, ainsi qu'une meilleure prise en compte des infrastructures, des aménagements et des rapports sociaux existants.

- **Module 5 (Compétence 3 et 4) :** Ce module présente des mesures concrètes en réponse aux enjeux d'adaptation, à savoir des mesures souples et non structurelles, des mesures structurelles et des mesures technologiques. Comme dans le cas du module 4, les mesures présentées varient en fonction des professions en cause et, encore ici, contribuent au fait que leur éventuelle collaboration s'en trouve renforcée, de même que la prise en compte du contexte social et économique.

LA TRANSPOSITION DU RÉFÉRENTIEL À D'AUTRES PROFESSIONS OU INDIVIDUS

Comme il a déjà été souligné, le référentiel de compétences a pour avantage d'être transposable à des initiatives de formation s'adressant à diverses professions. À titre d'exemple, des ingénieurs chimiques ou autres pourraient réinvestir le référentiel en y intégrant graduellement l'adaptation aux changements climatiques. Songeons simplement au fait que les plateformes de projections climatiques pourraient leur être utiles pour évaluer notamment des conditions futures de températures annuelles extrêmes, ainsi que les aider à concevoir des procédés qui contribueraient éventuellement à amoindrir une plus grande fréquence d'épisodes de fortes chaleurs ou de froids intenses.

De la même façon, il est tout à fait imaginable que des médecins de la santé publique fassent appel à ces plateformes de projection pour identifier les zones d'un territoire où les changements climatiques risquent le plus de toucher la population et, par la suite, en collaboration avec les élus locaux, les directions régionales de santé publique et d'autres types de professionnels et professionnelles (urbanistes, architectes, etc.), recommander la création ou la mise en place d'îlots de fraîcheur pour atténuer les conséquences potentielles d'épisodes de chaleur extrême au sein des agglomérations touchées.

Le référentiel proposé peut ainsi devenir un outil pratique d'intervention, notamment pour concevoir un guide de perfectionnement professionnel ou une formation visant à intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans la pratique de diverses professions québécoises.

Enfin, ce référentiel de compétences est certes perfectible. Il ne fait pas de doute qu'il devra être révisé au fil du temps, en raison de l'avancement des connaissances et des technologies dans le domaine de l'adaptation aux changements climatiques. Il est également souhaité

que des discussions émergent entre chercheurs et chercheuses sur leurs conceptions d'un tel référentiel.

Nous tenons à remercier Jean-Paul Voyer pour ses commentaires pertinents et le consortium Ouranos pour sa rigoureuse collaboration.

RÉFÉRENCES

Gouvernement du Canada (2024). *Programme Renforcer la capacité et l'expertise régionales en matière d'adaptation.* Repéré à <https://ressources-naturelles.canada.ca/changements-climatiques/programme-renforcer-la-capacite-et-lexpertise-regionales-en-matiere-dadaptation/21325>

Gouvernement du Québec (2020). *Plan pour une économie verte 2030 : Politique-cadre d'électrification et de lutte contre les changements climatiques.* Repéré à <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-economie-verte-2030.pdf?1605540555>

Miller, G. E. (1990). The assessment of clinical skills/competence/performance. *Academic Medicine*, 65(9), p. 63-67.

Tardif, J. (2006). *L'évaluation des compétences. Documenter le parcours de développement.* Chenelière Éducation.

Valois, P., Poulin, L. Roy-Lelièvre, M. et Tremblay-Houde, S. (2021). *Référentiels de compétences : les professionnels et l'adaptation aux changements climatiques au Québec.* Université Laval. Rapport à l'intention de Ressources naturelles Canada et du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs.





Crédit photo : White House

Droit et politique

GOUVERNANCE DE LA DÉCARBONISATION DES GRANDS ÉVÉNEMENTS

Diana Carolina Chia

Spécialiste en RSE et management sportif
École des sciences de la gestion
Université du Québec à Montréal

Vers une décarbonisation des grands événements mondiaux

La crise climatique actuelle, largement reconnue par de multiples rapports et sources scientifiques, exige une action urgente et une transition écologique à grande échelle. La priorité absolue est désormais la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), mobilisant tous les secteurs de la société vers des mesures mondiales d'atténuation. Le concept de budget carbone, présenté au Sommet de Rio à la fin des années 1980, a marqué un tournant décisif dans notre approche visant à gérer les émissions (Kabbej et Tasse, 2021). Ce nouveau paradigme a suscité une prise de conscience quant à la nécessité de quantifier et de contrôler ces émissions pour limiter les conséquences du changement climatique. Ainsi, la décarbonisation et les mécanismes associés attirent l'attention des organisations multilatérales, qui contribuent au développement de cadres de gestion environnementale ainsi que d'outils de calcul précisément destinés à évaluer les émissions de GES industrielles (Cavagnaro, Postma et Neese, 2012).

Dans le contexte des mégaévénements mondiaux, qu'ils soient sportifs ou culturels, cette orientation reste cruciale. Ces événements, du fait de leur popularité croissante et de leur envergure grandissante, suscitent des réflexions et alimentent des débats internationaux quant à leurs contrecoups environnementaux (Collins, Jones et Munday, 2009 ; Cavagnaro, Postma et Neese, 2012). Bien que ces événements varient en taille et en portée, plusieurs enjeux communs ressortent, notamment dans les secteurs des transports, de la gestion des déchets, de la consommation de ressources, de l'alimentation et des communications. En tant que sources majeures d'émissions de carbone à l'échelle mondiale, ces rassemblements laissent une empreinte écologique considérable, contribuant potentiellement à des millions de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère. Par conséquent, une analyse approfondie de l'empreinte carbone des grands événements est essentielle pour guider le secteur événementiel vers une action climatique plus efficace.

Cadres environnementaux dans le secteur de l'événementiel et bilan carbone

Afin d'encourager la réduction des émissions et d'accroître l'intégration de principes de durabilité, divers cadres de gestion environnementale émergent dans la gouvernance climatique mondiale.

L'Organisation internationale de normalisation (ISO) joue un rôle capital en matière de gestion environnementale en établissant des normes et des standards internationaux applicables à tous les secteurs. Parmi ces normes, la certification ISO 20121 est largement reconnue comme étant le cadre de référence pour la durabilité des événements, offrant un modèle de gestion applicable à toutes les échelles. Au Québec, le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) joue un rôle similaire en proposant la norme BNQ 9700-253 pour les événements écoresponsables. Les grands comités internationaux fournissent également des cadres de référence, incitant les comités organisateurs locaux à intégrer des directives environnementales dans la planification et la gestion des événements (Ross, Leopkey et Mercado, 2019).

Dans l'objectif d'établir l'empreinte carbone, ces cadres de gestion s'appuient sur des outils de calcul élaborés par des organismes de normalisation spécialisés dans les méthodologies de comptabilisation des émissions de GES, exprimées en tonnes d'équivalent dioxyde de carbone (éq. CO₂). La méthode la plus couramment

utilisée est le GHG Protocol, un cadre de référence international pour mesurer, comptabiliser, suivre et présenter adéquatement l'inventaire des émissions (GHG Protocol, 2020). Ces outils visent à améliorer la comparabilité des informations extrafinancières à l'échelle mondiale, fournissant des données cruciales pour développer des stratégies d'atténuation et d'amélioration continue (Bhatia et Ranganathan, 2011 ; Cavagnaro, Postma et Neese, 2012).

Le bilan GES, conforme aux trois champs d'application du GHG Protocol (2004), évalue l'impact environnemental des activités en considérant différentes sources d'émissions. Les émissions directes (Scope 1), provenant de sources détenues ou contrôlées par l'organisation, sont obligatoirement divulguées. Les émissions indirectes liées à l'électricité achetée (Scope 2) sont également incluses. En revanche, les émissions indirectes (Scope 3), provenant des activités en amont et en aval de la chaîne de valeur, échappent souvent à l'influence directe de l'organisation principale et ne sont pas toujours intégrées dans les rapports environnementaux.

L'évaluation et la compensation des émissions

La gestion environnementale des grands événements repose en grande partie sur l'utilisation du bilan GES pour évaluer leurs contrecoups et pour élaborer des plans d'action adaptés à chaque contexte. Toutefois, il reste difficile d'obtenir un portrait complet de l'empreinte carbone dans le secteur événementiel en raison de l'absence d'une méthode précise permettant de mesurer pleinement l'étendue des conséquences environnementales (Collins, Jones et Munday, 2009).

Certaines organisations environnementales, à l'échelle nationale ou régionale, encouragent les comités locaux à calculer et à compenser leurs émissions, souvent selon un système de pointage basé sur divers critères de responsabilité environnementale. Les normes observées dans cet article comprennent des exigences précises telles que la sélection des fournisseurs, la gestion des matières résiduelles, et plus particulièrement les moyens de transport utilisés par les personnes participantes. Les comités peuvent obtenir des points en fonction de leur gestion des émissions de GES, allant de la simple déclaration à la double compensation des émissions générées par les déplacements. Bien que ces cadres puissent inciter à de meilleures pratiques, ils ne sont pas toujours adaptés au contexte des grands événements internationaux, dans lesquels les déplacements aériens jouent un rôle important (McGregor et al., 2004).

La diversité des parties prenantes et la complexité des déplacements internationaux compliquent la gestion des émissions par les comités locaux. Ainsi, même avec des méthodes de mesure améliorées, le véritable défi reste la décarbonisation des secteurs clés, comme l'aviation, et la coordination des efforts des multiples acteurs concernés pour atteindre des objectifs ambitieux de réduction des émissions.

Comprendre les frontières organisationnelles et opérationnelles dans le contexte des grands événements

Les initiatives du GHG Protocol fournissent des lignes directrices pour aider les entreprises à définir les frontières des émissions en fonction de leur contexte légal et organisationnel (GHG, 2004). Selon ces normes, les compagnies ayant des activités conjointes avec des entités externes doivent décider quelle approche utiliser pour comptabiliser les émissions et harmoniser cette approche à tous les niveaux. La comptabilité des émissions repose principalement sur deux principes, notamment la part d'équité dans les activités et le contrôle opérationnel ou financier.

Dans le cadre des grands événements, cette dernière dynamique est illustrée par la mise en place de contrats d'accueil précis, comportant un ensemble d'exigences essentielles à la réussite des mégaévénements, couvrant à la fois des aspects administratifs et opérationnels (Ross, Leopkey et Mercado, 2019). Sur le plan financier, ces contrats définissent des mécanismes de partage des recettes entre les parties concernées. Les comités locaux peuvent conserver certaines recettes brutes, tandis que l'entité détentrice des droits conserve une part des revenus nets des programmes liés aux produits et aux services.

Ainsi, le contrôle exercé influence considérablement les frontières organisationnelles, définissant précisément quelles activités sont incluses dans le bilan des émissions, ce qui comprend toutes les activités directement contrôlées par l'entité organisatrice, comme les installations et les véhicules de service, ainsi que les émissions directes des combustibles consommés. Cependant, pour une évaluation exhaustive de l'empreinte carbone d'un événement, il est également essentiel de prendre en compte les frontières opérationnelles. Ces dernières englobent les activités indirectement influencées par l'organisation, par exemple les choix des fournisseurs et les transports des personnes participantes, qui contribuent considérablement aux émissions de GES. En somme, bien que les frontières organisationnelles soient cruciales pour mesurer et gérer les émissions que l'entité peut directement contrôler, les frontières opérationnelles permettent de tenir compte des conséquences indirectes et offrent une vision complète de l'empreinte carbone d'un événement.



Le cas des championnats du monde de triathlon

Dans l'organisation des championnats du monde de triathlon, World Triathlon intègre les principes du GHG Protocol dans sa certification environnementale pour guider les comités locaux dans le calcul de l'empreinte carbone. Toutefois, malgré les directives de ce document, qui sert de cadre pour un système de certification de durabilité, la délimitation des frontières demeure une source de confusion persistante. L'évaluation des trois champs d'application (Scope 1, 2 et 3) lors des championnats de 2022 à Montréal souligne cette ambiguïté, en particulier pour la catégorie Scope 3. En effet, la comptabilisation de ces émissions est intrinsèquement liée aux activités des autres parties prenantes concernées, ce qui est un fait inhérent aux émissions indirectes.

La figure 1, tirée de l'étude de fin de maîtrise sur les championnats du monde de triathlon 2022 (Chia, D.C., 2022), met en évidence les émissions des Scopes 1, 2 et 3 selon les trois principales parties prenantes associées à cet événement. Les émissions liées aux déplacements internationaux des participants et participantes comptabilisent 1841,39 tonnes d'éq. CO₂, soit 97 % des émissions totales de l'événement. Bien que ces émissions soient considérées comme indirectes, elles peuvent être attribuées aux comités locaux pour être compensées. Comme évoqué précédemment, les cadres environnementaux à l'échelle régionale encouragent souvent les comités événementiels à compenser les émissions des transports des participants

et participantes pour obtenir de meilleurs scores de certification. Cette pression supplémentaire peut créer une charge disproportionnée pour les comités locaux, surtout lors de grands événements, où une part importante des émissions provient de personnes voyageant de loin.

Il est essentiel de souligner que la principale responsabilité incombe à la source d'émissions elle-même, en particulier aux compagnies aériennes, plutôt qu'à la capacité individuelle de compenser ces émissions de manière volontaire. En ce sens, l'engagement de la fédération internationale et des comités locaux est fondamental pour garantir une gestion des déplacements plus efficace et cohérente. Néanmoins, il est impératif d'explorer des stratégies supplémentaires pour renforcer ces efforts, notamment l'intégration de technologies de pointe visant à réduire l'empreinte carbone des transports aériens, ainsi que l'élaboration de politiques incitatives pour promouvoir l'innovation dans les carburants durables.

En parallèle, il est crucial de promouvoir activement des stratégies de réduction en amont plutôt que de dépendre exclusivement de la compensation. Encourager l'adoption de modes de transport plus durables comme le train ou le covoiturage, réduire la dépendance excessive au transport aérien dans l'organisation des grands événements et optimiser la logistique des itinéraires sont autant de mesures complémentaires à explorer. En favorisant ces approches intégrées, nous pouvons progresser vers une réduction plus importante et durable des émissions de GES liées aux transports, tout en nous penchant sur les défis précisément associés à l'aviation, tels que ses effets non-CO₂, comme les traînées de condensation.

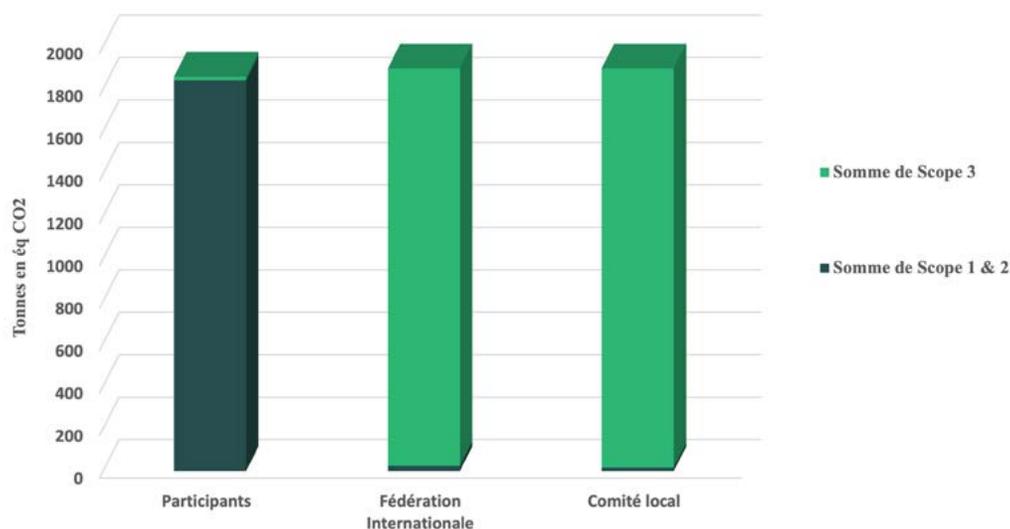


Figure 1. Représentation des émissions issues des Scopes 1, 2 et 3 selon les trois groupes d'émetteurs. Source : Chia, D.C. (2022, p. 51)

Surmonter les obstacles pour une décarbonisation réussie

Pour parvenir à une véritable atténuation des émissions, il est primordial de reconnaître les défis posés par le Scope 3, qui exerce une influence considérable sur l'inventaire GES global des grands événements. Face à cette réalité, une modernisation des cadres de gestion environnementaux devrait s'imposer afin d'apporter une clarification des spécificités des frontières dans le contexte des événements d'envergure. Il est essentiel d'intégrer une approche équilibrée qui prend en compte ces deux types de frontières pour une gestion environnementale efficace des grands événements. Il pourrait être judicieux d'établir une délimitation formelle des frontières opérationnelles lors de l'établissement des accords contractuels entre les principales parties prenantes, ce qui permettrait de mieux encadrer et gérer les émissions indirectes associées.

Cependant, il est important de reconnaître que la résolution des défis du Scope 3 ne suffit pas à réduire de manière importante les émissions de GES, notamment celles du transport aérien, qui demeure un contributeur majeur aux émissions des grands événements. La gestion efficace de ces émissions nécessite une approche intégrée qui englobe également la promotion de modes de transport alternatifs durables, la mise en place de politiques incitatives pour réduire les émissions du secteur de l'aviation et la sensibilisation des participants et participantes à l'impact environnemental de leurs déplacements. Pour atteindre la neutralité carbone des événements, il est essentiel de promouvoir des dynamiques relationnelles qui favorisent des systèmes collaboratifs et la co-création de pratiques durables au

sein du secteur. Une intensification de la collaboration internationale est nécessaire pour harmoniser les normes et les pratiques environnementales à l'échelle mondiale, renforçant ainsi les efforts collectifs vers un avenir plus durable pour les grands événements.

RÉFÉRENCES

- Bhatia, P. et Ranganathan, J. (2011).** GHG Protocol: The Gold Standard for Accounting for Greenhouse Gas Emission, *Blog Post*. Repéré à <https://ghgprotocol.org/blog/ghg-protocol-gold-standard-accounting-greenhouse-gas-emissions>
- Cavagnaro, E., Postma, A. et Neese, T. (2012).** Sustainability and the events industry. *Events management: An international approach*, p. 199-210.
- Collins, A., Jones, C. et Munday, M. (2009).** Assessing the environmental impacts of mega sporting events: two options? *Tourism Management*, 30(6), p. 828-837. Repéré à <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2008.12.006>
- Chia, D.C. (2022).** *Gouvernance de la décarbonisation des grands événements : le cas des championnats du monde de triathlon*, Université du Québec à Montréal.
- Greenhouse Gas Protocol (2004).** *A Corporate Accounting and Reporting Standard Revised Edition*. World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. Repéré à <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>
- Greenhouse Gas Protocol (2020).** *About the Corporate Standard*. Repéré à <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>
- Kabbej, S. et Tasse, J. (2021).** De Rio à Glasgow : l'évolution de la coopération internationale face aux changements climatiques. *Revue internationale et stratégique*, (3), p. 107-117
- McGregor, P. G., Swales, J. K. et Turner, K. (2004).** The impact of the Scottish economy on the local environment: an alternative to the ecological footprint? *Quarterly Economic Commentary*, 29(1), p. 29-34.
- Ross, W. J., Leopkey, B. et Mercado, H. U. (2019).** Governance of Olympic environmental stakeholders. *Journal of global sport Management*, 4(4), p. 331-350.





Le Climatoscope, bien plus qu'une revue

Des événements de vulgarisation gratuits et ouverts au public

- Bar des sciences
- Dialogues pour le climat
- Conférences
- Webinaires

Des outils de compréhension des enjeux climatiques pour tous les degrés d'intérêt

- Chroniques jeunesse
- Climactualité
- École d'été
- Vidéos



Suivez nos événements
et nos publications sur
notre page Facebook

C *Le Climatoscope*

CLIMATOSCOPE.CA

Les Jeunes pousses

Les travaux de recherche réalisés par les étudiants et les étudiantes à la maîtrise et au doctorat sont des éléments essentiels à la production des données scientifiques des universités. Sous l'encadrement de leurs directeurs et directrices de recherche, les membres de la communauté étudiante se forment aux méthodes de recherche documentaire, à la rigueur de la conception des expériences et à l'exactitude de l'analyse des données, tout en participant à l'émergence de nouvelles connaissances. Ces pages sont dédiées à la présentation de travaux de recherche de la relève de la communauté scientifique, les « jeunes pousses ».

LÂCHE TON CELL!

Recherche-création sur notre usage du téléphone intelligent

Célia Gremillet, Université du Québec à Montréal

Depuis la révolution industrielle, le progrès technique a été érigé comme chemin à suivre à tout prix, et la révolution numérique des années 2000 a totalement épousé cette idée. Or, les technologies du numérique, souvent rendues invisibles par la dématérialisation des données échangées, ont une empreinte carbone et environnementale forte. Face à ces dérives sociales et environnementales, le mouvement des *low-tech*, dans la lignée technocritique des années 1970, réémerge avec les réflexions sur la sobriété.

Ce projet de recherche-création souhaite questionner la réalité d'une sobriété technologique sur les personnes usagères de téléphones intelligents. Une pellicule de sobriété numérique a été mise au point, qui permet de flouter l'écran et ainsi gêner l'usage du téléphone, créant une barrière entre la personne usagère et son objet *high-tech*. Les participants et participantes utilisaient leur téléphone avec cette barrière et faisaient part de leurs expériences et ressentis dans un journal de bord. Les données ont été analysées selon quatre variables : la diminution de l'usage, la stimulation de la réflexivité des personnes usagères, la mesure de la désirabilité du dispositif et enfin son utilisabilité.

Pour lire le document :

Célia Gremillet (2023). *Low-Tech et sobriété numérique : une étude d'usages du smartphone* [mémoire en design de l'environnement, Université du Québec à Montréal]. Archipel, 112 pages.



Téléphone entravé. Crédit Célia Gremillet 2023

IL PLEUT, IL FAIT BEAU TEMPS, C'EST LA FÊTE AUX PAYSANS

Quelles conditions pour l'agriculture au Québec en 2050 ?

Alizée Vautrin, HEC Montréal

Le secteur agricole et les rendements de production dépendent étroitement des conditions météorologiques, qui influencent la durée de croissance et de maturation des plantes, mais aussi la présence plus ou moins grande de ravageurs (champignons, bactéries, virus, animaux, plantes...). Au Québec, la production agricole est limitée par un climat froid sur plusieurs mois, mais les prévisions climatiques pour 2050 indiquent que toutes les régions de la province devraient enregistrer une hausse des températures moyennes annuelles de 2,7 à 2,9 °C, ainsi qu'une augmentation des précipitations hivernales, ce qui pourrait être positif pour ce secteur.

Ce document présente les données de la littérature des effets des changements climatiques sur la production et les rendements de cinq cultures végétales dans le monde : l'avoine, le blé, le maïs-grain, l'orge et le soya. L'analyse des données pour le Québec montre qu'à l'horizon 2050, la conjonction de volumes de production plus importants et de prix plus élevés des produits agricoles sur les marchés mondiaux pourrait être bénéfique à la production agricole au pays.

Alizée Vautrin (2020). *Les impacts économiques des changements climatiques sur l'agriculture québécoise à l'horizon 2050* [mémoire de maîtrise en gestion, HEC Montréal]. Réflexion, 89 pages.



Credit photo : Franck Michel, CC BY 2.0, Flickr

LE SOLEIL BRILLE POUR TOUT LE MONDE

Développer l'énergie solaire dans les zones urbaines de l'Afrique subsaharienne

Tabara Fall, Université de Sherbrooke

Une urbanisation des populations est observée sur l'ensemble de la planète, majoritairement motivée par de meilleures conditions de vie avec l'accès à l'emploi, aux soins de santé, aux structures d'éducation et/ou à l'eau potable. En Afrique subsaharienne (ASS), zone à l'origine très rurale, la population urbaine est passée de 15 % à 41 % de 1960 à 2020, soit à plus de 419 millions de personnes qui vivent en ville. Un défi majeur de cette urbanisation rapide est l'accès à l'énergie pour garantir le développement économique et social des populations.

Cet essai évalue le développement de l'énergie solaire en ASS comme réponse au défi énergétique de l'urbanisation, dans une zone où le potentiel solaire est grand, mais où la production énergétique demeure très dépendante des combustibles fossiles, le plus souvent importés. Une analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces (FFOM) est appliquée à une étude de cas pour trois villes :

Niamey (capitale du Niger), Ekurhuleni (Afrique du Sud) et Nairobi (capitale du Kenya). Des recommandations sont émises pour les différents acteurs au développement de l'énergie solaire dans ces régions.

Pour lire le document :

Tabara Fall (2023). *Le développement de l'énergie solaire en Afrique subsaharienne : une réponse réaliste au défi énergétique de l'urbanisation ?* [essai en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS, 82 pages.

L'ÉPICERIE FERME À QUELLE HEURE?

Effets du réchauffement sur la disponibilité d'insectes pour les oiseaux en Arctique

Aurélié Chagnon-Lafortune, Université du Québec à Rimouski

Les arthropodes (qui comprennent les insectes, les araignées et les « mille-pattes ») sont une ressource essentielle à la reproduction des oiseaux insectivores, qui en nourrissent leurs oisillons et leur permettent ainsi d'atteindre l'âge adulte. Ceci est encore plus vrai dans l'Arctique, où les ressources sont globalement plus limitées et où la synchronisation entre l'arrivée à maturité des populations d'arthropodes et celle de l'éclosion des œufs des oiseaux est cruciale pour la survie de ces derniers. En effet, le réchauffement climatique observé en Arctique pourrait conduire à une désynchronisation trophique entre les oiseaux et leurs proies.

Cette étude évalue les effets de la température sur la disponibilité (date d'apparition et quantité formée) des arthropodes pour les oiseaux de l'Arctique à partir de données provenant de 19 sites d'étude distribués le long

d'un large gradient de température (du subarctique à l'extrême Haut-Arctique). Cette étude suggère que les risques de désynchronisation trophique causée par le réchauffement pourraient être moindres que ceux mentionnés dans le cadre d'études antérieures pour les oiseaux du Haut-Arctique, qui se nourrissent d'une grande diversité d'arthropodes.

Pour lire le document :

Aurélié Chagnon-Lafortune (2020). [*Étude à large échelle spatiale pour évaluer l'effet de la température sur la disponibilité des arthropodes pour les oiseaux insectivores en Arctique*](#) [mémoire de maîtrise en gestion de la faune et de ses habitats, Université du Québec à Rimouski]. Sémaphore, 73 p.

CE N'EST PAS LA MER QUI FAIT LES VAGUES, C'EST LE VENT

Analyse de l'implantation des éoliennes en mer

Brice Guerrive, Université de Sherbrooke

L'énergie éolienne fait partie des sources d'énergie renouvelable permettant de diminuer les émissions de gaz à effet de serre de ce secteur, notamment dans la production d'électricité. L'installation d'éoliennes sur le territoire est aujourd'hui un secteur mature et en expansion, mais l'implantation d'éoliennes en mer possède des avantages quant à la production d'énergie, qui doivent être considérés dans le développement des énergies renouvelables. En particulier, le vent en mer est plus constant et moins perturbé que sur terre, ce qui permet d'installer des éoliennes plus puissantes ayant un rendement environ deux fois supérieur à leurs homologues terrestres. Un autre avantage est de diminuer l'accaparement des terres pour la production d'énergie.

Ce mémoire détaille les différentes technologies d'éoliennes en mer, particulièrement utilisées en Europe, et les compare avec les autres formes d'énergies marines utilisées ou en développement (hydrolienne, énergie houlomotrice, énergie thermique des mers, photovoltaïque flottant). L'analyse porte sur les enjeux environnementaux, économiques et techniques de ces technologies afin d'établir des recommandations pour les décideurs.

Pour lire le document :

Brice Guerrive (2023). [*La pertinence et les impacts du développement actuel de l'énergie éolienne en mer en Europe et le potentiel de solutions alternatives*](#) [essai en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS, 80 pages.



Credit photo : Grôume - CC-BY-SA 2.0 Flickr

UNE SURCONSOMMATION QUI NOUS CONSUME

Freins et leviers à l'adoption de modes de consommation et de production soutenables

Laurence Pageau, Université de Sherbrooke

En Amérique du Nord, l'empreinte carbone par personne est en moyenne de 20,8 tonnes d'équivalent CO₂ par an et s'élève à 73 tonnes/pers./an pour les 10 % les plus riches, alors que le budget carbone annuel qui permettrait de respecter les cibles de l'Accord de Paris de +2,0 °C est de 3,4 tonnes d'équivalent CO₂ par personne. Ce bilan carbone s'explique par une consommation élevée, en particulier de produits et de services à forte intensité carbone. Diminuer l'empreinte carbone des habitants et habitantes des sociétés nord-américaines devrait très certainement passer par l'adoption de modes de vie sobres ainsi que par une consommation et une production plus responsable par rapport aux émissions de gaz à effet de serre.

Cet essai présente les bases des ressorts de la consommation en Amérique du Nord et identifie les deux acteurs majeurs que sont les consommateurs (la demande) et

les producteurs de biens et services (l'offre). L'auteure identifie les difficultés et les moyens d'action pour une consommation soutenable, et amène un troisième acteur dans ces processus : les pouvoirs publics.

Pour lire le document :

Laurence Pageau (2022). *Freins et leviers à l'adoption de modes de consommation et de production soutenables en Amérique du Nord* [essai en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS, 105 pages.

JAMAIS TROP TARD POUR APPRENDRE

Organisation et apports des écoles vertes

Marianne Pinard, Université de Montréal

Les conséquences des changements climatiques ainsi que les enjeux plus globaux de la qualité et de la durabilité de l'environnement sont considérées comme une des menaces majeures pour les sociétés humaines au 21^e siècle. Dans ce contexte, l'éducation apparaît comme un creuset propice au développement d'une conscience et d'une action environnementale pour une société plus pérenne, en particulier en intégrant aux systèmes éducatifs et académiques des pratiques et des moyens d'apprentissage écoresponsables tout en développant les aptitudes des collectivités en matière d'atténuation et d'adaptation aux changements environnementaux.

Ce mémoire de maîtrise évalue le rôle de l'éducation scolaire comme vecteur essentiel à la transformation sociale face aux défis environnementaux. Il souligne l'insuffisante intégration de la dimension écologique dans l'éducation formelle et présente les mouvements d'écoles vertes sur le plan théorique ainsi que sur son approche scolaire environnementale globale. Cette analyse de la littérature est complétée par une étude terrain menée

en Uruguay auprès de l'école pionnière du mouvement Escuelas Sustentables, afin de mettre en évidence ses contributions multidimensionnelles aux enjeux soulevés par la crise environnementale actuelle.

Pour lire le document :

Marianne Pinard (2023). *Les écoles vertes comme réponse aux enjeux soulevés par la crise environnementale : une approche holistique* [mémoire de maîtrise en environnement et développement durable, Université de Montréal]. Papyrus, 207 pages.



Crédit photo : Jimmy Baikovicus - CC BY-SA 2.0_FlickrR



Dossier : limites planétaires

LES LIMITES PLANÉTAIRES : GARDER LA TERRE DANS DES CONDITIONS VIABLES POUR LES SOCIÉTÉS HUMAINES

Thierry Lefèvre

Professionnel de recherche
Centre de recherche sur les matériaux avancés (CERMA)
Université Laval

Pourquoi des limites planétaires ?

L'état, le fonctionnement naturel et la stabilité de la planète sont régis par les propriétés d'un ensemble de sous-systèmes terrestres bien connus : l'atmosphère, l'hydrosphère (océans, lacs et rivières), la lithosphère (la croûte terrestre), la cryosphère (glaciers et banquises) et la biosphère (le monde vivant). Ces sous-systèmes sont le siège de processus essentiels tels le climat (effet de serre, moussons, courants marins et atmosphériques, etc.), les cycles des éléments naturels (phosphore, azote), le cycle de l'eau, la photosynthèse par les êtres vivants, etc. Ces mécanismes sont complexes, interreliés et régulent les conditions environnementales de la planète, par exemple la température moyenne qui y règne, la fréquence et l'intensité des précipitations et des événements météorologiques extrêmes (ouragans, sécheresses, inondations, feux de forêt, canicules, etc.), la chimie des océans, l'abondance et le type d'espèces vivantes ou la disponibilité de l'eau potable.

Quoique la Terre ait constamment évolué au cours des 4,6 milliards d'années de son histoire, les conditions ont peu fluctué durant les 10 000 dernières années. Cette période géologique appelée Holocène a vu les sociétés humaines prendre leur essor. Or, comme toute espèce, l'être humain interagit avec son milieu. Mais l'expansion humaine et ses activités ont acquis une telle ampleur que notre incidence sur la nature interfère avec les processus terrestres naturels, de sorte que certaines modifications sont déjà observables sur les plans climatique, hydrologique et biologique (GIEC, 2021). Ce constat amène des scientifiques à conclure qu'on ne peut exclure qu'à force de perturber les processus naturels, des seuils critiques soient franchis, déclenchant des modifications telles qu'elles fassent ultimement sortir l'humanité de l'environnement stable et hospitalier de l'Holocène.



