



SAVOIR POLAIRE

# Aqhaliat

RAPPORT 2018



## Table des matières

**SCIENCE DES ÉCOSYSTÈMES ..... 1**

Les lichens dans les écosystèmes de l'Extrême-Arctique : orientations de recherche recommandées pour l'évaluation de la diversité et des fonctions à proximité de la Station canadienne de recherche dans l'Extrême-Arctique à Cambridge Bay, au Nunavut..... 1

Synphénologie vasculaire des communautés végétales à Cambridge Bay, sur l'île Victoria, au Nunavut, pendant la saison de croissance de 2015..... 9

La répartition et l'abondance des parasites chez les espèces sauvages capturées dans le Nord canadien : un examen..... 20

Incendies dans l'Arctique : effets des feux de forêt sur divers écosystèmes aquatiques des Territoires du Nord-Ouest ..... 31

Programme d'analyse comparative de l'écologie marine de l'Arctique : surveillance de la biodiversité au moyen de la plongée sous-marine ..... 39

Stratification dans la mer de Kitikmeot de l'archipel Arctique canadien : conséquences biologiques et géochimiques ..... 46

Hausser la capacité de télédétection pour la recherche sur les changements climatiques dans le Nord canadien : contributions de POLAIRE à l'expérience de la NASA sur la vulnérabilité de la région boréale de l'Arctique (ABOVE) ..... 53

Système canadien de surveillance et de prévisions des conditions météorologiques dans l'Arctique (CAMPS) : proposition d'un système de connaissances coordonné pour comprendre et anticiper les changements dans les écosystèmes nordiques du Canada..... 63

**SAVOIR-FAIRE AUTOCHTONE ET SURVEILLANCE COMMUNAUTAIRE..... 70**

La méthode One Voice : relier l'Inuit Qaujimajatuqangit à la science occidentale pour surveiller le milieu aquatique d'eau douce du Nord canadien ..... 70

Établir des conditions limnologiques de référence à Baker Lake, au Nunavut..... 78

Apprendre ensemble : la science et l'Inuit Qaujimajatuqangit unissent leurs forces pour mieux comprendre l'iqalukpiit/l'omble chevalier dans la région de Kitikmeot ..... 84

Introduction aux études sur les connaissances traditionnelles à l'appui des outils géoscientifiques pour l'évaluation des mines de métaux dans le nord du Canada ..... 92

Changement continu et réchauffement progressif : résumé des connaissances culturelles consignées de l'Alliance des Métis de North Slave sur les changements climatiques et environnementaux ..... 99

Un profil du programme de surveillance de l'environnement et de la santé eNuk..... 117

Pour obtenir de plus amples renseignements sur Savoir polaire Canada ou pour obtenir d'autres exemplaires de ce rapport, veuillez communiquer avec :

Savoir polaire Canada  
170, avenue Laurier Ouest  
2e étage, bureau 200  
Ottawa (Ontario) K1P 5V5  
courriel : info@polar.gc.ca  
tél. : 1-877-221-6213  
télé. : 613-947-2410



Twitter:  
@POLARCanada



Instagram:  
polar.knowledge



Facebook:  
Polar Knowledge Canada

Site Web : <https://www.canada.ca/fr/polar-knowledge/aqhaliat.html>

This work is published in English under the title:  
Polar Knowledge: Aqhaliat Report

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2018



Savoir polaire : Rapport Aqhaliat

ISSN 2562-6256

## Table of Contents

### TECHNOLOGIES PROPRES ET RESSOURCES RENOUVELABLES POUR LES COLLECTIVITÉS ÉLOIGNÉES ..... 126

Atlas des énergies renouvelables et mise à l'essai de microréseaux dans l'Arctique ..... 126

Obtention d'avantages grâce au traitement et à la réutilisation des eaux grises dans les bâtiments et les collectivités du Nord ..... 131

## LES LICHENS DANS LES ÉCOSYSTÈMES DE L'EXTRÊME-ARCTIQUE :

orientations de recherche recommandées pour l'évaluation de la diversité et des fonctions à proximité de la Station canadienne de recherche dans l'Extrême-Arctique à Cambridge Bay, au Nunavut



**Ian D. Hogg<sup>1\*</sup>, Leo G. Sancho<sup>2</sup>, Roman Türk<sup>3</sup>, Don A. Cowan<sup>4</sup>, and T. G. Allan Green<sup>2,5</sup>**

<sup>1</sup> Station canadienne de recherche dans l'Extrême-Arctique, Savoir polaire Canada, Cambridge Bay, Nunavut, Canada

<sup>2</sup> Unité de botanique, Faculté de pharmacie, Université Complutense de Madrid, Madrid, Espagne

<sup>3</sup> Université de Salzbourg, Salzbourg, Autriche

<sup>4</sup> Centre de microbiologie, d'écologie et de génomique, Université de Pretoria, Pretoria, Afrique du Sud

<sup>5</sup> École des sciences, Université de Waikato, Hamilton, Nouvelle-Zélande

\* [ian.hogg@polar.gc.ca](mailto:ian.hogg@polar.gc.ca)

### Résumé

Les lichens sont une composante importante des écosystèmes terrestres de l'Arctique. Une évaluation réalisée par des chercheurs spécialisés en lichens ayant de l'expérience en milieu polaire et alpin a confirmé la présence dominante de lichens à Ikaluktutiak (Cambridge Bay) et dans les environs. Trois principales communautés de lichens ont été découvertes : (1) les lichens poussant parmi les plantes supérieures dans les zones plus humides, (2) les lichens poussant sur des roches et des pierres dans des sites plus secs, (3) les lichens formant des croûtes de sol. Afin d'améliorer davantage les connaissances sur les lichens près de Cambridge Bay, des efforts devraient être déployés pour identifier les espèces de lichens à proximité de la Station canadienne de recherche dans l'Extrême-Arctique (SCREA) et élaborer des méthodes pour aider les non-spécialistes à les identifier. La mise en place d'un herbier sur le campus de la SCREA et la construction d'une bibliothèque de codes à barres de l'ADN faciliteront l'utilisation de techniques d'identification moléculaire. La détermination des taux de croissance des lichens permettra la datation des surfaces (p. ex. détermination de l'âge des sites archéologiques) ainsi que la surveillance des changements

environnementaux. Les communautés locales de lichens devraient être décrites, tandis que les facteurs contrôlant leur position dans le paysage devraient être déterminés. Les techniques de fluorescence chlorophyllienne permettront de déterminer sans contact la durée de la période active et le moment de l'activité au cours de l'année. Cela, ainsi que des études sur la photosynthèse, permettront de réaliser des avancées sur les principales espèces, de déterminer les influences des principaux facteurs environnementaux et de calculer la contribution du carbone aux communautés. Collectivement, ces données aideront à prévoir les effets des changements climatiques sur les écosystèmes de l'Extrême-Arctique. L'emplacement et les excellentes installations de la SCREA sont idéaux pour soutenir ces études et combler une importante lacune dans les connaissances sur les écosystèmes de la toundra dans l'Arctique canadien.

### Introduction

Les lichens sont une composante importante des écosystèmes terrestres de l'Extrême-Arctique et constituent une source de nourriture précieuse pour le caribou, le

Citation suggérée :

Hogg, I.D., Sancho, L.G., Turk, R., Cowan, D.A., Green, T.G.A. 2018. « Les lichens dans les écosystèmes de l'Extrême-Arctique : orientations de recherche recommandées pour l'évaluation de la diversité et des fonctions à proximité de la Station canadienne de recherche dans l'Extrême-Arctique, à Cambridge Bay, au Nunavut », Savoir polaire : Aqhaliat 2018, Savoir polaire Canada, p. 1 à 8. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.011

bœuf musqué et le lièvre arctique (Edwards et coll. 1960, Thomas et coll. 1994). Il s'agit d'une combinaison unique de deux types d'organismes, une algue et un champignon, qui croissent ensemble en relation symbiotique; les lichens ont besoin d'eau liquide (pluie, eau de fonte) pour croître. Les lichens sont très communs autour du hameau d'Ikaluktutiak (Cambridge Bay) et sont souvent le type de végétation dominant. Ils présentent également une diversité potentiellement élevée dans les environs de Cambridge Bay en raison des faibles niveaux de précipitations (< 140 mm avec 50 % de pluie en été) et de la concurrence limitée avec d'autres types de végétation comme les arbres et les arbustes. Cependant, on en sait très peu sur leur diversité dans l'Extrême-Arctique en raison des difficultés d'identification et d'accès aux sites d'étude.

Savoir polaire Canada a invité des chercheurs reconnus à l'échelle internationale à fournir une évaluation initiale des communautés de lichens près de Cambridge Bay. Les chercheurs invités possédaient tous une vaste expérience des milieux antarctiques, alpins et arctiques et avaient déjà mené des recherches sur la taxonomie, l'écophysologie,

la croissance et l'écologie des lichens. Dans le cadre du présent rapport, ils ont été chargés de formuler des recommandations afin d'améliorer les connaissances sur la diversité et la fonction des lichens dans l'Arctique canadien.

*Situation actuelle* : La Station de recherche du Canada dans l'Extrême-Arctique (SRCEA) devrait être pleinement opérationnelle en 2019 grâce à un programme de recherche continu. Son principal objectif est de « mobiliser la science et la technologie de l'Arctique » et de devenir « un site de surveillance de calibre mondial qui servira de plaque tournante pour CAMPNet (Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique) ». Pour atteindre cet objectif, la SRCEA a établi une zone d'expérimentation et de référence dans laquelle il est possible de mener des recherches détaillées sur les écosystèmes marins, dulcicoles et terrestres (SRCEA, 2015). Un autre objectif clé est d'appuyer la gestion efficace des terres, des eaux et des ressources de l'Arctique canadien. Pour y parvenir, il faudra « cerner et cibler les possibilités de partenariats internationaux et nationaux » (SRCEA, 2015). La SRCEA a reconnu qu'à l'heure actuelle, on en connaît peu sur les

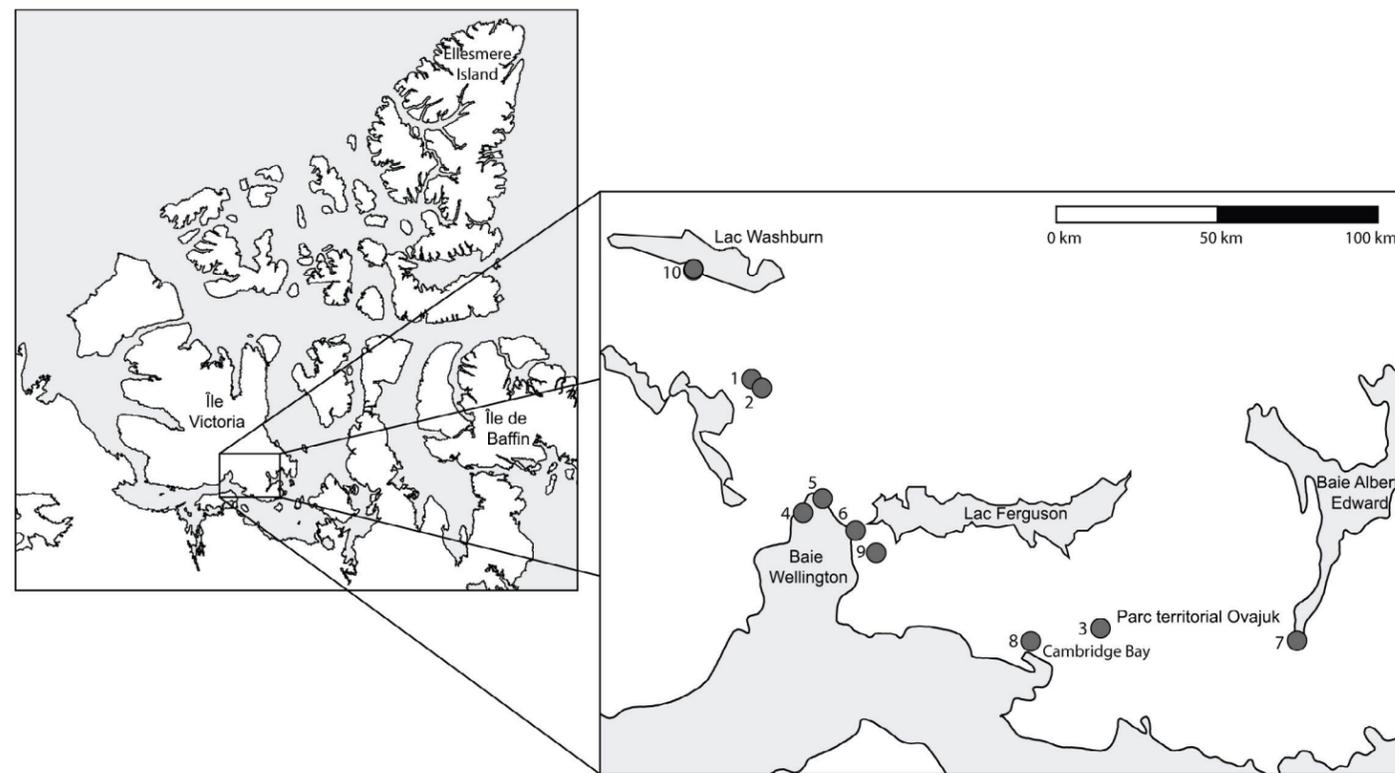


Figure 1 : Zone d'étude et sites d'échantillonnage visités à proximité de Cambridge Bay. Les numéros de site correspondent au tableau 1.

lichens dans les environs de Cambridge Bay. Toutefois, des recherches récentes ont été axées sur la description et la classification de la végétation supérieure à l'aide de la technologie satellite et de la vérification au sol (SRCEA, 2015; Meidinger et coll. 2015, McLennan et coll. 2018). Il s'agit d'une approche très appropriée pour la région où les déplacements en surface peuvent être difficiles, particulièrement en été.

La végétation de l'Extrême-Arctique se caractérise notamment par sa grande proportion de mousses et de lichens, surtout dans les sites plus secs, bien que peu de données aient été publiées pour la région de Cambridge Bay. Il existe cependant un article sur les lichens (Thomson et Weber, 1992), qui énumère 103 espèces, et un autre sur les bryophytes (Persson et Holmen, 1961), qui énumère 56 espèces (7 hépatiques, 0 Sphagnale et 49 Bryales, vraies mousses). Le faible nombre d'hépatiques et l'absence de Sphagnales donnent une indication des conditions extrêmes (basses températures et faibles précipitations) du climat de Cambridge Bay. Toutefois, l'identification des espèces pour les deux groupes taxonomiques peut poser problème chez les chercheurs qui ne se sont pas spécialisés dans ces groupes. La recherche sur les bryophytes est en cours (J. Doubt, Musée canadien de la nature; C. La Farge, Université de l'Alberta). Lorsqu'on considère que les deux études publiées sont le résultat de brèves visites (moins de deux jours) à Cambridge Bay, il est raisonnable de supposer que la prochaine collecte en profondeur permettra d'accroître considérablement l'identification du nombre d'espèces de bryophytes et de lichens.

L'objectif de ces travaux est de visiter un éventail de sites à proximité de la SRCEA pour recueillir des échantillons de lichens à des fins d'identification, et dans le but d'effectuer une évaluation initiale (non quantitative) des principales communautés de lichens et de suggérer des possibilités de recherche future. Les travaux en cours comprendront des collaborations avec des experts nationaux et internationaux existants ainsi qu'avec les collectivités locales. L'un des principaux objectifs sera d'acquérir les connaissances et les compétences de recherche nécessaires à la SRCEA et dans le Nord en général. Il s'agira d'un processus effectué de concert avec les habitants du Nord afin que les résultats des investissements existants puissent être améliorés.

## Travail sur le terrain

Les travaux sur le terrain ont été effectués du 14 juillet 2018 au 2 août 2018 au moyen d'un hélicoptère ou d'un soutien

au sol pour des sites situés à moins de 250 km de Cambridge Bay. Des visites ont de surcroît été effectuées à des sites situés à proximité du campus de la SRCEA (Cambridge Bay) et plus largement dans le sud de l'île Victoria, en particulier autour de la baie Wellington (figure 1). Le tableau 1 présente une liste complète des sites d'échantillonnage et des emplacements GPS. Dans tous les cas, les visites sur place ont duré de une à deux heures et un échantillonnage qualitatif a été effectué.

Tous les échantillons ont ensuite été retournés au campus de la SRCEA, où des doubles ont été effectués lorsque l'identification dans les laboratoires d'attache était nécessaire. En tout, plus de 200 échantillons de lichens ont été prélevés et sont en voie d'être officiellement identifiés.

## Observations préliminaires des communautés de lichens près de la SRCEA

Les lichens étaient le type de végétation dominant dans la plupart des zones autour de Cambridge Bay, et particulièrement dans les paysages dominés par les roches. Ils ont également contribué aux croûtes biologiques du sol, qui se trouvent dans les régions où la formation du sol a commencé. Les communautés d'algues et de lichens étaient également situées sous des roches transparentes (quartz) dans un environnement ressemblant à une serre (appelés *hypolithes*). Nos enquêtes préliminaires suggèrent trois principaux types de communautés végétales : (1) Les plantes vasculaires entremêlées de lichens dominées par les espèces arctiques alpines frutescentes (*Gowardia nigricans*, *Bryoria nitidula*, *Cetraria islandica*, *Cetraria Aculeata*, *Flavocetraria nivalis*, *Thamnolia vermicularis*, *Vulpicida tilesii*, *Evernia perfragilis*), ainsi que quelques mousses limitées aux sites les plus humides (fig. 2a, 2b).

Dans ce type de communauté, la biomasse de lichens est importante et se trouve probablement en équilibre dynamique et concurrentiel avec les plantes vasculaires et est sensible à tout changement environnemental (p. ex., le climat); (2) la végétation des lichens couvre densément les roches et les rochers, et comprend également de vastes zones de petites pierres (souvent de 100 à 200 mm de largeur et d'environ 20 à 30 mm d'épaisseur) et de petits cailloux (fig. 3a, 3 b).

Tableau 1 : Sites d'échantillonnage visités pendant l'étude, y compris les noms des sites et les coordonnées GPS.

| N° du site | Date              | Site Name  | Latitude | Longitude  |
|------------|-------------------|--|----------|------------|
| 1          | 7/21/2018         | Sud de l'île Victoria Site 1                                     | 69.77871 | -107.04295 |
| 2          | 7/21/2018         | Sud de l'île Victoria Site 2                                     | 69.75728 | -106.96758 |
| 3          | 7/21/2018         | Ovajuk (Mt Pelly)  | 69.16298 | -104.57033 |
| 4          | 7/23/2018         | Baie Wellington Site 1   | 69.45022 | -106.65907 |
| 5          | 7/23/2018         | Baie Wellington Site 2   | 69.4864  | -106.52231 |
| 6          | 23/7/18 & 27/7/18 | Baie Wellington Site 3 Ekaluktok (Débit sortant du lac Ferguson) | 69.40802 | -106.28632 |
| 7          | 7/24/2018         | Baie Albert Edward   | 69.11751 | -103.20293 |
| 8          | 7/25/2018         | Ekaluktutiak (Cambridge Bay)                                     | 69.13356 | -105.05821 |
| 9          | 7/27/2018         | Ovayoalok (crête au sud du lac Ferguson)                         | 69.35333 | -106.13998 |
| 10         | 7/28/2018         | Lac Washburn   | 70.04475 | -107.48449 |

Des espèces bipolaires telles que le *Rhizocarpon geographicum*, *Rhizoplaca melanophthalma*, *Sporastatia testudinea* et *Umbilicaria decussata* ont souvent été trouvées en abondance. Dans de nombreux cas, cette végétation était semblable à celle qui se trouvait dans certaines régions des montagnes transantarctiques polaires méridionales (Green et coll. 2011), offrant une occasion intéressante de comparaisons écologiques et taxonomiques bipolaires; et (3) une biocroûte, composée de lichens croûteux (*Cladonia* sp., *Fulgensia bracteata*, *Ochrolechia* sp., *Ochrolechia frigida*, *Pertusaria* cf. *dactylina*, *Pertusaria* cf. *panyrga*, *Psora decipiens*), de mousses et probablement de cyanobactéries (fig. 4a, 4b).

Cette biocroûte présente des similitudes avec celles des régions polaires et arides du monde entier. Les communautés de biocroûtes ne sont pas courantes dans les régions arctiques plus humides comme l'archipel du Svalbard, l'Islande et la Scandinavie du Nord. La présence importante de biocroûtes dans certaines régions de la côte sud de l'île Victoria ouvre la porte à des possibilités de recherche intéressantes pour intégrer l'Arctique aux efforts internationaux visant à comprendre ces systèmes uniques.



Figure 2 : (a) Communauté mixte de plantes vasculaires et de lichens; les lichens les plus courants sont de la forme frutescente (comme les petits arbres), qui peuvent atteindre la lumière et rivaliser avec les feuilles des plantes vasculaires supérieures et (b) les lichens frutescents *Flavocetraria nivalis* (L.) Kärnefelt et Thell (à gauche) et *Evernia perfragilis* Llano (à droite) et entre les deux, *Thamnolia vermicularis* (Sw.) Ach. Ex Schaeerer, que l'on trouve couramment chez les plantes vasculaires.



Figure 3 : (a) Une communauté de lichens épilithiques (*Physcia* spec., *Rusavskia elegans*), qui offre d'excellentes possibilités pour les études de croissance et (b) une communauté de lichens riches dominée par des espèces d'*Umbilicaria* ressemblant à des feuilles et divers thalles croûteux, y compris le lichen le plus étudié pour les taux de croissance, le *Rhizocarpon geographicum*.

## Thèmes de recherche proposés

### A) Biodiversité, identification des lichens :

Le rôle des lichens dans les réseaux trophiques de l'Extrême-Arctique ne peut être déterminé que s'il est possible d'identifier les espèces présentes avec précision et facilité. Les premières identifications exactes nécessitent l'intervention de spécialistes appropriés. Il faudrait toutefois aussi élaborer un système convivial pour les non-spécialistes. Nous recommandons les mesures suivantes : (1) encourager les enquêtes sur le terrain concernant des collectes de lichens ciblées; (2) recueillir de l'information auprès des aînés sur la présence d'espèces,

et principalement sur la présence et la persistance de la neige; (3) appuyer les visites de spécialistes reconnus afin qu'ils effectuent une collecte plus approfondie, qu'ils en fassent l'identification à la SRCEA et qu'ils produisent des guides simples pour les lichens les plus présents; (4) effectuer le codage à barres de l'ADN des échantillons identifiés afin de faciliter l'identification adéquate par les non-spécialistes; et (5) élaborer un herbier conservé de manière appropriée pour tous les échantillons, y compris la collecte de référence de l'ADN à la SRCEA.



Figure 4 : (a) Les lichens de la croûte de sol qui poussent sur une surface humide ont d'abord été créés par les plantes supérieures. Encore une fois, les lichens frutescents (semblables à des arbres) sont plus faciles à voir, mais d'autres lichens croûteux poussent à la surface du sol et (b) les lichens de la croûte de sol (*Psora decipiens*), qui est cosmopolite, y compris les zones désertiques en Espagne et aux États-Unis. On a récemment découvert que ces lichens présentaient des adaptations complexes au climat local.

## B) Écologie des lichens :

Les lichens constituent une composante majeure des communautés locales de végétation. Toutefois, il n'existe actuellement aucune information facilement accessible ou publiée. Par conséquent, les spectaculaires communautés de lichens autour de Cambridge Bay ne reçoivent pas l'attention de recherche nécessaire. À l'heure actuelle, la recherche a tendance à se faire en Alaska et à Svalbard, probablement en raison de l'accès facile aux sites et aux installations. L'établissement récent du campus de la SRCEA offre un accès amélioré aux sites de terrain avoisinants et d'excellentes installations de laboratoire sur place. En vue de réaliser davantage de progrès, il est essentiel de décrire les communautés et de procéder à une publication rapide et ciblée. La recherche sur la végétation (principalement les plantes vasculaires) a été effectuée au cours des dernières années au moyen de la cartographie par satellite et de mesures de la présence au sol (p. ex., McLennan et coll. 2018). Il s'agit d'une excellente occasion de faire progresser l'écologie des lichens, en plus d'être nécessaire pour surveiller les réactions aux changements climatiques (voir la sous-section D ci-dessous). Toutefois, il est primordial de faire des descriptions détaillées des sites de recherche spécialisés (p. ex., dans la zone expérimentale et de référence de la SRCEA) afin de fournir des renseignements précis sur les plantes vasculaires et non vasculaires (lichens, mousses), le tout en parallèle avec le programme de classification de la végétation existant, en vue de révéler les caractéristiques particulières de la région. Ces travaux doivent apparaître dans la littérature scientifique principale pour être utiles aux chercheurs internationaux.

## C) Descriptions à l'échelle du paysage :

Les communautés de plantes vasculaires et de lichens sont déterminées par l'humidité du sol en été et la couverture de neige en hiver, et une couverture de neige limitée ou une exposition hivernale créent des conditions plus arides où les lichens peuvent dominer (SRCEA, 2015). La neige persistante nuit aux lichens, tandis qu'une couche occasionnelle de neige fondante les favorise. Il sera certainement possible d'obtenir de l'information sur la couverture de neige et sa durée au sein de la collectivité locale, et des efforts devraient d'ailleurs être déployés pour obtenir ces précieuses connaissances locales.

## D) Écophysiologie — comprendre le fonctionnement des lichens :

Il n'existe actuellement aucune information sur l'écophysiologie des lichens et des plantes vasculaires dans les environs de Cambridge Bay. Même dans l'évaluation

de la recherche effectuée par la SRCEA (SRCEA, 2015), les estimations de la phytomasse et de la production annuelle nette ont été tirées d'un document contenant des renseignements provenant de la Sibérie. La plupart des recherches sur les systèmes de la toundra dans l'hémisphère nord ont été menées en Alaska et, plus récemment, à Svalbard. L'île du Svalbard a un climat très différent de celui de Cambridge Bay et de la région du Nunavut. Il est donc essentiel de concevoir des systèmes appropriés pour mesurer la photosynthèse en laboratoire et sur le terrain. Des salles de croissance appropriées existent déjà dans les laboratoires de la SRCEA, de sorte que des études « en hiver » sont également possibles. La télédétection par satellite et la cartographie de la végétation seront également bénéfiques si la productivité réelle et les paramètres connexes comme la teneur en chlorophylle, la biomasse et les principaux nutriments peuvent être déterminés et liés aux coefficients spectraux standard. Les thèmes de recherche suggérés sont les suivants :

- 1) *Le rendement photosynthétique des principales espèces, des lichens et des plantes vasculaires.* Il est possible d'utiliser de l'équipement portatif pour effectuer des mesures sur le terrain et dans le laboratoire de la SRCEA.
- 2) *Tendances de l'activité annuelle des lichens.* Les lichens et les bryophytes ne sont actifs que lorsqu'ils sont hydratés (poikilohydrique). Les recherches menées en Antarctique et dans les régions alpines ont montré que les modèles d'activité peuvent varier considérablement par rapport à ce qui est attendu selon le climat général. Par conséquent, il est préférable de déterminer les profils d'activité réels à l'aide de systèmes de fluorescence de la chlorophylle « sans contact ». De tels systèmes ont fait l'objet de nombreux essais en Antarctique et dans les sites alpins. Étant donné que des facteurs environnementaux clés (lumière, température, humidité relative) sont également consignés, la base de données peut révéler les principaux facteurs contrôlant le rendement et fournir des données clés afin d'élaborer des modèles de prévision des changements dans la communauté.
- 3) *Comparaisons mondiales.* Certaines espèces de lichens ont été étudiées dans de grands gradients latitudinaux (p. ex., *Cetraria Aculeata* de l'Antarctique à l'Europe), et des preuves d'adaptation ont souvent été trouvées. L'objectif principal consiste à faire de la SRCEA un site approprié pour des comparaisons mondiales pertinentes à des thèmes généraux tels que le changement climatique.
- 4) *Surveiller les changements.* Le verdissement de l'Arctique est un processus établi (Fauchald et coll. 2017), et la SRCEA

a décidé que la surveillance constituera une fonction clé de la nouvelle station de recherche. Les lichens sont des organismes efficaces pour suivre les changements climatiques, et la meilleure méthode pour le faire est d'établir des sites de surveillance. La lichenométrie est l'étude des taux de croissance des lichens. Il faut donc établir des sites où les thalles sont photographiés chaque année et où leur taux de croissance est déterminé. Une fois les taux de croissance établis, ils peuvent ensuite être utilisés pour contribuer à d'autres domaines de recherche, comme la datation des surfaces exposées, qui permet de fournir des renseignements sur la stabilité de la surface et de corroborer les données archéologiques. Certains sites présentent une couverture de lichens presque complète. Cependant, on ne sait pas combien de temps il faut pour obtenir cette couverture. Les taux de rétablissement peuvent être déterminés en perturbant des sites de manière expérimentale, puis en observant ensuite le rétablissement de ces sites. La meilleure façon de surveiller le changement à long terme est de cibler les sites qui ont été cartographiés avec précision, ou du moins photographiés, puis de répéter la cartographie à intervalles fixes. Dans le cas des lichens, ces sites sont petits, environ un mètre carré, et peuvent être facilement installés à plusieurs endroits. Les mesures d'acclimatation saisonnière de l'échange de CO<sub>2</sub> au cours de la période estivale révéleront si les plantes réagissent aux conditions qui changent rapidement.

- 5) *La métagénomique des sols.* Les plantes et les lichens interagissent avec le microbiote du sol et le modifient, et ces changements peuvent être rapides. La métagénomique (ou génomique environnementale) peut être définie comme « l'application d'une technique génomique moderne sans qu'il soit nécessaire d'isoler et de cultiver en laboratoire des espèces individuelles ». La métagénomique peut fournir de précieux renseignements sur l'écologie fonctionnelle des communautés environnementales, notamment dans les sols. Le séquençage de l'ADN peut également être utilisé plus largement pour identifier les espèces présentes dans un plan d'eau, les débris filtrés par l'air ou les échantillons de sol. Ainsi, il est possible d'établir l'aire de répartition des espèces envahissantes et des espèces en voie de disparition et de suivre les populations saisonnières. Notre objectif est d'obtenir de l'information sur la diversité des sols et sur les changements dans cette biodiversité au fil des saisons à Cambridge Bay. Cet objectif sera atteint grâce à un échantillonnage régulier du sol, à compter d'avril 2019, et à une analyse moléculaire à la fin de 2019 et au

début de 2020. La préparation et l'interprétation de l'échantillon peuvent se faire à la SRCEA au moyen du séquençage de l'ADN effectué dans un établissement canadien approprié.

## Préoccupations pour la collectivité

On sait que certains animaux qui constituent l'alimentation traditionnelle comme le lièvre arctique, le caribou et le bœuf musqué se nourrissent de lichens. Les lichens sont très communs autour d'Ikaluktutiak (Cambridge Bay). Il s'agit même de la végétation dominante à certains endroits. Cependant, on en sait très peu sur leur diversité et leur abondance, car ils peuvent être difficiles à identifier. Une évaluation effectuée par des chercheurs internationaux visitant le campus de la SRCEA en juillet/août 2018 a fourni plusieurs suggestions. En particulier, il faut mettre l'accent sur l'identification du plus grand nombre possible de lichens. Les communautés locales de lichens doivent être décrites avec la participation des populations locales (p. ex., les aînés), car cela brosera un contexte historique important sur la présence ou l'absence possible de différentes espèces. Des systèmes d'identification simples comme les guides et les méthodes de codage à barres de l'ADN permettront ensuite aux non-spécialistes d'identifier les espèces plus facilement et d'effectuer une surveillance communautaire. Les méthodes fondées sur l'ADN permettront également d'évaluer quelles espèces sont importantes dans l'alimentation des animaux qui constituent l'alimentation traditionnelle. Il faut donc déterminer l'abondance des lichens et leur contribution annuelle à la productivité de l'écosystème, puisque ces données sont pertinentes pour prédire les effets des changements climatiques. À mesure que la végétation se transforme en fonction des changements climatiques, certains types de végétation pourraient supplanter les lichens et les remplacer dans la région. Dans l'ensemble, la SRCEA est un excellent endroit pour entreprendre des recherches sur les lichens.

## Conclusions

La SRCEA est bien placée pour devenir un centre de recherche sur la biologie terrestre de l'Extrême-Arctique et contribuer à une meilleure compréhension de la stabilité et de la résilience du paysage local. Il faut donc mettre l'accent sur l'identification du plus grand nombre possible de lichens et sur la mise en place de systèmes (p. ex., codage à barres de l'ADN) qui permettront aux non-spécialistes de les identifier plus facilement. Des programmes de surveillance qui permettent de déterminer les taux de croissance pourraient en outre être utilisés pour établir

l'âge des surfaces rocheuses ou détecter les changements climatiques. Les communautés locales de lichens doivent être décrites avec la participation de la population locale (p. ex., les aînés) pour évaluer la façon dont ces communautés peuvent avoir changé au fil du temps et la façon dont la couverture de neige peut influencer la présence de communautés de lichens. Il faut également déterminer la biomasse réelle des lichens présents et leur contribution annuelle à la productivité de l'écosystème, puisque ces données sont pertinentes pour prédire les effets des changements climatiques.

## Remerciements

Nous remercions George Angohiatok, Erin Cox et Simona Wagner de leur aide sur le terrain et/ou dans le laboratoire; Donald McLennan, Johann Wagner, Sergei Pomanorenko et Samantha McBeth pour leurs commentaires et leurs conseils; et Monica Young pour la production de la figure 1. Nous remercions également le pilote d'hélicoptère Fred Jones de nous avoir transportés en toute sécurité sur les sites éloignés.

## Références

Canadian High Arctic Research Station. 2015. Towards the development of the Canadian High Arctic Research Station (CHARS) as a centre for science and technology in Canada and the circumpolar north: Regional social and ecological context, baseline studies, and monitoring pilots. Available from [https://above.nasa.gov/Documents/CHARS\\_Science\\_Summary\\_June\\_2015\\_DRAFT.pdf](https://above.nasa.gov/Documents/CHARS_Science_Summary_June_2015_DRAFT.pdf).

Edwards, R.Y., Soos, J., and Ritcey, R.W. 1960. Quantitative observations on epidendric lichens used as food by caribou. *Ecology* 41:425–431.

Fauchald, P., Park, T., Tømmervik, H., Myneni, R., and Hausner, V.H. 2017. Arctic greening from warming promotes declines in caribou populations. *Science Advances* 3:e1601365.

Green, T.G.A., Sancho, L.G., Tuerk, R., Seppelt, R.D., and Hogg, I.D. 2011. High diversity of lichens at 84° S suggests preglacial survival of species in the Ross Sea Region, Antarctica. *Polar Biology* 34:1211–1220.

McLennan, D.S., MacKenzie, W.H., Meidinger, D., Wagner, J., and Arko, C. 2018. A standardized ecosystem classification for the coordination and design of long-term terrestrial ecosystem monitoring in Arctic-Subarctic biomes. *Arctic* 71(Suppl. 1):1–15. Available from <https://doi.org/10.14430/arctic4621>.

Meidinger, D., MacKenzie, W., and Wagner, J. 2015. Vegetation and ecosystems. Anon 2015 (pp. 29-46).

Persson, H. and Holmen, K. 1961. Bryophytes collected during the Arctic field trip of the 9th International Botanical Congress. *The Bryologist* 64:179–198.

Thomas, P.A., Sheard, J.W., and Swanson, S. 1994. Transfer of 210Po and 210Pb through the lichen-caribou-wolf food chain of northern Canada. *Health Physics* 66:666–677.

Thomson, J.W. and Weber, W. A. 1992. Lichens collected on the Arctic excursion of the 9th International Botanical Congress. *The Bryologist* 95:392–405.

# SYNPHÉNOLOGIE VASCULAIRE DES COMMUNAUTÉS VÉGÉTALES À CAMBRIDGE BAY, SUR L'ÎLE VICTORIA, AU NUNAVUT, PENDANT LA SAISON DE CROISSANCE DE 2015



Johann Wagner<sup>1\*</sup>, Donald S. McLennan<sup>1</sup>, and A.K. Pedersen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Savoir polaire Canada, Cambridge Bay, Nunavut, Canada

\* [johann.wagner@polar.gc.ca](mailto:johann.wagner@polar.gc.ca)

## Résumé

La phénologie est l'étude de la chronologie des événements du cycle de vie, et le développement phénologique des espèces végétales dépend fortement des variations saisonnières des facteurs environnementaux, en particulier la température. Les enregistrements phénologiques de communautés végétales entières – la « synphénologie » [synphenology] – sur des périodes de nombreuses années peuvent servir de repères précieux pour les changements de température interannuels attribuables au changement climatique et au réchauffement de la planète. Bien que la synphénologie des écosystèmes tempérés ait fait l'objet de recherches assez poussées, il y a relativement moins d'observations phénologiques dans l'Arctique, et des travaux synphénologiques n'ont jamais été effectués dans les régions de haute latitude à Cambridge Bay, sur l'île Victoria, au Nunavut. La phénologie des espèces de plantes vasculaires les plus représentatives de la région a été enregistrée pendant la saison de croissance de 2015, de la mi-juin au début de septembre. Le développement végétatif (feuilles) ainsi que génératif (fleurs/graines) chez les espèces de plantes arbustives, herbacées et graminoides a été évalué à intervalles hebdomadaires à l'aide d'une clé phénologique à 11 stades phénologiques, depuis le développement de la première feuille et du premier bourgeon floral jusqu'à la mort des feuilles et à la dispersion des graines. De plus, les différents stades phénologiques des plantes ont été documentés par des

photographies numériques qui ont été prises au moment de l'évaluation phénologique. Ces données phénologiques ont été rassemblées en diagrammes synphénologiques, qui facilitent l'aperçu du développement phénologique de communautés végétales entières ainsi que la comparaison des différentes années.

## Introduction

La phénologie peut être définie comme l'étude des phases du cycle de vie (phénophases) des plantes et des animaux dans leur occurrence temporelle tout au long de l'année, tandis que la phytophénologie est la branche de la phénologie qui étudie les rythmes saisonniers des plantes (Puppi, 2007; Forrest et Miller-Rushing, 2010). La phénologie des plantes dépend fortement des facteurs environnementaux dans des environnements rigoureux et très saisonniers comme les écosystèmes de la toundra (Thórhallsdóttir, 1998), et les températures ont la plus grande influence (Mooney et Billings, 1961; Thórhallsdóttir, 1998; Bjorkman et coll. 2015), ainsi que la photopériode (Mooney et Billings 1961; Heide 1992; Keller et Körner 2003) et la couverture de neige (Borner et coll. 2008; Bjorkman et coll. 2015) qui ont aussi des rôles importants. Les espèces végétales de tous les milieux modifient leur phénologie en réponse aux changements climatiques mondiaux (Cleland et coll. 2007). Les régions arctiques connaissent déjà les changements climatiques les plus rapides, avec l'augmentation des

Citation suggérée :

Wagner, J., McLennan, D.S., et Pedersen, A.K. 2018. « Synphénologie vasculaire des communautés végétales à Cambridge Bay, sur l'île Victoria, au Nunavut, pendant la saison de croissance de 2015 », *Savoir polaire* : Aqhaliat 2018, *Savoir polaire Canada*, p. 9-19. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pc.2018.02

températures et des changements dans les précipitations (GIEC, 2007), ce qui devrait avoir une forte influence sur les événements du cycle de vie des plantes qui croissent en dépit de contraintes environnementales importantes. L'observation phytologique sur de longues périodes peut s'avérer un précieux indicateur de la variation et des changements climatiques (Fang et Chen, 2015).

Étant donné l'importance de la surveillance de la phénologie des plantes dans les régions polaires et alpines, un certain nombre d'études examinent le moment des phases du cycle de vie des plantes dans des environnements naturels ou simulés de la toundra (Borner et coll. 2008; Molau 1993; Mooney et Billings 1961; Thórhallsdóttir, 1998; Wagner et Simons, 2008; Wookey et coll. 1993; Bjorkman et coll. 2015; Wheeler et coll. 2015). Toutefois, la plupart des méthodes sont axées sur une espèce ou un nombre limité d'espèces (Bean et Henry, 2003; Molau et coll. 1996; Mark et coll. 2016; Panchen et Gorelick 2015; Reynolds 1984), soit en utilisant des sources phénologiques historiques (Panchen et Gorelick 2017) ou en étudiant des espèces extraites de leur contexte de communauté végétale (Panchen et Gorelick 2016). Des méthodes synphénologiques, qui étudient les rythmes phénologiques de communautés végétales entières (Dierschke, 1989b; Puppi, 2007), ont été utilisées principalement dans les écosystèmes tempérés, surtout les écosystèmes forestiers (Coldea et Wagner,

1993-1994; Dierschke, 1972, 1982, 1989a, 1991; Pilková, 2015; Wagner, 1994). Peu d'études phénologiques portant sur des communautés végétales entières ont été réalisées dans des environnements de haute latitude de la toundra.

Cet article présente les résultats d'une étude synphénologique préliminaire dans plusieurs des écosystèmes arctiques décrits autour de Cambridge Bay, sur l'île Victoria, au Nunavut (McLennan et coll. 2018), pendant la saison de croissance de 2015, à partir de la mi-juin, peu après la fonte des neiges, au début de septembre, après la sénescence de la plupart des espèces végétales.

## Matériaux et méthodes

Des observations synphénologiques ont été effectuées pendant la saison de croissance de 2015, de la mi-juin au début septembre, à des intervalles d'environ une semaine aux sites présentés au tableau 1, dans certains des écosystèmes (écosites) les plus importants autour de Cambridge Bay (McLennan et coll. 2018). La méthode utilisée pour évaluer la phénologie a été introduite pour la première fois par Dierschke en 1972, et a ensuite été perfectionnée les années suivantes (Dierschke 1982, 1989b, a, 1991). Les clés phénologiques d'origine des plantes vasculaires de Dierschke (1989 b) ont été adaptées aux caractéristiques de la flore de l'Arctique. Elles sont

présentées au tableau 2. Ces clés évaluent à la fois le développement végétatif (feuilles) et génératif (fleurs/graines) des plantes, et elles ont été séparées pour les arbustes, les plantes herbacées et les graminoides. Elles caractérisent le développement phénologique des plantes selon 11 étapes, depuis le développement précoce des pousses/des bourgeons floraux jusqu'à la sénescence et à la mort des feuilles, et à la dispersion des graines.

Pendant les observations, on a tenté de consigner la phénologie de toutes les plantes vasculaires visibles et identifiables sur les sites. De plus, les différentes étapes phénologiques des plantes ont été enregistrées au moyen de photographies numériques prises au moment de l'évaluation phénologique, tant pour documenter les étapes que pour en faire une confirmation ultérieure. Les observations sur les diverses étapes phénologiques ont été rassemblées dans un tableau, les espèces étant ordonnées par leur phénologie de floraison, de la première à la dernière floraison. Le tableau 3 présente un exemple d'un tableau phénologique de ce type. Certaines des espèces végétales présentes dans ces écosystèmes sont petites et discrètes et ont donc été identifiées pour la première fois seulement plus tard dans la saison, ou n'ont pas été retrouvées après une première observation. Ces espèces, pour lesquelles les données phénologiques sont insuffisantes, ont été éliminées des tableaux phénologiques. Bien que ces tableaux offrent déjà un aperçu utile des phases

phénologiques de la plupart des espèces végétales des écosites, dans le cas d'un plus grand nombre d'espèces, une représentation graphique des données de ces tableaux sous forme de diagrammes synphénologiques facilite l'aperçu et l'analyse des données. Comme les tableaux phénologiques, dans lesquels les dates sont classées en colonnes, dans les diagrammes synphénologiques, la date est sur l'axe horizontal, tandis que les espèces sont présentées sur l'axe vertical dans l'ordre de leur phénologie de floraison, de la première à la dernière floraison. Leur développement végétatif est illustré par des barres horizontales et des lignes verticales, et les densités de lignes plus élevées correspondent aux stades de phénologie végétative plus près du développement complet des feuilles. Leur développement génératif est représenté par des barres verticales, dont la hauteur suggère l'ampleur de la floraison, et les couleurs correspondent aux couleurs des fleurs. Les figures 1 et 2 présentent de façon préliminaire les diagrammes synphénologiques de deux des sites étudiés du tableau 1.

Tableau 1 : Sites sur lesquels des observations synphénologiques ont été effectuées pendant la saison de croissance de 2015.

| Nom du site | Chemin Mont Pelly   | Zone humide   | Littoral   | Long Point   | Chemin Dew Line  | Chemin West   |
|-------------|---|---|--|--|--|---|
| Latitude    | 69.15672  | 69.15849  | 69.10578   | 69.09373   | 69.15757   | 69.11432  |
| Longitude   | -104.91185  | -104.91240  | -105.38382   | -105.44079   | -105.19082   | -105.37647  |
| Écosite     | 01 – <i>Dryade</i> à feuilles entières – saxifrage à feuilles opposées (lithique) | 09 – <i>Carex aquatilis</i>                           | 16 – <i>Élyme des sables d'Amérique</i> (littoral marin) | 16 – <i>Élyme des sables d'Amérique</i> (littoral marin) | 01 – <i>Dryade</i> à feuilles entières – saxifrage à feuilles opposées     | 01 – <i>Dryade</i> à feuilles entières – saxifrage à feuilles opposées avec airelle des marécages |
| Description | Toundra mésique, écosite zonal reflétant le plus le bioclimat de la région        | Carex riverain, le type de zone humide le plus commun | Écosite littoral sur substrat sableux                    | Écosite littoral sur substrat sableux                    | Toundra mésique, écosite zonal reflétant le plus le bioclimat de la région | Toundra mésique, écosite zonal reflétant le plus le bioclimat de la région                        |

Tableau 2 : Les étapes phénologiques enregistrées pour les plantes vasculaires sur le site.

## Arbustes

| Stade phénologique végétatif                           | Stade phénologique génératif                          |
|--|---|
| 0 – bourgeons complètement fermés                      | 0 – pas de bourgeons floraux                          |
| 1 – bourgeons avec des pointes vertes                  | 1 – 1 <sup>ers</sup> bourgeons/inflorescence visible  |
| 2 – 1 à 30 % des feuilles sont développées             | 2 – bourgeons juste avant l'ouverture                 |
| 3 – 31 à 60 % des feuilles sont développées            | 3 – 1 à 30 % des fleurs sont ouvertes                 |
| 4 – 61 à 99 % des feuilles sont développées            | 4 – 31 à 60 % des fleurs sont ouvertes                |
| 5 – développement maximal des feuilles                 | 5 – pleine floraison                                  |
| 6 – sénescence de la première feuille                  | 6 – la plupart ou la totalité des fleurs sont tombées |
| 7 – 1 à 30 % des feuilles changent de couleur          | 7 – fruits visibles                                   |
| 8 – 31 à 60 % des feuilles changent de couleur         | 8 – fruits presque à pleine grandeur et verts         |
| 9 – 61 à 99 % des feuilles changent de couleur         | 9 – fruits almost ripe, brown or dry                  |
| 10 – arbustes sans feuille ou avec des feuilles mortes | 10 – dispersion des graines                           |

## Herbacés

| Stade phénologique végétatif                           | Stade phénologique génératif  |
|--|---|
| 0 — entièrement déneigé; seulement des feuilles mortes | 0 — pas de bourgeons/d'inflorescence                                  |
| 1 — première croissance de la saison/première feuille  | 1 — 1 <sup>ers</sup> bourgeons/inflorescence visible                  |
| 2 — 1 à 30 % des feuilles sont développées             | 2 — bourgeons juste avant l'ouverture                                 |
| 3 — 31 à 60 % des feuilles sont développées            | 3 — 1 à 30 % des fleurs sont ouvertes                                 |
| 4 — 61 à 99 % des feuilles sont développées            | 4 — 31 à 60 % des fleurs sont ouvertes                                |
| 5 — développement maximal des feuilles                 | 5 — pleine floraison  |
| 6 — sénescence de la première feuille                  | 6 — la plupart ou la totalité des fleurs sont tombées                 |
| 7 — 1 à 30 % des feuilles sont sèches                  | 7 — les pétales sont complètement tombés et les fruits sont visibles  |
| 8 — 31 à 60 % des feuilles sont sèches                 | 8 — fruits presque à pleine grandeur et verts                         |
| 9 — 61 à 99 % des feuilles sont sèches                 | 9 — fruits presque mûrs, bruns ou secs                                |
| 10 — tige et feuilles complètement brunes et mortes    | 10 — fruits entièrement mûrs et graines dispersées (bulbes dispersés) |

## Graminoïdes

| Stade phénologique végétatif                           | Stade phénologique génératif                          |
|--|---|
| 0 — entièrement déneigé; seulement des feuilles mortes | 0 — aucune inflorescence                              |
| 1 — première pousse de la saison/première feuille      | 1 — 1 <sup>re</sup> inflorescence visible             |
| 2 — 1 à 30 % des pousses sont développées              | 2 — inflorescences juste avant l'ouverture            |
| 3 — 31 à 60 % des pousses sont développées             | 3 — premières anthères visibles                       |
| 4 — 61 à 99 % des pousses sont développées             | 4 — 31 à 60 % des anthères sont ouvertes              |
| 5 — développement maximal des pousses                  | 5 — pleine floraison                                  |
| 6 — sénescence de la première feuille                  | 6 — anthères qui commencent la sénescence             |
| 7 — 1 à 30 % des feuilles sont sèches                  | 7 — anthères entièrement sénescentes, akènes visibles |
| 8 — 31 à 60 % des feuilles sont sèches                 | 8 — fruits presque à pleine grandeur et verts         |
| 9 — 61 à 99 % des feuilles sont sèches                 | 9 — fruits presque mûrs, bruns ou secs                |
| 10 — tige et feuilles complètement brunes et mortes    | 10 — fruits entièrement mûrs et dispersés             |

p — feuilles persistantes et hivernantes de l'année précédente

m — marcescent

## Résultats et discussion

Contrairement aux écosystèmes tempérés, dans lesquels le développement phénologique des communautés végétales s'étend sur une période de cinq à six mois de la saison de croissance, comptant jusqu'à dix phénophases clairement marquées (Coldea et Wagner, 1993-1994; Dierschke, 1982, 1989a, 1991; Wagner, 1994), le développement phénologique des plantes sur nos sites d'étude est fortement comprimé, et comprend peu de séparation discernable en phénophases (fig. 1, 2). La forte compression des phénophases peut être attribuée au fait qu'il n'y a que

six à huit semaines possibles pour la croissance des plantes dans le climat arctique de Cambridge Bay, où la saison de croissance froide et courte impose des contraintes importantes au développement des plantes. Selon l'année, la fonte complète des neiges ne se produit habituellement pas avant la mi-juin (Environnement Canada, à partir de 1953), et la plupart des plantes ont déjà commencé la sénescence au cours de la deuxième moitié d'août (fig. 1, 2). Par conséquent, il n'y a que trois phénophases quelque peu perceptibles. La phénophase la plus ancienne, au cours de laquelle seules les espèces qui hibernent lorsque leurs bourgeons floraux sont presque matures

fleurissent, survient immédiatement après la fonte des neiges, alors qu'il n'y a encore que peu de développement des feuilles chez ces espèces; par exemple, la saxifrage à feuilles opposées (*Saxifraga oppositifolia*), les saules *Saxifraga richardsonii* et *S. arctica*, et quelques *Draba*. La seconde phénophase commence par la floraison de la *Pedicularis lanata*, suivie par la floraison de la plupart des autres plantes dans l'écosystème. La dernière phénophase

début à la fin de juillet ou au début d'août avec la floraison de quelques espèces tardives comme le *Hedysarum Boreale* ssp. *mackenzii*, le *Leymus mollis* ssp. *villosissimus* et l'*Arctagrostis latifolia* (fig. 1, 2). Lorsqu'on examine la floraison de diverses espèces, il semble n'y avoir aucune propension pour les fleurs d'une certaine couleur à fleurir ensemble dans une certaine phénophase, ce qui est le cas dans certains écosystèmes tempérés, où les espèces dont

Tableau 3 : Tableau phénologique d'un écosystème côtier marin à Long Point, Cambridge Bay.

| Date  |   | 20-6-15 | 27-6-15 | 5-7-15 | 10-7-15 | 21-7-15 | 31-7-15 | 8-8-15 | 19-8-15 | 27-8-15 | 3-9-15 |
|---|---|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
| <i>Saxifraga oppositifolia</i><br>(saxifrage à feuilles opposées) | V | 3       | 4       | 5      | 5       | 5       | 5       | 5      | 6       | 7       | 7      |
|   | G | 4       | 5       | 6      | 6       | 7       | 8       | 8      | 9       | 10      | 10     |
| <i>Salix arctica</i> (saule arctique)                             | V | 1       | 3       | 4      | 5       | 5       | 5       | 5      | 6       | 10      | 9      |
|   | G | 3       | 5       | 5      | 6       | 7       | 8       | 8      | 10      | 10      | 10     |
| <i>Draba corymbosa</i><br>(drave en corymbe)                      | V | 2       | 4       | 4      | 5       | 5       | 5       | 5      | 7       | 7       | 7      |
|   | G | 2       | 5       | 5      | 6       | 6       | 8       | 8      | 10      | 10      | 10     |
| <i>Draba glabella</i> (drave glabre)                              | V | 2       | 3       | 3      | 3       | 5       | 5       | 5      | 7       | 7       | 7      |
|   | G | 2       | 4       | 5      | 5       | 7       | 8       | 8      | 10      | 10      | 10     |
| <i>Pedicularis lanata</i><br>(pédiculaire laineuse)               | V | 1       | 3       | 5      | 5       | 5       | 5       | 5      | 6       | 6       | 10     |
|   | G | 0       | 1       | 5      | 5       | 7       | 8       | 8      | 9       | 9       | 10     |
| <i>Saxifraga tricuspidata</i><br>(saxifrage à trois dents)        | V | 2       | 3       | 4      | 5       | 5       | 5       | 5      | 6       | 6       | 8      |
|   | G | 2       | 2       | 3      | 5       | 5       | 6       | 8      | 9       | 10      | 10     |
| <i>Oxyria digyna</i><br>(oxyrie de montagne)                      | V | 2       | 3       | 4      | 5       | 5       | 5       | 5      | 7       | 8       | 9      |
|   | G | 2       | 3       | 5      | 6       | 7       | 8       | 10     | 10      | 10      | 10     |
| <i>Oxytropis arctica</i><br>(oxytrophe arctique)                  | V | 2       | 3       | 4      | 5       | 5       | 5       | 5      | 6       | 7       | 8      |
|   | G | 1       | 3       | 5      | 5       | 5       | 8       | 9      | 9       | 9       | 10     |
| <i>Papaver radicum</i><br>(pavot arctique)                        | V | 2       | 3       | 4      | 4       | 5       | 5       | 5      | 6       | 6       | 7      |
|   | G | 1       | 1       | 4      | 5       | 6       | 8       | 8      | 10      | 10      | 10     |
| <i>Silene acaulis</i> (silène acaule)                             | V | 2       | 4       | 4      | 5       | 5       | 5       | 5      | 5       | 6       | 7      |
|   | G | 0       | 1       | 4      | 5       | 6       | 7       | 7      | 9       | 10      | 10     |
| <i>Taraxacum phymatocarpum</i><br>(pissenlit en lyre)             | V | 2       | 3       | 4      | 4       | 5       | 5       | 5      | 6       | 6       | 9      |
|   | G | 1       | 1       | 4      | 5       | 5       | 10      | 10     | 10      | 10      | 10     |

| Date  |   | 20-6-15 | 27-6-15 | 5-7-15 | 10-7-15 | 21-7-15 | 31-7-15 | 8-8-15 | 19-8-15 | 27-8-15 | 3-9-15 |
|---|---|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
| <i>Oxytropis arctobia</i><br>(oxytrope arctobie)            | V | 1       | 2       | 3      | 5       | 5       | 5       | 5      | 7       | 7       | 7      |
|   | G | 0       | 3       | 1      | 5       | 6       | 8       | 9      | 9       | 10      | 10     |
| <i>Armeria scabra</i><br>(armeria du Labrador)              | V | 2       | 3       | 4      | 5       | 5       | 5       | 5      | 6       | 6       | 7      |
|   | G | 1       | 2       | 2      | 5       | 6       | 6       | 7      | 8       | 10      | 10     |
| <i>Silene uralensis</i><br>(silène de l'Oural)              | V | 1       | 2       | 4      | 4       | 5       | 5       | 5      | 7       | 7       | 10     |
|   | G | 0       | 1       | 3      | 5       | 5       | 8       | 10     | 10      | 10      | 10     |
| <i>Potentilla pulchella</i><br>(potentille jolie)           | V | 1       | 4       | 4      | 5       | 5       | 5       | 5      | 5       | 6       | 7      |
|   | G | 0       | 3       | 3      | 5       | 5       | 6       | 7      | 9       | 10      | 10     |
| <i>Minuartia rossii</i><br>(minuartie de Ross)              | V | 1       | 3       | 3      | 5       | 5       | 5       | 5      | 5       | 6       | 8      |
|   | G | 0       | 3       | 3      | 5       | 5       | 5       | 7      | 7       | 7       | 9      |
| <i>Astragalus alpinus</i><br>(astragale alpin)              | V | 1       | 3       | 4      | 4       | 5       | 5       | 5      | 6       | 6       | 8      |
|   | G | 0       | 1       | 3      | 4       | 5       | 6       | 7      | 9       | 9       | 10     |
| <i>Chamerion latifolium</i><br>(épilobe à feuilles larges)  | V | 1       | 2       | 3      | 4       | 5       | 5       | 5      | 5       | 6       | 9      |
|   | G | 0       | 1       | 2      | 2       | 5       | 5       | 7      | 9       | 9       | 9      |
| <i>Poa arctica</i> (pâturin arctique)                       | V | 1       | 2       | 2      | 2       | 5       | 5       | 5      | 5       | 6       | 7      |
|   | G | 0       | 0       | 1      | 2       | 5       | 6       | 7      | 7       | 9       | 10     |
| <i>Festuca brachyphylla</i><br>(fétuque à feuilles courtes) | V | 0       | 1       | 2      | 4       | 5       | 5       | 5      | 6       | 6       | 7      |
|   | G | 0       | 0       | 1      | 2       | 4       | 6       | 7      | 9       | 9       | 10     |
| <i>Leymus mollis ssp. villosissimus</i><br>(seigle de mer)  | V | 1       | 2       | 2      | 3       | 4       | 4       | 5      | 5       | 6       | 7      |
|   | G | 0       | 0       | 2      | 1       | 3       | 6       | 6      | 6       | 8       | 8      |

les fleurs sont jaunes ont tendance à fleurir vers la fin de la saison de croissance (Coldea et Wagner 1993–1994; Wagner 1994).

date, les températures moyennes quotidiennes diminuent rapidement et, à la fin d'août, la plupart des plantes sont complètement sénescentes (fig. 1, 2).

La sénescence de la plupart des plantes semble commencer à la mi-août, alors que les températures moyennes quotidiennes sont inférieures à +7 °C pour la première fois (Environnement Canada, à partir de 1953). Après cette

Une phénologie de floraison intéressante est exposée par la légumineuse *Oxytropis arctobia*, qui fleurit abondamment dans la première moitié de juillet, avec les espèces *Dryas integrifolia* et *Oxytropis arctica*. L'*Oxytropis*

Figure 1 : Diagramme synphénologique pour un écosite de type 16 – mollusques *Leymus* dans un écosystème côtier marin à Long Point, Cambridge Bay.