Crédit photo : Giles Watson_CC BY-SA 2.0_FlickrR

Qu'est-ce que les limites planétaires ?

L'enjeu est alors de déterminer jusqu'à quel niveau de telles pressions peuvent modifier les processus biophysiques terrestres sans avoir de répercussions négatives sur les sociétés humaines. Cette préoccupation a été abordée selon différentes approches. C'est ainsi qu'une équipe de recherche du *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) a montré dans son ouvrage *Les limites à la croissance* que les prélèvements et les taux de pollution croissants pouvaient atteindre les limites de la capacité de la planète, conduisant ultimement à un déclin des systèmes humains (Meadows et al., 2017). La notion d'empreinte écologique, basée sur la mesure du territoire nécessaire à la production et la consommation d'une société ainsi qu'à l'absorption de ses déchets, s'exprime en nombre de planètes requises ou en « journée du dépassement », donnant ainsi une limite aux activités humaines. Un autre exemple est fourni par la notion d'empreinte environnementale limite, qui vise à quantifier les niveaux soutenables d'émissions de carbone, de consommation de matières, d'eau et d'utilisation de territoires (Hoekstra et Wiedmann, 2014).

Cette question a également été explorée selon une autre perspective en 2009, par des scientifiques regroupés au sein du Stockholm Resilience Centre, qui a donné naissance au concept de limites planétaires. Celles-ci sont des limites aux modifications anthropiques imposées aux divers processus biophysiques terrestres permettant, selon les données de la littérature scientifique, d'éviter de déclencher des transformations qui bouleversent les conditions environnementales favorables du passé (Rockström et al., 2009).

La démarche a consisté à identifier d'abord les processus essentiels au fonctionnement terrestre qui sont sous pression anthropique. L'étape suivante a porté sur le choix d'un indicateur, appelé variable de contrôle, pour caractériser de manière appropriée chaque processus. Finalement, des valeurs limites associées à ces indicateurs ont été évaluées afin de rester suffisamment loin de seuils critiques. L'ensemble des limites planétaires définit ce que les signataires de l'étude appellent un « espace opérationnel sécuritaire pour l'humanité » (Rockström et al., 2009).

DES PROCESSUS TERRESTRES À PRÉSERVER

Neuf processus biophysiques terrestres essentiels sous pression humaine ont été identifiés. Ils sont répertoriés dans le tableau 1 avec les causes principales de leur perturbation et les risques qui y sont associés.

Pour définir la valeur des limites planétaires, les scientifiques ont proposé de prendre comme référence le fait que certains processus pouvaient éventuellement franchir des seuils, appelés points de bascule, au-delà desquels des transformations abruptes peuvent survenir, et ce, à l'échelle continentale ou globale. La limite planétaire vise à rester à une « distance » sécuritaire d'un tel seuil. Un processus typique suivant un point de bascule est schématisé à la figure 1.

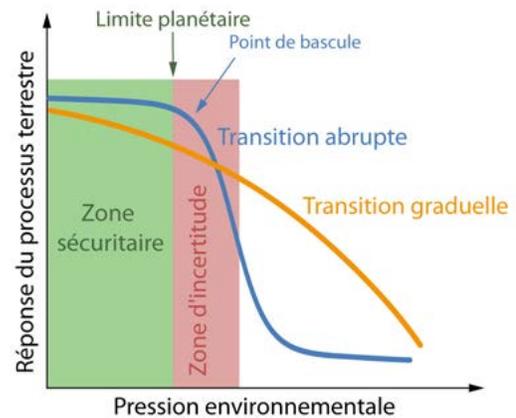


Figure 1. Représentation schématique de l'évolution possible des processus terrestres (transition graduelle ou abrupte) sous l'effet d'une pression environnementale, et position d'une limite planétaire. Adapté de Rockström et al., 2009.

Processus terrestre	Origines de la perturbation	Risques associés
RÉCHAUFFEMENT/ CHANGEMENT CLIMATIQUE	Émissions de GES par combustion de carburants fossiles, déforestation, procédés industriels et agriculture	<ul style="list-style-type: none"> • Fonte des glaciers polaires • Perturbations régionales du climat • Perte des réserves d'eau douce glaciaire • Affaiblissement des puits de carbone
INTÉGRITÉ DE LA BIODIVERSITÉ	Transformation des écosystèmes, pollution, introduction d'espèces invasives, réchauffement climatique	<ul style="list-style-type: none"> • Altération des fonctions écologiques des écosystèmes • Effet sur les autres processus (séquestration du carbone, eau douce, cycles du N et du P)
CYCLE DE L'AZOTE (N) ET DU PHOSPHORE (P)	Utilisation massive d'engrais et de pesticides en agriculture	<ul style="list-style-type: none"> • Asphyxie (anoxie) des systèmes marins, des lacs et des rivières • Altération des écosystèmes terrestres et développement excessif d'algues et de plantes (eutrophisation) des systèmes aquatiques et côtiers
RÉDUCTION DE L'OZONE STRATOSPHERIQUE (« TROU » DE LA COUCHE D'OZONE)	Émissions de molécules qui détruisent l'ozone	<ul style="list-style-type: none"> • Impacts négatifs des rayons UV sur la biosphère et les êtres humains
ACIDIFICATION DES OcéANS	Absorption du CO ₂ par les océans	<ul style="list-style-type: none"> • Dégradation des coraux • Altération des organismes à coquille de calcaire
CYCLE DE L'EAU DOUCE	Prélèvements pour satisfaire des besoins de l'agriculture, de l'industrie et des usages domestiques	<ul style="list-style-type: none"> • Altération du climat régional (moussons) • Altérations de la production de biomasse, du régime de précipitations, de la séquestration du carbone et de la biodiversité
TRANSFORMATION DES TERRITOIRES	Déforestation pour l'agriculture, exploitation des ressources, urbanisation	<ul style="list-style-type: none"> • Conversion indésirable de biomes (forêts en savanes), extension des déserts • Réduction de la capacité des écosystèmes à séquestrer le carbone • Fragilisation de la biodiversité
CHARGE EN AÉROSOLS DANS L'ATMOSPHÈRE	Combustion de carburants fossiles, pollution	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbation de la mousson • Conséquences sur la santé humaine • Interférence avec le système climatique et le cycle de l'eau
POLLUTION CHIMIQUE	Production et fin de vie des biens de consommation, médicaments	<ul style="list-style-type: none"> • Conséquences sur la santé des écosystèmes et sur la santé humaine • Augmente le risque de franchir d'autres limites planétaires

Tableau 1. Recensement des processus biophysiques terrestres critiques, les pressions qui sont à l'origine de leur perturbation et les risques qui y sont associés. Adapté de Rockström et al., 2009.

Prenons comme exemple le climat qui se réchauffe sous l'effet des émissions de gaz à effet de serre, notamment celles de dioxyde de carbone (CO₂). Les travaux récents suggèrent qu'avec une hausse de la température supérieure ou égale à 1,5 °C, la probabilité de franchir des points de bascule pouvant avoir des répercussions à l'échelle mondiale est faible, mais non nulle (Lenton, 2019). La probabilité de basculement augmente avec la température et varie selon les processus. Parmi ces événements critiques, on recense la fonte totale de la calotte polaire antarctique ou groenlandaise, ou une transformation abrupte du régime de précipitations associées aux moussons.

Tous les processus n'évoluent pas nécessairement selon la trajectoire radicale d'une transition abrupte, mais peuvent plutôt suivre des trajectoires plus graduelles (figure 1). Par exemple, la transformation des territoires par les activités humaines diminue progressivement leur capacité à stocker du carbone, sans qu'il y ait de seuil critique connu. Néanmoins, même graduelles, si les transformations devenaient trop importantes, elles pourraient influencer d'autres processus ou conduire au franchissement d'une autre limite planétaire. Par exemple, des prélèvements trop élevés d'eau douce pour des besoins humains peuvent priver les écosystèmes d'une partie de l'eau qui est nécessaire à leur fonctionnement, à leur résilience ou à leur survie, influençant alors l'intégrité de la biodiversité. Il est donc requis de se tenir à bonne distance de ces valeurs critiques.

AVONS-NOUS DÉPASSÉ DES LIMITES PLANÉTAIRES ?

La figure 2 montre la valeur des limites planétaires telles que proposées par les scientifiques, et les compare à l'ampleur des modifications actuelles.

On peut voir que sur les neuf limites, six ont été franchies. L'acidification des océans est également proche d'atteindre sa limite tandis que l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique reste à bonne distance de sa limite.

L'EXEMPLE DE LA TRANSFORMATION DES TERRITOIRES

Pour illustrer la démarche entourant les limites planétaires, considérons un processus en particulier, soit la transformation des territoires, aussi appelée changement d'usage des sols. Ce processus réduit progressivement l'espace nécessaire à la survie des espèces et altère les services que rendent les écosystèmes aux sociétés. Les écosystèmes jouent

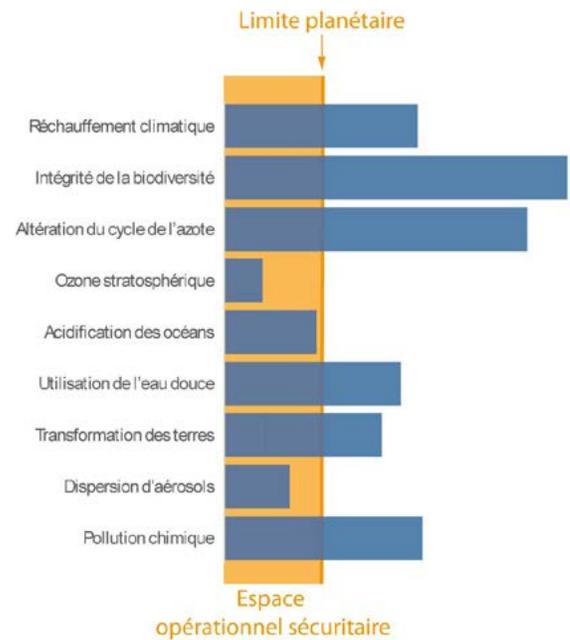


Figure 2. Diagramme représentant la valeur des limites planétaires et la valeur de l'indicateur qui mesure l'état des processus terrestres. Comme les indicateurs utilisés sont différents, ils ont été normalisés afin de pouvoir les comparer. Source des données : Richardson et al., 2023.

notamment un rôle important dans la régulation du climat par l'absorption du CO₂ et les échanges d'eau avec l'atmosphère. Ces effets sont jugés essentiels et permettent de justifier l'inclusion de la transformation des territoires parmi les limites planétaires.

À ce titre, la forêt constitue un ensemble d'écosystèmes essentiels qui subissent une régression graduelle. C'est ainsi que l'indicateur qui a été choisi pour représenter la transformation des territoires est le pourcentage de forêts restantes par rapport à l'époque préindustrielle, en considérant trois biomes : les forêts tropicales, boréales et tempérées (Richardson, K. et al., 2023).

La limite planétaire (75 %) est basée sur les limites planétaires de chaque biome : pour la forêt tropicale, la limite est fixée à 85 % de forêt intacte, ce qui correspond au seuil au-delà duquel la déforestation de forêt tropicale, conjointement avec les changements climatiques, pourrait convertir cette dernière en savane (Richardson, K. et al., 2023). Du fait de sa contribution essentielle à la régulation du climat, la limite de la forêt boréale est également fixée à 85 %. Pour la forêt tempérée, la valeur est de 50 %, car la forêt tempérée contribue moins à la régulation du climat. En tenant compte de la surface de chaque biome, on détermine une limite planétaire de 75 %, une valeur actuellement dépassée (il reste aujourd'hui 60 % des forêts de la période préindustrielle).



Crédit photo : Rohit JnagaL_CC BY 2.0_FlickrR

CONSIDÉRER LES INTERFÉRENCES ENTRE PROCESSUS

Les valeurs des limites planétaires présentées à la figure 2 sont établies indépendamment sans tenir compte des interférences qui existent entre les différents processus terrestres. Or, un processus peut en influencer d'autres, la détérioration d'un processus ayant généralement tendance à fragiliser les autres (Lade et al., 2020). Le réchauffement climatique, par exemple, touche l'intégrité de la biodiversité, ce qui diminue sa capacité à séquestrer du carbone. Citons aussi les molécules qui causent l'appauvrissement de la stratosphère en ozone, qui sont aussi des gaz à effet de serre, ou les altérations des cycles de l'azote (N) et du phosphore (P), qui réduisent l'intégrité des écosystèmes.

Une autre illustration des phénomènes d'interactions est donnée par l'exemple de la transformation des territoires. Comme ce processus est un des facteurs principaux à l'origine de la disparition des espèces, si la limite planétaire relative à l'intégrité de la biodiversité était respectée, cela signifierait probablement que la limite correspondant à la transformation des territoires le serait également (Steffen et al., 2015).

Par ailleurs, la modification d'un processus terrestre peut influencer la limite planétaire d'un autre processus. Par exemple, le réchauffement climatique pourrait à terme diminuer la quantité d'eau douce que les sociétés peuvent prélever de manière sécuritaire (Lade et al., 2020). De façon générale, l'effet des interactions entre processus terrestres est de diminuer la valeur des limites planétaires (Lade et al., 2020). Autrement dit, le fait qu'il existe des interactions entre les processus rétrécit l'espace opérationnel sécuritaire de l'humanité.

Complexité, incertitudes scientifiques et critiques

Aussi avancée que soit la recherche sur les limites planétaires, et de l'aveu même du groupe de scientifiques à l'origine du concept, les connaissances actuelles de ce champ d'études restent trop fragmentaires pour pouvoir décrire avec toute la justesse et la précision requises des mécanismes aussi complexes que les processus terrestres, leurs interdépendances, les points de bascule et les seuils à ne pas franchir.

Il apparaît ainsi difficile de représenter par un seul indicateur un processus aussi complexe que l'intégrité de la biodiversité. L'indicateur utilisé a ainsi évolué : alors que l'indicateur initial était le taux d'extinction des espèces, les signataires mêmes de l'étude avaient conscience de la limite qu'une variable unique comme celle-ci puisse représenter rigoureusement l'intégrité de la biodiversité (Rockström et al., 2009 ; Mace et al., 2014). Cet indicateur a ainsi évolué depuis 2009 grâce à l'avancée des connaissances, à certaines critiques et grâce au travail d'autres équipes de recherche.

De même, le recours à la surface de forêts intactes pour caractériser la transformation des territoires ne prend pas en compte la perte des autres écosystèmes terrestres comme les prairies, les milieux humides, la toundra, etc. Ainsi, il apparaît que la caractérisation de chacun des processus terrestres par une seule grandeur demeure un défi quand on considère l'ensemble de leurs dimensions et de leur complexité.

Les progrès scientifiques ont également permis de proposer récemment des indicateurs pour la dispersion d'aérosols et la pollution chimique, qui n'en avaient pas jusqu'alors, et ainsi de proposer des limites planétaires pour ces processus (Richardson et al., 2023).

TRANSFORMATION GLOBALE OU LOCALE ?

Une autre critique concerne le fait que, contrairement au réchauffement climatique ou à l'acidification des océans, plusieurs des processus considérés ne sont

pas sujets à des points de bascule au-delà desquels le fonctionnement terrestre puisse être altéré à l'échelle globale. Ceci est notamment le cas pour la biodiversité, qui ne semble pas devoir s'effondrer brusquement à l'échelle globale (Mace et al., 2014). Des scientifiques ont donc remis en question la pertinence de définir une limite planétaire pour ce genre de processus.

Selon les scientifiques du Stockholm Resilience Centre, l'adoption de limites planétaires est justifiée pour tous les processus terrestres — y compris pour ceux qui ne présentent pas de seuil global —, et ce, pour deux raisons : premièrement, le déclin graduel d'un processus (par exemple, la transformation des territoires) pourrait influencer un autre processus et déclencher des mécanismes de rétroaction pouvant induire le dépassement d'un seuil critique et engendrer une transformation abrupte et globale (par exemple, le climat).

Deuxièmement, bien qu'un processus n'ait un effet que local ou régional, son importance devient globale s'il est affecté simultanément à de nombreux endroits sur la planète, comme c'est le cas par exemple pour les prélèvements d'eau douce, la transformation des territoires ou les déversements d'azote ou de phosphore.

AU-DELÀ DE LA SCIENCE : LES IMPLICATIONS SOCIOPOLITIQUES

L'établissement de limites planétaires peut sembler une démarche neutre, car il est issu de critères scientifiques. Mais le mieux que la science puisse faire est de fournir avec le plus de précision possible (et imparfaite, dans l'état actuel des choses), une certaine probabilité de franchir des seuils critiques, que ce soit pour le déclenchement d'une transition de grande envergure ou d'interférences avec d'autres processus. La « distance » à laquelle on choisit de se tenir à l'écart des seuils critiques de manière sécuritaire relève plutôt de critères normatifs et sociétaux (Rockström et al., 2009 ; Kim et Kotzé, 2021). Il s'agit notamment de déterminer la tolérance au risque des sociétés face aux transformations potentielles du fonctionnement terrestre.

La position des valeurs limites planétaires ne peut donc rester dans les seules mains des scientifiques et devrait impliquer non seulement la société civile dans son ensemble, mais également l'ensemble des nations (Kim et Kotzé, 2021). En effet, les limites planétaires ont des implications pour la gouvernance planétaire et doivent, à ce titre, avoir toute la légitimité requise (Kim et Kotzé, 2021).

De plus, si les limites planétaires donnent des valeurs permettant de conserver l'intégrité des processus à l'échelle globale, elles ne disent rien sur les déterminants

à l'origine des transformations en cours, ni sur la manière d'opérationnaliser à l'échelle locale les actions visant à les respecter, ni sur le fait qu'elles ne considèrent pas que les conséquences des crises écologiques touchent les nations de manière différenciée, les pays du Sud global étant davantage concernés (Mace et al., 2014).

Il est pourtant essentiel de savoir quelles seront les mesures les plus légitimes et les plus appropriées à instaurer, et qui devra les mettre en œuvre. Un des grands mérites des limites planétaires est d'apporter une vision planétaire et exhaustive des crises écologiques. Toutefois, si l'humanité veut conserver des conditions environnementales viables, un des défis sera sans doute de savoir partager équitablement l'espace opérationnel sécuritaire de l'humanité pour assurer un fonctionnement terrestre adéquat, et dans ce contexte, de déterminer la responsabilité de chaque nation.

Références

- GIEC (2021).** Technical summary. Dans Masson-Delmotte, V. et al. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. (p. 35-144), New York, É.-U.: Cambridge University Press.
- Hoekstra, A. Y. et Wiedmann, T. O. (2014).** Humanity's unsustainable environmental footprint. *Science*, 344, p. 1114-1117.
- Kim, R. E. et Kotzé, L. J. (2021).** Planetary boundaries at the intersection of Earth system law, science and governance: A state-of-the-art review. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 30, p. 3-15. <https://doi.org/10.1111/reel.12383>
- Lade, S.J., Steffen, W., de Vries, W. ... et Rockström, J. (2020).** Human impacts on planetary boundaries amplified by Earth system interactions. *Nature Sustainability*, 3, p. 119-128. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0454-4>
- Lenton, T.M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W. et Schellnhuber H.J. (2019).** Climate tipping points – too risky to bet against. *Nature*, 575, p. 592-595.
- Mace, G. M., Meyers, B., Alkemade, R. ... et Woodward, G. (2014).** Approaches to defining a planetary boundary for biodiversity. *Global Environmental Change*, 28, p. 289-297.
- Meadows, D. H., Meadows, D. et Randers, J. (2017).** *Les limites à la croissance (dans un monde fini) : le rapport Meadows, 30 ans après*. Paris : L'ÉcoPoche.
- Richardson, K., Steffen W, Lucht W. ... et Rockström J. (2023).** Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37):eadh2458.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K. ... et Foley, J. (2009).** Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2): 32.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J. ... et Sörlin, S. (2015).** Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), p. 736-746.

Dossier : limites planétaires

« LIMITES PLANÉTAIRES » : QUELS APPORTS DANS LA LUTTE ÉCOLOGIQUE ?

Yves-Marie Abraham

Professeur agrégé
Département de management
HEC Montréal

Le concept de « limites planétaires » a fait son apparition dans la revue *Nature* en 2009, sous la plume d'une équipe de recherche multidisciplinaire, réunie par Johan Rockström et Will Steffen (Rockström et al., 2009). L'idée à la base de ce concept est simple : afin d'éviter une déstabilisation potentiellement catastrophique du « système terrestre », l'humanité doit respecter certaines limites dans ses manières d'utiliser la planète sur laquelle elle vit. Pour asseoir leur argument, les auteurs de l'article en question se sont d'abord entendus sur les composantes du « système-Terre » les plus cruciales au regard de sa stabilité. Ensuite, pour chacune des neuf dimensions retenues, ils ont identifié des « seuils » au-delà desquels ce « système » pourrait connaître une déstabilisation brutale et potentiellement catastrophique. Enfin, en s'appuyant sur les données disponibles à l'époque, ils ont conclu que trois des neuf limites identifiées étaient d'ores et déjà dépassées (changement climatique, érosion de la biodiversité, perturbation du cycle de l'azote et du phosphore). Les chercheurs et chercheuses qui ont poursuivi et actualisé ce travail soutiennent que ces dépassements concernent aussi désormais trois autres processus : la déforestation, l'introduction de nouvelles entités polluantes dans l'environnement, la perturbation du cycle de l'eau douce (niveau d'humidité des sols en baisse) (Richardson et al., 2023). Quels sont donc les apports et les limites de cette recherche, dans la perspective d'une lutte contre la catastrophe écologique en cours ?



Crédit photo : Jeanne Merjoullet_CC BY 2.0_Flickr_5

Des apports indéniables...

La série d'études publiées sous l'égide du Stockholm Resilience Centre permet tout d'abord d'appréhender de manière plus juste l'ampleur des transformations subies par notre planète depuis les débuts de l'ère industrielle. Elle souligne en effet que ce n'est pas seulement le climat terrestre qui est profondément perturbé par « l'activité humaine », mais plusieurs autres dimensions tout aussi essentielles du « système terrestre » (biodiversité, cycle de l'eau, couvert forestier, etc.). Le réchauffement planétaire constitue un problème gigantesque, mais ce n'est qu'un problème parmi d'autres. Il est crucial de le rappeler, dans une perspective politique. Si l'on veut s'attaquer sérieusement au « problème écologique », on ne peut se concentrer uniquement sur des politiques de réduction des gaz à effet de serre (GES). En effet, une telle stratégie n'est pas à la hauteur du problème que l'on prétend régler. En outre, elle risque de déboucher sur des solutions qui vont au mieux réduire les émissions de GES, mais qui pourraient aussi se traduire par une aggravation de la situation sur d'autres dimensions du « système terrestre ». La « transition énergétique » est en train, par exemple, de justifier une nouvelle « ruée minière », qui ne sera pas sans effet sur le cycle de l'eau ou sur la biodiversité. Autrement dit, à défaut d'avoir une vision globale du problème à résoudre, on risque de déployer des solutions qui ne vont pas régler ce problème, mais le déplacer. Les travaux publiés sous la direction de Rockström et Steffen contribuent à réduire un tel risque.

L'autre apport fondamental de ces recherches est d'offrir une meilleure compréhension des risques que représentent les transformations que « l'activité humaine » impose à la Terre. Le message des auteurs de ces études est en substance le suivant : ce n'est pas parce que les choses semblent suivre à peu près leur cours normal sur notre planète ou n'évoluer que de manière lente que l'on peut se sentir en sécurité et que rien de grave ne se passe en réalité. En présence de « facteurs d'érosion » persistants, un « système complexe » comme l'est notre planète n'évolue pas de manière linéaire. Il conserve plutôt son équilibre jusqu'à ce que soient atteints certains « seuils » à partir desquels il faut s'attendre à ce qu'il bascule rapidement et brutalement vers un tout autre équilibre, à l'image du vase déjà plein qu'une simple goutte d'eau supplémentaire suffit à faire déborder brusquement. Ce sont ces « effets de seuil » que nous avons à craindre, dans la mesure où ils provoqueraient probablement un déséquilibre du « système Terre » qui serait catastrophique pour une bonne part au moins de l'humanité et des autres êtres vivants. Or, plusieurs des « seuils » en question sont déjà dépassés. L'heure est grave, donc, et c'est là un apport essentiel de ces études que de le souligner avec rigueur et clarté.

Enfin, on peut également saluer le fait que ce travail contribue à politiser la question écologique, ce qui semblera une bonne chose à celles et ceux qui restent attachés à l'idéal démocratique. En cherchant à déterminer scientifiquement les limites que doit respecter l'humanité pour continuer à jouir des conditions géologiques qui prévalent sur Terre depuis les débuts de l'Holocène, il y a un peu plus de 10 000 ans, ces chercheurs et chercheuses ne prétendent pas nous dire ce que nous avons à faire. Ils ne disent pas non plus que c'est la Nature qui nous imposera sa loi. D'ailleurs, les limites qu'ils mettent de l'avant sont des « seuils », pas des murs ou des précipices. Ce sont donc des limites franchissables. C'est à nous, membres de l'espèce humaine, que revient in fine la responsabilité de les franchir ou non, pour le meilleur ou pour le pire. Bref, le fait de maintenir les répercussions de l'activité humaine en deçà de ces seuils est une décision politique. Ce n'est pas la Terre qui nous y forcera. Nous restons fondamentalement libres d'établir les normes de notre vie collective.

... mais des limites importantes

En dépit de ces apports indéniables, ces travaux présentent cependant plusieurs faiblesses dans la perspective d'une lutte contre la catastrophe écologique en cours. En premier lieu, les études publiées par le Stockholm Resilience Centre restent très discutables sur le plan scientifique. C'est certes le cas de tout bon travail à prétention scientifique, mais les failles en question constituent autant de brèches dans lesquelles peuvent s'engouffrer celles et ceux qui, pour diverses raisons, refusent de s'alarmer de la situation présente ou s'efforcent d'en relativiser la gravité. Ils ont beau jeu, notamment, de remettre en question le choix des neuf processus retenus par cette équipe de recherche et plus encore, bien sûr, les limites qui ont été établies concernant chacun de ces processus. Évidemment, aucune certitude n'est possible à ce sujet, à la fois à cause de l'extrême complexité des phénomènes en cause et du caractère totalement inédit de ce que subit actuellement la planète. De même, les données utilisées pour évaluer dans quelle mesure ces « limites planétaires » sont dépassées ou non sont sujettes à caution. D'ailleurs, certaines d'entre elles continuent de faire défaut. Cela dit, on peut aussi, à l'inverse, reprocher à cette recherche de sous-estimer les problèmes qu'elle tente d'appréhender. Le découpage du système terrestre en seulement neuf grandes dimensions, sans analyser en outre leurs interrelations, conduit possiblement à ne pas tenir compte de certaines rétroactions positives qui pourraient bien aggraver encore la situation du système terrestre. Quoi qu'il en soit, ces limites scientifiques peuvent être invoquées pour

relativiser les principaux apports de cette étude, et par conséquent pour disqualifier le cri d'alarme que lancent ses auteurs.

La deuxième faiblesse que présente ce travail sur les « limites planétaires » touche à la manière dont il politise la question écologique. Certes, l'humanité est appelée à faire des choix concernant ses usages de la planète Terre. Toutefois, elle est interpellée d'une façon telle qu'il n'est pas certain du tout qu'elle se sente en fait concernée par ces décisions. Tout d'abord, présenter le problème écologique à l'échelle mondiale a aussi un inconvénient : les humains « ordinaires » n'ont pas la moindre prise sur cette échelle, pas même sur un plan cognitif. Ils risquent donc, dans le meilleur des cas, de se juger totalement impuissants. Certes, le fameux diagramme en radar utilisé dans cette recherche est censé permettre d'apprécier globalement l'état de la situation. Mais cette représentation est extrêmement abstraite, de même, d'ailleurs, que les limites établies par ses auteurs. Comment, dès lors, se sentir touché par la situation que tentent de présenter ces travaux ? Et comment, dans ces conditions, éprouver le désir de s'engager dans la lutte contre la poursuite du désastre ? Aussi bien conçue et réalisée est-elle, cette recherche a toutes les chances de convaincre les non-spécialistes que ces problèmes sont hors de leur portée, et qu'il revient aux experts et expertes ainsi qu'aux États qui les emploient de tenter de les régler.

Par ailleurs, en ce qui concerne les origines de la catastrophe environnementale, les auteurs de ces études mettent en cause, de manière indifférenciée, les « activités humaines ». Évidemment, il est pertinent de ne pas laisser croire que tout cela pourrait être le fait de cycles naturels. Cependant, force est de constater qu'une bonne partie de l'humanité n'est pas pour grand-chose, au moins à l'origine, dans les perturbations du « système Terre » mises en évidence par cette série de recherches. Y compris actuellement, les responsabilités dans la participation au désastre ne sont pas du tout identiques, que ce soit entre les populations du Nord et celles du Sud, ou encore au sein des pays occidentaux, entre les membres de la classe bourgeoise et ceux des classes populaires. On sait en outre que, tendanciellement, les humains les moins responsables de la catastrophe sont aussi les premiers et les plus touchés par celle-ci. Si ces différences en matière de responsabilités et de coûts à assumer ne sont pas reconnues, et si les causes fondamentales de ces différences ne sont pas révélées, comment espérer que se mobilise toute cette humanité victime aujourd'hui d'« injustice environnementale » ?

Enfin, cet appel à respecter les « limites planétaires » est lancé au nom du souci d'éviter le pire, et non dans l'espoir de bâtir un monde meilleur [Kallis, 2019]. Autrement dit, il faut avant tout lutter contre la catastrophe écologique en cours pour assurer notre



survie. Une telle proposition n'est pas non plus très mobilisatrice. De toute manière, il est difficile d'envisager la survie comme un projet de vie. S'il faut imposer des limites aux « activités humaines », ne serait-ce pas aussi pour bâtir des sociétés plus justes et plus démocratiques, dans lesquelles il ferait bon vivre ? Les auteurs et autrices réunis par Rockström et Steffen ne se prononcent pas sur le sujet, suggérant ainsi de manière implicite que la civilisation industrielle est en réalité tout à fait désirable (ou inébranlable ?) et qu'il s'agit simplement de la réformer pour lui éviter l'autodestruction [Kallis, 2019]. D'ailleurs, plusieurs d'entre eux ont pris position en faveur de stratégies visant une « croissance verte », ce qui témoigne bien du fait qu'il n'est pas question pour ces chercheurs et chercheuses de changer quoi que ce soit d'essentiel à nos manières de vivre ensemble.

Pour une écologie vraiment politique

Ces recherches sur les « limites planétaires » relèvent en fait typiquement de ce que le philosophe André Gorz a proposé d'appeler une « écologie expertocratique ». Dans cette approche de la question écologique, l'objectif est essentiellement de « ménager [la nature] (au double sens de "ménagement" et de *management*) en prenant en compte la nécessité d'en préserver au moins les



capacités d'autorégénération les plus fondamentales » (Gorz, 1992 : 16). Pour atteindre cet objectif, il revient aux experts et expertes de fixer les limites à ne pas dépasser sur le plan écologique, ainsi que les moyens à mettre en œuvre pour que ces limites soient respectées — d'où le qualificatif choisi par Gorz. Il incombe ensuite à l'État de s'assurer que ces décisions seront effectivement observées. Pour ce faire, il pourra recourir tantôt à la contrainte, tantôt à des incitations, c'est-à-dire au bâton ou à la carotte, tel un pasteur guidant son troupeau.

L'avantage apparent de cette approche est qu'elle permet d'espérer, en principe, un règlement rapide du « problème écologique », car elle n'implique pas de transformer fondamentalement la société ni même d'obtenir l'approbation pleine et entière de la population. On comprend qu'elle ait la préférence des élites de nos sociétés, mais elle présente cependant trois défauts majeurs. En premier lieu, les stratégies réformistes sur lesquelles débouche généralement cette écologie expertocratique, qu'elles portent le nom de « développement durable », d'« économie circulaire » ou de « transition écologique », ont pour le moment totalement échoué à ne serait-ce que ralentir la catastrophe écologique en cours (Pineault, 2023). En second lieu, cette manière d'aborder le problème écologique constitue une menace pour la liberté, entendue au sens d'autonomie. En effet, comme le dit Gorz, « [e]lle abolit l'autonomie du politique en faveur de l'expertocratie, en érigeant l'État et les experts d'État en juges des contenus de l'intérêt général et des

moyens d'y *soumettre* les individus » (Gorz, 1992 : 17). En troisième lieu, cette démarche a également toutes les chances de contribuer à renforcer les injustices environnementales évoquées plus haut, dans la mesure où elle vise une humanité indifférenciée, sans tenir compte du fait que nous ne sommes pas égaux, ni en matière de responsabilités à l'égard du problème écologique ni en matière de conséquences de ce problème sur nos conditions d'existence.