Phénophase

- Saxifraga oppositifolia*
- Salix arctica*
- Draba corymbosa*
- Draba glabella*
- Pedicularis lanata*
- Saxifraga tricuspidata*
- Oxyria digyna*
- Oxytropis arctica*
- Papaver radicum*
- Silene acaulis*
- Taraxacum phymatocarpum*
- Oxytropis arctobia*
- Armeria scabra*
- Silene uralensis*
- Potentilla pulchella*
- Minuartia rossii*
- Astragalus alpinus*
- Chamaerion latifolium*
- Poa arctica*
- Festuca brachyphylla*
- Leymus mollis ssp. villosissimus*

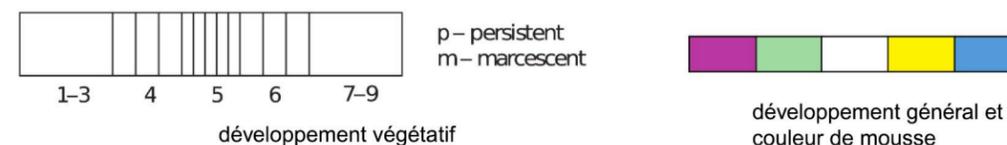
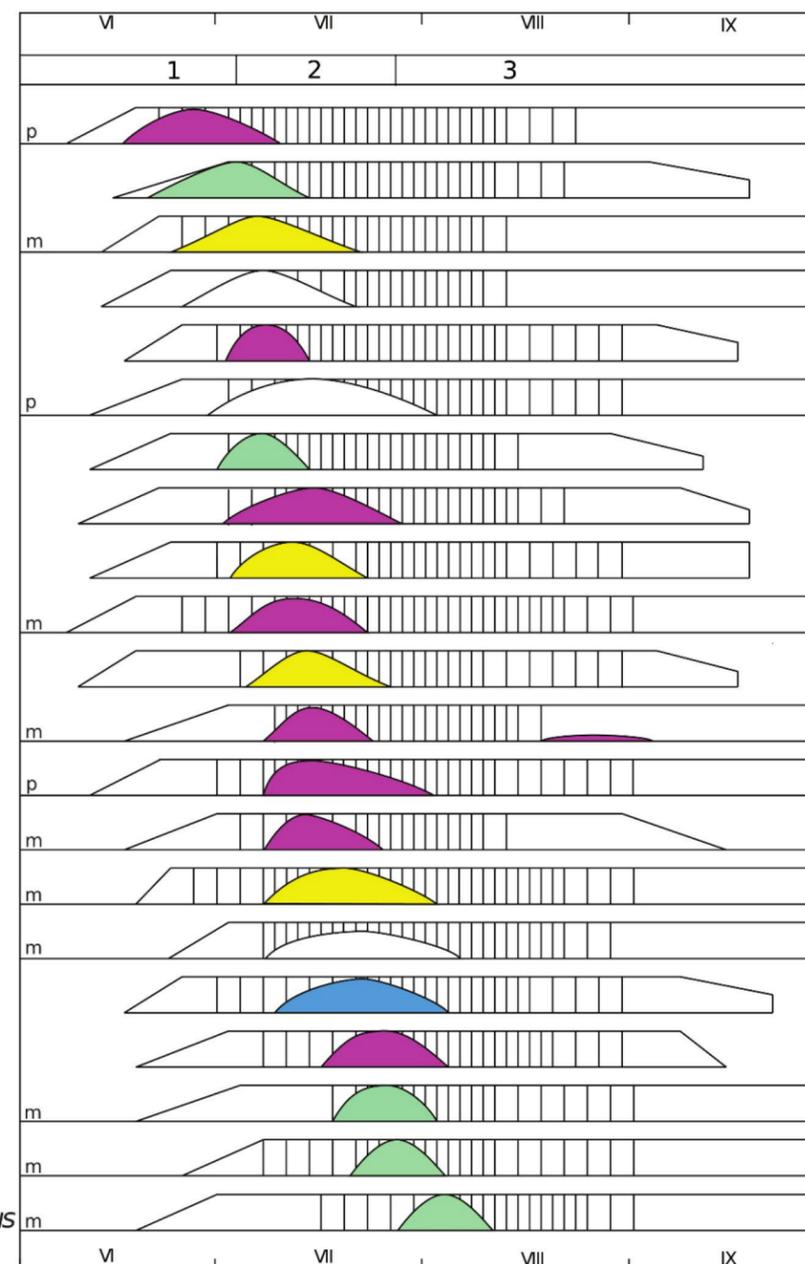
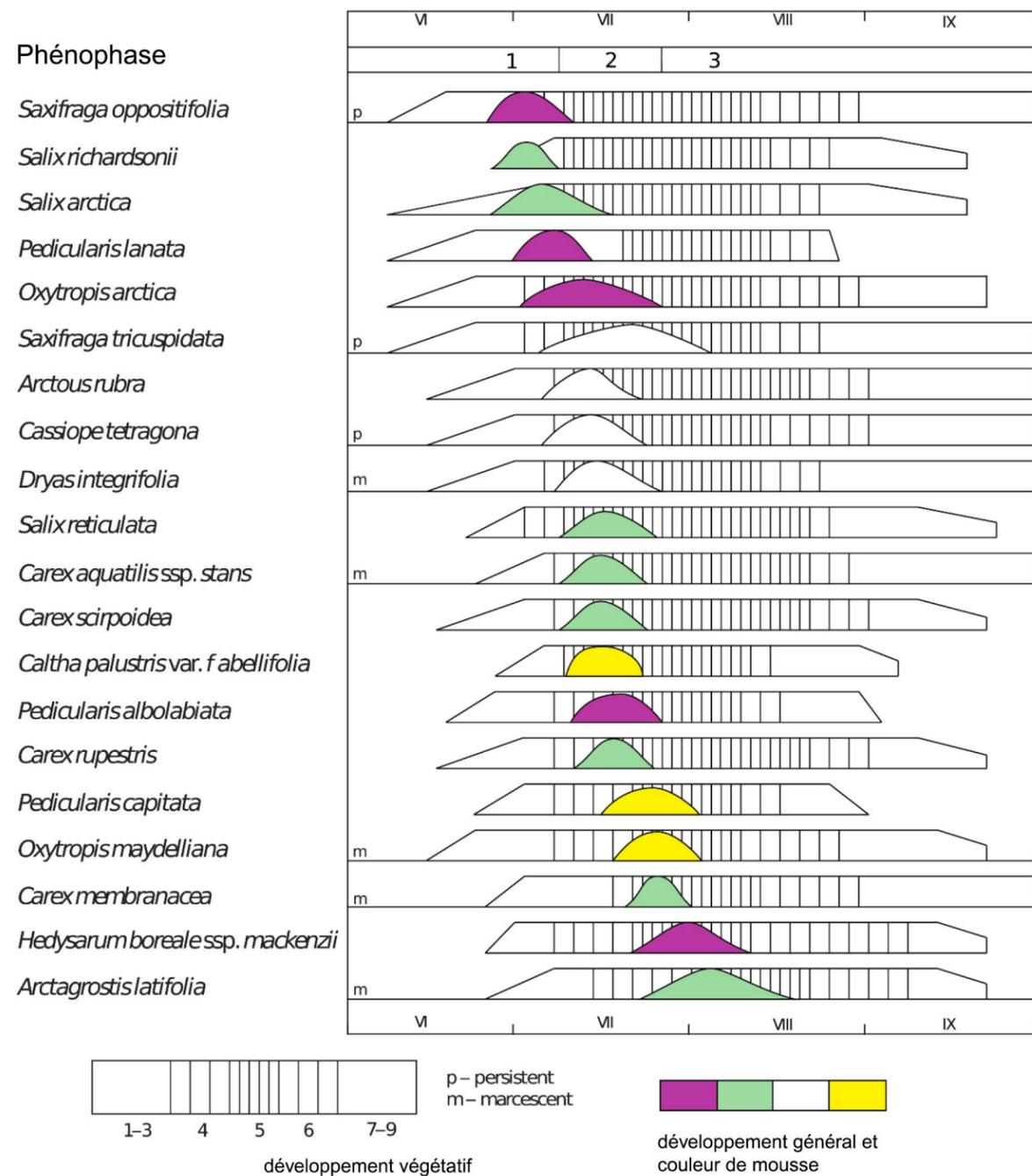


Figure 2 : Diagramme synphénologique pour un écosystème de toundra de type O1 – Dryade à feuilles entières – saxifrage à feuilles opposées dans un écosystème de toundra mésique le long du chemin Dew Line, à Cambridge Bay.



*arctobia* présente toutefois un point culminant de floraison secondaire d'une plus petite ampleur très tard dans la saison, vers la fin d'août, après que ses feuilles ont commencé leur sénescence (figure 1). On ne sait pas si cette phase de floraison secondaire est due à un petit nombre d'individus qui ont retardé leur floraison de plusieurs semaines, ou à des individus qui fleurissent deux fois, une fois pendant la phase de floraison principale et une deuxième fois tard dans la saison. En raison des contraintes

d'investissement d'énergie dans la floraison auxquelles les plantes de l'Arctique sont soumises, il est presque certain que la floraison secondaire est due au retard de la floraison d'un sous-ensemble d'individus. L'importance évolutive et adaptative de cette seconde floraison est actuellement inconnue, mais représenterait un sujet intéressant pour un projet à venir.

## Conclusions et préoccupations de la collectivité

En raison de la sensibilité de la phénologie végétale aux facteurs environnementaux (c.-à-d. les variations météorologiques et climatiques), les observations phénologiques et synphénologiques à long terme sont un outil important, non seulement pour la surveillance des écosystèmes, mais aussi pour la surveillance des changements climatiques. De plus, les observations phénologiques nécessitent peu de ressources et sont donc particulièrement bien adaptées à la surveillance communautaire, par laquelle les collectivités locales très observatrices quant aux moindres changements environnementaux, peuvent apporter une contribution inestimable. Nos observations synphénologiques effectuées pendant une seule saison de croissance ne représentent qu'un aperçu des interactions complexes entre les écosystèmes et un environnement difficile et imprévisible, tant pendant la saison de croissance qu'entre les saisons de croissance. Un programme de surveillance phénologique se poursuivant sur de nombreuses années, voire des décennies, donnerait une image beaucoup plus précise de l'interaction entre les plantes, les écosystèmes et l'environnement changeant. Les diagrammes synoptiques offrent un aperçu complet de la phénologie de communautés végétales entières. Lorsque la couverture relative des plantes à divers stades phénologiques est enregistrée au cours des observations, les diagrammes synphénologiques peuvent offrir à la fois des renseignements qualitatifs sur les phénophases et des données quantitatives sur l'ampleur de ces phases phénologiques. Au cours des prochaines étapes, nous poursuivons nos observations synphénologiques dans les écosystèmes les plus importants du sud-est de l'île Victoria, en utilisant un système de clés phénologiques amélioré en 12 étapes phénologiques et en enregistrant également la couverture relative des espèces aux divers stades phénologiques.

## Remerciements

Nous tenons à remercier Cathy Anablak et Leonard Wingnek de leur aide pour les observations phénologiques sur le terrain. Nous tenons également à remercier le ministère de l'Environnement du Nunavut d'avoir délivré le permis de recherche sur la faune pour ce projet.

## References

- Bean, D. and Henry, G. 2003. CANTTEX field manual: Part A—setting up a basic monitoring site. Eman North, London.
- Bjorkman, A.D., Elmendorf, S.C., Beamish, A.L., Vellend, M., and Henry, G.H.R. 2015. Contrasting effects of warming and increased snowfall on Arctic tundra plant phenology over the past two decades. *Global Change Biology* 21 (12):4651–4661. doi:10.1111/gcb.13051.
- Borner, A.P., Kielland, K., and Walker, M.D. 2008. Effects of simulated climate change on plant phenology and nitrogen mineralization in Alaskan Arctic tundra. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 40 (1):27–38.
- Cleland, E.E., Chuine, I. and Menzel, A. 2007. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution* 22 (7):357–365.
- Coldea, G. and Wagner, I. 1993–1994. Cercetări simfenologice asupra vegetației din bazinul superior al Văii Huzii (Muntele Săcel) (Synphenological research on the vegetation of the upper basin of the Huzii Valley, Săcel Mountain). *Contribuții Botanice*:23–28.
- Dierschke, H. 1972. Zur Aufnahme und Darstellung phänologischer Erscheinungen in Pflanzengesellschaften (About recording and representation of phenological events in plant communities). In: Grundfragen und Methoden in der Pflanzensoziologie. Dr. W. Junk N.V., pp 291–311.
- Dierschke, H. (1982) Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen in Wäldern Süd-Niedersachsens: 1. Phänologischer Jahresrhythmus sommergrüner Laubwälder (Plant community and ecological investigations in the forests of southern Lower Saxony: I. Annual phenological rhythm of deciduous forests). *Tuexenia* 2:173–194.
- Dierschke, H. 1989a. Kleinräumige Vegetationsstruktur und phänologischer Rhythmus eines Kalkbuchenwaldes (Small-scale vegetation structure and phenological rhythm of a beech forest on limestone). *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 17:131–143.

Dierschke, H. 1989b. Symphänologische Aufnahme- und Bestimmungsschlüssel für Blütenpflanzen und ihre Gesellschaften in Mitteleuropa (Synphenological recording and identification keys for flowering plants and their communities in Central Europe). *Tuexenia* 9:477–484.

Dierschke, H. 1991. Phytophänologische Untersuchungen in Wäldern: Methodische Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten im passiven Biomonitoring (Plant phenology investigations in forests: Methodological basis and application possibilities in passive biomonitoring). *Beihefte zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg* 64:76–86.

Environment Canada. Historical climate data for Cambridge Bay Airport, Nunavut (1953 onwards). Available from [http://climate.weather.gc.ca/historical\\_data/search/historic\\_data\\_e.html](http://climate.weather.gc.ca/historical_data/search/historic_data_e.html) [accessed 22 June 2018].

Fang, X. and Chen, F. 2015. Plant phenology and climate change. *Science China Earth Sciences* 58 (6):1043–1044. doi:10.1007/s11430-015-5077-7.

Forrest, J. and Miller-Rushing, A.J. 2010. Toward a synthetic understanding of the role of phenology in ecology and evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365 (1555): 3101–3112.

Heide, O.M. 1992. Flowering strategies of the High-Arctic and high-alpine snow bed grass species *Phippsia algida*. *Physiol Plantarum* 85 (4):606–610.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Climate change 2007: Synthesis report. Cambridge University Press, New York.

Keller, F. and Körner, C. 2003. The role of photoperiodism in alpine plant development. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 35 (3):361–368.

Mark, A.K.G., Nanna, B., and Elisabeth, J.C. 2016. High Arctic flowering phenology and plant–pollinator interactions in response to delayed snow melt and simulated warming. *Environmental Research Letters* 11 (11):115006.

McLennan, D.S., MacKenzie, W.H., Meidinger, D.V., Wagner, J., and Arko, C. 2018. A standardized ecosystem classification for the coordination and design of long-term terrestrial ecosystem monitoring in Arctic-Subarctic biomes. *Arctic* 71 (Suppl. 1):1–15. Available from doi:<https://doi.org/10.14430/arctic4621>.

Molau, U. 1993. Relationships between flowering phenology and life history strategies in tundra plants. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 25 (4):391–402.

Molau, U., and Mølgaard, P. 1996. ITEX manual. Danish Polar Center, Copenhagen.

Mooney, H.A. and Billings, W.D. 1961. Comparative physiological ecology of arctic and alpine populations of *Oxyria digyna*. *Ecological Monographs* 31 (1):1–29.

Panchen, Z.A. and Gorelick, R. 2015. Flowering and fruiting responses to climate change of two Arctic plant species, purple saxifrage (*Saxifraga oppositifolia*) and mountain avens (*Dryas integrifolia*). *Arctic Science* 1 (2):45–58. doi:10.1139/as-2015-0016.

Panchen, Z.A. and Gorelick, R. 2016. Canadian Arctic Archipelago conspecifics flower earlier in the High Arctic than the mid-Arctic. *International Journal of Plant Sciences* 177 (8):661–670. doi:10.1086/687984.

Panchen, Z.A. and Gorelick, R. 2017. Prediction of Arctic plant phenological sensitivity to climate change from historical records. *Ecology and Evolution* 7 (5):1325–1338. doi:10.1002/ece3.2702.

Pilková, I. 2015. Synphenology of herb layer of *Carpinion betuli* community in the Báb Forest. *Acta Universitatis Agriculturae Silviculturae Mendelianae Brunensis* 63 (5):1513–1521.

Puppi, G. 2007. Origin and development of phenology as a science. *Italian Journal of Agrometeorology* 3:24–29.

Reynolds, D.N. 1984. Alpine annual plants: phenology, germination, photosynthesis, and growth of three Rocky Mountain species. *Ecology* 65 (3):759–766.

Thórhallsdóttir, T.E. 1998. Flowering phenology in the central highland of Iceland and implications for climatic warming in the Arctic. *Oecologia* 114 (1):43–49.

Wagner, I. 1994. Observații fenologice asupra unei pajiști mezofile din bazinul superior al Văii Huzii (Muntele Săcel, Jud. Cluj) (Phenological observations on a mesophilous meadow in the upper basin of the Huzii Valley, Săcel Mountain, Cluj county). *Studia Universitatis Babeș-Bolyai, Biologia* XXXIX (1):15–18.

Wagner, I. and Simons, A.M. 2008. Divergence among Arctic and alpine populations of the annual *Koenigia islandica*: Morphology, life history, and phenology. *Ecography* 32 (1):114–122. doi:10.1111/j.1600-0587.2008.05497.x.

Wheeler, H.C., Høye, T.T., Schmidt, N.M., Svenning, J.-C., and Forchhammer, M.C. 2015. Phenological mismatch with abiotic conditions—implications for flowering in Arctic plants. *Ecology* 96 (3):775–787. doi:10.1890/14-0338.1.

Wookey, P., Parsons, A.N., Welker, J.M., Potter, J.A., Callaghan, T.V., Lee, J.A., and Press, M.C. 1993. Comparative responses of phenology and reproductive development to simulated environmental change in Subarctic and High Arctic plants. *Oikos* 67:490–502.

# LA RÉPARTITION ET L'ABONDANCE DES PARASITES CHEZ LES ESPÈCES SAUVAGES CAPTURÉES DANS LE NORD CANADIEN :

un examen



Virginia León-Règagnon<sup>1,2\*</sup>, Ian D. Hogg<sup>3</sup>, and Paul D.N. Hebert<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institut de biologie, Université nationale autonome de Mexico, Mexico, Mexique

<sup>2</sup> Centre de génomique de la biodiversité, Université de Guelph, Guelph, Ontario, Canada

<sup>3</sup> Savoir polaire Canada, Cambridge Bay, Nunavut, Canada

<sup>4</sup> Centre de génomique de la biodiversité, Université de Guelph, Guelph, Ontario, Canada

\* [vleon@ib.unam.mx](mailto:vleon@ib.unam.mx)

## Résumé

Les parasites sont des éléments clés des écosystèmes arctiques. Le rythme actuel des changements climatiques et des changements dans le paysage dans l'Arctique devrait modifier les interactions hôte-parasite, ce qui crée une préoccupation importante pour la viabilité des vertébrés arctiques. En plus des effets directs sur les populations hôtes, les changements dans les charges parasitaires sur la faune peuvent avoir des répercussions importantes sur les personnes qui dépendent de ces organismes pour se nourrir. Les parasites jouent un rôle important dans le maintien de la stabilité de l'écosystème grâce à la régulation des populations hôtes et peuvent fournir des informations uniques sur la structure de l'écosystème. Le présent examen porte sur la documentation sur les parasites de la faune récoltée dans le Nord canadien, y compris des études réalisées au Yukon, dans les Territoires du Nord-Ouest, au Nunavut, dans le Nord du Québec et à Terre-Neuve-et-Labrador. Pour les espèces hôtes à plus grande mobilité, nous avons inclus des données provenant d'autres régions, comme le Groenland, la Russie et la région subarctique canadienne, alors qu'aucune étude parasitologique n'était disponible pour le Nord canadien. De plus, nous avons fait des recherches dans les bases de données de la collection de parasites du Musée canadien de la nature et de la

collection de parasites des États-Unis pour y trouver des données sur le Nord canadien. Nous avons trouvé des données sur 248 espèces de macroparasites chez des espèces de vertébrés servant d'aliments traditionnels dans le Nord canadien, y compris des vers plats, des vers ronds, des acanthocéphales, des tiques, des poux, des puces, des mouches et des linguatules. Cet examen met en évidence la nécessité d'étendre l'étude des parasites qui infectent les principales espèces sauvages récoltées dans le Nord canadien. Des informations plus détaillées sur les communautés de parasites sont particulièrement importantes, car le changement climatique et le changement du paysage évoquent la possibilité que de nouvelles espèces de parasites colonisent la région. La construction d'une bibliothèque de codes à barres de l'ADN pour les parasites provenant d'aliments traditionnels dans la région facilitera leur identification et leur surveillance.

## Introduction

Les parasites sont une composante importante des écosystèmes arctiques, influençant la santé et la durabilité des populations de la faune et des personnes qui en dépendent (Hoberg et coll. 2003; Davidson et coll. 2011). À

partir des années 1940, une succession de parasitologues et d'écologistes ont exploré le parasitisme dans l'Arctique, faisant progresser la compréhension de la structure et de la fonction des systèmes hôte-parasite dans ce milieu. Ces dernières années, la reconnaissance du changement climatique rapide dans le Nord a stimulé le déploiement d'efforts accrus (Kutz et coll. 2012).

Le rythme actuel des changements climatiques et des changements dans le paysage dans l'Arctique devrait modifier les interactions hôte-parasite, ce qui occasionne une préoccupation importante pour la viabilité des vertébrés arctiques (Hoberg et coll. 2008; Kutz et coll. 2009; Polley et coll. 2010). En plus des effets directs sur les populations hôtes, les changements de quantités de parasites dans la faune peuvent avoir des répercussions importantes sur les personnes qui dépendent de ces organismes pour se nourrir. Les parasites peuvent avoir une incidence sur la qualité, la quantité et la sécurité de la viande ou d'autres produits d'origine animale consommés par les humains, et les changements dans la biodiversité des parasites et les processus associés aux maladies peuvent influencer sur la quantité et la durabilité des populations hôtes (Davidson et coll. 2011).

Bien qu'ils soient souvent dépeints négativement, les parasites jouent un rôle important dans le maintien de la stabilité de l'écosystème par la régulation des populations hôtes et fournissent des aperçus uniques de l'état historique et actuel des écosystèmes. Les parasites peuvent, par exemple, fournir de l'information sur la présence d'interactions directes ou indirectes entre les espèces présentes dans l'écosystème ainsi que sur les habitudes des hôtes (Hoberg 2010). Les écosystèmes sains présentent généralement une grande diversité de parasites, reflétant le nombre d'espèces hôtes et de vecteurs définitifs (ultimes) et intermédiaires. Par conséquent, la détection d'un nombre « normal » de parasites peut être l'indication d'un écosystème sain. À l'inverse, la détection de « nouveaux » parasites (envahissants) ou de très peu d'espèces de parasites peut indiquer le contraire (Hudson et coll. 2006).

Pour utiliser les parasites comme indicateurs de la santé environnementale et pour suivre ou prédire les changements dans le parasitisme et la santé des animaux, il est essentiel d'avoir des données complètes sur la diversité des parasites, les distributions et les cycles de vie (Hoberg et coll. 2003; Hoberg et Brooks 2008; Hoberg et coll. 2008). Bien que des progrès considérables aient été réalisés dans la définition de la diversité et de l'écologie des parasites présents dans/sur les vertébrés de l'Arctique (Rausch,

1974; Hoberg et coll. 2012a), d'importantes lacunes en matière de connaissances restent à combler.

## Méthodologie

Le présent examen tient compte de toute la documentation disponible sur les parasites des aliments traditionnels d'origine animale dans le Nord canadien, défini comme le territoire terrestre et océanique du Canada qui se trouve au nord de la limite sud du pergélisol discontinu, du nord de la Colombie-Britannique à l'ouest jusqu'au nord du Labrador à l'est (API, 2007-2008). Nous avons consulté trois bases de données universitaires, soit Web of Science, JSTOR et Google Scholar, en utilisant les mots de recherche parasite + Arctique + Canada; d'autres recherches ont été menées avec les noms scientifiques et communs des hôtes + parasites. Les études hors de la zone géographique définie ou sans identification parasitaire à la famille ou à un niveau inférieur ont été exclues. Nous avons également révisé la documentation citée des publications trouvées dans les recherches. Pour les espèces hôtes à grande mobilité, nous avons inclus des données provenant d'autres régions, comme l'Alaska, le Groenland, l'Islande, la Russie et la région subarctique canadienne, lorsqu'aucune étude parasitologique n'a été effectuée dans le Nord canadien. De plus, les bases de données de la collection de parasites du Musée canadien de la nature et de la collection de parasites des États-Unis ont été consultées pour trouver des relevés sur les espèces hôtes au Yukon, dans les Territoires du Nord-Ouest, au Nunavut, dans le nord du Québec et à Terre-Neuve-et-Labrador; seules les mentions dans le Nord canadien ont été examinées.

Nous avons pris en compte des espèces de vertébrés chassées régulièrement comme nourriture dans le Nord canadien (tableau 1). Nous avons également tenu compte du loup (*Canis lupus*) et du carcajou (*Gulo gulo*), bien qu'ils soient rarement consommés, car ce sont des réservoirs de parasites qu'ils transmettent aux humains et ils sont fréquemment chassés pour leur fourrure. En ce qui concerne la nomenclature des parasites, nous nous sommes fondés sur l'Encyclopédie de la vie (<http://eol.org>) et la littérature spécialisée pour chaque taxon.

## Résultats

Nous avons trouvé des mentions de 248 espèces de macroparasites chez des espèces de vertébrés sauvages récoltés dans le Nord canadien (annexe 1, [https://www.poldata.ca/pdcsearch/?doi\\_id=12962](https://www.poldata.ca/pdcsearch/?doi_id=12962)). De ce nombre, 185 espèces ont été recensées dans le Nord canadien et

Citation suggérée :

Leon-Regagnon, V., Hogg, I.D., and Hebert, P.D.N. 2018. « La répartition et l'abondance des parasites chez les espèces sauvages capturées dans le Nord canadien : un examen », *Savoir polaire : Aqhaliat* 2018, *Savoir polaire Canada*, p. 20–30. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.03

63 à l'extérieur de cette région; les 63 espèces observées à l'extérieur de cette région parasitaient des espèces (principalement des oiseaux) également réparties dans le Nord canadien, mais qui n'ont pas été étudiées pour détecter la présence de parasites. Parmi ces mentions, on compte les plathelminthes (vers plats monogénies, digénies et cestodes); les nématodes (vers ronds); les acanthocéphales (vers à tête épineuse); les acariens (tiques); les insectes (poux, puces et mouches); et les pentastomides (linguatus). Les groupes les plus diversifiés sont les vers ronds et les vers solitaires (cestodes), avec 80 et 78 espèces respectivement. Les oiseaux sont le groupe de vertébrés comptant le plus grand nombre d'espèces de parasites recensées, soit 115. Même si bon nombre de ces taxons étaient extraterritoriaux, ils sont également susceptibles d'apparaître dans le Nord canadien en raison de la grande mobilité de leurs hôtes. Les mentions de mammifères et de parasites du poisson comprennent respectivement 88 et 59 espèces. Il est intéressant de noter qu'aucun parasite n'a été documenté pour le lièvre arctique, *Lepus arcticus* (tableau 1). Parmi les 248 espèces de parasites, seulement 133 sont représentées par des spécimens de référence dans les collections existantes. Il est important de noter qu'aucune référence n'est disponible pour les parasites des ours polaires ou des morses du Nord canadien. À l'inverse, dans ces collections, il y a de nombreuses mentions d'espèces qui n'ont pas été signalées dans la documentation (annexe 2, [https://www.polardata.ca/pdcsearch/?doi\\_id=12962](https://www.polardata.ca/pdcsearch/?doi_id=12962)).

### Poissons

L'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) est l'espèce de poisson qui compte le plus grand nombre (35) d'espèces de parasites connues (tableau 1). Représentant sa nature anadrome, ces parasites comprennent certaines espèces acquises dans l'environnement marin et d'autres dans l'eau douce. Toutefois, sa grande diversité de parasites reflète également le fait que l'omble chevalier est, de loin, l'espèce de poisson la plus étudiée dans l'Arctique. On sait que d'autres espèces de poissons arctiques hébergent de 5 à 18 espèces de parasites.

Plusieurs de ces espèces ont une importance zoonotique. Les larves des vers ronds du genre *Contracaecum* et d'autres genres connexes vivent dans des mésentères et des cavités corporelles de poissons. Cependant, une fois qu'un poisson est mort, ces larves migrent rapidement dans les muscles, ce qui réduit la qualité de la viande, et certaines espèces représentent une source potentielle d'infection pour les humains s'ils ingèrent du poisson cru, fumé ou insuffisamment cuit (McCarthy et Moore, 2000). Bien que, dans la plupart des cas, l'infection soit asymptomatique, les patients peuvent souffrir de nausées, de vomissements, de diarrhée, de douleurs abdominales et de réactions d'hypersensibilité (Jenkins et coll. 2013). De la même façon, les vers larvaires du genre *Diphyllobothrium* vivent dans les muscles ou les viscères des poissons et sont transmis à leur hôte définitif lorsqu'ils sont ingérés. Dans la nature, les principaux hôtes sont les ours polaires, les mammifères marins et les autres carnivores, mais les humains peuvent être infectés par les vers solitaires diphyllbothriques

Table 1: Number of macroparasite species known from species of harvested wildlife in the Canadian North.

| Espèces hôtes                                     | Nombre d'espèces parasites |       |       |   |    |       |        |
|---|----------------------------|-------|-------|---|----|-------|--------|
|   | P                          | N     | A     | C | Ac | I     | TOTAL  |
| <b>Poissons</b>                                   |                            |       |       |   |    |       |        |
| <i>Salvelinus alpinus</i> (omble chevalier)       | 21                         | 8     | 4     | 2 |    |       | 35     |
| <i>Salvelinus namaycush</i> (touladi)             | 9                          | 2     |       | 1 |    |       | 12     |
| <i>Coregonus clupeaformis</i> (corégone)          | 8                          | 2     |       | 2 |    |       | 12     |
| <i>Boreogadus saida</i> (morue polaire)           | 11                         | 4     | 2     | 1 |    |       | 18     |
| <i>Arctogadus glacialis</i> (morue arctique)      | 2 (2)                      | 2 (2) | 1 (1) |   |    |       | 5 (5)  |
| <b>Oiseaux</b>                                    |                            |       |       |   |    |       |        |
| <i>Cephus grylle</i> (guillemot à miroir)         | 2 (1)                      |       |       |   |    | 3     | 5 (1)  |
| <i>Uria aalge</i> (guillemot marmette)            | 11                         | 6     |       |   | 2  | 4 (1) | 23 (1) |
| <i>Anas acuta</i> (canard pilet)                  | 7 (6)                      | 2 (2) |       |   |    |       | 9 (8)  |
| <i>Anser albifrons</i> (grande oie à front blanc) | 2 (2)                      |       |       |   |    |       | 2 (2)  |
| <i>Anser caerulescens</i> (oie des neiges)        | 5 (1)                      | 5     |       |   |    | 1     | 11 (1) |

| Espèces hôtes   | Nombre d'espèces parasites |       |       |   |       |       |         |
|---|----------------------------|-------|-------|---|-------|-------|---------|
|   | P                          | N     | A     | C | Ac    | I     | TOTAL   |
| <i>Anser rossii</i> (oie de Ross)                     |                            |       |       |   | 1 (1) |       | 1 (1)   |
| <i>Branta canadensis</i> (oie du Canada)              | 6 (5)                      | 5 (4) |       |   | 1 (1) | 2     | 14 (10) |
| <i>Branta bernicla</i> (bernache cravant)             | 2 (2)                      | 1 (1) |       |   |       | 1     | 4 (3)   |
| <i>Clangula hyemalis</i> (hareldé kakawi)             |                            |       |       |   |       | 1     | 1       |
| <i>Cygnus colymbianus</i> (cygne siffleur)            | 2 (2)                      | 1 (1) |       |   | 1 (1) | 4 (2) | 8 (6)   |
| <i>Histrionicus histrionicus</i> (arlequin plongeur)  | 3 (3)                      |       |       |   |       |       | 3 (3)   |
| <i>Somateria spectabilis</i> (eider à tête grise)     | 6 (6)                      | 1 (1) | 1     |   |       | 1     | 9 (7)   |
| <i>Gavia pacifica</i> (plongeon du Pacifique)         | 4 (4)                      |       |       |   |       |       | 4 (4)   |
| <i>Gavia stellata</i> (plongeon catmarin)             | 4 (4)                      | 1     |       |   |       |       | 5 (4)   |
| <i>Gavia adamsi</i> (plongeon à bec blanc)            | 2 (2)                      |       |       |   |       |       | 2 (2)   |
| <i>Lagopus lagopus</i> (lagopède des saules)          | 7 (6)                      | 6 (5) |       |   | 5 (5) | 7 (5) | 25 (21) |
| <i>Lagopus muta</i> (lagopède alpin)                  | 6 (6)                      | 3 (3) |       |   |       | 2     | 11 (9)  |
| <b>Mammifères</b>                                     |                            |       |       |   |       |       |         |
| <i>Rangifer tarandus</i> (caribou)                    | 7                          | 15    |       |   | 3     | 2     | 27      |
| <i>Ovibos moschatus wardi</i> (bœuf musqué)           | 5                          | 12    |       |   |       |       | 17      |
| <i>Vulpes lagopus</i> (renard arctique)               | 4                          | 4     |       |   |       |       | 8       |
| <i>Canis lupus</i> (loup)                             | 12                         | 5     |       |   |       |       | 17      |
| <i>Gulo gulo</i> (carcajou)                           |                            | 1     |       |   |       |       | 1       |
| <i>Ursus arctos horribilis</i> (grizzly)              | 2                          | 5     |       |   |       |       | 7       |
| <i>Ursus maritimus</i> (ours blanc)                   | 2                          | 3     |       |   |       |       | 5       |
| <i>Cystophora cristata</i> (phoque à capuchon)        |                            | 3     |       |   |       |       | 3       |
| <i>Erignathus barbatus</i> (phoque barbu)             |                            | 3     |       |   |       | 1     | 4       |
| <i>Pagophilus groenlandicus</i> (phoque du Groenland) | 1                          | 7     |       |   |       |       | 8       |
| <i>Phoca vitulina</i> (phoque commun)                 | 1 (1)                      | 8 (2) | 1 (1) |   |       | 1 (1) | 11 (5)  |
| <i>Pusa hispida</i> (phoque annelé)                   | 5                          | 9     | 3     |   |       | 1     | 18      |
| <i>Odobenus rosmarus</i> (morse)                      |                            | 2     |       |   |       |       | 2       |
| <i>Delphinapterus leucas</i> (béluga)                 | 2                          | 5     |       |   |       |       | 7       |
| <i>Monodon monoceros</i> (narval)                     |                            | 1     |       |   |       |       | 1       |

zoonotiques s'ils mangent des poissons crus ou mal cuits (Desdevises et coll. 1998). La diphyllbothrose est rarement associée à une maladie clinique et n'est pas considérée comme un problème de santé publique majeur au Canada (Jenkins et coll. 2013). Des taux d'infection élevés chez les espèces de *Diphyllobothrium* peuvent également nuire au développement des gonades chez les poissons, ce qui réduit leur potentiel reproductif (Gallagher et coll. 2009).

Les parasites monogènes et copépodes sur les branchies de poissons peuvent retarder la croissance et la maturation sexuelle, ainsi que l'hypoxie lors d'infections graves (Gallagher, et coll. 2009; Winger et coll. 2008). Bien qu'aucun événement épizootique causé par le *Tetraonchus*

spp. ou le *Salmincola* spp. n'ait été signalé dans le Nord canadien, ces espèces sont présentes dans cette région, et il est important d'être conscient de leurs effets potentiels sur les populations de poissons.

### Oiseaux

Au total, 99 espèces ont été répertoriées chez les oiseaux de l'Arctique, bien que 55 de ces mentions soient extraterritoriales (annexe 1, [https://www.polardata.ca/pdcsearch/?doi\\_id=12962](https://www.polardata.ca/pdcsearch/?doi_id=12962)). Parmi ces espèces, les vers solitaires et les vers ronds du tube digestif sont les plus répandus, et aucun parasite d'importance zoonotique n'a été signalé. Des événements de mortalité chez les oies ont été documentés dans d'autres régions où de

lourdes infections de vers ronds du tube digestif supérieur (*Echinuria uncinata*) en Pologne (Cornwell, 1963), de vers du cœur (*Sarconema Eurycea*) aux États-Unis (Holden et Sladen, 1968) ou de schistosomes (*Anserobilharzia brantae*) dans le sud de l'Ontario (Wojcinski et coll. 1987) ont été signalées et pourraient avoir contribué à la mortalité. Une corrélation négative entre le fardeau de la communauté parasite et la condition physique des hôtes a contribué au déclin cyclique des populations de perdrix blanches (*Lagopus lagopus*) en Norvège (Holmstad et coll. 2005). La puce *Ceratophyllus vagabundus* a eu une incidence négative sur le succès de reproduction dans les colonies d'oies au Nunavut (Harriman et Alisuskas, 2010) et peut être un vecteur de maladies bactériennes pour la faune arctique (Mascarelli et coll. 2015). La faune parasite des guillemots et des guillemots marmettes a fait l'objet d'études intensives dans l'Arctique et a servi de modèle pour la coévolution hôte-parasite (Hoberg, 1986) et en tant que marqueurs du changement écologique (Muzaffar et coll. 2005). Compte tenu du comportement migratoire des canards et des oies, il est important de surveiller leur faune parasite, car ils pourraient introduire de nouveaux pathogènes (Amundson et coll. 2016).

### Mammifères

Le caribou, *Rangifer tarandus*, et le bœuf musqué, *Ovibos moschatus*, abritent respectivement 27 et 17 espèces de divers ensembles de parasites. Ces parasites comprennent différents groupes taxonomiques, y compris les digéniens, les vers solitaires, les vers ronds, les mouches et les acariens, bien que les vers ronds soient les plus diversifiés. Les nématodes de la sous-famille Trichostrongylinae (*Ostertagia*, *Marshallagia* et *Teladorsagia*) sont des parasites courants de la caillette (le quatrième compartiment de l'estomac chez les ruminants), où ils peuvent avoir des effets graves sur la nutrition lorsqu'ils sont présents en grand nombre. Toutefois, ces deux espèces d'ongulés sont les plus gravement touchées par les parasites internes, comme les strongles pulmonaires (*Dictyocaulus*, *Varestrongylus*, *Protostrongylus* et *Umingmakstrongylus*) ou les vers musculaires (*Parelaphostrongylus*). L'infection par ces parasites peut affecter la fonction respiratoire et nuire à la fonction neurologique ou musculaire, ce qui accroît la vulnérabilité à la prédation (Kutz et coll. 2012).

Les caribous et les bœufs musqués sont des hôtes intermédiaires naturels pour les vers solitaires *Echinococcus canadensis*, *Taenia hydatigena* et *T. krabbei*, qui terminent leur cycle de vie chez les canidés (chiens, renards et loups) et libèrent leurs œufs avec les matières fécales de l'hôte

définitif. Le *Taenia hydatigena* et le *T. krabbei* n'ont pas été signalés comme causes de zoonoses (diverses maladies pouvant être transmises des animaux aux humains); en revanche, l'*Echinococcus canadensis* est la cause d'une zoonose récurrente dans l'Arctique. Les gens, tout comme le caribou et le bœuf musqué, sont infectés lorsque les œufs de ce ver sont accidentellement ingérés (Jenkins et coll. 2013).

Les crustacés de la sous-classe des *Pentastomida* sont des parasites de la cavité nasale des vertébrés. La *linguacula arctica* est un parasite commun de la cavité nasale du caribou en particulier; cette espèce a un cycle de vie direct, mais les œufs sont expulsés avec le mucus et ingérés par d'autres ongulés pendant le pâturage. Aucun effet grave n'a été signalé sur les animaux infectés (Kutz et coll. 2012).

Les mouches parasites attaquent couramment le caribou; les larves de l'*Hypoderma tarandi* (varrons) et du *Cephenemyia trompe* (œstre du caribou) peuvent respectivement causer des dommages en s'enfouissant dans la peau ou en se développant dans la cavité nasale. Le harcèlement par ces diptères parasitaires peut réduire le temps d'alimentation et entraîner une diminution de l'apport alimentaire, une réduction de la prise de poids en été, une diminution de la lactation, une baisse du poids des veaux et une détérioration de l'état général, ce qui peut avoir une incidence sur le succès de la reproduction. On s'inquiète de plus en plus de la zoonose causée par l'*Hypoderma tarandi*, car elle peut causer des gonflements cutanés et de l'interna ophthalmomyiasis (invasion de l'œil) chez les humains, entraînant souvent la perte de l'œil (Lagacé-Wiens et coll. 2008; Kan et coll. 2013). On a signalé que les acariens du genre *Chorioptes* causent des lésions inflammatoires épidermiques et dermiques dans le canal de l'oreille externe du caribou et la perte de poils sur les pattes du bœuf musqué, ce qui réduit l'état général des animaux (Kutz et coll. 2012).

Les loups (*Canis lupus*) et les renards arctiques (*Vulpes lagopus*) abritent respectivement 17 et 8 espèces de parasites, les vers solitaires et les vers ronds étant les plus diversifiés. Les digéniens du genre *Alaria* ont été signalés à partir de l'écozone boréale seulement, car leur cycle de vie comprend des hôtes intermédiaires (amphibiens) qui ne sont pas encore présents dans l'Arctique. L'*Echinococcus multilocularis* et l'*E. canadensis* entraînent des conséquences particulièrement importantes pour la santé humaine. Ces vers utilisent des renards, des loups et des chiens comme hôtes définitifs; l'*E. multilocularis* utilise des rongeurs

(campagnols et lemmings) comme hôte intermédiaire, tandis que l'*E. canadensis* utilise des cervidés (orignaux et caribous) (Jenkins et coll. 2013). Les gens contractent l'infection lorsqu'ils ingèrent accidentellement des œufs qui se sont déversés dans les excréments de carnivores, et développent de l'échinococcose kystique (habituellement dans les poumons et le foie) ou de l'échinococcose alvéolaire (habituellement dans le foie), qui peut être mortelle si elle n'est pas détectée et traitée assez tôt (Jenkins et coll. 2013; Gesy et coll. 2014). L'échinococcose, ou maladie hydatide, peut être asymptomatique pendant plusieurs années jusqu'à ce que les kystes croissent suffisamment pour déclencher des signes cliniques – douleur abdominale et nausées si le foie est l'organe touché, ou toux, douleur thoracique et essoufflement si les poumons sont touchés (OMS, 2018). Le fait de nourrir les chiens avec les viscères de caribous ou d'orignaux infectés peut faciliter l'infection humaine, étant donné la proximité des chiens avec les humains. Des études moléculaires ont révélé plusieurs souches d'*E. canadensis* (G8 et G10) et d'*E. multilocularis* (souches asiatiques, européennes et nord-américaines) en Amérique du Nord, ce qui est important parce que leurs degrés d'infectiosité et de pathogénicité chez les humains peuvent être différents (Thompson et coll. 2006; Gesy et coll. 2014).

Le *Toxascaris leonina* est un ver rond intestinal de canidés et de félidés dont le cycle de vie direct et n'est pas considéré comme zoonotique; la zoonotie canine ascaride *Toxocara Canis* semble avoir une faible prévalence dans le Nord canadien (Jenkins et coll. 2013). Les autres espèces importantes de parasites recensés chez les renards, les loups et les carcajous sont les vers ronds de type *Trichinella*. Ces vers ronds possèdent une histoire de vie unique, car une seule espèce de vertébrés sert d'hôte définitif et intermédiaire. Les adultes vivent dans l'intestin, où les femelles produisent des larves qui migrent vers le muscle squelettique. La transmission à d'autres espèces, y compris les humains, peut se produire lorsque l'hôte original est consommé. Le genre *Trichinella* comprend neuf espèces et trois génotypes (Krivokapich et coll. 2012); seuls la *T. nativa* (T2) et le génotype T6 ont été signalés dans le nord du Canada (Larter et coll. 2011). Ces vers ronds ont été observés chez de nombreuses espèces de vertébrés de l'Arctique, y compris les carnivores (ours polaires et grizzlis, renards arctiques, loups et chiens) et les pinnipèdes (morses et phoques annelés) (annexe 1, [https://www.polardata.ca/pdcsearch/?doi\\_id=12962](https://www.polardata.ca/pdcsearch/?doi_id=12962)). Les gens sont infectés en consommant de la viande crue ou

insuffisamment cuite d'un animal porteur, ce qui produit de la trichinellose, qui cause de l'œdème, de la fièvre, des éruptions et de la myalgie. Les éclosions de trichinellose humaine demeurent un problème de santé publique dans le Nord canadien (Jenkins et coll. 2013).

Peu d'études parasitologiques ont été menées sur les ours dans le Nord canadien, et certaines des études sur les ours polaires proviennent de spécimens captifs. En tout, sept espèces de parasites ont été recensées chez les grizzlis et cinq chez les ours polaires (quatre d'entre eux étant des spécimens captifs). Le vers solitaire *Diphyllobothrium ursi* complète son cycle de vie dans l'intestin des ours après qu'ils se sont nourris de poissons, l'hôte intermédiaire. Les humains peuvent être infectés accidentellement par cette espèce en consommant du poisson cru ou insuffisamment cuit (Jenkins et coll. 2013). Les vers ronds *Trichinella* spp. (*T. nativa* et génotype T6) sont communs au grizzli et aux ours polaires dans le Nord canadien (Brown et coll. 1949; Choquette et coll. 1969; Kajadhar et Forbes 2010; Jenkins et coll. 2013; Larter et coll. 2011; Rah et coll. 2005; Smith 1978; Thorshaug et Rosted, 1956), et au moins une éclosion humaine a été liée à la consommation de grizzlis (Houzé et coll. 2009).

Le phoque annelé compte beaucoup plus d'espèces de parasites (18) que les autres espèces de phoques, qui comptent de 3 à 11 espèces (tableau 1). Parmi les espèces parasitaires, il y a les vers du cœur (*Acanthocheilonema spirocauda*) et les strongles pulmonaires (*Otostrongylus circumlitus* et *Parafilaroides hispidus*), qui peuvent endommager les poumons lors d'infections graves, en particulier chez les blanchons (Measures et Gosselin 1994; Ondreka 1989). Les vers solitaires et les vers ronds sont présents dans le tractus intestinal sous la forme *Anisakis* sp., *Contracaecum osculatum* et *Pseudoterranova decipiens*. Les larves de ces ascarides sont transmises par les poissons, et les humains peuvent être infectés en consommant des poissons crus ou insuffisamment cuits (Jenkins et coll. 2013).

Les poux suceurs (famille des Echinophthiridae) se retrouvent spécialement chez les phoques. En particulier, on trouve l'*Echinophthirus horridus* sur de nombreuses espèces de phoques dans l'hémisphère Nord, y compris le phoque annelé. Ce parasite est plus répandu chez les jeunes animaux en raison de leur température corporelle plus élevée et de leur peau plus mince. Il est prouvé que cet ectoparasite est l'hôte intermédiaire du vers de cœur

*Acanthocheilonema spirocauda*, qui entraîne souvent de graves conséquences pour les jeunes phoques (Geraci et coll. 1981; Leidenberg et coll. 2007).

Au moins 16 espèces de parasites (vers solitaire, vers ronds et vers acanthocéphales) ont été signalées chez le morse dans le détroit de Béring (Rausch et coll. 2007). Cependant, peu d'études ont été réalisées dans le Nord canadien, où seulement deux espèces de parasites ont été recensées, soit l'ascaride, *Pseudoterranova decipiens*, provenant de l'estomac et la *Trichinella* sp. dans les muscles. Cette dernière espèce a causé plusieurs éclosions de trichinellose chez les humains après qu'ils ont mangé de la viande de morse (Jenkins et coll. 2013).

Dans le Nord canadien, le béluga abrite au moins sept espèces de parasites, cinq vers ronds et deux digéniens. Aucun effet négatif n'a été lié à la présence de ces parasites, même à la suite de fortes infections du strongle pulmonaire *Pharurus pallasii* (Houde et coll. 2003). Les ascarides enregistrés provenant d'estomacs de bélugas (*Anisakis simplex*, *Contracaecum osculatum* et *Pseudoterranova decipiens*) sont causés par l'ingestion de poissons. Les humains peuvent être infectés par l'*Anisakis* sp. et le *Contracaecum* sp. en mangeant des poissons crus ou mal cuits, mais il n'y a aucune preuve d'infection zoonotique par le *Pseudoterranova*. La seule espèce parasite répertoriée pour le narval est le strongle pulmonaire *Halocercus monoceris*, qui a causé la mort d'un spécimen prélevé sur l'île de Baffin après avoir été détenu en captivité à l'Aquarium de Vancouver (MacNeill et coll.). 1975).

## Préoccupations pour la collectivité

Cet examen met en évidence la nécessité d'étendre l'étude des parasites qui infectent les principaux animaux qui constituent l'alimentation traditionnelle dans le Nord canadien. Bien que certaines espèces hôtes (omble chevalier et caribou) aient fait l'objet d'études intensives, la plupart des espèces ont reçu peu d'attention. Par exemple, il n'y a pas de relevés de parasites provenant du lièvre arctique, et l'information sur les assemblages de parasites pour de nombreux oiseaux (canards, oies et lagopèdes) n'est disponible que pour d'autres régions. Il est donc particulièrement important d'avoir de l'information plus détaillée sur les communautés de parasites, car le changement climatique et le changement du paysage évoquent la possibilité que de nouvelles espèces de parasites colonisent la région. Par exemple, la tique d'hiver

(*Dermacentor albipictus*) est un ravageur abondant et grave chez l'orignal (*Alces alces*) dans le sud-ouest du Canada, causant l'anémie et la perte de poils (Samuel 1989). La répartition la plus septentrionale de *Dermacentor albipictus* a été documentée juste au sud du 60° N (Wilkinson, 1967); au cours des dernières années, une expansion de l'aire de répartition dans l'Arctique, vraisemblablement causée par le réchauffement climatique et/ou la translocation anthropique, a été documentée (Kutz et coll. 2009). Il s'agit d'un point particulièrement intéressant parce que les caribous et les orignaux sont très vulnérables aux tiques hivernales et que, en captivité, les infections peuvent être graves (Welch et coll. 1990).

Un autre exemple est la tique étoilée d'Amérique (*Amblyomma americanum*), qui parasite principalement le cerf, mais aussi une plus grande variété de mammifères et une grande variété d'oiseaux. Cette tique peut transmettre diverses infections bactériennes (Kollars et coll. 2000) et cause une allergie à la viande rouge (Commins et coll. 2013). Cette espèce de tique était auparavant limitée à l'est des États-Unis et au nord du Mexique, mais son aire de répartition s'étend maintenant au nord et à l'ouest des États-Unis (Scott et coll. 2001). Il est improbable que cette espèce de tique tempérée s'établisse dans l'Arctique dans un avenir proche.

Pour combler les lacunes actuelles en matière d'information, il est essentiel de dresser un inventaire complet de la faune parasite pour les principales espèces qui constituent l'alimentation dans le Nord. Les études doivent ensuite être élargies afin d'obtenir des données de référence sur la prévalence et l'abondance de chaque espèce de parasite, et ce, pour chaque espèce hôte. Cette information permettra notamment de suivre les tendances à long terme des populations de parasites, ce qui permettra d'anticiper les épidémies d'épizooties ou de zoonoses qui pourraient avoir des effets graves sur les espèces hôtes, et ainsi de prendre des mesures préventives à cet effet (Brooks et coll. 2004). Par le passé, il était difficile d'identifier avec précision de très nombreuses espèces de parasites, car les caractères morphologiques distinctifs ne sont pas présents à tous les stades du parasite, ce qui exige une expertise technique, qui est de plus en plus indisponible. Dans certains cas, l'identification précise d'un parasite est d'une grande importance en raison de la capacité différentielle d'infecter et de causer des maladies chez les humains (p. ex., les différences entre les espèces et les souches du ver solitaire *Echinococcus*). En raison de ces facteurs, il est essentiel d'utiliser une méthode d'identification rapide et précise, un besoin satisfait par le codage à barres de

l'ADN (Hebert et coll. 2003). Une fois le code à barres de référence d'une espèce établi, on peut alors, dans la plupart des cas, procéder à l'identification en comparant simplement les séquences d'ADN de matériel nouvellement recueilli aux références. Dans certains cas toutefois, la variation intraspécifique ou le manque de variation du fragment particulier d'ADN utilisé comme code à barres standard (pour les animaux, souvent le locus ADNmt de la cytochrome oxydase I) peut obscurcir les résultats; dans ces cas, le séquençage de fragments supplémentaires peut résoudre ce problème (s'il existe suffisamment de bases de données de séquence). La création d'une bibliothèque de codes à barres d'ADN pour les parasites de la faune récoltée dans le Nord canadien contribuera également à la collecte de spécimens témoins et de bases de données sur les séquences, offrant ainsi une meilleure couverture de la biodiversité canadienne.

## Conclusions

Les parasites sont des éléments clés des écosystèmes et des sentinelles des changements environnementaux. Néanmoins, il existe de grandes lacunes dans les connaissances sur les parasites des espèces sauvages récoltées comme aliments traditionnels dans le Nord canadien, particulièrement pour certaines espèces de poissons, d'oiseaux et de carnivores. La documentation et l'observation de la présence et de la distribution de parasites dans le Nord canadien seront d'une grande valeur dans l'élaboration de plans d'action efficaces pour faire face aux maladies infectieuses émergentes liées aux changements climatiques. La détection précoce d'un nouveau parasite dans un écosystème ou une fluctuation abrupte de la population d'une espèce parasite commune donne des indications importantes, non seulement sur une espèce hôte, mais aussi sur les populations hôtes intermédiaires, y compris les relations trophiques. La détection est une étape clé de l'atténuation des effets des changements climatiques et du paysage sur les communautés de parasites dans le Nord canadien.

## Acknowledgements

Nous remercions Rebecca Davidson et un examinateur anonyme d'avoir soigneusement révisé le manuscrit. Virginia León-Règagnon remercie Programa de Apoyo para la superación del Personal Académico, UNAM-2016 pour son soutien durant un séjour sabbatique à l'Université de Guelph. Le soutien logistique et financier a été fourni par Savoir polaire Canada.

## Références

- Aboriginal Affairs and Northern Development Canada. 2007–2008. Government of Canada program for international polar year: Highlights and achievements. 79 pp.
- Amundson, C. L., Traub, N. J., Smith-Herron, A. J., and Flint, P. L. 2016. Helminth community structure in two species of Arctic-breeding waterfowl. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 5:263–272.
- Baldrige, G. D., Scoles, G. A., Burkhardt, N. Y., Schloeder, B., Kurtti, T. J., and Munderloh, U. G. 2009. Transovarial transmission of *Fracisella*-like endosymbionts and *Anaplasma phagocytophilum* variants in *Dermacentor albipictus* (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology* 46:625–632.
- Brooks, D. R., Hoberg, E. P., Boeger, W. A., Gardner, S. L., Galbreath, K. E., Herczeg, D., Mejía-Madrid, H. H., Rác, S. E., and Dursahinhan, A. T. 2014. Finding them before they find us: Informatics, parasites, and environments in accelerating climate change. *Comparative Parasitology* 81:155–164.
- Brown, M., Cronk, B., DeSinner, F., Green, J.E., Gibbons, J.E., and Kuitunen-Ekbaum, E. 1949. A note on trichinosis in animals of the Canadian Northwest Territories. *Canadian Public Health Association*. 40:20–21.
- Choquette, L. P. E., Gibson, G. G., and Pearson, A. M. 1969. Helminths of the grizzly bear, *Ursus arctos* L., in northern Canada. *Canadian Journal of Zoology* 47:167–170.
- Commins, S. P. and Platts-Mills, T. A. 2013. Tick bites and red meat allergy. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology* 13:354–359.
- Cornwell, G. 1963. Observations on waterfowl mortality in southern Manitoba caused by *Echinuria uncinata* (Nematoda, Acuariidae). *Canadian Journal of Zoology*. 41:699–703.
- Davidson, R., Simard, M., Kutz, S., Kapel, C., Hamnes, I., and Robertson, L. 2011. Arctic parasitology: Why should we care?. *Trends in Parasitology* 27:239–245.

Desdevieses, Y., Arthur, J. R., and Pellerin-Massicotte, J. 1998. Parasites of anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus* L.) from two sites in Ungava Bay (Quebec, Canada). *Journal of the Helminthological Society of Washington* 55:87–90.

Gajadhar, A. A. and Forbes, L. B. 2010. A 10-year wildlife survey of 15 species of Canadian carnivores identifies new hosts or geographic locations for *Trichinella* genotypes T2, T4, T5, and T6. *Veterinary Parasitology* 168:78–83.

Gallagher, C. P., Dick, T. A., Babaluk, J. A., and Reist, J. D. 2009. Parasite community of Arctic char, *Salvelinus alpinus*, from Lake Hazen and Craig Lake, Quittinrpaag National Park, Nunavut. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2854:1–24.

Gesy, K. M., Schurer, J. M., Massolo, A., Liccioli, S., Elkin, B. T., Alisaukas, R., and Jenkins, E. J. 2014. Unexpected diversity of the cestode *Echinococcus multilocularis* in wildlife in Canada. *International Journal of Parasitology: Parasites and Wildlife* 3:81–87.

Harriman, V. B., and Alisaukas, R. T. 2010. Of fleas and geese: The impact of an increasing nest ectoparasite on reproductive success. *Journal of Avian Biology* 41:573–579.

Hebert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L., and deWaard, J. R. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270:313–321.

Hoberg, E. P. 1986. Evolution and historical biogeography of a parasite-host assemblage: *Alcataenia* spp. (Cyclophyllidea: Dilepididae) in Alcidae (Charadriiformes). *Canadian Journal of Zoology* 64:2576–2589.

Hoberg, E. P. 2010. Invasive processes, mosaics, and the structure of helminth parasite faunas. *Revue Scientifique et Technique*, International Office of Epizootics. 29:255–272.

Hoberg, E. P. and Brooks, D. R. 2008. A macroevolutionary mosaic: Episodic host-switching, geographical colonization, and diversification in complex host-parasite systems. *Journal of Biogeography* 35:1533–1550.

Hoberg, E. P., Galbreath, K. E., Cook, J. A., Kutz, S. J., and Polley, L. 2012a. Northern host-parasite assemblages: History and biogeography on the borderlands of episodic climate and environmental transition. *Advances in Parasitology* 79:1–97.

Hoberg, E. P., Kutz, S. J., Galbreath, K. E., and Cook, J. 2003. Arctic biodiversity: From discovery to faunal baselines; Revealing the history of a dynamic ecosystem. *Journal of Parasitology* 89:S84–S95.

Hoberg, E. P., Polley, L., Jenkins, E. J., Kutz, S. J., Veitch, A. M., and Elkin, B.T. 2008. Integrated approaches and empirical models for the investigation of parasitic diseases in northern wildlife. *Emerging Infectious Diseases* 14:10–17.

Holden, B. L. and Sladen, W. J. L. 1968. Heartworm, *Sarconema eurycerca*, infection in whistling swans, *Cygnus columbianus*, in Chesapeake Bay. *Bulletin of the Wildlife Disease Association* 4:126–128.

Holmstad, P. R., Hudson, P. J., and Skorping, A. 2005. The influence of a parasite community on the dynamics of a host population: A longitudinal study on willow ptarmigan and their parasites. *Oikos* 111:377–391.

Houde, M., Measures, L. N., and Huot, J. 2003. Experimental transmission of *Pharurus pallasii* (Nematoda: Metastrongyloidea), a lungworm of the cranial sinuses of the beluga whale (*Delphinapterus leucas*), to fish. *Canadian Journal of Zoology* 81:364–370.

Houzé, S., Ancelle, T., Matra, R., Boceno, C., Carlier, Y., Gajadhar, A. A., and Dupouy-Camet, J. 2009. Trichinellosis acquired in Nunavut, Canada, in September 2009: Meat from grizzly bear suspected. *Eurosurveillance* 14:1–2.

Hudson, P. J., Dobson, A. P., and Lafferty, K. D. 2006. Is a healthy ecosystem one that is rich in parasites?. *Trends in Ecology and Evolution* 21:381–385.

Jenkins, E. J., Castrodale, L. J., Rosemond, S. J. C., Dixon, B. R., Elmore, S. A., Gesy, K. M., Hoberg, E. P., Polley, L., Schurer, J. M., Simard, M., and Thompson, R. C. A. 2013. Tradition and transition: Parasitic zoonoses of people and animals in Alaska, Northern Canada, and Greenland. *Advances in Parasitology* 82:33–204.

Kan, B., Asbakk, K., Fossen, K., Nilssen, A., Panadero, R., and Otranto, D. 2013. Reindeer warble fly: Associated human myiasis, Scandinavia. *Emerging Infectious Diseases* 19:831–832.

Kollars, T. M. J., Oliver, J. H., Durden, L. A., and Kollars, P. G. 2000. Host associations and seasonal activity of *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae) in Missouri. *Journal of Parasitology* 86:1156–1159.

Krivokapich, S. J., Pozio, E., Gatti, G. M., Gonzalez P. C. L., Ribicich, M., Marucci, G., La Rosa, G., and Confalonieri, V. 2012. *Trichinella patagoniensis* n. sp. (Nematoda), a new encapsulated species infecting carnivorous mammals in South America. *International Journal for Parasitology* 42:903–910.

Kutz, S. J., Ducrocq, J., Verocai, G., Hoar, B., Colwell, D., Beckmen, B., Polley, L., Elkin, B., and Hoberg, E. 2012. Parasites of ungulates of Arctic North America and Greenland: A view of contemporary diversity, ecology, and impact in a world under change. *Advances in Parasitology* 79:99–252.

Kutz, S. J., Jenkins, E. J., Veitch, A. M., Ducrocq, J., Polley, L., Elkin, B., and Lair, S. 2009. The Arctic as a model for anticipating, preventing, and mitigating climate change impacts on host parasite interactions. *Veterinary Parasitology* 163:217–228.

Lagacé-Wiens, P. R. S., Dookeran, R., Skinner, S., Leicht, R., Colwell, D. D., and Galloway, T. D. 2008. Human ophthalmomyiasis interna caused by *Hypoderma tarandi*, Northern Canada. *Emerging Infectious Diseases* 14:64–66.

Larter, N. C., Forbes, L. B., Elkin, B., and Allaire, D. G. 2011. Prevalence of *Trichinella* spp. in black bears, grizzly bears, and wolves in the Dehcho Region, Northwest Territories, Canada, including the first report of *T. nativa* in a grizzly bear from Canada. *Journal of Wildlife Diseases* 47:745–749.

Leidenberg, S., Harding, K., and Harkonen, T. 2007. Phocid seals, seal lice, and heartworms: A terrestrial host-parasite system conveyed to the marine environment. *Diseases of Aquatic Organisms* 77:235–253.

MacNeill, A. C., Neufeld, J. L., and Webster, W. A. 1975. Pulmonary nematodiasis in a narwhal. *Canadian Veterinary Journal* 16:53–55.

Mascarelli, P. E., Elmore, S. A., Jenkins, E. J., Alisaukas, R. T., Walsh, M., Breitschwerdt, E.B., and Maggi, R. G. 2015. Vector-borne pathogens in Arctic foxes, *Vulpes lagopus*, from Canada. *Research in Veterinary Science* 99:58–59.

McCarthy, J. and Moore, T. A. 2000. Emerging helminth zoonoses. *International Journal for Parasitology* 30:1351–1360.

Measures, L. N. and Gosselin, J. F. 1994. Helminth parasites of ringed seal, *Phoca hispida*, from northern Quebec, Canada. *Journal of the Helminthological Society of Washington* 61:240–244.

Muzaffar, S. B., Hoberg, E. P., and Jones, I. L. 2005. Possible recent range expansion of *Alcataenia longicervica* (Eucestoda: Dilepididae) parasitic in murrelets *Uria* spp. (Alcidae) into the North Atlantic. *Marine Ornithology* 33:189–191.

Ondreka, D. K. 1989. Prevalence and pathology of nematode infections in the lungs of ringed seals (*Phoca hispida*) of the western Arctic of Canada. *Journal of Wildlife Diseases* 25:218–224.

Polley, L., Hoberg, E., and Kutz, S. 2010. Climate change, parasites, and shifting boundaries. *Acta Veterinaria Scandinavica* 52-S1:1–5.

Rah, H., Chomel, B. B., Kasten, R. W., Hew, C. H., Farver, T. B., Follmann, E. H., Garner, G. W., and Amstrup, S. C. 2005. Serosurvey of selected zoonotic agents in polar bears (*Ursus maritimus*). *Veterinary Record* 156:7–13.

Rausch, R. L. 1974. Tropical problems in the Arctic: Infectious and parasitic diseases, a common denominator. In *Industry and tropical health VIII*, Pelizzon, R. (ed.), Harvard School of Public Health, Cambridge. pp. 63–70.

Rausch R., George, J.C., and Brower, H.K. 2007. Effect of climatic warming on the Pacific Walrus, and potential modification of its helminth fauna. *Journal of Parasitology* 93:1247–1251.

Samuel, W. M. 1989. Locations of moose in northwestern Canada with hair loss probably caused by the winter tick, *Dermacentor albipictus* (Acari: Ixodidae). *Journal of Wildlife Diseases* 25:436–439.

Scott, J. D., Fernando, K., Banerjee, S. N., Durden, L. A., Byrne, S. K., Banerjee, M., Mann, R. B., and Morshed, M. C. 2001. Birds disperse Ixodid (Acari: Ixodidae) and *Borrelia burgdorferi*-infected ticks in Canada. *Journal of Medical Entomology* 38:493–500.

Smith, H. J. 1978. Status of trichinosis in bears in the Atlantic provinces of Canada 1971–1976. *Canadian Journal of Comparative Medicine* 42:244–245.

Thompson, R. C., Boxell, A. C., Ralston, B. J., Constantine, C. C., Hobbs, R. P., Shury, T., and Olson, M. E. 2006. Molecular and morphological characterization of *Echinococcus* in cervids from North America. *Parasitology* 132:439–447.