Si l'on veut véritablement ralentir la dégradation de notre planète, il ne suffira pas de produire mieux ou autrement. Il faudra *produire moins* que ce que l'on produit actuellement, et fixer des limites à ce que l'on produira dans l'avenir. Pour qu'une telle réduction de la production ne vienne pas aggraver les injustices environnementales actuelles et les inégalités socioéconomiques sur lesquelles elles reposent, il faut dans le même mouvement *partager plus* les richesses dont nous avons besoin pour vivre. Enfin, pour établir les limites à respecter en matière de production et partager les richesses qu'il nous faut pour vivre, il convient d'en *décider ensemble*, du moins si l'on tient à l'idéal de liberté politique qui est censé être le nôtre. Telles seraient les grandes lignes d'un projet d'écologie politique vraiment respectueux de la nature, mais aussi de la justice et de la liberté, ainsi que le promeut le mouvement en faveur d'une décroissance soutenable (Abraham, 2019).

Références

- Abraham, Y.-M. (2019).** *Guérir du mal de l'infini. Produire moins, partager plus, décider ensemble*. Montréal : Écosociété.
- Gorz, A. (1992).** L'écologie politique entre expertocratie et autolimitation. *Actuel Marx*, 12 : 15-29.
- Haberl, H., Wiedenhofer, D., Virág, D., Kalt, G., Plank, B., Brockway, P., Fishman, T., Hausknost, D., Krausmann, F., Leon-Gruchalski, B., Mayer, A., Pichler, M., Schaffartzik, A., Sousa, T., Streeck, J. et Creutzig, F. (2020).** "A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights", *Environmental Research Letters*, vol. 15, n° 6.
- Kallis, G. (2019).** *Éloge des limites. Par-delà Malthus*. Paris : PUF.
- Pineault, E. (2023).** *A Social Ecology of Capital*. London: Pluto Press.
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S., Donges, J., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., ... Rockström, J. (2023).** Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*. vol. 9, n° 37. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin III, S., Lambin, E., Lenton, T., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.-J., Nykvist, B., de Wit, C., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009).** A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>



Crédit photo : Fabrice Florin - CC BY-SA 2.0 - Flickr

Dossier : limites planétaires

UNE RECETTE POUR UN CLIMAT STABILISÉ : TROIS MESURES POUR RECADRER LE SYSTÈME AGROALIMENTAIRE À L'INTÉRIEUR DES LIMITES PLANÉTAIRES

Renaud Gignac

Économiste et avocat
Consultant en économie et environnement

François Delorme

Professeur associé
Université de Sherbrooke

Les limites planétaires offrent un cadre conceptuel scientifique établissant des limites à l'intervention humaine sur le système Terre. Développées à l'origine en 2009 par l'équipe du chercheur suédois Johan Rockström (Rockström et al., 2009), puis mises à jour en 2015 (Steffen et al., 2015) et en 2023 (Richardson et al., 2023), les limites planétaires se comptent aujourd'hui au nombre de neuf, parmi lesquelles six, d'après la plus récente évaluation, font actuellement l'objet d'un dépassement à l'échelle globale. Parmi les activités humaines, l'agriculture est reconnue comme l'une des causes principales de la transgression de plusieurs limites planétaires, dont les changements climatiques, les flux d'azote et de phosphore, la consommation d'eau douce, l'utilisation des terres et l'intégrité de la biodiversité (Gerten et al., 2020). La population mondiale étant appelée à dépasser les neuf milliards de personnes d'ici 2050, espérer assurer la sécurité alimentaire à l'ensemble de l'humanité tout en respectant les limites planétaires exige une remise en question radicale de nos modes de production et de consommation alimentaires. Le présent article de vulgarisation se divise en trois sections. Premièrement, les mécanismes par lesquels le système agroalimentaire influe sur les limites planétaires sont présentés. Ensuite sont recensées les mesures présentées dans la littérature qui permettraient de recadrer le système agroalimentaire à l'intérieur des limites planétaires. En conclusion, des remarques sur le contexte québécois sont présentées.

Limites planétaires

CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Lorsque l'on considère le potentiel de réchauffement, le principal gaz à effet de serre (GES) provenant du secteur agroalimentaire est la production de méthane (CH₄), émis à travers l'élevage (fermentation entérique liée à la digestion des ruminants et à la gestion du fumier) et la méthanogenèse dans les rizières. Les deux autres GES en importance sont, respectivement, le dioxyde de carbone (CO₂) provenant de la combustion de carburant par la machinerie agricole et les camions de livraison, ainsi que l'oxyde nitreux (N₂O), qui provient notamment de l'utilisation d'engrais synthétiques. Environ 60 % du potentiel de réchauffement du secteur agroalimentaire est attribuable au CH₄, alors que le 40 % restant est attribuable à parts relativement égales au CO₂ et au N₂O (Ivanovich et al., 2023). Une analyse de l'impact environnemental du système alimentaire par rapport aux autres activités économiques permet d'estimer un budget carbone de ce système par rapport au reste de l'économie. Selon les tendances actuelles, le système agroalimentaire pourrait outrepasser de 110 % le budget carbone de 4,7 Gt éqCO₂ en 2050, budget permettant de demeurer à l'intérieur des limites planétaires. Déjà en 2010, les émissions de GES du secteur atteignaient 5,2 Gt éqCO₂ (Springmann et al., 2018). D'autres chercheurs estiment que la poursuite des tendances actuelles entraînerait à elle seule un réchauffement climatique de près de 1 °C d'ici 2100, mettant la cible de 1,5 °C hors d'atteinte (Ivanovich et al., 2023).

UTILISATION DES TERRES ET INTÉGRITÉ DE LA BIODIVERSITÉ

Depuis la deuxième moitié du 20^e siècle, l'utilisation nette de terres agricoles est demeurée stable sur le plan mondial. Toutefois, alors que les superficies agricoles ont diminué dans les régions tempérées comme l'Europe, la Russie et l'Amérique du Nord, d'autres régions comme le Brésil et l'Indonésie ont connu une déforestation rapide pour faire place à l'agriculture, avec des conséquences importantes sur la santé des sols, la biodiversité et les émissions de GES. Ainsi, la conversion d'écosystèmes naturels en terres agricoles et en pâturages est considérée comme le risque principal d'extinction des espèces vivantes (Willett et al., 2019 ; Veldkamp et al., 2020). Gerten et al. (2020) suggèrent une limite planétaire correspondant à la préservation de 85 % des forêts tropicales et boréales, et de 50 % des forêts tempérées.

CONSOMMATION D'EAU DOUCE

La production alimentaire est la première source de consommation d'eau parmi l'ensemble des secteurs économiques, 70 % des prélèvements d'eau étant destinés à l'irrigation des terres sur le plan mondial (Willett et al., 2019). Selon Springmann et al. (2018), la limite planétaire pour la consommation d'eau aux fins de la production alimentaire est de 1 980 km³ d'eau/an, laquelle atteignait déjà 1 810 km³ en 2010 et sera dépassée de 50 % d'ici 2050 au rythme actuel.

FERTILISANTS AZOTÉS ET DE PHOSPHORE

Les fertilisants fournissant les principaux nutriments que sont l'azote (N) et le phosphore (P), bien qu'essentiels dans une certaine mesure pour soutenir de bons rendements agricoles, sont actuellement utilisés de façon excessive, avec pour conséquences l'eutrophisation de l'eau douce et des écosystèmes marins, laquelle entraîne à son tour le dépérissement de la faune marine ainsi que d'autres dommages environnementaux (Willett et al., 2019). Springmann et al. (2018) ont établi à 69 M de tonnes et 16 M de tonnes par année les limites planétaires pour l'application d'azote et de phosphore. En 2010, 104 M de tonnes d'azote et 18 M de tonnes de phosphore étaient appliqués à l'échelle mondiale, et il est prévu qu'au rythme actuel, les limites seront dépassées de 125 % pour l'azote et de 75 % pour le phosphore d'ici 2050 (Springmann et al., 2018).

Trois mesures pour recadrer le système agroalimentaire à l'intérieur des limites planétaires

Un certain nombre d'études présentent une modélisation des conséquences environnementales du système alimentaire mondial, en appliquant comme contrainte le respect des limites planétaires. Les chercheurs Springmann et al. (2018) ont construit et calibré un modèle du système agroalimentaire mondial avec désagrégation selon 159 pays, qui s'appuie sur les données de l'International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPACT) comprenant des données sur la production actuelle et prévue de 62 produits agricoles, la transformation et les exigences d'intrants pour 62 produits agricoles. Ils ont ensuite utilisé le modèle et les estimations de la demande alimentaire actuelle et future pour quantifier les conséquences environnementales liées à l'alimentation sur le plan des pays et des cultures

en 2010 et en 2050 pour cinq domaines environnementaux, de même que trois mesures permettant de réduire ces conséquences. Ces trois mesures sont les suivantes :

- **Réduction de 50 % du gaspillage alimentaire.** Cette cible, qui touche autant les consommateurs et consommatrices que la chaîne d’approvisionnement, est cohérente avec les Objectifs de développement durable de l’ONU ;
- **Mesures technologiques.** Un bouquet de mesures technologiques optimisant les rendements agricoles, augmentant l’efficacité de l’utilisation de l’azote, augmentant le recyclage du phosphore, réduisant l’utilisation de l’eau, améliorant la gestion du fumier et réduisant la fermentation entérique du bétail par une alimentation adaptée ;
- **Régime alimentaire à plus faible teneur en viande et en produits laitiers.** Un régime alimentaire flexitarien comprenant davantage d’aliments d’origine végétale comme les légumineuses, les noix et les légumes, et limitant la viande rouge à une portion par semaine, la volaille à une demi-portion par jour, et les produits laitiers à une portion par jour.

Les résultats de leur analyse, publiés dans la revue *Nature*, sont présentés dans la Figure 1. Les couleurs et les chiffres indiquent les combinaisons qui se situent sous la borne inférieure des limites planétaires (vert foncé, 1), sous la valeur médiane des limites planétaires (vert pâle, 2), au-dessus de la valeur médiane, mais sous la borne supérieure des limites planétaires (orange, 3) et au-dessus de la borne supérieure des limites planétaires (rouge, 4).

L’analyse de Springmann et al. (2018) montre que les mesures technologiques et la réduction du gaspillage alimentaire à elles seules (section supérieure du tableau) ne peuvent permettre au système agroalimentaire de respecter les limites planétaires, en particulier en ce qui a trait aux émissions de GES et à l’application d’azote. En ajoutant les changements d’habitudes alimentaires, il devient possible de respecter l’ensemble des limites planétaires (section inférieure du tableau, ligne du bas). En contrepartie, l’une ou l’autre des mesures prises isolément, ou même une combinaison de deux des trois mesures, n’est pas suffisante. Seules les trois mesures prises ensemble permettent de respecter les cinq limites planétaires recensées. Cette conclusion selon laquelle la réduction du gaspillage alimentaire, les mesures technologiques et les changements d’habitudes alimentaires sont trois piliers essentiels d’un système agroalimentaire durable rejoint les conclusions de plusieurs autres études (Poore et Nemecek, 2018 ; Conjin et al., 2018 ; Gerten et al., 2020 ; Ivanovich et al., 2023). Il convient par ailleurs de mentionner que certains changements de pratiques agricoles peuvent apporter des bénéfices environnementaux sans nécessairement s’appuyer sur des technologies onéreuses.

Dans un rapport de 2019, la Commission EAT-Lancet, qui rassemble 37 scientifiques internationaux de divers domaines, présente une proposition de « régime de santé planétaire » qui permettrait, jumelée avec la réduction du gaspillage alimentaire et des mesures technologiques, de nourrir adéquatement 10 milliards de personnes dans le respect des limites planétaires. La Commission conclut que l’alimentation nord-américaine actuelle dépasse de manière importante les recommandations du régime de santé planétaire, en particulier en ce qui a trait à la consommation de viande rouge (Figure 2).

			LIMITES PLANÉTAIRES				
Scénario de régime alimentaire	Scénario technologique	Scénario de gaspillage alimentaire	Émissions de GES	Utilisation des terres	Consommation d’eau douce	Application d’azote	Application de phosphore
Tendance actuelle	Tendance actuelle	Tendance actuelle	4	4	3	4	4
		Gaspillage/2	4	4	3	4	4
	Tech+	Tendance actuelle	4	3	3	3	2
		Gaspillage/2	4	2	2	3	2
Flexitarien	Tendance actuelle	Tendance actuelle	3	4	3	4	4
		Gaspillage/2	1	4	3	3	4
	Tech+	Tendance actuelle	1	2	2	3	2
		Gaspillage/2	1	1	2	2	2

Figure 1. Effet d’une sélection de mesures sur les limites planétaires en alimentation.
Source : Springmann et al. (2018).

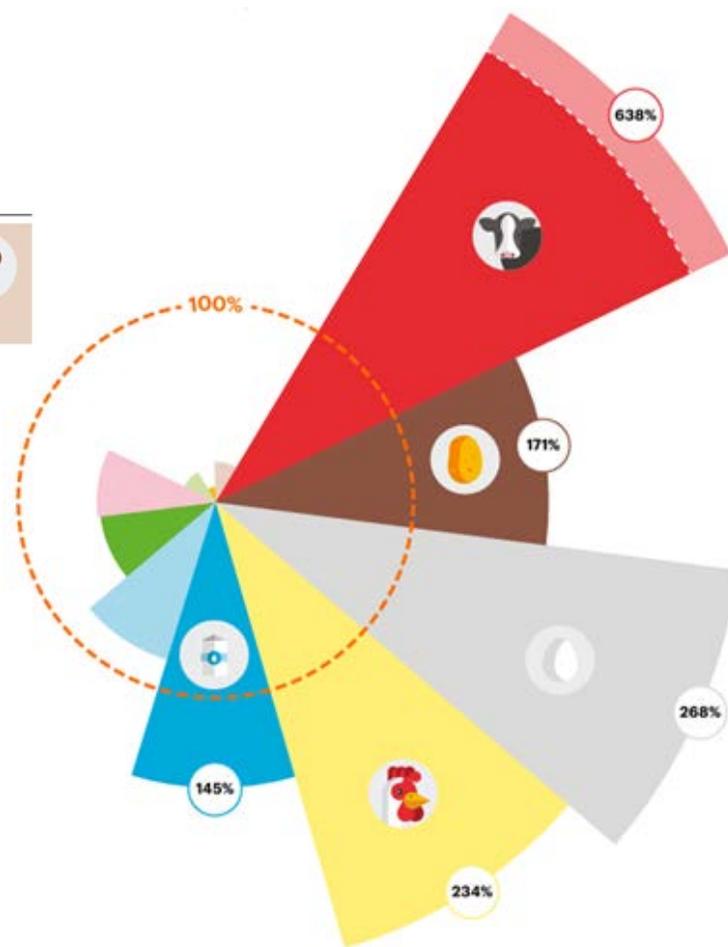
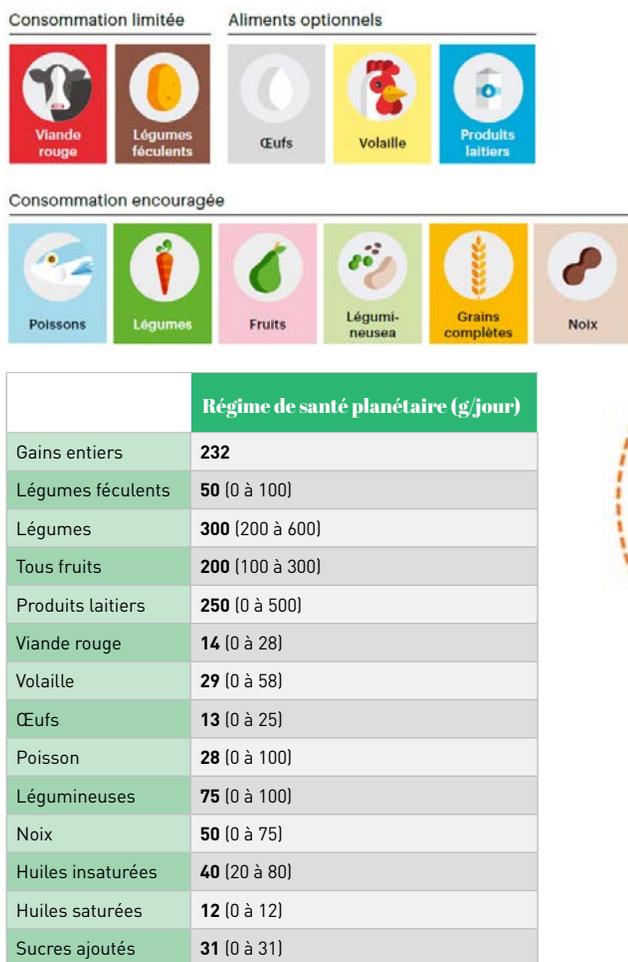


Figure 2. L'alimentation nord-américaine face au régime de santé planétaire

Source : Willett et al. (2019). Cette figure a été préparée par EAT et est incluse dans un résumé adapté de la Commission Food in The Anthropocene : the EAT-Lancet Commission on Healthy Diets From Sustainable Food Systems. L'intégralité de la Commission peut être consultée en ligne au eatforum.org/eat-lancet-commission.

Conclusion : le cas du Québec

Compte tenu de l'augmentation prévue de la population mondiale, les tendances actuelles du secteur agroalimentaire mondial montrent un dépassement prévu de plusieurs limites planétaires d'ici 2050.

Au Québec, les autorités gouvernementales reconnaissent l'importance de réduire le gaspillage alimentaire et mettent en œuvre une série de mesures technologiques pour réduire l'empreinte environnementale du secteur agroalimentaire, notamment l'optimisation de la fertilisation azotée, une meilleure gestion des sols et la promotion d'une alimentation réduisant les émissions de fermentation entérique des ruminants. Toutefois, aucune politique gouvernementale ne vise l'augmentation de la consommation d'aliments d'origine végétale et la réduction de la consommation de viande et de produits laitiers, une mesure pourtant identifiée

dans la littérature comme essentielle pour le respect des limites planétaires. La Stratégie nationale pour l'achat d'aliments québécois (SNAAQ), qui se limite à encourager l'approvisionnement local par les établissements, mériterait d'être bonifiée à la faveur d'aliments locaux, sains et écoresponsables, ce qui devrait inclure un axe particulier sur les aliments d'origine végétale.

Comment ces politiques pourraient-elles se concrétiser ? Premièrement, une cible de réduction de la consommation d'aliments à haut impact environnemental respectant les exigences nutritionnelles recommandées, à l'instar de la cible de réduction de 40 % de produits pétroliers prévue par la Politique énergétique 2030, pourrait être établie. Deuxièmement, des mesures incitatives pourraient comprendre des campagnes publiques de sensibilisation, l'étiquetage environnemental, des lignes directrices sur les achats gouvernementaux, des plans de diversification de protéines dans les établissements de restauration collective, des journées sans viande dans les

cafétérias scolaires, des menus végétaux par défaut dans les centres hospitaliers, ou encore des mesures d'écofiscalité (Willett et al., 2019). Finalement, la constitution d'un jeu de données sur l'évolution de l'alimentation des Québécois et Québécoises, y compris la provenance et l'empreinte environnementale des aliments, combinée à l'établissement d'une cible de réduction de la consommation d'aliments à haut impact environnemental respectant les exigences nutritionnelles recommandées, permettrait de remédier à cet angle mort important des politiques environnementales québécoises. La littérature scientifique et les exemples internationaux offrent à cet effet des pistes concrètes pour renverser la vapeur.

RÉFÉRENCES

Conjin, J. G., Bindraban, P. S., Schröder, J. J. et Jongschaap, R.E.E. (2018). Can our global food system meet food demand within planetary boundaries? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 251, p. 244-256.

Gerten, D., Heck, V., Jägermeyr, J., Bodirsky, B. L., Fetzer, I., Jalava, M., Kumm, M., Lucht, W., Rockström, J., Schaphoff, S. et Schellnhuber, H. J. (2020). Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. *Nature Sustainability* 3, p. 200-208.

Ivanovich, C., Sun, T., Gordon, D. R. et Ocko I. B. (2023). Future warming from global food consumption. *Nature Climate Change* 13, p. 297-302.

Poore, J. et Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), p. 987-992.

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W. ... et Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K. ... et Foley, J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2): 32.

Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D. ... et Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, pp. 562, 519.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J. ... et Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), p. 736-746.

Veldkamp, E., Schmidt, M., Powers, J. S. et Corre, M. D. (2020). Deforestation and reforestation impacts on soils in the tropics. *Nature Reviews Earth & Environment*, doi:10.1038/s43017-020-0091-5.

Willett, W., Rockström, J., Loken, B. ... et Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: The EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*, 393(10170), p. 447-492.





Crédit photo : Bo Eide, CC BY-NC 2.0, Flickr

Dossier : limites planétaires

L'ANTHROPOCÈNE : RÉALITÉ GÉOLOGIQUE OU ÉVÈNEMENT PLANÉTAIRE ?

Carolyn Houle

Agente de recherche
Département de biologie
Université de Sherbrooke

Fanie Pelletier

Professeure
Département de biologie
Université de Sherbrooke

Depuis la révolution industrielle, une période marquée par l'exode des régions rurales vers les villes, les activités humaines et leurs empreintes sur la planète se sont amplifiées (Steffen et al., 2011). Le terme « Anthropocène » a été proposé pour décrire cette nouvelle section de l'histoire de la Terre, où l'activité humaine a pris une telle ampleur qu'elle a eu des retombées majeures sur les êtres vivants, l'environnement et même, selon certains scientifiques, sur la géologie (CrutzenStoermer, 2021 ; Steffen et al., 2011 ; Waters et al., 2016). Le terme Anthropocène est couramment utilisé dans les médias et la littérature scientifique, particulièrement dans le contexte des changements climatiques (Zalasiewicz et al., 2021). Son utilisation croissante coïncide également avec la formalisation du concept de limites planétaires, qui vise à établir des seuils, à l'échelle mondiale, à ne pas transgresser afin de maintenir la stabilité de l'environnement planétaire, caractéristique de l'Holocène (Rockström et al., 2009). Il demeure pourtant informel et ne fait pas consensus (Waters et al., 2022). Dans cet article, nous proposons un survol de la genèse et du débat scientifique entourant l'Anthropocène (Figure 1).

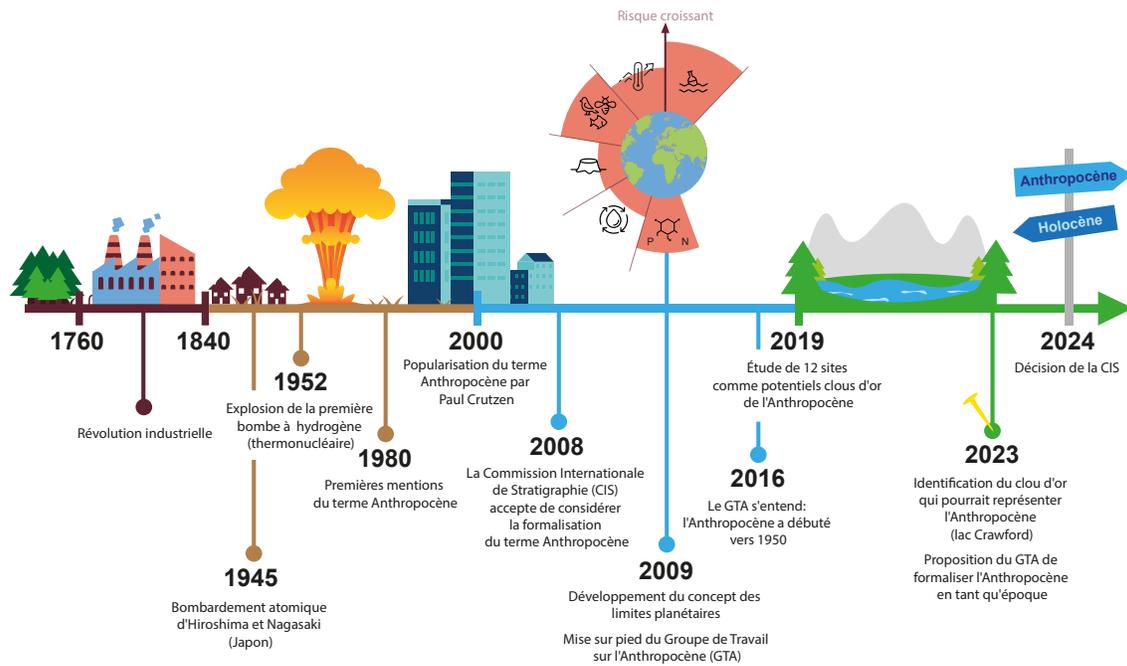


Figure 1. Événements planétaires majeurs et étapes scientifiques clés menant à la potentielle formalisation de l'Anthropocène comme période géologique distincte.

Comment décrire l'histoire de la Terre ?

La stratigraphie est la méthode scientifique qui permet de décrire l'histoire de la Terre à partir des successions de couches géologiques (strates). La chronostratigraphie est une branche de cette discipline, qui étudie les relations entre les corps rocheux et le temps. En chronostratigraphie, on identifie généralement des unités en caractérisant des entités physiques (roches et sédiments), idéalement, en les exemplifiant par une seule localisation sur la Terre, couramment désignée sous le nom *clou d'or* (« Golden spike ») (Waters et al., 2016, 2022 ; Figure 2). Les *clous d'or* sont des lieux où les changements dans les strates du sol sont « visibles » grâce à certains marqueurs, notamment l'apparition ou la disparition d'une molécule chimique ou d'une espèce biologique ne se trouvant pas dans les strates inférieures. Cette approche permet de déterminer la limite inférieure d'une unité chronostratigraphique.

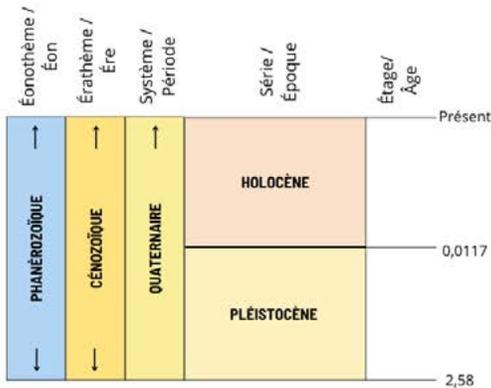
Les unités officielles de chronostratigraphie ont été regroupées dans une charte qui représente l'histoire complète de la Terre : la charte chronostratigraphique internationale (CCI) (Figure 3A). Cette dernière présente aussi les unités officielles de géochronologie, la science permettant de déterminer l'âge des roches. Dans cet article, nous nous concentrerons sur les unités géochronologiques, car elles sont généralement plus utilisées dans le langage populaire que leurs équivalents chronostratigraphiques. Elles comprennent,

en ordre décroissant d'importance temporelle, les ères, les périodes et les époques. Des unités informelles (n'apparaissant pas dans la charte), qui ne sont pas définies par des *clous d'or*, existent également afin de décrire certains phénomènes de moindre importance. C'est le cas des *événements*, exprimant un fait marquant qui se produit ponctuellement, comme une éruption volcanique, et dont la définition n'inclut pas d'intervalle de temps ou de strate rocheuse (Waters et al., 2022).

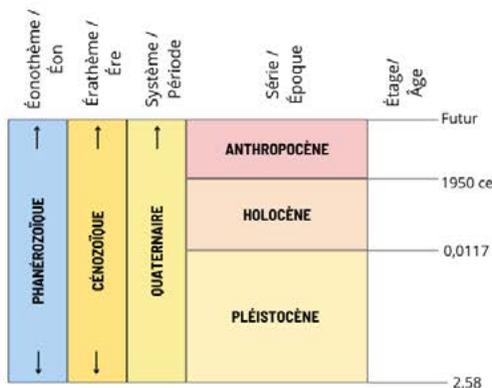


Figure 2. Photo d'un point stratotypique mondial (PSM), aussi connu sous le nom de *clou d'or* (crédit photo : James St. John/Flickr).

A) CONFIGURATION ACTUELLE



B) CONFIGURATION POTENTIELLE OÙ L'ANTHROPOCÈNE EST UNE ÉPOQUE DU QUATERNAIRE



C) CONFIGURATION POTENTIELLE OÙ L'ANTHROPOCÈNE EST UNE ÉPOQUE D'UNE NOUVELLE PÉRIODE GÉOLOGIQUE

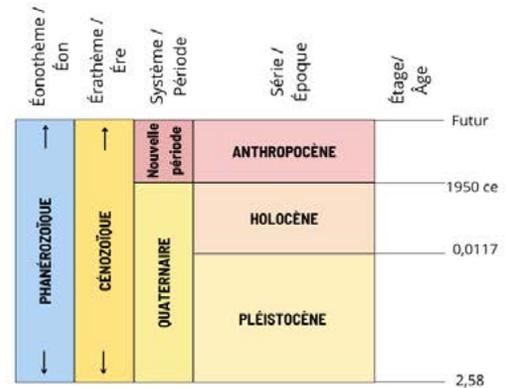


Figure 3. A) Section de la plus récente charte chronostratigraphique internationale (CCI) représentant le Quaternaire. Les unités chronostratigraphiques [systèmes, séries, étage] sont d'abord présentées, suivies de leurs équivalents géochronologiques [période, époque, âge]. B) Proposition de modification de la Charte selon laquelle l'Anthropocène serait une époque de la période du Quaternaire. C) Autre proposition selon laquelle l'Anthropocène serait une époque d'une nouvelle période géologique distincte succédant au Quaternaire. Figure traduite et adaptée de la CCI (panneau A) et de Head et al., 2023 (panneaux B et C).

Qui décide et où en sommes-nous ?

La définition officielle des unités de la CCI est sous la responsabilité du groupe d'experts formant la Commission internationale de stratigraphie (CIS). Selon cette Commission, nous sommes actuellement dans la période du Quaternaire. Cette période comprend deux époques, soit le Pléistocène, ayant débuté il y a 2,58 millions d'années et s'étant terminée il y a 11 700 ans, et l'Holocène, qui lui a succédé, et dans laquelle nous nous trouvons actuellement (Head et al., 2023 ; Figure 3A). Depuis deux décennies, des débats vigoureux ont lieu pour déterminer si les effets de l'humain sur les caractéristiques géologiques de la planète sont suffisamment importants et distinctifs pour justifier la reconnaissance d'une nouvelle unité de temps géologique représentant le présent (Head et al., 2023 ; Waters et al., 2022).

Origine et utilisation du terme *Anthropocène*

Àu début des années 2000, Paul Crutzen, chimiste atmosphérique de renommée internationale, a proposé le terme *Anthropocène* afin de décrire une nouvelle époque où l'impact humain a marqué de manière irréversible l'histoire géologique de la planète (Crutzen Stoermer, 2021 ; Steffen et al., 2011). Le terme *Anthropocène*, par son étymologie, indique que l'humanité représenterait désormais une force géologique en elle-même (*anthropo-* signifie « humain » en grec ancien, et *-cene* signifie « nouveau » ou « récent ») (Steffen et al., 2011).

Environ une décennie plus tard, alors qu'un groupe de scientifiques dont Crutzen faisait partie soulignait le dépassement de plusieurs limites planétaires (Rockström et al., 2009), l'utilisation du terme *Anthropocène* est graduellement devenue courante dans le langage populaire et la littérature scientifique, bien que toujours informelle (Figure 4) (Steffen et al., 2011 ; Zalasiewicz et al., 2021). On le retrouve même dans le Larousse en ligne, où on indique qu'il s'agit d'une nouvelle ère géologique sans préciser que le terme n'est pas officiel ! Cette « explosion » de l'utilisation du terme a mené à différentes interprétations selon la discipline qui l'emploie, mais aussi entre scientifiques d'une même discipline, générant ainsi beaucoup de confusion. Par exemple, en géologie seulement, au moins quatre définitions du terme ont été proposées de 2017 à 2020, et plus de 25 définitions existent dans diverses disciplines (Zalasiewicz et al., 2021).

Un sujet de discorde

Alors que la majorité des scientifiques s'entendent pour dire que l'humain a des répercussions indéniables sur la planète, tous ne s'entendent pas sur la façon dont devrait être représentée cette empreinte dans l'histoire de la Terre (Head et al., 2023). Certains se questionnent à savoir si elle est suffisante pour marquer le début d'une nouvelle époque, ou s'il s'agit plutôt d'un événement majeur au sein de l'Holocène. D'autres estiment que les changements sont tellement importants que l'Anthropocène devrait faire partie d'une nouvelle période, mettant ainsi fin au Quaternaire (Figures 3B et 3C).