Thorshaug, K. and Rosted, A. F. 1956. Researches into the prevalence of trichinosis in animals in Arctic and Antarctic waters. *Nordisk Veterinaermedicin* 8:115–129.

Wilkinson, P. R. 1967. The distribution of *Dermacentor* ticks in Canada in relation to bioclimatic zones. *Canadian Journal of Zoology* 45:517–537.

Winger, A. C., Kanck, M., Kristoffersen, R., and Knudsen, R. 2008. Seasonal dynamics and persistence of *Gyrodactylus salaris* in two riverine anadromous Arctic char populations. *Environmental Biology of Fishes* 83:117–123.

Wojcinski, Z. W., Barker, I. K., Hunter, D. B., and Lumsden, H. 1987. An outbreak of schistosomiasis in Atlantic Brant geese, *Branta bernicla hrota*. *Journal of Wildlife Diseases* 23:248–255.

World Health Organization. 2018. Echinococcosis. Available from <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/echinococcosis> [accessed 30 September 2018].

## INCENDIES DANS L'ARCTIQUE :

effets des feux de forêt sur divers écosystèmes aquatiques des Territoires du Nord-Ouest



**Suzanne E. Tank<sup>1\*</sup>, David Olefeldt<sup>2</sup>, William L. Quinton<sup>3</sup>, Christopher Spence<sup>4</sup>, Nicole Dion<sup>5</sup>, Caren Ackley<sup>3</sup>, Katheryn Burd<sup>2</sup>, Ryan Hutchins<sup>1</sup>, and Samson Mengistu<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Département des sciences biologiques, Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta, Canada

<sup>2</sup> Département des ressources renouvelables, Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta, Canada

<sup>3</sup> Centre des sciences de l'eau et des régions froides, Université Wilfrid Laurier, Waterloo, Ontario, Canada

<sup>4</sup> Environnement et Changement climatique Canada, Saskatoon, Saskatchewan, Canada

<sup>5</sup> Ministère des Ressources en eau, gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, Yellowknife, Territoires du Nord-Ouest, Canada

\* [suzanne.tank@ualberta.ca](mailto:suzanne.tank@ualberta.ca)

### Résumé

À l'été 2014, le sud des Territoires du Nord-Ouest (T.N.-O.) a connu une saison de feux de forêt sans précédent, qui a ravagé des zones réparties dans deux écorégions (les plaines de la taïga et le bouclier de la taïga). Ces zones couvraient un paysage composé de pergélisol, de divers types de végétation et de terres incendiées précédemment. Notre étude a été menée dans les régions du Dehcho, du Tłı̨chǫ-Wek'èezhii et de l'Akaitcho des T.N.-O., qui comprennent les zones les plus brûlées de la saison des feux de forêt de 2014. Dans ces régions, nous avons travaillé dans des bassins versants brûlés et non brûlés jumelés sur les plaines de la taïga et le bouclier de la taïga pour examiner les réactions aux feux dans les eaux de surface et les eaux souterraines. Nous avons également examiné la qualité de l'eau dans une série de 50 bassins versants stratifiés en fonction de l'écorégion et de l'historique des feux, et variés en matière de caractéristiques au sein des bassins versants, comme l'étendue des terres humides. Ce plan d'échantillonnage, qui couvre un éventail aussi important que possible de variabilité des paysages, nous permet de différencier les effets des feux de forêt d'autres variables

des paysages qui ont un effet cumulatif sur la santé de l'écosystème aquatique. Bien que les feux de forêt aient eu un effet évident sur la composition chimique des eaux interstitielles, cet effet était moindre à la sortie du cours d'eau et à l'échelle du paysage. Plutôt que d'avoir un effet prédominant sur la qualité de l'eau, les feux de forêt semblent être l'une des nombreuses variables du paysage qui agissent de concert pour déterminer la qualité de l'eau dans le sud des T.N.-O.

### Introduction

À l'été 2014, le sud des Territoires du Nord-Ouest (T.N.-O.) a connu une saison de feux de forêt sans précédent, qui a ravagé des zones réparties dans deux écorégions (la Taïga des Plainnes et la Taïga du Bouclier). Ces zones couvraient un paysage composé de pergélisol, de divers types de végétation et de terres incendiées précédemment (fig. 1, 2). Notre étude a été menée dans les régions du Dehcho, du Wek'èezhii et de l'Akaitcho, qui comprennent les zones les plus largement brûlées de la saison des feux de forêt

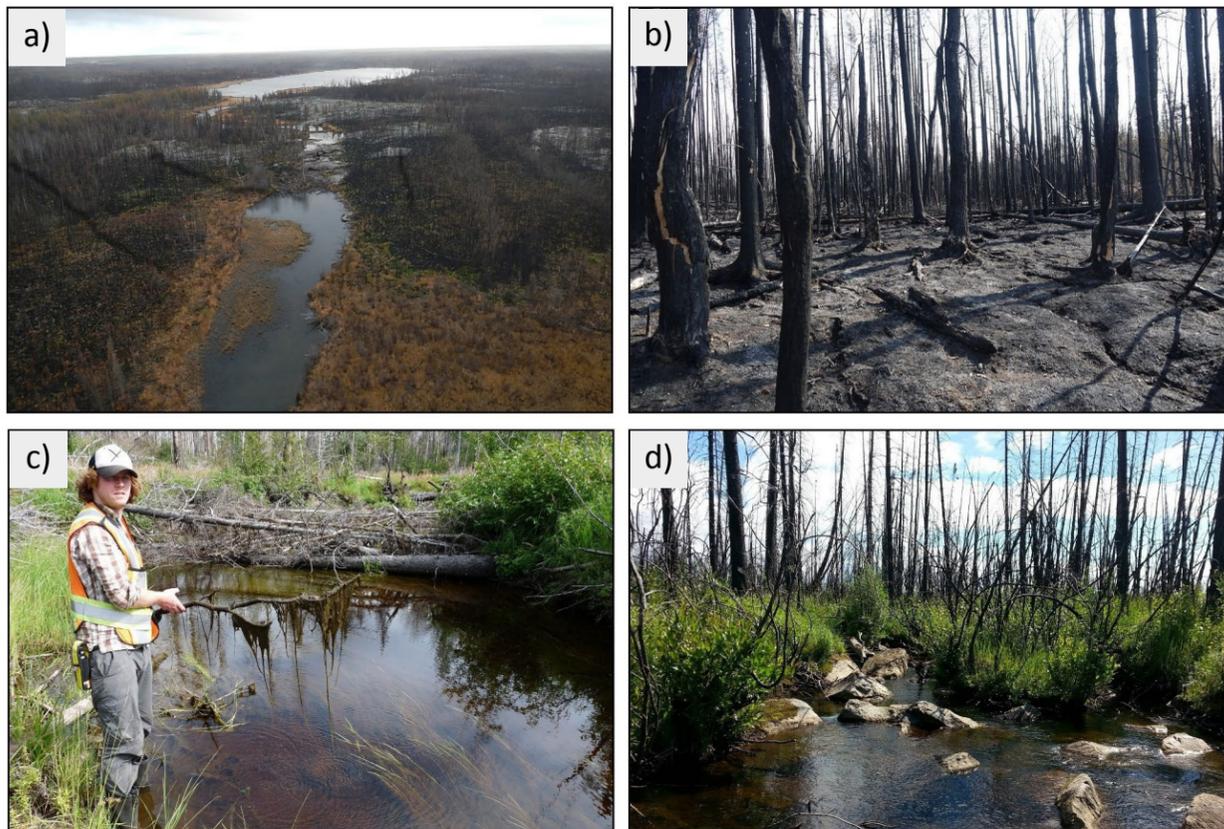
Citation suggérée :

Tank, S.E., Olefeldt, D., Quinton, W.L., Spence, C., Dion, N., Ackley, C., Burd, K., Hutchins, R., and Mengistu, S. 2018. « Incendies dans l'Arctique : effets des feux de forêt sur divers écosystèmes aquatiques des Territoires du Nord-Ouest », *Savoir polaire : Aqhaliat 2018, Savoir polaire Canada*, p. 31-38. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.04

de 2014. Nous avons entrepris une approche de pente étagée — vers le bassin versant — pour comprendre comment les effets du feu se propagent dans les écosystèmes aquatiques, de la plus petite échelle (eaux interstitielles des pentes) à la plus grande échelle (paysage du sud des T.N.-O.). Pour ce faire, nous avons couplé des mesures intensives de la chimie de l'eau interstitielle et de la sortie des cours d'eau dans certains bassins hydrographiques brûlés et non brûlés avec une série de mesures exhaustives dans 50 bassins versants qui variaient selon l'étendue des feux dans les bassins, l'écorégion et des caractéristiques comme l'étendue des terres humides (figure 2). Cette conception nous permet d'explorer les effets mécanistes des feux de forêt sur la qualité de l'eau des cours d'eau, tout en différenciant ces effets d'autres variables du paysage qui ont une incidence cumulative sur les caractéristiques des écosystèmes aquatiques.

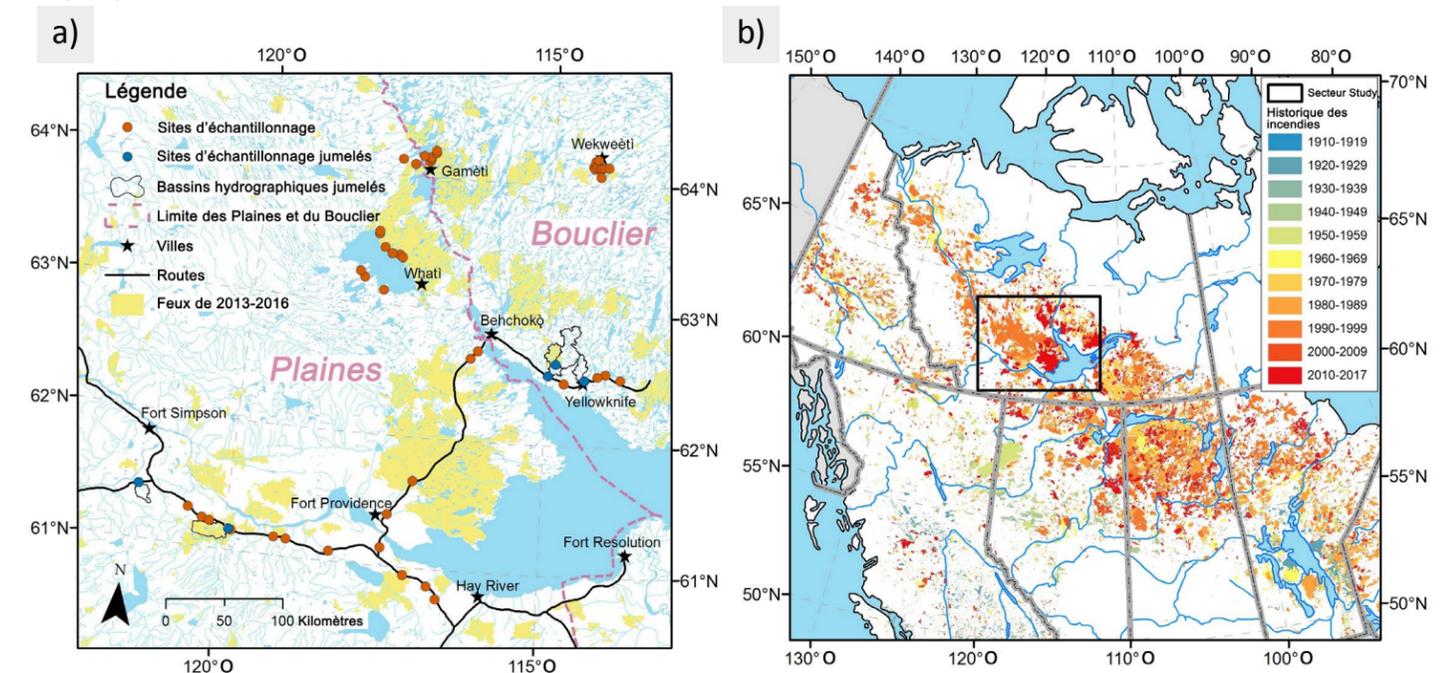
Des recherches antérieures ont montré que les feux de forêt peuvent modifier considérablement la chimie des écosystèmes d'eau douce en pente descendante. Par

*Figure 1: Images of burned regions on the Taiga Shield (a; Boundary Creek) and Taiga Plains (b; Spence Creek); potential nutrient effects downstream of a burn scar (c; algal mats in Notawohka Creek that are not common elsewhere); and recovery from burn two years post-fire (d; stream draining to Lac La Martre, Whati).*



exemple, la combustion de couches organiques et la perte de végétation peuvent augmenter les nutriments (Betts et Jones, 2009; fig. 2) et des toxines comme le mercure (Kelly et coll. 2006), mais entraîner une diminution des matières organiques (Betts et Jones, 2009) dans les écosystèmes aquatiques bénéficiaires, bien que les résultats puissent également être mixtes (p. ex., Olefeldt et coll. 2013). À la suite d'un incendie de forêt, la cicatrice brûlée est également plus sensible au dégel du pergélisol que les zones adjacentes non perturbées, parce que la perte de la canopée des arbres entraîne une plus grande charge d'énergie à la surface du sol, et le sol noirci absorbe également plus d'énergie. L'approfondissement des couches actives qui en résulte peut avoir une incidence supplémentaire sur la chimie de l'eau qui s'écoule de la terre aux cours d'eau, alors que les sols qui étaient auparavant gelés deviennent disponibles pour le contact avec l'eau. Dans la Taïga du Bouclier, les sols se composent généralement d'horizons organiques jusqu'au substrat rocheux, avec de minces sols minéraux. En revanche, les tourbières profondes sont abondantes dans la Taïga des Plaines, mais le sol sous-jacent est composé de tills minéraux épais. Ainsi, on peut s'attendre à ce que l'effet des feux de forêt diffère fondamentalement entre ces deux régions, avec des augmentations des matières organiques où l'approfondissement ou l'allongement des voies

*Figure 2 : (a) Les emplacements d'échantillonnage superposés sur les périmètres d'incendie 2013-2016 (les bassins hydrographiques brûlés et non brûlés jumelés qui ont fait l'objet de nos mesures intensives sont indiqués en bleu; les 50 emplacements d'échantillonnage synoptique sont indiqués en orange) et (b) l'historique d'incendie pour la région, la zone plus détaillée de l'échantillon de référence a) est indiquée par une case.*



d'écoulement permettent l'accès aux sols organiques, et des augmentations des éléments nutritifs inorganiques (p. ex., nitrate et phosphate) et des ions où l'eau est acheminée par des horizons inorganiques. L'approfondissement du dégel peut aussi encourager l'établissement de *taliks* (c.-à-d. une couche de dégel permanent entre la couche active sus-jacente et le pergélisol sous-jacent; Gibson, 2017), ce qui peut permettre l'écoulement de l'eau et des constituants chimiques connexes tout au long de l'année. Ces changements dans la chimie de l'eau associés aux feux de forêt sont importants parce que les changements dans les concentrations de nutriments, de matières organiques, de sédiments et de contaminants dans les cours d'eau peuvent à leur tour modifier le fonctionnement écologique des systèmes d'eau douce (voir, par exemple, Minshall et coll. 2001, Allen et coll. 2005, Kelly et coll. 2006, Smith et coll. 2011, et Silins et coll. 2014).

Bien que l'influence des feux de forêt sur la chimie de l'eau ait été étudiée dans certains systèmes de collines du nord et dans de petits bassins hydrographiques subarctiques, y compris en Alaska (Betts et Jones, 2009; Koch et coll. 2014), il a été mal étudié aux T.N.-O. Cette situation est préoccupante d'un point de vue propre aux T.N.-O., car le paysage subarctique est composé d'une diversité de caractéristiques propres à une région, qui peuvent agir de façon cumulative et distincte pour influencer la chimie de

l'eau en pente descendante. Étant donné que la fréquence des feux de forêt augmente dans le nord du Canada (Kasischke et Turetsky, 2006; Flannigan et coll. 2009), il est impératif que nous entreprenions des évaluations régionales de ses effets sur les composantes aquatiques et d'autres écosystèmes. Ces évaluations ciblées aideront à prédire comment les incendies pourraient influencer les écosystèmes aquatiques dans divers types de paysages et, par conséquent, à comprendre également les changements qui pourraient en résulter sur le plan des ressources naturelles (réseaux trophiques, poissons) et de l'infrastructure (eau potable).

## Methods

Notre projet de *pente en cascade — vers le bassin versant — jusqu'au paysage* s'articule en trois volets. Premièrement, nous avons travaillé à l'intérieur de sites ciblés brûlés et non brûlés sur la Taïga des Plaines (ruisseaux Notawohka et Scotty) et sur la Taïga du Bouclier (ruisseaux Boundary et Baker; figure 2) pour examiner les effets des feux de forêt sur la température du sol, l'accumulation de neige, la profondeur de la table de gel et la composition chimique de l'eau disponible pour le ruissellement vers les cours d'eau (c.-à-d. eau interstitielle mobile). Deuxièmement, nous avons effectué des mesures fréquentes de la chimie des débits dans ces bassins hydrographiques appariés, afin de mieux

comprendre la réponse à petite échelle des bassins versants aux feux de forêt. Enfin, nous avons entrepris une étude synoptique de 50 bassins hydrographiques brûlés et non brûlés (figure 2) en juin-juillet 2016 et en mai-juin 2017, et un sous-ensemble de ces bassins a été échantillonné en août et en septembre 2016. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'une collaboration entre des chercheurs universitaires, des scientifiques du gouvernement fédéral et des scientifiques aquatiques du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (GTNO). Les habitants des collectivités de Jean Marie River, Fort Simpson, Whati, Wekweèti et Gamèti ont également fait partie intégrante de la planification du projet et de la collecte d'échantillons, comme il est indiqué ci-dessous.

Afin de cibler l'eau disponible pour le déplacement vers le bas de la pente, des échantillons d'eau interstitielle ont été prélevés à la nappe phréatique à l'aide d'échantillonneurs MacroRhizon (taille des pores de 0,15 µm; Rhizosphere Research Products, Wageningen, Pays-Bas) (Burd et coll. 2018) ou en filtrant l'eau recueillie à partir des échantillons de puits (Sartorius 0,45 µm). Les échantillons de cette composante ont été analysés à l'Université de l'Alberta, soit dans des laboratoires individuels, soit au Biogeochemical Analytical Service Laboratory (BASL) accrédité par la CALA (ISO 17025). Nous avons prélevé des échantillons hebdomadaires de nos bassins hydrographiques jumelés brûlés et non brûlés pendant quatre semaines après le début du débit au printemps, et chaque mois par la suite en 2015, 2016 et 2017. Ces échantillons de sortie de bassins versants jumelés ont été prélevés au moyen de protocoles établis par la Division des ressources en eau du GTNO, et ont été analysés au laboratoire environnemental de la Taïga du GTNO. Les stations météorologiques préexistantes (ruisseau Baker, non brûlé) et propres au projet (ruisseau Boundary, brûlé) de la Taïga du Bouclier ont recueilli des données sur la température de l'air, l'humidité relative, le rayonnement net, la vitesse du vent et la pluie dans les ruisseaux Baker, Boundary et Scotty.

Pour nos relevés synoptiques de 50 sites, nous avons accédé à tous les cours d'eau possibles situés près des routes 1 et 3, et nous avons également travaillé avec les collectivités de Whati, de Wekweèti et de Gamèti pour accéder aux sites des cours d'eau à partir des lacs sur lesquels ces collectivités sont situées. Les sites d'échantillonnage ont été stratifiés sur des terrains brûlés et non brûlés. Des échantillons chimiques ont ensuite été prélevés selon des protocoles normalisés, filtrés sur le terrain (filtres GF/F prébrûlés Whatman, taille des pores de 0,7 µm) et entreposés dans un lieu réfrigéré,

dans l'obscurité, en vue d'analyses ultérieures au BASL de l'Université de l'Alberta.

Afin de nous permettre de calculer l'exportation des constituants et de normaliser le flux total de ces constituants par zone de bassin hydrographique (c.-à-d. le rendement; Tank et coll. 2012), nous avons également mesuré les rejets à chaque site. Pour les quatre bassins versants jumelés, les données sur les rejets sont recueillies activement par la Division des relevés hydrologiques du Canada aux ruisseaux Scotty et Baker. Dans le cas des ruisseaux Boundary et Notawohka, la décharge a été déterminée à l'aide de transducteurs de pression dans le cours d'eau et à l'aide de courbes de notation des débits jaugés. Pour les 50 sites synoptiques, le point de rejet a été mesuré en même temps que le prélèvement d'échantillons de chimie de l'eau à l'aide d'un vélocimètre à effet Doppler acoustique portatif FlowTracker2 (SonTek Inc., San Diego, CA) et de la méthode de vitesse de surface transversale.

Les limites des bassins versants ont été déterminées à partir d'un modèle d'élévation numérique de 20 mètres (<http://geogratis.gc.ca>) (10.5) et de la boîte à outils sur l'hydrologie. Les coordonnées des points de captage acquises pendant le prélèvement d'échantillons ont été utilisées comme points d'écoulement pour les délimitations. Par la suite, les délimitations de bassins ont été utilisées pour déterminer les caractéristiques des bassins versants, y compris la pente et le pourcentage de couverture de divers types de paysages (couverture terrestre canadienne, vers 2000 [vecteur] – série GeoBase). Les zones marquées par les incendies ont été extraites de la base de données nationale sur les incendies SIG fournie par le Service canadien des forêts.

## Résultats préliminaires

La collaboration entre les partenaires gouvernementaux et la collectivité nous a permis d'obtenir une forte couverture temporelle et spatiale dans nos efforts d'échantillonnage. Notre travail de jumelage des bassins hydrographiques a en outre permis de capter avec succès les débits printaniers initiaux en 2015, qui représentaient la première vague de ruissellement après la saison des feux de forêt de 2014 (fig. 3). L'échantillonnage subséquent a donné lieu à une excellente couverture de la crue printanière en 2016 et en 2017, et la collecte s'est poursuivie pendant chacune des trois années d'échantillonnage dans les cas où les débits se sont poursuivis sous la glace (p. ex., ruisseau Boundary; figure 3). Notre relevé synoptique a facilité la saisie d'une gamme de paysages dans la Taïga des Plaines et la Taïga du

Bouclier. Par exemple, la couverture des lacs et des milieux humides à l'intérieur du bassin versant variait de près de 0 % à plus de 80 % du bassin versant, tandis que la pente moyenne du bassin versant — un important régulateur de la résidence de l'eau dans le paysage — variait selon un gradient important dans chacune des deux écorégions (figure 4). Les bassins hydrographiques touchés par les feux de forêt étaient bien répartis dans ces gradients paysagers et englobaient environ la moitié des bassins hydrographiques étudiés. Les régions du Bouclier et des Plaines différaient dans leur proportion de lacs, de milieux humides et de la pente moyenne du bassin versant, suivant les différences sous-jacentes entre ces régions physiographiques.

Les sites brûlés et non brûlés différaient de toute évidence dans leur chimie de l'eau à l'échelle de la parcelle, mais ces différences semblaient diminuer avec le mouvement dans

le réseau hydrologique (fig. 5). Par exemple, en utilisant le carbone organique dissous (COD) comme espèce chimique modèle, nos résultats montrent des concentrations élevées de COD dans les eaux interstitielles brûlées de la Taïga des Plaines (fig. 5a), mais que ce signal s'atténue à la sortie du bassin versant, où l'augmentation des exportations de COD au cours de la saison entière dans les bassins hydrographiques brûlés par paires était beaucoup plus modeste (fig. 5 b). Parmi les 50 sites synoptiques échantillonnés au milieu de l'été 2016, cette différence disparaît, sans effet prédominant des feux de forêt sur la concentration de COD (figure 5c) dans la grande variété de bassins hydrographiques que nous avons échantillonnés (figure 4). Cette constatation générale d'effets faibles à nuls des feux de forêt à l'échelle synoptique était cohérente pour tous les autres paramètres clés de la qualité de l'eau. Par exemple, les éléments nutritifs, qui stimulent

Figure 3 : Les dates d'échantillonnage (cercles) sont superposées sur les hydrographes de rejet pour les sites de bassins versants appariés afin de montrer la couverture de l'échantillon dans diverses conditions de débit : (a) Les dates d'échantillonnage des ruisseaux Scotty et Notawohka ont été superposées à l'hydrographe du ruisseau Scotty, (b) les dates d'échantillonnage du ruisseau Baker ont été superposées à l'hydrographe du ruisseau Baker (à noter l'échelle logarithmique), et (c) les dates d'échantillonnage du ruisseau Boundary ont été superposées à l'hydrographe du ruisseau Boundary.

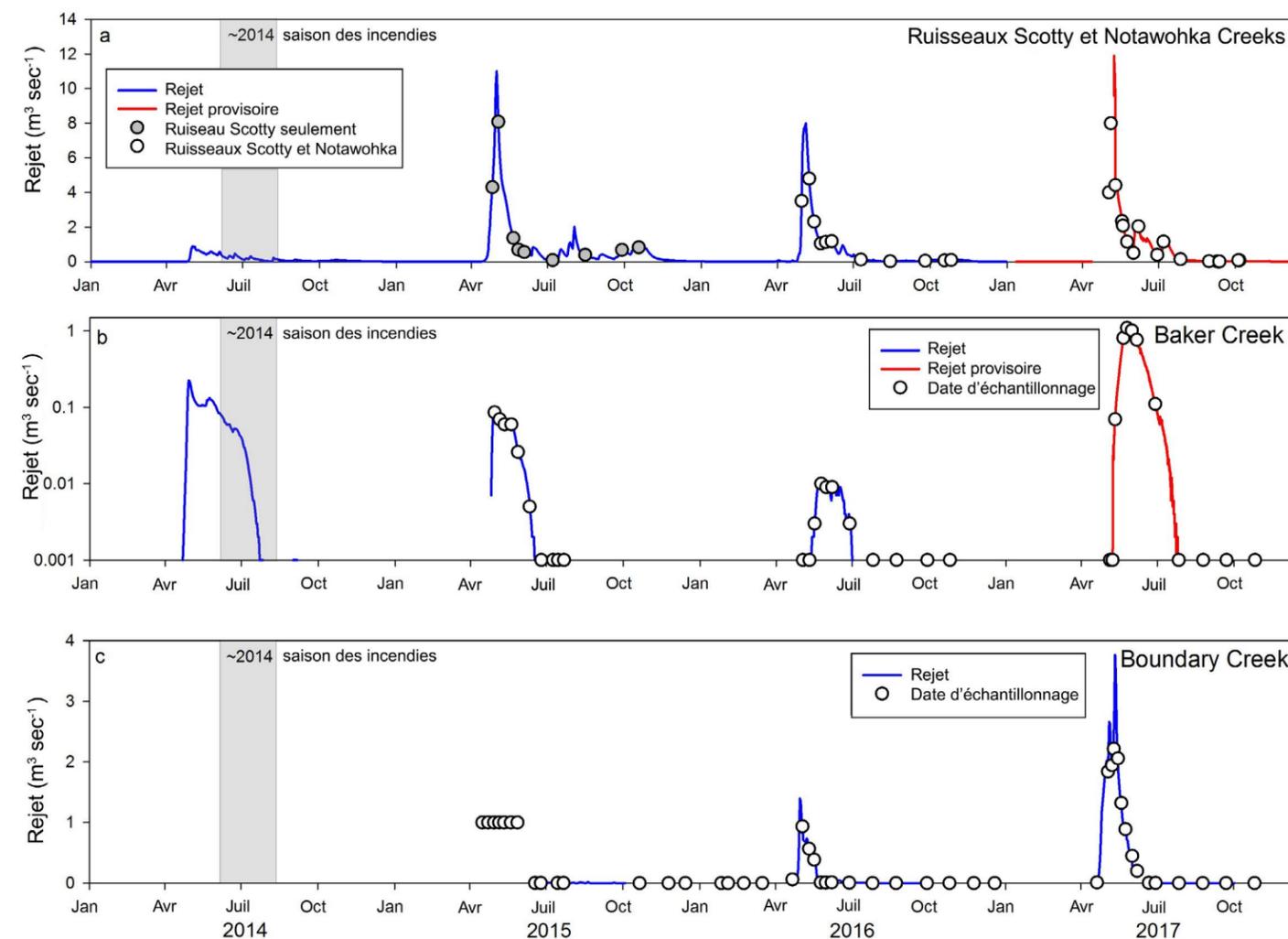
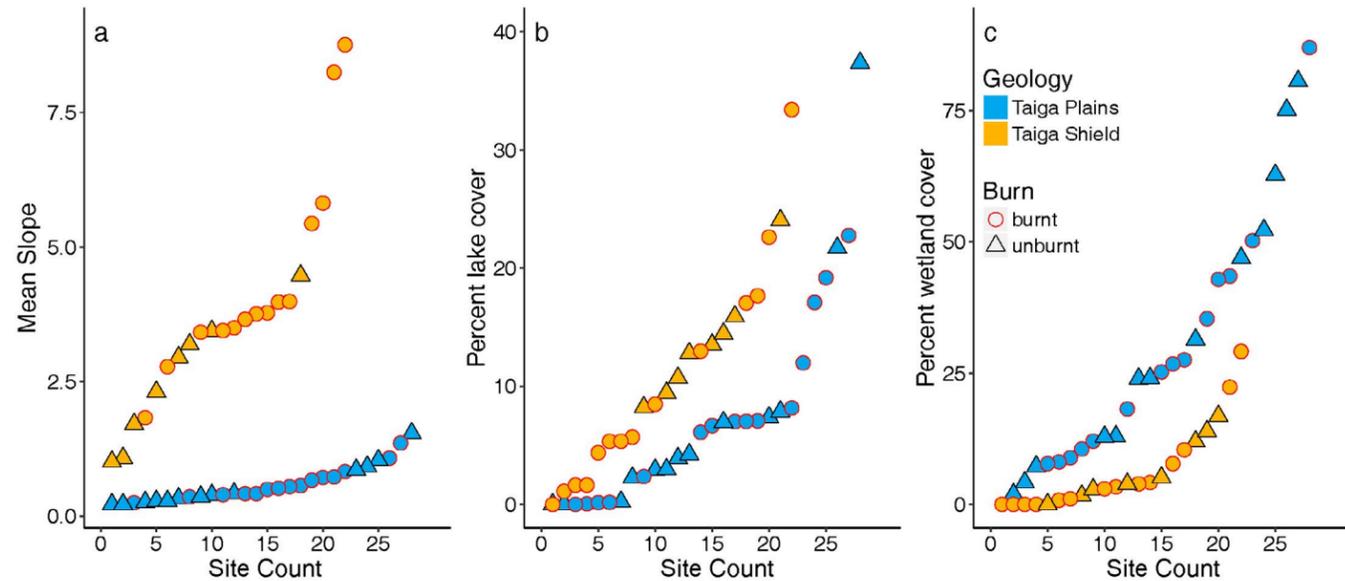


Figure 4 : Répartition des sites d'échantillonnage synoptique dans diverses conditions du paysage (chaque point montre un bassin hydrographique individuel) : (a) pente, (b) pourcentage de la couverture lacustre et (c) pourcentage de la couverture humide pour les sites de la Taïga des Plaines (bleu) et de la Taïga du Bouclier (orange). Dans chaque type de paysage, les sites brûlés sont indiqués par des cercles rouges et les sites non brûlés par des triangles noirs. Les sites d'échantillonnage individuels sont classés selon l'augmentation de la couverture de l'état du paysage dans le bassin versant; noter les différences d'échelle sur l'axe des y.



la production primaire à la base des réseaux trophiques aquatiques (azote total dissous; phosphore total dissous; figures 5 d et 5e), et les ions, qui peuvent indiquer des changements (approfondissement et/ou transition vers le cycle permanent) dans les voies d'écoulement terrestres (en utilisant le calcium comme exemple; figure 5f), n'ont pas montré non plus de différence entre les bassins hydrographiques brûlés et non brûlés. Même si, dans certains cas, il y avait des différences dans les constituants chimiques entre les écorégions (p. ex., figure 5f), les feux de forêt n'ont pas supplanté d'autres caractéristiques variables du paysage pour causer un effet évident sur la chimie de l'eau dans les sites synoptiques que nous avons étudiés.

Il convient de noter que les résultats de l'étude synoptique que nous présentons ont été recueillis dans des conditions de débit relativement faible au milieu de l'été, alors que la connectivité entre les cours d'eau et le paysage peut être faible, et aussi deux étés après la saison de brûlage de 2014 (c.-à-d. pour les échantillons prélevés pendant l'été 2016; la figure 1d montre un bassin typique deux ans après le feu). Nos travaux sur les bassins versants appariés ont indiqué que les constituants, y compris le COD, les ions et certains métaux, étaient élevés au cours de la période de ruissellement printanier immédiatement après le feu (voir, par exemple, les preuves d'une augmentation des nutriments immédiatement après le feu dans la figure 1c). Toutefois, cet effet a été de courte durée. Dans l'ensemble du sud des T.N.-O., il semble que les feux de forêt ne

soient qu'un des nombreux contrôles du paysage sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques, et que cette perturbation n'ait pas d'effet prépondérant sur la qualité de l'eau à l'échelle pluriannuelle.

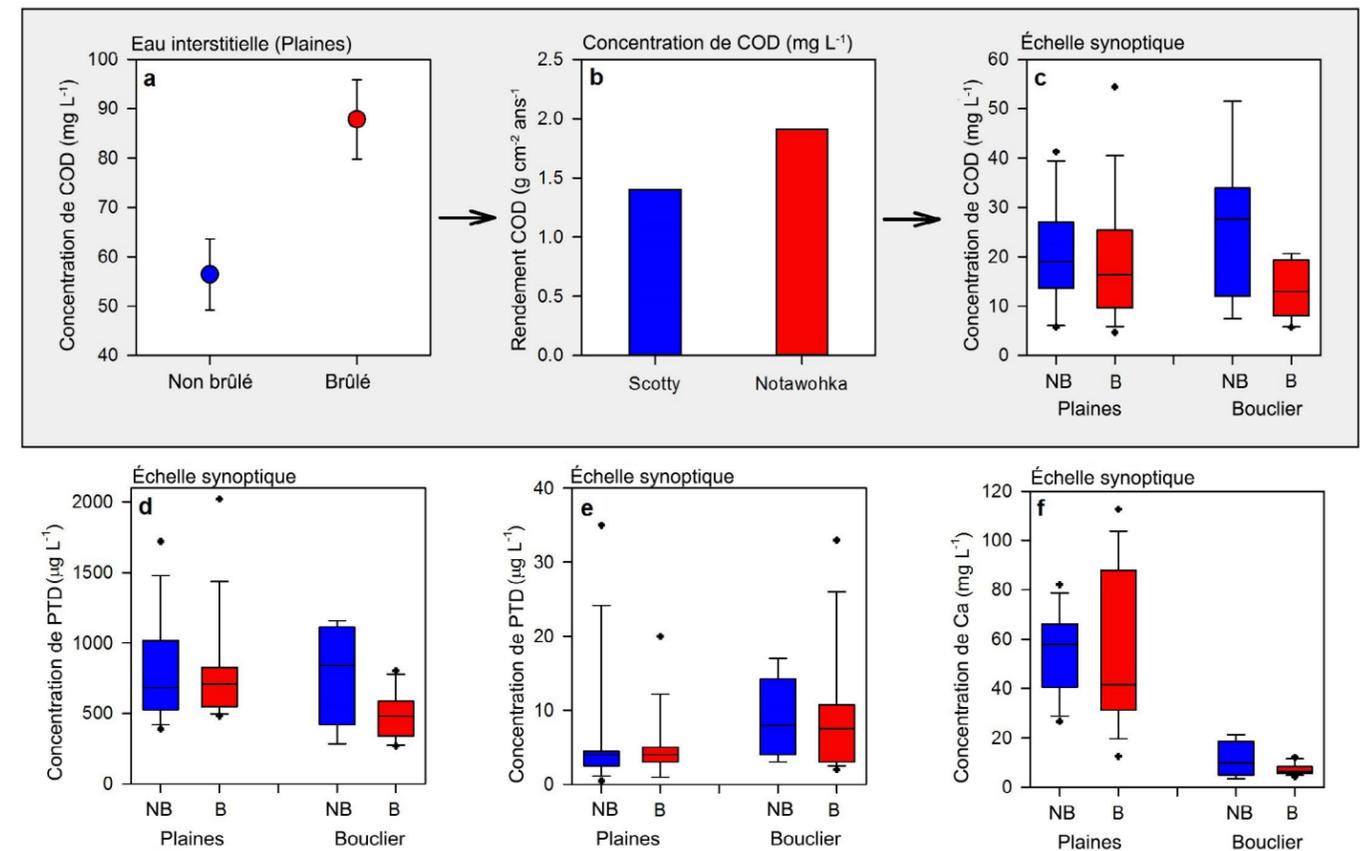
## Conclusions

Les résultats de ce projet indiquent que l'incendie n'a pas d'effet permanent sur la chimie de l'eau en aval dans les cours d'eau du sud des T.N.-O. Il s'agit toutefois d'un résultat quelque peu contradictoire avec les études menées dans les régions boréales non gelées de l'Alaska subarctique et de Alberta, qui ont montré clairement les effets des feux de forêt sur les éléments nutritifs, les matières organiques et les toxines des cours d'eau (Betts et Jones, 2009; Kelly et coll. 2006). Cette recherche pourrait plutôt s'ajouter à d'autres études émergentes qui montrent que les écosystèmes aquatiques sont relativement résilients aux effets des feux de forêt dans leurs bassins hydrographiques (p. ex., Lewis et coll. 2014), et suggère que, sur des échelles de temps annuelles, les effets des feux de forêt sont relativement faibles comparativement à d'autres facteurs spatialement variables de la chimie de l'eau, et donc difficiles à différencier de la variabilité contextuelle.

## Préoccupations pour la collectivité

La saison des feux de forêt de 2014 a brûlé 3,4 millions d'hectares de territoire (figure 1). Comme la zone de perturbation se trouvait en grande partie dans le sud des

Figure 5 : Concentrations et rendements constituants (exportations normalisées par zone) dans les sites brûlés (B) et non brûlés (NB), pour l'échantillonnage à des échelles allant des eaux interstitielles au vaste paysage : (a) concentration d'eau interstitielle de carbone organique dissous (COD) dans les zones brûlées et non brûlées du bassin versant du ruisseau Scotty; (b) taux de COD à la sortie du bassin versant du ruisseau Scotty (>99,8 % non brûlé) et du ruisseau Notawohka (>90 % brûlé) au cours de la totalité de la saison 2016; (c) concentrations de COD de l'échelle synoptique des échantillons recueillis dans les 50 bassins versants au cours de l'été 2016; et (d, e, f) azote total dissous (ATD) de l'échelle synoptique, phosphore total dissous (PTD), et concentrations de calcium (Ca) dissous, entièrement prélevés lors de l'été 2016.



T.N.-O., plus densément peuplé, les incendies ont touché la majorité des habitants des T.N.-O., entraînant la fermeture de routes, de multiples évacuations de collectivités et des préoccupations importantes quant aux effets de cette perturbation catastrophique sur l'environnement et la santé humaine (Baltzer et Johnstone, 2015). Ces préoccupations ont mené à un atelier de collaboration qui a réuni des scientifiques et des gestionnaires du gouvernement territorial, des scientifiques universitaires et des scientifiques du gouvernement fédéral. Cet atelier fut à l'origine des travaux qui ont mené au présent rapport. Nos recherches ont été menées en collaboration directe avec le personnel de la Division des ressources en eau du GTNO, qui a contribué à la conception de l'étude et a joué un rôle clé dans les efforts déployés sur le terrain. Leur participation centrale à ce travail a été essentielle pour s'assurer que les priorités territoriales sont respectées dans le cadre de cette recherche.

Nous avons utilisé diverses avenues afin d'établir des liens entre notre recherche et les collectivités locales.

Notre échantillonnage dans la région Tłı̄chǫ (étés 2016 et 2017) a été facilité par les directeurs de la collectivité et s'est déroulé en collaboration avec des guides locaux qui ont joué un rôle déterminant dans la prise de décisions relatives à la sélection des sites, en plus de nous aider à accéder aux terres locales. Des travaux ont été réalisés dans la région du Dehcho en collaboration avec des membres de la Première Nation de Jean Marie River, qui ont participé à l'échantillonnage d'un cours d'eau local (ruisseau Spence) abondamment brûlé pendant l'incendie de 2014. Nous avons constaté que ces partenariats sont essentiels pour veiller à ce que les efforts d'échantillonnage ciblent adéquatement les secteurs préoccupants. Et ces liens se poursuivent également dans les projets connexes.

## Remerciements

Cette recherche n'aurait pas eu lieu sans l'aide des directeurs de collectivités de la région Tłı̄chǫ (April Alexis et Shirley Dokum, Whatı̄; Gloria Ekendia-Gon, Gamèti; Adeline Football, Wekweèti) et du chef Gladys Norwegian de Jean

Marie River. Ces personnes ont sollicité des membres de la collectivité qui ont joué un rôle déterminant dans l'utilisation des terres locales et nous ont aidés à repérer les cours d'eau dans chacune des collectivités où nous avons effectué ce travail. Wayne et Lynn McKay ont également joué un rôle crucial dans l'échantillonnage par paires sur la Taïga des Plaines. Dans la région Tłjchq, nous avons eu la chance de pouvoir compter sur Lloyd Bishop (Whatì), Alfred Arrowmaker (Gamètì) et William Quitte (Wekweètì), qui ont participé directement à nos efforts d'échantillonnage.

À Jean Marie River, nous avons eu la chance d'avoir Derek Norwegian, Bill Norwegian, Douglas Norwegian, Richard Sanguéz, Stanley Sanguéz et Borris Sanguéz, qui ont participé à nos efforts d'échantillonnage. Le financement de cette recherche provient de Savoir polaire Canada, du Programme de surveillance des effets cumulatifs, du Campus Alberta Innovates Program et du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, ainsi que d'un soutien en nature du GTNO.

## Références

Allen, E.W., Prepas, E.E., Gabos, S., Strachan, W.M.J., and Zhang, W.P. 2005. Methyl mercury concentrations in macroinvertebrates and fish from burned and undisturbed lakes on the Boreal Plain. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62:1963–1977. doi: 10.1139/f05-103.

Baltzer, J. and Johnstone, J. 2015. The 2014 NWT fires: Developing a research framework. Workshop report provided to the Government of the Northwest Territories. 11 pp.

Betts, E.F. and Jones, J.B. Jr. 2009. Impact of wildfire on stream nutrient chemistry and ecosystem metabolism in boreal forest catchments of interior Alaska. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 41:407–417. doi: 10.1657/1938-4246-41.4.407.

Burd, K., Tank, S.E., Dion, N., Quinton, W.L., Spence, C., Tanentzap, A.J., and Olefeldt, D. 2018. Seasonal shifts in export of DOC and nutrients from burned and unburned peatland-rich catchments, Northwest Territories, Canada. *Hydrology and Earth System Science* 22:4455–4472. Available at <https://doi.org/10.5194/hess-22-4455-2018>, 2018.

Flannigan, M., Stocks, B., Turetsky, M., and Wotton M. 2009. Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest. *Global Change Biology* 15:549–560. doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01660.x.

Gibson, K. 2017. Long-term effects of wildfire on permafrost stability and carbon cycling in northern peatlands. M.Sc. thesis, University of Alberta. 98 pp.

Kasischke, E.S. and Turetsky, M.R. 2006. Recent changes in the fire regime across the North American boreal region: Spatial and temporal patterns of burning across Canada and Alaska. *Geophysical Research Letters* 33:L09703. doi: 10.1029/2006gl025677.

Kelly, E.N., Schindler, D.W., St. Louis, V.L., Donald, D.B., and Vlacicka, K.E. 2006. Forest fire increases mercury accumulation by fishes via food web restructuring and increased mercury inputs. *Proceedings of the National Academy of Science* 103:19380–19385. doi: 10.1073/pnas.0609798104.

Koch, J.C., Kikuchi, C.P., Wickland, K.P., and Schuster, P. 2014. Runoff sources and flow paths in a partially burned, upland boreal catchment underlain by permafrost. *Water Resources Research* 50:8141–8158. doi: 10.1002/2014wr015586.

Lewis, T.L., Lindberg, M.S., Schmutz, J.A., and Bertram, M.R. 2014. Multitrophic resilience of boreal lake ecosystems to forest fires. *Ecology* 95:1253–1263.

Minshall, G.F., Brock, J.T., Andrews, D.A., and Robinson, C.T. 2001. Water quality, substratum, and biotic responses of five central Idaho (USA) streams during the first year following the Mortar Creek fire. *International Journal of Wildland Fire* 10:185–199. doi: 10.1071/wf01017.

Olefeldt, D., Devito, K.J., and Turetsky, M.R. 2013. Sources and fate of terrestrial dissolved organic carbon in lakes of a Boreal Plains region recently affected by wildfire. *Biogeosciences* 10:6247–6265. doi: 10.5194/bg-10-6247-2013.

Silins, U., Bladon, K.D., Kelly, E.N., Esch, E., Spence, J.R., Stone, M., et al. 2014. Five-year legacy of wildfire and salvage logging impacts on nutrient runoff and aquatic plant, invertebrate, and fish productivity. *Ecohydrology* 7:1508–1523. doi: 10.1002/eco.1474.

Smith, H.G., Sheridan, G.J., Lane, P.N.J., Nyman, P., and Haydon S. 2011. Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. *Journal of Hydrology* 396:170–192. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.10.043.

Tank, S.E., Frey, K.E., Striegl, R.G., Raymond, P.A., Holmes, R.M., McClelland, J.W., et al. 2012. Landscape-level controls on dissolved carbon flux from diverse catchments of the circumboreal. *Global Biogeochemical Cycles* 26:GB0E02. doi: 10.1029/2012GB004299.

# PROGRAMME D'ANALYSE COMPARATIVE DE L'ÉCOLOGIE MARINE DE L'ARCTIQUE :

surveillance de la biodiversité au moyen de la plongée sous-marine



Jessica Schultz<sup>1</sup>, Jeremy Heywood<sup>1\*</sup>, Donna Gibbs<sup>1</sup>, Laura Borden<sup>1</sup>, Danny Kent<sup>1</sup>, Mackenzie Neale<sup>1</sup>, Crystal Kulcsar<sup>1</sup>, Ruby Banwait<sup>1</sup>, and Laura Trethewey<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ocean Wise Conservation Association, Vancouver, Colombie-Britannique, Canada

\* [jeremy.heywood@ocean.org](mailto:jeremy.heywood@ocean.org)

L'Ocean Wise Conservation Association (OWCA, [ocean.org](http://ocean.org)) est une organisation mondiale de conservation des océans qui se consacre à la protection et à la restauration des océans de la planète.

## Résumé

En s'appuyant sur le catalogue des données recueillies au cours des relevés écologiques du littoral en 2015 et 2016, le programme d'analyse comparative de l'écologie marine de l'Arctique (Arctic Marine Ecology Benchmarking Program ou AMEBP) de 2017 a permis de recueillir des données sur la biodiversité et l'abondance des algues marines, des invertébrés et des espèces de poissons au moyen de la plongée sous-marine à des sites choisis près de Cambridge Bay, au Nunavut, à l'été 2017. Le projet a servi d'étude pilote pour évaluer les modes de relevé de plongée sous-marine (transect c. taxon) et formuler des recommandations pour les futurs efforts de recherche et de surveillance. Le présent document est un résumé du rapport final du programme d'analyse comparative de l'écologie marine de l'Arctique de 2017 (disponible sur demande, en anglais seulement).

## Introduction

Des données de base fiables et une surveillance continue sont essentielles pour bien comprendre les changements en cours dans l'Arctique canadien, et ainsi élaborer des stratégies de gestion et des plans de conservation efficaces. L'écosystème côtier est un élément clé de l'écosystème

marin dans son ensemble, parce que c'est à cet endroit que l'impact humain le plus direct, comme la navigation de plaisance, la chasse et la récolte, se fait le plus sentir. Cependant, il y a eu très peu de relevés de la flore et de la faune marines côtières dans l'Arctique canadien par plongée sous-marine, et elles sont de plus en plus exposées aux risques liés aux changements climatiques, aux espèces envahissantes et à l'augmentation de l'activité humaine. Ce projet comble cette lacune importante en établissant des données de référence sur la biodiversité et en amorçant une surveillance à long terme des zones littorales près de Cambridge Bay, au Nunavut.

## Méthodes

### Plongée autonome

Les plongées ont été effectuées par des plongeurs Ocean Wise détenant une certification niveau II de plongeurs scientifiques, conformément à la norme de pratique pour la plongée scientifique de l'Association canadienne pour les sciences sous-marines ([caus.ca](http://caus.ca)) et ont été planifiées à l'aide des tables de plongée à l'air de l'Institut de médecine environnementale pour la défense en tant que plongées

Citation suggérée :

Schultz, J., Heywood J., Gibbs, D., Borden, L., Kent, D., Neale, M., Kulcsar, C., Banwait, R., and Trethewey, L. 2018. « Programme d'analyse comparative de l'écologie marine de l'Arctique : surveillance de la biodiversité au moyen de la plongée sous-marine » *Savoir polaire : Aqhaliat* 2018, *Savoir polaire Canada*, p. 39-45. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.05

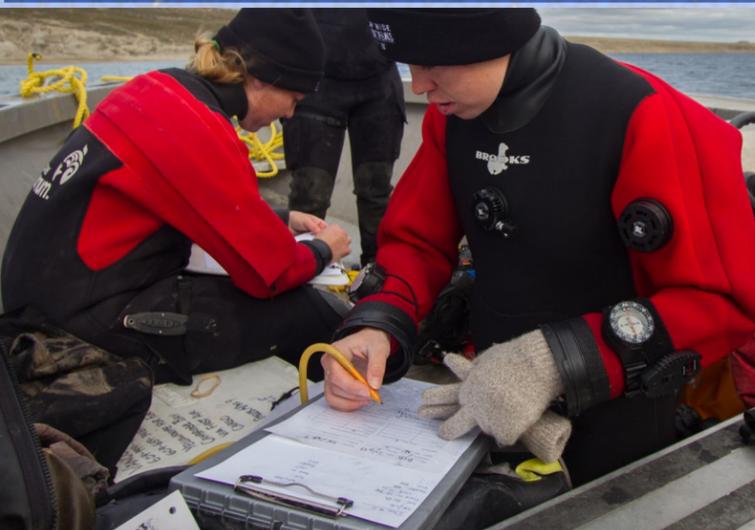


Figure 1 : Les membres de l'équipe de plongée Ocean Wise prennent des notes après une plongée d'étude.

sans décompression en utilisant de l'air comprimé. Chaque plongeur a effectué au maximum deux plongées par jour. Les plongées répondaient en outre aux exigences du Règlement sur la santé et la sécurité au travail du Nunavut : Partie 20, Opérations de plongée. Le projet comprenait une combinaison de plongée de rivage et de plongée en mer.

### Études comparatives (plongées transectales)

Les sites appropriés ont été sélectionnés au hasard à partir d'une liste de sites déjà explorés. Deux sites de chacune des trois zones d'échantillonnage — Cambridge Bay, le bras ouest et les îles Finlayson — ont été sélectionnés (tableau 1).

Quatre plongées d'étude comparative en transect (figure 2) ont été effectuées à chacun des six sites. Les transects étaient centrés sur les coordonnées du site et suivaient un relèvement sur le contour de 10 mètres de profondeur parallèle à la côte (aussi près que possible). Chaque plongée transectale consistait en un transect de poisson, un vaste relevé d'invertébrés et d'algues et un relevé de l'habitat, selon les méthodes des protocoles de surveillance

Tableau 1 : Sites pilotes de surveillance des relevés près de Cambridge Bay.

| Nom du site                   | Secteur        | Substrat                  | Latitude | Longitude |
|-------------------------------|----------------|---------------------------|----------|-----------|
| À l'ouest de l'île 5          | Cambridge Bay  | boue, blocs de délestage  | 69.0687  | -105.1967 |
| Intérieur de Cape Colborne    | Cambridge Bay  | sable, limon, boue, talus | 68.9668  | -105.2304 |
| Ancien lieu de camping        | West Arm       | limon, rochers, plat      | 69.1104  | -105.0761 |
| West Arm BCB                  | West Arm       | schiste en pente, boue    | 69.1093  | -105.1717 |
| Starvation Cove Point         | Îles Finlayson | sable, galets             | 69.1492  | -105.9233 |
| Île sans nom 1, extrémité sud | Îles Finlayson | galets, rochers           | 69.0938  | -105.8989 |

sublittorale de la réserve du parc national Pacific Rim (Jennifer Yakimishyn : communication personnelle, 2015), à l'exception du fait que les taxons consignés étaient propres au Nunavut (tableau 2).

### Études itinérantes sur la biodiversité (plongées taxonomiques)

Au moins une plongée taxonomique a été effectuée à chaque site du transect. Les plongeurs naviguaient en utilisant la topographie du fond, consignaient tous les organismes observés (au niveau taxinomique le plus bas possible) et estimaient l'abondance approximative de chacun.



Figure 2 : Le plongeur Ocean Wise effectue la plongée transectale.

### Analyse des données

#### Composition de la communauté et caractéristiques de l'habitat

Nous avons calculé l'écart moyen et l'écart-type des comptes de poissons, d'invertébrés et d'algues pour chaque étude de transect. La composition des espèces a été résumée en comparant les trois zones d'échantillonnage à l'aide d'une analyse de similarité (ANOSIM; Primer 6) des

données sur l'abondance transformée de la racine carrée. Les caractéristiques de l'habitat dans les trois zones ont été comparées à l'aide des proportions moyennes et de l'écart-type. Nous avons aussi totalisé le nombre de chaque espèce observée à chaque site à l'aide de la méthode de la plongée taxonomique et calculé l'abondance moyenne selon les méthodes de Marliave et coll. 2011.

### Analyse de puissance du plan d'échantillonnage de l'analyse comparative

Les oursins verts (*Strongylocentrotus droebachiensis*) ont été utilisés comme espèce d'étude de cas pour évaluer le plan d'échantillonnage de l'étude comparative comme outil de surveillance écologique à long terme. Les oursins sont une espèce indicatrice abondante et importante sur le plan écologique (Coyer et coll. 1993; Estes et Duggins 1995; Chen et Hunter 2003; MPO 2013). En suivant les méthodes de Green et McLeod 2016, nous avons effectué une analyse linéaire de la puissance du modèle à effets mixtes

pour évaluer la puissance du plan d'échantillonnage. En tout, deux types d'analyses de puissance ont été effectuées au moyen des résultats du modèle : le premier visait à déterminer le nombre d'années de surveillance nécessaires selon le plan de sondage actuel (six sites comprenant quatre transects chacun) afin de détecter un changement de 25 % au sein de la population d'oursins avec 80 % de puissance, et le deuxième visait à déterminer le nombre d'études requises pour détecter un changement de 25 %, 50 % et 2xET au sein de la population d'une année à l'autre (c.-à-d. selon deux ans d'échantillonnage; Munkittrick et coll. 2009).

### Comparaison des méthodes de plongées transectales et taxonomiques

Pour illustrer les différentes applications possibles de chaque méthode, les courbes d'accumulation des espèces des transects de référence ont été comparées à celles de la technique de plongée taxonomique. Les courbes

Tableau 2 : L'abondance moyenne des taxons dénombrés dans des transects de 60 m<sup>2</sup> (n = 24) à six sites de Cambridge Bay, par ordre d'abondance.

| Nom scientifique                         | Nom commun                   | Abondance moyenne | Écart-type |
|--|------------------------------|-------------------|------------|
| <i>Hiatella arctica</i>                  | Saxicave arctique            | 520.6             | 725.4      |
| <i>Strongylocentrotus droebachiensis</i> | Oursins verts                | 430.6             | 583.6      |
| <i>Pachycerianthus borealis</i>          | Anthozoaire                  | 223.2             | 330.7      |
| Divers                                   | Polychètes non sessiles      | 12                | 18.3       |
| <i>Utricina</i> spp.                     | Anémones Utricina            | 11.7              | 17.5       |
| <i>Hormathia</i> spp.                    | Anémone noduleuse            | 8.9               | 23.1       |
| <i>Psolus fabricii</i>                   | Holothurie écarlate          | 2.4               | 4.3        |
| <i>Buccinum</i> spp.                     | Buccin                       | 1.1               | 2.3        |
| <i>Dendronotis</i> spp.                  | Nudibranches                 | 0.8               | 2.7        |
| Cottoidea                                | Chaboisseau                  | 0.8               | 0.9        |
| <i>Hyas coarctatus</i>                   | Crabe violon                 | 0.6               | 1          |
| Divers                                   | Ascidies solitaires          | 0.6               | 1.1        |
| Stichaeidae                              | Stichées                     | 0.5               | 0.9        |
| Divers                                   | Algues rouges lamellées      | 0.3               | 0.5        |
| <i>Cucumaria frondosa</i>                | Concombre de mer             | 0.2               | 0.6        |
| <i>Icasterias panopla</i>                | Étoile de mer rouge épineuse | 0.2               | 0.6        |
| <i>Saccharina latissima</i>              | Laminaire sucrée             | 0.2               | 0.5        |
| Divers                                   | Némertes non sessiles        | 0.2               | 0.5        |
| <i>Lebbeus polaris</i>                   | Crevettes polaires           | 0.1               | 0.4        |
| <i>Urasterias lincki</i>                 | Étoile de mer plumeuse       | 0.1               | 0.3        |
| Divers                                   | Nudibranches doridiens       | 0                 | 0.2        |
| Zoarcidae                                | Lycodes                      | 0                 | 0.2        |

d'accumulation des espèces ont été établies en ordonnant des relevés chronologiques, puis en traçant le nombre cumulatif d'espèces détectées à l'aide de chaque relevé supplémentaire pour les relevés par transect et les relevés itinérants de la biodiversité.

## Résultats et discussion

### Études comparatives (plongées transectales)

#### Composition de la communauté et caractéristiques de l'habitat

Les taxons les plus abondants étaient la saxicave arctique, les oursins verts et les anthozoaires (tableau 2). Il faut interpréter avec prudence l'abondance de la saxicave arctique, car l'espèce était difficile à identifier lorsqu'elle était enfouie dans les sédiments.

Dans l'ensemble, il n'y avait pas de différence dans la composition de la communauté entre les sites de Cambridge Bay, du bras ouest et des îles Finlayson (ANOSIM :  $R = 0,557$ ,  $p = 0,10$ ). L'abondance moyenne d'invertébrés et d'algues était plus élevée dans les îles Finlayson que dans les deux autres régions, mais l'abondance des poissons était faible (moins de deux individus par  $60 \text{ m}^2$ ) dans toutes les régions (figure 3).

L'habitat de la plupart des sites était caractérisé par des boues ou des sédiments de faible complexité et de faible relief. À tous les sites, la plupart des points d'intersection n'avaient aucune couverture organique ( $84,4 \% \pm 14,3 \text{ ET}$ ) et présentaient une complexité d'habitat en douceur (résultat = 0;  $70,8 \% \pm 30,8 \text{ ET}$ ). Toutefois, les sites des îles Finlayson contenaient proportionnellement moins de sédiments que les autres zones, une plus grande proportion de galets et de rochers, et une plus faible proportion de points de complexité zéro ( $38,3 \% \pm 25,4 \text{ ET}$ ; figure 4). Presque tous les points le long de tous les transects avaient une valeur de décharge inférieure à 1 m.

Les différences dans l'abondance de poissons, d'invertébrés et d'algues entre les îles Finlayson et les autres régions pourraient être attribuables aux différences de caractéristiques de l'habitat. Les îles Finlayson sont plus exposées au courant de marée que les deux autres zones, exposant ainsi une plus grande proportion d'habitats de substrats durs, comme les galets et les rochers.

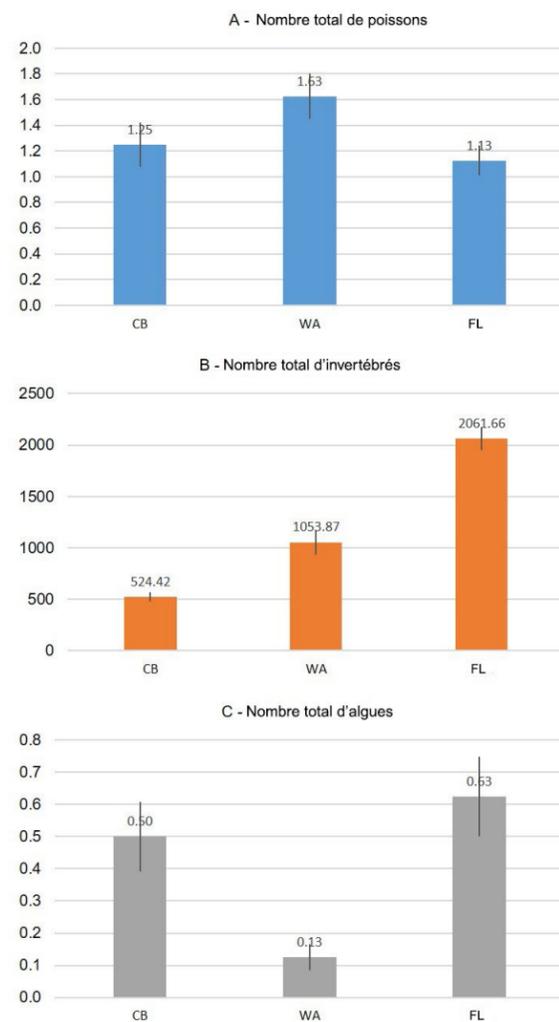


Figure 3 : L'abondance moyenne de poissons (A), d'invertébrés (B) et d'algues (C) a été dénombrée le long de transects de  $60 \text{ m}^2$  dans trois zones près de Cambridge Bay (CB = Cambridge Bay; BO = Bras ouest; IF = îles Finlayson).  $n = 8$  transects dans chaque zone. Les barres d'erreur représentent l'erreur type.

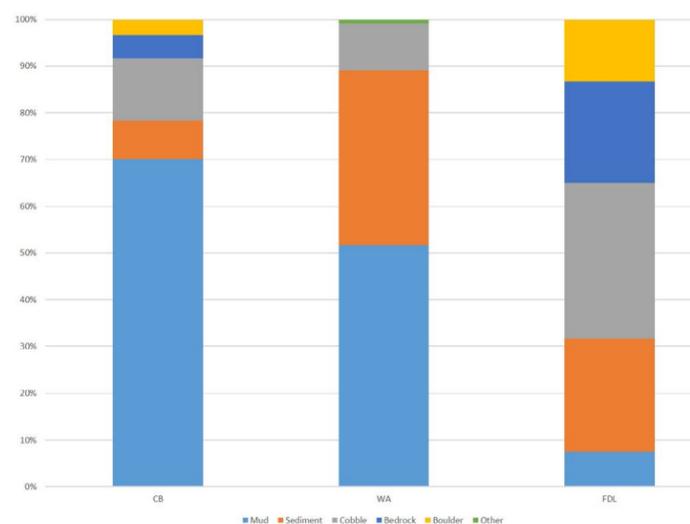


Figure 4 : Proportion du type de substrat pour trois zones près de Cambridge Bay (CB = Cambridge Bay; BO = Bras ouest; IF = îles Finlayson).  $n = 8$  relevés pour chaque région.