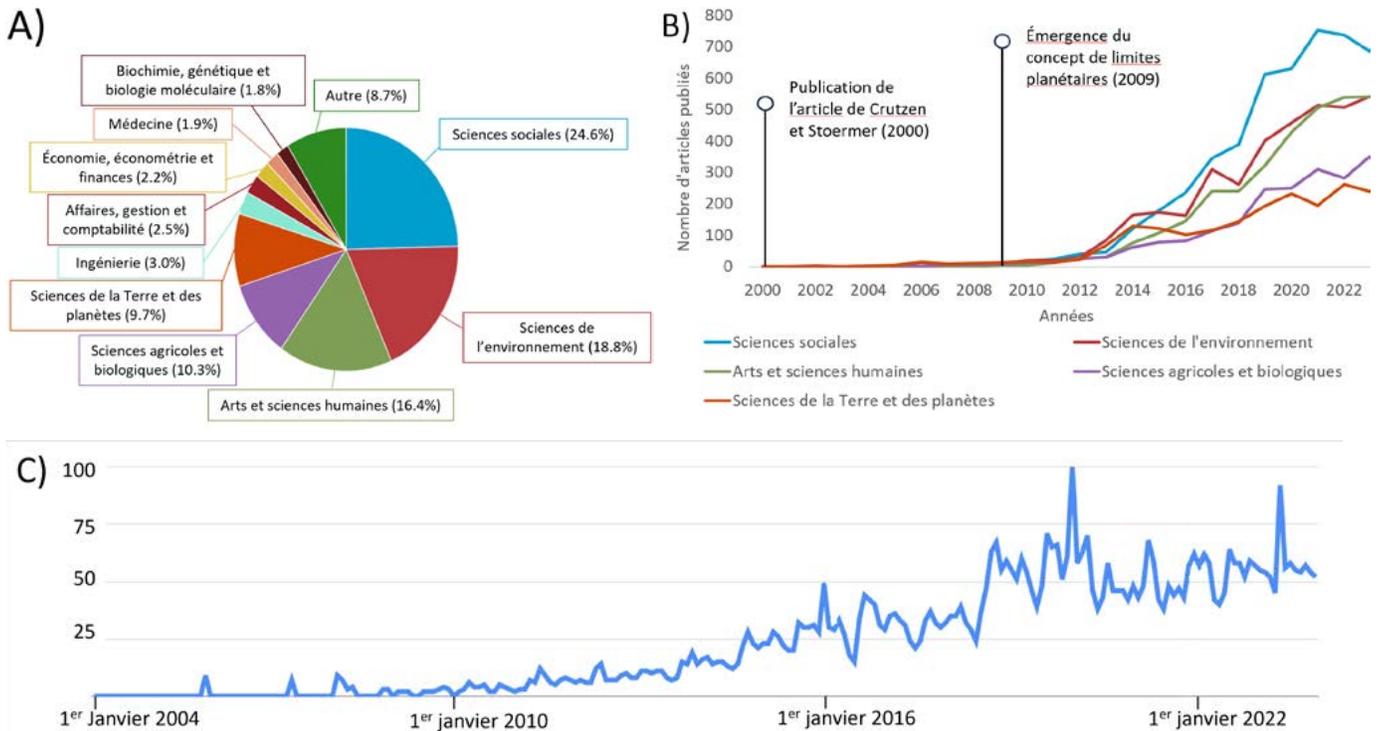


Figure 4. A) Pourcentage d'articles utilisant le mot *Anthropocène* recensé dans Scopus (banque de données en ligne d'articles scientifiques) par discipline et B) Nombre d'articles publiés par année utilisant ce terme dans cinq domaines différents depuis 2000. C) Intérêt dans le temps suscité par le terme *Anthropocène* selon Google Trends, à l'échelle planétaire, de 2004 à 2023. Les nombres représentent l'intérêt relatif par rapport au maximum. C'est-à-dire qu'une valeur de 100 correspond au maximum d'intérêt qu'a suscité le terme dans Google. Une valeur de 0 indique un nombre insuffisant de données. Les données présentées dans cette figure sont le fruit d'une recherche bibliographique faite en date du 27 février 2024.

Du côté des scientifiques s'opposant à la formalisation de l'Anthropocène, on se demande s'il est vraiment possible de formaliser une nouvelle époque si cette dernière est toujours en cours et qu'on ne connaît pas son futur (Zalasiewicz et al., 2010). Jusqu'à tout récemment, on remettait aussi en question le fait qu'un *clou d'or* représentant cette époque ne soit pas identifié (cette situation a nouvellement changé, voir ci-bas) (Head et al., 2023). De plus, même si les médias populaires ont déjà commencé à l'utiliser, le terme *Anthropocène* peut être un concept difficile à accepter par certains, car, par sa définition même, il indique que l'humain est responsable de changements importants sur la Terre, ce qui soulève une certaine controverse (Head et al., 2023 ; Steffen et al., 2011).

De l'autre côté, les scientifiques appuyant la formalisation de l'Anthropocène soutiennent que des changements biotiques, géochimiques et climatiques importants ont eu lieu depuis le début de cette nouvelle époque (Waters et Turner, 2022). Par exemple, l'apparition de particules d'origine humaine, telles que des cendres produites seulement lors de la combustion de charbon ou de mazout, ou encore la présence d'aluminium transformé, de plastique et de certaines molécules radioactives dans les sols et les sédiments marins

sont toutes des évidences permanentes de l'impact humain sur la géologie de la planète (Waters et al., 2016 ; Waters et Turner, 2022). Le remplacement progressif des ossements enfouis d'animaux sauvages par ceux d'humains et d'animaux domestiques en est un autre (Waters et al., 2016).

Quel moment marquerait le début de l'Anthropocène ?

Afin de formaliser l'Anthropocène, il faudrait aussi en déterminer le début. La prise de conscience concernant l'impact de l'humain sur la planète n'est pas récente. Des termes tels que « Anthropozoic », « Psychozoic » et « Noosphere » sont utilisés depuis plus d'un siècle pour décrire les changements globaux causés par l'humanité (Crutzen et Stoermer, 2021 ; Zalasiewicz et al., 2010). Plusieurs hypothèses ont donc été avancées concernant le début possible de l'Anthropocène.

Deux hypothèses proposent un début « précoce » de l'Anthropocène, avant même la révolution industrielle. La première concerne la vague d'extinctions de la

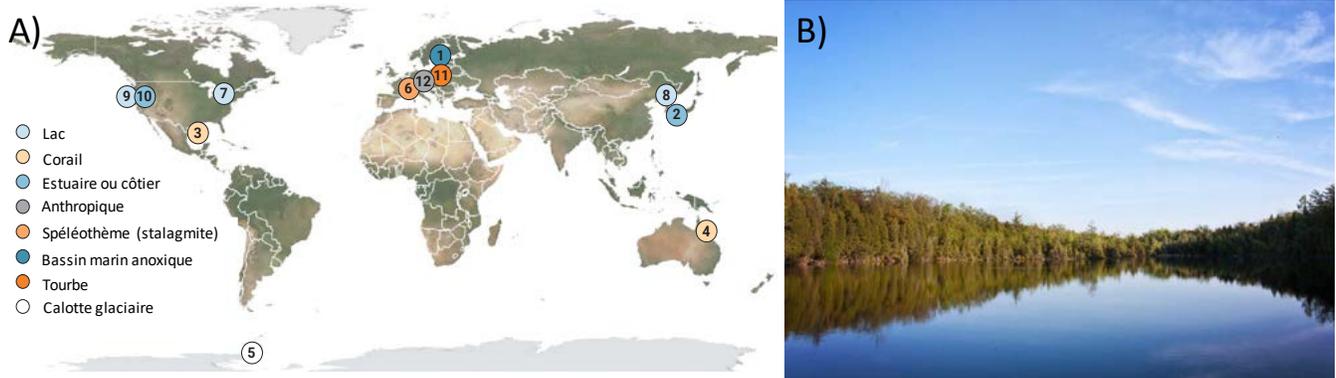
méga-faune du Pléistocène (mammouths, mastodontes, etc.), survenue lors de la dernière ère glaciaire, et qui aurait possiblement été causée par les fortes pressions de la chasse sur la méga-faune. La seconde suggère que l'avènement de l'agriculture, de la domestication animale et de la déforestation auraient marqué l'entrée dans l'Anthropocène. Ces deux hypothèses sont toutefois peu soutenues par la communauté scientifique, car les conséquences géologiques visibles de ces activités sont mineures (Steffen et al., 2011).

Selon Crutzen, l'Anthropocène aurait plutôt débuté au 18^e siècle, lors de la révolution industrielle, alors que les conséquences de l'humain sur la Terre devenaient clairement mesurables (p. ex : augmentation des gaz à effet de serre aux pôles des calottes glaciaires, changements dans les communautés vivantes des lacs, etc.) (Crutzen et Stoermer, 2021). Cependant, ces effets sur la composition des couches sédimentaires sont principalement détectables en Europe, et pas à l'échelle planétaire. La « Grande accélération », au milieu du 20^e siècle, se distingue par une croissance importante de la population humaine, de l'industrialisation et de l'utilisation des ressources minières et énergétiques à l'échelle planétaire, et a donc été proposée comme origine de l'Anthropocène (Waters et al., 2016). Cette période marque également le début de l'utilisation des armes nucléaires, causant l'apparition dans les sédiments de particules radioactives, dont la signature est possiblement permanente, et qui pourraient donc agir comme repères du début de l'Anthropocène.

Quinze ans de recherche pour obtenir un consensus

Un groupe de travail sur l'Anthropocène (GTA), issu de la CIS, a vu le jour en 2009 afin d'examiner la possibilité de formaliser l'Anthropocène, et le cas échéant, de déterminer s'il s'agit d'une nouvelle époque au sein ou à l'extérieur du Quaternaire. Ce groupe devait donc répondre à la question suivante : l'humanité a-t-elle modifié la Terre à tel point que les dépôts géologiques récents et en cours de formation comportent une signature durable et distincte de l'Holocène et, le cas échéant, à quel moment est-ce devenu identifiable à l'échelle planétaire ?

Le GTA a étudié 12 sites sur la planète pouvant servir de *clous d'or*, afin de mesurer les changements stratigraphiques propres à l'Anthropocène (Figure 5A). À l'été 2023, il a conclu que le lac Crawford, en Ontario (Figure 5B), était le site caractérisant le mieux l'impact géologique de l'humain. Ainsi, si l'Anthropocène était formalisé, ce lieu en deviendrait le *clou d'or*. Ce lac étant particulièrement profond, son fond n'est pratiquement jamais perturbé, si ce n'est que par l'accumulation graduelle de sédiments. Cette caractéristique permet de bien y voir les différentes strates de sol (Head et al., 2023 ; Hunt, 2023). Selon le GTA, c'est la présence de plutonium, un élément radioactif résiduel des tests nucléaires des années 1950, retrouvé dans les sédiments au fond du lac, qui en ferait un repère incontestable de l'importance de l'humain sur la géologie (Hunt, 2023).



En octobre 2023, une proposition formelle a été soumise par le GTA à la sous-commission sur la stratigraphie du Quaternaire (SSQ) pour que l'Anthropocène devienne une époque terminant l'Holocène, au sein de la période du Quaternaire. Selon le GTA, l'humain a suffisamment changé la Terre depuis le 20^e siècle que les normes reconnues (p. ex., la concentration de certaines molécules dans les sols, comme le plutonium) pour l'Holocène ont été dépassées, et ce, suffisamment pour justifier une nouvelle époque (Head et al., 2023). Le GTA ne considère pas que ces changements sont, pour le moment, assez importants pour excéder les normes du Quaternaire. Il a donc proposé que l'Anthropocène soit inclus dans ce dernier (Figure 3B). Il mentionne cependant que, si l'impact humain continue de s'accroître, il faudra peut-être réévaluer la question pour en faire une période distincte (Figure 3C, Head et al., 2023).

Après 15 ans de débat, en mars 2024, la SSQ a rendu sa décision finale : la formalisation de l'Anthropocène a été rejetée étant donné sa définition trop limitée et son origine trop récente ! Certains membres de la SSQ soulignent toutefois que ce rejet ne représente pas leur perception de l'état de la Terre en général, mais qu'il découle plutôt de formalités quant à la définition de l'Anthropocène. Malgré cette décision, le terme persistera probablement, car plusieurs disciplines, y compris les sciences sociales et les sciences pures, semblent l'avoir adopté pour décrire la période où l'activité humaine est devenue une force dominante globale. Les concepts de l'Anthropocène et des limites planétaires sont ainsi intimement liés, car ils servent tous deux à illustrer l'influence majeure de l'activité humaine sur la planète (Rockström et al., 2009).

RÉFÉRENCES

- Crutzen, P. J. et Stoermer, E. F. (2021).** The 'Anthropocene' (2000). Dans S. Benner, G. Lax, P. J. Crutzen, U. Pöschl, J. Lelieveld, et H. G. Brauch (Éds.), *Paul J. Crutzen and the Anthropocene: A New Epoch in Earth's History* (p. 19-21). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82202-6_2
- Head, M. J., Waters, C. N., Zalasiewicz, J. A., Barnosky, A. D., Turner, S. D., Cearreta, A., Leinfelder, R., McCarthy, F. M. G., Richter, D. de B., Rose, N. L., Saito, Y., Vidas, D., Wapre, M., Han, Y., Summerhayes, C. P., Williams, M. et Zinke, J. (2023).** The Anthropocene as an epoch is distinct from all other concepts known by this term : A reply to Swindles et al. (2023). *Journal of Quaternary Science*, 38(4), p. 455-458. <https://doi.org/10.1002/jqs.3513>
- Hunt, K. (2023).** Scientists say they've found a site that marks a new chapter in Earth's history. *CNN*. Repéré à <https://www.cnn.com/2023/07/11/world/anthropocene-epoch-geological-time-unit-scn/index.html>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U. ... et Foley, J. A. (2009).** A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), Article 7263. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P. et McNeill, J. (2011).** The Anthropocene : Conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1938), 842-867. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0327>
- Waters, C. N. et Turner, S. D. (2022).** Defining the onset of the Anthropocene. *Science*, 378(6621), 706-708. <https://doi.org/10.1126/science.ade2310>
- Waters, C. N., Williams, M., Zalasiewicz, J., Turner, S. D., Barnosky, A. D., Head, M. J., Wing, S. L., Wapre, M., Steffen, W., Summerhayes, C. P., Cundy, A. B., Zinke, J., Fiałkiewicz-Kozielec, B., Leinfelder, R., Haff, P. K., McNeill, J. R., Rose, N. L., Hajdas, I., McCarthy, F. M. G. ... et Jeandel, C. (2022).** Epochs, events and episodes : Marking the geological impact of humans. *Earth-Science Reviews*, 234, 104171. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104171>
- Waters, C. N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A. D., Poirier, C., Gatuszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E. C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J. R., Richter, D. de B., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Wapre, M., Williams, M. ... et Wolfe, A. P. (2016).** The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, 351(6269), aad2622. <https://doi.org/10.1126/science.aad2622>
- Zalasiewicz, J., Waters, C. N., Ellis, E. C., Head, M. J., Vidas, D., Steffen, W., Thomas, J. A., Horn, E., Summerhayes, C. P., Leinfelder, R., McNeill, J. R., Gatuszka, A., Williams, M., Barnosky, A. D., Richter, D. de B., Gibbard, P. L., Syvitski, J., Jeandel, C., Cearreta, A. ... et Zinke, J. (2021).** The Anthropocene : Comparing Its Meaning in Geology (Chronostratigraphy) with Conceptual Approaches Arising in Other Disciplines. *Earth's Future*, 9(3), e2020EF001896. <https://doi.org/10.1029/2020EF001896>
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Steffen, W. et Crutzen, P. (2010).** The New World of the Anthropocene. *Environmental Science & Technology*, 44(7), p. 2228-2231. <https://doi.org/10.1021/es903118j>





Credit photo : Michel Hamann, CC BY-NC 2.0, Flickr

Dossier : limites planétaires

LES DÉCHETS : ANGLE MORT DES LIMITES PLANÉTAIRES

Olivier Barsalou

Professeur

Département des sciences juridiques

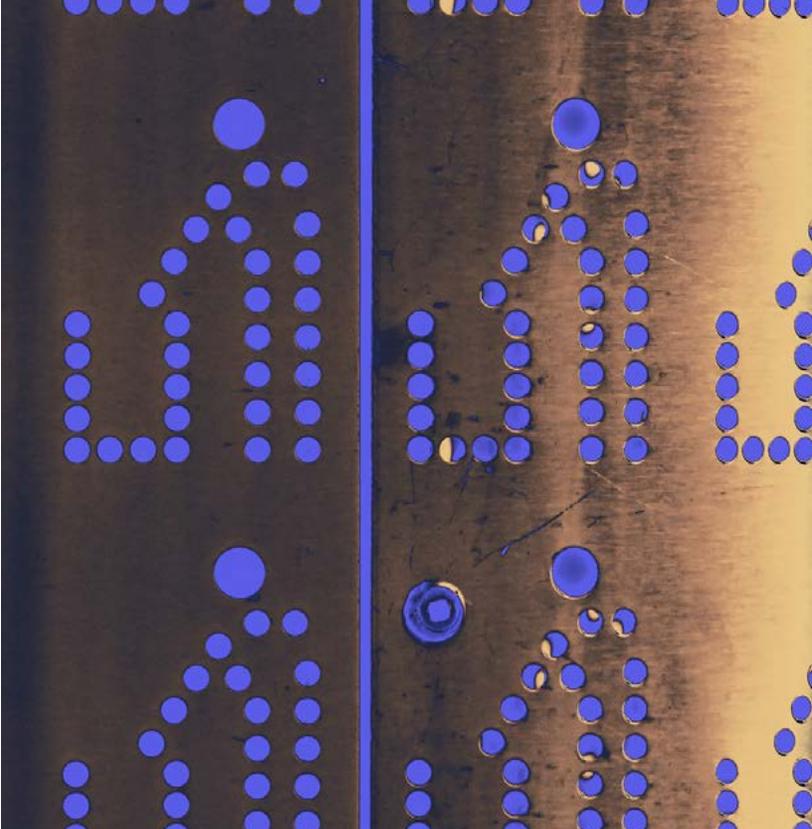
Université du Québec à Montréal

En 2015, le programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) publiait le *Global Waste Management Outlook* (GWMO). Il s'agissait de la toute première étude scientifique ayant pour objectif d'offrir un bilan de la gestion mondiale des déchets municipaux. C'était également un appel à l'action destiné à encourager les gouvernements à reconnaître que la gestion rationnelle des déchets et des ressources contribue à la fois au développement durable et à l'atténuation des changements climatiques. En mars 2024, le PNUE rendait public le second GWMO. Dès l'introduction de ce nouveau rapport, les personnes l'ayant rédigé constatent que « peu de choses ont changé [depuis 2015]. Au contraire, l'humanité a reculé – générant davantage de déchets, davantage de pollution et davantage d'émissions de gaz à effet de serre (GES) » [notre traduction] (PNUE, 2024). En dépit de ces données accablantes, les travaux de l'équipe ayant développé le concept de « limites planétaires » (LP) semblent avoir ignoré l'importance de la production de déchets, de la relation entre les déchets et les neuf LP et, plus généralement, l'incidence des déchets sur l'ensemble des processus terrestres.

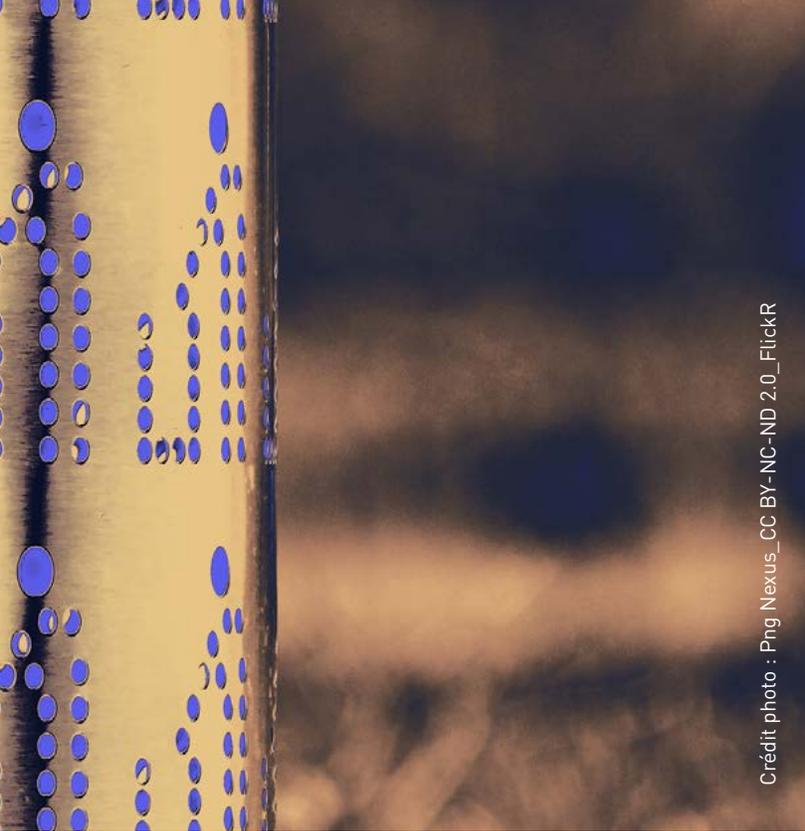
Déchets, gaz à effet de serre et changements climatiques : quelle relation ?

Cette ignorance serait en partie due au fait que nous ne disposons pas de données complètes et fiables sur la production de déchets. En effet, les chiffres et statistiques qui suivent ne visent qu'un seul type de déchets, soit le déchet municipal. Or, en 2012, par exemple, les déchets municipaux comptaient seulement pour environ 3 % de l'ensemble des déchets solides produits au Canada. Les 97 % restants étaient constitués principalement de résidus de sables bitumineux, de résidus miniers et de déchets agricoles à propos desquels les données sont au mieux parcellaires (Statistique Canada, 2012). Le *Global Waste Management Outlook 2024* précise que les déchets municipaux comprennent les déchets résidentiels et commerciaux (ex. : petits détaillants), mais excluent les déchets industriels, agricoles, médicaux et ceux issus de la construction à propos desquels « les données font cruellement défaut » (PNUE, 2024). Par conséquent, ces chiffres sous-estiment l'ampleur de la production mondiale de déchets et donc de leurs effets réels et potentiels sur le système terrestre.

Sachant cela, quelles sont les conclusions du GWMO ? À l'échelle mondiale, seulement 19 % des déchets municipaux sont recyclés ou compostés, 11 % sont incinérés, 37 % sont éliminés dans des décharges et 33 %, c'est-à-dire le tiers des déchets municipaux produits annuellement, sont dispersés dans l'environnement sans autre modalité ou tout simplement brûlés en marge de tout contexte réglementaire. Par ailleurs, on estime que la production mondiale de déchets connaîtra une croissance de plus de 70 % au cours des trois prochaines décennies, passant de 2,3 milliards (G) de tonnes (T) en 2023 à une estimation de 3,8 GT en 2050 (PNUE, 2024). Excluant les émanations issues des transports, en 2018, les émissions de gaz à effet de serre (GES) produites par ces tonnes de déchets comptaient pour environ 5 % des émissions globales de GES. Les projections du PNUE (2024) pour 2050 suggèrent que la mauvaise gestion des déchets coûtera annuellement environ 640,3 G de dollars à l'ensemble de la planète. De ce montant, 443 G de dollars, soit près de 70 % du montant total, serviront uniquement à payer les externalités négatives générées par cette mauvaise gestion, dont celles associées aux problèmes de santé publique et aux changements climatiques. En 2020, ce montant était de 361 G de dollars. Au Québec, le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) remarquait en 2022 que les lieux d'enfouissement du Québec [qui reçoivent environ 96 % des matières résiduelles générées annuellement dans la province]



avaient émis, en 2018, près de 2,5 millions (M) de tonnes d'équivalent CO₂, soit 3 % des émissions totales de GES du Québec (BAPE, 2022). L'exemple du plastique illustre bien la place croissante qu'occupera la gestion des déchets dans les bilans mondiaux de GES. En 2020, 367 M (millions) de tonnes de plastique ont été produites. Cette production est appelée à connaître une croissance soutenue au cours des prochaines décennies. Des travaux récents estiment qu'environ 6 GT métriques de plastique ont été utilisées et jetées au rebut depuis 1950. Ce chiffre devrait atteindre 26 GT métriques d'ici 2050. Contrairement à d'autres déchets, tels que le verre ou l'aluminium, seulement 9 % de tout le plastique produit aurait été recyclé. De tous les plastiques générés depuis 1950, 79 % se seraient retrouvés au dépotoir alors que 12 % auraient été brûlés. Si l'on considère l'entièreté du cycle du plastique (extraction, transport, raffinage, production, déchets et dispersion dans la nature), les émissions mondiales annuelles de GES dues au plastique sont d'environ 4,5 %. On estime par ailleurs que la demande mondiale de plastique pourrait doubler d'ici 2050 et plus que tripler d'ici 2100, avec une augmentation presque équivalente des émissions de GES (OCDE, 2022). De cet amas de chiffres apparaissent deux évidences sur l'horizon 2050 : la production mondiale de déchets connaîtra une forte croissance et elle s'accompagnera d'une croissance tout aussi forte à la fois de la quantité, mais aussi de la diversité des gaz à effet de serre (CO₂, méthane et polluants organiques persistants ou éternels). Alors, pourquoi le concept de « limites planétaires » ignore-t-il largement les déchets ? La suite de cet article présente deux hypothèses pouvant expliquer cet état de fait.



Crédit photo : Png Nexus, CC BY-NC-ND 2.0, FlickrR

Les limites planétaires et les déchets : un problème méthodologique

La première hypothèse s'intéresse aux fondements conceptuels et méthodologiques des limites planétaires. En 2020, une équipe internationale et multidisciplinaire de recherche constatait que le concept de « limites planétaires » offrait une image incomplète de ce qu'est l'espace de fonctionnement sûr pour l'humanité, car le modèle employé sous-estime l'importance voire ignore non seulement la production de déchets, mais aussi la relation entre les déchets et les neuf LP et, plus généralement, les conséquences des déchets sur l'ensemble des systèmes terrestres. Selon cette étude, bien qu'il soit rarement évoqué, le succès de toute dynamique environnementale durable est toujours assujéti à la (mauvaise) gestion des déchets qui détermine, ultimement, où se trouvent les valeurs limites, chose que ne fait pas le concept de LP. Toujours selon la même étude, l'accumulation de déchets serait la cause principale du dépassement d'une majorité (6/9) des limites planétaires. Autrement dit, les LP seraient donc aussi liées à la capacité d'assimilation des déchets par les différents systèmes terrestres (Downing et al., 2020). De plus, ces mêmes limites planétaires n'ont pas été imaginées de façon à pouvoir intégrer la répartition régionale des causes et des conséquences de la transformation du système planétaire, de l'évolution historique de celles-ci, des dynamiques expansionnistes, des relations de pouvoirs, des processus de verrouillage sociaux ou

encore de la portée des enjeux et débats sociaux relatifs, par exemple, à la justice, aux inégalités ou encore au droit qui exercent une influence déterminante sur le comportement des gens, des sociétés et des institutions. Ce sont ces mêmes systèmes et phénomènes sociaux qui organisent la production et la dispersion des déchets qui sont aussi générateurs de relations sociétales non durables avec la nature. Finalement, en se focalisant de façon étroite sur le maintien des conditions héritées de la période de l'Holocène, les LP ignorent en quelque sorte les problèmes, tels que ceux induits par les déchets de plastique, qui n'existaient pas dans le monde préindustriel de l'Holocène.

La production d'ignorance à propos des déchets

La seconde hypothèse s'intéresse aux conditions de la production de données et d'information à propos des déchets. À ce titre, le traitement que l'équipe de scientifiques aux origines du concept des limites planétaires réserve aux déchets n'est pas unique, mais plutôt symptomatique de la relation que nous — personnes, sociétés et institutions — entretenons avec les déchets : nous les ignorons largement et pour cette raison, nous en savons encore très peu à leur sujet. Comment peut-on expliquer cette ignorance ?

Classiquement, l'ignorance entendue comme non-connaissance découle d'une information incomplète ou absente qui est corrigée par de nouvelles données scientifiques et de nouveaux faits. Par exemple, le journal britannique *The Guardian* (2024) rapportait que l'analyse d'images satellitaires par une équipe internationale de recherche avait permis de détecter, de 2019 à 2023, 1 256 énormes fuites de méthane issues de décharges au Pakistan, en Inde, au Bangladesh, en Argentine, en Ouzbékistan et en Espagne. Ces nouvelles données permettront notamment d'améliorer les pratiques de gestion des déchets et de mieux comprendre les conséquences de l'enfouissement des déchets sur les changements climatiques. Dans d'autres cas, l'ignorance est considérée comme une caractéristique intégrale et donc normalisée du mode de fonctionnement d'une institution ou d'une organisation. On parlera ainsi d'ignorance institutionnelle ou organisationnelle, car elle marginalise ou invisibilise des connaissances et des savoirs potentiellement inconfortables, mais qui existent. Par exemple, les émissions militaires de GES ne sont jamais ouvertement évoquées dans les négociations sur le climat. Les États jouissent ainsi d'un haut degré de flexibilité dans le choix des types d'émissions nationales qu'ils déclarent. À titre illustratif, en 2017, la production de GES par l'armée américaine était équivalente à la quantité totale de GES produite par

des États industrialisés tels que la Suède, le Danemark ou encore le Portugal (Crawford, 2022). De plus, les données relatives à la production mondiale de déchets militaires (pensons notamment aux déchets générés par les conflits armés) demeurent, quant à elles, encore approximatives, mais potentiellement très importantes. Par ailleurs, le Rapporteur spécial des Nations unies sur les incidences sur les droits de l'homme de la gestion et de l'élimination écologiquement rationnelles des produits et déchets dangereux dénonçait justement le fait que les « États ont institutionnalisé l'externalisation [des déchets] au moyen de lois nationales discriminatoires et d'un système dépassé de gestion mondiale des produits chimiques et des déchets » (Rapporteur spécial, 2020). Finalement, l'ignorance peut aussi être « mobilisée comme une ressource, permettant de détourner, d'obscurcir, de dissimuler ou d'amplifier la connaissance de manière à accroître la portée de ce qui reste inintelligible » [notre traduction] (McGoey, 2016). Par exemple, en décembre 2023, la Cour fédérale du Canada rendait une décision dans laquelle elle annulait le décret du gouvernement fédéral visant à ajouter le plastique à la liste des substances toxiques au titre de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement de 1999* (Cour fédérale, 2023). Cette affaire a non seulement mis en évidence le rôle croissant des tribunaux nationaux dans la gouvernance mondiale de la pollution plastique, mais aussi comment les institutions judiciaires, tant nationales qu'internationales, peuvent être stratégiquement mobilisées par les intérêts de l'industrie du plastique pour retarder l'adoption de réglementations et ainsi détourner l'attention des méfaits sanitaires et environnementaux causés par le plastique. Les travaux et recherches de Statistique Canada, du BAPE, du PNUE, de l'OCDE ou encore les enquêtes journalistiques nous permettent de rattraper les retards accumulés dans la production de données et d'information relatives aux déchets et d'ainsi mieux comprendre les répercussions des déchets sur la production de GES et, plus généralement, sur les systèmes terrestres. Les deux derniers exemples révèlent, quant à eux, comment ces mêmes données peuvent être marginalisées, détournées ou encore occultées pour des raisons diplomatiques ou encore économiques. Bref, la production et la mobilisation des connaissances à propos des déchets ne sont pas qu'un problème scientifique; elles sont aussi un enjeu politique et sont constitutives des rapports sociaux de pouvoir qu'il nous est aujourd'hui impossible d'ignorer.

Conclusion

En effet, les déchets tout comme les pollutions, les contaminations et autres radiations sont désormais les nouveaux communs négatifs planétaires pesant lourdement sur chacune des limites planétaires. Comme le souligne

le Rapporteur spécial des Nations Unies cité plus haut, « les stratégies de décarbonation et de détoxification doivent être intégrées et devraient être mises en œuvre dans le respect des droits humains ». L'humanité devra ainsi adopter des règles destinées à améliorer la gestion de ces déchets et à assurer une redistribution juste de leurs effets de façon à garantir un espace opérationnel et existentiel *réellement* sûr pour l'humanité. Seules une meilleure connaissance et une réelle prise en compte des conséquences environnementales et sociales des déchets permettront d'atteindre ces objectifs sur une planète où le déchet est sur le point de devenir le marqueur stratigraphique annonciateur d'une nouvelle ère géologique : le « Molysmocène », ou l'ère des déchets.

Références

- Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) (2022).** *Rapport 364 – L'état des lieux et la gestion des résidus ultimes*. Repéré à <https://voute.bape.gouv.qc.ca/dl?id=00000273113>
- Cour fédérale (2023).** *Coalition pour une utilisation responsable du plastique c. Canada (Environnement et Changements climatiques)*. 2023 CF 1511. Repéré à <https://decisions.fct-cf.gc.ca/fc-cf/decisions/fr/item/524419/index.do>
- Crawford, N. C. (2022).** *The Pentagon, Climate Change, and War: Charting the Rise and Fall of U.S. Military Emissions*. Repéré à <https://mitpress.mit.edu/9780262047487/the-pentagon-climate-change-and-war/>
- Downing, A.S. et al. (2020).** Lessons from Generations of Sustainability Concepts, *Environmental Research Letter*. 15:8, 083002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7766>
- Gille, Z. et Lepawsky, J. (2021).** *The Routledge Handbook of Waste Studies*. <https://doi.org/10.4324/9781003019077>
- McGoey, L. (2016).** An Introduction to the Sociology of Ignorance: Essays on the Limits of Knowing. <https://doi.org/10.4324/9781315771106>
- Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) (2022).** *Perspectives mondiales des plastiques : Scénarios d'action à l'horizon 2060*. <https://doi.org/10.1787/c5abcbb1-fr>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) (2024).** *Global Waste Management Outlook 2024*. Repéré à https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44939/global_waste_management_outlook_2024.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rapporteur spécial (2020).** *Incidences sur les droits de l'homme de la gestion et de l'élimination écologiquement rationnelles des produits et déchets dangereux. Note du Secrétaire général, A/76/207*. Repéré à <https://www.undocs.org/fr/A/76/207>
- Statistique Canada (2012).** *Human Activity and the Environment 2012: Waste management in Canada*. Repéré à <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/120605/dq120605b-eng.pdf>
- The Guardian (2024).** *Revealed: the 1,200 big methane leaks from waste dumps trashing the planet*. Repéré à https://www.theguardian.com/environment/2024/feb/12/revealed-the-1200-big-methane-leaks-from-waste-dumps-trashing-the-planet?CMP=Share_AndroidApp_Other



Dossier : limites planétaires

LES AVIS D'EXPERTS POUR AMÉLIORER NOTRE COMPRÉHENSION DES EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES À GRANDE ÉCHELLE DANS LE GRAND NORD

Crédit photo : Nunavik, été 2012. Frédéric Bouchard

Émilie Saulnier-Talbot*
Professeure
Université Laval

Éliane Duchesne
Professionnelle de recherche
Université du Québec
à Rimouski

Frédéric Bouchard
Professeur
Université de Sherbrooke

Joël Bêty
Professeur
Université du Québec
à Rimouski

L'importance d'améliorer notre compréhension de la dynamique des changements environnementaux dans le contexte du changement climatique rapide est primordiale afin de mieux anticiper les bouleversements environnementaux et de s'y préparer en tant que société. Fondé en 1961, le Centre d'études nordiques (CEN) a formé un très grand nombre d'experts québécois et d'expertes québécoises sur les environnements froids et leurs différentes composantes biologiques, géographiques et géologiques. Ces spécialistes se trouvent aujourd'hui dans presque toutes les universités québécoises et autres, dans la fonction publique et aussi dans le secteur privé. Plusieurs travaillent de concert pour approfondir les connaissances sur le domaine nordique, qui subit présentement le réchauffement climatique anthropogénique.

Dans le cadre climatique actuel, où l'augmentation des températures connaît une rapidité jamais vue, les spécialistes du CEN se posent tous et toutes la même question, à savoir : comment ce changement fondamental de l'environnement touche-t-il l'intégrité des écosystèmes et des géosystèmes nordiques ? Les conséquences de ce réchauffement rapide sur des régions peu perturbées par les conséquences directes des activités anthropiques demeurent largement incertaines et il est difficile de prévoir à quelle vitesse elles se produiront, même avec les modèles les plus performants. L'équipe de recherche du CEN, provenant d'une multitude de disciplines, allant des écologistes aux géomorphologues, s'est donc réunie plusieurs fois afin de réfléchir de façon systématique et coordonnée à cet avenir sous un angle commun, c'est-à-dire tenter de définir la sensibilité de l'environnement nordique au réchauffement actuel et futur. L'objectif était plus précisément de déterminer avec quelle rapidité les différentes composantes des systèmes nordiques pourraient passer d'un état à un autre avec un réchauffement hypothétique soudain de cinq degrés Celsius de la température moyenne annuelle de l'air.

* Les auteurs tiennent à souligner l'apport des autres membres du groupe de travail « gradient nordique » à la réalisation de ce texte.

Corridor d'étude du Québec boréal au pôle Nord

La région d'intérêt de notre groupe d'experts est un corridor d'une largeur d'environ 200 km s'étendant de la forêt boréale du Québec, dans les environs de Matagami, jusqu'au désert polaire de l'île Ward-Hunt, qui est l'île la plus au nord du Canada, sur la côte septentrionale de l'île d'Ellesmere. C'est un gradient latitudinal d'environ 3 000 km couvrant des températures annuelles moyennes de l'air allant de quelques degrés au-dessus de zéro à environ 20 degrés sous zéro. Le long de ce gradient, on retrouve des états contrastés pour plusieurs composantes du paysage à mesure qu'on passe de la forêt à la toundra, puis au désert polaire (figure 1).

La méthode adoptée lors de nos rencontres de remue-méninges est connue sous le terme d'élicitation d'experts et se base sur une approche visant à inciter une personne à statuer sur différentes hypothèses ayant recours à ses connaissances et à sa compétence. Nos objectifs spécifiques étaient premièrement d'identifier la localisation latitudinale des seuils critiques entre

les états contrastés des composantes des écosystèmes, et deuxièmement d'évaluer la sensibilité au réchauffement de six composantes clés des paysages nordiques, soit le pergélisol, les tourbières, les lacs, la neige, la végétation et les vertébrés endothermes (à sang chaud) (figures 1 et 2). Un seuil critique a été défini comme le point au-delà duquel un système commence à passer d'un état à un autre en réponse à un facteur externe. Nous avons considéré la position actuelle la plus au sud d'un état donné le long de notre gradient latitudinal comme étant le seuil critique, car tous les systèmes situés plus au sud, c'est-à-dire dans un climat plus chaud, sont caractérisés par un autre état. La sensibilité a été définie comme le temps nécessaire pour une composante afin de passer d'un état à un autre, par exemple d'un état de pergélisol continu à discontinu.

Nous avons identifié un total de 28 états contrastés pour l'ensemble des composantes retenues (figure 1). Puis, nous avons utilisé des données publiées et non publiées, y compris nos propres observations, afin de déterminer la latitude la plus basse (à $\pm 2,5$ degrés de latitude) à laquelle on retrouve chacun des seuils des états contrastés le long de notre corridor d'intérêt. Par exemple, la localisation latitudinale de la limite sud

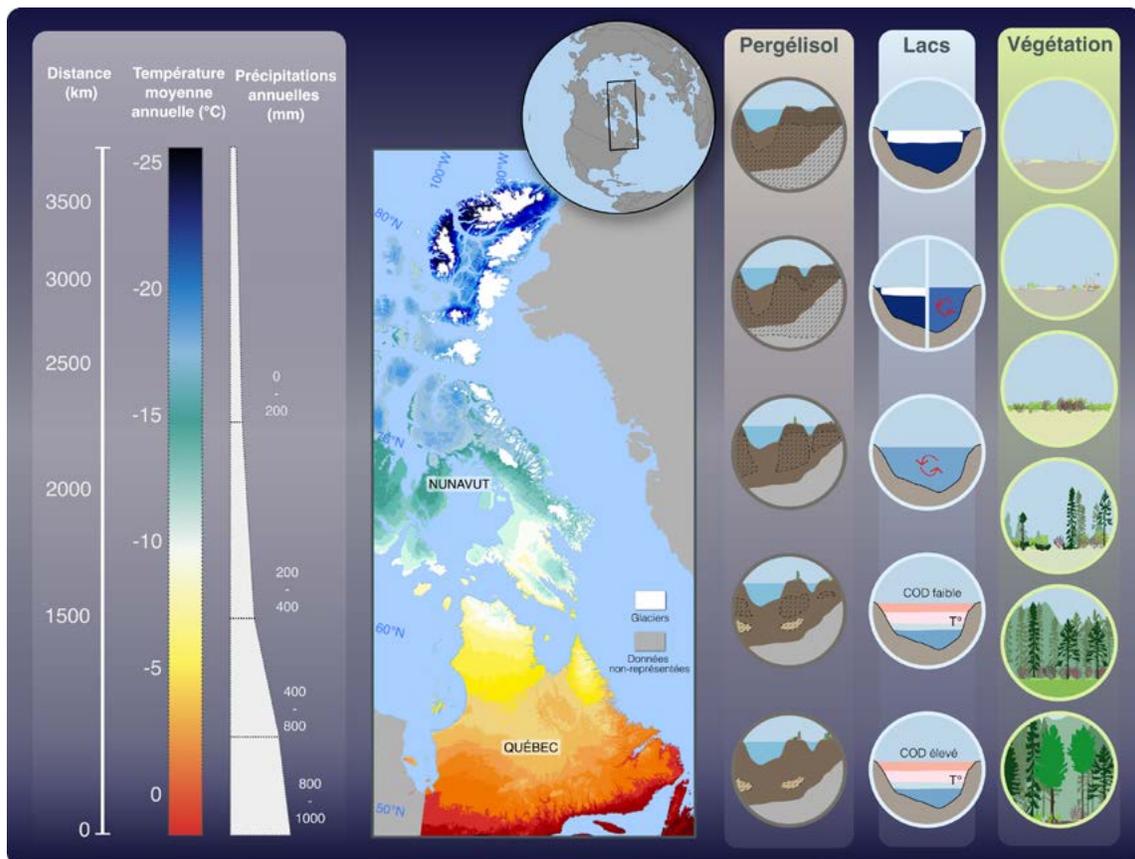


Figure 1. Transect latitudinal de l'étude allant du Québec boréal au pôle Nord. Le transect s'étend sur plus de 3 000 km du sud vers le nord et couvre des conditions variées de températures moyennes de l'air et de précipitations annuelles (section de gauche) ; il s'agit d'un transect représentatif du nord-est du continent nord-américain (section centrale) ; l'étude comprend entre autres des états contrastés pour le pergélisol, les lacs et la végétation (section de droite).

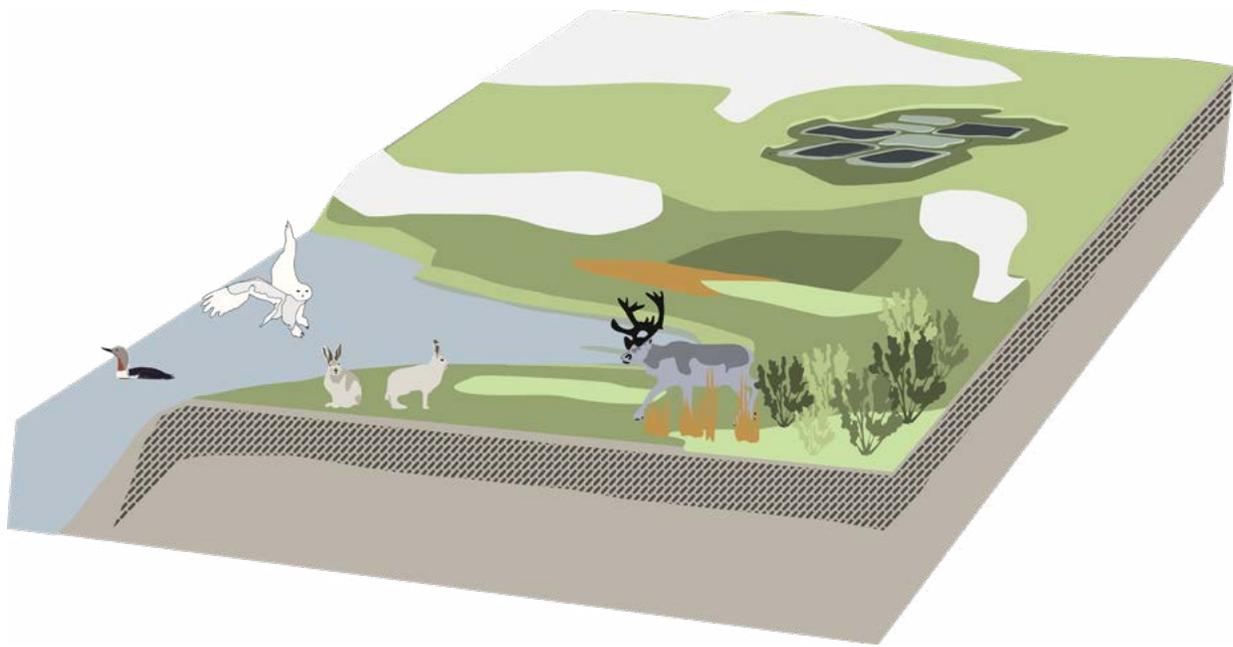


Figure 2. Illustration des six différentes composantes des paysages nordiques retenues pour l'étude : le pergélisol (zone ombragée), les tourbières (polygones), les lacs, la neige, la végétation et les vertébrés endothermes.

de la toundra forestière, ou bien celle des lacs possédant une couverture de glace intermittente (par rapport à une couverture pérenne). Les écosystèmes situés à ces limites sud ont été considérés comme étant à des seuils critiques.

Une fois les états contrastés définis et les positions latitudinales des seuils critiques localisées, nous nous sommes demandé il faudrait combien de temps pour passer à un autre état contrasté (qui existe présentement le long du gradient) à la limite sud de celui-ci, si le système était subitement exposé à un réchauffement de la température annuelle persistant de 5 °C.

L'évolution de la végétation, influence majeure sur les autres composantes

Les discussions qui s'en sont suivies ont fait ressortir les liens existants entre les différentes composantes. Il se trouve que la végétation, surtout dans la portion sud du gradient, exerce une influence majeure sur les caractéristiques de toutes les autres composantes, sauf les tourbières, dont la nature et le développement sont plutôt influencés par le pergélisol. La végétation, contrairement à la glace, qui disparaît rapidement (à l'échelle de quelques décennies) dans le secteur nord du transect, migre relativement lentement, à l'échelle d'au moins un siècle d'un seuil critique à un autre. En effet, les arbres vivent plusieurs décennies et mettent du temps à s'établir plus au nord, ce qui laisse à la couverture arbustive

le temps de se densifier et de s'appropriier l'espace et les ressources dont les arbres auront besoin une fois qu'ils auront atteint les latitudes présentement recouvertes par la toundra arbustive [Rees et al., 2020]. Ce phénomène, nommé verdissement, fait en sorte que le paysage devient beaucoup plus densément végétalisé, sans toutefois qu'il passe à un autre état contrasté, c'est-à-dire à celui de forêt ouverte. Les mammifères et les oiseaux qui sont adaptés à l'un ou l'autre de ces états contrastés auront tendance à demeurer là où la végétation leur convient le mieux ; ils ne seront donc pas forcément contraints à migrer rapidement vers le nord avec un réchauffement, tel qu'on pourrait instinctivement le croire. Dans le nord du transect, la dégradation rapide de la cryosphère exerce une influence marquée sur la sensibilité des composantes (Prowse et al., 2006). La durée de l'englacement des lacs, qui fait en sorte qu'un lac passe d'un état contrasté à un autre en l'espace de quelques années seulement, rendra disponible cet habitat pour certaines espèces d'oiseaux, dont la migration vers le Nord se fera rapidement.

Dans nos évaluations des temps de réponse des composantes au réchauffement de 5 °C, nous avons aussi considéré les mécanismes potentiels de rétroaction entre les composantes, car ces mécanismes peuvent raccourcir le temps de réponse. Par exemple, les interactions entre la végétation et la neige peuvent augmenter la capacité d'isolation thermique de la neige et ainsi réduire le refroidissement des sols en hiver. Des températures du sol plus élevées peuvent favoriser le recyclage des nutriments, ce qui promeut davantage la croissance des végétaux. Une telle rétroaction positive

peut réduire le temps de réponse de la végétation et de la neige au réchauffement et a été considérée par les experts. Ce type de mécanisme connu, les changements s'étant produits dans le passé, les effets en cascade et les interactions entre les composantes des systèmes ont été considérés par les experts du groupe lors de leurs évaluations des temps de réponse des composantes au réchauffement.

Conclusions des avis d'experts

Les résultats de notre étude, qui sont présentement en train d'être évalués par les pairs pour une publication dans la littérature scientifique, améliorent notre compréhension de la dynamique environnementale des régions nordiques dans le contexte actuel de réchauffement climatique rapide (Saulnier-Talbot et al., soumis). En effet, l'approche basée sur l'avis structuré d'experts que nous avons adoptée comporte plusieurs avantages pour combler les faiblesses des approches traditionnelles basées uniquement sur les données empiriques. Malgré le fait que plusieurs composantes environnementales importantes, comme le régime de précipitations ou les épidémies, n'aient pas été prises en compte de façon explicite, nous avons pu identifier et intégrer les sources principales d'incertitude dans nos prévisions.

Les données empiriques sont présentement insuffisantes pour permettre le développement de modèles qui pourraient prédire avec fiabilité le moment et l'endroit où les changements d'état brusques vont s'opérer dans les environnements nordiques soumis à des hausses importantes de température. Au meilleur de nos connaissances, il n'existe pas de modèles capables d'intégrer pleinement les interactions et les effets en cascade entre l'ensemble de composantes biophysiques employées dans notre étude. De plus, les approches qui se basent sur des ensembles de données massives afin d'évaluer la sensibilité ne peuvent être appliquées présentement qu'à de vastes échelles spatiales et pour seulement quelques composantes environnementales. Finalement, l'étendue de l'augmentation rapide de température prévue pour notre région d'étude surpasse celles du passé. Ceci limite beaucoup notre capacité à prévoir avec précision le temps de réponse de plusieurs composantes qui interagissent à l'échelle du paysage et le long d'un vaste gradient latitudinal. En ce sens, l'avis de spécialistes peut être considéré comme ayant un statut supérieur sur les modèles existants dans des domaines scientifiques caractérisés par une incertitude élevée (Majszak et Jebeile, 2023).

Une conclusion importante de notre étude est le

manque de cohérence dans les temps de réponse des composantes biophysiques des écosystèmes au réchauffement. Ces différences de temps de réponse, à la fois selon la latitude et entre des composantes qui coexistent, devraient se traduire par une restructuration des écosystèmes ainsi que l'expansion asynchrone des aires de répartitions géographiques de certains états vers le Nord. Par exemple, certains types de lacs actuellement absents dans le Haut-Arctique devraient progresser plus rapidement vers le nord que certaines communautés végétales ou certains types de pergélisols. On peut ainsi s'attendre à voir apparaître dans les paysages nordiques des assemblages de types de lacs ainsi que de communautés végétales et animales qui n'existent actuellement pas. Globalement, cela devrait générer des tendances hétérogènes de changement de la biodiversité selon la latitude et des conséquences directes sur les populations humaines habitant ces régions reculées, qui font déjà face à des enjeux complexes entourant leur bien-être (Lebel et al., 2022).

L'approche par avis d'experts gagne de la crédibilité et ses utilités sont de plus en plus reconnues afin d'aborder et de résoudre des problématiques complexes dans tous les domaines du savoir. Les sciences environnementales ne font pas exception et il est temps de mettre à profit cette approche en réunissant les experts autour de discussions structurées pour faire avancer notre compréhension des changements planétaires qui déferlent autour de nous.

Références

- Lebel, L., Paquin, V., Kenny, T. A., Fletcher, C., Nadeau, L., Chachamovich, E. et Lemire, M. (2022). Climate change and Indigenous mental health in the Circumpolar North: A systematic review to inform clinical practice. *Transcultural Psychiatry*, 59(3), p. 312-336.
- Majszak, M. et Jebeile, J. (2023). Expert judgment in climate science: how it is used and how it can be justified. *Studies in history and philosophy of science*, 100, p. 32-38.
- Prowse, T. D., Wrona, F. J., Reist, J. D., Gibson, J. J., Hobbie, J. E., Lévesque, L. M. et Vincent, W. F. (2006). Climate change effects on hydroecology of Arctic freshwater ecosystems. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 35(7), p. 347-358.
- Rees, W. G., Hofgaard, A., Boudreau, S., Cairns, D. M., Harper, K., Mamet, S., ... et Tutubalina, O. (2020). Is subarctic forest advance able to keep pace with climate change? *Global Change Biology*, 26(7), p. 3965-3977.
- Saulnier-Talbot, É., Duchesne, É., Antoniadou, D., Arseneault, D., Barnard, C., Berteaux, D., Bhiry, N., Bouchard, F., Boudreau, S., Cazelles, K., Comte, J., Corbeil-Robitaille, M.-Z., Côté, S. D., Couture, R.-M., de Lafontaine, G., Domine, F., Fauteux, D., Fortier, D., Garneau, M. ... et Bêty, J. (2024). Expert elicitation of state shifts and divergent sensitivities to climate warming across northern ecosystems. Soumis à *Nature Communications Earth and Environment*.



Crédit photo : Benjamin Child_ Unsplash

Enjeux de société

QUEL RÔLE POUR LES PSYCHOLOGUES DU TRAVAIL ET DES ORGANISATIONS FACE À LA CRISE CLIMATIQUE ?

Anabel Cossette Civitella

Candidate au doctorat
Ph. D.-RI, cheminement psychologie
du travail et des organisations
Département de psychologie
Université de Sherbrooke

Roxane Meilleur, Ph. D., psy.

Professeure adjointe
Département de la gestion de
l'éducation et de la formation
Université de Sherbrooke

Vassia Peytcheva Sigaut

Candidate au doctorat
Laboratoire d'anthropologie et de
psychologie cliniques, cognitives
et sociales (LAPCOS)
Université Côte d'Azur

La crise socioécologique actuelle forcera le monde du travail à s'adapter radicalement dans les prochaines années. Si les répercussions des changements climatiques apparaissent distantes aux yeux de certains corps dirigeants, à peu près tous les secteurs d'activité seront touchés directement ou indirectement. Déjà, les secteurs de l'agriculture et de la foresterie s'adaptent aux catastrophes climatiques qui agissent directement sur leur rendement.

Au Québec, une majorité croit que ce sont les entreprises qui devraient en faire plus pour lutter contre les changements climatiques, juste devant le gouvernement fédéral et les individus (Champagne St-Arnaud et al., 2023). On observe également des préoccupations grandissantes chez les personnes dirigeant les petites et moyennes entreprises (PME), qui constituent la majorité des entreprises de la province : si la croissance habituellement préconisée au sein de ces organisations doit être remise en question par rapport à ses conséquences sur le plan environnemental, quel avenir peuvent-elles espérer pour leur entreprise et pour la sécurité d'emploi de leur personnel ?

Comment accompagner les entreprises — et les individus qui en font partie — face aux défis que suscitent ces transformations majeures ? Dans le cadre de cet article, nous postulons que les psychologues du travail et des organisations peuvent jouer un rôle clé dans cet accompagnement.

Qui sont les psychologues du travail et des organisations ?

Les psychologues du travail et des organisations (PTO) représentent en quelque sorte des spécialistes de la dimension humaine au travail. À la différence des psychologues cliniciens et cliniciennes qui interviennent en lien avec les enjeux de santé mentale des individus, les PTO portent leur regard sur les humains dans les organisations (p. ex., au sein d'entreprises privées et publiques). Les PTO peuvent intervenir sur le plan organisationnel (p. ex., gestion du volet humain d'un changement), groupal (p. ex., résolution de conflits au sein d'une équipe) et individuel (p. ex., coaching d'un cadre dirigeant). Parmi leurs champs de pratique, on compte également le recrutement de personnel et l'évaluation du potentiel à l'aide de tests psychométriques, la formation en milieu de travail, le soutien aux transitions de carrière et les interventions pour soutenir la santé psychologique au travail.

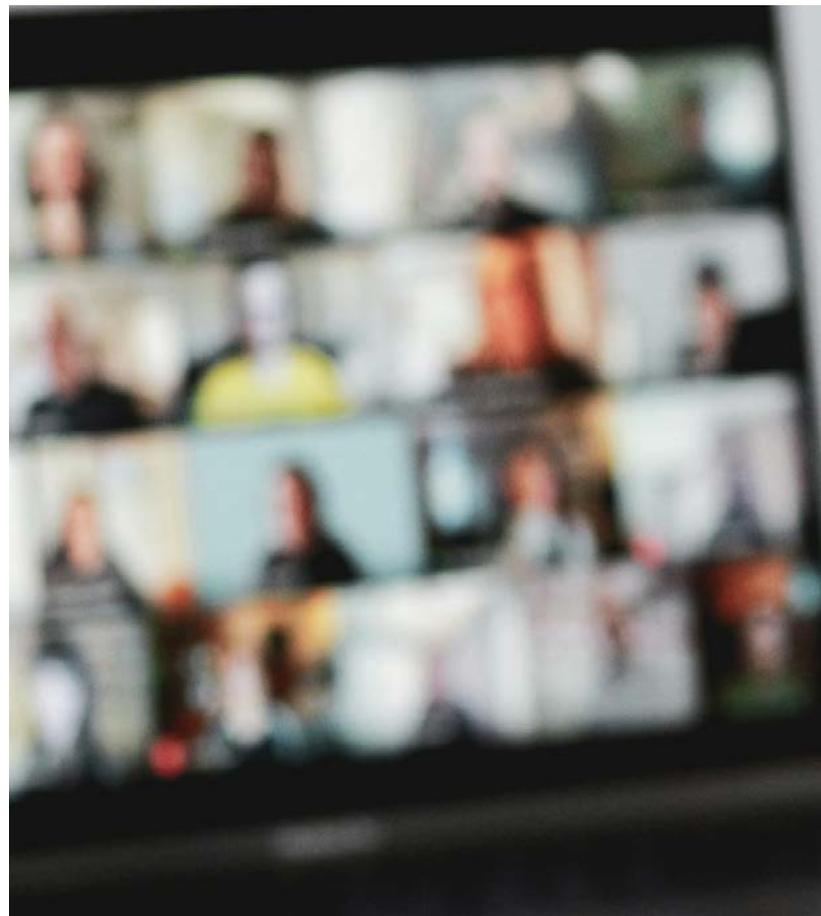
Le rôle des PTO peut ressembler sensiblement à celui des professionnels en ressources humaines à certains égards. Toutefois, leur formation ancrée dans la psychologie et la recherche les amène à appuyer leur pratique sur une démarche d'intervention systématique et rigoureuse, ancrée dans les données probantes et les cadres de référence en psychologie (p. ex., théories de la motivation, stades de développement de l'adulte, facteurs de risque à la détresse, etc.).

Ainsi, les PTO utilisent leur connaissance approfondie de la personnalité, des relations humaines et des facteurs qui motivent l'humain à passer aux actes et à changer pour soutenir les entreprises dans l'atteinte de leurs objectifs. On peut aisément imaginer que ces facteurs puissent être déterminants dans la transformation des comportements et des pratiques dans les organisations pour faire face à la crise climatique. Mais qu'en est-il réellement ? Dans les prochaines sections, nous explorerons la place des questions environnementales dans la discipline de la psychologie d'abord, puis dans le champ plus précis de la psychologie du travail et des organisations. Les constats relevés s'appuient sur une recension des écrits.

Quelle place pour les questions environnementales en psychologie ?

En faisant un examen des écrits scientifiques liant environnement et psychologie, on constate que ceux-ci apparaissent de manière plus marquée autour de 2005. Pourtant, déjà dans les années 1950, Kurt Lewin, auteur phare en psychologie sociale, intégrait les questions environnementales à son programme de recherche. Dans les années 1970, un premier programme de formation en psychologie environnementale voyait également le jour aux États-Unis (Campbell et Campbell, 2005). Après près de 20 ans de recherches en psychologie environnementale, un constat demeure : la crise socio-écologique et les changements climatiques suscitent généralement peu d'intérêt chez les psychologues. Ces questions sont perçues traditionnellement comme appartenant aux domaines des sciences naturelles, des technologies et de l'administration publique.

Les scientifiques qui s'intéressent à la question s'entendent pour dire que les psychologues gagneraient à prendre davantage part aux débats et aux discussions publics en matière d'environnement, pour plusieurs raisons. D'abord, cette discipline est de plus en plus sollicitée par les décideurs politiques et les groupes



militants dans l'espoir de mieux comprendre, prédire et modérer les comportements pour qu'ils deviennent plus durables. La psychologie peut aussi permettre de mieux comprendre les mécanismes psychologiques et les biais cognitifs qui sous-tendent nos décisions en regard de l'environnement. Par exemple, les risques sont perçus comme moins importants lorsque les événements sont éloignés dans le temps et l'espace. Selon les résultats du Baromètre climatique (Champagne St-Arnaud et al., 2023), de 20 à 30 % seulement des Québécois et Québécoises percevaient la crise climatique comme une « menace élevée à court terme pour eux-mêmes, pour leur famille et pour leur municipalité ou leur localité » (p. 14), même si 73 % d'entre eux et elles se disaient « très préoccupé[e]s par les problèmes environnementaux en général » (p. 8).

Les écrits soulignent également de plus en plus les conséquences du déclin de l'environnement et de l'anticipation de la crise climatique sur la santé mentale : émotions négatives, écoanxiété, deuil, trauma, etc. (Kalwak et Weihgold, 2022). Plus particulièrement en psychologie environnementale, une recension de la littérature récente souligne l'abondance des écrits sur les déterminants des comportements pro-environnementaux (p. ex., croyances, valeurs, émotions individuelles), négligeant toutefois bien souvent les facteurs contextuels en jeu (p. ex., politiques publiques, présence d'infrastructures) (Freschi et al., 2023). Dans les articles des cinq dernières années, on remarque d'ailleurs des critiques grandissantes à l'égard des approches préconisées en psychologie de l'environnement, qui

ont tendance à être individuelles. On leur reproche notamment d'ignorer les barrières structurelles au changement, de promouvoir une représentation de la nature humaine statique et déconnectée des contextes, puis de négliger l'influence des dimensions sociales sur les comportements individuels (p. ex., relations de pouvoir). Le regard est porté sur la responsabilité individuelle plutôt que collective, ce qui est peu surprenant dans une société néolibérale, et ce, même en contexte militant (Kalwak et Weihgold, 2022).

Qu'en est-il en psychologie du travail et des organisations (PTO) ?

En 2005, Campbell et Campbell argumentaient que les changements climatiques avaient une incidence sur l'ensemble des champs de pratique des PTO. Comme ce sont les organisations (ou entreprises) qui ont le plus de poids dans la balance environnementale — par exemple, en économie et en conservation d'énergie —, les personnes qui jouent un rôle-conseil auprès de ces dernières peuvent avoir une influence importante sur leurs pratiques organisationnelles. Ces auteurs soulignent que les PTO ne peuvent pas changer les systèmes socioéconomiques directement, mais qu'en travaillant avec les personnes détenant le pouvoir décisionnel, ces professionnels et professionnelles sont en mesure d'encourager la mise en œuvre de pratiques plus soutenables.