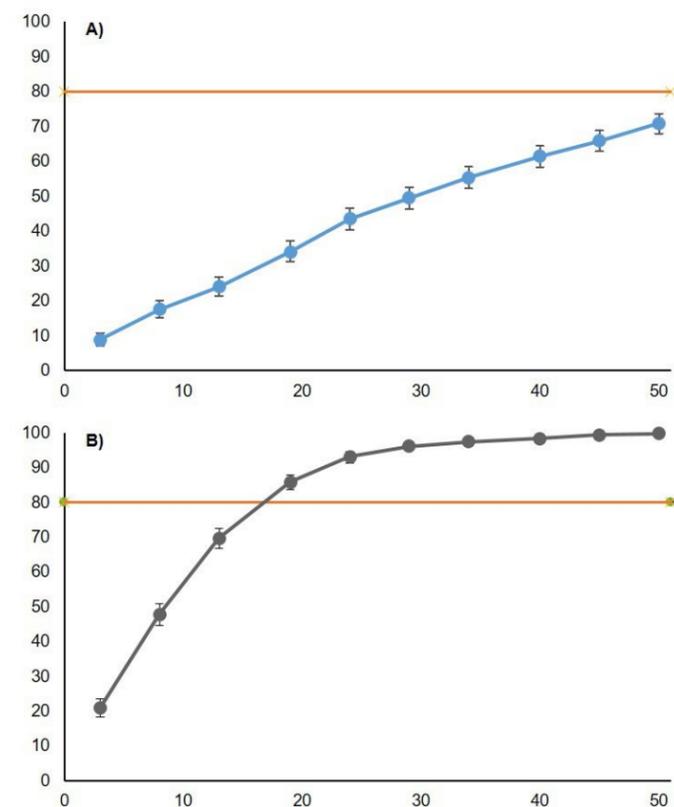


Figure 5 : La puissance estimée pour détecter (a) un changement de 25 % et (b) un changement de 50 % de la population d'oursins verts pour un nombre donné de sites de relevé (avec quatre transects par site) à l'aide d'un modèle linéaire d'effets mixtes (ensemble R « simr »; Green et McLeod 2016). Les lignes pointillées horizontales représentent 80 % de l'énergie, ce qui constitue une cible commune dans les études écologiques (Munkittrick et coll. 2009).

### Analyse de la puissance

Le plan d'échantillonnage utilisé dans cette étude pilote conviendrait pour détecter de grands changements (p. ex., 50 % ou 2 x ET) de l'abondance des espèces individuelles d'une année à l'autre, mais une plus petite ampleur des effets (p. ex., 25 %) exigerait plusieurs années d'échantillonnage et/ou plus de sites de relevé. En utilisant six sites (24 transects au total), il faudrait cinq ans d'échantillonnage pour atteindre une puissance supérieure à 80 % afin de détecter une variation de 25 % de la population d'oursins verts (la puissance à  $n =$  cinq ans est de  $97,8 \% + 1,3 \%$  [IC à 95 %]). Afin de détecter un changement de 25 % sur deux ans, il faudrait augmenter le nombre de sites à un niveau déraisonnablement élevé (fig. 5a). Toutefois, si un effet plus important est acceptable (p. ex., un changement de 50 % de la population), environ 17 sites seraient adéquats (figure 5 b). L'approche la plus appropriée pour la surveillance future dépendra des objectifs de surveillance

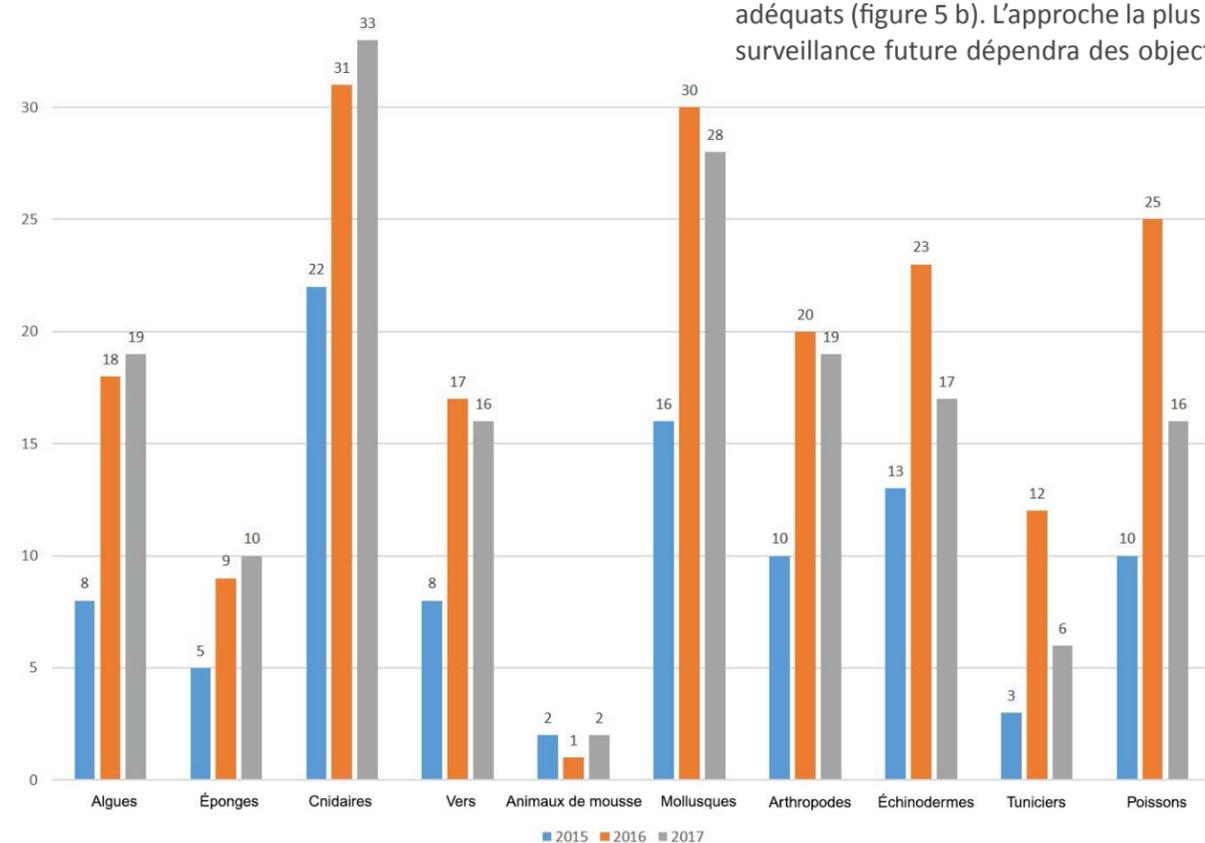


Figure 6 : Comparaison du nombre d'espèces observées au cours des enquêtes écologiques littorales de 2015 (6 plongées), des enquêtes écologiques littorales de 2016 (14 plongées) et des AMEBP de 2017 (18 plongées).

à long terme et des espèces d'intérêt. Les analyses de puissance devraient de plus être reprises pour certaines espèces d'intérêt afin de s'assurer que le programme de surveillance atteint des objectifs précis en matière de puissance et d'ampleur de l'effet.

### Études itinérantes sur la biodiversité (plongées taxonomiques)

En tout, dix-huit études itinérantes sur la biodiversité (plongées taxonomiques) ont été entreprises, au cours desquelles 161 espèces ont été recensées (figure 6), dont 20 qui n'avaient pas été répertoriées au cours des enquêtes écologiques littorales de 2015 ou de 2016 (rapports finaux des enquêtes écologiques littorales de 2015 et de 2016 disponibles sur demande). L'observation d'espèces auparavant non observées suggère qu'il faut poursuivre ce type de travail taxonomique.

### Comparaison des méthodes de plongées transectales et taxonomiques

La courbe d'accumulation des espèces (figure 7) a maintenu une trajectoire ascendante pour les relevés itinérants de la biodiversité, démontrant que la richesse des espèces continuerait de grimper avec des relevés supplémentaires, tandis que l'accumulation des espèces à l'aide de la méthode du transect était, bien sûr, maximisée au nombre d'espèces cibles prédéterminées dans les méthodes. Par ailleurs, la méthode du transect fournit une estimation plus rigoureuse de l'abondance des espèces (tableau 2) que la méthode taxonomique, qui ne fait qu'estimer l'abondance et est donc plus subjective.

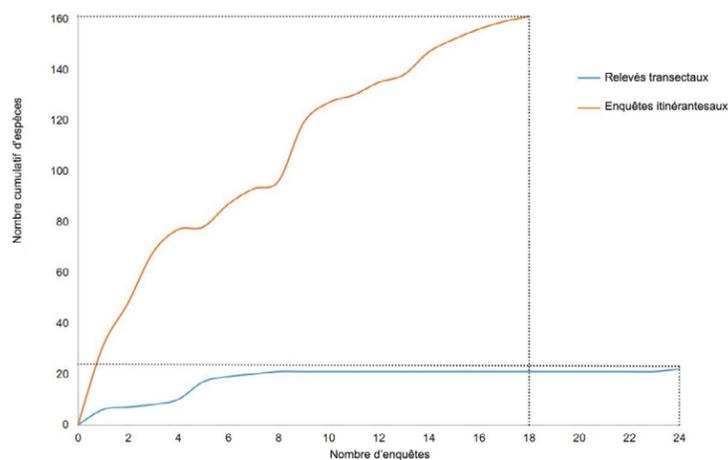


Figure 7 : Le nombre cumulatif de taxons observés avec chaque transect supplémentaire (ligne bleue pleine) ou relevé en plongées taxonomiques (ligne orange pleine). Les sondages sont placés en ordre chronologique. En tout, 22 taxons ont été observés après 24 plongées transectales et 161 taxons ont été observés après 18 plongées taxonomiques.



Figure 8 : Les enfants rencontrent des spécimens marins vivants à la journée portes ouvertes de la collectivité.

La méthode la plus appropriée pour la surveillance future dépendra des objectifs du programme. Les relevés de plongée taxonomiques peuvent être plus appropriés si les objectifs comprennent la capture d'une plus grande étendue de biodiversité ou la détection d'espèces rares, en voie de disparition ou envahissantes. Toutefois, s'il faut plus de données reproductibles et quantifiables, la méthode du transect peut être plus appropriée.

### Prochaines étapes

Bien que les approches traditionnelles de la recherche sur la biodiversité aient permis de faire des progrès importants dans la caractérisation des écosystèmes littoraux de l'Arctique, elles ont certaines limites. Par exemple, étant donné que les plongées transectales ciblent des espèces d'intérêt et des profondeurs précises, elles ne permettent toutefois pas de saisir toute la diversité à un endroit donné.

De même, les experts en taxonomie qui ont de l'expérience en plongée sous-marine dans l'Arctique sont rares, de sorte qu'il peut être difficile d'identifier précisément les espèces pendant une plongée taxonomique. Une façon de renforcer les méthodes traditionnelles d'enquête est d'intégrer des méthodes moléculaires comme le codage à barres de l'ADN (Hebert et coll. 2003). Nous recommandons d'utiliser les résultats de l'étude AMEBP de 2017 pour adapter et poursuivre les études de transect à certains sites. Cependant, nous recommandons également d'augmenter et de poursuivre les études itinérantes sur la biodiversité et l'exploration de sites en utilisant le codage à barres de l'ADN. Nous proposons de surcroît d'organiser un atelier avec les intervenants de Cambridge Bay afin de déterminer les priorités locales en matière de recherche future.

### Préoccupations pour la collectivité

Nous croyons fermement qu'une sensibilisation accrue à l'environnement subaquatique local permettra d'accroître le respect de sa complexité et de sa fragilité, et servira à renforcer le soutien de la collectivité aux efforts de suivi en cours. À cette fin, le programme AMEBP de 2017 comprenait plusieurs événements de mobilisation communautaire pratiques, y compris une journée portes ouvertes pour tous les habitants de Cambridge Bay et un programme visant à présenter des spécimens vivants aux élèves de l'école primaire Kullik Ilihakvik.

De plus, nous avons mené un certain nombre d'entrevues auprès de jeunes de Cambridge Bay au sujet des changements environnementaux et de la capacité de la science et des connaissances traditionnelles de s'attaquer aux répercussions des changements climatiques dans l'Arctique. Les réponses variées et réfléchies portaient sur les préoccupations concernant la sécurité alimentaire, les menaces pour les populations animales, l'amincissement des glaces et les espèces envahissantes. Ces entrevues ont clairement indiqué que les prochains projets de recherche doivent être structurés afin qu'ils soient pertinents quant aux préoccupations et aux priorités des Inuits.

### Remerciements

Savoir polaire Canada et l'Ocean Wise Conservation Association ont financé conjointement le Programme d'analyse comparative de l'écologie marine arctique de 2017. Nous remercions les habitants du hameau de Cambridge Bay, John Lyall fils, l'équipe de la SRCEA de POLAIRE, Mia Otokiak, Candace Pedersen, le personnel,

les enseignants et les élèves de l'école primaire Kullik Ilihakvik, l'Ekaluktutiak Hunters and Trappers Organization, la Kitnuna Corporation, Charlie Gibbs et nos collègues de l'aquarium Ocean Wise de Vancouver.

### Références

Chen, Y., and Hunter, M. 2003. Assessing the green sea urchin (*Strongylocentrotus drobachiensis*) stock in Maine, USA. *Fisheries Research* 60:527–537. doi:10.1016/S0165-7836(02)00082-6.

Coyer, J. A., Ambrose, R. F., Engle, J. M., and Carroll, J. C. 1993. Interactions between corals and algae on a temperate-zone rocky reef: Mediation by sea urchins. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 167:21–37.

Department of Fisheries and Oceans. 2013. Pacific region green sea urchin integrated fisheries management plan, September 1, 2013, to August 31, 2016.

Estes, J. A. and Duggins, D. O. 1995. Sea otters and kelp forests in Alaska: Generality and variation in a community ecological paradigm. *Ecological Monographs* 65 (1):75–100. doi:10.2307/2937159.

Green, P., MacLeod, C. J., and Nakagawa, S. 2016. SIMR: An R package for power analysis of generalized linear mixed models by simulation. *Methods in Ecology and Evolution* 7:493–498. doi:10.1111/2041-210X.12504.

Hebert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L., and deWaard, J. R. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270 (1512):313–321. doi:10.1098/rspb.2002.2218.

Marliave J. B., Gibbs, C. J., Gibbs, D. M., Lamb, A. O., and Young, S. F. J. 2011. Biodiversity stability of shallow marine benthos in the Strait of Georgia, British Columbia, Canada through climate regimes, overfishing, and ocean acidification. *In Biodiversity loss in a changing planet. InTechOpen*. pp. 49–74. Web ISBN: 978-953-307-707-9.

Munkittrick, K.R., Arens, C.J., Lowell, R.B., and Kaminski, G.P. 2009. A review of potential methods of determining critical effect size for designing environmental monitoring programs. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28:1361–1371. doi:10.1897/08-376.1.

# STRATIFICATION DANS LA MER DE KITIKMEOT DE L'ARCHIPEL ARCTIQUE CANADIEN :

conséquences biologiques et géochimiques



**William J. Williams<sup>1\*</sup>, Kristina A. Brown<sup>1</sup>, Bodil A. Bluhm<sup>2</sup>, Eddy C. Carmack<sup>1</sup>, Laura Dalman<sup>4</sup>, Seth L. Danielson<sup>3</sup>, Brent G. T. Else<sup>5</sup>, Rosalyn Fredriksen<sup>2</sup>, C. J. Mundy<sup>4</sup>, Lina M. Rotermund<sup>6</sup>, and Adrian Schimnowski<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Canada

<sup>2</sup> Institut de biologie arctique et marine, UiT – Université de l'Arctique de Norvège, Tromsø, Norvège

<sup>3</sup> Collège des pêches et des sciences de la mer, Université de l'Alaska à Fairbanks, Fairbanks, Alaska, États-Unis

<sup>4</sup> Centre des sciences de l'observation de la Terre, Département de l'environnement et de la géographie, Université du Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada

<sup>5</sup> Département de géographie, Université de Calgary, Calgary, Alberta, Canada

<sup>6</sup> Département de physique et d'astronomie, Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique, Canada

<sup>7</sup> Arctic Research Foundation, 201, avenue Bridgeland, Toronto, Ontario, Canada

\* [Bill.Williams@dfo-mpo.gc.ca](mailto:Bill.Williams@dfo-mpo.gc.ca)

L'étude scientifique de la mer de Kitikmeot (Kitikmeot Sea Science Study ou K3S) est dirigée par Pêches et Océans Canada, en collaboration avec l'Arctic Research Foundation, l'Université de l'Arctique de Norvège, l'Université de l'Alaska à Fairbanks, l'Université du Manitoba, l'Université de Calgary et l'Université de Victoria. Elle est financée par Savoir polaire Canada, l'Arctic Research Foundation, Pêches et Océans Canada et nos collaborateurs. La zone d'étude comprend la mer de Kitikmeot : toute la région marine de Kitikmeot entre le détroit de Dolphin et Union à l'ouest et le détroit de Victoria et le détroit de James Ross à l'est.

## Résumé

L'étude scientifique de la mer de Kitikmeot a été lancée en 2014 afin de fournir à la Station canadienne de recherche dans l'Extrême-Arctique une base scientifique pour la surveillance et la recherche écologiques à long terme dans la région de Kitikmeot, dans le sud de l'archipel Arctique canadien. La région est unique dans l'Arctique en raison de ses seuils limitrophes peu profonds et de son apport massif en eau douce par rapport à sa zone. Ainsi, trois thèmes guident l'étude : (1) l'apport estuarien d'origine pacifique, qui établit la structure océanographique; (2) l'origine et les voies d'accès de l'eau douce, qui influent sur les équilibres et la stratification des nutriments; (3)

les communautés biologiques influencées par les marées dans des passages étroits. Pour étudier ces thèmes, nous utilisons une série d'outils déployés par le navire de recherche océanographique *Martin Bergmann*.

Nos résultats montrent que la mer de Kitikmeot est caractérisée par un flux estuarien à deux couches, soit des débits sortants en surface et des débits entrants sous-marins à travers les seuils limitrophes. Les apports fluviaux le long de la limite sud apportent de l'eau douce, des nutriments terrestres et du carbone au domaine riverain-côtier, qui se propagent ensuite dans tout le réseau. Les forts courants de marée dans les passages étroits

Citation suggérée :

Williams, W.J., Brown, K.A., Bluhm, B.A., Carmack, E.C., Dalman, L., Danielson, S.L., Else, B.G.T., Fredriksen, R., Mundy, C.J., Rotermund, L.M., and Schimnowski, A. 2018. « Stratification dans la mer de Kitikmeot de l'archipel Arctique canadien : conséquences biologiques et géochimiques », *Savoir polaire : Aqhaliat* 2018, Savoir polaire Canada, p. 46-52. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.06

accroissent la chaleur verticale et le flux de nutriments pour maintenir des conditions sans glace en hiver et un couplage benthique-pélagique étroit en été. Ces passages étroits ont un substrat à fond dur habité par des suspensivores, tandis que des sédiments meubles et des déposivores se trouvent dans des zones de courants plus faibles ailleurs. Notre analyse révèle un écosystème dynamique caractérisé par un couplage benthique-pélagique modifié par le champ d'écoulement physique et limité par des apports externes de nutriments et d'eau douce.

## Introduction

La mer de Kitikmeot (fig. 1) — qui comprend le golfe Coronation, Bathurst Inlet, la baie de la Reine-Maud, et Chantrey Inlet dans le sud de l'archipel arctique canadien —

est unique au sein du système panarctique en raison (1) de son énorme apport en eau douce pour la taille du secteur, (2) de son apport principal en nutriments provenant du bassin du Canada, et (3) de ses seuils limites peu profonds à l'ouest et au nord-est ( $\leq 30$  m de profondeur). Ces conditions maintiennent une circulation de type estuarien, où l'eau douce de surface sortant de la rivière et les sources de fonte de la glace se mélangent aux eaux océaniques plus profondes et salées qui pénètrent au-dessus des seuils limites peu profonds. Ainsi, une stratification solide des sels limite généralement le mélange vertical et les flux ascendants des nutriments dissous, ce qui entraîne une production primaire globale relativement faible de la région. La faible production biologique annuelle qui en résulte doit avoir une incidence sur l'ensemble du réseau trophique, et nous

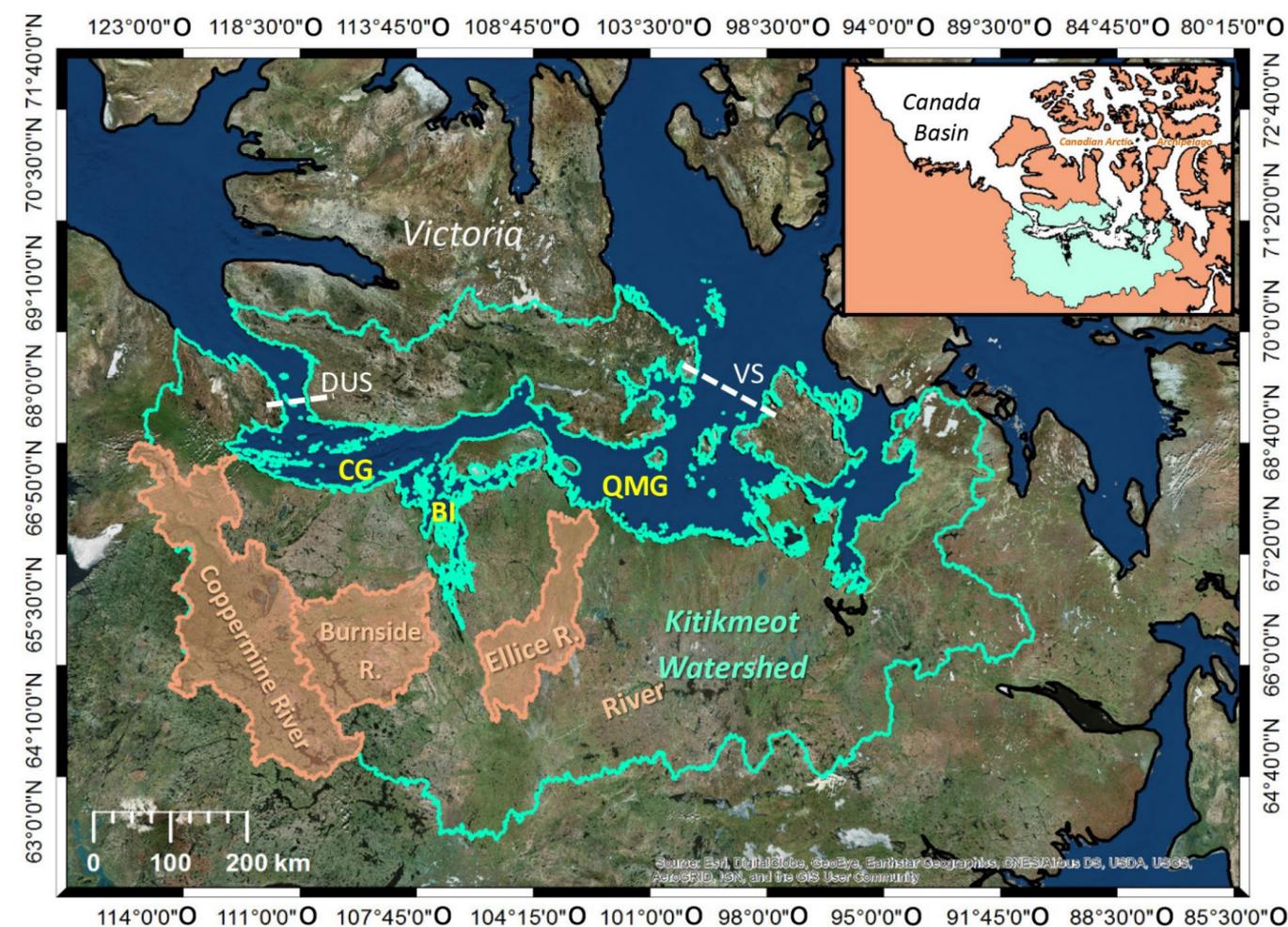


Figure 1 : Région de la mer de Kitikmeot dans le sud de l'archipel arctique canadien. La parcelle en médaillon montre la zone terrestre qui s'écoule dans la mer de Kitikmeot (le « bassin hydrographique de Kitikmeot », en vert ombré dans le contexte de l'archipel arctique canadien (rose). Le graphique principal montre les bassins versants des rivières Coppermine, Burnside et Ellice, ombragées de rose, qui s'écoulent dans le golfe Coronation (GC), dans le Bathurst Inlet (BI) et dans la baie de la Reine-Maud (BRM), respectivement. Les détroits océaniques peu profonds de l'ouest (détroit de Dolphin et d'Union, DDU, seuil de 18 m) et du nord-est (détroit de Victoria, DV, seuil de 20 à 30 m) limitent l'entrée des eaux d'origine du Pacifique relativement salées et riches en nutriments qui traversent l'archipel arctique canadien. (Tiré de : Brown et coll. 2016).

supposons que cela contribue à l'absence de prédateurs de niveau trophique supérieur, les plus grands spécimens d'ours et de baleines polaires, que l'on trouve ailleurs.

Cette faible production biologique globale nous oblige donc à chercher des endroits précis où elle pourrait être améliorée. Les observations faites par les habitants, combinées à l'imagerie satellite à haute résolution, suggèrent que les étroites brèches et les détroits entre les nombreuses îles de Kitikmeot peuvent être sujets à une débâcle précoce, suggérant ainsi une glace plus mince, ce qui en fait des endroits dangereux pour les déplacements hivernaux (fig. 2).

Nous supposons que ces « trous d'hiver » dans la glace de mer sont causés par le mélange ascendant de la chaleur souterraine, induit par l'accélération de l'écoulement de la marée sur les seuils et dans les passages étroits (fig. 2). En outre, comme l'eau souterraine est probablement relativement riche en nutriments, le même mélange à la hausse fournira également pendant toute l'année des nutriments à la zone euphotique. Par conséquent, nous suggérons que près de ces « trous d'hiver » dans

la glace de mer, il y aura une productivité biologique accrue en été et une mosaïque d'écosystèmes benthiques améliorés. Ces « jardins d'été » contrasteront avec la très faible productivité globale de la région (fig. 3) et seront donc des points chauds biologiques pouvant former des sites d'alimentation cruciaux pour les niveaux trophiques supérieurs.

L'étude scientifique de la mer de Kitikmeot (K3S) a donc été lancée en 2014 pour étudier l'hypothèse selon laquelle les brèches étroites et les détroits entre les nombreuses îles sont des sites de mélange vertical toute l'année, ce qui entraîne des polynies en hiver (« trous d'hiver ») et des points chauds biologiques en été (« jardins d'été »).

De plus, le projet K3S fournirait à la SRCEA une base scientifique pour la surveillance et la recherche écologiques à long terme et faciliterait un partenariat solide avec celle-ci. Trois thèmes orientent l'étude : (1) l'apport estuarien d'origine pacifique, qui établit la structure océanographique; (2) l'origine et les voies d'accès de l'eau douce, qui influent sur les équilibres et la stratification des nutriments et (3)

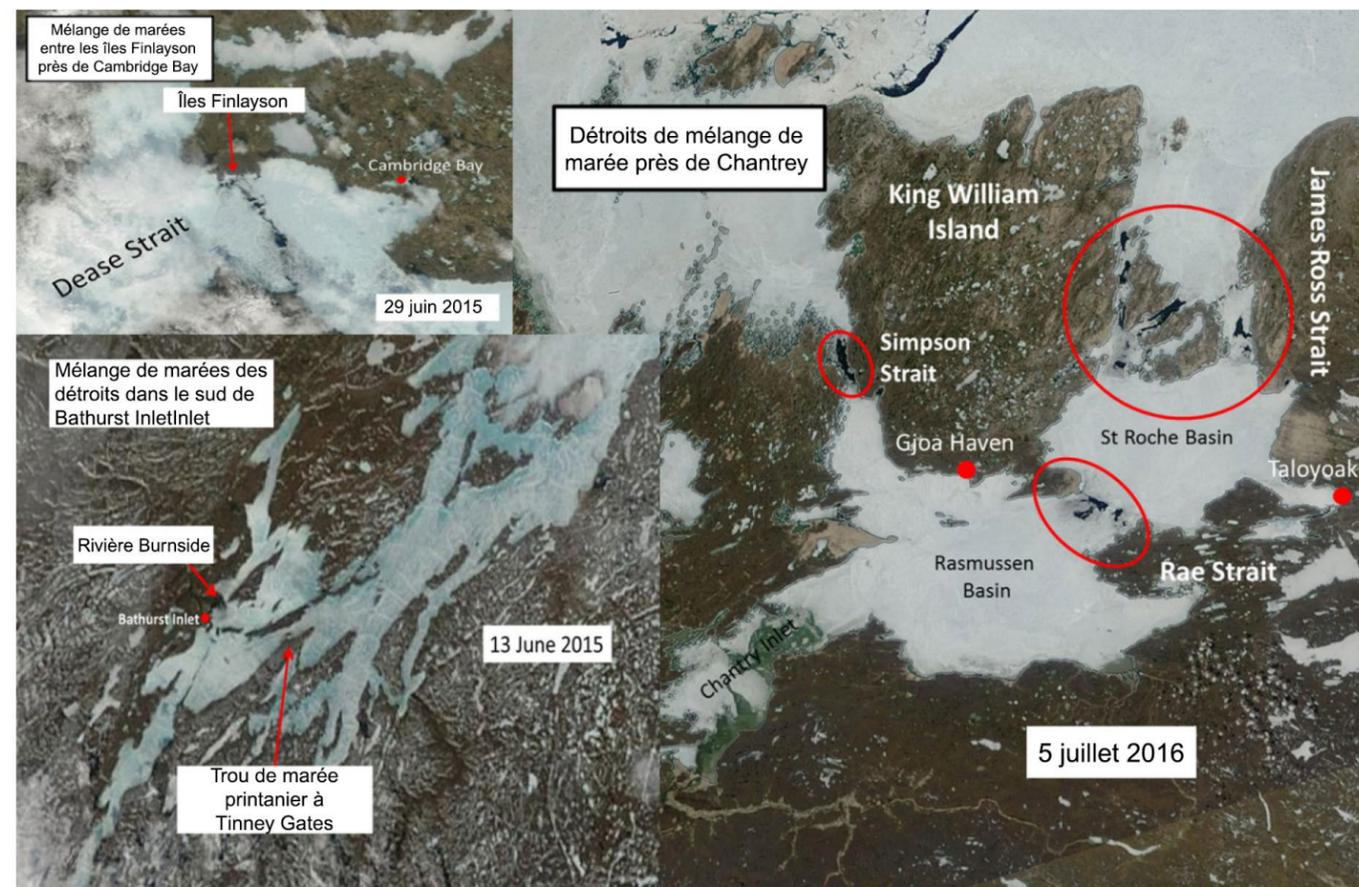


Figure 2 : Vue satellite du détroit de marée mixte printanier (« trous d'hiver ») dans la glace de mer des îles Finlayson (en haut à gauche), de Chantry Inlet (à droite) et de Bathurst Inlet (en bas à gauche). (Tiré de : Williams et coll. 2016).

les communautés biologiques influencées par les marées dans des passages étroits. Nous utilisons une série d'outils océanographiques et d'amarrages tout au long de l'année déployés par le *Martin Bergmann* pour étudier ces thèmes.

Le projet K3S a permis de réaliser des programmes d'observation sur le terrain dans la mer de Kitikmeot à bord du *Martin Bergmann* de 2014 à 2017, recueillant une série de nouvelles observations passionnantes et faisant progresser notre compréhension de cette région (p. ex., Williams et coll. 2016, 2017; Brown et coll. 2017; Fredriksen 2018). Afin de tenir compte de l'ensemble de la région étudiée (terrestre et marine), l'étude scientifique de la région marine de Kitikmeot (KMRSS) a changé de nom

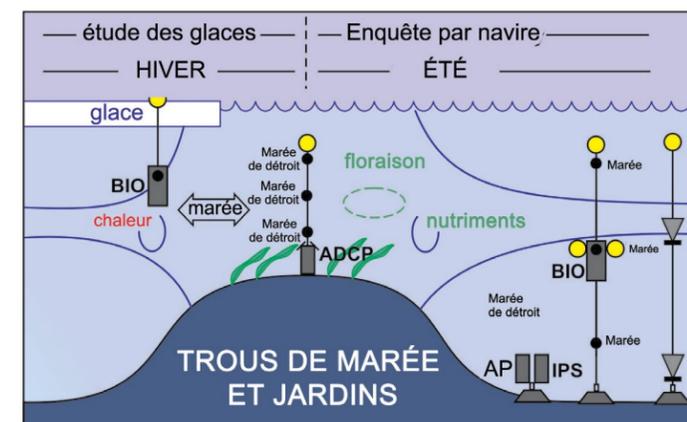


Figure 3 : Schéma du cycle annuel des « trous de marée » et des « jardins », montrant les mécanismes par lesquels les « trous d'hiver » entraînés par les marées dans la glace de mer peuvent mener à une production biologique locale élevée pendant la saison de croissance (« jardins d'été »). Les contours représentent les lignes isopycniques indiquant la stratification. Les instruments amarrés mesurent la variation saisonnière de la température et de la stratification de la salinité (TS), dressent le profil des courants océaniques (profilleur de courant à effet Doppler, ADCP), évaluent la réponse biologique à la lumière (ensemble bio-optique, BIO), écoutent les mammifères marins (acoustique passive, PA) et mesurent le tirant d'eau des glaces (profilage sonar de la glace, IPS). (De : Eddy Carmack, Tiré de : Williams et coll. 2016).

pour l'étude scientifique de la mer de Kitikmeot (K3S) au cours du programme de 2017. Le rapport qui suit résume les principales conclusions du programme sur le terrain K3S réalisé au cours des étés 2014 à 2017.

## Circulation estuarienne et flux continu de l'eau du Pacifique

L'un des principaux axes du programme K3S est l'étude de l'afflux d'origine du Pacifique, qui établit la structure océanographique de la région. L'eau souterraine d'origine

pacifique s'écoule du bassin du Canada à travers l'archipel arctique canadien et cette eau ne peut entrer dans la mer de Kitikmeot en raison des détroits océaniques peu profonds à l'ouest (détroit de Dolphin et Union, DDU, seuil de 18 m) et au nord-est (détroit de Victoria, DV, seuil de 20 à 30 m) (figure 1; p. ex., McLaughlin et coll. 2006; Michel et coll. 2015). Les eaux souterraines qui se déversent dans la mer de Kitikmeot à travers ces seuils peu profonds sont les couches supérieures de l'eau d'origine du Pacifique et sont relativement salées et riches en nutriments. Ces apports du Pacifique (salinité = 29, volume 256 km<sup>3</sup> an<sup>-1</sup>) devraient se combiner aux apports de la rivière dans la mer de Kitikmeot (salinité = 0, volume des apports de la rivière ≈ 41 km<sup>3</sup> an<sup>-1</sup>; Williams et coll. 2016) et à la fonte de la glace de mer à faible salinité pour former le débit sortant en surface peu profond de la mer de Kitikmeot (salinité ≈ 25, volume ≈ 297 km<sup>3</sup> an<sup>-1</sup>). Il s'agit d'une circulation estuarienne dans laquelle l'eau d'entrée de la rivière se mélange aux eaux océaniques salées d'entrée profonde pour produire le débit sortant de surface à faible salinité, et qui donne un temps de séjour d'environ 13 ans aux eaux résidant dans la mer de Kitikmeot (Williams et coll. 2016).

L'origine et les voies des composantes d'eau douce de la mer de Kitikmeot (précipitations, entrée dans la rivière et fonte de la glace de mer) influencent les bilans en éléments nutritifs et la stratification de l'océan de surface. Les apports fluviaux à eux seuls représentent jusqu'à 70 cm d'eau douce ajoutés annuellement à la surface de la mer de Kitikmeot (Brown et coll. 2016), et peuvent constituer une source saisonnière d'éléments nutritifs terrestres (nitrate et silicate) pour le système marin côtier, fournissant les éléments nutritifs nécessaires aux producteurs primaires une fois mélangés à des eaux plus profondes d'origine du Pacifique, qui fournissent beaucoup de phosphate. La confluence de nitrates terrestres et de phosphates marins dans les estuaires de la mer de Kitikmeot pourrait jouer un rôle important dans la productivité de la région côtière (Brown et coll. 2016). Par exemple, les relations entre les éléments nutritifs dans le golfe Coronation et le golfe de la Reine-Maud montrent une quantité plus faible de nitrate et de phosphate (mais des ratios semblables de nitrate et de phosphate) en comparaison aux mêmes profondeurs dans le golfe Amundsen et le détroit de Larsen, mais une quantité beaucoup plus élevée de silicate (fig. 4; Williams et coll. 2017).

## Preuve de mélange dans les détroits de marée

La stratification de l'eau douce dans l'océan de surface limite le mélange des nutriments d'origine profonde du Pacifique dans la zone photique, où elle pourrait alimenter la production primaire. Les courants de marée dans de nombreux détroits étroits de la mer de Kitikmeot offrent la possibilité de mélanger des nutriments profonds jusqu'à la surface, brisant ainsi cette forte stratification de surface. Les courants de marée sont les plus élevés dans les détroits étroits et devraient contribuer au mélange tout au long de l'année, générant les « trous d'hiver » en eau libre dans la glace printanière (fig. 2). Au cours de la saison de terrain 2017, nous avons déployé des amarrages à échantillonnage rapide pour obtenir une série chronologique de données sur la température, la salinité et la fluorescence chlorophyllienne sur une période de 24 heures afin d'observer le cycle des marées. La figure 5a illustre des observations faites tout juste au sud du détroit étroit de Tinney Gates, dans le sud de Bathurst

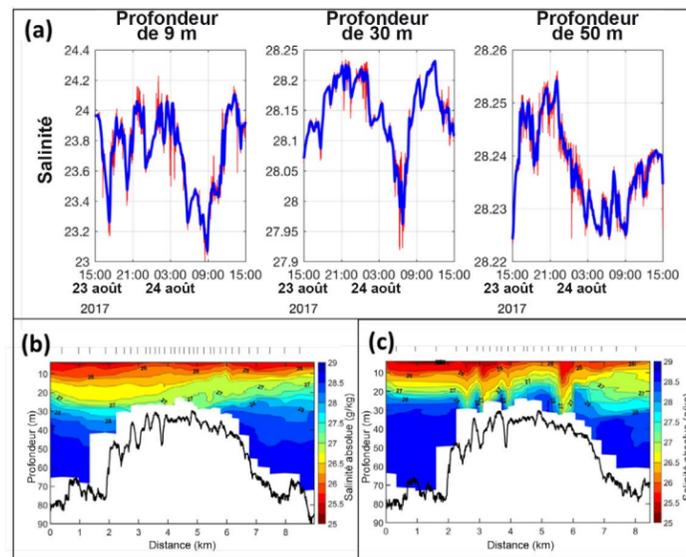


Figure 5 : 9a) Le déploiement d'un échantillonnage rapide des amarres juste au sud du détroit étroit à Tinney Gates du 23 au 24 août 2017, montre des fluctuations lentes et rapides de la salinité sur 24 heures et (b) et (c) la répétition des sections de CTP Underway dans les îles Finlayson le 18 août 2017, (b) à 9 h GMT et (c) 9 h plus tard à 18 h GMT. Ces analyses montrent qu'à mesure que le cycle des marées progresse jusqu'au débit maximal, les isohalines (p. ex.,  $S = 27 \text{ g kg}^{-1}$ ) sont amenées à la surface en raison du mélange des marées au-dessus du seuil.

Inlet (figure 2). Ici, des fluctuations lentes et rapides de la salinité sont observées aux trois différents intervalles de profondeur. Ces déplacements isopycniques verticaux et ces mélanges diapycnaux ont le potentiel de libérer des nutriments des eaux plus profondes du Pacifique dans la zone photique à intervalles réguliers. D'autres observations du mélange des marées ont été observées dans Unahitak Narrows, un étroit détroit entre les îles Finlayson dans le détroit de Dease près de Cambridge Bay (fig. 5 b, 5c; Rotermund et coll. 2017). Ici, la répétition des sections de l'instrument de mesure de la conductivité, de la température et de la profondeur (CTP) Underway montre que, à mesure que le cycle des marées progresse jusqu'au débit de pointe, les isohalines (p. ex.,  $S = 27 \text{ g kg}^{-1}$ ) sont amenées vers la surface par les marées au-delà du seuil du Unahitak Narrows, encore une fois créant la possibilité d'apporter des nutriments plus profonds dans la zone photique.

## Augmentation du nombre d'algues de glace dans les « trous d'hiver » et structure benthique différente dans les « jardins d'été »

Le mélange des nutriments d'origine profonde du Pacifique jusqu'à la zone photique dans le détroit de marée de la

mer de Kitikmeot crée des conditions favorables pour les producteurs primaires, et entraîne des effets en cascade dans le réseau trophique. On en trouve des exemples dans les études d'hiver et d'été sur les « trous » et les « jardins » qui pourraient être créés par ces détroits de marée. Des études hivernales menées dans les îles Finlayson en 2016 indiquent que la biomasse des algues de glace et la vitesse du courant étaient les plus élevées au centre des détroits de marée et qu'elles diminuaient en s'éloignant des détroits vers l'ouest (fig. 6a; Dalman et coll. 2017). Les observations estivales des communautés benthiques

indiquent que les sites à débit élevé, les sites à faible débit et les sites de transition différaient dans la composition des communautés (fig. 6 b; Fredriksen 2018). Les suspensivores (p. ex., concombres de mer, cnidaires et comatules) dominaient les sites à forte vitesse de courant dans les détroits de marée, alors que les dépositivores (p. ex., ophiures) dominaient dans les zones à faible débit en aval (fig. 6 b; Fredriksen 2018). Les données sur les isotopes stables révèlent d'autres renseignements sur la structure du réseau trophique et indiquent un lien étroit entre le benthos et les sources alimentaires à base de phytoplancton dans les détroits de marée et juste en aval de ces sources (Fredriksen 2018). De plus, les brouteurs et les suspensivores dans les détroits de marée semblent utiliser la matière la plus fraîche, alors que les dépositivores dans les zones en aval qui accumulent les sédiments sont légèrement plus enrichies par l'isotope (Fredriksen 2018).

## Conclusions

Les observations préliminaires du projet K3S illustrent la nature unique de la mer de Kitikmeot. Les eaux provenant du Pacifique, combinées à l'apport d'eau douce provenant du grand bassin hydrographique terrestre, ont créé la structure estuarienne de la mer de Kitikmeot et ont une influence supplémentaire sur son équilibre nutritionnel et

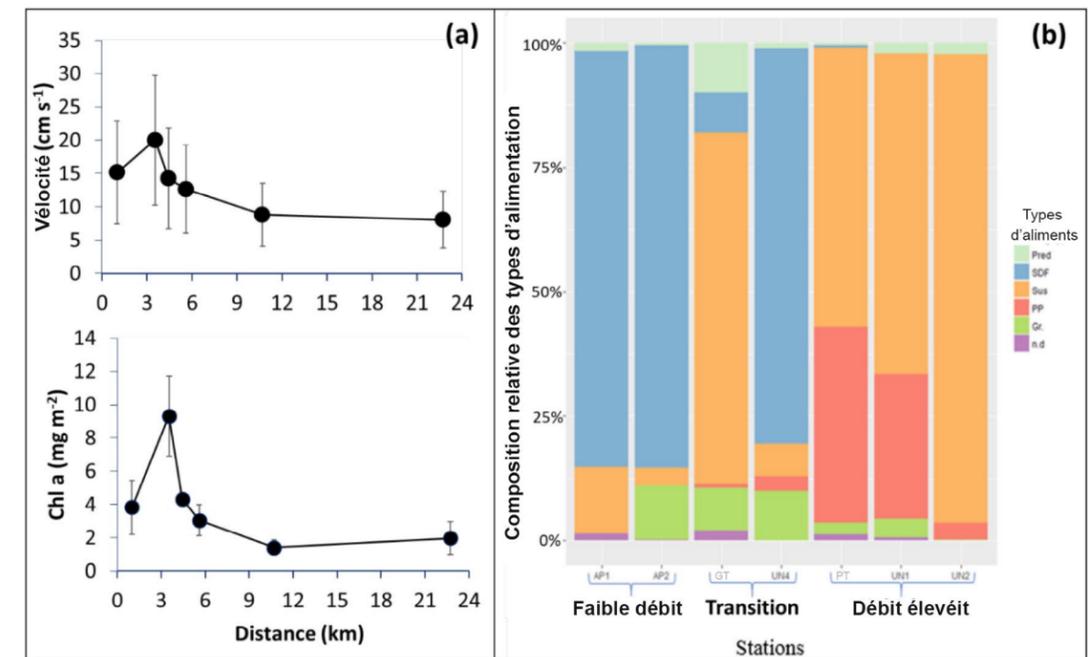


Figure 6 : (a) Aux îles Finlayson, la biomasse des algues de glace (chlorophylle a, au fond) et la vitesse du courant (sur le dessus) étaient plus élevées au centre des détroits de marée (à 3 km dans le transect) et diminuaient vers l'est et (b) les communautés benthiques de suspensivores (p. ex., concombres de mer, cnidaires, comatules) dominaient les sites à la vitesse de courant élevée dans les détroits de marée, et les dépositivores (pour la plupart des ophiures) dominaient dans les zones à faible débit en aval (préd = prédateur/détritivores, PP = producteur primaire, Br. = brouteurs, n.d. = non défini).

sa stratification. Le mélange dans les détroits de marée vise à briser cette stratification et à introduire les nutriments du Pacifique dans la zone photique, où ils sont disponibles pour les producteurs primaires. Les observations des communautés sous la glace et benthiques illustrent les effets de ces processus physiques sur le réseau trophique, montrant une augmentation des concentrations d'algues glaciaires dans les détroits de marée et un changement dans les communautés benthiques vers les suspensivores, qui peuvent tirer parti des matériaux de coulée associés à l'amélioration de la productivité océanique en surface. Le projet K3S continuera d'étudier ces thèmes en collaboration avec des partenaires communautaires de la région de Kitikmeot jusqu'en 2018 et plus.

## Préoccupations pour la collectivité

Notre exploration océanographique de la mer de Kitikmeot vise à fournir une description du fonctionnement et de la connectivité de l'écosystème marin qui complète le savoir autochtone et qui est utile aux collectivités du Nord. Ces collectivités dépendent du réseau alimentaire marin pour les poissons et les phoques et de la glace de mer pour leurs déplacements. Nos résultats commencent à fournir une base scientifique indiquant une production biologique

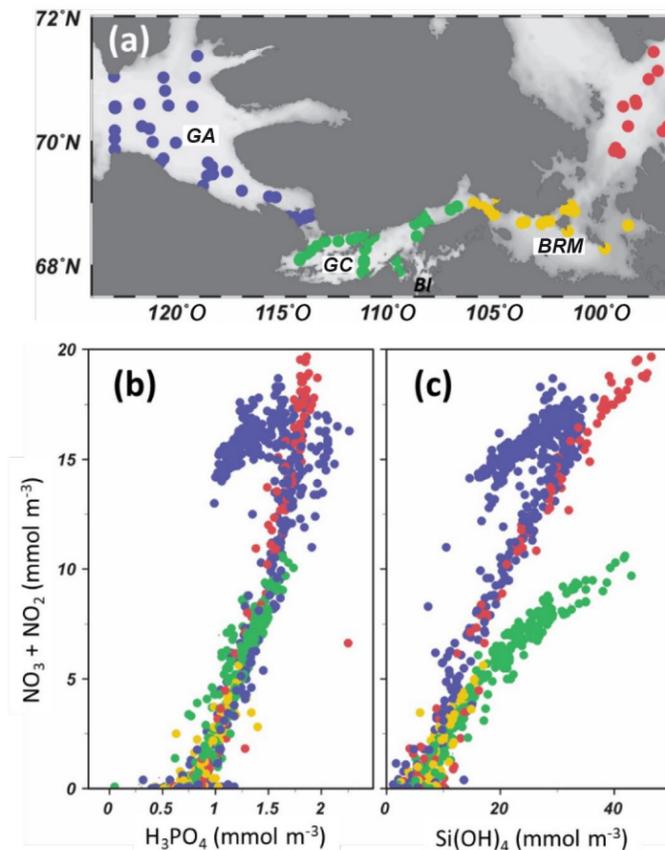


Figure 4 : Les relations entre les éléments nutritifs dans le golfe Coronation (GC) et la baie de la Reine-Maud (BRM) montrent des taux de nitrate et de phosphate plus faibles (mais des ratios de nitrate et de phosphate semblables) que dans les mêmes profondeurs dans le golfe Amundsen (GA) et le détroit de Larsen (DL), mais des taux de silicate beaucoup plus élevés.

plus élevée et une glace mince dangereuse dans le détroit de marée de la région. Notre élaboration du modèle des « trous d'hiver et des jardins d'été » est fondée sur notre compréhension générale des océans côtiers et des conversations avec les Rangers canadiens dans le cadre du programme de surveillance des océans des Rangers canadiens pendant l'hiver. Nous offrons également de la formation et du renforcement des capacités en matière de surveillance océanographique dans la région par l'entremise du programme de surveillance des océans des Rangers canadiens, en collaboration avec Ocean Networks Canada et l'Arctic Research Foundation. Les séries chronologiques océanographiques communautaires lancées à Kitikmeot peuvent être mises en contexte en utilisant les connaissances océanographiques développées par K3S.

## Remerciements

Nous tenons à remercier les capitaines et l'équipage du *Martin Bergmann*. Leur compétence et leur souplesse permettent de mener des expéditions océanographiques interdisciplinaires complexes à partir de leur petit navire; sans leur soutien, l'étude scientifique de la mer de Kitikmeot ne serait pas possible. De plus, cette recherche océanographique n'est possible qu'avec la vision et le soutien de Jim Balsillie, fondateur et bienfaiteur de l'Arctic Research Foundation, propriétaire du navire de recherche *Martin Bergmann*. Nous remercions également la Commission d'aménagement du Nunavut, la Commission du Nunavut chargée de l'examen des répercussions et l'Institut de recherches du Nunavut d'avoir autorisé cette recherche dans leurs eaux territoriales.

## Références

Brown, K., Williams, W., Carmack, E., Schimnowski, A., Nivingalok, J., and Clarke, C. 2016. Where the river meets the sea: Investigating nutrient dynamics in the Kitikmeot riverine-coastal domain. ArcticNet Annual Scientific Meeting, Winnipeg, Man., December 2016. [poster presentation].

Dalman, L., Else, B., Barber, D., Carmack, E., Williams, W.J., Campbell, K., and Mundy, C.J. 2017. Tidal straits as hotspots for ice algal production: A case study in the Kitikmeot Sea. International Arctic Change Conference, Québec, P.Q., 11–15 December. [poster presentation].

Fredriksen, R. 2018. Epibenthic community structure in northeast Greenland and the Kitikmeot Sea in the Canadian Arctic Archipelago. M.Sc. thesis, Faculty of Biosciences, Fisheries, and Economics, Department of Arctic and Marine Biology, Institute for Arctic and Marine Biology, UiT–The Arctic University of Norway, Tromsø, Norway.

McLaughlin, F.A., Carmack, E.C., Ingram, R.G., Williams, W., and Michel, C. 2006. Oceanography of the Northwest Passage. In *The sea*, vol. 14B, chap. 31, Robinson, A. and Brink K. (eds.), Harvard Press. pp. 1213–1244.

Michel, C. et al. 2015. Arctic Ocean outflow shelves in the changing Arctic: A review and perspectives. *Progress In Oceanography*. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2015.08.007>.

Rotermund, L. M., Williams, W.J., Brown, K.A., Danielson, S.L., Carmack, E.C., Bluhm, B.A., and Klymak, J.M. 2017. Tidal mixing and advection in Dease Strait: The connection between Coronation Gulf and Queen Maud Gulf. Arctic Change, Québec, P.Q., 11–15 December 2017. [poster presentation].

Williams, W., Bluhm, B., Brown, K., Carmack, E., Danielson S., Mundy C.J., and Rotermund L. 2017. Making and breaking stratification in the Canadian Arctic Archipelago's Kitikmeot Sea: Biological and geochemical consequences. Arctic Change, Québec, P.Q., 11–15 December 2017. [poster presentation].

Williams, W., Bluhm, B., Brown, K., Carmack, E., Clarke, C., Danielson, S., Rotermund, L.M., Schimnowski, A., and Schimnowski, O. 2016. Adventures in a new Arctic frontier: Investigating the tidal-driven "winter holes" and "summer gardens" of the Kitikmeot Marine Region of the Canadian Arctic Archipelago. ArcticNet Annual Scientific Meeting, Winnipeg, Man., December 2016. [oral presentation].

# HAUSSER LA CAPACITÉ DE TÉLÉDÉTECTION POUR LA RECHERCHE SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE NORD CANADIEN :

contributions de POLAIRE à l'expérience de la NASA sur la vulnérabilité de la région boréale de l'Arctique (ABOVE)



**Adam Houben<sup>1\*</sup>, Donald McLennan<sup>1</sup>, Scott Goetz<sup>2</sup>, Charles E. Miller<sup>3</sup>, Peter Griffith<sup>4</sup>, Elizabeth Hoy<sup>4</sup>, and Elisabeth Larson<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Sciences et technologie, Savoir polaire Canada, Cambridge Bay, Nunavut, Canada

<sup>2</sup> École d'informatique, de technologie de l'information et de systèmes cybernétiques, Université de Northern Arizona, Flagstaff, Arizona, États-Unis

<sup>3</sup> NASA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Californie, États-Unis

<sup>4</sup> Centre spatial Goddard de la NASA, ceinture de verdure, Maryland, États-Unis

\* [adam.houben@polar.gc.ca](mailto:adam.houben@polar.gc.ca)

## Résumé

L'expérience de la NASA sur la vulnérabilité de la région boréale de l'Arctique (ABOVE) est une étude de dix ans sur la réaction des écosystèmes aux changements environnementaux en Alaska et dans le nord-ouest du Canada, qui utilise et met à l'essai des technologies de télédétection spatiales et aériennes. Les consultations menées aux étapes de la planification du projet comprenaient un effort concerté de Savoir polaire Canada (POLAIRE) pour étendre le domaine aux paysages de l'Extrême-Arctique. POLAIRE participe maintenant avec la NASA au Groupe de coordination ABOVE, aidant à la coordination de la recherche canadienne, à la gestion des données et à l'acquisition d'images satellites Radarsat-2 avec l'Agence spatiale canadienne (ASC). POLAIRE mène également des études des écosystèmes au campus de la Station canadienne de recherche dans l'Extrême-Arctique (SCREA), l'un des rares sites de l'Extrême-Arctique dans le domaine d'étude. POLAIRE finance également plusieurs projets associés au programme ABOVE, dans plusieurs des groupes de travail thématiques.

La première campagne aérienne d'ABOVE (ACC) s'est terminée en 2017 avec des instruments de télédétection mesurant un ensemble diversifié de variables environnementales. Ces technologies devaient être harmonisées avec les chercheurs sur le terrain pour l'étalonnage et la validation au sol. Au site d'étude de la SCREA, les ensembles d'instruments à réaction AVIRIS-NG et ASCENDS ont étudié le bassin hydrographique Greiner situé dans la zone d'expérimentation et de référence de la SCREA pour la végétation et le CO<sup>2</sup> respectivement.

Des activités d'éducation d'ABOVE ont également été coordonnées dans les collectivités du Nord. Le cours « Earth to Sky » (de la terre au ciel), qui a eu lieu à Yellowknife en avril 2017, a réuni des scientifiques américains et canadiens ainsi que des éducateurs et des représentants des Premières Nations pour qu'ils puissent expliquer comment ils observent, comprennent et interprètent les changements environnementaux. Puis, au cours de la campagne aérienne en mai et août 2017, la NASA et le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (GTNO)

Citation suggérée :

Houben, A., McLennan, D., Goetz, S., Miller, C.E., Griffith, P., Hoy, E., and Larson, E. 2018. « Hausser la capacité de télédétection pour la recherche sur les changements climatiques dans le Nord canadien : contributions de POLAIRE à l'expérience de la NASA sur la vulnérabilité de la région boréale de l'Arctique (ABOVE) », *Savoir polaire : Aqhaliat 2018, Savoir polaire Canada*, p. 53-62. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.07

ont organisé des journées portes ouvertes à l'aéroport de Yellowknife, où les jeunes et le public ont pu voir plusieurs des avions à réaction et des capteurs et recevoir un aperçu des sciences des écosystèmes et de la télédétection.

## Introduction et aperçu du programme ABoVE

Savoir polaire Canada (POLAIRE) travaille à l'élaboration d'une forte présence de recherche dans l'Arctique, basée sur le campus de la Station de recherche du Canada dans l'Extrême-Arctique (SRCEA) à Cambridge Bay, au Nunavut, afin de servir le Canada et le monde. Sa mission est de faire progresser les connaissances sur l'Arctique dans le but d'améliorer les possibilités économiques, la gérance de l'environnement et la qualité de vie des habitants du Nord et de tous les Canadiens. Pour accomplir cette mission, il faut notamment renforcer les activités de surveillance conçues en vue de fournir des renseignements environnementaux de base importants, en plus de parrainer des recherches visant à combler les lacunes critiques en matière de connaissances.

La NASA met en œuvre le projet Arctic-Boreal Vulnerability Experiment (ABoVE), une étude à grande échelle des réactions des écosystèmes aux changements environnementaux dans l'Arctique et dans les régions boréales du nord-ouest de l'Amérique du Nord (figure 1) et des répercussions sur les systèmes socioécologiques ([above.nasa.gov](https://above.nasa.gov)). Les objectifs scientifiques du programme ABoVE visent à

(1) obtenir une meilleure compréhension de la vulnérabilité et de la résilience des écosystèmes arctiques et boréaux aux changements environnementaux dans l'ouest de l'Amérique du Nord, et (2) fournir une base scientifique pour la prise de décisions éclairées afin d'orienter les réponses de la société à l'échelle locale et internationale.

On constate un chevauchement important entre les objectifs scientifiques et les domaines géographiques de POLAIRE et de ABoVE; les domaines géographiques comprennent une grande partie du Yukon, des Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut dans le nord-ouest du Canada, englobant les paysages boréaux et de toundra. En outre, POLAIRE et ABoVE mettront l'accent sur la surveillance et la recherche nécessaires pour comprendre comment les écosystèmes terrestres et d'eau douce et le pergélisol réagissent aux changements environnementaux et comment ces réactions modifient les services

écosystémiques qui sont fournis à la société à l'intérieur et à l'extérieur de cette région. Les activités de recherche et de surveillance menées dans le cadre de POLAIRE et du programme ABoVE comprendront la collecte, la synthèse et l'analyse de données sur place et de télédétection, ainsi que l'utilisation de modèles pour intégrer et extrapoler efficacement les données d'observation afin de décrire les processus sur de grandes superficies et de communiquer l'information nécessaire aux décideurs et aux intervenants. Ces domaines d'intérêt partagés servent de fondement à la collaboration entre POLAIRE et ABoVE dans la poursuite de leurs objectifs communs.

Les changements écosystémiques se produisent rapidement dans le Nord canadien en raison des changements climatiques — du mouvement vers le nord de la limite

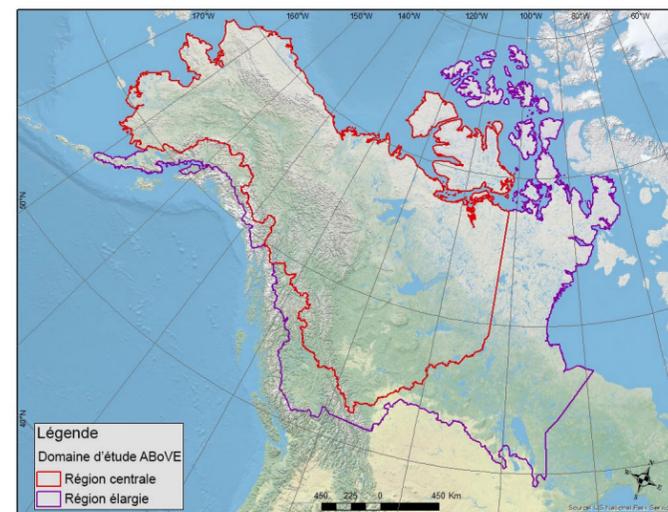


Figure 1 : Le domaine d'étude ABoVE comprend les paysages terrestres de l'Arctique et de la forêt boréale en Alaska et la majeure partie de l'Ouest canadien. La région centrale du domaine d'étude saisit les variations régionales des conditions de surface et atmosphériques, nécessaires pour répondre aux questions et objectifs scientifiques. Il comprend des paysages et des écorégions qui changent rapidement de façons complexes, ainsi que d'autres qui ne changent pas — une combinaison qui permet d'étudier à la fois la vulnérabilité et la résilience. Le domaine d'étude comprend également une région étendue à l'extérieur de la région centrale, ce qui permet des études axées sur un sous-ensemble de changements importants qui ne se produisent pas dans la région centrale (p. ex., éclosions d'insectes et dépérissement des forêts dans le sud de la forêt boréale). La région élargie comprend des secteurs où la recherche porte sur les conditions environnementales considérées comme antérieures à celles de la région centrale. Les études menées dans la région élargie offrent également des possibilités de collaboration avec des recherches existantes ou prévues.

forestière à la dégradation du pergélisol et à l'expansion thermokarstique, de l'augmentation des incendies de forêt et de la gravité des brûlures qui accélèrent les émissions de gaz à effet de serre. Il est fondamentalement exigeant d'observer ces changements dans les environnements éloignés et difficiles du Nord. Par conséquent, l'utilisation de la télédétection est essentielle à la surveillance de la durabilité environnementale, sociale et économique du Nord. Cette technique de télédétection comprend de nouveaux capteurs aéroportés et des satellites en orbite, avec étalonnage et validation simultanés par des chercheurs sur le terrain, afin de répondre à certaines questions concernant le changement climatique sur une période de dix ans et au-delà.

Le présent document décrit également le partenariat avec POLAIRE à l'étape de la planification du programme. Par la suite, une description de la première campagne aéroportée ABoVE (2017) fait état des ressources aériennes, des instruments et des trajectoires de vols effectués dans la sphère de ABoVE. Un résumé des projets et du domaine d'étude de ABoVE appuyé par POLAIRE est ensuite fourni. En collaboration avec la flotte aérienne de la NASA, POLAIRE coordonne également avec l'Agence spatiale canadienne l'attribution et l'acquisition de l'imagerie RADARSAT-2 sur plusieurs années afin d'appuyer davantage l'instrumentation et les études sur le terrain. Cela pourrait mener à un soutien supplémentaire du Polar Space Task Group (Groupe de travail sur l'espace et les pôles) au cours des années suivantes. Enfin, en plus de l'objectif scientifique à grande échelle de ABoVE, un résumé des activités parallèles d'éducation et de sensibilisation et des préoccupations à l'échelle de la collectivité est effectué, de même que des phases à venir du programme.