Quelles sont ces pratiques ? Le Tableau 1 en expose quelques-unes. Les écrits scientifiques qui allient psychologie, environnement et contexte de travail — le plus souvent en gestion des ressources humaines — misent principalement sur la responsabilisation des membres du personnel (*Responsabilisation individuelle*, dans le Tableau 1). Par exemple, un PTO pourrait mettre en œuvre un programme de formation qui sensibilise les membres du personnel à l'adoption de comportements pro-environnementaux (CPE) en milieu de travail. Ce serait alors aux membres du personnel d'adopter certains CPE afin que l'organisation atteigne les cibles environnementales fixées. Quelques écrits font aussi mention de pratiques qui responsabilisent l'ensemble des membres de l'organisation (*Responsabilisation collective*), telles que l'adoption d'une charte de responsabilité sociale des entreprises (RSE). Dans ce cas, tous les membres du personnel sont impliqués collectivement dans le changement, par exemple en s'engageant à ce que les départements pertinents s'approvisionnent à des fournisseurs certifiés « verts ». Finalement, des écrits plus récents mentionnent la nécessité d'adopter une série de pratiques, autant



Niveaux de pratiques	Exemples de pratiques
<i>Responsabilisation individuelle</i>	<p>Recruter du personnel aux attitudes, valeurs et compétences déjà favorables à l'environnement.</p> <p>Former sur les enjeux environnementaux (p. ex., importance d'adopter une solution de rechange à l'avion pour les déplacements liés à des rencontres d'affaires).</p> <p>Évaluer et reconnaître les comportements pro-environnementaux (p. ex., offrir des récompenses monnayables aux membres du personnel qui choisissent de covoiturer).</p> <p>Adopter des techniques de persuasion pour inciter les gestes environnementaux (p. ex., faire appel aux émotions pour communiquer l'importance d'agir).</p>
<i>Responsabilisation collective</i>	<p>Accompagner les initiatives « vertes » (p. ex., création d'une division dédiée à l'environnement au sein de l'équipe santé et sécurité au travail).</p> <p>Utiliser la réflexion critique et l'apprentissage expérientiel comme moyens de formation.</p> <p>Mettre en place une politique de responsabilité sociale des entreprises (RSE).</p> <p>Développer, chez les gestionnaires, un leadership axé sur une vision à long terme et des comportements éthiques.</p> <p>Inciter les membres du personnel à l'action collective (p. ex., action politique).</p> <p>Communiquer à l'interne les efforts environnementaux de l'organisation.</p>
<i>Stratégie organisationnelle</i>	<p>Créer une culture organisationnelle centrée sur l'apprentissage, la collaboration et l'innovation.</p> <p>Miser sur la multidisciplinarité (p. ex. dans les comités de travail).</p> <p>Redéfinir les indicateurs de performance (p. ex., tenir compte des ressources limitées, ne pas se limiter aux indicateurs financiers).</p>

Tableau 1. Exemples de pratiques pro-environnementales en milieu de travail, selon le niveau d'intervention. Source : Production originale des autrices. .

individuelles que collectives, qui doivent être appliquées en bloc pour mener à un changement de culture en profondeur. Il s'agit d'intégrer ces pratiques aux priorités organisationnelles, dans le cadre d'une stratégie claire et globale (Tableau 1, *Stratégie organisationnelle*). Dans ce dernier cas, non seulement les pratiques individuelles et collectives sont incluses, mais un changement de postures s'impose. C'est ce qu'illustre la Figure 1 avec la mise en évidence des niveaux de pratique qui s'imbriquent les uns dans les autres, avec les pratiques de moins grande envergure (niveau 1) à celles de plus grande envergure (niveau 3). Les auteurs les plus radicaux, comme la chercheuse en psychologie organisationnelle Edina Dóci, appellent même à un changement de paradigme dans lequel le PTO cesserait de promouvoir la productivité des entreprises et deviendrait le psychologue de l'organisation des changements sociaux (niveau 3).

Toutefois, sur la base de notre recension des écrits et de notre expérience professionnelle (en colloque universitaire et sur le terrain), les pratiques proposées dans le Tableau 1 et leur mise en relation présentée dans la Figure 1 ne sont pas encore appliquées par les PTO.

Des changements comportementaux aux changements de paradigmes

La question de la culture organisationnelle — et du changement de culture — nous apparaît donc particulièrement importante lorsqu'il est question de lutte aux changements climatiques. Or, les PTO sont bien outillés

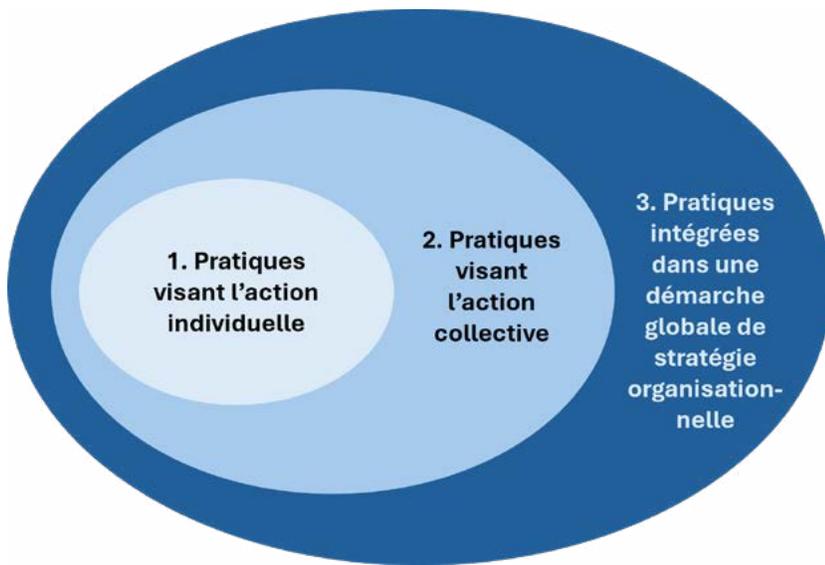


Figure 1. Le niveau 1. d'intervention a un impact moins significatif que le niveau 3. Chaque niveau de pratique — essentiel, mais non suffisant — s'imbrique dans le niveau suivant.
Source : Production originale des autrices.

pour accompagner ce type de changement organisationnel en profondeur.

La lutte aux changements climatiques appelle à une remise en question des idéologies, des paradigmes et des croyances. Des conflits de valeurs peuvent également être vécus à la fois sur les plans individuel (p. ex., se préoccuper de la détérioration environnementale due au tourisme de masse par rapport à vouloir s'initier à d'autres cultures) et collectif (p. ex., mettre en œuvre des pratiques durables coûteuses comparativement à viser l'efficacité). En contexte de changements climatiques, les changements organisationnels revêtent une complexité particulière, du fait que les perturbations vécues sont à grande échelle, qu'elles peuvent éveiller des enjeux existentiels profonds (p. ex., sens de la vie), que le changement est imposé par des contraintes externes plutôt qu'internes à l'organisation (p. ex., demandes ministérielles, transformation de l'environnement où est localisée l'entreprise) et que les barrières psychologiques au changement sont nombreuses (p. ex., biais de confirmation qui perpétue des croyances climatosceptiques).

Ainsi, la transition socioécologique soulève des enjeux profondément humains. Pourtant, il semble que les PTO tardent à s'investir dans la mise en œuvre des changements nécessaires à cette transition. Comment l'expliquer ? D'abord, accompagner le changement organisationnel implique une volonté des dirigeants et dirigeantes d'entreprises qui embauchent les PTO à cet effet. Quel pouvoir d'influence peuvent-ils avoir lorsque le changement de paradigme nécessaire pour lutter contre les changements climatiques n'est pas sollicité par les clients et clientes qui contractent leurs services ? Une autre piste explicative concerne la posture des psychologues, notamment sur le plan éthique.

En effet, l'examen du code d'éthique de l'American Psychological Association (APA) permet de cerner certains principes qui pourraient décourager les psychologues d'agir face à la crise climatique, tels que : l'impératif de demeurer dans son champ de pratique et celui de travailler à partir d'un savoir issu de sa propre discipline. Le devoir de réserve des psychologues implique également d'user de précaution dans leurs prises de position. Or, s'il est vrai que les psychologues guident les personnes, les groupes et les organisations dans la recherche de leurs propres réponses, le contexte des changements climatiques pourrait-il demander de jouer un rôle d'influence plus important qu'à l'habitude ?

À ce titre, le code d'éthique de l'Association canadienne de psychologie soutient l'argumentaire en faveur du rôle d'influence des PTO, en faisant de la responsabilité face à la société un de ses quatre principes éthiques. Dans cette perspective, chercher à comprendre et à intervenir par rapport aux enjeux environnementaux, dommageables pour les générations actuelles et futures, pourrait être vu comme un impératif éthique, comme certains le suggèrent (Swim et al., 2021). Un autre argument en faveur de l'intervention des psychologues en matière de changements climatiques concerne les fondements scientifiques sur lesquels s'appuie cette discipline. La lutte aux changements climatiques n'est pas une lutte politique, au sens de « partisane ». Prendre part à cette lutte ne signifie pas forcément d'agir comme activistes radicaux, mais d'agir avec rigueur à la lumière des preuves scientifiques que nous ne pouvons plus ignorer. Le groupe de travail de l'APA sur les changements climatiques (2022) abonde dans ce sens en invitant les psychologues à agir comme défenseurs au sein des organisations où ils et elles travaillent, en s'inspirant de la psychologie du travail et des organisations.

Et maintenant ?

Vous l'aurez compris : nous nous joignons aux scientifiques qui soulignent la pertinence d'adopter des approches plus critiques en psychologie et de joindre nos forces dans la lutte aux changements climatiques. Un premier examen sommaire des écrits nous a permis de cerner toute la complexité des décisions et des comportements en matière d'environnement, de l'importance du rôle des PTO à cet égard, mais aussi de constater un apparent manque d'intérêt de ces professionnels et professionnelles face aux questions environnementales.

Nous croyons que ces réflexions initiales, notamment sur le plan éthique, peuvent inspirer d'autres professionnels et professionnelles appelés à accompagner des entreprises et leur personnel, tels que les conseillers et conseillères en ressources humaines, les conseillers et conseillères en orientation, les médecins du travail et les ergonomes.

Nos prochaines étapes ? Poursuivre notre exploration des écrits de manière plus systématique et documenter ce qui se fait concrètement sur le terrain, en entreprise, pour lutter contre les changements climatiques. Et surtout, passer à l'action. C'est l'appel que nous lançons à nos collègues psychologues, et à tous les individus qui ont le pouvoir d'influencer les organisations : s'investir dans la transformation socioécologique qui, nous le croyons, est à notre portée à tous et à toutes.

Et si les organisations tardaient à agir pour faire face à la crise socioécologique, ou si les actions en restaient sur le plan symbolique, il resterait à vous, à nous, membres du personnel, de prendre collectivement la parole et de revendiquer le profond changement de culture qui s'impose.

RÉFÉRENCES

APA Task Force on Climate Change (2022). Addressing the climate crisis action plan for psychologists (summary). *American Psychologist*, 77(7), p. 799-811.

Campbell, J.E. et Campbell, D.E. (2005). Eco-I-O psychology? Expanding our goals to include sustainability. *The Industrial-Organizational Psychologist*, 43, 23-28. <https://doi.apa.org/doi/10.1037/e579152011-003>

Champagne St-Arnaud, V., Crépeau, J. et Daignault, P. (2023). *Baromètre de l'action climatique : disposition des Québécoises et des Québécois envers les défis climatiques*. Repéré à <https://unpointcinq.ca/barometre-de-laction-climatique-2023/>

Freschi, G., Menegatto, M. et Zamperini, A. (2023). How can psychology contribute to climate change governance? A systematic review. *Sustainability*, 15(19), 14273. <https://doi.org/10.3390/su151914273>

Kalwak, W. et Weihgold, V. (2022). The relationality of ecological emotions: an interdisciplinary critique of individual resilience as psychology's response to the climate crisis. *Frontiers in Psychology*, 13. 823620

Swim, J. K., Stern, P. C., Doherty, T. J., Clayton, S., Reser, J. P., Weber, E. U., Gifford, R. et Howard, G. S. (2011). Psychology's contributions to understanding and addressing global climate change. *American psychologist*, 66(4), p. 241.



ANALYSE DES FACTEURS INFLUENÇANT L'ADOPTION DE COMPORTEMENTS ÉCORESPONSABLES DANS L'INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION : UNE REVUE SYSTÉMATIQUE DES LEVIERS ET OBSTACLES

Léo Sajas

Étudiant à la maîtrise en génie industriel
Département de mathématiques et de génie industriel
Polytechnique Montréal

Virginie Francoeur

Professeure adjointe de gestion du changement
Département de mathématiques et de génie industriel
Polytechnique Montréal

Mario Bourgault

Professeur titulaire
Département de mathématiques et de génie industriel
Polytechnique Montréal

L'industrie de la construction est reconnue comme l'une des principales sources de pollution à l'échelle mondiale, dont certains chiffres sont donnés ci-dessous (Gouvernement du Canada, 2022).

Cette activité génère une série de problématiques environnementales, notamment une production considérable de déchets, l'émission de quantités massives de gaz à effet de serre (GES), ainsi que l'utilisation intensive de ressources non renouvelables. Au Canada, le secteur de la construction se classe au troisième rang des plus grands émetteurs de GES, représentant 13,1 % des 674 millions de tonnes de CO₂ émises en 2020. Jusqu'à 50 % des déchets dans les décharges municipales canadiennes proviennent de ce secteur, totalisant plus de 9 millions de tonnes annuellement.



Crédit photo : katie chao and ben m. jessing, CC BY 2.0, FlickrR

Les effets environnementaux négatifs de l'industrie de la construction sont également observés à l'échelle mondiale. En Chine, par exemple, cette industrie génère plus d'un milliard de tonnes de déchets et est responsable de 25 % des GES du pays. Des situations similaires sont relevées en Australie et au Royaume-Uni. Malgré ces constats, une sensibilisation croissante émerge parmi les acteurs du secteur, alimentée par des courants comme celui de l'économie circulaire, qui encourage la réduction des déchets, le recyclage, la réutilisation des matériaux et une meilleure conception (réduction de la consommation de ressources, durée de vie plus longue, réparabilité, etc.).

Le « verdissement » de l'industrie de la construction nécessite une approche multidimensionnelle. Bien que certaines politiques environnementales soient mises en place, leur incidence sur les comportements du personnel sur les chantiers reste mitigée, comme le soulignent Francoeur et Paillé (2022). La présente étude poursuit dans la lignée de ces auteurs en proposant d'étudier les comportements écoresponsables du personnel de ce secteur, en cherchant à identifier les facteurs qui les favorisent ou les entravent.

Méthodologie

La méthodologie adoptée dans cette recherche est une revue systématique de la littérature, une approche rigoureuse visant à identifier de manière exhaustive les articles pertinents liés à notre domaine d'intérêt. Contrairement à la revue narrative, la revue systématique se caractérise par un protocole méthodologique structuré et reproductible, garantissant ainsi une identification, une sélection et une évaluation critiques et systématiques des recherches pertinentes pour une question de recherche en particulier

(Snyder, 2019). Cette approche est devenue de plus en plus courante dans le domaine de la gestion environnementale (Yuriev, Boiral, Francoeur et Paillé, 2018).

Le processus de recherche a débuté par une exploration des revues spécialisées en environnement et en construction afin de déterminer les mots-clés pertinents. Ensuite, une recherche basée sur une chaîne de mots-clés validés par des spécialistes dans le domaine de l'environnement a été menée dans la base de données Web of Science, aboutissant à la collecte initiale de 3 545 articles sur une période de 20 ans. Les articles ont ensuite été gérés à l'aide du logiciel Endnote. Leur pertinence a été évaluée en premier lieu par la lecture des titres et des résumés, ce qui a mené à la sélection de 127 articles, selon les critères d'inclusion. Après une évaluation complète, l'échantillon a été réduit à 47 articles.

Résultats

Les résultats de cette étude révèlent neuf grandes catégories de leviers et de freins à l'adoption de comportements écoresponsables dans le secteur de la construction. En examinant les divers aspects influençant les pratiques environnementales des entreprises du bâtiment, cette recherche met en lumière les défis et les opportunités clés dans la transition vers une construction plus durable. À l'aide d'une approche systématique, les facteurs identifiés sont classés en fonction de leur effet sur différents aspects et niveaux de processus de construction, allant de la politique industrielle et du marché à la perception et aux valeurs des parties prenantes et de la main-d'œuvre concernées (voir figure 1).

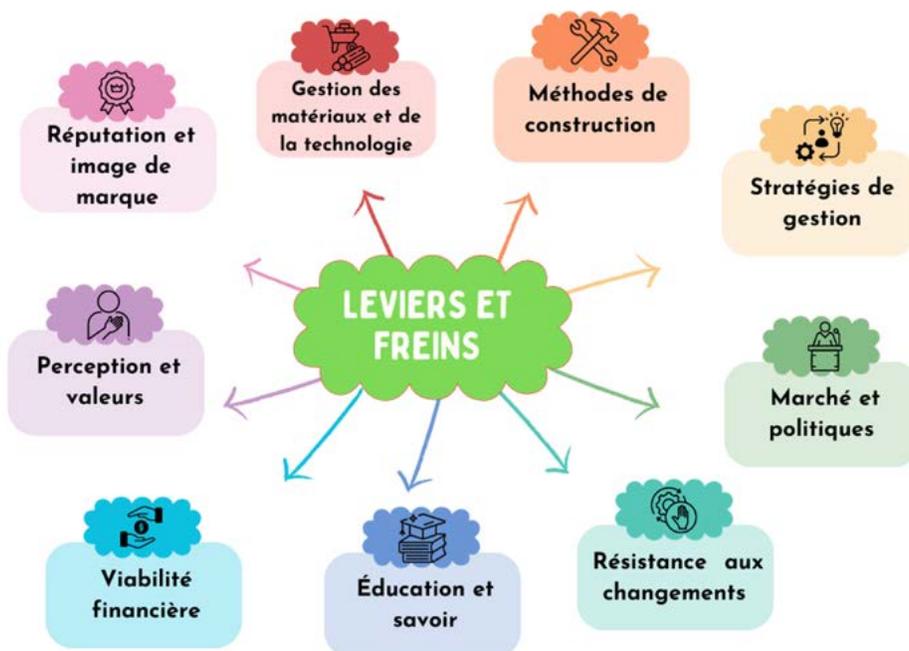


Figure 1. Modèles de catégorisation des leviers et freins des comportements écoresponsables dans l'industrie de la construction

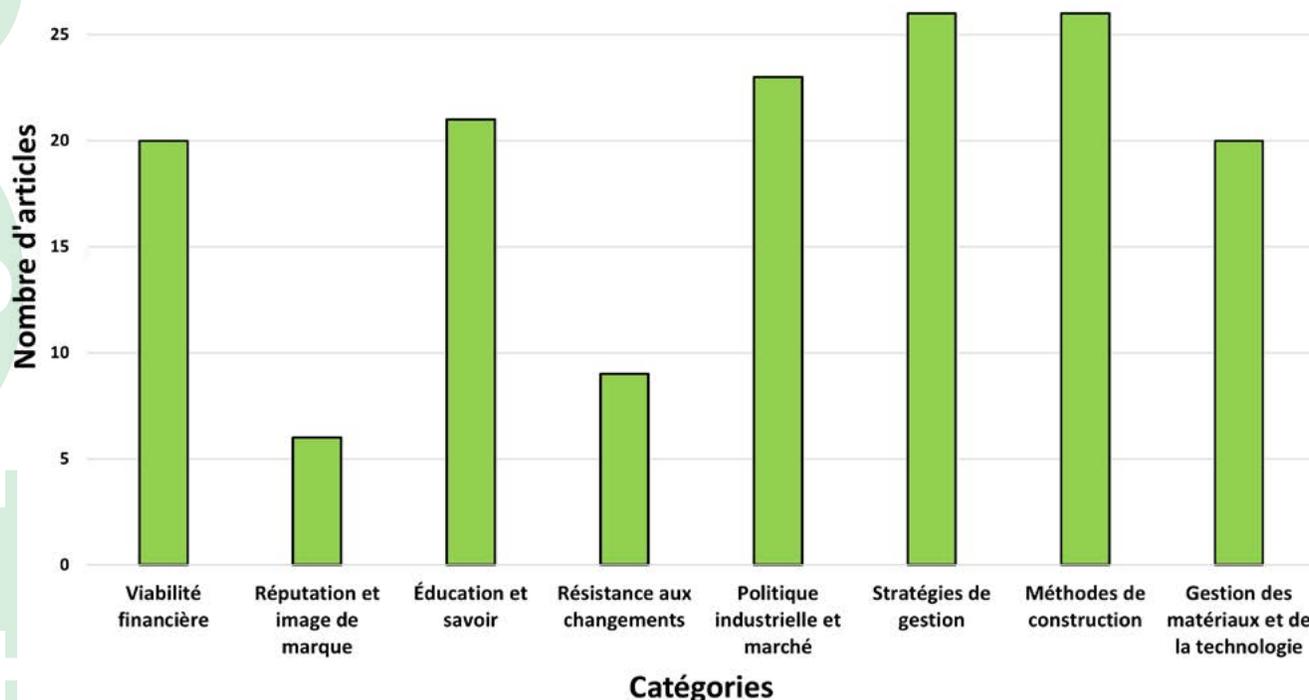


Figure 2. Nombre d'articles étudiés qui traitent des différentes catégories.

La figure 2 présente le nombre d'articles qui traitent des différentes catégories, fournissant ainsi une vue d'ensemble quantitative des thèmes abordés dans la littérature concernant les comportements éco-responsables dans le secteur de la construction.

GESTION DES MATÉRIAUX ET DE LA TECHNOLOGIE

La revue systématique a révélé que la gestion efficace des matériaux et de la technologie représente un enjeu majeur pour l'industrie de la construction, soulignant les difficultés rencontrées dans la commande, la gestion et le recyclage des matériaux. Ces défis sont exacerbés par les contraintes technologiques. Toutefois, selon Gangoellis et al. (2014), des améliorations sont en train d'émerger, notamment par une optimisation de l'utilisation des matériaux et une réduction des déchets. L'intégration de pratiques durables dès la conception des projets offre également une voie vers la réduction de l'empreinte environnementale de l'industrie, en promouvant l'achat de matériaux labélisés (qui ont donc été certifiés pour leurs propriétés durables), en minimisant les retouches ou en intégrant des technologies bas carbone.

MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Cette catégorie met en lumière les défis liés aux méthodes de construction traditionnelles qui ont des conséquences négatives sur l'environnement. Les problématiques telles

que la congestion des chantiers, le manque d'espace et d'installations mises en place pour recycler ou traiter correctement les déchets sont autant d'obstacles à surmonter pour favoriser la durabilité. La standardisation des matériaux, orientée vers des critères environnementaux et une meilleure disponibilité de l'espace pour le recyclage et l'entreposage propre, dès la conception, associée à l'utilisation de composants préfabriqués, représentent des stratégies clés pour une industrie plus respectueuse de l'environnement (Gangoellis et al., 2014).

STRATÉGIE DE GESTION

La stratégie de gestion dans l'industrie de la construction révèle un ensemble complexe de défis, y compris les lacunes dans la planification et l'exécution des projets, les problèmes de coordination entre les différents intervenants, ou encore le manque de contrôle et de supervision sur la gestion des déchets. Néanmoins, des leviers importants peuvent être mobilisés pour surmonter ces obstacles, tels que : l'établissement précoce de plans de gestion des déchets et l'introduction de clauses contractuelles incitant au recyclage et à la minimisation des déchets. Un autre aspect réside dans l'amélioration de la communication et de la collaboration au sein des équipes de projet, qui peuvent être facilitées par la clarification des rôles et responsabilités et le renforcement des mécanismes de mise en œuvre (Yin et al., 2018).

POLITIQUE INDUSTRIELLE ET MARCHÉ

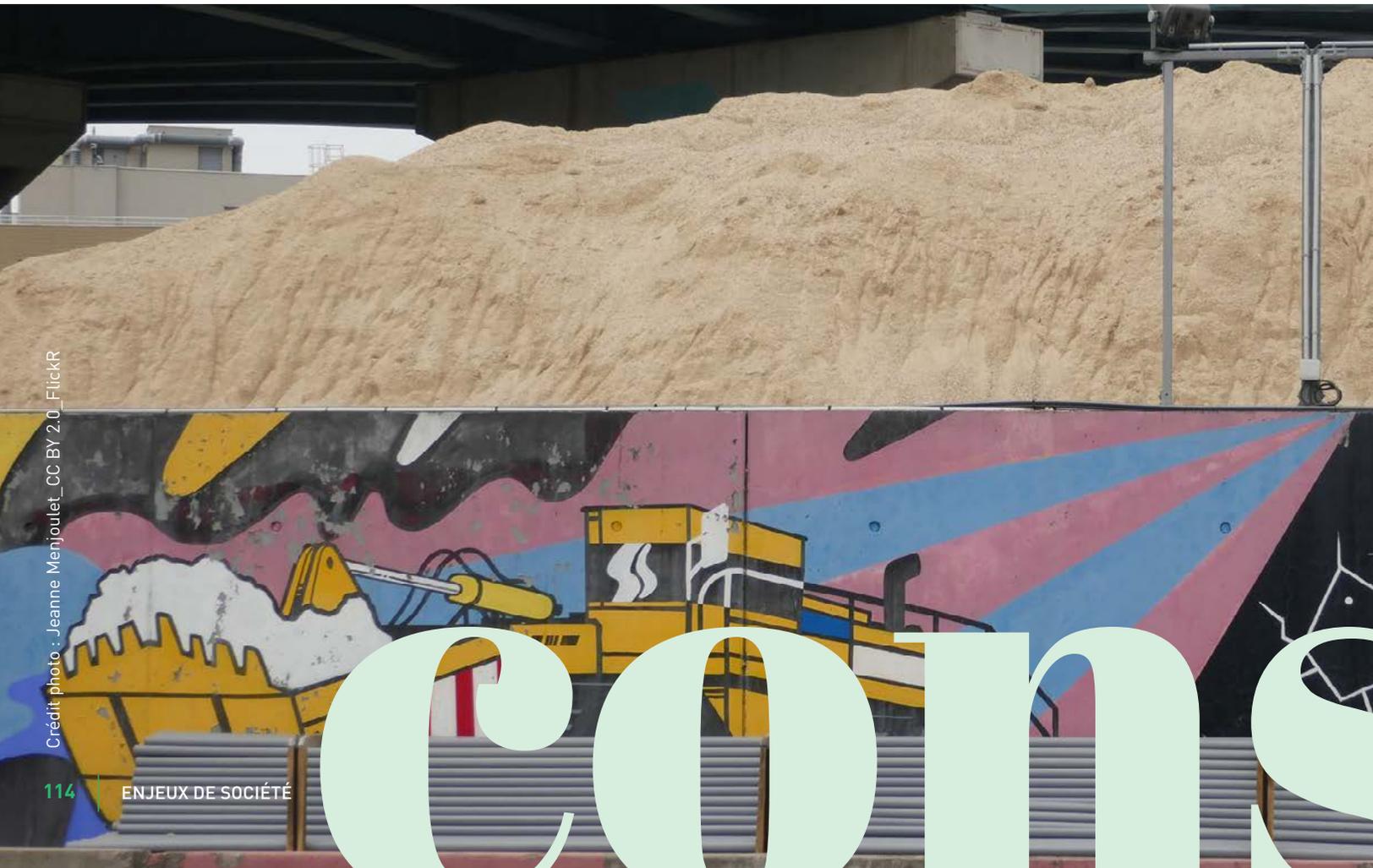
Les politiques industrielles et les dynamiques du marché jouent un rôle prépondérant dans la transition écologique de l'industrie de la construction. Les résultats de cette étude mettent en évidence les défis majeurs tels que le manque de volonté des investisseurs, l'ambiguïté des clauses contractuelles, le manque de clarté dans les politiques environnementales et le déficit de soutien gouvernemental pour les initiatives durables (Chan et al., 2022). Face à ces obstacles, certains leviers apparaissent : Giorgi et al. (2022) expliquent par exemple que la création de normes ISO promouvant des comportements écoresponsables, la reformulation des politiques d'achat pour intégrer des critères de durabilité et l'incorporation de l'économie circulaire dans les exigences contractuelles constituent des mesures potentiellement transformatrices. De plus, l'engagement gouvernemental à travers l'élaboration de réglementations et de politiques favorables à l'environnement est crucial pour accélérer le passage à des pratiques de construction plus écologiques. L'adoption de mesures incitatives, telles que des récompenses pour les performances en matière de durabilité ou des pénalités pour la gestion inadéquate des déchets, peut également encourager une adoption plus large de pratiques durables au sein de l'industrie (Rios et al., 2021).

RÉSISTANCE AUX CHANGEMENTS

La résistance au changement représente un obstacle majeur à l'adoption de pratiques durables dans l'industrie de la construction. Cette catégorie souligne la difficulté de modifier les comportements enracinés et les méthodes de travail traditionnelles au profit de nouvelles approches écologiques. La réticence à abandonner les pratiques traditionnelles est souvent renforcée par la perception de risques financiers et de complexités opérationnelles associées aux innovations durables (Chan et al., 2022). De plus, la culture de l'industrie, marquée par une préférence pour le statu quo et un scepticisme envers la nouveauté, contribue également à cette résistance.

ÉDUCATION ET SAVOIR

L'éducation et la formation représentent des leviers fondamentaux pour accroître la capacité de l'industrie de la construction à adopter des pratiques écoresponsables. Cette catégorie met de l'avant le manque de connaissances spécialisées en matière de durabilité, tant parmi le personnel de l'entreprise que chez les sous-traitants, comme un frein à l'évolution vers une construction plus écologique. Le déficit de compétences en construction durable, combiné à une formation insuffisante sur les techniques de réduction des déchets et d'optimisation de l'utilisation des ressources, limite la capacité de



l'industrie à mettre en œuvre efficacement des pratiques durables. Pour remédier à ces lacunes, Lu et Yuan (2010) proposent de développer des programmes de formation et de sensibilisation exhaustifs, d'intégrer des modules de construction durable dans les curricula universitaires et de promouvoir la formation continue en matière d'écoconception et de gestion des déchets auprès des spécialistes du secteur.

PERCEPTION ET VALEURS

L'adoption de pratiques durables dans l'industrie de la construction est influencée par les attitudes, perceptions et valeurs individuelles. Cette dimension psychologique et culturelle s'avère être présente pour instaurer un changement durable. Un levier possible consisterait donc à renforcer la sensibilisation aux enjeux environnementaux et à promouvoir une culture organisationnelle qui place la durabilité au cœur de ses priorités. Cela implique non seulement la démythification du développement durable, mais également la valorisation des initiatives individuelles et collectives en faveur de l'environnement. L'intégration de principes écoresponsables dans la mission et les valeurs de l'entreprise, ainsi que chez les membres du personnel recrutés, contribue à créer un environnement propice au changement, où chaque acteur se sent mobilisé et motivé à agir de manière durable (Rios et al., 2021).

RÉPUTATION/IMAGE

Une réputation solide en matière de durabilité peut devenir un atout concurrentiel majeur pour les entreprises de la construction. La clientèle, les investisseurs et les partenaires sont de plus en plus attentifs aux performances environnementales des entreprises avec lesquelles ils s'associent. Par conséquent, construire et maintenir une image positive liée à des engagements durables authentiques peut favoriser l'acquisition de nouveaux contrats ou encore attirer des talents soucieux (Durdyev et al., 2018).

VIABILITÉ FINANCIÈRE

La viabilité financière et la perception des coûts influencent l'attitude des individus envers le recyclage des déchets de construction et de démolition. Les défis économiques tels que les coûts supplémentaires, le temps additionnel requis et le manque de connaissance des technologies représentent des barrières à l'adoption de pratiques durables pour Durdyev et al. (2018). Les surcoûts liés à la nécessité d'une surveillance accrue, l'absence d'incitations financières et les besoins économiques jugés plus prioritaires découragent l'engagement envers des pratiques écoresponsables. Cependant, des économies peuvent être réalisées grâce à la réduction du gaspillage de matériaux et des coûts d'élimination des déchets. Les investissements initiaux élevés et les longues périodes de récupération des coûts constituent des obstacles importants, mais l'offre d'incitatifs financiers, les subventions et les crédits d'impôt peuvent encourager une transition vers la durabilité (Rios et al., 2021).

Conclusion

Dans un contexte où l'industrie de la construction est confrontée à une pression croissante pour réduire son impact environnemental, cette étude a exploré les facteurs facilitant et entravant l'adoption de comportements écoresponsables au sein du secteur. À l'aide d'une revue systématique, nous avons mis en évidence neuf catégories majeures de leviers et de freins, allant de la gestion des matériaux et de la technologie, des méthodes de construction et de la stratégie de gestion jusqu'à la perception et aux valeurs des acteurs concernés. Cette recherche souligne l'importance cruciale d'une approche holistique et multidimensionnelle pour surmonter les obstacles à la durabilité comportementale dans l'industrie de la construction.





Figure 2. Répartition géographique des études de cette revue de littérature

Pour conclure, notre recherche offre une perspective sur les dynamiques complexes qui influencent l'adoption de comportements écoresponsables dans l'industrie de la construction. Elle contribue à la littérature existante en fournissant des points d'action clairs pour les instances décisionnelles, les professionnels et professionnelles et les chercheurs et chercheuses désireux de promouvoir une construction plus durable. Il est important de noter, cependant, que bon nombre des articles cités dans cette étude remontent à quelques années déjà, soulignant ainsi le besoin d'actualiser les études de terrain pour maintenir la pertinence des recommandations à l'évolution du secteur. De plus, il existe une disparité géographique dans les publications étudiées, nombre d'articles provenant d'Asie et d'Europe, mais peu du reste du monde, comme la figure 3 le décrit.

RÉFÉRENCES

- Chan, D. W., Olawumi, T. O., Saka, A. B. et Ekundayo, D. (2022).** Comparative analysis of the barriers to smart sustainable practices adoption in the construction industry between Hong Kong and Nigeria. *International Journal Of Construction Management*, 1 11. doi: <https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2108973>
- Durdyeve, S., Zavadskas, E. K., Thurnell, D., Banaitis, A. et Ihtiyar, A. (2018).** Sustainable Construction Industry in Cambodia: Awareness, Drivers and Barriers. *Sustainability*, 10(2), 392. doi: <https://doi.org/10.3390/su10020392>
- Francoeur, V., Paillé, P., Yuriev, A. et Boiral, O. (2019).** The Measurement of Green Workplace Behaviors: A Systematic Review. *Organization & Environment*., 34(1), 18-42. doi: <https://doi.org/10.1177/1086026619837125>

Gangoletts, M., Casals, M., Forcada, N. et Macarulla, M. (2014). Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and sites. *Resources, Conservation And Recycling*., 93, 99 111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.10.006>

Giorgi, S., Lavagna, M., Wang, K., Osmani, M., Liu, G. et Campioli, A. (2022). Drivers and barriers towards circular economy in the building sector: Stakeholder interviews and analysis of five European countries policies and practices. *Journal Of Cleaner Production*., 336. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130395>

Gouvernement du Canada (2022). Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada : sommaire 2022. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/emissions-gaz-effet-serre/sources-puits-sommaire-2022.html>

Lu, W. et Yuan, H. (2010). Exploring critical success factors for waste management in construction projects of China. *Resources, Conservation And Recycling*., 55(2), 201 208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.09.010>

Rios, F. C., Grau, D. et Bilec, M. M. (2021). Barriers and Enablers to Circular Building Design in the US: An Empirical Study. *Journal Of The Construction Division And Management*., 147(10). doi: [https://doi.org/10.1061/\(ascel\)co.1943-7862.0002109](https://doi.org/10.1061/(ascel)co.1943-7862.0002109)

Snyder, H. (2019). Literature Review as a Research Methodology: An Overview and guidelines. *Journal of Business Research*., 104, 333-339. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>

Yin, B. C. L., Laing, R., Leon, M. et Mabon, L. (2018). An evaluation of sustainable construction perceptions and practices in Singapore. *Sustainable Cities And Society*., 39, 613 620. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.024>



Enjeux de société

« J'AI JUSTE BESOIN DE PARLER » : LES HISTOIRES DE FEMMES SINISTRÉES AU CŒUR DE LA RECHERCHE SUR LES CONSÉQUENCES PSYCHOSOCIALES DES INONDATIONS

Typhaine Leclerc

Candidate au doctorat interdisciplinaire
en santé et société
Université du Québec à Montréal
Chaire interdisciplinaire sur la santé
et les services sociaux pour
les populations rurales
Université du Québec à Rimouski

Lily Lessard

Professeure
Département des sciences de la santé
Chaire interdisciplinaire sur la santé
et les services sociaux pour
les populations rurales
Université du Québec à Rimouski

Johanne Saint-Charles

Professeure
Département de communication
sociale et publique
Centre de recherche interdisciplinaire
sur le bien-être, la santé, la société
et l'environnement
Université du Québec à Montréal

Une municipalité subit d'importantes inondations ? L'événement fait la manchette du téléjournal. Des images presque familières se succèdent : des maisons devenues des îles sont entourées d'eau trouble, une pelle mécanique servant à évacuer des familles se fraie un chemin entre les blocs de glace qui flottent, des personnes empilent des sacs de sable. Un journaliste en bottes de caoutchouc résume la situation, les pieds dans l'eau. Parfois, une ou deux personnes témoignent de ce qu'elles ont vécu au plus fort de l'inondation. Mais qu'arrive-t-il à ces personnes quand l'eau se retire et que les caméras s'éteignent ? À l'exception des brèves entrevues enregistrées dans le feu de l'action, que sait-on de l'expérience des personnes sinistrées ? Est-ce que les personnes que l'on entend dans l'espace public représentent la diversité des populations touchées ?

Des représentations inégales et des effets différenciés

Dans les récits qui circulent sur les événements météorologiques extrêmes (EME), comme les inondations, les différents groupes touchés directement ou indirectement ne font pas tous l'objet des mêmes représentations. La couverture médiatique des EME dans l'actualité est orientée par différentes considérations qui influencent quels désastres sont couverts et sous quel angle, ce qui contribue à reproduire les hiérarchies sociales à l'œuvre dans les communautés sinistrées. Par exemple, les populations qui présentent différentes vulnérabilités peuvent être représentées essentiellement comme des victimes en attente de soutien, ce qui invisibilise leurs capacités individuelles et collectives à faire face à l'événement et à se relever (Few et al., 2021).

Les événements désignés comme des catastrophes naturelles sont aussi des phénomènes sociaux. En effet, les conséquences des aléas d'origine climatique ou géophysique découlent de facteurs sociaux (pour un panorama historique et contemporain de la définition des catastrophes, voir Gonzalez Bautista, 2022). Ainsi, les personnes qui se trouvent dans des situations défavorables pour des raisons liées à la géographie, à la pauvreté, au sexe, à l'âge, au handicap ou à leur appartenance ethnique subissent des effets plus importants que celles qui sont plus privilégiées (Hrabok et al., 2020). Les personnes désavantagées socialement sont en effet plus à risque d'être exposées à des EME, et elles ont moins de ressources pour y faire face et s'en remettre. Par exemple, les logements situés dans des zones inondables sont souvent plus abordables et davantage occupés par des personnes en situation de pauvreté, ce qui augmente leur risque de subir des inondations (Lawrence-Bourne et al., 2020). Or, les pertes matérielles et les bris de service entraînés par un EME sont proportionnellement plus sévères pour ces personnes (Few et al., 2021).

Le genre est l'un des facteurs sociaux qui influencent les expériences d'un EME, ses conséquences et les ressources disponibles pour se relever (Enarson et al., 2018). Les inégalités de genre qui structurent les sociétés font que les femmes exposées à des EME sont plus susceptibles de vivre de la détresse psychologique, de la stigmatisation liée à leur recours aux soins et de la pauvreté associée au désastre (Lammiman, 2019). Les situations de désastres sont aussi des occasions de reproduction des inégalités de genre, ces événements étant souvent associés à une diminution des revenus des femmes, à une augmentation de leurs responsabilités familiales et à une hausse de la violence envers elles, entre autres (Enarson et al., 2018; Lammiman, 2019; Pfister, 2022).

Mieux comprendre pour mieux intervenir

Si les femmes tendent à subir des conséquences disproportionnées des EME, leurs expériences et leur expertise à ce sujet ne sont pas pour autant reconnues. Le milieu de la gestion des désastres continue d'être largement occupé par les hommes et porté par des institutions qui valorisent les caractéristiques et les modes d'organisation associés à la masculinité, comme l'armée et les services incendie (Enarson et al., 2018; Gonzalez Bautista, 2022; Pfister, 2022). Lorsque ces milieux intègrent des femmes et des personnes au genre non binaire, la pression pour ces personnes de se conformer aux normes de la masculinité traditionnelle est forte (Gonzalez Bautista, 2022). Dans un tel contexte, les préoccupations portées par les femmes sinistrées sont facilement ignorées (Few et al., 2021). Ainsi, l'absence de prise en compte du genre dans la gestion des désastres a des effets négatifs sur les femmes et les filles (Enarson et al., 2018).

Ces enjeux sont de plus en plus criants alors que les changements climatiques entraînent une augmentation de la fréquence et de la gravité des EME (GIEC, 2021). Il est donc essentiel de documenter un large éventail d'expériences d'EME pour mieux comprendre leurs conséquences sur le bien-être et les besoins d'une diversité de groupes.

La recherche centrée sur la parole et l'expérience des personnes sinistrées vise à amplifier les voix de ces personnes et à faire valoir leur point de vue. Donner la parole aux personnes et aux groupes qu'on entend peu permet d'identifier certains effets des EME qui autrement demeurent cachés, de même que des stratégies utilisées par les personnes pour se rétablir. Porter ces voix sur la place publique, les faire entendre aux institutions concernées dans la gestion des EME est une étape essentielle pour une gestion équitable des EME. Il s'agit aussi d'un acte de légitimation important pour les personnes concernées.

Méthode

La recherche, dont un aperçu est présenté ici, est menée dans le cadre d'un programme de doctorat interdisciplinaire en santé et société. Elle a été menée en Beauce auprès de femmes ayant fait face aux inondations de la rivière Chaudière. Cette rivière, qui traverse la région de Chaudière-Appalaches sur 193 km, fait partie des cours d'eau pour lesquels on a enregistré le plus d'inondations depuis que ces données sont recueillies (Mayer-Jouanjan et Bleau, 2018). Après les inondations

particulièrement sévères de 2019, plus de 400 bâtiments ont été démolis dans les deux municipalités régionales de comté les plus touchées par le débordement de la Chaudière. Ces démolitions ont d'ailleurs touché plusieurs des participantes à l'étude.

Des entrevues avec 17 femmes sinistrées ont été réalisées en 2023. Une approche narrative a été retenue pour l'analyse afin de mettre en valeur les récits des participantes et de comprendre le contexte plus large dans lequel s'inscrivent leurs histoires. Ainsi, l'analyse qui a été menée a permis de mieux comprendre l'enchevêtrement des récits individuels, familiaux et culturels dont se servent les participantes pour donner du sens à leur expérience. Ici, des extraits des entrevues sont présentés sous forme de courts récits afin d'illustrer différentes conséquences des inondations de la rivière Chaudière sur les femmes sinistrées. Les citations ont été modifiées pour protéger la confidentialité des participantes, qui sont identifiées par des pseudonymes. Des passages ont aussi été écourtés pour faciliter la lecture.

Quelques histoires d'inondation

Une fois les caméras des médias éteintes, qu'est-ce que les femmes sinistrées ont à dire, si on leur tend le micro? Leurs histoires montrent que les effets des inondations sur le bien-être sont multiples et qu'ils sont modulés par les réalités des personnes qui les subissent.

Les participantes qui avaient un plus faible revenu et moins de soutien de la part de leurs proches ont vécu des difficultés particulières. Lorsque leurs ressources étaient limitées, elles ont dû réaliser différentes démarches pour obtenir du soutien matériel et psychosocial, ce qui a été, en soi, une source de stress.

Tu retournes chez vous, ton frigidaire, il faut que tu le vides complètement et que tu le nettoies, ben c'est ben beau que le gouvernement te donne 500 \$ dans six mois, mais t'as besoin de manger maintenant. Il y a-tu quelqu'un qui peut nous aider? C'est pas tout le monde qui a 100, 200, 300 \$ pour refaire une épicerie de base, là. Tu sais, aussi, l'aide psychologique, moi, je me suis battue pour être capable d'avoir de l'aide psychologique au privé avec [du soutien financier de] la Croix-Rouge, parce que je voulais avoir de l'aide, j'allais péter au frette. T'as besoin tout de suite, maintenant, là. J'ai juste besoin de parler, j'ai juste besoin de pleurer, que tu me regardes comme autre chose que quelqu'un qui vient juste de se faire ramasser toute sa vie par de l'eau. (Valérie)



Si certains besoins se sont fait sentir immédiatement lors de la crue, les effets des inondations sur le bien-être des participantes et de leurs enfants ont parfois été ressentis intensément des années après l'événement.

Je me rappelle les premières rencontres présentielles [après le confinement lié à la pandémie de COVID-19], on se mettait à parler de ça, la détresse psychologique, puis je me mettais à brailler. Tu t'en vas aux toilettes, tu dis : « C'est quoi qui m'arrive, là ? » Puis c'est là que tu te rends compte : mon fils va avoir cinq ans, mais les quatre premières années ont été foutrement rock'n'roll dans ma vie. Sans arrêt tout le temps. Puis t'as personne pour te — tu sais, quand t'es monoparentale, t'as pas nécessairement personne pour t'appuyer. (Josiane)

En plus de constituer une source de stress supplémentaire, la pandémie de COVID-19 a aussi limité l'accès à certaines ressources de soutien pour les personnes sinistrées.

L'aide qu'on a reçue pour ce côté-là, ça a été au mois de janvier [2020]. Ils ont eu une rencontre avec une fille du CLSC, puis la COVID est arrivée. Fait que de l'aide psychologique, ils n'en ont pas reçu. (Sabrina)

Les effets des inondations sur le bien-être sont parfois indirects, notamment lorsqu'ils sont liés aux programmes d'indemnisation, aux rénovations ou aux démolitions de bâtiments et à la lourdeur administrative qui entoure ces processus. Ces difficultés étaient particulièrement criantes pour certains groupes, comme les locataires, qui devaient composer à la fois avec l'incertitude découlant de la structure du programme d'indemnisation du gouvernement provincial et avec le manque d'informations fournies par leur propriétaire. Les participantes mères de jeunes enfants ont aussi témoigné de difficultés particulières vécues pendant la période où leurs demandes d'indemnisation étaient évaluées :

Je pense que c'est ça le bout qui a été stressant, c'est pas l'inondation, c'est tout ce qui s'est passé après qui a été plus difficile. On était comme vraiment dans une incertitude qui faisait en sorte que là, on pouvait pas prendre de décision, puis on pouvait pas prendre action. Puis c'est vraiment ça que mon conjoint puis moi on a trouvé difficile, surtout qu'on a de jeunes enfants. On peut pas se permettre de pas savoir c'est quoi la suite. (Laura)

Si les participantes à l'étude ont vécu des difficultés liées à leur rôle parental, à leur bien-être et aux ressources limitées auxquelles elles avaient accès, leurs histoires

permettent aussi d'identifier des besoins et des manières d'y répondre. En témoignant de leurs forces face à l'épreuve vécue, les récits des participantes permettent de brosser un portrait plus complet des personnes directement touchées par des inondations majeures.

Le lâcher-prise, ça je l'ai appris, puis c'est comme sauter dans le vide, tu veux faire de quoi de nouveau ou quelque chose, puis des fois, tu fais : « Ah non... » Ben moi ça me fait plus peur, je suis comme : « On veut changer de quoi ? Je suis prête à sauter dans le vide ! » Maintenant, j'ai moins peur de la vie. J'apprécie la vie là, tu peux pas savoir. (Patricia)

Le monde m'écrivait sur Messenger, mais des fois, ils pouvaient passer deux heures à me jaser ça, à me raconter leur petite vie, leur petite histoire par rapport à leur maison. Je faisais des remarques aux gens pour les aider justement à sortir de là, à être capables de passer l'étape du deuil. Pour ma part, je vais toujours aider le monde puis je sais pas, juste le fait de comprendre ce que les gens vivent, j'ai l'impression que ça m'aide à comprendre moi-même ce que j'ai vécu. Je me suis apporté de l'aide en aidant les autres (Sabrina)



Conclusion

Les portraits des personnes sinistrées que nous présentent les médias et la culture populaire ne font pas que nous informer — ils teintent nos façons de nous représenter les populations touchées par des EME (Jensen, 2021). Cela a des répercussions sur la manière dont ces personnes sont vues par le public, mais aussi par les instances qui agissent en temps de crise pour soutenir les populations touchées. En plus des effets très visibles d'événements comme des inondations, les personnes touchées peuvent subir des effets moins connus, parfois déclenchés par la planification et la gestion des EME, comme c'est le cas lorsque les démarches requises pour recevoir une indemnisation sont plus stressantes que l'inondation elle-même.

La méthode adoptée dans cette recherche, présentée ici très brièvement, a permis de collecter des récits d'expérience riches et singuliers qui rendent plus tangibles les effets différenciés des EME, par exemple sur les femmes qui portent une large part ou l'entièreté de la charge parentale. Les histoires que les femmes racontent témoignent aussi des ressources matérielles

et internes qu'elles ont su mobiliser pour se relever et soutenir leur communauté. Tenir compte de cette diversité d'expériences, de sources de vulnérabilité et de forces favoriserait une prise en charge plus équitable des personnes sinistrées à court, moyen et long terme.

RÉFÉRENCES

- Enarson, E., Fothergill, A. et Peek, L. (2018).** Gender and Disaster: Foundations and New Directions for Research and Practice. Dans H. Rodriguez, W. Donner et J. E. Trainor (dir.), *Handbook of Disaster Research* (p. 205-223). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63254-4_11
- Few, R., Jain, G., Singh, C., Tebboth, M., Chhotray, V., Marsh, H., Ranjit, N. et Madhavan, M. (2021).** *Why representation matters in disaster recovery*. Repéré à https://ueaeprints.uea.ac.uk/id/eprint/79586/1/Published_Version.pdf
- Gonzalez Bautista, N. (2022).** *Les feux de forêt comme processus sociaux plus-qu'humains. Une analyse des rapports dynamiques et enchevêtrés entre Atikamekw Nehirowisiwok, pompiers forestiers, feux et forêts au sein du Nitaskinan* [Thèse de doctorat, Université Laval].
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2021).** *Changement climatique généralisé et rapide, d'intensité croissante – GIEC*. Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release_fr.pdf
- Hrabok, M., Delorme, A. et Agyapong, V. I. O. (2020).** Threats to Mental Health and Well-Being Associated with Climate Change. *Journal of Anxiety Disorders*, 76, 102295. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2020.102295>
- Jensen, L. (2021).** Floods as shapers of Dutch cultural identity: media, theories and practices. *Water History*, 13(2), p. 217-233. <https://doi.org/10.1007/s12685-021-00282-8>
- Lammiman, C. (2019).** Chapter 2 - The gender dimensions of the 2013 Southern Alberta floods. Dans F. I. Rivera (dir.), *Emerging Voices in Natural Hazards Research* (p. 27-55). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815821-0.00009-6>
- Lawrence-Bourne, J., Dalton, H., Perkins, D., Farmer, J., Luscombe, G., Oelke, N. et Bagheri, N. (2020).** What Is Rural Adversity, How Does It Affect Wellbeing and What Are the Implications for Action? *Int J Environ Res Public Health*, 17(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph17197205>
- Mayer-Jouanjan, I. et Bleau, N. (2018).** *Projet 551013: Historique des sinistres d'inondations et d'étiages et des conditions météorologiques associées*. Ouranos. Repéré à <https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportMayerJouanjan2018.pdf>
- Pfister, S. M. (2022).** Reproducing the Gender Order in the Wake of Disasters. Revisiting a Case Study on a Mudslide Disaster in Austria. *Swiss Journal of Sociology*, 48(2), 22. <https://doi.org/doi:10.2478/sjs-2021-0012>



RÉSILIENCE CLIMATIQUE ET SOCIALE DANS L'EST DE LA RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO : QUEL ENGAGEMENT DES JEUNES RURAUX AU SUD-KIVU ?

Benjamin Aganze Marhegane

Enseignant-chercheur

Laboratoire d'analyses et de recherches sur les
dynamiques économiques et sociales

Institut supérieur de développement rural de Bukavu

Les changements climatiques sont une préoccupation majeure, qui touche l'ensemble de la population mondiale et qui nécessite des réponses urgentes concernant les pays les plus pauvres. Il s'agit d'un défi incontournable pour tous les pays du monde, mais particulièrement pour le continent africain. Selon les estimations du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, l'Afrique contribue très peu aux émissions mondiales de gaz à effet de serre, à raison de 2 à 3 %. Néanmoins, l'Afrique est l'un des continents les plus vulnérables, où les changements climatiques menacent d'exposer jusqu'à 118 millions de personnes aux risques de sécheresse, d'inondations et de chaleurs extrêmes (IPCC, 2023). En République démocratique du Congo (RDC), les effets des changements climatiques sont visibles sur tout le territoire. Les observations effectuées depuis les années 1960 indiquent une augmentation de la fréquence des précipitations intenses, de la température des eaux profondes du lac Tanganyika (passées de 0,2 à 0,7 °C) et des températures extrêmes ; la température du jour le plus chaud de l'année ayant augmenté d'environ 0,25 °C par décennie (USAID, 2018). De surcroît, les projections climatiques d'ici 2050 prévoient une augmentation de la température moyenne (de 1 à 2,5 °C), de la fréquence des précipitations intenses et des périodes de sécheresse prolongées, ainsi qu'une diminution possible des précipitations pendant la saison sèche, en particulier dans les régions du sud du pays (USAID, 2018). En raison de la pauvreté généralisée et de la forte densité de la population, les effets des changements climatiques sont les plus prononcés dans la partie est de la RDC et accroissent ainsi la vulnérabilité des collectivités touchées par des conflits armés depuis maintes décennies. Au cours des deux dernières années, pour les seuls conflits armés causés par le Mouvement du 23 mars (M23), l'Organisation mondiale pour les migrations a dénombré 687 674 personnes ayant été déplacées au Sud-Kivu, ce qui représente 14 % de la population nationale totale (OIM, 2023). En plus des conséquences biophysiques subies par ces communautés, les changements climatiques perturbent aussi les moyens de subsistance, la sécurité alimentaire et hydrique ainsi que les efforts de développement, en raison des pertes et des échecs enregistrés dans le secteur agricole et des dommages causés sur les infrastructures (NCEA, 2016). Couplés au faible engagement des acteurs publics et sociaux quant aux efforts d'adaptation et de résilience des communautés du Sud-Kivu, ces facteurs combinés renforcent la vulnérabilité des populations aux chocs sociaux et climatiques.



Crédit photo : Kaukab Jhumra Smith-USAID_CC BY-NC 2.0_FlickrR

Dans les territoires du Sud-Kivu en général (figure 1), et dans le territoire de Walungu en particulier, les conséquences visibles de la vulnérabilité des populations se manifestent par l'abandon des activités agricoles et des actions locales en faveur de l'environnement. Les jeunes ruraux se tournent de plus en plus vers les zones offrant davantage de possibilités d'accès à l'emploi, à la sécurité et aux services sociaux de base (Debeve, 2019). Leur départ entraîne la disparition de cerveaux et de main-d'œuvre, et perturbe l'organisation sociale et les moyens de subsistance de ceux et celles qui restent.

Le rôle du gouvernement et des partenaires locaux et internationaux en matière de réponse aux changements climatiques et d'engagement des jeunes vers une optique de résilience semble être une nécessité de premier plan. Néanmoins, considérant l'importance de la jeunesse en milieu rural, l'évaluation de la place de cette dernière dans la résilience climatique et sociale au Sud-Kivu semble étonnement manquer dans la littérature. Il s'avère donc opportun de discuter de cette problématique afin de comprendre les défis auxquels font face les jeunes ruraux et d'éclairer les instances et les protagonistes sur les leviers à actionner pour renforcer et accroître

leur résilience climatique et leurs moyens de subsistance dans le contexte des changements climatiques et de la crise sécuritaire de l'est de la RDC.

Méthodologie

L'étude a été réalisée à Walungu, l'un des huit territoires de la province du Sud-Kivu. S'étendant au sud-ouest du chef-lieu provincial Bukavu, Walungu est composé de deux chefferies divisées en 31 groupements, à raison de 15 à Kaziba et de 16 à Ngweshe (figure 2). En plus de la crise sécuritaire, Walungu fait face à maints enjeux liés aux changements climatiques, à l'instar des catastrophes naturelles et de leurs répercussions sur les activités agricoles, dont dépendent nombre de ménages, et sur le vécu quotidien des groupes vulnérables, par exemple les jeunes et les femmes.

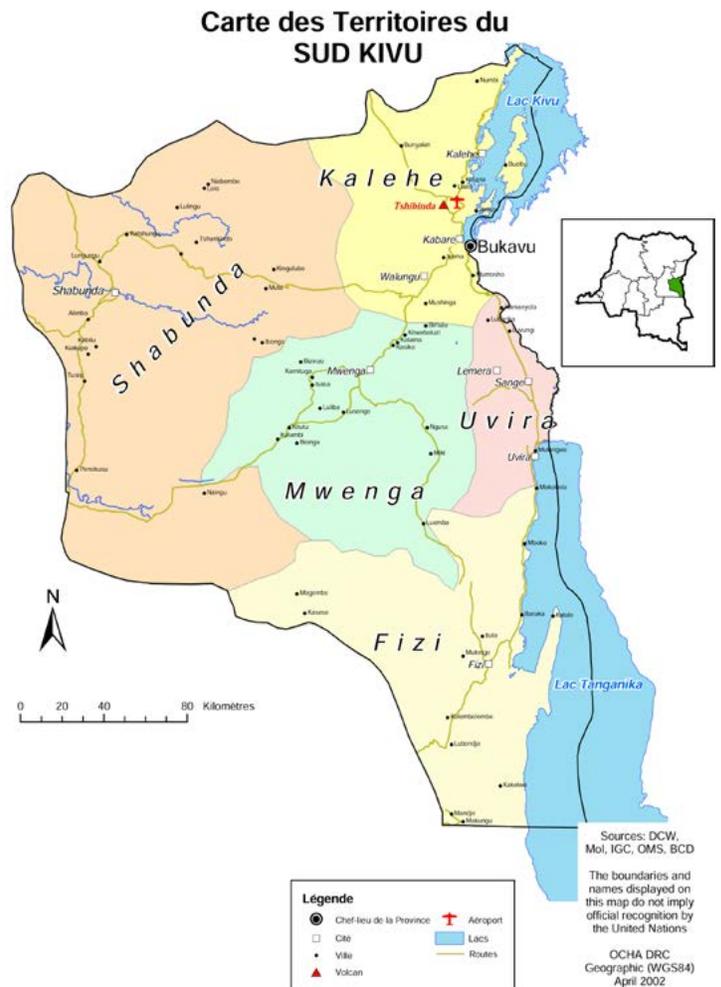


Figure 1. Carte des territoires du Sud-Kivu. Adaptée du Bureau de la coordination des affaires humanitaires pour la République démocratique du Congo (OCHA – DRC ; 2002). Sources : DCW (Digital Chart of the World), Mol (ministère de l'Intérieur), IGC (Institut géographique du Congo), OMS (Organisation mondiale de la santé), BCD

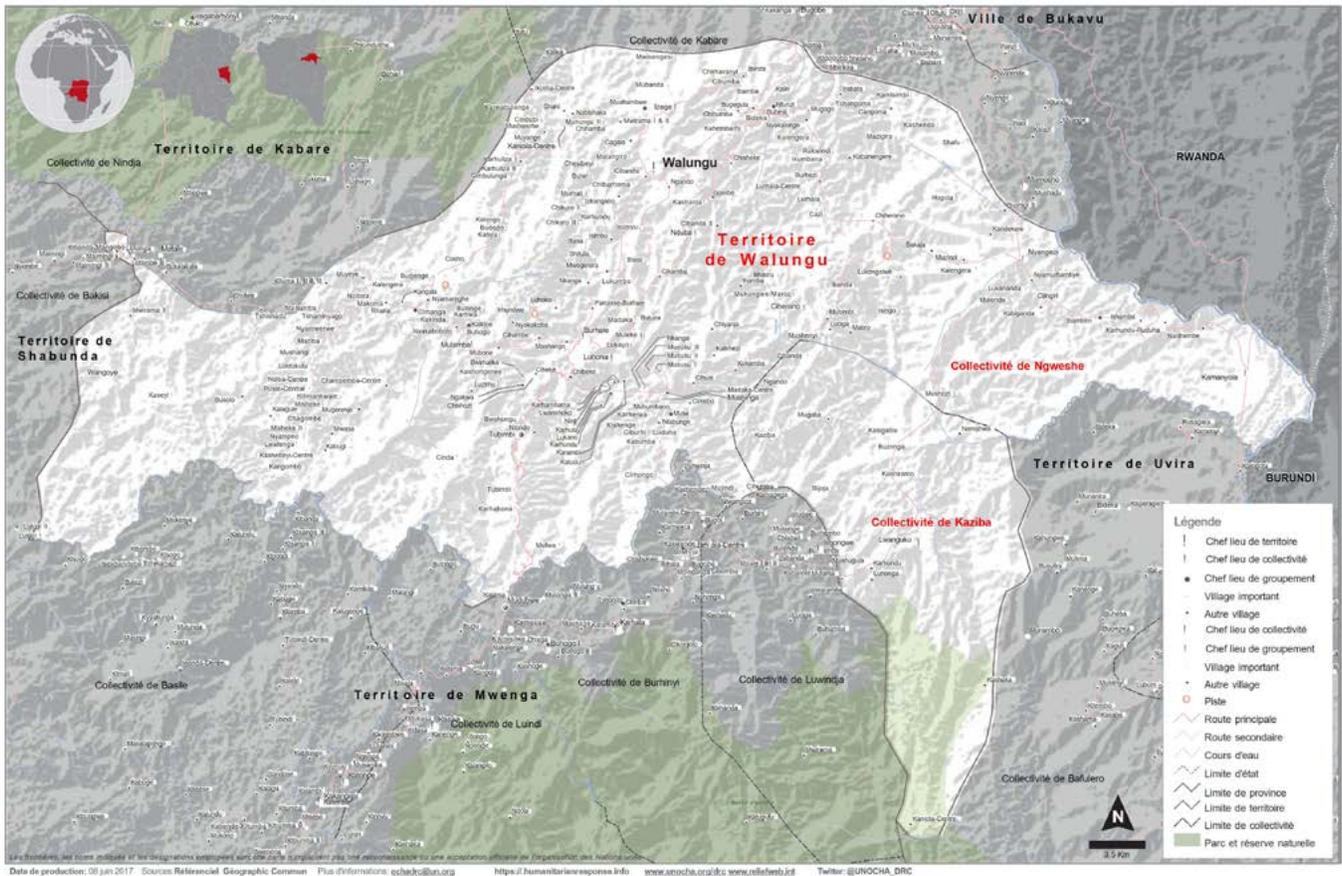


Figure 2. Carte administrative de la République démocratique du Congo – Province du Sud-Kivu – Territoire de Walungu. Bureau de la coordination des affaires humanitaires pour la République démocratique du Congo (OCHA – DRC ; 8 juin 2017). Les frontières, les noms indiqués et les désignations employées sur cette carte ne sont pas reconnus ou acceptés officiellement par l'Organisation des Nations Unies. Sources : Référentiel géographique commun.

La méthodologie de cette étude se fonde sur l'approche qualitative. En plus de la littérature existante au sujet de la résilience sociale et climatique et de la mobilisation des jeunes ruraux, des données empiriques ont été collectées grâce à des observations, à des entretiens semi-directifs et à des discussions de groupe. Les observations récoltées se concentraient sur le statut et le capital social des jeunes de Walungu, leurs moyens de subsistance et leurs réseaux d'information. Les entretiens ont principalement été effectués auprès de jeunes garçons et filles, âgés de 15 à 35 ans, instruits (alphabétisés) et résidant à Walungu depuis plus de 10 ans. Parmi eux, on comptait également des jeunes leaders, responsables et/ou membres d'organisations locales, de partis politiques ou de structures économiques formelles et informelles. Chaque entretien durait en moyenne 30 minutes et portait sur les effets environnementaux et sociaux des changements climatiques, leur influence sur le statut des jeunes, leur organisation quotidienne et sociale et leurs moyens de subsistance.

De plus, des groupes de discussion reposant sur l'interrogation simultanée de 8 à 10 personnes, en moyenne, ont également été menés (Claude, 2021). Ces groupes de discussion étaient composés de jeunes garçons et filles, alphabétisés et non alphabétisés, d'acteurs et actrices d'organisations de la société civile et d'autorités locales. Avant de participer aux débats, ces personnes ont librement accepté d'exposer leurs points de vue sur les changements environnementaux et sociaux actuels à Walungu ainsi que sur le niveau de mobilisation et de résilience des jeunes. C'est un total de 4 groupes de discussion qui ont été formés et de 23 entretiens semi-directifs qui ont été réalisés. Les données terrain ont été retranscrites (verbatim d'entrevues et de groupes de discussion) et analysées de manière systématique à l'aide de mots-clés liés faisant notamment ressortir les informations concernant le capital social et le statut social des jeunes ruraux de Walungu, leur vulnérabilité face aux chocs sociaux et climatiques, leurs moyens d'existence et les obstacles rencontrés au cours de leur vie.

Actions des jeunes ruraux de Walungu vers une optique de résilience sociale et climatique

Les changements climatiques ont induit des effets sociaux et environnementaux indésirables dans presque tous les secteurs de vie au Sud-Kivu. En plus de toucher le secteur agricole, qui concerne plus de la moitié de la population (Kashangabuye et al., 2019), ils ont perturbé la santé, les écosystèmes et les ressources hydriques. Par conséquent, les populations les plus vulnérables, en particulier les jeunes garçons et filles résidant à Walungu, en ont payé un lourd tribut. De ce fait, l'appréhension de leurs actions sociales et climatiques vers la résilience implique une approche systémique faisant appel à une démarche globale sur les différents éléments du système étudié (Schindler, 2006).

STATUT ET CAPITAL SOCIAL DES JEUNES RURAUX DE WALUNGU

Les jeunes garçons et filles représentent une opportunité vers la résilience sociale et climatique à Walungu. Le tableau 1 analyse leurs capacités et leur statut social.

Comparativement aux jeunes filles, les jeunes garçons ont une bonne situation de fait dans la société. Ils exercent une forte influence et peuvent ainsi agir en faveur de leur propre futur et de celui de leur entité. En effet, nombre de jeunes de Walungu s'organisent et/ou participent à des structures d'économie solidaire, à des réseaux d'entraide agricoles et non agricoles, et peuvent développer des relations avec divers acteurs sociaux. Pour accéder aux espaces de pouvoir fermés ou invisibles, ils développent des stratégies de lobbying et de plaidoyer. En plus de prodiguer des conseils aux détenteurs du pouvoir, ils sensibilisent et mobilisent les masses sur des questions sociales et climatiques. Le renforcement de l'infrastructure sociale paraît donc fondamental non seulement dans les situations de catastrophe (Aldrich et Meyer, 2015), mais aussi dans toutes les situations de la vie afin d'améliorer la résilience des communautés.