## Consultations NASA-POLAIRE aux étapes de planification du programme ABoVE

Compte tenu du rôle et de la compétence de POLAIRE concernant l'Arctique canadien, un représentant de POLAIRE s'est joint à l'équipe de définition scientifique ABoVE de la NASA, à la demande d'Environnement Canada, pendant que le projet était en cours d'élaboration et de définition. Avec l'ajout d'un autre représentant du Service canadien des forêts, il s'agissait de la composante canadienne de l'équipe ABoVE qui a contribué à l'élaboration du plan d'expériences concises du programme ABoVE de la NASA (disponible à l'adresse <https://above.nasa.gov/acep>) qui a défini la portée géographique du projet, confirmé les objectifs

du projet et cerné les questions clés auxquelles le projet répondrait. Un autre élément clé de cette collaboration est la création d'un protocole d'entente (PE) entre la NASA et POLAIRE qui décrit les rôles et les responsabilités des deux parties dans la mise en œuvre du projet ABoVE au Canada. Dans ce PE, les rôles de POLAIRE consistaient notamment à assurer la coordination des travaux et la liaison avec les collectivités et les gouvernements dans la zone d'étude conjointe au Canada, en veillant à ce que les opérations aériennes soient conformes aux règlements d'exploitation des aéronefs du gouvernement du Canada, en assurant la coordination des observations au sol au Canada, en définissant des approches de gestion des données et en fournissant des fonds aux chercheurs canadiens pour compléter le financement de la NASA. Le PE a été devancé en vue de la réunion ministérielle de la Maison-Blanche en septembre 2016, où la relation NASA-POLAIRE a été citée comme exemple de coopération scientifique positive dans le Nord entre les États-Unis et le Canada.

## Campagne aérienne ABoVE 2017

La campagne aérienne ABoVE 2017 fut l'une des expériences scientifiques aériennes les plus vastes et les plus complexes menées par la Division des sciences de la Terre de la NASA. Entre avril et novembre, ABoVE a déployé dix aéronefs qui ont participé à plus de 200 vols scientifiques permettant d'effectuer des relevés sur plus de 4 millions de km<sup>2</sup> en Alaska et dans le nord-ouest du Canada. De nombreux vols ont été coordonnés avec des mesures au sol le même jour pour établir un lien entre les études de processus et les produits de données géospatiales provenant de capteurs satellites. La campagne ABoVE a permis de recueillir des données couvrant les échelons d'espace et de temps critiques essentiels pour bien comprendre la gradation du domaine d'étude ABoVE et, finalement, l'extrapolation à l'ensemble de l'Arctique, à l'aide de données satellites et de modèles écosystémiques. ABoVE a offert des occasions uniques de valider les données et les produits de données de télédétection satellites et aéroportés pour les écosystèmes des hautes latitudes nordiques. La stratégie scientifique a couplé l'échantillonnage à l'échelle du domaine avec des instruments communément appelés « instruments de base », le radar à synthèse d'ouverture (SAR) de la bande L et la bande P, la spectroscopie par imagerie, la détection et télémétrie par ondes lumineuses (LIDAR) complètes, et les mesures des gaz à l'état de traces dans l'atmosphère (y compris le dioxyde de carbone et le méthane), ainsi que des études dirigées par l'IP à l'aide de SAR en bande Ka et de la fluorescence chlorophyllienne induite par l'énergie solaire. Les cibles d'intérêt comprenaient les sites sur le terrain

exploités par l'équipe scientifique ABoVE ainsi que les sites intensifs et/ou à long terme exploités par les partenaires américains et canadiens. Un exemple de configuration d'instrument en vol est donné à la figure 2 — un appareil de radar à synthèse d'ouverture sur véhicule aérien sans pilote (UAVSAR).

L'un des volets de la campagne aérienne de 2017 a analysé le campus de la SRCEA et la région de Cambridge Bay (figure 3). Cela comprend la série d'instruments ASCENDS (Active Sensing of CO<sub>2</sub> Emissions over Nights, Days, and Seasons) à bord de l'aéronef DC-8 de la NASA et le spectromètre nouvelle génération d'imagerie visible terrestre (AVIRIS-ng) à bord d'un aéronef A200. Le tableau 1 présente un résumé des capteurs/instruments ABoVE, ce qu'ils ont mesuré et les plateformes utilisées pour recueillir les données. La figure 4 présente un ensemble de lignes de vol de la zone expérimentale et de référence de la SRCEA montrant l'acquisition de données par le capteur hyperspectral AVIRIS de la NASA.

De plus, la NASA prévoit retourner au Canada et en Alaska en 2018 avec deux des instruments déployés dans le cadre

de la campagne aérienne de 2017. Le plan théorique à compter de la rédaction du présent texte est de mener des vols AVIRIS-nouvelle génération au milieu de l'été 2018 et 2019, et des vols SAR en bande L à la fin d'août 2018 et 2019. De manière provisoire, il est prévu que AVIRIS-nouvelle génération survole Fairbanks et Barrow, en Alaska; les plaines d'Old Crow, au Yukon; et le delta du Mackenzie, dans les Territoires du Nord-Ouest.

Le SAR en bande L répètera les lignes de vol de la campagne de 2017 dans le but d'établir des séries chronologiques pluriannuelles pour les enquêtes scientifiques susmentionnées, et il est provisoirement prévu de survoler les sites de recherche et de surveillance de l'écosystème boréal (BERMS) en Saskatchewan, des sites accessibles par la route près de Yellowknife, Whitehorse, Kluane Lake et Inuvik, ainsi qu'un sous-ensemble de sites en Alaska qui présentent le plus grand intérêt pour le Groupe de travail SAR. Les lignes aériennes fictives, sous réserve de modifications, seront affichées à mesure que la planification progresse (disponible à <https://above.nasa.gov/airborne2017.html>).

Tableau 1 : Instruments et aéronefs utilisés lors de la campagne aérienne ABoVE de 2017.

| Instrument  | Description   | Catégorie d'instruments                | Mesures   | Aéronef |
|-------------|---|--|---|---------|
| AirMOSS     | Observatoire de micro-onde aéroporté de sous-canopée et de sous-surface                         | SAR en bande P                         | Mesure des vols répétés déformations du sol, de la glace, du sol humide               | G-III   |
| UAVSAR      | Radar à synthèse d'ouverture sur véhicule aérien sans pilote                                    | SAR en bande L/P                       | Mesure des vols répétés déformations de l'imagerie du sol, de la glace, du sol humide | C-20A   |
| AirSWOT     | Topographie des surfaces d'eau océaniques et continentales                                      | Radar (KaSPAR)                         | Topographie des eaux de surface et des océans   | B200    |
| ASCENDS     | Sensibilisation active aux émissions de CO <sub>2</sub> pendant la nuit, le jour et les saisons | CO <sub>2</sub> Gaz sondeurs           | Gaz (carbone) : changements dans les sources/puits de carbone terrestres              | DC-8    |
| ATM-C       | Carbone atmosphérique   | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO | Gaz (carbone)   | Mooney  |
| AVIRIS (NG) | Spectromètre imageur aérien visible/infrarouge (nouvelle génération)                            | Spectromètre                           | Imagerie de la végétation et de l'atmosphère : signal élevé : imagerie sonore solaire | B200    |
| CFIS        | Spectromètre imageur de la fluorescence chlorophyllienne  | Spectromètre                           | Végétation : fluorescence d'origine solaire   | DHC6    |
| LVIS        | Capteur de sol, de végétation et de glace   | Lidar                                  | Topographie de surface et couverture végétale   | B200T   |

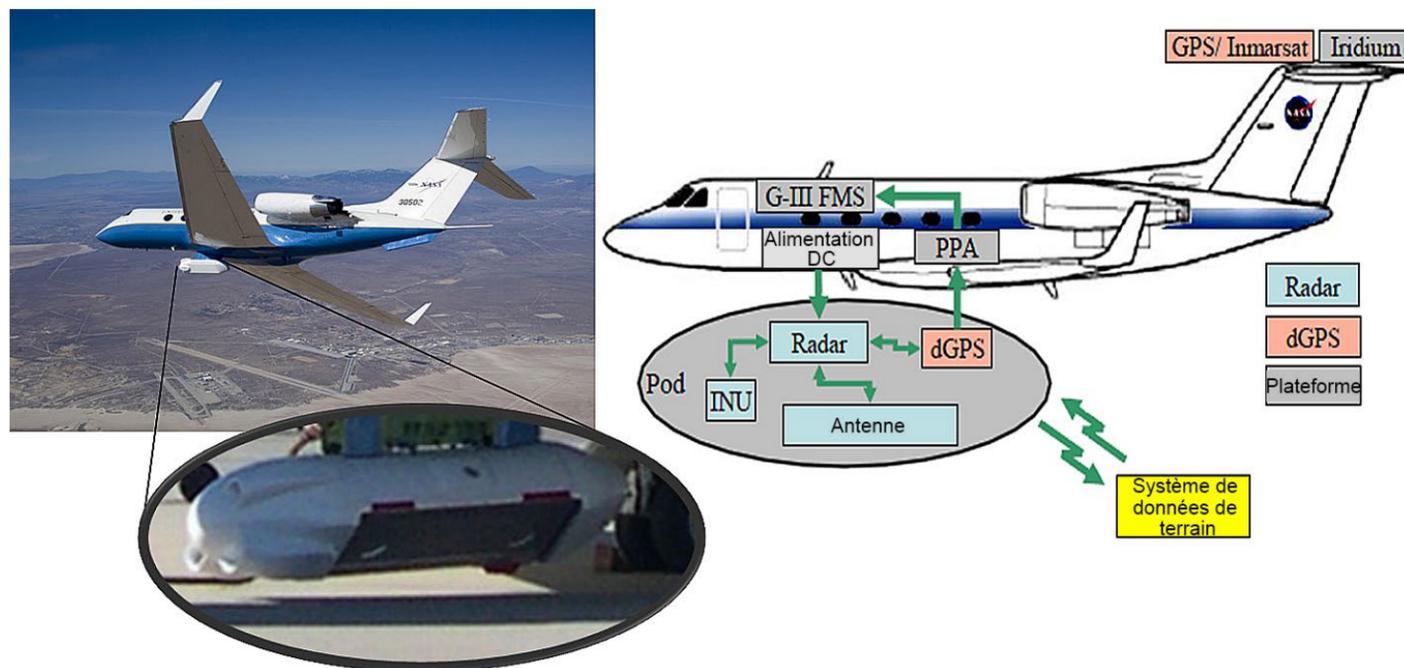


Figure 2 : Photos et vues schématiques d'un instrument aéroporté, UAVSAR dans cet exemple (Lee et coll. 2007).



Figure 3 : Des lacs productifs sont visibles dans le paysage entourant Cambridge Bay, au Nunavut, par imagerie AVIRIS-ng, le 2 août 2017.

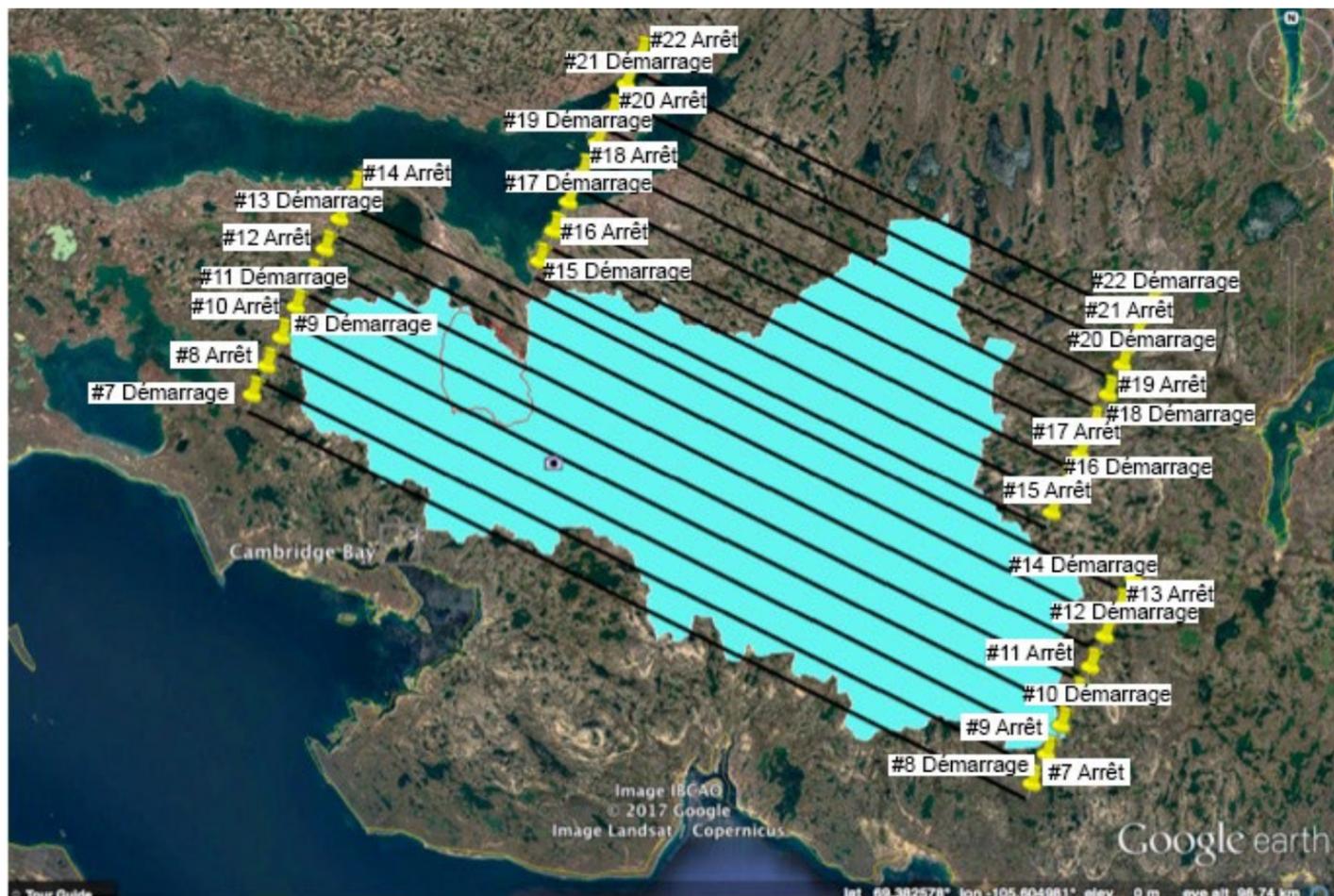


Figure 4 : Un ensemble de lignes de vol AVIRIS 2017 (en noir) au-dessus d'une zone expérimentale et de référence de la SRCEA et du bassin hydrographique Greiner (couleur de remblai turquoise).

## Projets et activités du programme ABoVE dirigés ou appuyés par POLAIRE

Environ le quart des quelque 600 chercheurs du programme ABoVE proviennent d'organisations canadiennes. La recherche est orientée de manière fonctionnelle par des groupes de travail axés sur des domaines scientifiques comme l'hydrologie et le pergélisol, la dynamique de la végétation, les perturbations causées par les incendies, la dynamique du carbone, les services fauniques et écosystémiques, la modélisation et la science aéroportée. POLAIRE héberge l'un des sites d'étude de l'Extrême-Arctique dans la zone expérimentale et de référence de la SRCEA, le tout orchestré à partir du campus de la SRCEA (69.121119° N., -105.042189° O). Les études portent notamment sur les écosystèmes allant des parcelles submétriques à la cartographie locale des bassins hydrographiques jusqu'à la région de Kitikmeot, à des fins de surveillance. En août 2017, le campus de la SRCEA et la ville de Cambridge Bay ont été témoins de l'arrivée de la première campagne aérienne ABoVE visant à mesurer

les émissions atmosphériques de dioxyde de carbone, et à saisir de l'imagerie hyperspectrale par AVIRIS pour évaluer les caractéristiques de la végétation.

Plusieurs chercheurs de POLAIRE participent également directement au programme ABoVE, et POLAIRE appuie les projets de recherche par l'entremise de son programme de subventions et de contributions (fig. 5). La première catégorie propre au programme ABoVE a été créée lors du dernier appel de propositions POLAIRE (cycle 2017-2019), dans lequel quatre projets englobant la végétation, l'hydrologie, les rétroactions sur le pergélisol et/ou les réponses aux changements climatiques ont été sélectionnés. Plusieurs autres projets financés au cours des cycles de financement actuels ou antérieurs de POLAIRE sont également pertinents pour le programme ABoVE (tableau 2).



Figure 5 : Chercheurs sur les sites de l'Extrême-Arctique; paysages contrastants — alpins (gauche), plateau de la toundra (droite); station de surveillance éolienne et solaire (centre) pour le projet CAT-TRAIN de l'Arctic Research Foundation, financé par POLAIRE.

Tableau 2 : Projets soutenus par POLAIRE liés au programme ABoVE (disponible à l'adresse <https://www.canada.ca/en/polar-knowledge/advancingpolarknowledge.html>).

| Chercheur principal; organisation                      | Chercheur principal; organisation   | Région d'étude  |
|--|---|---|
| Asselin; Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue | Répercussions des changements climatiques sur les risques d'incendie de forêt dans les forêts boréales des Territoires du Nord-Ouest  | Collectivités des T.N.-O.   |
| *Calmels; Collège du Yukon                             | Cartographie de la vulnérabilité du pergélisol dans le territoire traditionnel des Gwitchin Vuntut : répercussions des changements climatiques sur les paysages et l'hydrologie                         | Old Crow, Territoire du Yukon   |
| Stantec et Fraser; RNCAN                               | Surveillance des arbustes dans l'Arctique canadien à l'aide de mesures à plusieurs échelles à partir de cartes de terrain, véhicule aérien sans pilote (UAV), d'enquêtes et télédétection par satellite | Régions du Nunavut et des Territoires du Nord-Ouest                           |
| *Humphreys; Université Carleton                        | Améliorer les projections du Canada sur les changements climatiques en intégrant les rétroactions sur les arbustes de l'Arctique  | Station de recherche sur les écosystèmes de la toundra du lac Daring, T.N.-O. |
| *Langlois; Université du Québec de Sherbrooke          | Développement d'un réseau de surveillance de la cryosphère à plusieurs échelles pour la région de Kitikmeot et les Territoires du Nord-Ouest au moyen de la modélisation et de la télédétection         | Nunavut (Cambridge Bay, Gjoa Haven, Kugluktuk, région de Kitikmeot)           |
| Marsh; Université Wilfrid Laurier                      | Surveillance de la cryosphère, de la végétation et de l'eau douce dans l'ouest de l'Arctique canadien   | Territoires du Nord-Ouest   |
| Marshall; Université de Calgary                        | Surveillance de la cryosphère et du climat  | Station de recherche du lac Kluane, Territoire du Yukon                       |
| *Quinton; Université Wilfrid Laurier                   | Consortium pour les écosystèmes du pergélisol en transition (CPET)  | Ruisseau Scotty et ruisseau Suhm, T.N.-O.                                     |
| Rautio; Université du Québec à Chicoutimi              | Santé de l'écosystème des eaux douces de l'Arctique   | Cambridge Bay, Nunavut  |

| Principal Investigator;<br>Organization   | Project Title  | Region of Study   |
|---|--|---|
| Sharam; Environmental Resource Management | Quels mécanismes orientent le choix de l'habitat du caribou? Une approche de sélection des ressources à l'aide des connaissances traditionnelles, de la télédétection et de relevés sur le terrain                       | Nunavut, NWT (Hope Bay, Back River, Ekati, Courageous Lake)                       |
| Tank; University of Alberta               | Incendies dans l'Arctique : Les effets interactifs du paysage, de l'hydrologie et du pergélisol  | Ruisseaux Spence, Notawokha, Scotty, Boundary et Baker; Territoires du Nord-Ouest |
| Zhang; Natural Resources Canada           | Cartographie et surveillance des conditions de la surface du sol et du pergélisol le long du corridor routier entre Inuvik et Tuktoyaktuk (ITH) à l'aide de données satellites et de modélisation axée sur les processus | Corridor routier Inuvik-Tuktoyaktuk, T.N.-O.                                      |

\* Projet financé dans la catégorie ABoVE de POLAIRE dans le cadre de l'appel de propositions ouvertes 2017

## Coordination spatiale avec l'Agence spatiale canadienne

POLAIRE et la NASA collaborent avec l'Agence spatiale canadienne, et indirectement avec le Groupe de travail sur l'espace polaire de l'Organisation météorologique mondiale, afin d'acquérir des images satellites pour les sites de terrain ABoVE, comme PALSAR-2, RADARSAT-2, Sentinel-1 et Terra SAR-X. En 2017, l'Agence spatiale canadienne a recueilli plus de 500 bandes de données RADARSAT-2 (figure 6) permettant d'appuyer la recherche sur le terrain. Les acquisitions ont obtenu un taux de succès de 66 % en raison de priorités nationales concurrentes et de conflits d'attributions. RADARSAT-2 utilise un radar à synthèse d'ouverture (RSO) en bande C, qui peut être utilisé pour mesurer la topographie des paysages à haute résolution. Cette imagerie est particulièrement importante pour les terrains plats (p. ex., la zone expérimentale et de référence de la SRCEA), où il est souvent difficile de différencier les bassins hydrographiques, même à l'aide des connaissances locales. Plus de 60 chercheurs de ABoVE prévoient utiliser les données de RADARSAT-2 pour cartographier les variables environnementales telles que l'humidité du sol, le pergélisol et les conditions de la couche active, l'humidité de surface, l'intensité du feu, la rugosité de la surface et les caractéristiques de la végétation. Dans certains cas, ces images seront utilisées conjointement avec les images aériennes recueillies par la campagne ABoVE de 2017, alors que dans d'autres cas, les images seront utilisées parallèlement aux données de terrain recueillies à l'appui de ABoVE. Grâce à l'utilisation

de ces données, les chercheurs étudient les taux de dégradation du pergélisol, les changements dans les inondations, la subsidence saisonnière et le tassement dû au dégel, la réaction des niveaux des lacs aux changements des conditions du pergélisol et la détection de la végétation inondée, tout cela pour mieux comprendre la vulnérabilité et la résilience des écosystèmes arctiques et boréaux aux changements environnementaux.

Les activités actuelles prévoient l'acquisition d'images supplémentaires de RADARSAT-2 cet été (2018) afin de fournir des acquisitions répétées pour la plupart des sites d'étude, l'inclusion de sites qui n'ont pas pu être acquis en 2017, et de nouveaux sites à mesure que les questions de recherche évoluent.

## Préoccupations pour la collectivité

En mai 2016, la NASA et POLAIRE ont coparrainé un atelier conjoint avec l'aide et le parrainage du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest. Plus de 100 représentants des collectivités des Premières nations, des gouvernements fédéral et territoriaux, des universités, de l'industrie et des ONG ont participé à l'atelier. Les objectifs de cet atelier étaient de déterminer les principaux besoins et les principales questions en matière de gestion et de recherche, d'échanger de l'information sur la recherche et la surveillance en cours et planifiées, de solliciter des commentaires sur le plan de recherche et de surveillance intégré de POLAIRE, d'examiner et de discuter des pratiques exemplaires pour mobiliser et inclure les collectivités et les détenteurs de connaissances

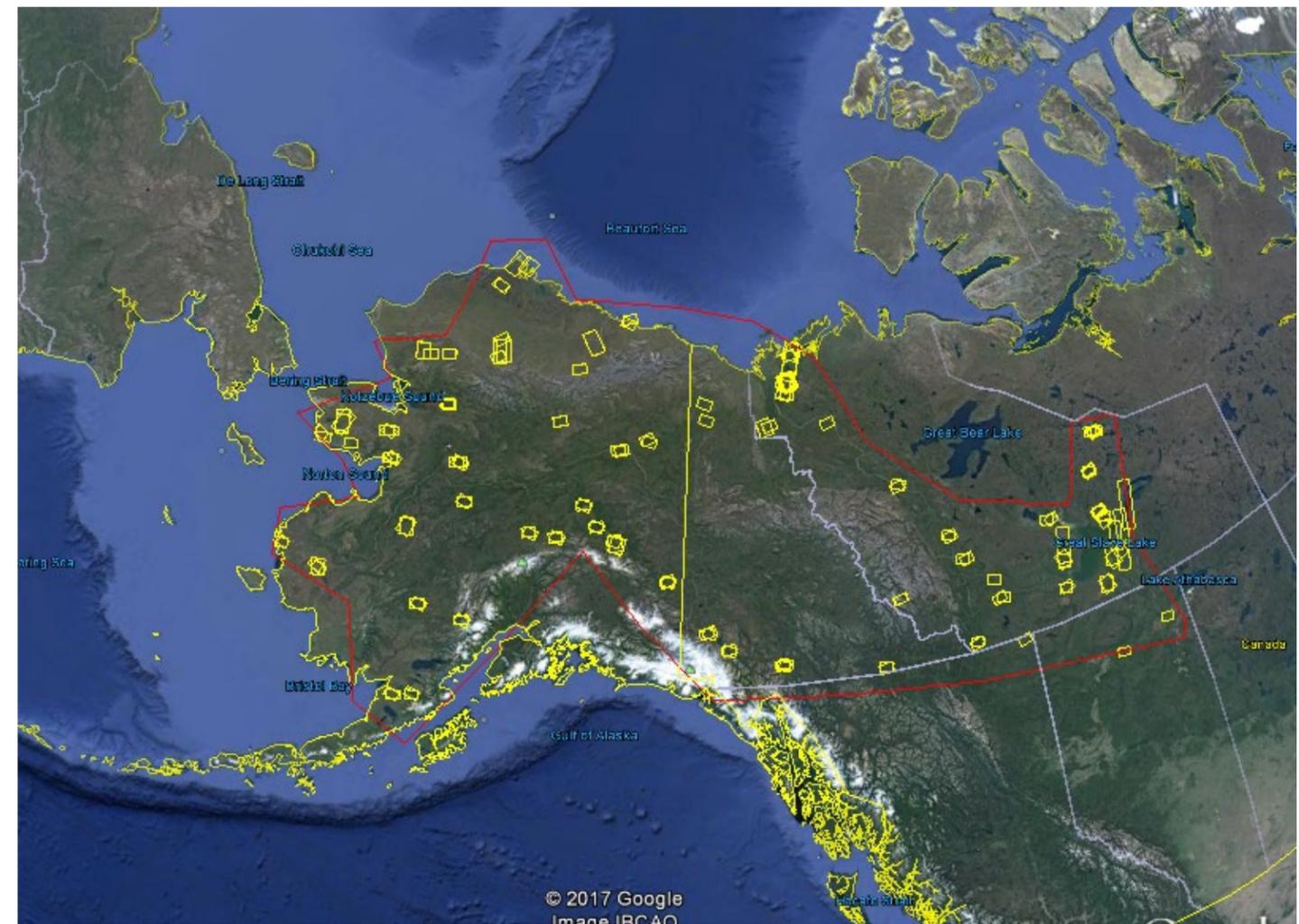


Figure 6 : Acquisition d'images RADARSAT-2 au moyen du domaine ABoVE pour 2017.

autochtones dans les activités de recherche et de surveillance, et d'explorer les possibilités de collaboration pour répondre aux questions ciblées. L'atelier a été perçu par les participants locaux comme une étape importante pour faire avancer le projet au Canada. Le compte-rendu de l'atelier a été publié dans un rapport disponible auprès de POLAIRE (disponible à [https://above.nasa.gov/implementation-plan/ETS\\_april2017.html](https://above.nasa.gov/implementation-plan/ETS_april2017.html)).

Après l'atelier de Yellowknife en mai 2016, des consultations ont eu lieu avec la plupart des groupes des Premières Nations compris dans le programme ABoVE dans les Territoires du Nord-Ouest. Ces discussions et ces réunions ont été accueillies comme une manifestation de respect envers les groupes des Premières Nations, une meilleure compréhension de leurs besoins et de leurs préoccupations, et l'amorce de la planification d'un soutien futur au moyen d'activités de surveillance communautaire.

## Résumé et phases à venir de POLAIRE et du programme ABoVE

Les résultats de cette vaste expérience historique seront utilisés dans le cadre d'efforts de modélisation informatique connexes pour aider à surveiller et à prédire les scénarios futurs dans divers écosystèmes de l'Arctique, des forêts boréales du Bas-Arctique aux plateaux de la toundra de l'Extrême-Arctique. Le développement de la technologie au moyen du programme ABoVE permettra une plus grande couverture géographique des vastes paysages éloignés de l'Arctique pour la surveillance et l'étude à venir. Des partenariats nouveaux et évolutifs entre la NASA, POLAIRE et les nombreuses organisations connexes mèneront à une plus grande exploitation des ressources limitées pour mener de tels travaux dans l'Arctique.

## Remerciements

Nous remercions l'Agence spatiale canadienne de son soutien pour avoir fourni des images RADARSAT-2 aux chercheurs de ABoVE et coordonné les ressources satellites connexes avec le Groupe de travail sur l'espace polaire de l'Organisation météorologique mondiale.

## Références

Lee, J.A., Stroves, B.K., and Lin, V. 2007. C-20A/GIII precision autopilot development in support of NASA's UAVSAR program. In Proceedings of the NASA Science Technology Conference 2007, Adelphi, Md., 19–21 June 2007. Dryden Flight Research Center, Report DFRC-658, 2007. 4 pp. Available from [http://esto.nasa.gov/conferences/nstc2007/papers/Lee\\_James\\_B4P3\\_NSTC-07-0013.pdf](http://esto.nasa.gov/conferences/nstc2007/papers/Lee_James_B4P3_NSTC-07-0013.pdf).

Miller, C., Griffith, P., Goetz, S., Hoy, E.E., Pinto, N., McCubbin, I., and Margolis, H. 2018. An overview of ABoVE airborne campaign data acquisitions and science opportunities. Environmental Research Letters, In review.

NASA ABoVE Airborne Science. 2017. Available from [https://above.nasa.gov/airborne\\_2017.html](https://above.nasa.gov/airborne_2017.html).

NASA ABoVE Concise Experiment Plan. 2014. Available from <https://above.nasa.gov/acep.html>.

NASA ABoVE Earth to Sky Course. 2017. Available from [https://above.nasa.gov/implementation\\_plan/ETS\\_april2017.html](https://above.nasa.gov/implementation_plan/ETS_april2017.html).

POLAR Research and Projects. Available from <https://www.canada.ca/en/polar-knowledge/advancingpolarknowledge.html>.

# SYSTÈME CANADIEN DE SURVEILLANCE ET DE PRÉVISIONS DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES DANS L'ARCTIQUE (CAMPS) :

proposition d'un système de connaissances coordonné pour comprendre et anticiper les changements dans les écosystèmes nordiques du Canada



## Donald S. McLennan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Sciences et technologie, Savoir polaire Canada

\* [donald.mclennan@polar.gc.ca](mailto:donald.mclennan@polar.gc.ca)

## Résumé

Il est maintenant bien documenté que le Nord canadien est en train de changer et que ces changements ont et continueront d'avoir des répercussions importantes sur les collectivités, sur les mandats des organismes gouvernementaux et sur la compréhension et l'atténuation des répercussions du développement industriel. En raison de problèmes systémiques liés à la prestation de la recherche, notre état actuel des connaissances est limité sur les plans spatial et temporel, et il est insuffisant pour fournir la profondeur et l'ampleur des connaissances nécessaires pour surveiller, comprendre et prévoir les changements, réduire le risque de surprise écologique et éclairer les décisions proactives de gestion adaptative. Le système canadien de surveillance et de prévisions des conditions météorologiques dans l'Arctique (Canadian Arctic Monitoring and Prediction System ou CAMPS) est une proposition visant à amorcer un dialogue national entre tous les intervenants du Nord en vue de l'élaboration d'un système stratégique de connaissances pour le Nord qui viserait à coordonner les initiatives scientifiques en cours afin d'optimiser les investissements actuels, de proposer de nouveaux investissements scientifiques stratégiques et de mobiliser le capital intellectuel du savoir autochtone (SA) présent dans les collectivités du Nord. Les éléments clés du CAMPS comprennent (1) des investissements stratégiques à long terme visant à maintenir l'infrastructure de recherche dans le Nord et à soutenir des expériences de surveillance fondées sur les

hypothèses coordonnées, multiéchelles et à long terme pour les écosystèmes terrestres et d'eau douce du Nord; (2) des investissements à long terme dans les collectivités du Nord en vue d'accroître la capacité locale et de faire appel à la SA afin que des partenariats entre le milieu scientifique et les collectivités puissent être établis et que les collectivités puissent servir de réseau d'observatoires pour les écosystèmes côtiers et marins du Nord; (3) la coordination de ces initiatives avec la surveillance continue par des organismes gouvernementaux, des universités, des organismes de revendications territoriales, des collectivités et l'industrie afin d'élaborer des évaluations régionales à nationales des changements écologiques dans les écosystèmes arctiques et subarctiques, et faire des prédictions sur les changements à court et à long terme. On propose une marche à suivre efficace qui consisterait à planifier et à élaborer une mise en œuvre régionale du CAMPS comme preuve de concept afin de démontrer la faisabilité et l'utilité de l'approche proposée.

## Introduction : Besoins de connaissances dans un Arctique en évolution

Il est bien connu que le climat se réchauffe beaucoup plus rapidement dans l'Arctique et la région subarctique que dans les latitudes méridionales (GIEC, 2014; Serreze et coll. 2009) — un réchauffement qui entraîne d'importants

Citation suggérée :

McLennan, D.S. 2018. « Système canadien de surveillance et de prévisions des conditions météorologiques dans l'Arctique (CAMPS) : proposition d'un système de connaissances coordonné pour comprendre et anticiper les changements dans les écosystèmes nordiques du Canada », Savoir polaire : Aqhaliat 2018, Savoir polaire Canada, p. 63–69. DOL : 10.35298/pkc.2018.08

changements dans les interactions abiotiques et biotiques qui déterminent en grande partie l'abondance et la santé de nombreuses espèces nordiques (Settele et coll. 2014). Dans les systèmes côtiers et marins de l'Arctique, la diminution de la saison des glaces de mer et le réchauffement de l'eau de mer ont une incidence directe sur les biotes qui en dépendent (Eamer et coll. 2013; AMAP 2017), alors que l'augmentation du niveau de la mer et des taux d'érosion côtière (Forbes 2011; Gunther et coll. 2015; Lantuit et coll. 2015) ont des répercussions sur les terres humides côtières vulnérables qui fournissent des habitats de halte migratoire et de nidification essentiels à de nombreuses espèces d'oiseaux de rivage et de sauvagines migratrices (Provencher et coll. 2018; Jorgensen et coll. 2018). La dégradation du pergélisol sur les rives de lacs et de cours d'eau exposés et l'approfondissement des couches actives du sol ont des répercussions sur les biotes dans les systèmes d'eau douce (Balzer et coll. 2014; Sniderhan et Balzer 2016) et changent la qualité et la quantité des rejets des rivières dans les écosystèmes marins côtiers. Il s'agit d'un facteur déterminant des processus physiques qui ont une incidence directe et indirecte sur les espèces marines côtières (Frey et coll. 2009; Carmack et coll. 2016; Alkire et coll. 2017). Dans les écosystèmes terrestres, le réchauffement de la température de l'air et du sol, la dégradation du pergélisol et la réduction de la saison de la neige entraînent du remplissage et des changements dans la dominance relative des arbustes, dont les effets sur l'habitat sont inconnus (Myers-Smith et coll. 2011; Tape et coll. 2006, 2012). Dans certaines régions, les cycles historiques des lemmings sont réduits ou ont chuté, ce qui peut avoir des effets en cascade sur les nombreuses espèces qui s'en nourrissent (Schmidt et coll. 2014). Les populations de caribous du Nord sont quant à elles à des creux historiques (Gunn et coll. 2010; Parlee et coll. 2018; CARMA 2018) et un dépérissement des bœufs musqués attribuables à des maladies se produit dans l'ouest de l'Arctique, des tendances qui, pour l'instant, sont largement inexplicables (Kutz et coll. 2015). D'autres facteurs, comme l'acidification des océans (Steinacher et coll. 2009; Yamamoto-Kawai 2009), l'augmentation des contaminants (Schuster et coll. 2018), l'invasion par des espèces du sud (Lawler et coll. 2009), et l'accroissement du tourisme, de l'activité militaire et du développement industriel peuvent tous avoir des répercussions importantes sur les biotes du Nord.

Ce qui est clair en ce moment, c'est que les changements environnementaux se poursuivent, s'accroissent et se produisent dans tous les écosystèmes du Nord canadien à des vitesses différentes et ont des effets différents, selon

le contexte régional. Ensemble, ces changements continus interagissent de façon complexe à l'échelle spatiale et temporelle et créent une grande incertitude pour le gouvernement et les organismes régionaux qui sont chargés de mandats de conservation de la biodiversité, pour les collectivités qui dépendent de la récolte d'espèces sauvages (c.-à-d. des aliments traditionnels prélevés dans la nature) et des écosystèmes sains, ainsi que pour les promoteurs et les exploitants industriels chargés de réduire au minimum et d'atténuer les répercussions potentielles des projets de développement en cours et proposés.

## La nécessité d'une approche à l'échelle nationale

En raison de la grande variabilité de la portée géographique des écosystèmes nordiques du Canada et de la complexité globale des changements prévus et de leurs interactions, il est proposé ici qu'une approche stratégique à l'échelle nationale soit nécessaire pour acquérir une compréhension approfondie de la façon et de la raison de ces changements, afin de prévoir les changements et de contribuer à l'élaboration de stratégies d'adaptation proactives pour le Nord. À l'heure actuelle, dans le nord du Canada, la surveillance et la recherche qui pourraient contribuer efficacement à notre compréhension de ces multiples changements sont en grande partie fragmentées et non coordonnées. Par exemple, de nombreux ministères mènent d'excellents programmes de recherche et de surveillance mis en œuvre pour remplir leurs mandats spécifiques, mais ces programmes sont mal liés au travail connexe des organismes universitaires, de l'industrie ou des collectivités. Le Canada a la chance d'avoir une culture de scientifiques nordiques actifs de calibre mondial et, bien que certains chercheurs universitaires aient réussi à maintenir des sites de recherche qui soutiennent des programmes de surveillance et de recherche à long terme, ils sont par nécessité limités sur le plan temporel en raison des ententes de financement à court terme et sur le plan spatial en raison de la portée géographique limitée de leurs domaines de recherche. Les collectivités de l'Arctique possèdent une mine de connaissances autochtones et, bien qu'une partie de la surveillance communautaire se fasse dans l'Arctique et dans la région subarctique, les programmes manquent généralement de durabilité à long terme et de liens régionaux et, dans de nombreux cas, les connaissances autochtones ne sont pas mobilisées efficacement.

Ces problèmes systémiques dans notre structure de recherche et de surveillance dans le Nord font en sorte

que nous ne sommes pas en mesure de comprendre ou de prévoir des changements importants à une échelle pertinente quant à l'impact potentiel de ces changements. Par exemple, les changements dans les écosystèmes terrestres, comme la dominance relative des arbustes, l'apport de carbone du sol dans l'atmosphère, l'arrivée de nouvelles espèces et la durée de la saison de croissance, sont bien documentés à l'échelle locale. Mais une question essentielle demeure. Comment ces changements locaux se répercutent-ils à l'échelle régionale et nationale pour ce qui est de la contribution globale du carbone à l'atmosphère, des changements dans les rétroactions du climat sur les terres, des progrès des espèces migratrices vers le nord et des changements dans l'habitat d'espèces aussi variées que le caribou? Pour répondre à cette question à multiples facettes ainsi qu'à d'autres questions, il faut adopter une approche de surveillance expérimentale à long terme et à plusieurs échelles qui coordonne la science dans le Nord et les ressources en matière de connaissances autochtones. Cette approche permettrait de mettre en œuvre ces expériences de surveillance à long terme dans un réseau d'observation soutenu, qui tiendraient compte de la variabilité écologique du Nord dans les écosystèmes terrestres, dulcicoles et marins côtiers. Elle se fonderait également sur les programmes actuels et les relierait en plus d'attirer de nouveaux investissements, ce qui appuierait une approche nationale stratégique en matière de surveillance et de recherche dans le Nord canadien. En plus du financement requis, un défi clé consistera à coordonner le large éventail d'acteurs qui peuvent contribuer à un tel réseau, y compris les gouvernements fédéral et territoriaux, les institutions chargées des revendications territoriales, les collectivités, les organisations autochtones, l'industrie, les universitaires et les ONG.

## Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique : Une proposition pour un système de savoir nordique

Le Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique est une proposition visant à mesurer, à comprendre et à prévoir l'évolution de la biodiversité, les facteurs abiotiques associés et les processus écologiques de façon coordonnée, à diverses échelles dans l'Arctique et les écosystèmes terrestres, dulcicoles et marins côtiers du nord du Canada. Il peut en outre permettre de lancer un dialogue national entre tous les acteurs du Nord, ce qui peut mener à l'élaboration d'un système stratégique de connaissances

du Nord qui coordonnera les initiatives scientifiques et communautaires en cours. Cette coordination optimisera les investissements actuels, proposera de nouveaux investissements stratégiques dans les sciences au besoin et mobilisera plus efficacement le capital intellectuel et les connaissances autochtones dans les collectivités du Nord. Parmi les éléments clés du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique, on compte (1) des investissements à long terme afin de soutenir l'infrastructure de recherches nordiques en utilisant et soutenant les sites de recherche actuels afin de créer un réseau d'observation du Nord relié et de maintenir la tenue d'expériences de supervision coordonnées à long terme; (2) des expériences à long terme dans le réseau d'observation, qui seraient conçues pour quantifier les relations parmi les facteurs abiotiques, les processus écosystémiques et les résultats biotiques visés (p. ex., les spécimens d'intérêt, les changements d'habitats, les changements dans les rétroactions du climat sur les terres et les cours d'eau), de sorte que des modèles à l'échelle locale axés sur le processus puissent être élaborés et extrapolés à l'échelle régionale et nationale au moyen d'outils de télédétection; (3) des investissements à long terme au sein des collectivités nordiques afin de renforcer les capacités locales et de faire appel aux connaissances autochtones, établissant ainsi des partenariats science-collectivité qui permettraient de créer un réseau d'observation communautaire dans le Nord, et (4) la coordination de ces initiatives, appuyée par la supervision continue des organismes gouvernementaux, des universités, des responsables des revendications territoriales, des collectivités, et de l'industrie, en vue d'élaborer des évaluations régionales et nationales des changements écologiques et de l'état des écosystèmes arctiques et subarctiques, et de faire des prédictions des changements à court et long terme.

Le Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique, tel que proposé, comporte trois volets (fig. 1). L'assise du système est le réseau d'observation du Nord, dont un site de surveillance phare à la Station de recherche du Canada dans l'Extrême-Arctique (SRCEA) qui fera office de plaque tournante. Le réseau d'observation serait mis en œuvre à partir de sites de recherches nordiques déjà établis (p. ex., des stations de recherche organisées par le Centre d'études nordiques, le Canadian Network of Northern Research Operators et le Changing Cold Regions Network) et permettrait de superviser les systèmes terrestres et dulcicoles et serait testé dans des collectivités côtières sélectionnées au moyen d'embarcations côtières (p. ex., petites embarcations des collectivités, petits bateaux de

l'Arctic Research Foundation) et de bateaux plus gros (p. ex., brise-glaces de la Garde côtière canadienne) afin de superviser les écosystèmes côtiers marins. En fonction des commentaires et de l'orientation des équipes scientifiques pertinentes et des spécialistes des connaissances autochtones, chaque site mettrait en œuvre et maintiendrait des expériences de surveillance coordonnées et à long terme qui permettraient d'établir un lien entre les facteurs abiotiques et les processus écologiques et les résultats en matière de biodiversité dans les écosystèmes terrestres, dulcicoles et marins côtiers. Afin d'élaborer un consensus sur la conception et l'analyse des expériences à long terme, on propose de réunir les spécialistes du domaine et du secteur en vue de mettre en œuvre des approches qui reflètent les plus récentes pratiques exemplaires dans leur domaine (p. ex., pour la supervision terrestre, les disciplines comprendraient les études des sols comme la microbiologie, la physique des sols, les cycles de pergélisol et de nutriments, les changements de la végétation selon une vaste gamme d'échelles ainsi que les changements de la faune chez les petits mammifères, les oiseaux de rivage et les oiseaux chanteurs et les arthropodes.

Le volet intermédiaire du système permettrait d'accéder aux données de surveillance et de les intégrer. Ces données seraient tirées de la vaste gamme de programmes de surveillance fondés sur le mandat mené par divers organismes gouvernementaux fédéraux et territoriaux du Nord, par des conseils de cogestion des revendications territoriales, l'industrie, des organismes universitaires et des programmes de surveillance communautaire. Grâce à la coordination, les résultats de ces programmes pourraient être utilisés pour étalonner et valider des modèles de télédétection à l'échelle régionale qui proviennent d'expériences de surveillance à long terme menées par le réseau d'observation.

Le troisième et dernier volet du Système canadien de surveillance et de prévisions des conditions météorologiques dans l'Arctique utilisera des données d'observation et des modèles régionaux et nationaux tirés du réseau d'observation, des données sur des espèces précises ou ciblées provenant des ministères et des universités, ainsi que d'autres données du volet intermédiaire tirées de

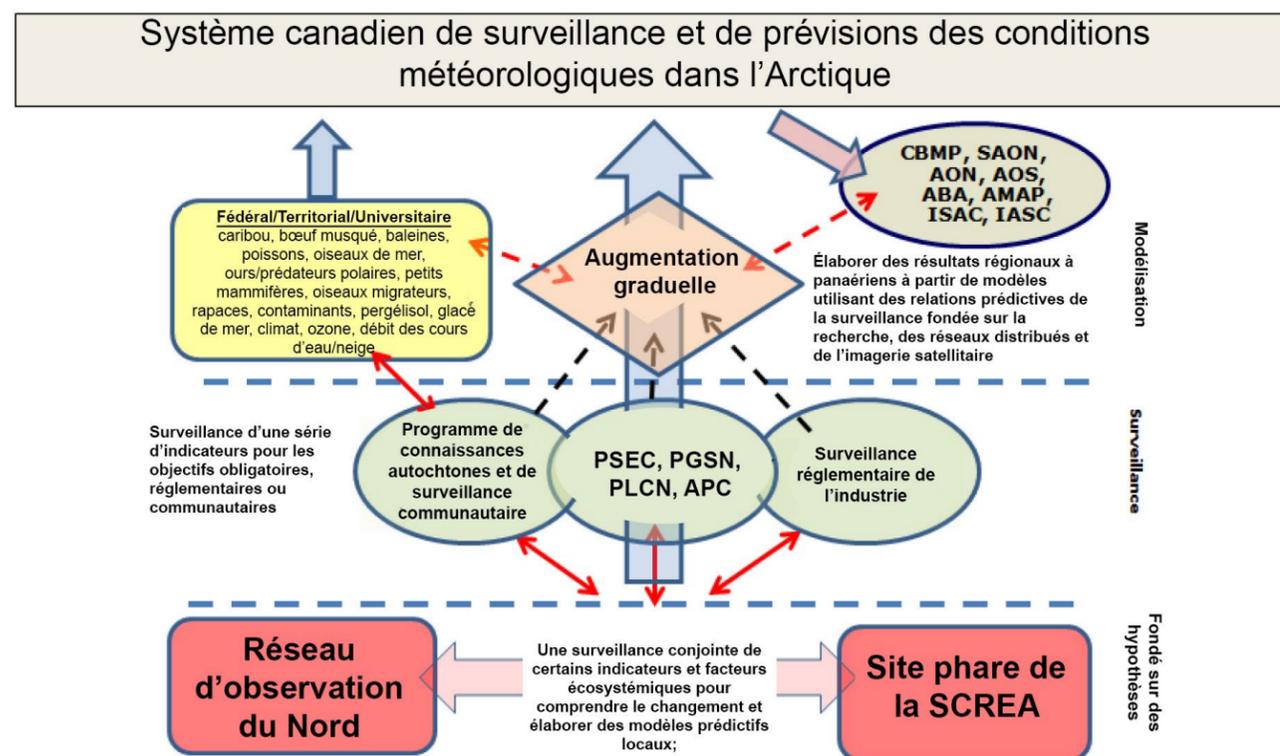


Figure 1 : Schéma du projet de Réseau canadien de surveillance et de prévision de l'Arctique — voir le texte pour discussion. CA = connaissances autochtones; PSEC = Programme de surveillance des effets cumulatifs; PGSN = Programme général de mentorat du Nunavut; PLCN = Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord; APC = Agence Parcs Canada; CBMP = Programme de surveillance de la biodiversité circumpolaire; SAON = Réseau d'observation durable de l'Arctique; AON = Réseau d'observation de l'Arctique; AOS = Sommet d'observation de l'Arctique; ABA = Arctic Biodiversity Assessment; ISAC = International Study of Arctic Change; IASC = Comité scientifique international.

programmes de surveillance fondés sur le mandat afin d'élaborer des modèles de télédétection qui permettraient d'extrapoler les résultats à l'échelle régionale et nationale dans le but de faire des prédictions des changements en utilisant les mesures de surveillance appropriées (p. ex., les changements dans la composition, la structure et la productivité végétale entraînées par les changements des sols et des facteurs des sites causés par les changements climatiques; les changements des systèmes d'eau douce qui entraînent la dégradation accélérée du pergélisol et les changements du cycle de neige; et les changements dans le biote mer-glace entraînés par les changements des mers et des glaces et le réchauffement des eaux).

### Préoccupations pour la collectivité

Le succès du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique dépendra en grande partie de la participation et du dévouement des membres des collectivités du Nord, des organismes directeurs communautaires et régionaux et des organisations autochtones associées. L'un des aspects importants du Système consiste à mettre à profit et à soutenir les connaissances et l'expérience autochtones inhérentes aux collectivités du Nord — les connaissances et l'expérience acquises au fil des siècles d'observation et d'accès aux ressources naturelles. L'approche proposée établit des partenariats scientifiques communautaires et crée un réseau de collectivités du Nord pour travailler en tant que partenaires égaux avec les chercheurs à la conception, à la mise en œuvre et à la diffusion de la recherche tout en ayant accès à l'information recueillie sur les collectivités et en contrôlant la façon dont l'information est utilisée et diffusée (ITK, 2016). Des investissements dans la formation communautaire, l'emploi et l'infrastructure, ainsi qu'une contribution significative à la conception de la surveillance à long terme à mettre en œuvre, contribueraient à l'autodétermination et à des économies durables dans les collectivités participantes. La recherche et la surveillance communautaires sont essentielles à la réussite du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique et comprennent deux activités clés : (1) les activités lancées et mises en œuvre par les collectivités pour répondre aux besoins clés de la collectivité (appuyées par la science au besoin) et (2) les activités qui font partie d'activités scientifiques coordonnées à l'échelle régionale, où les membres de la collectivité seraient employés et recevraient de la formation, du soutien scientifique et de l'équipement pour effectuer la surveillance. Il est primordial que l'information recueillie au moyen d'approches de

surveillance communautaire le soit selon des protocoles et des conceptions normalisés afin d'établir un lien efficace avec les activités régionales du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique.

### Discussion

L'élément clé de cette proposition est l'engagement et la coordination d'un éventail d'acteurs du Nord à une échelle qui n'a pas été atteinte jusqu'à maintenant, et il est important de ne pas sous-estimer le défi que représente une telle participation. Par ailleurs, la coordination entre les mandats, les organismes et les organisations est considérée comme un objectif louable par tous les acteurs depuis de nombreuses années. Les partenariats fructueux seront couronnés de succès s'ils profitent à toutes les parties en ce qui concerne l'investissement que chacune fait dans le système de connaissances proposé pour le Nord. Le Nord canadien est vaste, et son accès est médiocre et il y a de grandes lacunes en matière de connaissances, et tous les acteurs du Nord sont limités en matière de financement et d'expertise nécessaires pour comprendre les changements écologiques complexes, interactifs et accélérés qui se produisent. Bien qu'ambitieuse, une telle coalition est absolument essentielle pour atteindre les objectifs du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique.

En plus d'un engagement communautaire significatif, une autre clé du succès de cette proposition est de travailler à l'obtention d'un financement à long terme pour le réseau de sites de recherche qui mettrait en œuvre les expériences coordonnées. Ce financement contribuerait grandement à « garder les lumières allumées » sur les sites de recherche et à offrir une formation et un soutien à l'emploi au personnel technique du Nord qui assurerait la surveillance des expériences à long terme. Un tel investissement aurait l'avantage secondaire d'aider à sécuriser ces sites pour la recherche scientifique de toutes sortes, dont les résultats sont cruciaux pour soutenir le développement et l'évolution des expériences de surveillance coordonnées à long terme.

On s'attend à ce que la mise en œuvre du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique se fasse à l'échelle régionale afin de tirer parti des partenariats régionaux et des activités régionales en place, mais une approche normalisée des expériences à long terme et l'élargissement des modèles permettraient de dresser des résumés nationaux des activités régionales. S'il était mis en œuvre, le Système canadien de surveillance et de

prévision pour l'Arctique fournirait des renseignements utiles et opportuns à diverses échelles sur les changements en cours et prévus dans les écosystèmes du Nord, ce qui appuierait des approches d'adaptation proactives pour les collectivités, les industries et les gouvernements du Nord. Les investissements dans le Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique appuieraient également la recherche universitaire au sein d'un réseau stratégique de sites de recherche dans le Nord, renforceraient les capacités des collectivités du Nord, appuieraient la résilience et l'autodétermination dans ces collectivités et optimiseraient les investissements actuels en matière de science dans le Nord.

## Références

Alkire, M. B., Jacobson, A. D., Lehn, G. O., Macdonald, R. W., and Rossi, M.W. 2017. On the geochemical heterogeneity of rivers draining into the straits and channels of the Canadian Arctic Archipelago. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 122 (10):2527–2547. Available from <http://doi.org/10.1002/2016JG003723>.

Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 2017. Snow, water, ice, and permafrost in the Arctic (SWIPA). Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway. Xiv + 269 pp.

Baltzer, J. L., Veness, T., Chasmer, L. E., Sniderhan, A. E., and Quinton, W. L. 2014. Forests on thawing permafrost: Fragmentation, edge effects, and net forest loss. *Global Change Biology* 20:824–834. doi:10.1111/gcb.12349.

Carmack, E. C., Yamamoto-Kawai, M., Haine, T. W. N., Bacon, S., Bluhm, B. A., Lique, C., and Williams, W. J. 2016. Freshwater and its role in the Arctic marine system: Sources, disposition, storage, export, and physical and biogeochemical consequences in the Arctic and global oceans. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 121 (3):675–717. Available from <http://doi.org/10.1002/2015JG003140>.

CircumArctic Rangifer Monitoring and Assessment Network (CARMA). Available from <https://carma.caff.is/herds> [accessed March 2018].

Eamer, J., Donaldson, G.M., Gaston, A.J., Kosobokova, K.N., Lárusson, K.F., Melnikov, I.A., Reist, J.D., Richardson, E., Staples, L., and von Quillfeldt, C.H. 2013. Life linked to ice: A guide to sea-ice-associated biodiversity in this time of rapid change. CAFF Assessment Series No. 10. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. ISBN: 978-9935-431-25-7.

Forbes, D.L. (ed.). 2011. State of the Arctic coast 2010: Scientific review and outlook. International Arctic Science Committee, Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, Arctic Monitoring and Assessment Programme, International Permafrost Association. Helmholtz-Zentrum, Geesthacht, Germany. 178 pp. Available from <http://arcticcoasts.org>.

Frey, K. E. and McClelland, J.W. 2009. Impacts of permafrost degradation on Arctic river biogeochemistry. *Hydrological Processes* 23 (1):169–182. Available from <http://doi.org/10.1002/hyp.7196>.

Gunn, A., Russell, D., and Eamer, J. 2010. Northern caribou population trends in Canada: Canadian biodiversity; Ecosystem status and trends. Technical Thematic Report No. 10, Canadian Councils of Resource Ministers of the Environment.

Günther, F., Overduin, P.P., Yakshina, I.A., Opel, T., Baranskaya, A.V., and Grigoriev, M.N. 2015. Observing Muostakh disappear: Permafrost thaw subsidence and erosion of a ground-ice-rich island in response to Arctic summer warming and sea-ice reduction. *The Cryosphere* 9:151–178.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core writing team, Pachauri, R.K. and Meyer, L.A. (eds.), IPCC, Geneva, Switzerland. 151 pp.

Inuit Tapiriit Kanatami (ITK). 2016–2019. Strategy and action plan. Available from [https://www.itk.ca/wp-content/uploads/2016/04/ITK\\_2016-2019-Strategy-Plan\\_E.pdf](https://www.itk.ca/wp-content/uploads/2016/04/ITK_2016-2019-Strategy-Plan_E.pdf).

Jorgensen, M.T., Frost, G.V., and Dissing, D. 2018. Drivers of landscape changes in coastal ecosystems of the Yukon-Kuskokwim Delta, Alaska. *Remote Sensing*, 10, pp 1-27. doi:10.3390/rs 10081280.

Kutz, S., Bollinger, T., Branigan, M. et al. 2015. *Erysipelothrix rhusiopathiae* associated with recent widespread muskox mortalities in the Canadian Arctic. *The Canadian Veterinary Journal* 56 (6):560–563.

Lantuit, H., Overduin, P., Couture, N., Wetterich, S., Aré, F., Atkinson, D., Brown, J., Cherkashov, G., Drozdov, D., Forbes, D., Graves-Gaylord, A., Grigoriev, M., Hubberten, H.W., Jordan, J., Jorgenson, T., Ødegård, R., Ogorodov, S., Pollard, W., Rachold, V., Sedenko, S., Solomon, S., Steenhuisen, F., Lantz, T.C., and Kokelj, S.V. 2008. Increasing rates of retrogressive thaw slump activity in the Mackenzie Delta region, Canada. *Geophysical Research Letters* 35, L06502. doi:10.1029/2007GL032433.

Lawler, J.L., Shafer, S.L., White, D., Kareiva, P., Maurer, E.P., Blaustein, A.R., and Bartlein, P.J. 2009. Projected climate-induced faunal change in the western hemisphere. *Ecology* 90 (3):588–597.

McLennan, D.S., Mackenzie, W.H., Meidinger, D.V., Wagner, J., and Arko, C. 2018. A standardized ecosystem classification for the coordination and design of long-term terrestrial ecosystem monitoring in Arctic-Subarctic biomes. *Arctic* 71(Suppl. 1):1–15.

McLennan, D.S. and Wagner, J. In prep. The Canadian High Arctic Research Station monitoring plan: Pilot phase for terrestrial ecosystems. CAFF Report, CAFF International Secretariat, Akureyri, Iceland.

Myers-Smith, I.H., Forbes, B.C., Wilmking, M., Hallinger, M., Lantz, T., Blok, D., Tape, K.D., Macias-Fauria, M., Sass-Klaassen, U., Levesque, E., Boudreau, S., Ropars, P., Hermanutz, L., Trant, A., Siegwart Collier, L., Weijers, S., Rozema, J., Rayback, S.A., Schmidt, N.M., Schaepman-Strub, G., Wip, S., Rixen, C., Menard, C.B., Venn, S., Goetz, S., Andreu-Hayles, L., Elmendorf, S., Ravolainen, V., Welker, J., Grogan, P., Epstein, H.E., and Hik, D.S. 2011. Shrub expansion in tundra ecosystems: Dynamics, impacts, and research priorities. *Environmental Research Letters* 6 (2011) 045509 (15pp). doi:10.1088/1748-9326/6/4/045509.

Parlee, B.L., Sandlos, J., and Natcher, D.C. 2018. Undermining subsistence: Barren-ground caribou in a “tragedy of open access.” *Science Advances* 4:e1701611.

Provencher, J. V., Johnston, E., Syroechkovskiy, N., Crockford, N., Lanctot, R.B., Millington, S., Clay, R., Donaldson, G., Ekker, M., Gilchrist, G., Black, A., Crawford, R., Price, C., and Barry, T. 2018. Arctic migratory birds initiative (AMBI): Revised workplan 2015–2019. CAFF Strategies Series No. 6. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. ISBN: 978-9935-431-72-1.

Schmidt, N.M., Ims, R.A., Høye, T.T., Gilg, O., Hansen, L.H., Hansen, J., Lund, M., Fuglei, E., Forchhammer, M.C., and Sittler, B. 2012. Response of an Arctic predator guild to collapsing lemming cycles. *Proceedings of the Royal Society B* 279:4417–4422. doi:10.1098/rspb.2012.1490.

Schuster, P. F., Schaefer, K.M., Aiken, G.R., Antweiler, R.C., Dewild, J.F., Gryziec, J.D., and Zhang, T. 2018. Permafrost stores a globally significant amount of mercury. *Geophysical Research Letters* 45. Available from <https://doi.org/10.1002/2017GL075571>.

Serreze, M.C., Barrett, A.P., Stroeve, J.C., Kindig, D.N., and Holland, M.M. 2009. The emergence of surface-based Arctic amplification. *The Cryosphere* 3:11–19.

Settele, J. et al. 2014. Terrestrial and inland water systems. In Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability: Part A - Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., and White, L.L. (eds.), Cambridge University Press. pp. 271–359.

Sniderhan, A. E. and Baltzer, J.L. 2016. Growth dynamics of black spruce (*Picea mariana*) in a rapidly thawing discontinuous permafrost peatland. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 121:2988–3000. doi:10.1002/2016JG003528.

Steinacher, M., Joos, F., Frolicher, T.L., Plattner, G.K., and Doney, S.C. 2009. Imminent ocean acidification in the Arctic projected with the NCAR global coupled carbon cycle-climate model. *Biogeosciences* 6:515–533.

Streletskaia, I. and Vasiliev, A. 2015. The Arctic coastal dynamics database: A new classification scheme and statistics on Arctic permafrost coastlines. *Estuaries and Coasts* 35:383–400. doi:10.1007/s12237-010-9362-6, 2011a.

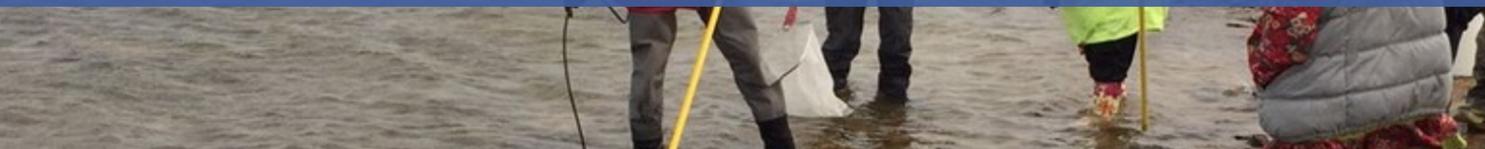
Tape, K., Sturm, M., and Racine, C. 2006. The evidence for shrub expansion in northern Alaska and the Pan-Arctic. *Global Change Biology* 12:686–702.

Tape, K.D., Hallinger, M., Welker, J.M., and Ruess, R.W. 2012. Landscape heterogeneity of shrub expansion in Arctic Alaska. *Ecosystems* 15:711–724. doi: 10.1007/s10021-012-9540-4.

Yamamoto-Kawai, M., McLaughlin, F.A., Carmack, E.C., Nishino, S., and Shimada, K. 2009. Aragonite undersaturation in the Arctic Ocean: Effects of ocean acidification and sea ice melt. *Science* 326 (5956):1098–1100.

## LA MÉTHODE ONE VOICE :

relier l'Inuit Qaujimajatuqangit à la science occidentale pour surveiller le milieu aquatique d'eau douce du Nord canadien



**Richard A. Nesbitt<sup>1\*</sup>, Neil J. Hutchinson<sup>2</sup>, Heidi E. Klein<sup>3</sup>, Brenda L. Parlee<sup>4</sup>, Jeff Hart<sup>5</sup>, Jeff Tulugak<sup>5</sup>, and Luis Manzo<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Hutchinson Environmental Sciences Ltd., Kitchener, Ontario, Canada

<sup>2</sup> Hutchinson Environmental Sciences Ltd., Bracebridge, Ontario, Canada

<sup>3</sup> Sanammanga Solutions Inc., Vancouver, Colombie-Britannique, Canada

<sup>4</sup> Département de l'économie des ressources et de la sociologie environnementale, Faculté des sciences agricoles, environnementales et de la vie, Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta, Canada

<sup>5</sup> Service des terres, Kivalliq Inuit Association, Nunavut, Canada

\* richard.nesbitt@environmentalsciences.ca

**Le projet One Voice, dirigé par l'Association inuite du Kivalliq (AIK) et Hutchinson Environmental Sciences Ltd. (HESL), est appuyé par la collectivité de Baker Lake. Le projet One Voice est une composante d'« Inuu'tuti », le programme de surveillance des effets cumulatifs dans le bassin hydrographique de Baker Lake. Inuu'tuti est dirigé par un secrétariat directeur composé de l'AIK (avec le soutien technique fourni par HESL), du Plan de surveillance générale du Nunavut et de l'Office des eaux du Nunavut.**

### Résumé

Les liens entre l'Inuit Qaujimajatuqangit (IQ) et les systèmes de connaissances scientifiques occidentaux ont été explorés au moyen d'une série d'entrevues semi-dirigées modifiées avec des détenteurs du savoir, menées par un « scientifique curieux » qui posait des questions ciblées pour déterminer les intersections pour certaines observations de la qualité de l'eau. Trois entrevues itératives ont été menées, la dernière ayant eu lieu au sol, à des endroits que les détenteurs du savoir considèrent comme ayant toujours de l'eau potable de qualité élevée ou faible. L'échantillonnage simultané de la qualité de l'eau par le scientifique a aidé à établir un sous-ensemble d'analytes comme indicateurs communs qui caractérisent l'environnement aquatique entre les deux systèmes de connaissances. Ces indicateurs communs peuvent être utilisés pour établir les conditions de référence, évaluer l'incidence des facteurs de stress,

peaufiner les programmes de surveillance aquatique afin de mieux répondre aux préoccupations des collectivités et produire une caractérisation plus globale du milieu aquatique, à l'aide des deux approches.

### Introduction

Le gagne-pain des populations autochtones du Canada repose depuis toujours sur une compréhension intime de l'environnement naturel. La reconnaissance de cette compréhension unique et exhaustive de l'environnement local a été introduite aux lois, aux politiques et aux pratiques environnementales du Canada au cours des deux dernières décennies (Usher, 2000; LCEE, 2012). Par exemple, la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* exige la prise

en compte et l'intégration des connaissances autochtones afin de faciliter une caractérisation plus complète des répercussions sur le développement à grande échelle (LCEE 2012). Plus récemment, le gouvernement fédéral canadien a présenté une nouvelle loi environnementale qui accroît l'obligation de tenir compte des droits et des connaissances des peuples autochtones (c.-à-d. le projet de loi C-69, *Loi édictant la Loi sur l'évaluation d'impact et la Loi sur la Régie canadienne de l'énergie, modifiant la Loi sur la protection de la navigation et apportant des modifications corrélatives à d'autres lois*).

Bien que le savoir autochtone soit une composante obligatoire des études d'impact sur l'environnement (EIE), il existe une grande variété de directives sur la façon dont il devrait être pris en compte en conjonction avec les approches scientifiques occidentales qui constituent le fondement de l'EIE (Bartlett et coll. 2015). Ce problème est exacerbé par le cadre type de collecte des connaissances. Les entrevues et les consultations menées à l'occasion de réunions semi-dirigées servent à recueillir les commentaires de la collectivité sur les composantes valorisées de l'écosystème (CVE), mais il est rare que les intervieweurs posent les questions de suivi nécessaires pour s'assurer que l'information environnementale qui sous-tend les expériences et les anecdotes présentées par les personnes interrogées sont suffisamment explorées pour fournir des détails et un contexte (Usher, 2000). De plus, la collecte de renseignements selon les CVE est une approche occidentale. Les participants autochtones vous diront sans cesse qu'ils ne voient pas le monde de cette façon. Leur vision est holistique et ne peut être séparée en morceaux (Legat 2012, Berkes 1998). L'identification des CVE est intégrée dans la pratique et fonctionne assez bien pour la faune, mais elle ne répond pas aux CVE moins tangibles comme la qualité de l'eau, qui est rarement évaluée en soi. En dépit du droit de « ne pas apporter de modifications substantielles » accordé à la qualité de l'eau à l'article 20 de l'Accord sur les revendications territoriales du Nunavut (ARTN, 1993), les EIE consignées dans les dossiers font souvent état des répercussions sur la qualité de l'eau uniquement en ce qui concerne les répercussions sur la santé humaine ou les effets sur le biote aquatique. Les questions de suivi essentielles pour explorer la qualité de l'eau en tant qu'attribut en soi ont toujours été laissées sans réponse, car les entrevues sont menées par des spécialistes de l'IQ ou d'autres professionnels sans formation particulière en qualité de l'eau. Le manque d'expérience en science de l'eau a entraîné la négligence de descripteurs clés de l'environnement aquatique, ce qui a

donné lieu à des écrits exprimant qu'« aucune information sur la qualité de l'eau n'a été spécifiquement mentionnée » (Sabina, 2015), alors qu'en fait, cette lacune peut refléter non pas le manque d'information, mais bien le manque de questionnement approprié. La qualité de l'eau est définie comme une CVE par l'IQ, mais sans plus de détails et il est interdit de l'intégrer dans les ensembles de données de surveillance environnementale et les spécifications de conception du projet. La science occidentale est donc demeurée au centre de l'évaluation des effets des projets, même dans des administrations comme le Nunavut, où la cogestion environnementale fait partie intégrante du processus d'évaluation, comme l'exige la Commission du Nunavut chargée de l'examen des répercussions (CNER, 2016).

L'objectif global de ce projet était de combler ce déficit en élaborant une approche pour intégrer l'IQ et la science occidentale dans One Voice afin de surveiller l'environnement aquatique. Pour ce faire, nous avons mené une série d'entrevues semi-dirigées par un spécialiste de l'environnement aquatique possédant une expérience locale dans la collectivité, avec l'appui de chercheurs inuits.

### Méthodes

Trois entrevues distinctes ont été menées de 2015 à 2017 auprès d'Aînés<sup>1</sup> et de chasseurs inuits de Baker Lake, au Nunavut, dans le cadre du programme Innu'Tuti dans le bassin versant du lac Baker. La zone d'étude était limitée aux bassins hydrographiques locaux près du lac Baker, car les Inuits locaux utilisent les terres traditionnelles à proximité de la collectivité. Ces bassins hydrographiques ne sont pas vierges, mais ils subissent un certain stress en raison de l'exploitation de mines d'or, de l'élimination des eaux usées et des ordures dans les collectivités et des changements climatiques. Des modifications ont été apportées à ces bassins versants depuis l'étape avancée de l'exploration de la mine Meadowbank au début des années 2000 et le début du réchauffement climatique dans les années 1950 (Medeiros et coll. 2012).

L'approche d'entrevue a été modifiée de *Voices from the Bay*, selon un style semi-directif (McDonald et coll. 1997). Des questions fixes ont été posées aux détenteurs de connaissances accompagnés de traducteurs locaux. Des

<sup>1</sup> Les Aînés ont été choisis par la Kivalliq Inuit Association (KIA) et reconnus comme des membres respectés de Baker Lake ayant des connaissances importantes sur le milieu aquatique. Ils étaient âgés de 41 à 90 ans. Identificateur d'objet numérique : 10.xxx

Citation suggérée :

Nesbitt, R.A., Hutchinson, N.J., Klein, H.E., Parlee, B.L., Hart, J., Tulugak, J., and Manzo, L. 2018. La méthode One Voice : relier l'Inuit Qaujimajatuqangit à la science occidentale pour surveiller le milieu aquatique d'eau douce du Nord canadien *Savoir polaire* : Aqhaliat 2018, *Savoir polaire Canada*, p. 70–77. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.09

Tableau 1 : Des entrevues itératives dont les objectifs sont progressivement ciblés pour l'étude One Voice — composante de la qualité de l'eau.

|                              | Année 1 : 2015-2016   | Année 2 : 2016-2017   | Année 3 : 2017-2018  |
|------------------------------|---|---|--|
| Objectifs – Qualité de l'eau | Établir les CVE clés en milieu aquatique et les utilisations traditionnelles inuites associées à chacune. | Confirmer les principales utilisations inuites associées à chaque CVE dans le milieu aquatique et les indicateurs de mesures connexes de l'IQ.  | Recueillir simultanément des mesures visuelles et physicochimiques et des observations de détenteurs de connaissances IQ sur l'environnement pour chaque CVE associée dont une utilisation clé du milieu aquatique par les Inuits.                                       |
|                              | Déterminer les indicateurs IQ utilisés pour évaluer la qualité de chaque CVE en milieu aquatique.         | Peaufiner les indicateurs de mesure de l'IQ dans le milieu aquatique et déterminer s'il y a chevauchement avec des « indicateurs communs » scientifiques mesurables entre les deux systèmes de connaissances. | Mettre en corrélation les mesures recueillies par chaque système de connaissances afin de déterminer comment les mesures recueillies par un système sont représentées par l'autre.   |
|                              | Déterminer les seuils conceptuels pour la poursuite de chaque utilisation.                                | Déterminer les caractéristiques de l'eau et des poissons souhaitables et non souhaitables, et les endroits où elles se produisent.  | Définir les caractéristiques de l'eau représentant des conditions normales; et celles qui indiquent une dégradation ou une divergence de ces caractéristiques. Identifier les seuils de l'IQ pour délaissier les utilisations traditionnelles des ressources aquatiques. |

questions de suivi ont été posées au cours des entrevues si les réponses suggéraient des descripteurs des propriétés physicochimiques de la qualité de l'eau ou si elles étaient trop larges, et si elles nécessitaient l'intervention d'un « scientifique curieux » pour obtenir de plus amples renseignements. Cette dérogation à l'entrevue semi-dirigée standard axée sur la qualité de l'eau a permis d'obtenir des détails supplémentaires des personnes interrogées afin d'établir des liens plus tangibles entre les observations déclarées et les variables scientifiques occidentales mesurables. Des entrevues itératives ont été menées en vue d'atteindre des objectifs de plus en plus ciblés (tableau 1). Des programmes parallèles ont en outre été réalisés pour les CVE relatives à la santé des poissons et à la quantité d'eau, mais une quantité insuffisante de données (scientifiques et IQ) ont été générées dans le cadre de l'étude actuelle pour qu'elles soient incluses dans cette discussion. Des enquêtes futures ont été proposées pour recueillir les données nécessaires.

Des entrevues individuelles exploratoires initiales ont eu lieu au cours de l'année 1 (novembre 2015) auprès de dix détenteurs de connaissances masculins et comprennent des discussions générales sur la qualité, la quantité et le débit de l'eau (conformément aux droits des Inuits à un environnement aquatique non modifié en vertu de l'ARTN de 1993) et l'utilisation du poisson, de la sauvagine et

des insectes comme indicateurs aquatiques. Au cours de l'année 2 (janvier 2017), huit hommes de la première année et quatre femmes ont été interviewés afin de mieux saisir les différences possibles entre les sexes. Les questions visaient à confirmer les conclusions de l'année 1, à explorer les utilisations traditionnelles des terres liées à l'environnement aquatique, en mettant l'accent sur la qualité de l'eau, les poissons et le transport, et à préciser les seuils hypothétiques de l'IQ. Des cartes à une échelle de 1:85 000 illustrant le terrain dans un rayon de 50 km et un rayon de 100 km autour du hameau de Baker Lake ont été fournies aux participants pour qu'ils puissent discuter de la géographie des endroits les plus fréquentés. Les endroits où les répondants ont indiqué que la qualité de l'eau était constamment élevée ou faible ont été consignés en prévision des enquêtes sur le terrain au cours de l'année 3. Des entrevues ont eu lieu sur le terrain au cours de l'année 3 (août 2017) avec des personnes ou des paires de détenteurs de connaissances; tous avaient participé au programme au cours des années précédentes. Neuf endroits où l'eau est de haute qualité étaient indiqués précédemment et quatre endroits où l'eau est de mauvaise qualité ont été visités. À chaque endroit, on a demandé aux personnes interrogées d'indiquer si le site avait une qualité d'eau élevée ou faible et de décrire le goût, l'apparence, l'odeur, la sensation dans la bouche et l'impression générale de l'eau. Des échantillons d'eau

Tableau 2 : Les utilisations traditionnelles de l'eau par les Inuits et les seuils fondés sur l'IQ des changements environnementaux.

| Composante valorisée de l'écosystème | Utilisation par les Inuits          | Seuils de l'IQ pour les changements environnementaux  |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---|
| Qualité de l'eau                     | Boissons chaudes (thé, café)        | L'eau n'est plus acceptable pour la consommation ou le lavage. Ce seuil peut être basé sur le goût, la vue, l'odorat ou la déficience perçue. Les seuils peuvent aussi différer selon la saison et les utilisations*. |
|                                      | Eau potable                         |   |
|                                      | Eau de cuisson                      |   |
|                                      | Eau de lavage                       |   |
| Quantité d'eau                       | Transport par bateau                | Modification des méthodes de transport et modification de l'accès routier ou réduction de la sécurité.  |
|                                      | Accès aux itinéraires traditionnels |   |
| Poissons et produits de la pêche     | Récolte de poisson                  | Diminution importante des prises par unité d'effort.  |
|                                      | Consommation de poisson             | Taille, état, teneur en gras ou apparence indésirables.   |

\*p. ex., l'eau salée est considérée comme indésirable pour l'eau potable, mais elle est souhaitable pour faire bouillir le poisson ou le caribou, car elle aide à assaisonner la viande.

ont été prélevés simultanément en vue de les analyser en laboratoire. Les analytes ont été choisis pour évaluer les microconstituants organoleptiques<sup>2</sup> mis en évidence par les personnes interrogées. Ces analytes ont été évalués sur le terrain (oxygène dissous, conductivité électrique, pH et température de l'eau) et en laboratoire (alcalinité, total des solides en suspension et dissous, turbidité, ions majeurs, nutriments, carbone organique total et dissous, et métaux totaux).

## Résultats et discussion

Les personnes interrogées ont systématiquement identifié trois caractéristiques associées au milieu aquatique d'eau douce, soit la qualité de l'eau, la quantité d'eau, et les poissons et les pêches (tableau 2). Elles ont indiqué de façon constante les utilisations clés de chacune des caractéristiques, les conditions environnementales normales et utilisables requises pour ces utilisations, et les conditions signalant des préoccupations environnementales. Cette constatation est conforme aux conclusions de McDonald et coll. (1997) que les Inuits avaient une image claire de ce qui était des conditions environnementales normales et de ce qui révélait des anomalies. Le point selon lequel un utilisateur des terres reconnaît consciemment que les conditions environnementales se sont écartées des conditions normales est considéré comme le seuil de changement de l'IQ (tableau 2).

<sup>2</sup> Les microconstituants organoleptiques agissent sur les organes sensoriels des personnes interrogées ou les sollicitent. Dans le cadre de cette étude, les microconstituants organoleptiques ont agi sur les sens du goût, de la vue, de l'odorat et du toucher (sensation dans la bouche).

Les personnes interrogées ont utilisé des caractéristiques organoleptiques et physicochimiques pour évaluer si l'eau était acceptable pour la consommation ou d'autres utilisations. Les questions de suivi ont permis d'examiner les réponses des détenteurs de connaissances, ce qui a ensuite permis d'obtenir des descripteurs détaillés de la qualité de l'eau qui pourraient être liés à des indicateurs scientifiques. Ces « indicateurs communs » sont présentés au tableau 3. Bien que des termes similaires aient été consignés dans d'autres études menées dans le Nord canadien (Goldhar et coll. 2013), ils n'étaient pas liés à des microconstituants organoleptiques mesurables par la science occidentale.

Les eaux les plus recherchées étaient celles qui s'écoulaient sur des substrats rocheux (fig. 1c) et étaient décrites comme étant plus profondes (c.-à-d. plus de 3 m), claires, fraîches et « rafraîchissantes » et « sans goût ni odeur » (Thomas Iksariq : communication personnelle). Les personnes interrogées dans d'autres études ont indiqué une préférence pour l'eau provenant de sources familières (Goldhar et coll. 2013). Spence et Walters (2012) ont laissé entendre que cela était attribuable à des antécédents de sécurité démontrés à un endroit donné, depuis l'utilisation et l'accoutumance de la collectivité jusqu'à un profil organoleptique donné. Cela a été confirmé dans la présente étude par des preuves d'utilisation fréquente à des sites où l'eau potable est de grande qualité; les personnes interrogées ont signalé des kakivaks (lance-amarres à trois broches pour attraper du poisson) et des chaudières pour utilisation future, ainsi que des chalets des résidents de Baker Lake (fig. 1a, 1 b). Nous remarquons

Tableau 3 : Indicateurs communs entre l'IQ et la science occidentale pour évaluer la qualité de l'eau douce.

|                      |   |                                 |                            |
|----------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| Goût et odeur        | Goût de « terre »   | Carbone organique               | pH                         |
|                      |   | Conductivité                    | Nutriments                 |
|                      |   | Chlorophylle a                  |                            |
|                      | Salure  | Salinité                        | Chlorure                   |
|                      |   | Sodium                          | Dureté                     |
|                      |   | Alcalinité                      | Conductivité               |
|                      | Odeur de poisson  | Communauté algale spécifique    | Chlorophylle $\alpha$      |
|                      |   | Nutriments                      |                            |
|                      | L'eau est « rafraîchissante »                               | Total des solides en suspension | Matières dissoutes totales |
|                      |   | Salinité                        | Conductivité               |
| Chlorure             |   | pH                              |                            |
| Turbidité            |   | Dureté                          |                            |
| Cuivre               |   | Fer                             |                            |
| Manganèse            |   | Sodium                          |                            |
| Débit                |   | OHuile et graisse               |                            |
| Température de l'eau | Évaluation de la température de l'eau au toucher ou au goût | Température de l'eau            |                            |

que cette observation n'est pas généralisée aux autres communautés; la qualité de l'eau à proximité de petits développements humains peut être considérée comme moins souhaitable dans d'autres contextes. Cela souligne l'importance de recueillir des renseignements propres à la

collectivité au moment d'évaluer la sécurité et les risques perçus d'une source d'eau.

Les sites ayant de l'eau de grande qualité ont été regroupés en deux catégories en fonction des profils de goût. Dans

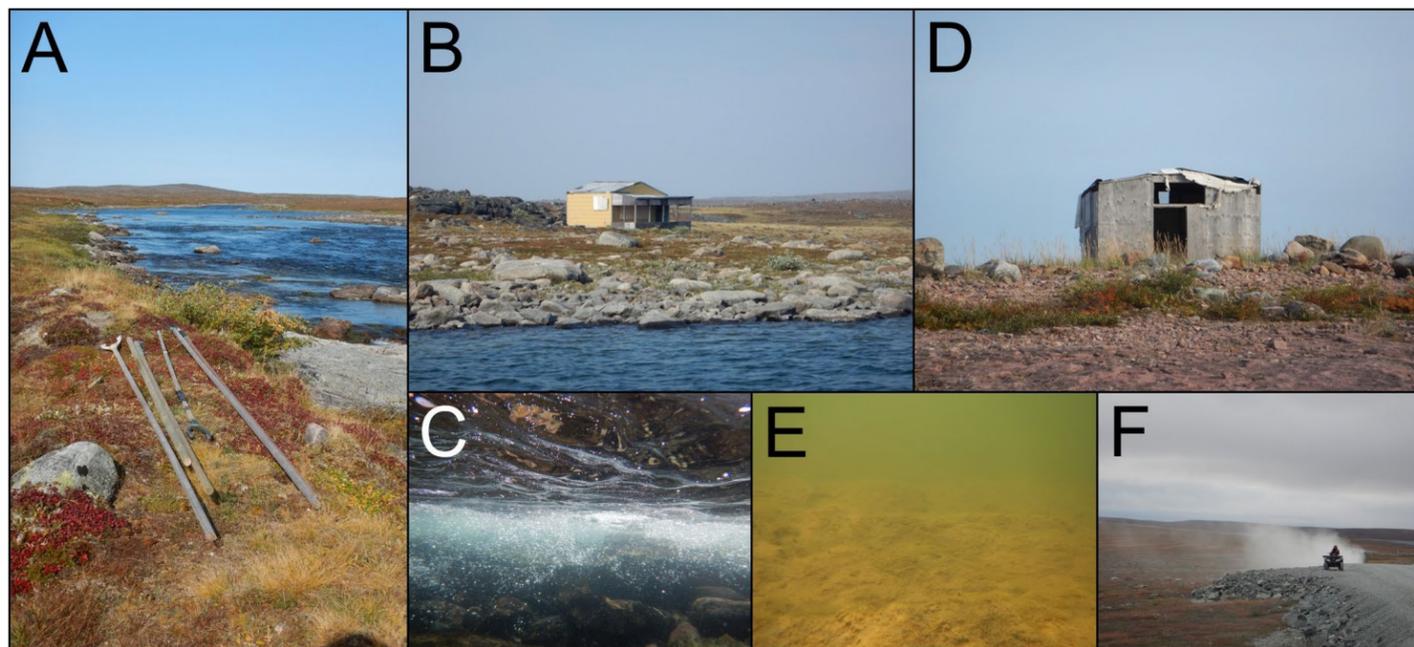


Figure 1 : Photos de sites où l'eau est de grande qualité (a, b, c) et de faible qualité (d, e, f).

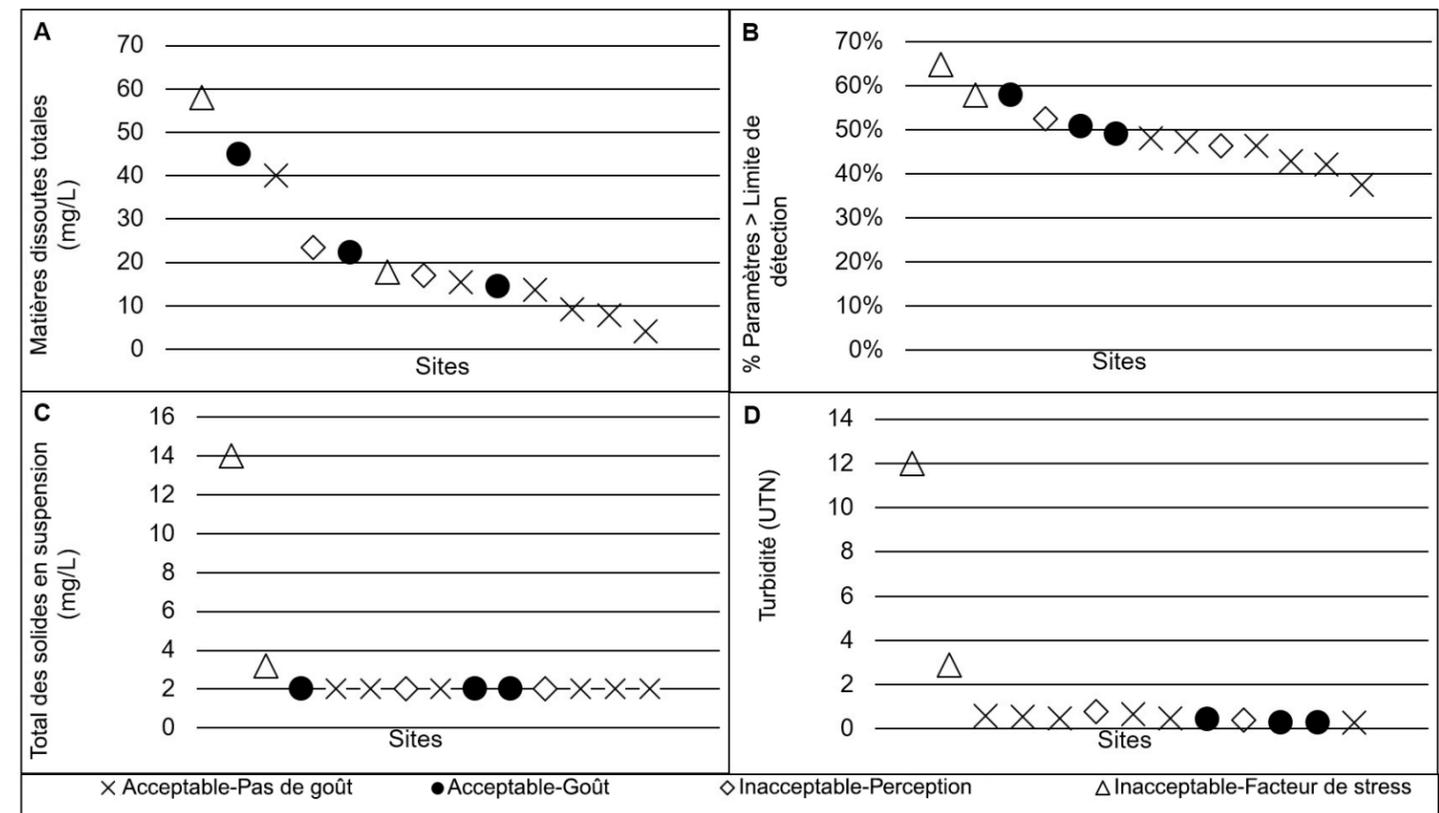


Figure 2 : Résultats sur la chimie de l'eau des échantillons recueillis, en même temps que les entrevues sur l'IQ : (a) les matières dissoutes totales, (b) le pourcentage de paramètres au-dessus de la limite de détection, (c) le total des solides en suspension et (d) la turbidité. Les catégories de sites sont uniformes dans l'ensemble de la figure.

certains sites, l'eau n'avait aucun goût, tandis que dans d'autres, elle avait un certain goût, bien que les descriptions aient varié largement entre les personnes interrogées et les sites. Par exemple, une partie de l'eau goûtait comme si « il y a plus de roches dans la région » (James Kalluk : communication personnelle) tandis que l'eau dans d'autres sites avait un « goût prononcé de végétation » (Jamie Seeteenak : communication personnelle). Les personnes interrogées ont eu de la difficulté à décrire le profil particulier à plusieurs endroits où un goût a été noté. Des observations semblables apparaissent dans la littérature, où même les goûteurs d'expérience signalent systématiquement une caractéristique perceptuelle de l'effet combiné des microconstituants, mais ont de la difficulté à préciser les profils de goût (Burlingame et coll. 2017). Les goûts particuliers déclarés sont encore plus compliqués par les sensibilités individuelles ainsi que par le sexe, l'âge, la santé et les antécédents de tabagisme d'une personne (Burlingame et coll. 2017). Les sites ayant un goût déclaré présentaient une plus grande concentration de matières dissoutes totales et une plus grande proportion de paramètres (en particulier des paramètres organoleptiques comme le calcium et le soufre) à des concentrations plus

facilement détectables que les sites sans goût (fig. 2a, 2b). Parmi les autres microconstituants analysés, aucun paramètre particulier n'était systématiquement plus élevé dans ces sites; les données n'ont pas été résumées ici.

Parmi les sites où les personnes interrogées préféraient ne pas boire, deux étaient turbides : « plus l'eau est trouble, moins on veut la boire » (Thomas Iksariq : communication personnelle; fig. 1e). Ces deux sites présentaient la turbidité et les matières en suspension totales les plus élevées, ce qui indique que les participants ont été en mesure de détecter des concentrations aussi faibles que 2,89 mg/L (fig. 2c, 2d). Ces sites présentaient également le pourcentage le plus élevé de paramètres au-dessus de la limite de détection (fig. 2b). Deux autres sites ont été désignés comme indésirables en raison de la proximité des activités humaines; un site se trouvait à proximité d'un chalet désaffecté (fig. 1d), tandis que l'autre avait des entrées d'eaux d'amont dans lesquelles les eaux usées domestiques et les déchets étaient déversés. Ces sites avaient de l'eau intacte en apparence (la clarté ne différait pas des sites acceptables), mais les personnes interrogées avaient des connaissances préalables indiquant que l'eau pourrait être

contaminée en amont. Cela concorde avec d'autres études où la connaissance des utilisations des terres à proximité d'une source d'eau a influencé la perception de la sécurité actuelle (de França Doria, 2010). Dans ce dernier exemple, on pouvait voir une route de mine poussiéreuse (fig. 1f) depuis le site près du chalet désaffecté, mais le site se trouvait au-delà de l'étendue de chute de poussière (AEM, 2017), alors qu'un étang d'épuration était associé à l'autre site, même si l'eau ne s'écoulait pas à ce moment (fig. 1c, 1d).

## Conclusions

Les observations qualitatives historiques sur les terres peuvent servir de sentinelle pour les changements et les impacts sur le milieu aquatique. Les personnes interrogées étaient sensibles aux changements de goût, d'odeur, de sensation de la bouche, de turbidité et de température. Pendant que les rapports font état d'un tel changement, ils ne peuvent être utilisés pour déterminer l'ampleur d'un changement ou les microconstituants en cause; ces rapports peuvent signaler un changement dans la composition chimique de l'eau et signaler les emplacements pour une analyse détaillée à venir. Les changements dans la proximité de l'utilisation des terres peuvent avoir une incidence significative sur l'utilisation du milieu aquatique par les gens, que ce changement soit intermittent ou qu'il ait un effet mesurable. Les changements perçus dans l'environnement ainsi que les changements mesurables dans la qualité de l'eau peuvent modifier le comportement des Inuits sur les terres et devraient être considérés comme un impact réel du développement lorsqu'on effectue une évaluation environnementale et qu'on prend des décisions sur l'utilisation des terres.

Bien que les résultats soient préliminaires, la connaissance qu'ont les Inuits de leurs sources d'eau et leur capacité à décrire les caractéristiques pertinentes en matière de goût, d'odeur, de sensation dans la bouche, de température et d'apparence a jeté les bases d'une quantification améliorée en utilisant l'IQ et la science occidentale ensemble dans One Voice. Si les prochains travaux permettent d'établir un seuil de changement fondé sur l'IQ pur ce qui est des caractéristiques perceptuelles mesurables de l'eau, alors ces changements pourraient être considérés comme des intrants quantifiables dans le processus d'évaluation environnementale, dont la pertinence est directe pour l'utilisation des terres par les Inuits.

## Préoccupations pour la collectivité

L'évaluation communautaire des indicateurs communs vise à permettre aux Nunavummiut d'évaluer l'impact des facteurs de stress sur leur environnement aquatique local, de fournir une contribution significative à la surveillance aquatique et de participer à une caractérisation plus holistique des composantes valorisées de l'écosystème.

## Remerciements

Nous remercions les consultants de Baker Lake d'avoir partagé leurs histoires et leurs connaissances : Michael Akilak, M<sup>me</sup> Alooq, Thomas Anirniq, Winnie Attungala, Timothy Evvuiq, Thomas Iksariq, Tuupik Iyago, James Kalluk, Hannah Killulark, Simeon Mikkungwak, Thomas Oovayuk, David Owingayak, Jamie Seeteenak, et Irene Tiktaalaaq. Nous espérons avoir compilé et interprété leurs propos de façon respectueuse, exacte et complète. Nous remercions également la Kivalliq Inuit Association pour son leadership continu dans le dossier Inuu'Tuti, et Savoir polaire Canada et le Programme de surveillance générale du Nunavut pour leur soutien financier.

## Références

Agnico Eagle Mines Ltd. (AEM) — Meadowbank Division. 2017. 2016 all-weather access road dust monitoring report.

Bartlett, C., Marshall, M., Marshall, A., and Iwama, M. 2015. Integrative science and two-eyed seeing: Enriching the discussion framework for healthy communities. In *Ecosystems, society and health: Pathways through diversity, convergence, and integration*, chap.10, Hallstrom, L.K., Guehlstorf, N., and Parkes, M. (eds.), McGill-Queen's University Press.

Berkes, F. 1998. Nature of traditional ecological knowledge and the Canada-wide experience. *Terra Borealis* 1:1–3. Available from [http://nafeforestry.org/forest\\_home/documents/TerraBorealis1997.pdf](http://nafeforestry.org/forest_home/documents/TerraBorealis1997.pdf) [accessed 29 April 2018].

Burlingame, G.A., Doty, R.L., and Dietrich, A.M. 2017. Humans as sensors to evaluate drinking water taste and odor: A review. *Journal American Water Works Association* 109 (11):13–24.

*Canadian Environmental Assessment Act* (CEAA). 2012. c. 19, s. 52.

de França Doria, M. 2010. Factors influencing public perception of drinking water quality. *Water policy* 12 (1):1–19.

Goldhar, C., Bell, T., and Wolf, J. 2013. Rethinking existing approaches to water security in remote communities: An analysis of two drinking water systems in Nunatsiavut, Labrador, Canada. *Water Alternatives* 6 (3):462–486.

Inuit of Nunavut Settlement Region and Her Majesty the Queen. 1993. Nunavut Land Claims Agreement. Available from <http://nni.gov.nu.ca/sites/nni.gov.nu.ca/files/06NLCA-Eng.pdf> [accessed 28 March 2018].

Legat, A. 2012. *Walking the land, feeding the fire: Knowledge and stewardship among the Tlicho Dene*, University of Arizona Press.

McDonald, M., Arragutainaq, L., and Novalinga, Z. (eds). 1997. *Voices from the bay: Traditional ecological knowledge of Inuit and Cree in the Hudson Bay bioregion*. Canadian Arctic Resources Committee and Environmental Committee, Ottawa.

Medeiros, A., Friel, C., Finkelstein, S., and Quinlan, R. 2012. A high-resolution multi-proxy record of pronounced recent environmental change at Baker Lake, Nunavut. *Journal of Paleolimnology* 47 (4):661–676.

Nunavut Impact Review Board (NIRB). 2016. Inuit qaujimajatuqangit. Available from [www.nirb.ca/inuit-qaujimajatuqangit](http://www.nirb.ca/inuit-qaujimajatuqangit) [accessed 21 March 2018].

# ÉTABLIR DES CONDITIONS LIMNOLOGIQUES DE RÉFÉRENCE À BAKER LAKE, AU NUNAVUT



Neil Hutchinson<sup>1\*</sup>, Kris R. Hadley<sup>1</sup>, Richard Nesbitt<sup>1</sup>, and Luis Manzo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hutchinson Environmental Sciences Ltd., Bracebridge, Ontario, Canada

<sup>2</sup> Association inuite du Kivalliq, Rankin Inlet, Nunavut, Canada

\* [neil.hutchinson@environmentalsciences.ca](mailto:neil.hutchinson@environmentalsciences.ca)

## Résumé

Le gouvernement du Canada et l'Association inuite du Kivalliq ont lancé le Programme de surveillance des effets cumulatifs dans le bassin hydrographique de Baker Lake, ou « Inuu'tuti », afin de documenter les réactions aux multiples facteurs de stress dans le bassin hydrographique de Baker Lake en utilisant la science occidentale et l'Inuit Qaujimagatuqangit. Baker Lake n'a fait l'objet d'aucune étude limnologique systématique au-delà d'une série de profils documentant les eaux salines en profondeur en 1965. Une série de relevés limnologiques (août 2015, eaux libres; mai 2016, fin de l'hiver; août 2017, eaux libres) comprenait des profils de profondeur des paramètres de terrain, des analyses chimiques en laboratoire utilisant des limites de détection modernes et la formation de la communauté d'algues à six endroits à Baker Lake. Le mélange des marées salines de l'inlet Chesterfield avec les eaux de surface a confirmé les observations inuites d'un goût salé dans l'eau potable, tandis que la présence d'algues chrysophytes peut expliquer les observations inuites de goût de poisson épisodique dans les eaux du lac Baker. Les résultats confirment ceux de l'étude de 1965 et fournissent une base de référence améliorée pour les évaluations futures.

Citation suggérée :

Hutchinson, N.J., Hadley, K.R., Nesbitt, R.A. et Manzo, L. 2018. « Établir des conditions limnologiques de référence à Baker Lake, au Nunavut », *Savoir polaire : Aqhaliat* 2018, *Savoir polaire Canada*, p. 78-83. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.10

## Introduction

Les changements climatiques et l'industrie en développement ont le potentiel de modifier considérablement les milieux aquatiques au Nunavut.

Le lac Baker est alimenté par trois grands réseaux fluviaux (Thelon, Kazan et Dubawnt), qui à leur tour alimentent une grande partie du centre de l'Arctique. Bien que le bassin hydrographique soit vaste (1877 km<sup>2</sup>), important sur le plan culturel pour les Nunavummiut et important pour le programme Inuu'Tuti, les données disponibles pour en caractériser la limnologie sont limitées. Johnson (1965) a recueilli un profil unique d'ions majeurs en avril 1964 près de l'île Christopher et a constaté une augmentation marquée de la salinité sous la profondeur de 20 m (fig. 1). Trois mécanismes possibles ont été suggérés; toutefois, la cause la plus probable semble être les incursions d'eau de mer diluée de la baie d'Hudson (Johnson, 1965). L'Inuit Qaujimagatuqangit (IQ) a documenté un goût salé occasionnel dans les eaux de surface près du hameau de Baker Lake qui coïncidait avec une pleine lune et un faible débit de la rivière dans le lac (HESL 2017; David Owingayak : communication personnelle), suggérant que les incursions salines peuvent être associées à l'influence des marées. L'analyse des diatomées fossiles et des chironomes provenant

des carottes de sédiments de lac Baker a révélé une augmentation de 2 °C de la température de l'eau au cours des 50 dernières années. Ces renseignements ont été corroborés par des données instrumentales sur la même période, montrant que le lac a réagi au réchauffement climatique (Medeiros et coll. 2012).

Un programme de surveillance exhaustif a donc été entrepris pour (a) établir une base de référence de la qualité de l'eau à lac Baker à des fins de comparaison avec les changements futurs et (b) étudier la dynamique de la salinité dans le lac, dans le cadre du programme de surveillance continu Inuu'Tuti.

## Méthodes

Des membres du personnel de Hutchinson Environmental Sciences Ltd. (HESL) et de la KIA ont supervisé sept sites (fig. 1) à Baker Lake lors de deux événements en eaux libres (août 2015 et août 2017) et d'un événement sous la glace (mai 2016), dont quatre sites étaient en eaux profondes (Baker 1, 2, 3, 4), un site était côtier au hameau d'eau potable de lac Baker (Baker 6), et les autres sites se trouvaient aux embouchures des sites Thelon River (Baker 5) et Kazan River (Baker 7). Des profils de la température de l'eau, de l'oxygène dissous (OD), de la conductivité et du pH ont été mesurés à des intervalles de 1 m de profondeur entre la surface et le fond du lac aux sept emplacements à l'aide d'une sonde YSI 6920 MP. Des échantillons ont été prélevés à 0,5 m de la surface et à 1 m du fond à Baker 1, 2, 3, 4, 6 et à 0,5 m à Baker 5 et 7. Les analyses en laboratoire comprenaient des ions majeurs, des éléments nutritifs et des métaux traces pour caractériser la chimie des lacs; le cyanure comme paramètre d'intérêt pour l'exploitation de l'or dans le bassin; une sélection de radionucléides en tenant compte du potentiel d'extraction d'uranium (Baker 2 seulement, 0,5 m); et la taxonomie de la chlorophylle a et du phytoplancton pour caractériser les algues et la productivité des lacs (0,5 m). Les échantillons ont été entreposés dans des glacières contenant des blocs réfrigérants immédiatement après l'échantillonnage et expédiés aux laboratoires ALS à Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest) pour analyse. Des échantillons de phytoplancton ont été envoyés par ALS de Yellowknife à ALS de Winnipeg pour une analyse taxonomique du genre ou de l'espèce.

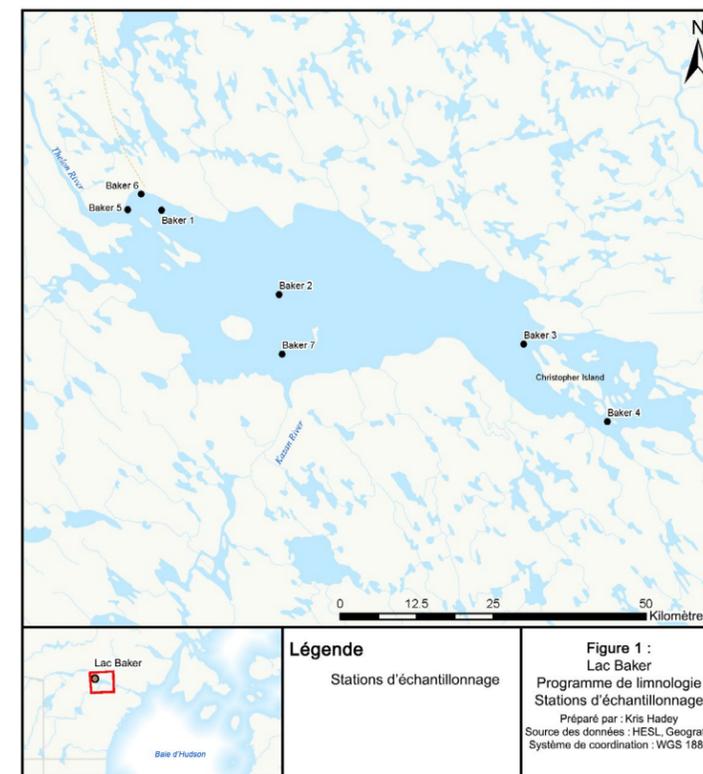


Figure 1 : Stations d'échantillonnage du programme de limnologie de lac Baker.

## Résultats et discussion

### Résumé triennal de la qualité de l'eau de référence

Les températures moyennes à la surface de 9 °C à 11 °C en août à lac Baker correspondaient à la valeur de 10,5 °C enregistrée par Medeiros et coll. (2012). Les profils de température en août dans la partie la plus profonde à l'extrémité est du lac Baker (Baker 3) correspondaient à une faible stratification thermique pendant le renversement automnal. Les profils d'OD présentaient des concentrations de 10,1 à 15,9 mg/L, selon la profondeur, la température de l'eau et la salinité (fig. 2).

Le lac Baker est clair (turbidité <1 UTN), composé d'eau douce (conductivité <100 µs/cm), a une faible alcalinité (8,7 à 14,7 mg/L de CaCO<sub>3</sub>) et est pauvre en éléments nutritifs et faible en productivité. Les concentrations totales de phosphore étaient en moyenne de 4,8 µg/L - 1,4 µg/L dans les échantillons d'eau de surface et de fond, sans différences spatiales marquées dans le lac, et les concentrations d'orthophosphate étaient égales ou inférieures à la détection (< 1 µg/L) à tous les sites. Les concentrations d'azote étaient systématiquement faibles, avec des concentrations proches ou inférieures à la détection dans la majorité des échantillons pour l'ammoniac total (<0,01

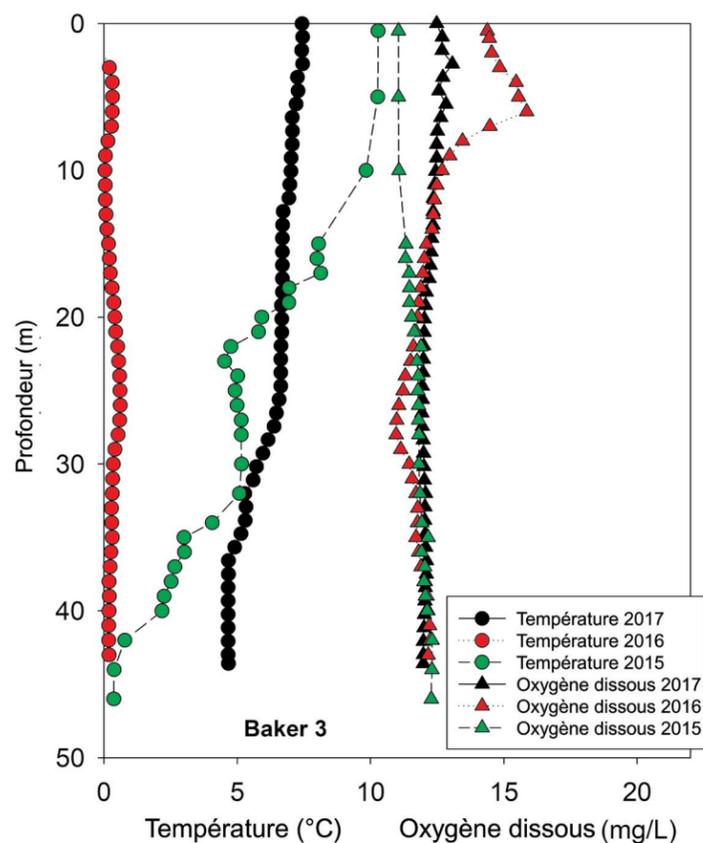


Figure 2 : Profils représentatifs de la température et de l'oxygène dissous à l'extrémité est de lac Baker en août 2015, mai 2016 et août 2017.

mg/L), le nitrate (<0,06 mg/L) et l'azote Kjeldahl total (<0,4). Les concentrations de chlorophylle a (chl a) étaient en moyenne de 0,85 +/-0,55 µg/L, ce qui correspond aux conditions oligotrophes (faible en nutriments et faible productivité primaire) (c.-à-d. chl a <2,6 µg/L, Carlson et Simpson 1996).

Les concentrations de métaux étaient faibles et représentatives des eaux diluées de l'Arctique. Des échantillons d'eau ont été analysés pour une série de 38 métaux, dont 19 ont été détectés et aucun n'a dépassé les recommandations pour la qualité de l'eau potable (Santé Canada, 2014) ou pour la protection de la vie aquatique en eau douce (CCME, 1999). Les concentrations de sodium dans les échantillons de fond de Baker 3 et de Baker 4 ont dépassé l'objectif esthétique de qualité de l'eau de 200 mg/L en 2015, ce qui concorde avec la présence d'eaux marines salines et la détermination par l'IQ de problèmes de goût de l'eau pendant la saison des eaux libres (HESL, 2017; Tuupik Iyago : communication personnelle).

La communauté algale était dominée par les petites algues dorées (chrysophytes), qui représentaient de 37 % à 84 %

des espèces dénombrées dans tous les sites et pour toutes les saisons d'échantillonnage (fig. 3). Les chrysophytes sont des concurrents efficaces dans des conditions difficiles comme de faibles nutriments, des températures basses et des climats imprévisibles, conditions courantes dans l'Arctique canadien (Wilkinson et coll. 1996). Certaines espèces de chrysophytes, en particulier la *Synura petersenii* et l'*Uroglana Americana*, ont été liées à des problèmes de goût et d'odeur (Nicholls, 1995; Watson et coll. 2001), ce qui peut expliquer la présence d'un goût et d'une odeur de poisson dans l'eau de surface, observée par les membres de la collectivité de Baker Lake.

Les diatomées planctoniques *Asterionella* et *Cyclotella* sont d'autres genres notables de phytoplancton qui ont contribué de façon significative (>5 %) aux assemblages de lac Baker. L'*Asterionella formosa* est l'une des diatomées

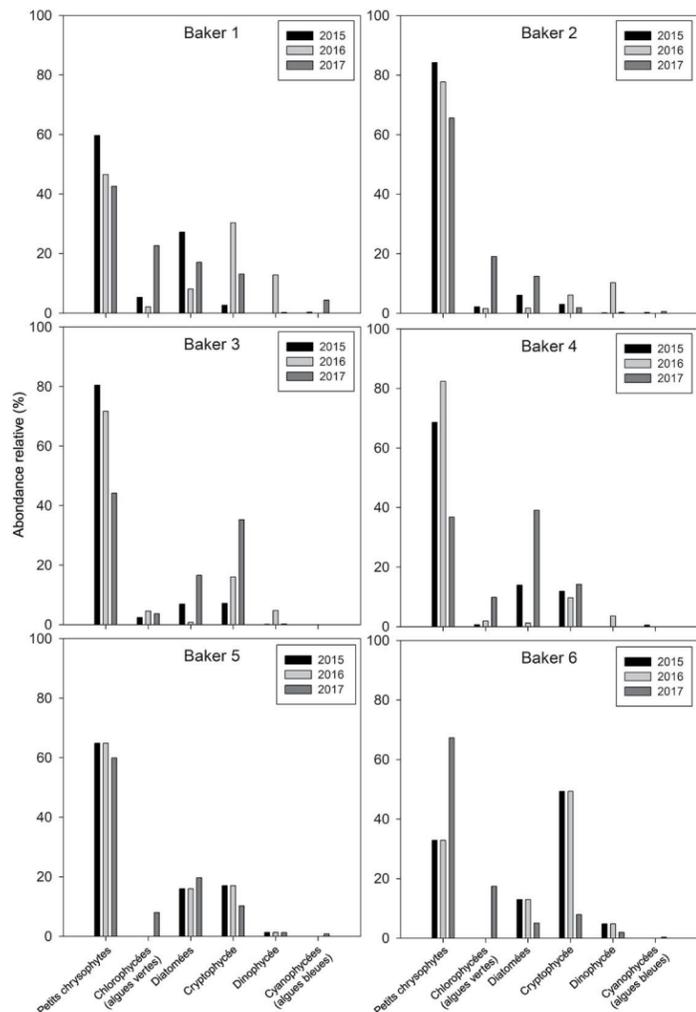


Figure 3 : Composition de la communauté phytoplanctonique à lac Baker en août 2015, mai 2016 et août 2017.

planctoniques les plus courantes dans les lacs de l'hémisphère nord et a été identifiée à lac Baker au cours des deux relevés effectués en août. La présence d'*A. formosa* peut également refléter une stratification améliorée, une période plus longue sans glace et une saison de croissance plus longue en raison du réchauffement climatique, sans égard à l'état trophique (Hadley et coll. 2013; Solovieva et coll. 2008). Aucune espèce d'*Asterionella* n'a été signalée au cours des études limnologiques antérieures sur le lac Baker, ce qui donne à penser que ce changement pourrait s'être produit récemment (Medeiros et coll. 2012). Comme l'*Asterionella*, les espèces de *Cyclotella* sont des algues planctoniques courantes dans les lacs stratifiés à faible teneur en nutriments. Des cyanobactéries ont été décelées dans la majorité des sites du lac Baker, mais elles étaient très rares (2 à 19 cellules/mL).

### Incursion saline à lac Baker

Les profils de conductivité (figure 4) et les concentrations enrichies de chlorure et d'autres ions majeurs en profondeur ont indiqué des influences des eaux marines dans le lac Baker. L'influence marine était la plus prononcée dans les échantillons d'eau profonde à Baker 1, 2, 3, 4, et il n'y avait pas de gradient de profondeur près de la rivière Thelon (Baker 5, 6). Ces données montrent que la couche d'eau de mer décrite par Johnson (1965) est répandue et qu'elle n'est pas localisée dans le bassin le plus profond du lac ni dans la partie est du lac près du point de rejet vers Chesterfield Inlet. La conductivité était plus faible sous la couverture de glace en 2016 qu'en eau libre en 2015 et en 2017, ce qui concorde avec l'IQ selon lequel les problèmes de goût salin de l'eau près du lac Baker étaient plus fréquents pendant l'été (HESL, 2017; Tuupik Iyago : communication personnelle). Les valeurs de conductivité en profondeur étaient uniformes et faibles à l'été 2017, variant de moins de 100 µS/cm.

### Source d'eau salée

Johnson (1965) a soulevé trois explications de l'incursion de l'eau de mer dans le lac Baker : (1) il s'agit d'eau de mer ancienne emprisonnée pendant un rebond isostatique après un retrait glaciaire; (2) il s'agit d'eau de mer qui s'infiltre dans le seuil à la sortie du lac; ou (3) en raison de l'incursion d'eau de mer au-dessus du seuil de la sortie, entraînée par les marées et l'activité des tempêtes.

Le mélange de l'eau de mer dans la colonne d'eau (Johnson, 1965) et les changements observés au fil du temps dans le cadre de notre programme de surveillance de trois ans

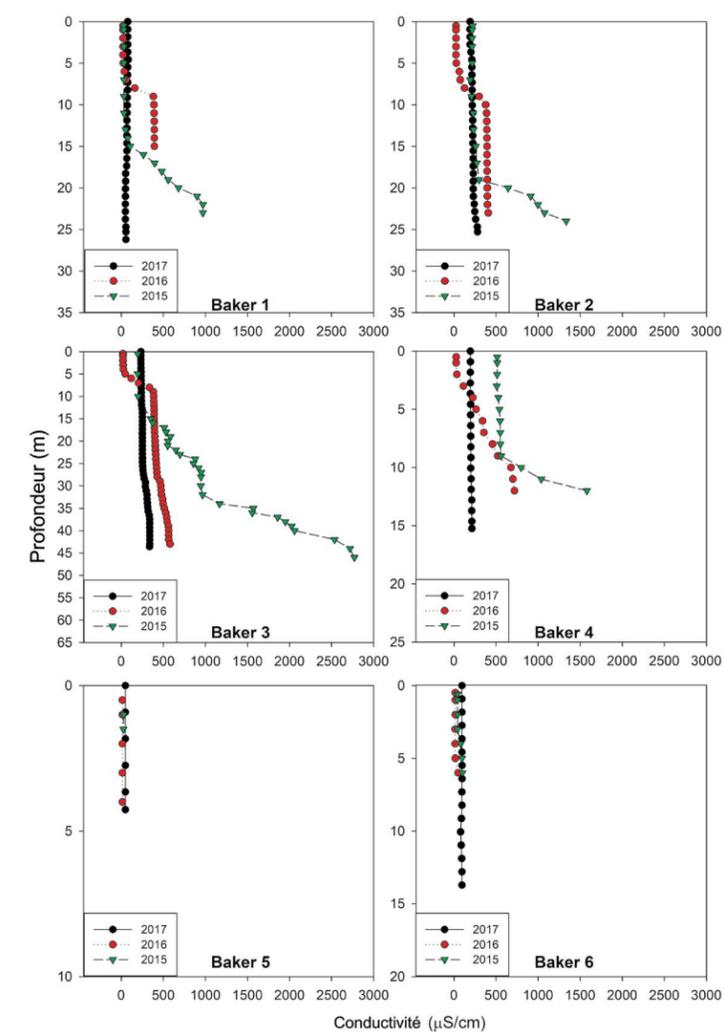


Figure 4 : Profils de conductivité à lac Baker en août 2015, mai 2016 et août 2017.

montrent que la salinité n'a pas été isolée dans les eaux de fond du lac Baker et que le degré de salinité a changé au fil du temps. L'origine ancienne de l'eau de mer n'est donc pas probable, car les eaux de fond auraient été appauvries en eau salée en se mélangeant au fil du temps, si les eaux marines anciennes restantes étaient la seule source de salinité.

Johnson (1965) a laissé entendre que l'infiltration souterraine d'eau de mer était une source improbable en raison de la présence de pergélisol comme barrière à l'incursion saline. Toutefois, la présence des grandes masses d'eau du lac Baker et de Chesterfield Inlet a probablement formé un talik, qui serait perméable à l'infiltration, mais le gradient hydraulique se produirait du lac Baker (18 m au-dessus du niveau de la mer) au Chesterfield Inlet (11 m au-dessus du niveau de la mer), et ce gradient empêche l'infiltration de Chesterfield Inlet par un talik.

La nature dynamique de la salinité observée à lac Baker donne à penser que la source la plus probable d'eau salée est l'incursion périodique au-dessus du seuil qui sépare le lac de Chesterfield Inlet. Chesterfield Inlet a des courants de marée plus forts, des amplitudes de marée plus élevées et plus de mélange qu'ailleurs dans la baie d'Hudson (Dohler, 1968; Budgell, 1976, 1982), et les marées pourraient donc contribuer à l'eau salée du lac Baker (Stewart et Lockhart, 2005). Les observations de l'IQ concernant l'eau au goût salée associé aux cycles lunaires et aux faibles débits fluviaux suggèrent également que l'influence des marées est un facteur important de l'apport d'eau de mer dans le lac Baker.

La dynamique de la salinité au lac Baker a varié entre les relevés en eau libre d'août 2015 à août 2017 et le relevé sous la glace de mai 2016. Un important rinçage du lac aurait eu lieu entre les échantillonnages de 2015 et de 2017 à la suite des crues de 2016 et de 2017. La fonte des neiges représente la même quantité de ruissellement pendant la période de crue de deux semaines que pendant les sept à huit mois de précipitation, ce qui entraîne des débits de pointe saisonniers spectaculaires dans les systèmes des rivières Thelon, Kazan et Quoich (Budgell, 1976), et aurait pour effet de vidanger le lac et d'empêcher les eaux salines de s'accumuler d'une année à l'autre. La baisse des niveaux d'eau en été à lac Baker augmenterait l'influence des apports de marées. L'amortissement des marées par la glace limiterait l'entrée d'eau de mer de Chesterfield Inlet en hiver (NOAA, 2011; Georgas, 2011), et une réduction du mélange des vents sous la glace limiterait l'étendue de toute intrusion saline. L'expression de l'influence marine dans le lac Baker est donc une dynamique complexe entre les niveaux d'eau dans le lac, l'influence des marées de Chesterfield Inlet, le mélange des vents, les apports d'eau douce dans le lac Baker et la couverture de glace sur le lac et Chesterfield Inlet.

## Conclusions

La qualité de l'eau de surface du lac Baker indiquait une faible teneur en éléments nutritifs, une faible alcalinité et une eau douce dans le lac Arctic. Le lac a été faiblement stratifié pendant l'échantillonnage du mois d'août et bien oxygéné, indiquant des concentrations d'oxygène dissous supérieures à 10 mg/L à tous les sites et à toutes les profondeurs. Tous les paramètres et indicateurs de la qualité de l'eau étaient conformes aux lignes directrices fédérales pour la protection de la vie aquatique en eau douce, à l'exception du chlorure et du sodium dans les

eaux de fond associés aux incursions dans l'eau de mer. L'assemblage phytoplanctonique à lac Baker était dominé par les algues chrysophytes, dont certaines espèces peuvent produire des composés qui créent des problèmes de goût et d'odeur (c.-à-d. odeur de poisson). Certains membres de la collectivité ont signalé une odeur et un goût de poisson (HESL, 2017), ce qui laisse entendre que les espèces responsables du goût et des odeurs peuvent être présentes à des concentrations suffisamment élevées pour créer un problème de goût à lac Baker.

L'eau salée en profondeur dans le lac Baker, comme l'a observé Johnson (1965), était la plus prononcée pendant la période des eaux libres en 2015 et était moins prononcée sous la glace à l'hiver 2016 et à l'été 2017. Les incursions salines périodiques des eaux marines de Chesterfield Inlet en réaction aux cycles de marée, aux vents et aux niveaux d'eau relatifs, ainsi que les changements de la couverture de glace et le mélange des eaux du lac Baker causé par la crue, créent un environnement dynamique de salinité dans le lac Baker.

## Remerciements

Nous aimerions remercier Savoir polaire Canada et le Plan général de surveillance du Nunavut pour leur financement, ainsi que Jeff Hart de la KIA à lac Baker pour son aide en matière de logistique et de programme d'échantillonnage. Des tableaux de données et des figures détaillées ont été omises de ce manuscrit en raison de contraintes d'espace, mais des rapports techniques complets et des résumés peuvent être obtenus auprès de la KIA ou de Hutchinson Environmental Sciences Ltd.

## Références

- Bengtsson, L. 1996. Mixing in ice-covered lakes. *Hydrobiologia* 322: 91–97.
- Budgell, W.P. 1976. Tidal propagation in Chesterfield Inlet, NWT. Fisheries and Environment Canada, Canada Centre for Inland Waters. Manuscript Report Series No. 3: xiv + 99 pp.
- Budgell, W.P. 1982. Spring-neap variation in the vertical stratification of Chesterfield Inlet, Hudson Bay. *Naturaliste Canadien* 109:709–718.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 2003. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life. Available from file:///C:/Users/neil/Downloads/CEQGchemicals.pdf.

Dohler, G.C. 1968. Tides and currents. In *Science, history, and Hudson Bay*, vol. 2, Beals, C.S. and Shenstone, D.A. (eds.), Department of Energy, Mines, and Resources, Ottawa. pp. 824–837.

Georgas, N. 2011. Large seasonal modulation of tides due to ice-cover friction in a midlatitude estuary. *Journal of Physical Oceanography* 42:352–369.

Hadley, K.R., Paterson, A.M., Hall, R.I., and Smol, J.P. 2013. Effects of multiple stressors on lakes in south-central Ontario: 15 years of change in lakewater chemistry and sedimentary diatom assemblages. *Aquatic Sciences* 75 (3):349–360.

Health Canada. 2014. Guidelines for Canadian drinking water quality summary table. Water and Air Quality Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada, Ottawa.

Holm, N.P. and Armstrong, D.E. 1981. Role of nutrient limitation and competition in controlling the populations of *Asterionella formosa* and *Microcystis aeruginosa* in semi-continuous culture. *Limnology and Oceanography* 26:622–634.

Hutchinson Environmental Sciences Ltd. (HESL). 2017. One Voice Year 2. Prepared for the Kivalliq Inuit Association.

Johnson, L. 1965. The salinity of Baker Lake, NWT, Canada. *Journal of the Fisheries Board of Canada* 22:239–241.

Medeiros, A.S., Friel, C.E., Finkelstein, S.A., and Quinlan, R. 2012. A high-resolution multi-proxy record of pronounced recent environmental change at Baker Lake, Nunavut. *Journal of Paleolimnology* 47 (4):661–676.

National Oceanic and Atmospheric Administration. 2011. Tides under the ice: Measuring water levels at Barrow, Alaska, 2008–2010. NOAA Technical Report NOS CO-OPS 062.

Nicholls, K.H. 1995. Chrysophyte blooms in the plankton and neuston of marine and freshwater systems. In *Chrysophyte algae: Ecology, phylogeny, and development*, Sandgren, C.D., Smol, J.P., and Kristiansen, J. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge. pp. 181–213.