Appréciation sur une échelle de 0 à 3		Jeunes garçons	Jeunes filles	Hommes et femmes adultes
Ressources	...souvent détenteur ou détentrice des titres fonciers ?	1	0	3
	...contrôle le plus son propre emploi du temps ?	3	0	3
	...a accès aux réseaux de communication (radio, téléphone, télévision) ?	2	2	1
Capacité d'agir	...a plus d'influence dans la décision de la gestion des ressources naturelles ?	2	1	3
	...a la grande capacité de diriger ?	2	1	3
	...mieux organisé ou organisée pour défendre les intérêts locaux ?	2	1	1
Structures institutionnelles	...accède facilement au sein des structures de prise de décision ?	1	1	2
	...mieux servi ou servie en matière de politiques et de lois en vigueur ?	1	2	2
	...a plus de capacité d'agir par rapport aux relations avec le pouvoir ?	2	1	1
Appréciation sur une échelle de 0 à 3		16	9	19

Tableau 1. Capacités et statut social des jeunes garçons et filles de Walungu. Les jeunes filles et garçons, ainsi que d'autres participants et participantes aux débats, se sont positionnés de manière individuelle en tenant compte du contexte social et des réalités environnementales du territoire de Walungu, en prenant comme critères que 0 = inexistant/pas du tout, 1 = faible/peu de temps, 2 = moyen et 3 = élevé/tout le temps.

ACCÈS AUX NTIC ET MOYENS D'EXISTENCE DES JEUNES RURAUX DE WALUNGU

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) pénètrent de plus en plus les milieux ruraux du Sud-Kivu. À Walungu, deux jeunes sur trois utilisent actuellement un téléphone intelligent. Grâce aux NTIC, ils accèdent aux informations liées à leurs activités quotidiennes (organisation locale, agriculture, élevage), participent à certains espaces où se prennent des décisions et peuvent influencer la gestion de leur entité, se connectent aux différents réseaux et échangent des expériences avec le reste du monde : « ... plus de quatre ans que nous utilisons un téléphone Android. Nous sommes dans divers groupes WhatsApp et pouvons faire des recherches sur Internet pour notre travail... » Malgré les avantages des NTIC dans la résilience climatique et sociale des jeunes de Walungu, leur mauvaise utilisation peut déclencher des vagues de conflits entre divers acteurs et les répercussions concernent généralement les populations vulnérables : « ... je ne me prononce pas sur n'importe quel sujet pour m'éviter des problèmes avec les autorités politiques et locales, mais avec les NTIC, j'accède facilement à l'information par la radio, la télévision et dans le groupe WhatsApp et/ou Facebook... »

Nombre de jeunes n'ayant pas migré vers les villes ou les zones minières développent maintes activités socioéconomiques, qui sont pour eux source de revenus.

Il est ressorti des discussions qu'en plus « ... du transport mototaxi, de l'exploitation minière et de la pratique des activités agricoles... », « ... les restaurants, la vente des unités téléphoniques et la transaction monétaire, des denrées alimentaires, des boissons locales et importées, du charbon de bois, de l'essence, des articles divers pour l'habillement... », ces jeunes sont aussi « ... des responsables des petites unités de production et, en ambulatoire, exercent un commerce des denrées alimentaires de Walungu vers Bukavu... ». La majorité de ces moyens de subsistance étant susceptibles aux chocs climatiques, leur diversification serait une des solutions permettant d'améliorer la résilience des jeunes.

Appréciation de la résilience actuelle des jeunes ruraux de Walungu

NIVEAU DE RÉSILIENCE SOCIALE ET CLIMATIQUE DES JEUNES RURAUX DE WALUNGU

L'analyse du diagramme systémique (figure 3) montre que les jeunes filles de Walungu participent très faiblement aux instances de prise de décision. Dans une très large mesure, elles sont victimes du poids de la tradition et ont un faible accès et contrôle des ressources naturelles, par exemple, les ressources foncières.

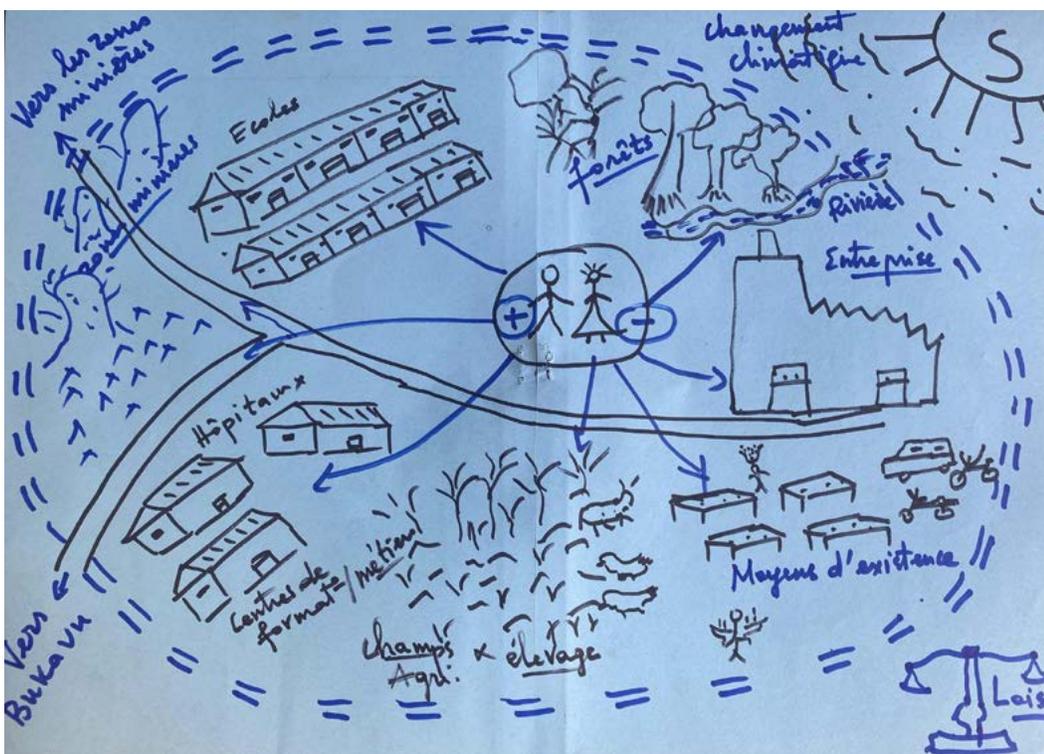


Figure 3. Diagramme systémique de la résilience sociale et climatique des jeunes de Walungu, réalisé pendant une discussion en groupe avec de jeunes garçons et filles, Walungu, février 2024.

La plupart des moyens de subsistance des jeunes de Walungu sont non durables, à l'instar des petites unités locales de production, des activités agricoles, du transport mototaxi, de l'accès aux marchés, du commerce des boissons locales et importées, du charbon de bois, des articles divers pour l'habillement. En nombre important, ils sont faiblement organisés du point de vue formel et dépendent de leurs familles, dont la majorité vit déjà dans une situation de pauvreté liée aux effets des changements climatiques et à la série des crises sécuritaires de l'est de la RDC. La résilience actuelle de ces jeunes étant faible, ils sont de plus en plus sujets aux manipulations politiciennes, à l'intégration dans des milices et à la migration vers des zones attractives à la recherche du bonheur.

GOULOT D'ÉTRANGLEMENT

Les jeunes représentent un espoir pour plusieurs à Walungu. Leur engagement, leur participation et leur implication dans les actions en réponse aux effets des changements climatiques sont un choix de premier plan. Les discussions ont montré que : « ... si les jeunes sont employés, si leurs moyens de subsistance et d'action pour le climat sont appuyés, s'ils accèdent facilement aux instances de prise de décision et comprennent les règles du jeu, ils peuvent être plus résilients sur le plan social et climatique, et bénéfiques même pour notre entité... » Dans ce cas de figure, l'employabilité et l'entrepreneuriat des jeunes paraissent des leviers à actionner pour les amener vers une optique de résilience sociale et climatique durable. Étant considérés comme des processus, l'employabilité et l'entrepreneuriat joueraient un rôle très important dans le déclenchement de la décision d'entreprendre (Bernard et Barbosa, 2016). En actionnant sur ces leviers, certains effets se produiront sur le plan systémique, entre autres : « ... la diversification des moyens de subsistance des jeunes, le renforcement de leurs organisations et le filet socioéconomique, la diminution de la pression de la tradition par rapport aux jeunes filles et de la vulnérabilité aux migrations et aux manipulations politiciennes, l'autonomie et l'indépendance économique et un engagement durable des jeunes dans les actions en réponse aux chocs climatiques... »

Conclusion

L'étude a évalué la place des jeunes ruraux dans la résilience sociale et climatique dans l'est de la République démocratique du Congo. Elle a montré qu'actuellement, nonobstant leurs moyens de subsistance et actions climatiques, dont une bonne partie est non durable, la résilience des jeunes ruraux de Walungu demeure faible. Cela se traduit par le nombre important de jeunes dépendants du point de vue socioéconomique, sujets

aux manipulations politiciennes et à la tradition, ayant abandonné les activités agricoles et/ou migré vers des zones urbaines. Par conséquent, l'étude recommande aux décideurs politiques et aux acteurs locaux de développement de s'appuyer sur l'employabilité et de promouvoir l'entrepreneuriat des jeunes ruraux afin de leur permettre de diversifier leurs moyens de subsistance et d'augmenter leur niveau de résilience face aux chocs climatiques et sociaux. L'étude à venir portera sur la diversité des perspectives des jeunes du Sud-Kivu concernant les changements climatiques, les formes de résilience et les stratégies mises en place. L'objectif sera de fournir des informations détaillées aux acteurs qui soutiennent la résilience des jeunes face aux effets des changements climatiques au Sud-Kivu et à l'est de la République démocratique du Congo.

RÉFÉRENCES

- Aldrich, D. P. et Meyer, M. A. (2015).** Social Capital and Community Resilience. *American Behavioral Scientist*, 59(2), p. 254-269.
- Bernard, M.-J. et Barbosa, S. D. (2016).** Résilience et entrepreneuriat : Une approche dynamique et biographique de l'acte d'entreprendre. *Éditions AIMS*, Vol. 19 (2)89-123.
- Claude, G. (2021).** Le focus group : caractéristiques, utilisation et exemples. *Scribbr*, Repéré à <https://www.scribbr.fr/methodologie/focus-group/>
- Debeve, C. (2019).** *Les causes profondes de migration : l'exemple de la RDCongo*. Kinshasa : Justice et Paix.
- IPCC (2023).** *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kashangabuye, C., Ramanarivo, S., Ngaboyeka, M., Muhigwa, B. et Basengere, B. (2019).** Changement climatique et production agricole dans la région du Sud-Kivu montagneux à l'est de la RD-Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 26, 2(526-544).
- NCEA (2016).** *Climate Change Profile: Democratic Republic of the Congo (East)*. Netherland: Dutch Sustainability Unit of Netherlands Commission for Environment Assesment.
- OIM (2023).** *DTM RDC - Aperçu des Déplacements Nationaux*. Genève : Organisation internationale pour les migrations.
- Schindler, A. (2006).** Notions essentielles de l'approche systémique en pratique. *Cahier d'Études et de Recherche : École Centrale Paris Laboratoire*, 02(1-6).
- USAID (2018).** *Profil de risque climatique : RDC*. Washington : Agence des États-Unis pour le développement international.

L'INDUSTRIE TOURISTIQUE CÔTIÈRE DE LA MRC DE RIMOUSKI-NEIGETTE S'ADAPTE-T-ELLE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ?

Josée Laflamme

Professeure
Unité départementale des sciences de la gestion
Université du Québec à Rimouski

Anne Fauré

Professeure
Unité départementale des sciences de la gestion
Université du Québec à Rimouski

Asmine Désirade

Diplômée de la maîtrise en gestion
des ressources maritimes
Université du Québec à Rimouski

Les manifestations des changements climatiques sont multiples en zones côtières : acidification de l'eau et augmentation de sa température, prolifération d'espèces envahissantes, hausse du niveau de la mer et érosion côtière, pour ne nommer que celles-ci. Dans l'industrie touristique côtière plus particulièrement, l'érosion détruit les infrastructures, le patrimoine culturel bâti et le paysage côtier. Les changements climatiques influent aussi sur la durée et la qualité des saisons touristiques. S'y ajoutent des conséquences indirectes, comme la modification de l'attrait environnemental et la perturbation des écosystèmes (Buckley, 2011), la diminution de l'attractivité de la région, les pertes financières des organisations vivant avec une saison touristique parfois raccourcie et enfin, les incapacités et difficultés des entreprises à relever les défis d'adaptation.



Crédit photo : Dennis Jarvis, CC BY-SA 2.0, FlickrR_BIS

La MRC de Rimouski-Neigette, une cible de choix

Le Québec n'échappe pas à ces conséquences, notamment les régions maritimes. Parmi celles-ci, le Bas-Saint-Laurent possède des espaces très exposés aux effets des changements climatiques. Dans l'estuaire du golfe, le littoral subit un recul continu qui varie de 0,5 à 2 millimètres par an (Bernatchez et Dubois, 2004). Les infrastructures sont vulnérables aux tempêtes, à l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des événements météorologiques extrêmes, ainsi qu'à la hausse du niveau de la mer (Rondeau-Genesse, 2020). C'est environ 88 kilomètres d'infrastructures qui sont exposés à l'érosion côtière (Bernatchez et al., 2015). Pour le Bas-Saint-Laurent, les projections pour 2065 prévoient des pertes représentant 384 millions de dollars pour 2 210 bâtiments, 62 millions pour 65 kilomètres de routes, 17 millions pour une autoroute et 8 millions pour un chemin de fer situé à Rimouski (Bernatchez et al., 2015). De plus, la forte anthropisation du Bas-Saint-Laurent favorise le rétrécissement du littoral et accentue les conséquences des phénomènes climatiques.

La MRC de Rimouski-Neigette (figure 1), située dans la région administrative du Bas-Saint-Laurent, représente une zone de choix pour saisir les enjeux des changements climatiques sur l'industrie touristique côtière, pour les raisons suivantes : premièrement, ses infrastructures sont très exposées aux phénomènes climatiques ; deuxièmement, le tourisme côtier est un secteur d'activités très développé et troisièmement, ses activités touristiques côtières en font un pôle économique important (Bernatchez et al., 2015 ; Tourisme Rimouski, 2023). Son industrie touristique repose notamment sur la proximité avec la mer et sur son patrimoine maritime riche. Les activités touristiques s'orientent notamment vers le kayak de mer, la pêche récréative, l'excursion sur l'île Saint-Barnabé, le kitesurf, la randonnée côtière, la visite du Site historique maritime de la Pointe-au-Père et le tourisme culinaire basé sur les produits de la mer. Les littoraux de la région sont aussi exposés aux manifestations des changements climatiques, qui se présentent notamment sous forme d'ondes de tempête (Quintin, Bernatchez et Jolivet, 2013), de submersion marine (Lapointe, Sarrasin et Guillemard, 2015) et d'érosion côtière (Bernatchez et al., 2015). Ainsi, par sa vocation maritime, cette MRC est particulièrement fragile aux conséquences des changements climatiques.

Malgré les risques multiples qu'impliquent les changements climatiques pour le tourisme côtier, la recherche semble insuffisante (Lemmen et al., 2021). La planification des activités touristiques se focalise généralement sur des scénarios à court terme (Scott, Gössling et Hall,

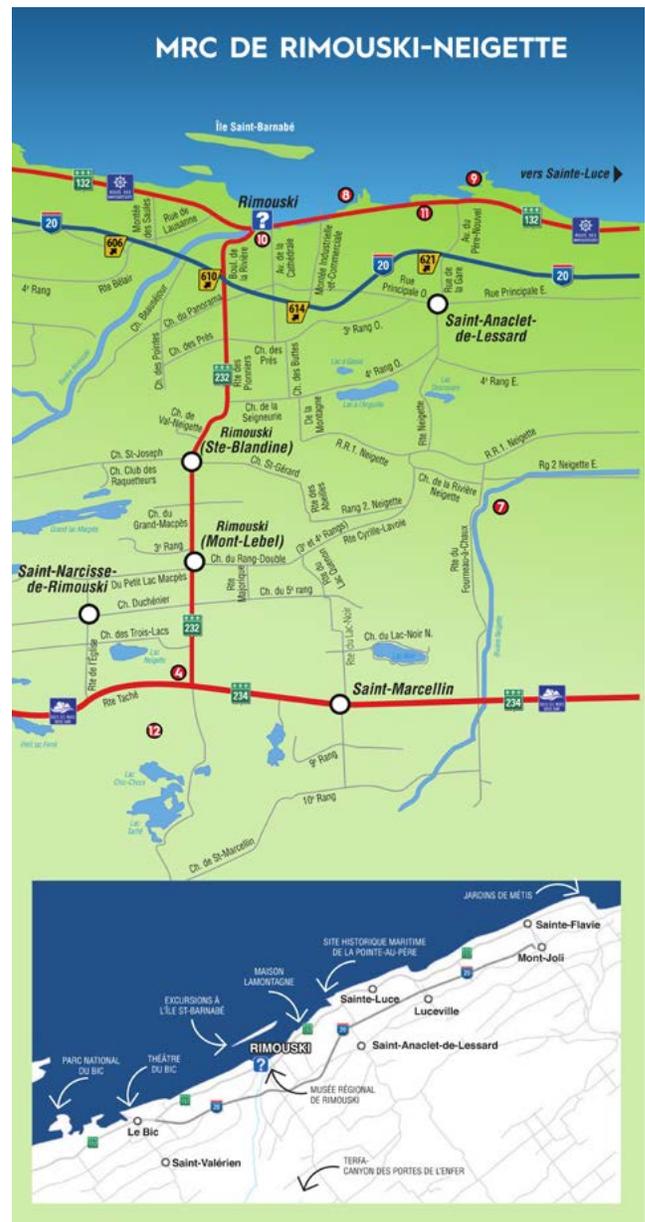


Figure 1. Carte de la MRC de Rimouski-Neigette (Source : Tourisme Rimouski, 2023)

2012). Dans une perspective de développement de cette industrie, il est essentiel de bien comprendre la situation pour déterminer les mesures d'adaptation actuelles et celles envisagées par les parties prenantes. Nous avons ici souhaité comprendre comment les parties prenantes de l'industrie touristique côtière de cette MRC élaborent des mesures adaptatives afin de répondre aux enjeux du tourisme côtier face aux changements climatiques.

Pour y arriver, un cadrage théorique croisant les concepts de perception des risques, de capacité d'adaptation et de résilience en contexte touristique côtier a été élaboré. Le terrain propre à l'étude a permis d'effectuer une analyse documentaire (recension et analyse de rapports gouvernementaux et techniques) ainsi qu'une observation

participante lors de diverses initiatives menées par des organismes clés du secteur. S'est ensuite ajoutée la réalisation de 13 entrevues avec trois groupes de parties prenantes de l'industrie touristique côtière : des gestionnaires d'organisations touristiques, des acteurs et actrices d'organismes du secteur public régional, ainsi que des responsables de la promotion touristique. Cette démarche a permis de faire des constats en matière de perception du risque, de mesures d'adaptation, mais également de besoins en recherche.

Perception des risques climatiques dans l'industrie touristique côtière

La perception des risques climatiques est associée, pour les parties prenantes du secteur public, aux inondations, à la submersion et à l'érosion côtière. Les effets causés sur l'industrie touristique concernent la sécurité des personnes usagères, les installations et les infrastructures, l'activité économique et culturelle, les habitats côtiers et les attraits touristiques. Les organisations touristiques côtières voient comme conséquences principales la fréquence et l'amplitude des vagues et des marées. Les organismes de promotion touristique, quant à eux, identifient les ondes de tempête, les grandes marées, l'érosion et la submersion côtière comme étant les principales manifestations des changements climatiques.

L'augmentation de la fréquence de fortes tempêtes et des grandes marées modifie considérablement le paysage côtier. Elle est d'autant plus préoccupante que le couvert de glace en saison hivernale tend à disparaître en raison de températures plus douces. Ceci a un effet direct sur les infrastructures côtières et touristiques, car les vagues ne sont plus freinées. La tempête historique du 6 décembre 2010 a été évoquée par les personnes rencontrées, alors que le cadre bâti a subi des dommages : 13 % des bâtiments en bordure de mer ont été touchés de manière faible à modérée (Quintin, Bernatchez et Jolivet, 2013). Cet événement a forcé la mise en place de nouvelles mesures d'adaptation dans un contexte de petites municipalités confrontées à des contraintes topographiques pour trouver l'espace nécessaire au recul.

Adaptations structurelles flexibles et solutions fondées sur la nature

Les adaptations structurelles permettent d'intégrer les risques climatiques aux infrastructures touristiques dans une perspective d'ingénierie. Un exemple notable est celui d'une entreprise ayant mis en place un concept novateur de chalets sur roues, permettant de déplacer les chalets en fonction des saisons et de s'adapter ainsi aux conditions météorologiques extrêmes. À la fin de la saison touristique, ces chalets peuvent être reculés des berges, ce qui les protège des conséquences climatiques.



Par ailleurs, des adaptations fondées sur la nature et moins envahissantes que l'enrochement sont préconisées par des groupes environnementaux afin de préserver l'accès au fleuve et de restaurer les milieux naturels. La revégétalisation sera ainsi privilégiée dans des zones fortement touchées par les changements climatiques. Par exemple, la plantation d'herbiers aquatiques tels que les zostères marines et les herbiers de spartine alterniflore seront utiles pour atténuer l'effet des vagues dans l'estran, ou encore l'élyme des sables, qui sera utile pour stabiliser les plages.

L'enrochement, une adaptation parfois nécessaire

L'enrochement devient parfois une mesure d'adaptation nécessaire pour protéger les infrastructures de l'effet des vagues. Cette méthode coûteuse, qui n'est pas toujours bénéfique pour préserver l'esthétique et la largeur des plages, est quelquefois privilégiée par les gestionnaires d'organisations touristiques. D'ailleurs, le sous-marin Onondaga du site historique maritime de la Pointe-au-Père, est protégé par de l'enrochement sur plus de 100 mètres. Des travaux de soulèvement du sous-marin ont récemment été annoncés afin de corriger son installation et de mieux le protéger de l'effet des marées. Ces travaux amèneront également une réflexion sur la hauteur et les besoins en enrochement. Cette réflexion est indispensable dans le contexte de développement du site et de maintien de l'attrait

du sous-marin, le site ayant accueilli 81 000 visiteurs en 2023. Notons que lors de la tempête de 2010, le site a connu un épisode de submersion et une partie des archives a alors été perdue, ce qui a forcé l'organisation à revoir ses pratiques et à éloigner les archives de la mer.

Connaissances stratégiques, concertation et accompagnement

Certaines entreprises du secteur touristique nous ont confié qu'elles bénéficiaient d'une expertise scientifique de manière importante. Une relation de confiance de longue date s'est établie entre ces organisations et les scientifiques de la Chaire de recherche en géoscience côtière du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'Université du Québec à Rimouski. Cette relation facilite le choix des organisations quant aux mesures adaptatives et leur procure un soutien pour se conformer aux réglementations.

Malgré la présence jugée essentielle de l'équipe de recherche de la Chaire, les entrevues ont permis de faire ressortir le besoin accru en concertation et la nécessité d'avoir une perspective plus intégrée entre l'ensemble des parties prenantes concernées en matière de changements climatiques sur le territoire. Cette posture permet non seulement la collaboration, mais aussi l'acceptabilité sociale de solutions d'adaptation durable. Le partage des données probantes et des connaissances stratégiques a été identifié comme étant essentiel pour une meilleure adaptation du secteur. De plus, il a été souligné que la dimension climatique est souvent négligée lors de nombreux événements de promotion touristique liés au secteur maritime.

Les groupes environnementaux pallient ces lacunes par la sensibilisation, mais également en favorisant l'accompagnement pour l'élaboration de plans d'adaptation. Par exemple, le Conseil régional de l'environnement du Bas-Saint-Laurent et le Centre intégré de santé et de services sociaux du Bas-Saint-Laurent ont tenu, au cours de l'automne 2023, le Grand Rendez-vous régional de l'adaptation aux changements climatiques. Cette initiative ouvre la voie sur une collaboration régionale visant à promouvoir la planification d'actions durables et équitables en réponse aux changements climatiques.

Crédit photo : Simon Hurens, CC BY-SA 2.0, FlickrR

Par ailleurs, dans le cadre du Plan d'action pour un tourisme responsable et durable 2020-2025, l'axe 5 cible précisément l'accompagnement des entreprises touristiques dans l'adaptation et l'innovation à l'égard des changements climatiques. C'est ainsi que le ministère du Tourisme a confié à Uranos le mandat d'outiller les associations touristiques en matière d'adaptation et de les orienter vers des solutions innovantes faisant participer les acteurs du milieu. Cet accompagnement est crucial pour favoriser les mécanismes d'adaptation structurelle du milieu.

Vers des pistes d'action

Au cours de l'été 2023, la Direction régionale de la santé publique du Bas-Saint-Laurent dévoilait un rapport mettant en évidence l'exposition du Bas-Saint-Laurent aux phénomènes climatiques extrêmes tels que les inondations, l'érosion côtière, les tempêtes, les feux et les épisodes de chaleur excessive (Turgeon-Pelchat et al., 2023). Ce rapport propose un indice de vulnérabilité populationnelle aux changements climatiques mesuré à partir de trois dimensions : l'exposition aux changements climatiques, la sensibilité de la population et sa capacité d'adaptation. L'exposition est évaluée à partir de neuf aléas climatiques ciblés. Quant à elle, la sensibilité est mesurée à l'aide de 35 indicateurs couvrant la santé, les caractéristiques individuelles, les milieux de vie et les systèmes. Enfin, la capacité d'adaptation est analysée à travers les quatre dimensions de la sécurité civile : prévention, préparation, intervention et rétablissement, en plus de la capacité individuelle à faire face à l'un des aléas climatiques. Il y est mentionné que bien que la MRC de Rimouski-Neigette ait un indice de vulnérabilité faible par rapport à l'ensemble du Bas-Saint-Laurent, elle demeure exposée aux risques par sa faible capacité d'adaptation, en ce qui concerne sa capacité réduite de prévention. Cette lacune corrobore les résultats de nos travaux sur les besoins en adaptation, qui ont dévoilé une capacité limitée de prévention et de rétablissement.

Plusieurs personnes interrogées nous ont confié voir actuellement une conjoncture favorable se dessiner dans la priorisation des enjeux liés aux changements climatiques et dans les mesures d'adaptation qui tiennent compte des réalités régionales. D'ailleurs, le gouvernement a annoncé la création d'un bureau de projets en érosion et en submersion marine côtières dans l'est du Québec afin de planifier les mesures d'adaptation. C'est le ministère des Affaires municipales et de l'Habitation qui coordonnera l'initiative, en privilégiant un ancrage régional et local. De plus, le programme Accélérer la

transition climatique locale découlant du Plan pour une économie verte 2030 soutiendra les municipalités dans l'élaboration de plan pour lutter contre les changements climatiques (Plan climat). Ces mécanismes permettront d'affronter la question climatique de front en matière d'adaptation et d'atténuation, et ce, sur l'ensemble des régions maritimes du Québec.

Besoin en recherche et en actions concertées

L'industrie touristique côtière, qui devrait favoriser le développement et la croissance économique grâce aux potentialités de la région, se trouve fragilisée par les conséquences des phénomènes climatiques. Toutes les composantes du tourisme sont à risque, qu'il s'agisse des écosystèmes, des infrastructures de développement ou du patrimoine culturel.

L'adaptation aux changements climatiques dans cette industrie exige une considération fine et spécifique des réalités locales et régionales, en plus d'une collaboration multisectorielle. Plusieurs démarches prometteuses sont en cours pour renforcer la résilience des communautés côtières, en particulier l'industrie touristique côtière. Ce travail a permis de mettre en valeur non seulement l'idée de miser sur la nature pour s'adapter, mais aussi les initiatives en matière d'adaptation structurelle. Plusieurs angles morts ont cependant été identifiés, à savoir les coûts d'assurances et ceux engendrés par la mise en œuvre de plans d'adaptation. La question



de la gestion des urgences par le secteur (prévention et rétablissement) n'a pas non plus été abordée par les personnes rencontrées.

Ce travail vient poser les jalons pour une recherche plus approfondie visant l'étude de plusieurs régions à risque, de divers types d'installations touristiques, des différentes parties prenantes de l'industrie, notamment les touristes, et d'une offre touristique diversifiée.

RÉFÉRENCES

Bernatchez, P. et Dubois, J.-M. (2004). Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, 58(1), p. 45-71.

Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C. et Da Silva, L. (2015). Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières. Université du Québec à Rimouski. Rapport remis à Ouranos. Repéré à <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/proj-201419-emark-circe-rapportfinal01.pdf>

Buckley, R. (2011). Tourism and environment. *Annual review of environment and resources*, 36, p. 397-416.

Lapointe, D., Sarrasin, B. et Guillemard, A. (2015). Changements climatiques et mise en tourisme du fleuve St-Laurent au Québec. Analyse critique des représentations. *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.16575>

Lemmen, D., Lafleur, C., Chabot, D., Hewitt, J., Braun, M., Bussière, B., Kulcsar, I., Scott, D. et Thistlethwaite, J. (2021). Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation ; chapitre 7. Dans Warren, F.J., et Lulham, N. *Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux*, (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario

Quintin, C., Bernatchez, P. et Jolivet, Y. (2013). *Impacts de la tempête du 6 décembre 2010 sur les côtes du Bas-Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières et Chaire de recherche en géoscience côtière, Université du Québec à Rimouski, Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec. Repéré à https://ldgizc.uqar.ca/Web/docs/default-source/default-document-library/quintin_bernatchez_jolivet_rapport-tempete-6-decembre2010-vol-i_2013.pdf?sfvrsn=ec75c43e_0#:~:text=Le%206%20decembre%202010%2C%20une,de%20la%20baie%20des%20Chaleurs

Rondeau-Genesse, G. (2020). Impact des changements climatiques sur les facteurs hydroclimatiques influençant les inondations et les processus d'érosion des berges du tronçon fluvial du Saint-Laurent. Rapport présenté par Ouranos. Repéré à <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/proj-201419-ge-blondlot-rapporttechnique.pdf>

Scott, D., Gössling, S. et Hall, C. M. (2012). International tourism and climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(3), p. 213-232.

Tourisme Rimouski (2023). *Guide touristique 2023-2024 : Rimouski et sa région*. Repéré à https://tourismerimouski.com/wp-content/uploads/2023/05/Guide_Touristique_Rimouski_2023_complet_compressed-1.pdf

Turgeon-Pelchat, C., Dodeler, C., Savard, A., Turcotte, S. et Aubé-Maurice, J. (2023). *Santé et adaptation aux changements climatiques au Bas-Saint-Laurent. Volet Évaluation de la vulnérabilité populationnelle régionale aux changements climatiques (VRAC)*. Direction de la santé publique du Bas-Saint-Laurent, Centre intégré de santé et de services sociaux du Bas-Saint-Laurent. Repéré à https://www.ciass-bsl.gouv.qc.ca/sites/default/files/fichier/ciass-bsl_rapport_sante_publique_v6.pdf



DES EXPOSITIONS QUI ÉMERVEILLEN

MNS²

MUSÉE NATURE SCIENCES
SHERBROOKE



ALTERANIMA | RENCONTRES INUSITÉES

Plongez au coeur d'un univers fantastique où votre regard se mêlera à celui de centaines d'animaux regroupés de façon aussi inattendue que scientifique.

LE SPECTACLE MULTISENSORIEL TERRA MUTANTÈS

Propulsez-vous à travers les millénaires d'évolution des Cantons-de-l'Est dans cette expérience multimédia. Vivez le tumulte de la dérive des continents et ressentez les glaciations!



OBJECTIF TERRE :

COMPRENDRE NOTRE PLANÈTE DEPUIS L'ESPACE

Du 10 octobre 2024 au 6 janvier 2025



Agence spatiale
canadienne

Canadian Space
Agency



MUSÉE DE LA NATURE ET DES SCIENCES DE SHERBROOKE

225, rue Frontenac, Sherbrooke (Québec)

mns2.ca



Devenez un acteur clé de la transition socioécologique

Baccalauréat | Maîtrise | DESS | Microprogrammes

Des formations qui préparent aux professions en gestion de l'environnement

- Développez une vision globale des enjeux environnementaux
- Accompagnez et mobilisez les organisations et les communautés
- Collaborez à mettre en œuvre des actions concrètes



Découvrez nos formations

**Centre universitaire de formation en
environnement et développement durable**

UDS

Université de
Sherbrooke



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

CLIMATOSCOPE.CA