Solovieva, N., Jones, V., Birks, J.H., Appleby, P., and Nazarova, L. 2008. Diatom responses to 20th century climate warming in lakes from the northern Urals, Russia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 259 (2–3):96–106.

Stewart, D.B. and Lockhart, W.L. 2005. An overview of the Hudson Bay marine ecosystem. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. 2586: vi + 487 pp.

Watson, S.B., Satchwill, T., Dixon, E., and McCauley, E. 2001. Under-ice blooms and source-water odour in a nutrient-poor reservoir: Biological, ecological, and applied perspectives. *Freshwater Biology* 46:1–15.

Wilkinson, A.N., Zeeb, B.A., Smol, J.P., and Douglas, M.S.V. 1996. Chrysophyte stomatocyst assemblages associated with periphytic High Arctic pond environments. *Nordic Journal of Botany* 16:95–112.

Zeeb, B.A. and Smol, J.P. 2001. Chrysophyte scales and cysts In *Tracking environmental change using lake sediments*, vol. 3, Terrestrial, algal, and siliceous indicators, Smol, J.P., Birks, H.J.B., and Last, W.M. (eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

## APPRENDRE ENSEMBLE :

la science et l'Inuit Qaujimajatuqangit unissent leurs forces pour mieux comprendre l'iqalukpiit/l'omble chevalier dans la région de Kitikmeot



Natasha Thorpe<sup>1\*</sup>, Jean-Sébastien Moore<sup>2</sup>, and the Ekaluktutiak Hunters and Trappers Organization

<sup>1</sup> Thorpe Consulting Services, North Vancouver, Colombie-Britannique, Canada

<sup>2</sup> Département de biologie, Centre d'études nordiques et Ressources Aquatiques Québec, Université Laval, Québec, Québec, Canada

\* [nt.thorpe@gmail.com](mailto:nt.thorpe@gmail.com)

### Résumé

L'omble chevalier (iqalukpiit) est au cœur de l'identité, des moyens de subsistance et de la culture des Inuits d'Ekaluktutiak/Iqaluktuuttiaq<sup>1</sup> (Cambridge Bay) depuis des milliers d'années. Depuis les années 1960, cette importante source de subsistance a également soutenu la pêche commerciale, procurant ainsi des revenus et des possibilités à de nombreux membres de la collectivité. En 2013, une collaboration entre Pêches et Océans Canada et l'Ocean Tracking Network a été lancée afin d'utiliser la télémétrie acoustique pour suivre les migrations de l'omble chevalier dans les eaux marines et douces de la région. La participation des Inuits locaux a été essentielle au succès de cette importante initiative scientifique et a suscité un effort de collaboration financé par POLAIRE avec l'Organisation des chasseurs et des trappeurs d'Ekaluktutiak (EHTO) pour documenter l'Inuit Qaujimajatuqangit (IQ), le savoir traditionnel, de l'omble chevalier. Dans le cadre de ce projet, des jeunes de la région ont été formés pour réaliser des entrevues ethnocartographiques semi-dirigées afin de documenter l'IQ de neuf membres de la collectivité. Les résultats des entrevues ont ensuite orienté les travaux scientifiques et contribué à une base de données de l'IQ gérée par l'EHTO. Cette initiative a abouti à un camp

<sup>1</sup> Il existe deux systèmes d'orthographe pour l'inuinnaqtun, un dialecte inuktitut.

Suggested citation:

Thorpe, N., J.-S. Moore et Organisation des chasseurs et des trappeurs d'Ekaluktutiak. « Apprendre ensemble : la science et l'Inuit Qaujimajatuqangit unissent leurs forces pour mieux comprendre l'iqalukpiit/l'omble chevalier dans la région de Kitikmeot » *Savoir polaire : Aqhaliat* 2018, *Savoir polaire Canada*, p. 84-91. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.11

d'échange de connaissances entre aînés et jeunes pendant une semaine en août 2016. Ce dernier a eu lieu à côté de la rivière Ekalluk à Iqaluktuq, un site archéologique utilisé depuis plus de 4 000 ans. Au cours de ce camp, des aînés et des jeunes de la collectivité, ainsi que des biologistes des pêches et des spécialistes en sciences sociales, ont échangé leurs connaissances et leurs histoires sur l'iqalukpiit. Dans l'ensemble, le projet mené par la collectivité a contribué à l'enregistrement et à la préservation de l'IQ au moyen de rapports et d'un documentaire vidéo, a renforcé la capacité et les liens entre les générations et les disciplines, a fourni une occasion de guérison sur le territoire et a permis de nouvelles connaissances sur l'iqalukpiit, tous des éléments essentiels à la gestion d'une relation redéfinie entre les gens et les poissons dans un Arctique en évolution.

### Introduction

L'iqalukpiit (omble chevalier; *Salvelinus alpinus*) est l'une des espèces les plus récoltées dans l'Inuit Nunangat (Priest et Usher, 2004; Lemire et coll. 2015), et il assure la sécurité alimentaire des Inuits depuis des milliers d'années (Balicki, 1980; Thompson, 2005). Compte tenu de l'importance de la pêche à l'omble chevalier, la gestion durable dans un Arctique en évolution rapide nécessitera les meilleures

données probantes disponibles obtenues de multiples points de vue.

L'omble chevalier présente une stratégie migratoire complexe façonnée par des facteurs environnementaux, un cycle observé et planifié depuis longtemps par les Inuits. La plupart des populations d'omble chevalier ciblées pour la récolte sont anadromes, ce qui signifie qu'elles migrent entre l'eau douce et l'océan (Johnson, 1980). Les Inuits continuent de camper partout au Nunavut près de rivières bien connues où ces pêches fiables sont pratiquées. Dans le passé, il fallait prévoir avec précision les cycles migratoires pour survivre, alors qu'aujourd'hui, la récolte d'iqalukpiit contribue au lien continu entre les Inuits et la nourriture traditionnelle à une époque de grand changement culturel.

### L'omble chevalier dans la région de Cambridge Bay

L'iqalukpiit est au cœur de la vie des Tuniiit et des Inuits d'Iqaluktuq, un important site de pêche près de Cambridge Bay, et ce, depuis des milliers d'années (Friesen 2002, 2009; Pelly 2002; Friesen et Keith 2006; Norman et Friesen 2010), et sa récolte à des fins de subsistance demeure une partie importante de l'économie pour de nombreuses familles qui tirent profit de l'abondance et de l'accès facile de l'omble chevalier environnant (Kristofferson et Berkes 2005; Avalak 2016; J. Ekpakohak 2016; R. Ekpakohak 2016).

*[Dans les années 1960] [...] il y avait peut-être quatre familles qui vivaient là-bas, mais pendant l'été, c'était comme une ville de tentes à Iqaluktuq parce qu'il y avait beaucoup de gens qui allaient d'ici [Iqaluktuuttiaq] à Iqaluktuq afin d'aller pêcher pour eux-mêmes ou de faire de la pêche commerciale. C'était bon à l'époque, il y avait beaucoup de poissons. Lorsque les gens se rassemblaient à Iqaluktuq, c'était très agréable. (R. Ekpakohak, 4 mai 2016)*

Depuis les années 1960, les rivières de la région ont également soutenu la pêche commerciale à l'omble chevalier la plus importante au Canada (Day et Harris, 2013). Comme les débarquements commerciaux s'élevaient en moyenne à plus de 41 000 kg par année, cette activité économique procure un revenu à de nombreux pêcheurs ainsi qu'à de nombreux travailleurs à temps partiel et à temps plein de l'usine de transformation du poisson de Cambridge Bay. Bien que les récoltes de subsistance soient gérées exclusivement par les Inuits, conformément à l'Accord sur les revendications territoriales du Nunavut (1993), Pêches et Océans Canada (MPO) a compétence

conjointe sur la cogestion des pêches commerciales (Kristofferson et Berkes 2005). Par conséquent, les données scientifiques sur les récoltes et les paramètres biologiques de l'omble chevalier ont été recueillies plus ou moins continuellement depuis le début des pêches, et les scientifiques collaborent depuis longtemps avec des experts locaux de la région (p. ex., Kristofferson et Berkes, 2005; Day et Harris, 2013; Knopp, 2017).

### Contexte du projet

En 2013, le Ocean Tracking Network (OTN) s'est associé au MPO pour lancer un projet scientifique visant à étudier les migrations marines de l'omble chevalier anadrome dans la région. L'étude portait sur l'utilisation de la télémétrie acoustique, une technologie qui permet de suivre les mouvements des poissons munis de transmetteurs acoustiques, et en utilisant des récepteurs acoustiques installés dans toute la région (voir Moore et coll. 2016 pour plus de détails sur la méthodologie). Ce projet a non seulement obtenu l'approbation de la collectivité après la mobilisation préalable au projet, mais il a aussi grandement bénéficié de l'apport des principaux utilisateurs des ressources lors de réunions informelles avant et pendant les travaux. Plus particulièrement, les commentaires d'experts locaux ont permis d'atténuer l'une des principales limites des approches de télémétrie acoustique, à savoir l'utilisation de récepteurs acoustiques fixes pour décrire les mouvements. En effet, le mouvement des poissons étiquetés peut seulement être déduit par détection sur des récepteurs déployés à des endroits précis. Si les poissons fréquentent une zone, mais qu'aucun récepteur n'est déployé à cet endroit, les déductions seront trompeuses. L'étude de l'OTN et du MPO a donc grandement bénéficié des connaissances d'experts locaux qui ont suggéré l'importance de plusieurs secteurs qui n'avaient pas été inclus dans le plan d'étude initial. À mesure que les échanges de connaissances se poursuivaient, il est devenu évident que le projet scientifique, tout en fournissant des renseignements importants sur le comportement de l'omble chevalier, ne racontait que la moitié de l'histoire. Les interactions entre les chercheurs et les membres de la collectivité sont devenues le moteur d'un projet d'IQ mené par la collectivité pour mieux comprendre l'iqalukpiit du point de vue des Iqaluktuurmiut, peuple d'Iqaluktuq.

### Méthodologie et approche

Le projet s'est déroulé en trois phases, qui ont permis d'établir un équilibre entre les questions, les objectifs

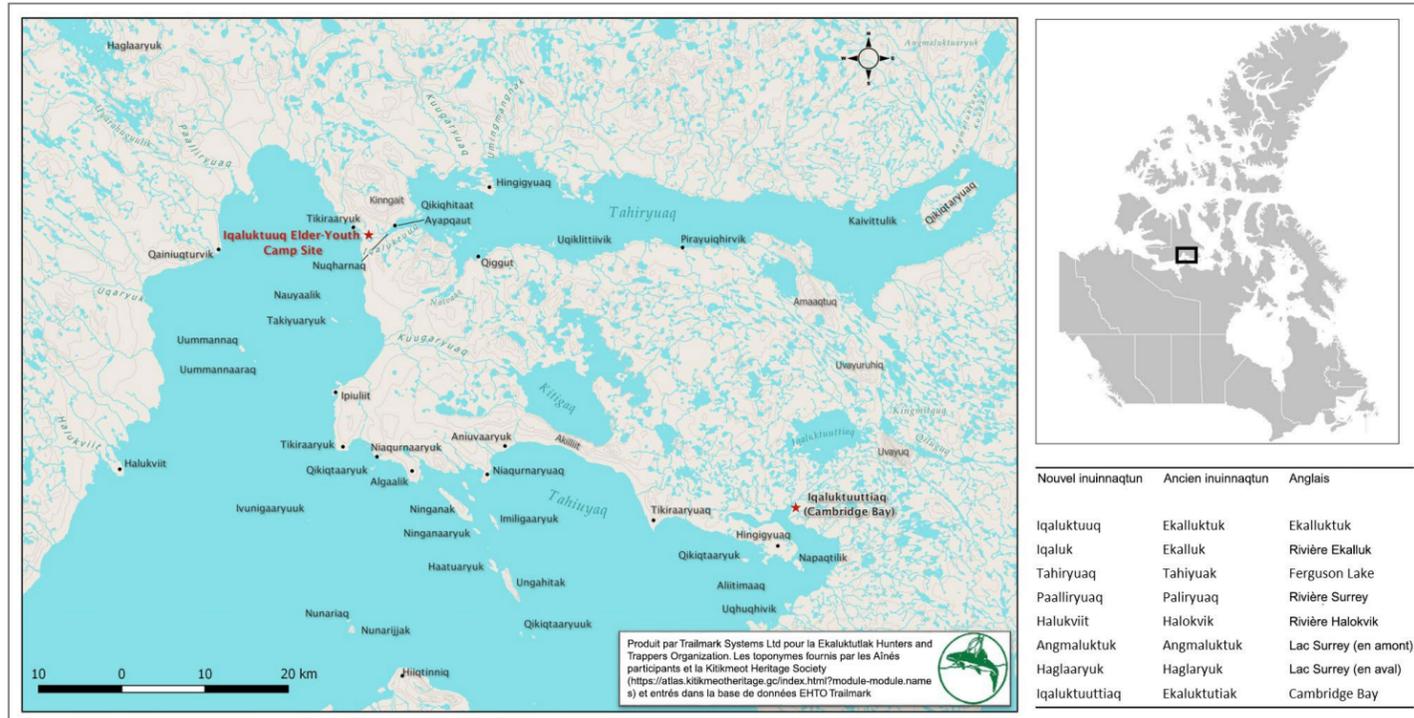


Figure 1 : Carte de la région de Cambridge Bay dans le sud de l'île Victoria, Nunavut, Canada. L'emplacement du camp Aînés-Jeunes, Iqaluktuuq, est illustré par une étoile.

et les approches des chercheurs et de la collectivité. Au cours de ces phases, de nombreux éléments du projet ont été imprévus et finalement adaptés en fonction des commentaires de la collectivité. Les méthodes, les résultats et les réflexions sont détaillés dans EHTO et Trailmark (2017).

## Phase 1 : Établissement de la portée des incidences

Bien que les chercheurs aient donné l'impulsion initiale à l'élaboration de ce projet, l'initiative n'a été mise en œuvre qu'après la mobilisation de la collectivité et une fois l'orientation établie. N. Thorpe a amorcé une phase d'établissement de la portée en avril 2015 dans le cadre de réunions en personne avec EHTO et les membres de la collectivité (en particulier les Aînés) pour évaluer l'intérêt et discuter de ce que les gens souhaitaient réaliser. Pour donner suite à l'appui solide à l'initiative, des discussions mensuelles avec EHTO ont suivi (par téléphone ou par courriel) pour le reste de 2015 et 2016, en mettant l'accent sur l'élaboration de buts, d'objectifs et de résultats souhaités, et en se concentrant sur la logistique et l'obtention de financement.

## Phase 2 : Formation et entrevues

EHTO a sélectionné deux chercheurs communautaires pour participer à un cours de formation de cinq jours axé sur les techniques d'entrevue, la cartographie et la gestion des bases de données. En mai 2016, la formation s'est poursuivie, car les chercheurs ont interviewé neuf experts en IQ avec l'aide d'un interprète au besoin. Ces entrevues semi-dirigées et ethnocartographiques ont porté sur l'iqalukpiit. Elles ont été enregistrées et examinées dans une base de données cartographiques en ligne élaborée par Trailmark Systems Ltd. Des chercheurs communautaires ont transcrit les enregistrements d'entrevues et les ont validés auprès des personnes interrogées peu après. Les résultats des entrevues ont non seulement alimenté la base de données de EHTO, mais ils ont également permis de façonner le camp Aînés-Jeunes en plus de tenir compte des méthodes et des conclusions du projet.

## Phase 3 : Le camp Aînés-Jeunes

Au cours de la phase d'établissement de la portée du projet, l'un des principaux objectifs communautaires exprimés était d'avoir la possibilité d'apprendre sur le terrain et de partager des connaissances dans le cadre d'un camp Aînés-Jeunes. Pour cet événement, EHTO a choisi un site traditionnel appelé Iqaluktuuq, ce qui signifie « un endroit



Figure 2 : Le camp Aînés-Jeunes d'Iqaluktuq. (a) Le camp était situé à l'embouchure de la rivière Iqaluktuq (Ekalluk), où elle se déverse dans la baie Wellington. (b) Les participants traitent et préparent les prises de la journée.

où il y a beaucoup de poissons » en inuinnaqtun. Il n'est pas étonnant que ce site soit utilisé depuis plus de 4 000 ans, comme la population d'ombles chevaliers de la rivière Ekalluk est la plus abondante (McGowan, 1990) et qu'elle soutient le plus important quota de pêche commerciale de la région (Day et Harris, 2013). Plusieurs familles appelaient ce secteur leur foyer jusqu'à ce qu'une combinaison de tragédies familiales et de politiques gouvernementales les oblige à partir pour les collectivités avoisinantes à la fin des années 1960 et au début des années 1970 (CVR, 2015).

Le camp a été conçu pour compléter la phase d'entrevue en offrant une occasion de « faire la lumière » sur les résultats et en permettant aux Aînés de partager l'IQ par la démonstration et l'enseignement pratique dans un environnement d'apprentissage, donnant ainsi aux jeunes la possibilité d'apprendre par la pratique. L'objectif principal était de promouvoir des interactions significatives entre les jeunes et les Aînés, où l'environnement extérieur et les événements suscitaient des souvenirs et des histoires instructives à se rappeler et à partager librement, ce qui permettait d'appliquer directement sur le terrain les idées clés qui ont été recueillies pendant les entrevues. De plus, les jeunes et les Aînés ont collaboré avec un scientifique des pêches qui a fait la démonstration de techniques de collecte de données sur la santé des stocks de poissons (p. ex., comment mesurer et peser les poissons, comment extraire les otolithes et lire l'âge des poissons).

## Résultats : Apprendre ensemble

L'un des objectifs clés des entrevues et du camp Aînés-Jeunes était de documenter les connaissances détaillées sur l'omble chevalier, mais un objectif plus important s'est révélé au cours de la phase 3 une fois que le groupe était sur les terres : À leur arrivée à Iqaluktuuq, les Iqaluktuurmiut ont vécu une expérience profonde et émouvante, de sorte que la discussion sur les poissons est devenue secondaire. Non seulement le fait de se rendre dans cette région importante a suscité de puissants souvenirs pour plusieurs Aînés, mais on s'est également rendu compte que ce mode de vie — qui consiste à vivre de la terre à la manière inuite — est de plus en plus difficile aujourd'hui, compte tenu des nombreuses pressions concurrentes. Par conséquent, et respectueusement, la discussion sur l'iqalukpiit est devenue moins importante que le processus de guérison du simple « retour à la maison » et de la cohabitation sur la terre. Cet aspect critique de la recherche, avec ses enjeux pour les projets individuels d'IQ ainsi que pour la recherche collaborative, a été développé dans EHTO et Trailmark (2017). Dans la discussion suivante sur les résultats, nous présentons un exemple d'apprentissage collaboratif.

## Exemple d'idées tirées de l'apprentissage collectif

Il est hors de la portée du présent article de fournir une liste exhaustive des connaissances tirées des approches scientifiques et de l'IQ pendant toutes les phases du projet.



Figure 3 : Le camp Aînés-Jeunes a été conçu pour favoriser des interactions significatives entre les Aînés, les jeunes et les chercheurs. (a) M. Avalak enseigne à A. Omilgoetok comment faire des filets de poisson avec un ulu. (b) J.-S. Moore enseigne les techniques scientifiques fondamentales de la pêche à N. Ekapkohalak et aux autres participants au camp.

Nous présentons ici un exemple où la combinaison de l'IQ et de la science a fourni de nouvelles connaissances qui auraient été impossibles d'obtenir par une seule approche. Plusieurs personnes interrogées ont mentionné que l'omble chevalier avait tendance à rester près de la côte tôt après la débâcle, mais qu'il se déplaçait plus loin au large plus tard au cours de la saison. Les experts locaux ont émis l'hypothèse que les poissons suivaient les proies ou évitaient les eaux chaudes.

*Chaque année, il y a beaucoup d'ombles chevaliers dans la carrière de gravier, mais dès que la côte se réchauffe, il n'y en a plus. Nous voyons de grands bancs d'ombles chevaliers à l'extérieur. Ça me rend curieux; peut-être que l'omble chevalier n'aime pas cette eau chaude le long de la côte. Ou peut-être que leur nourriture vient de la côte en raison de la chaleur. Je n'en ai aucune idée. Si nos températures continuent d'augmenter comme elles l'ont fait au cours des 30 dernières années, qu'arrivera-t-il à notre omble? Je veux savoir. (Anonyme, 27 avril 2015)<sup>2</sup>*

Ces renseignements ont incité les scientifiques à examiner leurs données de télémétrie différemment et à observer que l'omble chevalier nageait à des profondeurs de plus en plus grandes à mesure que l'été avançait (Harris : comm. pers. 2018). Les capteurs contenus dans certaines des étiquettes permettaient également de mesurer la température corporelle des poissons marqués (les

<sup>2</sup> Réunion publique au moyen de EHTO avec les Aînés et N. Thorpe; salle de conférence du Arctic Islands Lodge; Cambridge Bay. Les auteurs auraient préféré rendre hommage à chaque personne qui a fourni des idées au cours des réunions de projet qui ont eu lieu avant la recherche. Toutefois, étant donné que les participants n'ont pas signé les formulaires de consentement éclairé, cette citation est tirée des notes de la réunion, qui fournissent des renseignements clés sans reconnaître les sources.

poissons sont ectothermes, de sorte que la température corporelle correspondait étroitement à la température de l'eau) et montraient que leur température demeurait constante tout au long de l'été, ce qui corroborait la preuve que l'utilisation des eaux profondes pouvait être liée à la régulation de la température (comm. pers. Harris. 2018). Dans ce cas, une observation cruciale d'un expert local a amené les scientifiques à explorer leurs données différemment, ce qui leur a permis de mieux comprendre les mécanismes à l'origine du comportement observé (ici la régulation de la température), fournissant ainsi une réponse à une question posée par cet expert local. Il s'agit donc d'un bon exemple de synergies qui peuvent être créées grâce au partage itératif de l'information à partir de différents points de vue qui sont mis sur un pied d'égalité.

## Conclusion

En cette période d'évolution rapide de l'environnement et de la société, la cogestion dans l'Inuit Nunagat exige des approches novatrices en matière de collaboration, où l'IQ et les connaissances scientifiques peuvent s'unir pour améliorer la compréhension des terres et des ressources. En effet, une telle collaboration peut contribuer non seulement à une meilleure compréhension, mais aussi à la réconciliation et à la guérison entre les disciplines, les générations et les peuples.

La collaboration entre EHTO, le MPO et l'OTN tout au long de ce projet a démontré que les connaissances peuvent découler de la comparaison des connaissances acquises selon différents points de vue. Grâce à nos travaux, les participants et les chercheurs ont montré que les leçons

tirées des deux méthodes de savoir pouvaient se combiner afin de fournir une compréhension plus complète de l'omble chevalier à Iqaluktuuq. Grâce à l'IQ, les Aînés ont transmis leurs connaissances sur l'omble chevalier aux jeunes. Cela a en outre mené à des observations éclairantes sur divers aspects de la biologie de l'iqalukpiit, qui dans de nombreux cas, aideront les scientifiques à formuler des hypothèses qui peuvent conduire à de nouvelles interprétations ou modifier leurs méthodes de recherche. Réciproquement, les données scientifiques recueillies en réponse aux observations de l'IQ peuvent enrichir les connaissances existantes grâce à l'utilisation de la technologie qui n'était pas auparavant disponible pour les membres de la collectivité et les utilisateurs des ressources.

Le plus grand apprentissage, selon l'application et la pertinence dans le Nord, est peut-être que tout succès dépend de la disposition des chercheurs de l'extérieur à perdre une partie du contrôle de leur recherche et à renoncer à certains objectifs clés face à un impératif plus pertinent. Selon notre expérience, cela signifiait que tout comme l'iqalukpiit retournait de l'océan à ses lacs natals, les Iqaluktuurmiut retournaient de la même façon à Iqaluktuuq, où les souvenirs et les liens avec les ancêtres et l'histoire abondent. Si les détenteurs d'IQ et les scientifiques occidentaux veulent collaborer de façon significative au Nunavut, les étrangers et les scientifiques doivent continuellement s'adapter à la recherche communautaire intégrée, même si cela signifie que leurs objectifs de recherche peuvent flotter en aval.

## Préoccupations pour la collectivité

En tant qu'initiative de l'IQ, le travail présenté dans le cadre de ce projet se fondait sur une forte participation des membres de la collectivité qui ont contribué à tous les aspects du travail. Le projet est pertinent pour les collectivités du Nord et d'autres régions du Canada comme un exemple de la façon dont la science et l'IQ, ou le savoir traditionnel, peuvent travailler main dans la main pour acquérir de nouveaux renseignements sur les espèces d'importance.

## Remerciements

Ce projet n'aurait pas été possible sans les efforts généreux et inlassables des Aînés, qui ont partagé librement leur expertise et offert leur soutien. La vision, le dévouement et le travail acharné du conseil d'administration et des membres du personnel de l'Ekaluktutiak Hunters and Trappers Organization — trop nombreux pour les nommer — ont assuré le succès à chaque tournant. Des remerciements particuliers sont adressés à aRTleSS Collective pour la formation des jeunes et la production de la vidéo documentaire Iqaluktuuq (<https://vimeo.com/211587576>) et à Trailmark Systems Ltd. pour le soutien et la production de rapports en matière de gestion de bases de données. En plus du financement de base de Savoir polaire Canada, un soutien a été fourni par le Fonds autochtone pour les espèces en péril d'Environnement Canada, Pêches et Océans Canada, la Kitikmeot Inuit Association, le Conseil de gestion des ressources fauniques du Nunavut et Océans Nord Canada.



Figure 4 : Bien que le camp ait d'abord mis l'accent sur l'iqalukpiit, les aspects humains et sociaux du retour à la maison, de la guérison et de l'expérience d'interactions significatives sont devenus centraux. (a) Après près de 50 ans, M. Avalak retourne là où elle a grandi. (b) N. Thorpe, A. Anavilok et G. Angohiatok s'amuse à prendre un égoportrait ensemble.

## Références

Avalak, M. Elder. 2016. Interviewed with J. Ekpakohak. Interviewed by J. Akoluk, C. Kapolak, and N. Thorpe. May 5, 2016. Cambridge Bay, NU.

Balikci, A. 1980. Charr fishing among the Arviligjuarmiut. *In* Charrs: Salmonid fishes of the genus *Salvelinus*. Balon, E.K. (ed.), Dr. W. Junk Publishers, The Hague. pp. 7–9.

Day, A. C. and Harris, L.N. 2013. Information to support an updated stock status of commercially harvested Arctic char (*Salvelinus alpinus*) in the Cambridge Bay region of Nunavut, 1960–2009. DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2013-068. v + 30 pp. Available from <http://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/350263.pdf>.

Ekaluktutiak Hunters and Trappers Organization and Trailmark Systems Ltd. (EHTO and Trailmark). 2017. Inuit qaujimagatuqangit of iqalukpiit near Iqaluktuuq: Bringing together Elders, fishers, and youth to understand Arctic char. Cambridge Bay, NU. 39 pp.

Ekpakohak, J. Elder. 2016. Interviewed with M. Avalak. Interviewed by J. Akoluk, C. Kapolak, and N. Thorpe. May 5, 2016. Cambridge Bay, NU.

Ekpakohak, R. Elder. 2016. Interviewed by J. Akoluk, C. Kapolak, and N. Thorpe. May 4, 2016. Cambridge Bay, NU.

Friesen, T. M. 2009. The last supper: Late Dorset economic change at Iqaluktuuq, Victoria Island. *In* The northern world AD 900–1400. Maschner, H., Mason, O., and McGhee, R. (eds.), University of Utah Press, Salt Lake City. pp. 235–248.

Friesen, T.M. 2002. Analogues at Iqaluktuuq: The social context of archaeological inference in Nunavut, Arctic Canada. *World Archaeology* 34 (2):330–345. doi:10.1080/0043824022000007134. Available from [https://docs.wixstatic.com/ugd/56a2ca\\_7095e144f9264beda0d1586226159057.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/56a2ca_7095e144f9264beda0d1586226159057.pdf).

Friesen, T.M. and Keith, D. 2006. Iqaluktuurmiutat: Life at Iqaluktuuq. Kitikmeot Heritage Society. Artisan Press, Yellowknife. Available from [https://docs.wixstatic.com/ugd/56a2ca\\_69d1791416474d67b6ad8c7f5914cdf7.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/56a2ca_69d1791416474d67b6ad8c7f5914cdf7.pdf).

Harris, L. pers. comm. 2018. Fisheries Biologist, Fisheries and Oceans Canada. March 2, 2018. Email to J.-S. Moore.

Johnson, L. 1980. The Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *In* Charrs: Salmonid fishes of the genus *Salvelinus*. Balon, E.K. (ed.), Dr. W. Junk Publishers, The Hague. pp. 15–98.

Knopp, J.A. 2017. Linking Inuit and scientific knowledge and observations to better understand Arctic char, *Salvelinus alpinus* (L.), community monitoring. Ph.D. dissertation, Trent University, Peterborough, Ont. 316 pp.

Kristofferson, A.H., McGowan, D.K., and Carder, G.W. 1984. Management of the commercial fishery for anadromous Arctic charr in the Cambridge Bay area, Northwest Territories, Canada. *In* Biology of the Arctic charr: Proceedings of the international symposium on Arctic charr. Johnson, L. and Burns, B. (eds.), University of Manitoba Press, Winnipeg.

Kristofferson, A.H. and Berkes, F. 2005. Adaptive co-management of Arctic char in Nunavut territory. *In* Breaking ice: Renewable resource and ocean management in Canada's North. Berkes, F., Huebert, R., Fast, H., Manseau, M., and Diduck, A. (eds.), University of Calgary Press. pp. 249–268. Available from [http://umanitoba.ca/institutes/natural\\_resources/canadaresearchchair/Kristofferson%20&%20Berkes%20Chap%2012.pdf](http://umanitoba.ca/institutes/natural_resources/canadaresearchchair/Kristofferson%20&%20Berkes%20Chap%2012.pdf).

Lemire, M., Kwan, M., Laouan-Sidi A.E., Muckle, G., Pirkle, C., Ayotte P, and Dewailly, E. 2015. Local country food sources of methylmercury, selenium, and omega-3 fatty acids in Nunavik, northern Quebec. *Science of the Total Environment* 509–510:248–59. ISSN:0048-9697. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714011395?via%3Dihub>.

McGowan, D. K. 1990. Enumeration and biological data from the upstream migration of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), in the Cambridge Bay area, Northwest Territories, 1979–1983. Canadian Data Report of Fisheries and Aquatic Sciences 811: iv + 27 pp. Available from <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/116586.pdf>.

Moore, J.-S., Harris, L.N., Kessel, S., Bernatchez, L., Tallman, R.F., and Fisk, A.T. 2016. Preference for near-shore and estuarine habitats in anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from the Canadian High Arctic (Victoria Island, NU) revealed by acoustic telemetry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 73 (9):1434–1445. Available from [https://www.bio.ulaval.ca/louisbernatchez/pdf/\(370\)%20Moore\\_CanadianJFishAquatSci\\_2016.pdf](https://www.bio.ulaval.ca/louisbernatchez/pdf/(370)%20Moore_CanadianJFishAquatSci_2016.pdf).

Norman, L. and Friesen, T.M. 2010. Thule fishing revisited: The economic importance of fish at the Pembroke and Bell sites, Victoria Island, Nunavut. *Geografisk Tidsskrift — Danish Journal of Geography* 110 (2):261–278. Available from [http://www.academia.edu/1862792/Thule\\_Fishing\\_Revisited\\_The\\_Economic\\_Importance\\_of\\_Fish\\_at\\_the\\_Pembroke\\_and\\_Bell\\_Sites\\_Victoria\\_Island\\_Nunavut](http://www.academia.edu/1862792/Thule_Fishing_Revisited_The_Economic_Importance_of_Fish_at_the_Pembroke_and_Bell_Sites_Victoria_Island_Nunavut).

Pelly, D. 2002. Iqaluktuuq: Inuit Elders and archaeologists unravel our past. *Above and Beyond* March/April 2002, pp. 43–51. Available from <http://www.davidpelly.com/Iqaluktuuq.pdf>.

Priest, H. and Usher, P. 2004. The Nunavut wildlife harvest study. Nunavut Wildlife Management Board, Iqaluit, NU. 810 pp. Available from <https://www.nwmb.com/iku/publications/harvest-study/1824-156-nwhs-report-2004-156-0003/file>.

Roux, M.J., Tallman, R.F., and Lewis, C.W. 2011. Small-scale Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, fisheries in Canada's Nunavut: Management challenges and options. *Journal of Fish Biology* 79:1625–1647. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1095-8649.2011.03092.x>.

Thompson, S. 2005. Sustainability and vulnerability: Aboriginal Arctic food security in a toxic world; *In* Breaking ice: Renewable resource and ocean management in Canada's North, chap. 3. Berkes, F., Huebert, R., Fast, H., Manseau, M., and Diduck, A. (eds.), University of Calgary Press. pp. 47–69. Available from [https://umanitoba.ca/institutes/natural\\_resources/canadaresearchchair/Thompson%20Chap%203.pdf](https://umanitoba.ca/institutes/natural_resources/canadaresearchchair/Thompson%20Chap%203.pdf).

Truth and Reconciliation Commission (TRC). 2015. Canada's residential schools: The Inuit and northern experience; The final report of the Truth and Reconciliation Commission of Canada, volume 2. McGill-Queen's University Press. 187 pp. Available from [http://www.myrobust.com/websites/trcinstitution/File/Reports/Volume\\_2\\_Inuit\\_and\\_Northern\\_English\\_Web.pdf](http://www.myrobust.com/websites/trcinstitution/File/Reports/Volume_2_Inuit_and_Northern_English_Web.pdf).

# INTRODUCTION AUX ÉTUDES SUR LES CONNAISSANCES TRADITIONNELLES À L'APPUI DES OUTILS GÉOSCIENTIFIQUES POUR L'ÉVALUATION DES MINES DE MÉTAUX DANS LE NORD DU CANADA

Great Slave Lake

Jennifer M. Galloway<sup>1\*</sup> and R. Timothy Patterson<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Commission géologique du Canada, Calgary / Geological Survey of Canada Calgary, Alberta, Canada

<sup>2</sup> Département des sciences de la Terre et Institut Ottawa-Carleton de géosciences, Université Carleton, Ottawa, Ontario, Canada

\* [Jennifer.Galloway@canada.ca](mailto:Jennifer.Galloway@canada.ca)

**Le projet sur les outils géoscientifiques pour l'évaluation environnementale est codirigé par la Commission géologique du Canada et l'Université Carleton, en collaboration avec le Programme de surveillance des effets cumulatifs du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, la Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest, Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada, Environnement et Changement climatique Canada, le Musée canadien de la nature, l'Université Queen's, l'Université de Leeds, Seabridge Gold, TerraX Minerals Ltd., la Première Nation des Dénés Couteaux-Jaunes, l'Alliance des Métis de North Slave, le gouvernement de Tłı̄ch̄o, le Tłı̄ch̄o Research and Training Institute et Hadlari Consulting Ltd. La zone à l'étude est la province géologique Slave, l'accent étant mis sur les zones aux alentours de Yellowknife et de Courageous Lake, dans les Territoires du Nord-Ouest.**

## Résumé

Nous avons appliqué une méthodologie de recherche multidisciplinaire pour reconstituer les variations du climat, de la géochimie, du pergélisol et de l'écologie au cours des 1 000 dernières années le long d'un transect nord-sud dans la province géologique Slave afin d'évaluer les effets cumulatifs des changements naturels et anthropiques sur le transport et le devenir des métaux et des métalloïdes et sur la santé des écosystèmes régionaux dans les régions présentant un grand potentiel de ressources dans le nord du Canada. L'étude s'est concentrée sur Yellowknife et Courageous Lake, deux régions qui ont des ressources aurifères connues et qui sont contaminées par l'exploitation minière passée. Grâce à la collecte et à l'analyse de carottes de sédiments lacustres et de tourbières pergélisolées, combinées à des données spatiales, à des connaissances traditionnelles et à l'Inuit Qaujimagatuqangit, les répercussions des changements climatiques et de la perturbation des sols sur le flux des métaux et des métalloïdes dans les systèmes aquatiques ont été évaluées.

Cette contribution sert d'introduction au projet, en mettant l'accent sur les connaissances traditionnelles développées dans le cadre de cette recherche. Plusieurs partenaires du projet ont mené des études sur les connaissances traditionnelles, notamment l'Alliance des Métis de North Slave, la Première Nation des Dénés Couteaux-Jaunes, le Tłı̄ch̄o Research and Training Institute et Hadlari Consulting Ltd., une entreprise appartenant aux Inuits et exploitée par eux. Les études fournissent un aperçu des changements climatiques et de l'utilisation des terres du passé qui ne sont pas discernables uniquement à partir des archives paléoclimatiques. Des renseignements précis sur la saisonnalité, la qualité de la glace, les niveaux d'eau des lacs, les conditions environnementales préindustrielles, l'utilisation traditionnelle des terres, l'étendue spatiale de la contamination associée à l'exploitation minière passée et les répercussions des changements climatiques sur l'utilisation des terres culturelles sont quelques exemples des types de renseignements tirés des études sur les connaissances

Citation suggérée :

Galloway, J.M., et Patterson, R.T. 2018. Introduction aux études sur les connaissances traditionnelles à l'appui des outils géoscientifiques pour l'évaluation des mines de métaux dans le nord du Canada *Savoir polaire : Aqhaliat* 2018, *Savoir polaire Canada*, p. 92-98. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.12

traditionnelles. L'approche multidisciplinaire intégrée utilisée dans ce projet de recherche met en évidence l'utilité de combiner différents systèmes de connaissances pour générer un assemblage de connaissances qui intègre l'information contextuelle humaine et permet de mieux comprendre les effets cumulatifs de l'exploitation minière et des changements climatiques passés dans le Nord canadien.

## Introduction

La publication *Outils géoscientifiques pour l'évaluation environnementale des mines de métaux* était un projet triennal (2015-2018) dirigé par la Commission géologique du Canada (GCG) et l'Université Carleton et financé par Savoir polaire Canada (projet n° 1516-149 de Savoir polaire Canada) et la GCG. Le projet, codirigé par Jennifer Galloway (GCG) et Timothy Patterson (Université Carleton), était un effort de collaboration visant à étudier les répercussions des changements climatiques sur le transport et le devenir de l'arsenic à deux sites contaminés par l'exploitation d'anciens sites miniers et le traitement de minéraux : mine Giant, Yellowknife, et mine Tundra dans la région de Courageous Lake (fig. 1; Galloway et coll. 2012, 2015, 2017; Palmer et coll. 2015). Ces renseignements peuvent servir à évaluer l'efficacité des travaux d'assainissement et à établir des points de repère permettant de déterminer et de régler, au besoin, les répercussions éventuelles de l'exploitation prévue des ressources, de l'utilisation des terres et des changements climatiques.

Les concentrations de fond et de référence de l'arsenic avant l'exploitation minière ont été déterminées au moyen d'analyses d'échantillons d'interface sédiments-eau des lacs et d'échantillons d'eau de surface provenant de 100 lacs de la région de Yellowknife (Galloway et coll. 2012, 2017; Palmer et coll. 2015) et d'une centaine d'autres lacs couvrant un gradient latitudinal de Hay River à Lac de Gras (fig. 1; Galloway et coll. 2015). La deuxième phase de la recherche, qui est en cours, est axée sur les mécanismes de transport et du devenir de l'arsenic dans les milieux aquatiques (Alloway et coll. 2017) et la reconstruction du climat fondée sur des preuves — au cours des quelque 1 000 dernières années au moyen d'analyses des sédiments lacustres et des carottes de tourbe. Cette approche de prévision permet d'évaluer plus en profondeur l'hypothèse selon laquelle le climat agit comme médiateur du changement chimique en se fondant sur des études sur les périodes de chaleur passées (p. ex., l'Hypsithermal

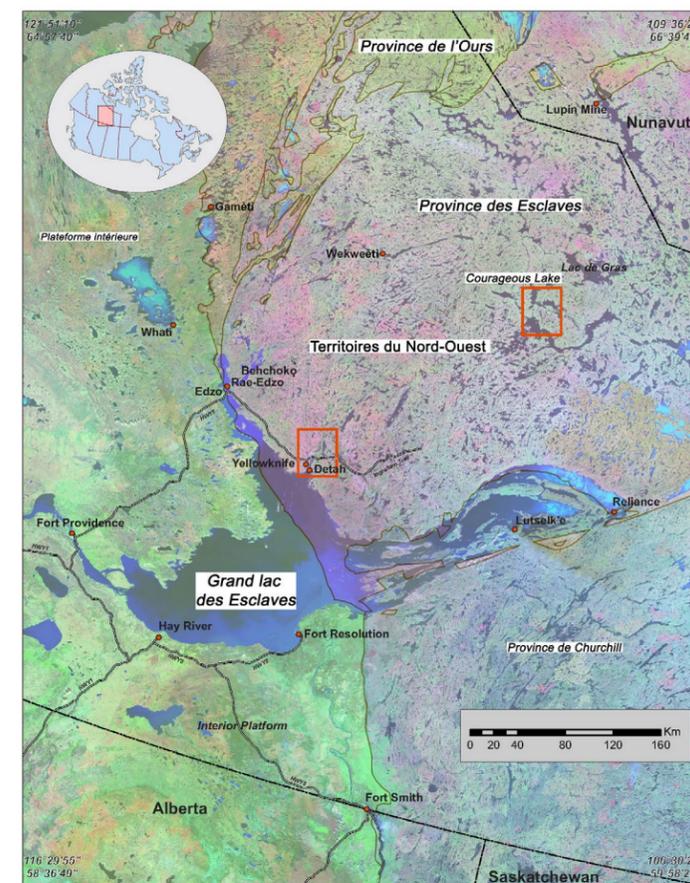


Figure 1 : Carte du centre des Territoires du Nord-Ouest montrant l'emplacement des zones d'étude.

de l'Holocène et la période de réchauffement médiéval) comme analogues du XXI<sup>e</sup> siècle et du réchauffement à venir.

Les connaissances traditionnelles (CT) et l'Inuit Qaujimagatuqangit (IQ) représentent d'importantes sources d'information sur le climat passé et les environnements préindustriels des régions étudiées. En collaboration avec les partenaires du projet, l'Alliance des Métis de North Slave (AMNS), le Tłı̄ch̄o Research and Training Institute (TRTI), la Première Nation des Dénés Couteaux-Jaunes (PNDY) et Hadlari Consulting Ltd., on s'attend à ce que des renseignements précis sur les changements climatiques passés permettent de mieux comprendre les conditions environnementales passées que ce qu'on pourrait obtenir uniquement des données scientifiques occidentales. L'étude générée par l'AMNS est incluse dans ce volume; les autres rapports pourraient être publiés ailleurs dans le futur.

## Connaissances traditionnelles

Les connaissances traditionnelles (CT) peuvent être décrites comme de l'information pertinente sur le plan culturel et

Tableau 1 : Certaines caractéristiques des connaissances traditionnelles et des systèmes de connaissances scientifiques occidentaux (après Berneshawi 1997; Moller et coll. 2004).

|                                       | Connaissances traditionnelles  | Connaissances occidentales scientifiques   |
|---------------------------------------|--|--|
| Mode de pensée dominant               | Intuitif, holistique, « interprétation du fonctionnement du monde d'un point de vue culturel particulier » <sup>a</sup>  | Analytique, segmenté, spécialisé, compartimenté  |
| Communication et apprentissage        | Oral dans certains cas <sup>b,c</sup> d'observation, de récits <sup>c-f</sup>  | Alphabétisé, expérimental  |
| Échelle de temps                      | Synchronisé; tend à être de longues périodes dans une région donnée; offre une expérience approfondie dans un contexte local propre à la culture   | Diachronique; tend à être des données à court terme sur de grandes régions; offre un contexte général au-delà du nivellement local |
| Caractéristique                       | Subjectif, spirituel, éthique, moral dans certains cas   | Réductionniste, objectif   |
| Asymétrie                             | Se concentrer sur les extrêmes <sup>h</sup>  | Se concentrer sur les moyennes   |
| Création et transmission de données   | Inclusive, générationnel, "transferred from generation to generation through daily social and cultural events" <sup>i</sup>  | Sélectif   |
| Capacités de prévision                | Qualitatif   | Quantitatif, dans certains cas   |
| Type d'explication                    | Spirituel dans certains cas, analogique  | Hypothèses, théories, lois   |
| Systèmes de gestion des connaissances | À long terme, décentralisé et fondé sur le consensus   | Centralisé, réglementé   |
| Évaluation de l'incertitude           | Pas explicité <sup>h</sup>   | Mis en relief  |
| Évaluation de l'autorité              | Fiabilité ou crédibilité du titulaire du savoir déterminée en fonction de son expérience de vie et de sa réputation de posséder de solides connaissances sur un sujet par les membres de la collectivité; examen communautaire   | Examen par les pairs et mesures connexes, déterminés par la communauté scientifique  |
| Similarités                           | Les deux améliorent notre compréhension du monde et sont fondées sur des processus répétés d'observation, d'inférence, de vérification et de prédiction <sup>j,k</sup><br>Les deux sont dynamiques; les nouvelles connaissances sont intégrées à de l'information qui ne peut pas nécessairement être comprise dans l'isolation <sup>l</sup> |  |

Snively et Corsiglia (2000, p. 3); <sup>b</sup>Aronowitz, 1998; <sup>c</sup>Ignas, 2004; <sup>d</sup>MacLean et Wason-Ellam, 2006; <sup>e</sup>Mitchell et coll., 2008; <sup>f</sup>Sutherland, 2002; <sup>g</sup>Becker et Ghimire (2003); <sup>h</sup>Huntington et coll. (2004); <sup>i</sup>Ogawa (1997, p. 586); <sup>j</sup>Menzies et Bulter (2006); <sup>k</sup>Hoaglund (2017)

transmises de génération en génération, ce qui fait partie de l'identité culturelle d'un peuple. On définit couramment les connaissances écologiques traditionnelles (CET), un sous-ensemble des CT, comme « un ensemble cumulatif de connaissances, de pratiques et de croyances, évoluant par des processus adaptatifs et transmis de génération en génération par la transmission culturelle, et [il s'agit] de

la relation entre les êtres vivants (y compris les humains) les uns avec les autres et avec leur environnement » (Berkes, 1999). Les connaissances traditionnelles, ou IQ, comprennent des systèmes de connaissances holistiques; le savoir ne peut pas être compartimenté ou séparé des personnes qui le détiennent, et à cet égard, le savoir traditionnel diffère nettement du système de connaissances

scientifiques occidentales. Le savoir traditionnel est, en général, abstrait, qualitatif, inclusif, intuitif, diachronique et formé à partir de connaissances communales acquises au fil du temps par la pratique et l'application (tableau 1).

On reconnaît de plus en plus la valeur de l'inclusion des CT dans la compréhension des changements climatiques, la gestion des ressources naturelles, l'évaluation environnementale, ainsi que l'assainissement et la remise en état des sites industriels (Usher, 2000; Alexander et coll. 2011; Sandlos et Keeling 2016; Hoaglund 2017). Les CT conviennent bien pour être incluses aux stratégies de planification de l'utilisation des terres, car ces systèmes de connaissances répondent aux besoins de gestion holistique et adaptative de multiples ressources et écosystèmes (Berkes et coll. 2000). Les CT offrent également la possibilité de déterminer et de surveiller les effets cumulatifs des changements climatiques et de l'utilisation des terres en fournissant des descriptions à long terme de la variabilité climatique et de ses effets sur les écosystèmes, ainsi que des renseignements contextuels humains, qui comblent les lacunes en matière de connaissances et de compréhension que la science occidentale ne peut combler (Johannes 1998; Usher 2000; Huntington et coll. 2004; Baker et communauté de Mutitjulu 2009). Les CT et les études paléoécologiques sont particulièrement bien adaptées à l'intégration, car les connaissances acquises grâce à ces deux approches sont habituellement locales ou régionales à l'échelle spatiale, mais couvrent une vaste période de temps (des décennies à des millénaires).

Il faut comprendre les différences et les similitudes entre les CT et les connaissances scientifiques occidentales pour les réunir (Bohensky et Maru, 2011; tableau 1). Et il existe des moyens d'aborder les limites de la comparaison directe. Parmi ces moyens, on compte le poids de la preuve pour l'information quantitative et qualitative (Good 1991; Chapman 2007; Suter et Cormier 2011) et les mesures bayésiennes fondées sur les statistiques (Good 1991).

## Résultats et discussion

Des études sur les CT visant à aborder le thème de recherche et les lacunes en matière de connaissances cernées par chaque collectivité ont été élaborées et dirigées par les partenaires du projet, l'AMNS, la TRTI, la PNDY et Hadlari Consulting Ltd. Un résumé du rapport produit par l'AMNS et la TRTI est fourni ici.

## Alliance des Métis de North Slave

### Changement continu et réchauffement progressif : résumé des connaissances culturelles consignées de l'Alliance des Métis de North Slave sur les changements climatiques et environnementaux

Les membres de l'Alliance des Métis de North Slave sont détenteurs d'information détaillée et quantitative sur les conditions climatiques passées, et ils ont recensé de la documentation accessible au public et pertinente sur le plan culturel, dont les journaux de la Compagnie de la Baie d'Hudson (p. ex., des journaux de Old Fort Rae de 1888 à 1912), les récits de voyage de Warburton Pike dans Barren Grounds (publiés en 1892), les documents d'expédition de John Franklin (y compris des journaux météorologiques de 1825 à 1827), et les documents du Conseil météorologique de la Grande-Bretagne (qui comprennent des relevés de températures consignés par John Rae à Fort Confidence de 1850 à 1851 et de W.J.S. Pullen à Fort Simpson de 1849 à 1851). Cette recension des écrits a été combinée à une revue de nombreuses sources secondaires contenues dans la base de données de l'AMNS, dans les transcriptions des entrevues de l'AMNS et les journaux des membres de l'AMNS. Le rapport résume l'information quantitative sur le climat au cours des 200 dernières années et donne un aperçu précis des changements quant au cycle de saisons, à la force et à la direction du vent, aux niveaux d'eau et au manteau neigeux, et de l'impact des changements climatiques sur l'utilisation des terres par les membres de l'AMNS.

## Institut de recherche et de formation Tłjchq

### Tout semble avoir changé

La TRTI a mené des entrevues auprès de détenteurs de CT dans un contexte communautaire afin de compiler de l'information sur le climat passé et de documenter certaines des façons de faire influencées par le récent réchauffement climatique qui a eu des répercussions sur l'utilisation traditionnelle des lacs. Le point de vue sur le cycle de saisons et l'hydrologie était particulièrement intéressant sur le plan paléoclimatique, car ces aspects importants du système climatique sont difficiles à reconstituer au moyen d'une étude paléoécologique par procuration. Les détenteurs CT de Tłjchq ont signalé un retard d'environ deux semaines dans l'englacement des lacs du début/de la mi-octobre au début de novembre. En outre, ils ont

signalé que la durée de l'englacement n'est plus abrupte et comprend maintenant plusieurs événements de gel et de dégel qui ont une incidence sur la qualité de la glace. Les détenteurs de CT ont également déclaré des précipitations tombées sous forme de pluie avant l'englacement du sol à l'automne, ce qui a une incidence sur la fonte printanière, et entraîne des feux de forêt plus intenses et plus fréquents pendant la saison estivale, lesquels sont liés à la réduction rapide de l'accumulation de neige au printemps. Le rapport inclut également certaines conséquences culturelles des changements climatiques du XXI<sup>e</sup> siècle.

## Intégration des connaissances traditionnelles et des connaissances scientifiques occidentales

L'objet de l'étude plus vaste, Outils géoscientifiques pour l'évaluation des risques environnementaux des mines de métaux, est de déterminer si, et comment, les changements climatiques ont, et peuvent avoir, une incidence sur le transport et le devenir des métaux/métalloïdes. Il s'agit d'un point très pertinent dans les sites contaminés du nord du Canada, où l'on s'attend à ce que les changements climatiques du XXI<sup>e</sup> siècle modifient profondément le cycle biogéochimique. L'acquisition de connaissances scientifiques occidentales au moyen d'études micropaléontologiques et géochimiques combinées des archives paléocologiques se poursuit. Les points de vue paléoclimatologiques puisés dans les études sur les CT seront comparés aux connaissances scientifiques occidentales afin de combiner les connaissances. On s'attend à ce que chaque mode de connaissance donne un aperçu unique des changements climatiques et environnementaux passés, ce qui peut être utilisé pour mieux prédire les changements chimiques futurs.

## Conclusions

Une conception de recherche collaborative qui comprenait des détenteurs de connaissances des collectivités des Premières Nations, des Métis et des Inuits; du gouvernement; de l'industrie; et du milieu universitaire démontre que des façons complémentaires d'analyser l'information peuvent donner un aperçu des changements climatiques, de la météo, de la variabilité environnementale, des effets cumulatifs, des changements dans l'utilisation des terres, de la contamination, des changements dans le cycle de saisons, de la qualité des glaces, des feux de forêt et de l'étendue de la contamination. Grâce à cette

approche, de nouveaux renseignements sur les domaines d'intérêt dans les Territoires du Nord-Ouest sont produits.

## Remerciements

Le financement de ce projet a été fourni par la Commission géologique du Canada (Programme géoscientifique de l'environnement), Savoir polaire Canada (Projet 1516-149), le Programme de surveillance des effets cumulatifs du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest et la Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest (CGTNO). Ce projet n'aurait pas été possible sans le soutien en nature inestimable de Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada, d'Environnement et Changement climatique Canada, du Musée canadien de la nature, de l'Université Queen's, de l'Université de Leeds, de Seabridge Gold, de TerraX Minerals Ltd., de la Première Nation des Dénés Couteaux-Jaunes, de l'Alliance des Métis de North Slave, du gouvernement de Tłı̨chǫ, du Tłı̨chǫ Research and Training Institute, et de Hadlari Consulting, Ltd. Nous tenons également à remercier Douglas Lemay (CGC) de son aide à la rédaction pour la production de la figure 1. Nous remercions Scott Cairns (CGTNO) et Keith Dewing (CGC) pour leurs commentaires constructifs et utiles, qui ont grandement amélioré le manuscrit. Cet article représente le numéro de contribution de Ressources naturelles Canada (RNCAN-NRCAN) : 20180128.

## Références

- Aronowitz, S. 1988. Preface to Science as power: Discourse and ideology in modern society. University of Minnesota Press, Minneapolis, MN.
- Baker, L.M. and Mutijulu Community. 1992. Comparing two views of the landscape: Aboriginal traditional ecological knowledge and modern scientific knowledge. *Rangeland Journal* 14: 174–187. doi.org/10.1071RJ9920174.
- Becker, C.D. and Ghimire, K., 2003. Synergy between traditional ecological knowledge and conservation science supports forest preservation in Ecuador [online]. *Conservation Ecology* 8 (2):1. Available from <http://www.consecol.org/vol8/iss1/art1>.
- Berkes, F. 1999. Scared ecology: Traditional ecological knowledge and resource management. Taylor and Francis Publishing Company, Philadelphia, PA.

- Berkes, F., Colding, J., and Folke, C. 2000. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications* 10:1251–1262.
- Berneswahi, S. 1997. Resource management and the Mik'maq nation. *Canadian Journal of Native Studies* 17:115–148.
- Bohensky, E.L. and Maru, Y. 2011. Indigenous knowledge, science, and resilience: What have we learned from a decade of international literature on integration? *Ecology and Society* 16:6. doi.org/10.5751/ES-04342-160406.
- Chapman P.M. 2007. Traditional ecological knowledge (TEK) and scientific weight of evidence determination. *Marine Pollution Bulletin* 54:1839–40.
- Galloway, J.M., Macumber, A., Patterson, R.T., Falck, H., Hadlari, T., and Madsen, E. 2010. Paleoclimatological assessment of the southern Northwest Territories and implications for the long-term viability of the Tibbitt to Contwoyto winter road: Part 1 - core collection. Northwest Territories Geoscience Office, NWT. Open Report 2010-002, 21 pp.
- Galloway, J.M., Palmer, M., Jamieson, H.E., Patterson, R.T., Nasser, N.A., Falck, H., Macumber, A.L., Goldsmith, S.A., Sanei, H., Normandeau, P., Hadlari, T., Roe, H.M., Neville, L.A., and Lemay, D. 2015. Geochemistry of lakes across ecozones in the Northwest Territories and implications for the distribution of arsenic in the Yellowknife region: Part 1 - sediments. Geological Survey of Canada. Open File 7908, 50 pp. + appendix, 1.zip file. doi:10.4095/296954.
- Galloway, J.M., Swindles, G.T., Jamieson, H.E., Palmer, M., Parsons, M.B., Sanei, H., Macumber, A.L., Patterson, R.T., and Falck, H. 2017. Organic matter control on the distribution of arsenic in lake sediments impacted by ~65 years of gold ore processing in Subarctic Canada. *Science of the Total Environment* 622–623:1668–1679. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.048.
- Good I.J. 1991. Weight of evidence and the Bayesian likelihood ratio. In The use of statistics in forensics science, Aitken, C.G.G. and Stoney, D. (eds.), CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 85–106.
- Huntington, H.P. 2000. Using traditional ecological knowledge in science: Methods and applications. *Ecological Applications* 5:1270–1274.

Ignas, V. 2004. Opening doors to the future: Applying local knowledge in curriculum development. *Canadian Journal of Native Education* 28:49–60.

Johannes, R.E. 1998. The case for data-less marine resource management: Examples from tropical nearshore fisheries. *Trends in Ecology and Evolution* v13:243–246. doi.org/10.1016/SO169-5347(98)01384-6.

MacLean, M. and Wason-Ellam, L. 2006. When Aboriginal and Métis teachers use storytelling as an instructional practice. Available from <http://www.education.gov.sk.ca/Storytelling> [accessed 1 May 2011].

Menzies, C. and Butler, C. 2006. Introduction: Understanding ecological knowledge. In Traditional ecological knowledge and natural resources management, Menzies, C. (ed). p. 127.

Mitchell, H., Vizinia, Y., Augustus, C., and Sawyer, J. 2008. Learning Indigenous science from place. University of Saskatchewan, Aboriginal Education Research Centre, Saskatoon, SK.

Moller, H., Berkes, F., Lyver, P.O., and Kislalioglu, M. 2004. Combining science and traditional ecological knowledge: Monitoring populations for co-management [online]. *Ecology and Society* 9:2 Available from <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss3/art2>.

North Slave Métis Alliance community members Shiga, S., Evans, P., King, D., and Keats, B. 2017. Continual change and gradual warming: A summary of the North Slave Métis Alliance's recorded cultural knowledge on climate and environmental change. Report prepared for the Geological Survey of Canada's Geoscience Tools for Environmental Assessment of Metal Mining, compiled by Galloway, J.M. and Patterson, R. T. Project Number #1519-149. *Polar Knowledge: Aqhaliat 2018*, Polar Knowledge Canada, p. ##–## [this volume].

Ogawa, M. 1995. Science education in a multiscale perspective. *Science Education* 79:583–593. doi: 10.1002/sce.3730790507.

Palmer, M., Galloway, J.M., Jamieson, H.E., Patterson, R.T., Falck, H., and Kokelj, S.V. 2015. The concentration of arsenic in lake waters of the Yellowknife area 15 years after the end of gold ore processing. Northwest Territories Geological Survey. Open File 2015-16, 29 pp. doi: 10.13140/RG.2.1.2582.5041.

Snively, G. and Corsiglia, J. 1998. Discovering Indigenous science: Implications for science education. *Science Education*. Retrieved October 2010. ERIC database.

Suter, G.W. and Cormier, S.M. 2011. Why and how to combine evidence in environmental assessments: Weighing evidence and building cases. *Science of the Total Environment* 409:1406-1417.

Sutherland, D. 2002. Exploring culture, language, and the perception of the nature of science. *International Journal of Science Education* 24:1-25. doi:10.1080/09500690110067011.

Usher, P.J. 2000. Traditional ecological knowledge in environmental assessment and management. *Arctic* 53:183-193.

## CHANGEMENT CONTINU ET RÉCHAUFFEMENT PROGRESSIF :

résumé des connaissances culturelles consignées de l'Alliance des Métis de North Slave sur les changements climatiques et environnementaux



### North Slave Métis Alliance community members<sup>1\*</sup>, Shin Shiga<sup>1</sup>, Peter Evans<sup>2</sup>, Dave King<sup>2</sup>, and Beth Keats<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Alliance des Métis de North Slave, Yellowknife, Territoires du Nord-Ouest, Canada

<sup>2</sup> Trailmark Systems Inc., Victoria, Colombie-Britannique, Canada

\* [general@nsma.net](mailto:general@nsma.net)

**Le projet sur les outils géoscientifiques pour l'évaluation environnementale est codirigé par la Commission géologique du Canada et l'Université Carleton, en collaboration avec le Programme de surveillance des effets cumulatifs du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, la Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest, Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada, Environnement et Changement climatique Canada, le Musée canadien de la nature, l'Université Queen's, l'Université de Leeds, Seabridge Gold, TerraX Minerals Ltd., la Première Nation des Dénés Couteaux-Jaunes, l'Alliance des Métis de North Slave, le gouvernement de Tłı̄chǫ, le Tłı̄chǫ Research and Training Institute et Hadlari Consulting Ltd. La zone à l'étude est la province géologique Slave, l'accent étant mis sur les zones aux alentours de Yellowknife et de Courageous Lake, dans les Territoires du Nord-Ouest.**

### Résumé

La publication *Outils géoscientifiques pour l'évaluation environnementale des mines de métaux* était un projet triennal (2015-2018) dirigé par la Commission géologique du Canada et l'Université Carleton (projet no 1516-149 de Savoir polaire Canada). Le projet était un effort de collaboration visant à étudier les répercussions des changements climatiques sur le transport et le devenir de l'arsenic à deux sites contaminés par l'exploitation minière et le traitement des minéraux passés : la mine Giant, près de Yellowknife, et la mine Tundra, au nord-est de Yellowknife, dans le centre des Territoires du Nord-Ouest. Ces renseignements peuvent servir à évaluer l'efficacité des travaux d'assainissement et à établir des points de repère permettant de déterminer et de réglementer, au besoin, les répercussions éventuelles de l'exploitation future des ressources, de l'utilisation des terres et des changements climatiques. Une approche de prévision a posteriori faisant appel à la fois aux connaissances traditionnelles et à la science occidentale offre l'occasion d'évaluer plus à fond

l'hypothèse selon laquelle le climat peut agir comme médiateur du changement chimique grâce à des études sur les périodes de chaleur passées, comme l'Hypsihermal de l'Holocène et la période de réchauffement médiéval, comme analogues du réchauffement du XXI<sup>e</sup> siècle et de sa trajectoire projetée. Les connaissances traditionnelles représentent d'importantes sources d'information sur le climat passé et les environnements préindustriels des régions étudiées. L'Alliance des Métis de North Slave (AMNS) a lancé une étude sur les connaissances traditionnelles afin de contribuer à un projet de collaboration dirigé par la Commission géologique du Canada et l'Université Carleton visant à mieux comprendre le rôle des changements climatiques et de l'utilisation des terres sur le transport et le devenir des métaux et des métalloïdes dans les régions présentant un grand potentiel de ressources et des charges de contaminants dans le nord du Canada. Les connaissances culturelles des Métis liées au climat et à la variabilité environnementale connexe dans les

Citation suggérée :

Membres des collectivités de l'Alliance des Métis de North Slave, Shiga, S., Evans, P., King, D., et Keats, B. 2017. « Changement continu et réchauffement progressif : résumé des connaissances culturelles consignées de l'Alliance des Métis de North Slave sur les changements climatiques et environnementaux », rapport préparé pour la publication *Outils géoscientifiques pour l'évaluation environnementale des mines de métaux de la Commission géologique du Canada* (données compilées par Jennifer M. Galloway<sup>3</sup> et R. Timothy Patterson<sup>4</sup>, numéro de projet 1519-149), Savoir polaire : Aqhaliat 2018, Savoir polaire Canada, p. 99-116. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.13.

Territoires du Nord-Ouest ont été utilisées pour fournir les données climatiques et environnementales à long terme nécessaires à l'évaluation des changements géochimiques antérieurs. Les données ont été extraites d'entrevues antérieures menées auprès de membres de l'AMNS et d'une sélection de publications primaires et secondaires pertinentes à l'expérience historique des Métis. Les connaissances culturelles des membres de l'Alliance des Métis de North Slave indiquent qu'en plus de la variabilité des conditions météorologiques et des conditions environnementales correspondantes à prévoir d'une année à l'autre, les changements climatiques produisent un réchauffement global ayant des répercussions sur la saisonnalité, les précipitations, les niveaux d'eau et la qualité de la glace et, par conséquent, sur la santé, le comportement et la répartition des poissons et de la faune. Les résultats de l'étude sur les connaissances traditionnelles de l'AMNS seront intégrés aux connaissances scientifiques occidentales afin de produire un assemblage de connaissances sur les changements climatiques et environnementaux qui comprend l'expérience contextuelle humaine. Cette approche devrait fournir un aperçu de la dynamique climatique passée qui ne peut être discernée uniquement à l'aide des approches paléocologiques.

## Introduction

Les collectivités autochtones et les communautés scientifiques s'entendent généralement pour dire que le climat est en train de changer, et que le rythme de ce changement et ses effets semblent s'accroître dans l'Arctique. De nombreuses collectivités de l'Arctique canadien vivent des changements environnementaux qui diffèrent de la variabilité normale. Les différences observées de l'étendue et la répartition saisonnières de la glace de mer, de l'abondance et de la santé des poissons et de la faune, du dégel du pergélisol et de l'érosion du sol sont considérées comme sans précédent (Riedlinger et Berkes, 2001). De façon tout aussi sans précédent, la recherche sur les changements climatiques a réuni la science conventionnelle et le savoir autochtone. Les collectivités autochtones, grâce à leur *longue occupation et à la* gestion de leurs territoires ainsi qu'à leur relation avec les animaux et d'autres ressources, sont des entrepôts de connaissances inestimables sur les tendances environnementales à long terme.

En évaluant les preuves des changements climatiques dans l'Arctique, Hinzman et coll. (2005) constatent que, bien qu'une grande variété de changements régionaux se soient produits au cours des 400 dernières années, bon nombre

de ces changements ont commencé ou se sont accélérés au milieu des années 1970. Certains des changements, comme le gel tardif et la débâcle précoce des rivières et des lacs de l'Arctique, reflètent les augmentations de la température de l'air à l'échelle de l'Arctique et même à l'échelle mondiale. D'autres documentent des réponses plus subtiles ou complexes du système arctique à mesure qu'il s'adapte aux tendances actuelles et à long terme du climat. Étant donné que le système de l'Arctique est particulièrement sensible aux changements dans les chutes de pluie et de neige, au moment du gel et de la débâcle, et à l'intensité des tempêtes, il est probable qu'une grande partie de ce qui a été documenté jusqu'à maintenant (et qui le sera à l'avenir) reflète ces changements. Indépendamment des forces motrices, les observations et la documentation combinées offrent des preuves substantielles, bien que souvent diffuses, que le système arctique entre dans un état jamais vu dans l'histoire récente (Hinzman et coll. 2005).

Le présent rapport décrit en détail les connaissances culturelles des Métis liées au climat et aux changements climatiques dans le territoire traditionnel des membres de l'Alliance métis North Slave (AMNS) au nord du Grand lac des Esclaves, dans les Territoires du Nord-Ouest, ainsi que les connaissances culturelles sur les conditions climatiques et environnementales équivalentes et la variabilité environnementale, et les connaissances culturelles sur les changements climatiques et les répercussions environnementales équivalentes. Les données ont été extraites par l'équipe de projet à partir d'entrevues antérieures menées auprès de membres de l'AMNS et d'une sélection de publications primaires et secondaires qui s'entrecoupent avec l'expérience historique des Métis. Cette notion de l'expérience historique des Métis et de ce qu'elle signifie sur le plan de la recherche climatique et des travaux d'archives exige une certaine explication. En général, la recherche sur les changements climatiques menée auprès des communautés autochtones est axée exclusivement sur les connaissances traditionnelles, et les chercheurs (habituellement des non-Autochtones) étudient les traditions orales autochtones et les observations personnelles pour fournir de l'information qualitative sur les tendances climatiques. Cette méthodologie renforce l'idée que les Euro-Canadiens ont des connaissances scientifiques et que les Canadiens autochtones ont des connaissances traditionnelles. Toutefois, l'expérience historique des Métis, qui se déroule au carrefour des rencontres autochtones et euro-canadiennes, comporte des modes de subsistance, de main-d'œuvre et de production de

connaissances autochtones européennes uniques. Les Métis participaient à l'économie de la fourrure, à l'exploration et à la science, ainsi qu'à l'utilisation traditionnelle des terres, y compris la subsistance. Par conséquent, les connaissances traditionnelles des Métis sur les changements climatiques complètent les observations climatiques des commerçants de fourrures, des travailleurs des postes et des explorateurs.

## Méthodologie et sources

L'AMNS détient divers documents sur l'histoire des Métis dans les Territoires du Nord-Ouest et sur leur rôle dans le développement et l'exploitation de la traite des fourrures sur le Grand lac des Esclaves. Parmi ceux-ci, il y a des copies numériques du compte-rendu de Warburton Pike et de ses voyages dans le secteur Barren Grounds avec son guide métis King Beaulieu. Ce récit a été publié en 1892 sous le nom de *The Barren Ground of Northern Canada*. Pike a présenté un compte-rendu quotidien de son voyage avec le guide métis Beaulieu à l'extrémité est du Grand lac des Esclaves, puis vers le nord jusqu'aux étendues de toundra Barren Grounds. En décrivant le parcours du groupe et les décisions prises en cours de route quant au moment, à l'endroit et à la façon de se déplacer, de se loger, de récolter de la nourriture et de recueillir le nécessaire pour se débrouiller, Pike révèle souvent les connaissances culturelles de ses compagnons métis. L'équipe de projet a donc examiné les récits de Pike pour en extraire des exemples pertinents de connaissances culturelles métisses.

L'AMNS détient également des exemplaires numériques de journaux de la Compagnie de la Baie d'Hudson (CBH) qui ont été conservés par des employés de Old Fort Rae sur le Grand lac des Esclaves (Archives de la Compagnie de la Baie d'Hudson). Les membres de l'AMNS décrivent Old Fort Rae comme un endroit important sur les plans culturel, spirituel et historique pour leurs familles et leurs ancêtres. Les journaux les plus anciens de la CBH pour Old Fort Rae commencent en 1888. Hayden (2010) prévient que les journaux de Old Fort Rae « *doivent être lus en comprenant que l'accent et la séquence des événements sont des représentations d'expériences et non une description de l'expérience elle-même* ». Toutefois, un examen préliminaire des journaux disponibles laisse entendre que son affirmation selon laquelle « *les perspectives culturelles métisses sont pour la plupart absentes de ces documents* » pourrait être moins exacte. Ces archives représentent l'expérience de la vie quotidienne et des conditions de vie dans un avant-poste isolé peuplé à la fois d'Européens et de Métis. Par conséquent, certains des journaux auraient pu être rédigés

par des Métis, reflétant les comportements et la culture métis. Les journaux portent sur les années 1888 à 1912, ainsi que sur le déplacement du poste et de la collectivité métisse qui l'entoure au nord, de Old Fort Rae à Fort Rae (aujourd'hui Behchokq). Ils fournissent des données occasionnelles décrivant les conditions météorologiques et climatiques à Old Fort Rae. Ces données climatiques ont été extraites par l'équipe du projet et tracées sur des feuilles de calcul à des fins d'analyse en fonction de la date, de la température et des descriptions des conditions climatiques, comme les impressions de la force et de la direction du vent, les précipitations et la couverture nuageuse. Ces descriptions des conditions météorologiques, y compris « *froides* », « *chaudes* », « *nuageuses* », « *pluvieuses* » et « *enneigées* », ont été associées à des clés numériques (c.-à-d. froid = 1, chaud = 2, doux = 3). Les feuilles de calcul ont ensuite été converties en graphiques et analysées pour dégager des tendances et des aperçus des changements climatiques et environnementaux au cours des années représentées. Aux fins du présent rapport, l'équipe du projet a également examiné les entrevues précédentes de l'AMNS pour y trouver des références aux changements climatiques et environnementaux. Bien que le climat et l'environnement n'aient pas été l'objet de ces entrevues, l'analyse des transcriptions a révélé que les participants partageaient de vastes connaissances culturelles liées au climat et à l'environnement. Dans de nombreux cas, ces connaissances ont été transmises en passant lorsque les participants ont répondu à des questions sur les activités de récolte, les déplacements et d'autres activités d'utilisation des terres menées tout au long de leur vie. Dans ces cas, et lorsqu'aucune autre question n'était posée pendant l'entrevue pour éclaircir les connaissances partagées, l'analyse de l'équipe de projet comprenait une interprétation limitée afin de tirer au clair les connaissances révélées. D'autres recherches axées sur la collecte de connaissances culturelles métisses liées aux changements climatiques et environnementaux, et de nouvelles entrevues avec l'ensemble des membres de l'AMNS sont recommandées. L'équipe du projet a également effectué une recension des écrits sur les sources décrivant les observations des changements climatiques sur les populations autochtones de l'Arctique canadien et des Territoires du Nord-Ouest en particulier. Cette recension comprend le travail de Hinzman et coll. (2005), Riedlinger et Berkes (2001), Downing et Cuerrier (2011), Guyot et coll. (2006), le ministère de l'Environnement et des Ressources naturelles des T.N.-O. (2008), Tam et coll. (2013), James et Tristan (2010) et Duerden (2004). Il est donc recommandé d'effectuer d'autres recherches pour recueillir et

analyser les observations actuelles des Métis sur les changements climatiques.

## Aperçu historique

Le poids de la preuve suggère une origine du dix-huitième siècle pour la collectivité métisse de la région du Grand lac des Esclaves. Jones fait remarquer qu'« il semble raisonnable de dire que [les Métis] vivaient déjà dans la région du Grand lac des Esclaves au tout début de la période de résidence des négociants européens dans cette région » (Jones 2005:12). Les dossiers indiquent qu'en 1800, la région du Grand lac des Esclaves comptait une population grandissante d'enfants de première génération d'ascendance mixte, nés d'unions entre des hommes français et des femmes autochtones locales (Jones 2005:19). L'histoire des Métis est étroitement liée à la traite des fourrures, et le premier poste de traite des fourrures de la région a été établi sur la rive sud du Grand lac des Esclaves en 1786. À partir de ce poste, le premier voyage commercial sur le Grand lac des Esclaves a traversé le bras nord et la région des Dogribs, autour du lac la Martre, où un autre poste a été établi en 1789. En 1790, un poste a également été construit dans le bras nord, près de la rivière Yellowknife, et Old Fort Providence a été le centre des activités de la Compagnie du Nord-Ouest au cours des années suivantes (Bellman et Hanks, 1998). Des recherches récentes et des preuves archéologiques suggèrent maintenant qu'un poste à Old Fort Rae, sur la rive est du bras nord, pourrait aussi avoir été établi en même temps que Old Fort Providence ou même avant (Stevenson 2001:12,15). Une carte produite par Aaron Arrowsmith en 1795 et modifiée en 1802 fait référence à la présence « d'établissements canadiens » dans le bras nord, [et] dans une note de bas de page aux journaux de Philip Turnor de 1791–92, J.B. Tyrell précise qu'en 1789, ou « un peu plus tôt [...] Laurent Leroux [...] a construit une maison sur le bras nord du Grand lac des Esclaves, à peu près où se trouve maintenant Fort Rae. » Une mention encore plus ancienne de la présence possible des Métis dans le bras nord est venue d'Alexander Mackenzie lorsqu'il a noté, en 1789, les restes d'un vieux fort sur l'île Old Fort (Stevenson, 2000). M. Hanks souligne que François Beaulieu II, fils métis de François Beaulieu et de son épouse, Ethiba, est né à l'époque où les commerçants de fourrures européens sont arrivés pour la première fois dans la région du Grand lac des Esclaves. Dans sa jeunesse, François Beaulieu II aurait vu les commerçants européens délaisser la route traditionnelle (de Grand Esclave au Grand lac de l'Ours en passant par les rivières Marian et Camsell) pour la route plus à l'ouest du fleuve Mackenzie vers le nord. En tant que libre-échangiste, Beaulieu aurait exploité

la négligence européenne de la route traditionnelle tout au long de sa vie (Hanks 2000). Selon Hanks, les connaissances locales et l'utilisation du bras nord se sont avérées bénéfiques pour les Métis au fur et à mesure que la traite des fourrures s'est développée autour du Grand lac des Esclaves. Les Métis étaient « appréciés comme employés de la traite des fourrures pour leurs compétences linguistiques, leurs aptitudes à vivre sur la terre et leur influence dans la population indienne » (Jones 2005:128). Au début des années 1800, « un groupe identifiable de personnes d'ascendance mixte affiliées à la Compagnie du Nord-Ouest, familières avec le pays et bien branchées avec la population indienne locale, s'est formé dans la région du Grand lac des Esclaves » (Jones 2005:33).

## Old Fort Rae

Old Fort Rae (appelé Fort Rae après que le poste et la collectivité métisse se sont déplacés vers le nord) porte le nom de John Rae, un explorateur de l'Arctique associé à la CBH, bien que le site figure pour la première fois dans les documents historiques sous les noms de Mountain Island ou de Rae Point (Hayden 2010:2). Les connaissances locales et d'autres éléments de preuve présentés par Stevenson indiquent une présence possible des Métis à Old Fort Rae qui remonte à 70 ans avant l'arrivée de la CBH : « [cette preuve] est la principale déclaration de feu Edward Lafferty selon laquelle le cimetière de Old Fort Rae contient de nombreuses tombes qui datent de plusieurs décennies avant l'arrivée de l'Église catholique (c.-à-d. 1859), et que ces sépultures étaient si vieilles que personne, même ses grands-parents, ne pouvait se souvenir à qui elles appartenaient. » (Stevenson 2000:6). Stevenson cite également plusieurs documents historiques indiquant que la Compagnie du Nord-Ouest (CNO) a établi un poste de traite à Old Fort Rae en 1804, et que [traduction] « les Métis libres se sont peut-être établis sur les rives du Grand lac des Esclaves et la partie bras nord des années avant la CNO » (Stevenson 2000:8). En fait, selon Stevenson, il est fort probable que les preuves archéologiques trouvées à Old Fort Rae indiquent [traduction] « une occupation antérieure à 1780 de Métis libres anciennement associés à la Compagnie des Sioux, ou une occupation des Métis à la fin des années 1780/au début des années 1790, datant de l'époque de l'activité commerciale de la CNO dans le bras nord » (Stevenson 2000:10). Hayden convient que la preuve archéologique confirme l'établissement des Métis à Old Fort Rae plusieurs décennies avant l'arrivée de la CBH. Elle conclut que l'utilisation et l'occupation du site par les Métis ont probablement commencé avec la CNO en 1804 (Hayden 2008:8). En effet, en 1804, la CNO

s'installe dans le Nord, avant la CBH, et établit un poste de traite à OFR [Old Fort Rae], appelé Mountain Island Post, qui a été abandonné en 1820. En 1849, George Simpson a autorisé M. John Rae à établir un poste au lac Marten, son principal objectif étant d'obtenir des provisions pour les autres postes plutôt que de recueillir des fourrures. En 1851, le négociant en chef James Anderson, le successeur de John Rae au lac Marten, a demandé à la CBH de déménager un poste à l'embouchure de la rivière Marten à un endroit appelé Montagne de l'Isle, ce qui permettrait le commerce avec le lac Marten (Tłjchq) et les Couteaux-Jaunes (Première Nation des Dénés Couteaux-Jaunes). La suggestion découlait de l'avis donné par Baptiste Beaulieu, homme libre et commerçant indépendant. En juin 1852, Anderson ordonne à Charles Gaudet de construire un fort dans le détroit de Lac Brochet, un endroit appelé Fort Rae, et nomme Alexander McKenzie à sa charge. Cet été-là, M. Gaudet, Cadien, l'interprète et cinq Indiens ont construit le fort près du vieux « poste de Montagne de l'Isle » et l'ont appelé Fort Rae (Hayden 2010:4). Selon Bellman et Hanks (1998:53), Anderson a également demandé conseil à François Beaulieu sur l'endroit le plus propice pour situer le nouveau fort de la CBH, mais a plutôt choisi de suivre la recommandation de Baptiste Beaulieu et s'est dirigé vers l'est du bras nord. En plus de l'approvisionnement en bois et de la réputation d'une bonne zone de pêche, cet endroit possédait deux atouts particuliers, soit l'accès direct au caribou pendant les migrations printanière et automnale (Stevenson 2001:16) et la proximité de sites spirituels et culturels importants, ce qui a permis « aux chasseurs et aux trappeurs locaux de demeurer dans un territoire important sur le plan culturel tout en participant au nouveau système de commerce économique » (Hayden 2010:26-27). Stevenson fait remarquer que le fort se trouvait à 150 milles « de la voie battue » de la route principale de la traite des fourrures (Stevenson, 2001, p. 16), et qu'il a donc accueilli très peu de voyageurs. Il affirme que cet isolement géographique a mené au développement d'une identité métisse distincte, marquée par l'hybridation des pratiques culturelles et économiques des Canadiens français et des Dénés locaux. Stevenson décrit comment un sentiment de collectivité et d'identité culturelle s'est probablement cristallisé chez les habitants métis du fort :

À Old Fort Rae, la langue métisse prédominait, les vêtements métis étaient portés et la religion catholique et les traditions de sépulture des Métis étaient pratiquées. L'organisation sociale du travail était sans équivoque métisse, avec sa division et sa spécialisation du travail. Les maisons permanentes autour du fort reflétaient une architecture métisse unique. Il s'agissait de structures

permanentes avec des caveaux à racines et des coins mortaisés complexes qui différaient des maisons semi-permanentes des Dénés. (Stevenson 2001:17)

La liste des premiers employés de la CBH au fort commence par Louison Cadien, l'interprète mentionné ci-dessus, qui « semble avoir vécu à Old Fort Rae pendant la majeure partie des années 1850 et qui a été responsable de la réouverture du fort en 1852, lorsqu'il a construit cinq cabanes en bois rond » (Stevenson 2001:16). Cadien, ou Cayen, aussi connu sous le nom de Old Cayen, était fort probablement le fils métis d'un Parisien qui avait travaillé pour la CBH et qui avait vécu parmi les Chipewyans plusieurs décennies plus tôt (Bellman et Hanks 1998:41). Jones observe qu'au milieu du XIXe siècle, alors que certains Métis travaillaient à la CBH et la quittaient, et s'installaient dans les forts de la CBH et les quittaient ensuite, « des employés d'ascendance mixte de longue date comme Pierre Blondin et Louis Cadien continuaient de gagner leur vie en travaillant comme ouvriers, équipages de bateau, interprètes et émissaires auprès des Indiens, et de nouvelles familles d'ascendance mixte se formaient d'année en année autour des postes de la CBH » (Jones, 2005:71). En évaluant les registres de mariages et de baptêmes effectués par les représentants de l'Église catholique romaine à Fort Resolution et à Fort Providence au milieu des années 1800, Jones fait remarquer que « les liens entre les familles d'anciens et de nouveaux ancêtres mixtes et (principalement) les familles d'ascendance française sont évidents, ainsi que certains mariages continus, mais limités, avec les femmes dénées » (Jones 2005:78).

Louison Cadien, Oliver et Louison Laferté, et Alexis et King Beaulieu, sont tous inscrits comme employés de la CBH dans les livres comptables de Old Fort Rae de 1853 à 1863, ainsi que Pascal et William Houle, Baptiste Bouchez dit Lamalice et Baptiste Mainville (Jones, 2005). Plusieurs noms « associés à des employés canadiens-français ou d'ascendance mixte de l'entreprise au cours des années précédentes » sont recensés parmi les « Indiens » de Old Fort Rae pour cette même période, y compris Beaulieu, Robillard et Marseillais (Jones 2005:79). Les livres comptables des années 1870 et 1880 indiquent Baptiste Bouvier comme employé, ainsi que des noms comme Laferté, Beaulieu, Hoole, Camsell, Norn, Villeneuve et Laviolette (Jones 2014:14). Henry Cadien est inscrit à différents moments comme employé, intermédiaire et interprète, et comme « Indien » ou ayant une « dette indienne », ainsi que « Petit Beaulieu » et son fils [...] « Vieux Beaulieu » et « Beaulieu premier fils » (Jones 2014:15). Jones suppose que la « dette indienne » était peut-être

« *davantage un type de relation économique qu'un attribut ethnique* » (Jones, 2014:18). Hayden présente également un aperçu des gens d'Old Fort Rae :

*Les hommes et les garçons, principalement métis, qui travaillaient comme préposés à la poste, passaient la majeure partie de leur journée à transporter du bois pour se chauffer, des matériaux de construction et du carburant; à transporter des fourrures; à aller chercher, à sécher et à préparer de la viande; à construire et à entretenir les bâtiments du poste, les traîneaux, les cercueils et autres équipements nécessaires; à réparer des filets; à pêcher et à chasser. Les femmes de ces postes sont rarement mentionnées dans les journaux, mis à part leur voyage au camp de Syrup en mai et certains voyages de cueillette de petits fruits et de piégeage, mais elles ont probablement joué un rôle important dans l'éducation des enfants et dans l'exécution d'autres tâches ménagères et communautaires. (Hayden 2010:34)*

Les travailleurs effectuaient les mêmes types de travaux de construction et de travail manuel que leurs homologues à Fort Providence. En hiver, les employés et Antoine Laferté ont fait plusieurs voyages en traîneaux à chiens à une distance de quelques jours de déplacements du poste pour ramasser les fourrures et la viande des partenaires commerciaux de la CBH. Ils ont également parcouru à peu près la même distance pour couper du bois afin de chauffer les bâtiments du poste et pour approvisionner le navire à vapeur Wrigley lors de ses visites estivales. La pêche se faisait tous les jours pendant environ six mois en eau libre ou sous la glace près du fort. David Villeneuve, Henry Cadien et d'autres employés exploitaient les pêches pour le poste, surtout à l'automne, à la rivière Jackfish, à l'île Smith, à la « *pêche de l'île* », à « *le point* », et à d'autres endroits anonymes. Les clients de la CBH, comme Beaulieu et ses fils, le fils de Tom Cook et Rabasca, visitaient le fort une ou deux fois par année pour échanger de la viande ou des fourrures (Jones, 2014, p. 15-16).

Le journal d'Arthur Camsell de Old Fort Rae offre un aperçu de la vie au fort à la fin des années 1800, notamment le mariage d'Antoine Laferté à Madeleine Beaulieu en octobre 1890 et la naissance du fils d'Alexis Beaulieu en novembre de la même année. Il note un certain nombre de danses festives qui durent jusqu'aux petites heures du matin et il parle d'une variété d'activités de récolte métisses, y compris la chasse et la fabrication de sirop de bouleau (Jones 2014:16). Une déclaration de Marie Laferté (épouse d'Alexis Beaulieu), datée du 28 février 1894, concernant sa [traduction] « *demande de participer à*

*toute subvention aux Métis vivant dans les Territoires du Nord-Ouest* » indique les dates de naissance et de décès de ses enfants : « *Isabelle, née à Fort Resolution en 1879, est décédée à Fort Rae à l'âge d'un an, un autre enfant est décédé à la naissance il y a neuf ans... Il est né et est mort à Fort Rae et Maria Rosa, née à Fort Rae il y a sept ans est décédée en 1893.* La revue des publications de Jones « *pour les années 1892-1899 et 1900-1904 montre des modèles similaires de commerce, d'exploitation des ressources locales et de main-d'œuvre* », et les récits pour la même période montrent un assortiment semblable de noms métis (Jones 2014:18).

En 1893, le poste de traite de la CBH fait face à une nouvelle concurrence d'un avant-poste de banlieue établi par Hislop et Nagle à moins de 20 milles au nord. Suivant les conseils d'Alexis Lafferty, de Old Fort Rae, « *Hislop a établi un poste près de la rivière Willow — un emplacement que les Plats-Côtés-de-Chien avaient déjà recommandé à la Compagnie de la Baie d'Hudson, puisqu'il était au centre de leur territoire* » (Bellman et Hanks 1998:66). Le recensement de 1901 regroupe les résidents des deux postes, dénombrent six familles d'ascendance mixte à Old Fort Rae et à Willow River, tout près. Il est indiqué que des membres de la même famille sont nés à Fort Rae et à d'autres postes éloignés du Grand lac des Esclaves (Jones 2005:105). À peu près au même moment, toutefois, le mouvement des familles métisses, qui s'éloignaient de Old Fort Rae pour se rendre à Willow River et, éventuellement, au nouveau poste de la CBH à Rae, avait commencé. Stevenson (2001:21) a commencé le déplacement en 1901, qui s'est terminé en 1906, et la CBH a poursuivi ses activités à Old Fort Rae jusqu'en 1911. Hayden consigne son déménagement en 1905 par des inscriptions au journal de la CBH, qui détaillent la construction en cours du nouveau fort à Rae et fournissent « *la preuve que Old Fort est toujours habité par les "Indiens de Old Fort"* » (Hayden 2010:39). Selon Stevenson, en 1916, le nombre considérable de membres de la famille Lafferty, « *dirigés par Henri Lafferty* », étaient les seuls résidents de Old Fort Rae (Stevenson 2001:21).

Hayden écrit au sujet d'Alice Lafferty et de sa famille :

*Bien qu'Alice [Lafferty] n'ait pas été témoin des pratiques commerciales de la Compagnie de la Baie d'Hudson à [Old Fort Rae], sa famille et l'histoire de sa vie soulignent l'utilisation continue de cette région par les familles métisses qui y ont déjà travaillé [...] Même si la plaque tournante de l'activité économique s'était légèrement déplacée vers Fort Rae et Yellowknife, de nombreuses*

*familles sont restées sur la terre pour adopter des modes de vie plus traditionnels. (Hayden 2010:39)*

## Données climatiques historiques du territoire métis traditionnel

### Journaux de la Compagnie de la Baie d'Hudson

L'objectif des journaux tenus à chaque poste de la CBH était de conserver un compte objectif des activités pour des raisons de gestion et de production de rapports; toutefois, « *souvent, dans le cadre de cette démarche, les journaux présenteraient également de l'information jugée essentielle pour comprendre le monde plus vaste dans lequel la CBH s'était installée et son entreprise commerciale* » (Province du Manitoba, 2015). Parmi cette information, il y avait des observations mesurables du climat et des conditions environnementales connexes, comme les températures, et des observations qualitatives, comme les changements du vent et les changements saisonniers. Les postes n'étaient pas tenus d'enregistrer des renseignements météorologiques; ils ont plutôt été notés selon les fantaisies et les intérêts de ceux qui tenaient les journaux. Par conséquent, la régularité et la fréquence à laquelle les journaux fournissent des données météorologiques diffèrent grandement d'une publication à l'autre, d'un auteur à l'autre et même d'un jour à l'autre. Aux fins du présent rapport, l'équipe du projet a examiné tous les journaux de la CBH actuellement détenus par l'AMNS, à savoir ceux de Old Fort Rae, en raison de l'importance du poste pour les membres de l'AMNS et de son rôle central dans la vie de leurs familles et de leurs ancêtres. Quant aux recherches à venir, il est recommandé que les journaux de la CBH pour au moins les postes de Fort Simpson, Fort Providence et Fort Resolution soient révisés et que les données soient analysées et regroupées aux données fournies ici pour Old Fort Rae, et que les livres comptables soient révisés parce qu'ils pourraient contenir de l'information sur l'état des fourrures et cette information pourrait être mise en corrélation avec les données sur le climat et les connaissances traditionnelles. Parmi les données sur Old Fort Rae, les données sur la température sont les plus systématiquement disponibles parce qu'elles étaient parfois consignées presque quotidiennement et qu'elles se sont donc avérées les plus utiles à l'analyse. Toutefois, même les températures n'ont pas été enregistrées de façon cohérente au cours de chaque année, et de nombreux jours, de nombreuses semaines et de nombreux mois n'ont pas été pris en compte. L'équipe du projet a donc axé son analyse sur deux périodes choisies au cours desquelles les températures étaient bien représentées sur plusieurs années. Les deux périodes choisies pour

l'analyse sont novembre-décembre et janvier-février, car contrairement à la plupart des autres périodes couvertes par les journaux, les températures de ces mois ont été enregistrées presque quotidiennement sur plusieurs années entre 1888 et 1896. Les températures disponibles pour ces mois/années ont d'abord été tracées dans des tableaux à des fins d'analyse comparative, puis utilisées pour générer des graphiques visant à illustrer la variabilité et la fluctuation des températures quotidiennes au cours des mêmes périodes d'une année à l'autre (figures 1, 2). Les graphiques pour les deux périodes semblent décrire la variation continue des températures pendant chaque période et entre les mêmes périodes chaque année. Les données disponibles suggèrent ce qui pourrait être décrit comme une « *incohérence constante* » des températures et des conditions climatiques correspondantes pour les périodes analysées. Les températures semblent fluctuer à l'intérieur d'une plage de 6 à 8 °F au cours de chaque période, et ce, sans adhérer à un schéma prévisible.

### Les expéditions de John Franklin

Au cours des années 1820, l'explorateur britannique John Franklin effectue deux expéditions sur la côte nord du Canada, aidé dans les deux voyages par les connaissances locales et le travail physique des Métis, que l'on appelle dans les récits des « *Sang-Mêlé* », des « *voyageurs* » et des « *Canadiens* ». Au cours de chacun de ces voyages, « *des mesures régulières* étaient prises plusieurs fois par jour de la température, de la direction du vent et de la variation du compas, ainsi que des observations de la vitesse du vent, des précipitations, de la couverture du ciel et de l'occurrence des aurores boréales » (Hopper 1985:684). Une grande partie de ces premières données climatiques a été consignée dans les journaux de l'expédition conservés par Franklin aux fins de publication et dans les journaux personnels tenus par le naturaliste John Richardson, qui a accompagné Franklin lors de sa première expédition (Archives de la Compagnie de la Baie d'Hudson). Les analyses existantes de ces données soulignent la variabilité quotidienne et annuelle des températures enregistrées aux postes éloignés près de Old Fort Rae et dans le territoire traditionnel des membres de l'AMNS au nord du Grand lac des Esclaves. Hopper présente par exemple l'analyse suivante pour décembre 1820 et janvier 1821 :

*Les observations météorologiques à Fort Enterprise laissent croire à un hiver typique à bien des égards... sauf pour un mois de décembre exceptionnellement froid, l'expédition a connu des températures moyennes qui étaient normales ou supérieures à la normale.*

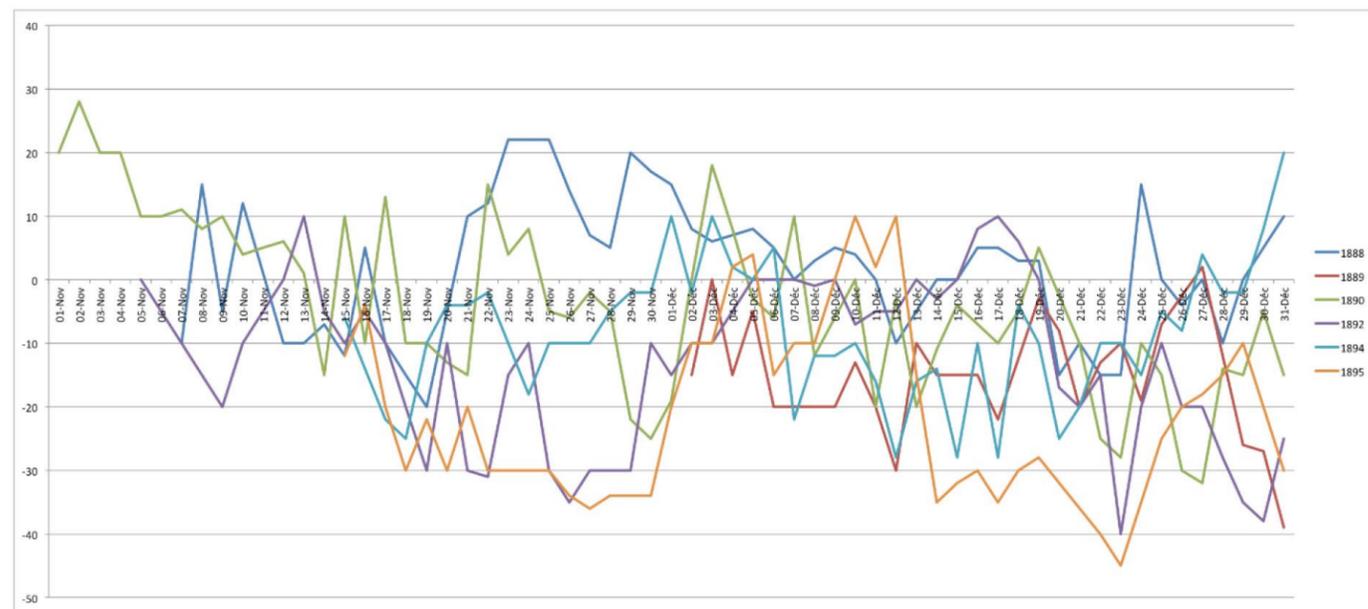


Figure 1 : Températures disponibles (°F) extraites des journaux de la CBH pour novembre-décembre 1888, 1889, 1890, 1892, 1894 et 1895 (Archives de la Compagnie de la Baie d'Hudson).

Janvier 1821 a été, par contraste, inhabituel [...] Il y a eu une courte période de froid suivie par le retour du temps doux au milieu du mois. Aucune pluie n'est tombée à Fort Enterprise, mais l'expédition a connu plusieurs jours de « brouillard humide qui était presque de la pluie ». (Hopper 1985:686)

En revanche, Houston observe que plus tard en 1821, à Fort Enterprise, Franklin et ses agents ont documenté un début d'hiver :

En octobre 1820, à Fort Enterprise, « il y avait très peu de neige au sol, et nous étions entourés de vastes troupeaux de rennes [...] Winter River était alors ouverte. » En octobre 1821, « il y avait peu de traces récentes de ces animaux, et la neige avait plus de deux pieds de profondeur [...] Winter River [...] était gelée de deux pieds d'épaisseur. » Les études non publiées de G. C. Jacoby sur les anneaux de croissance des arbres des monts Coppermine confirment que Franklin a connu une baisse importante des températures en 1821. (Houston 2014:208)

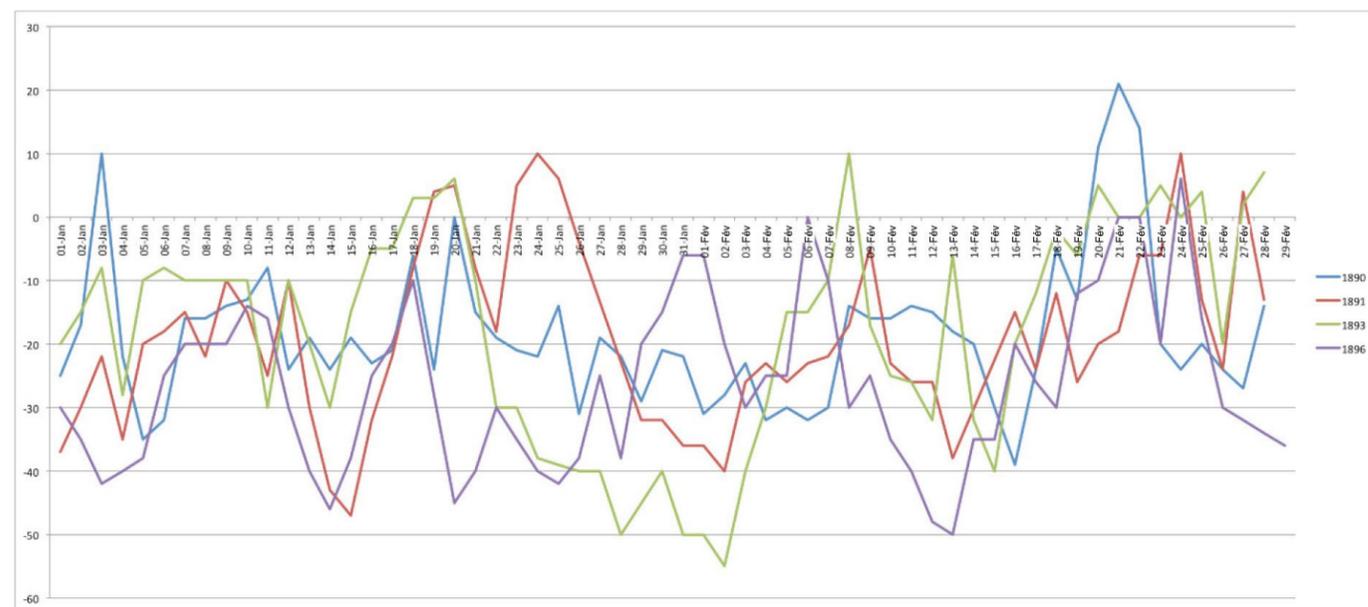


Figure 2 : Températures disponibles (°F) extraites des journaux de la CBH pour janvier-février 1890, 1891, 1893 et 1896 (Archives de la Compagnie de la Baie d'Hudson).

Dans leur analyse des données historiques sur le climat de l'Arctique, y compris celles de Franklin, Przybylak et de Vizi on y suggère que les années 1820 ont été dans l'ensemble plus chaudes, particulièrement pendant les mois d'hiver, que les années 1850, lorsque Old Fort Rae a été établi (Przybylak et Vizi 2005:1512). Ils font également remarquer, cependant, que même ces hivers plus chauds étaient considérablement plus froids que ceux de la région aujourd'hui. De plus, ils signalent que les écarts entre les températures quotidiennes moyennes étaient les plus importants pendant les mois d'hiver et d'été, et que ces écarts ont augmenté à la fois en fréquence et en intensité du passé à aujourd'hui. Les changements les plus importants dans la variabilité quotidienne de la température moyenne de l'air d'hier à aujourd'hui surviennent en hiver et surtout en été. On a observé une augmentation des écarts pour les deux saisons. Cela signifie qu'à l'heure actuelle, la grande variabilité quotidienne de la température moyenne de l'air (dépassant 5 °C en hiver et 3 °C en été) est plus fréquente, alors que la petite variabilité (de 0 °C à 1 °C) est moins fréquente (Przybylak et Vizi 2005:1515).

Les tableaux tirés de *Narrative of a Second Expedition to the Shores of the Polar Sea in the Years 1825, 1826, and 1827* de Franklin illustrent la nature changeante quotidienne des températures enregistrées à Fort Franklin situé sur la pointe sud-ouest du Grand lac de l'Ours pendant les mêmes mois sélectionnés pour l'analyse effectuée à partir des données de la CBH pour Old Fort Rae, soit novembre-décembre et janvier-février pour les années 1825 à 1827 (Franklin 1828).

### Le Conseil météorologique de la Grande-Bretagne

En 1879, le British Meteorological Council (Conseil météorologique britannique) a publié *Contributions to our Knowledge of the Meteorology of the Arctic Regions*, qui « rassemblait l'information sur le climat des régions polaires, en particulier de la partie située à proximité du continent américain, contenue dans les journaux de bord et les registres des diverses expéditions arctiques britanniques jusqu'en 1874 ». Cette information comprend les données de température enregistrées par John Rae à Fort Confidence dans les Territoires du Nord-Ouest pendant l'hiver 1850-1851 et par le lieutenant W. J. S. Pullen à Fort Simpson de l'automne 1849 au printemps 1851.

### Fort Simpson

Au cours des étés de 1849 et 1850, W. J. S. Pullen a mené des expéditions en bateau à la recherche de l'expédition

Franklin qui avait disparu quatre ans auparavant. Pendant les derniers mois des deux années et jusqu'au printemps 1851, Pullen est retourné passer les hivers à Fort Simpson, un poste de la CBH, près de la confluence des rivières Mackenzie et Liard, à l'est du Grand lac des Esclaves. Pullen y enregistre régulièrement la température en utilisant « pas moins de vingt-deux thermomètres en plein air » (Conseil météorologique 1879:345). Les tableaux de *Contributions to our Knowledge of the Meteorology of the Arctic Regions* montrent les températures mensuelles enregistrées par Pullen au cours des mêmes mois sélectionnés pour l'analyse à partir des données de la CBH pour Old Fort Rae, à savoir novembre-décembre et janvier-février, pour les années 1849-50 et 1850-1851. En novembre-décembre 1849, les températures variaient de 9,1 °F à -15,7 °F et, au cours des mêmes mois en 1850, elles variaient de 15,4 °F à -9,4 °F. En janvier-février 1850 et 1851, les températures variaient de -30,5 °F à 1,4 °F et de -23,1 °F à -4,5 °F respectivement (Conseil météorologique, 1879).

### Fort Confidence

Fort Confidence était établi sur la rive nord-est du Grand lac de l'Ours au milieu des années 1830. Même s'il était financé par la CBH, le fort n'était pas un poste de traite, mais plutôt une station de base pour des expéditions dans l'Arctique, comme celle que John Richardson et John Rae dirigeaient en 1849, également à la recherche de l'expédition de Franklin. Lorsque les deux hommes sont retournés à Fort Confidence en 1850, John Rae est resté au fort tout l'hiver, où il a enregistré des données météorologiques, y compris les températures, du 2 octobre 1850 au 6 juin 1851 (Johnson 1975:239; Conseil météorologique 1879:11). En publiant les données de Rae, le Conseil météorologique note que le climat dans le territoire entourant Fort Confidence est « sujet à des changements de températures soudains et importants » (Conseil météorologique 1879:11). Contrairement aux températures enregistrées par Franklin et ses officiers au cours des années 1820, qui ont montré le plus grand changement des températures quotidiennes pendant l'hiver et l'été, les dossiers de Rae montrent que pour l'hiver 1850-1851, « la plage moyenne quotidienne de températures était très petite en novembre, décembre et janvier, et très grande en février, mars et avril » (Conseil météorologique 1879:11).

### Année polaire internationale

L'année 1882-1883 a marqué la première Année polaire internationale (API), au cours de laquelle « des scientifiques

de 11 pays ont exploité 12 stations expéditionnaires dans l'Arctique ou la région subarctique et deux dans la région subantarctique pendant environ 13 mois » dans le but de recueillir systématiquement des données météorologiques à des fins d'analyse et de publication scientifiques (Bulkeley 2010:1). Malgré une certaine réticence initiale de la part de la Marine royale britannique à participer, en partie à cause de l'opinion selon laquelle il était peu pratique et improductif d'affecter des chercheurs à un seul endroit pendant un an plutôt que d'explorer une région pendant la même durée, le Conseil météorologique a fini par avoir le dessus et a choisi Old Fort Rae comme site pour sa base de l'API (Barr 2010:61). Le fort était « non seulement la plus au nord des stations de la CBH, mais aussi la plus proche du pôle magnétique et donc avantageuse pour le programme de l'API » (Barr 2010:61). Le capitaine Henry P. Dawson a été choisi pour diriger l'expédition vers Old Fort Rae. En raison de l'infrastructure, du poisson et du gibier qui y ont été fournis à Dawson et à ses hommes, ce fut l'une des expéditions les moins dangereuses ou difficiles de l'API (Barr 2010:61,63). Le personnel de la CBH a déclaré que l'hiver de 1882-1883 était « un hiver exceptionnellement doux avec un début très tardif, des chutes de neige beaucoup plus légères que d'habitude et un nombre exceptionnellement restreint de tempêtes violentes » (Barr, 2010:62). Dawson signale qu'il n'y avait pratiquement pas de glace dans le fleuve Mackenzie à la fin de novembre, « alors qu'il est habituellement plein de glace dérivante en octobre et gelé en novembre » (Wood and Overland 2006:8). Selon Wood and Overland, « la date médiane du gel du fleuve Mackenzie à Fort Simpson, fondée sur 44 années d'observations entre 1931 et 1985, est le 25 novembre, mais elle varie entre le 31 octobre et le 15 décembre » (Wood et Overland, 2006:8). Tout comme ces rapports et ces analyses suggèrent la variabilité des conditions saisonnières d'une année à l'autre, la description plus détaillée de l'hiver 1882-1883 de Dawson parle de la variabilité des températures d'un jour à l'autre et d'une semaine à l'autre dans le territoire traditionnel des membres de l'AMNS :

*Ce n'est qu'au début du mois de décembre que notre hiver s'est vraiment installé, mais quand il l'a fait, il n'y a pas eu d'erreur, puisque le premier jour du mois a commencé avec le thermomètre à -34 °F, et à l'exception d'un temps doux à Noël, le froid a continué tout au long du mois. Ensuite, le mois de janvier a été encore plus froid, le thermomètre approchant une ou deux fois -50 °F, mais au début de février, une violente tempête a été accompagnée d'une hausse remarquable de la température (à +20 °F), suivie d'un temps doux, et depuis le thermomètre a de*

*nouveau chuté, atteignant -39 °F il y a quelques jours. (Barr, 2010:61-62)*

Les températures quotidiennes de l'air de surface et les pressions au niveau de la mer enregistrées à Old Fort Rae au cours de l'API ont indiqué une plage de température de l'air de surface d'environ -5 °C à -39 °C au cours des mois de novembre et de décembre et de -15 °C à -40 °C au cours des mois de janvier et de février. Les grandes fluctuations de température en une courte période sont rares d'avril à octobre et ne dépassent pas environ 15 °C de novembre à mars. Les pressions au niveau de la mer documentées varient d'environ 1000 hPa à 1040 hPa pendant toute l'année (Bureau de recherche arctique de la NOAA). Comme le font remarquer Wood et Overland, « ces observations ne s'étendent que sur une seule année, mais elles offrent un aperçu unique de l'environnement circumpolaire d'une période antérieure au réchauffement de l'Arctique » (Wood et Overland 2006:11).

## Connaissances culturelles sur le climat et les changements environnementaux

### Warburton Pike

Lorsque l'aventurier britannique Warburton Pike a entrepris de chasser le bœuf musqué sur l'étendue de toundra Barren Grounds des Territoires du Nord-Ouest en 1889, il a retenu les services de King Beaulieu comme guide (bien qu'il ait affirmé que « personne ne pouvait dire qu'il avait très bon caractère »), car Beaulieu était connu pour être un « voyageur de premier ordre, en plus d'avoir réussi à chasser le bœuf musqué l'année précédente ». Pike élabore ensuite sur les qualifications de Beaulieu, le décrivant comme « expert dans tous les arts du voyage en canoë ou en traîneau à chiens, [et] rapide en situation d'urgence » (Pike 1892:18). Les « arts du voyage », qui font partie de ce que nous appellerions le savoir traditionnel aujourd'hui, englobaient de vastes connaissances liées au climat et à l'environnement. Les modes de transport décrits indiquent que les connaissances de Beaulieu s'étendaient à toutes les saisons et aux conditions météorologiques que les voyageurs du Nord pouvaient rencontrer. Plus loin dans son exposé, Pike décrit ainsi Beaulieu et les autres Métis qui déploient leurs connaissances spécialisées pour réagir aux changements climatiques saisonniers sur le territoire :

*J'arrive à présent à constater un exemple de la rapidité d'esprit que King possédait en s'ajustant aux conditions et aux situations pour sortir des difficultés [...] Avant que je saisisse bien son plan, nous avons commencé les*

*opérations en rassemblant tous les poteaux et toutes les pagaies dans une sorte de radeau de glace rudimentaire; sur le dessus, nous avons placé les charges que nous avions dû transporter sur plusieurs kilomètres, formant un lit lisse, à deux pieds au-dessus du niveau de la glace, sur lequel poser le canot. De toute évidence, la baie avait gelé et s'était brisée une fois, et le deuxième point de congélation avait laissé une surface rugueuse; beaucoup de radeaux glaciels étaient empilés les uns sur les autres, tandis que les autres avaient été renversés sur le bord, et il était nécessaire de garder le canot à l'écart de ces bords tranchants, qui auraient déchiré l'écorce tendre de bouleau comme un couteau. Un homme s'est précipité devant, testant la force de la glace avec une hache, tandis que les autres tiraient le radeau, et notre méthode était si efficace que juste avant la tombée de la nuit, après beaucoup de fissures inquiétantes de la glace, mais aucune catastrophe, nous avons campé sur la pointe est de la baie, près de la lisière d'eau libre. Les Métis ont fait preuve d'une grande connaissance de la glace et, se fiant à un coup de hache occasionnel, ils ont choisi la route la plus sûre sans se tromper. Le canot tourné sur le côté nous a donné le meilleur abri possible pendant plusieurs nuits, et, ramassant suffisamment de saules pour un feu, nous étions tous fébriles à l'idée d'atteindre les premiers amas de pins le lendemain. (Pike 1892:68-69)*

Après avoir atteint le terrain de la Barren Grounds, les compagnons métis de Pike ont démontré leurs connaissances culturelles en matière de construction de camps d'hiver, y compris le double objectif donné aux raquettes et aux traîneaux, que les Métis utilisaient comme outils et comme améliorations structurelles :

*Ils choisissent des endroits où la neige est légère et le sol dégagé de roches, et ils tracent alors un anneau de la taille requise. Il faut alors enlever nos raquettes et les utiliser comme pelles pour sortir la neige de l'intérieur de cet anneau, créant ainsi un mur dont la hauteur varie selon l'épaisseur de la couche de neige. À l'extérieur de ce cercle, les traîneaux sont tournés sur le côté, les poteaux plantés derrière eux, et les peaux de cerfs étendues autour, formant un camp aussi confortable qu'on peut espérer dans un tel pays. (Pike 1892:94)*

Jones présente un résumé de certaines des premières méthodes décrites par Pike, ce qui offre un aperçu de la nature et de l'étendue des connaissances culturelles qu'avait Beaulieu :

*King Beaulieu a conduit le groupe vers une chaîne de lacs que Pike soupçonnait n'avoir jamais été parcourue par des hommes blancs auparavant, à l'est de la rivière Yellowknife et à l'ouest de la route empruntée par Back*

*vers l'embouchure de la rivière qui porte maintenant son nom. Ils campaient sur un lac que les Beaulieu appelaient « du Rocher » (aujourd'hui connu sous le nom de Warburton Bay), où « les Métis... ont toujours trouvé du caribou à cette période de l'année ». Après environ une journée de voyage, les fils de Beaulieu ont trouvé un troupeau de caribous. (Jones, 2014:39-40)*

Pike lui-même a décrit la route choisie par Beaulieu comme faisant partie des connaissances culturelles de Beaulieu, indiquant l'existence d'endroits auparavant nommés par les Métis en cours de route, et, plus important encore, Pike a décrit les connaissances de Beaulieu sur le comportement des caribous quant au climat et aux conditions environnementales saisonnières. Pike a écrit :

*Nous avons poursuivi notre voyage comme auparavant, en nous efforçant le plus rapidement possible d'atteindre le lac du Rocher, où les Métis étaient confiants de rencontrer des caribous, ou, au pire, pour camper dans un endroit qu'ils connaissaient bien et où nous pouvions prendre suffisamment de poissons pour une subsistance temporaire. Le 13 septembre, nous avons atteint le lac du Rocher [...] D'autres ont exploré les collines environnantes pour trouver des pistes de caribou, mais sans succès. Les Métis ont tous été mis à mal par cet échec, car ils ont toujours trouvé du caribou au lac du Rocher à cette période de l'année, et ils ont été incapables d'en expliquer la cause, sauf en élaborant la théorie que les animaux avaient modifié le cours habituel de leur migration d'automne et passaient à l'est d'où nous étions. (Pike 1892:36-37)*

Il est évident que les Métis qui voyageaient avec Beaulieu savaient où se trouvait traditionnellement le caribou selon les conditions saisonnières et climatiques. Leur certitude quant à l'endroit où les trouver, leur déception quant à leur incapacité à les trouver et leur théorie selon laquelle le troupeau avait changé de cap ont toutes mené à l'affirmation subséquente de Pike selon laquelle « les caribous sont extrêmement incertains dans leurs déplacements, prenant rarement le même chemin au cours de deux années consécutives » (Pike 1892:46). Toutefois, l'expérience au lac du Rocher que Pike a racontée, ainsi que l'observation suivante, suggèrent au moins que les Métis acquièrent des connaissances sur les changements du comportement des caribous liés aux changements environnementaux.

*Je pense qu'il y a vraiment beaucoup de vérité dans l'affirmation selon laquelle ils gardent une route plus à l'est qu'auparavant, car ils arrivent rarement en grandes quantités dans le fleuve Mackenzie, où ils étaient*

particulièrement nombreux en hiver. Cela s'explique majoritairement par le fait que de vastes parties du pays ont été brûlées et rendues inaptes pour la pousse du lichen si précieux pour ces animaux. La même chose s'applique à Fort Resolution, où, au cours de la dernière décennie, la rive sud du Grand lac des Esclaves a été brûlée et l'une des meilleures zones a été complètement détruite. (Pike 1892:46)

Selon Pike, Beaulieu lui racontait souvent des histoires traditionnelles, « habituellement une tradition transmise à partir du moment où tous les animaux et les oiseaux pouvaient converser ensemble » (Pike 1892:78). Pike a appelé l'une des histoires « **Le déluge** » et l'a transcrit à partir du récit de Beaulieu. Il s'agit d'une histoire d'origine qui s'appuie sur les événements climatiques, suggère une connaissance culturelle du changement continu des conditions climatiques saisonnières, et est ancrée dans des exemples de connaissances culturelles liées au climat, comme le lagopède qui devient blanc lorsque la neige commence à tomber :

*Il y a de nombreuses années, il y a si longtemps, en fait, qu'aucun homme n'était encore apparu dans le pays du lac des Esclaves, les animaux, les oiseaux et les poissons vivaient en paix et en amitié, se nourrissant de l'abondance des produits du sol. Mais un hiver, il y a eu beaucoup plus de neige que d'habitude; l'obscurité perpétuelle s'est installée et, lorsque le printemps aurait dû arriver, la neige, au lieu de fondre, s'est épaissie de plus en plus. Cette situation a duré de nombreux mois, et il est devenu difficile pour les animaux de trouver de quoi manger; beaucoup sont morts de faim, et finalement, il a été décidé en grand conseil d'envoyer une délégation au paradis pour enquêter sur la cause de ces événements étranges, et dans cette délégation, chaque espèce d'animal, d'oiseau et de poisson était représentée. Ils ne semblent pas avoir eu de difficulté à atteindre le ciel et à passer par une trappe vers un pays plein de soleil et d'abondance. À la porte se trouvait une hutte en peaux de cerfs qui ressemblait aux huttes maintenant utilisées parmi les Couteaux-Jaunes; c'était la maison de l'ours noir, un animal alors inconnu sur la terre. Le vieil ours était allé près d'un lac pour harponner des caribous à partir d'un canot, mais il restait trois oursons dans le pavillon pour s'occuper de quelques mystérieux ballots qui étaient accrochés aux poteaux transversaux; les oursons refusaient de dire ce que contenaient ces paquets et semblaient très anxieux du retour du vieil ours.*

*Or, l'idée de harponner des caribous n'a pas été bien reçue par la délégation d'en bas. Ils ont aperçu le canot couché sur la rive du lac, et la souris a été dépêchée pour ronger la pagaie, et, alors qu'elle avait presque*

*accompli sa mission, l'ours est soudainement descendu en courant à la poursuite d'une bande de caribous qui s'était éloignée du rivage lointain. Lorsqu'il est arrivé près de ses proies et qu'il faisait de son mieux, la pagaie s'est soudainement brisée, le canot a chaviré et l'ours est disparu sous l'eau. Puis les animaux, les oiseaux et les poissons remplis de courage ont décroché les ballots, et ils ont découvert qu'ils contenaient le soleil, la lune et les étoiles appartenant à la terre; ils les jetèrent par la trappe pour illuminer le monde et faire fondre la neige qui, à ce moment-là, couvrait la cime des plus grands pins. Mais la descente des cieus ne s'est pas déroulée sans quelques petits accidents. Le castor s'est fendu la queue et le sang a éclaboussé le lynx, de sorte qu'à présent, la queue du castor est plate et le lynx est tacheté; l'original s'aplatit le nez, et de nombreux autres accidents sont survenus, ce qui explique les particularités de divers animaux, et les petits ours descendirent avec le reste des animaux.*

*Et maintenant la neige s'est mise à fondre si rapidement que la terre s'est couverte d'eau, mais les poissons découvrirent pour la première fois qu'ils pouvaient nager, et transportèrent leurs amis qui ne pouvaient pas sur leur dos, tandis que les canards se mirent au travail pour remonter la terre et la sortir de sous l'eau. Mais il était encore difficile de se nourrir, de sorte que le corbeau, qui était alors le plus beau des oiseaux, fut envoyé pour voir s'il pouvait trouver un endroit où la terre était sèche; mais, il rencontra la carcasse d'un caribou, et il s'en régala, bien que le corbeau n'eût jamais mangé autre chose que des baies et les feuilles du saule. Pour cette offense, il a été transformé en l'oiseau hideux que nous connaissons, et depuis ce temps il est méprisé de tout être vivant; même omnivore, l'homme ne mangera de la chair de corbeau que sous la pression de la famine. Le lagopède a ensuite été envoyé et est revenu en portant dans son bec une branche de saule comme message d'espoir; en souvenir de cette bonne action, il devient blanc lorsque la neige commence à tomber sur la terre de la toundra, prévenant ainsi les animaux que l'hiver approche. Mais la vie ancienne s'est estompée et la paix qui régnait parmi tous les êtres vivants fut troublée. Les poissons, au fur et à mesure que l'eau s'est affaïssée, ont constaté qu'ils ne pouvaient plus vivre sur la terre, et les oiseaux ont commencé à parcourir de longues distances en vol. Chaque animal a choisi le pays qui lui convenait le mieux, et l'art de la conversation s'est progressivement perdu. À peu près à cette époque également, d'une manière vague et indéfinie, dont la tradition ne dit pas grand-chose, le premier être humain est apparu sur les rives du Grand lac des Esclaves. (Pike 1892:78-81)*

Pike indique que « King et son fils François étaient les meilleurs linguistes du groupe » et qu'ils étaient en fait deux des « trois ou quatre » seuls Métis qu'il pouvait

comprendre (Jones 2014:40; Pike 1892:26). Pike attribuait parfois à King le mérite d'avoir fourni des noms de lieux, des histoires ou d'autres renseignements, comme lorsqu'il parlait de dormir sans abri et de [traduction] « se trouver couvert d'une couverture de neige supplémentaire (le couvert du bon Dieu, comme l'appelait King) le matin » (Pike 1892:58). Mais son récit est souvent coloré de renseignements précis et détaillés pour lesquels il n'a pas fourni de source. Il est donc possible, et même probable que des connaissances locales très précises sur le climat et l'environnement, présentées dans des passages comme celui ci-dessous, aient été fournies à Pike par Beaulieu :

*Dans l'après-midi, nous nous sommes déplacés tranquillement pour faire la traversée en canot jusqu'à la première d'un groupe d'îles situées à une quinzaine de milles au nord. Cette traversée est la terreur du lac pour les canots, en été en raison de la mer lourde qui monte soudainement, et en hiver lorsque la poudrière des tempêtes obscurcit tout et rend difficile de garder le cap sur la glace. (Pike 1892:25-26)*

Un passage semblable offrait une explication non attribuée du nom d'un endroit qui était un site de camping et de pêche métis stratégiquement situé à l'endroit où ils avaient été confinés par le vent, comme l'écrit Pike (1892), « nous étions de nouveau contraints par le vent et, en fait, pendant plusieurs jours, nous avons fait très peu de progrès contre les vents du nord qui semblent presque incessants à cette époque de l'année » (28).

*Une journée difficile de pagaie nous a conduits à un endroit connu sous le nom de Pêche Inconnue, situé à mi-chemin d'une île à Fond du Lac. L'inconnu, ou le poisson Inconnu, est [...] nommé par les premiers voyageurs de la Compagnie, qui n'ont pas été en mesure de le classer, et encore aujourd'hui, il y a une grande diversité d'opinions quant à la famille dont il fait partie [...] Dans cette île en particulier, il mord à un appât facilement, mais je n'ai jamais entendu dire qu'il le faisait dans une autre partie du lac, même si de nombreux poissons sont pris dans des filets. Il y a une particularité dans l'eau qui peut expliquer cela, car même en plein hiver, il y a généralement un trou ouvert dans la glace; et, en passant près de la pêche à l'inconnu, il faut rester à droite vers la rive pour éviter l'endroit dangereux. (Pike 1892:27-28)*

Le récit de Pike est empreint de cette connaissance contextuelle du climat et de l'environnement, probablement tirée de ses guides métis, mais seulement occasionnellement attribuée à ceux-ci, ce qui donne un

aperçu de la connaissance culturelle métisse existante et en évolution à la fin du XIXe siècle.

### **Transcription des entrevues avec l'Alliance des Métis de North Slave**

Comme il a été mentionné précédemment, une analyse des transcriptions des entrevues menées pour les études précédentes de l'AMNS sur l'utilisation traditionnelle des terres a révélé que les membres de l'AMNS partageaient de vastes connaissances culturelles liées au climat et à l'environnement. Dans de nombreux cas, ces connaissances ont été transmises en passant lorsque les participants ont répondu à des questions sur les activités de récolte, les déplacements et d'autres activités d'utilisation des terres menées tout au long de leur vie. Dans ces cas, et lorsqu'aucune autre question n'était posée pendant l'entrevue pour éclaircir les connaissances partagées, l'analyse de l'équipe de projet comprenait une interprétation limitée afin de tirer au clair les connaissances révélées. Les transcriptions montrent que les membres de l'AMNS possèdent une connaissance approfondie des vents et de l'action des vagues correspondantes sur le Grand lac des Esclaves et le bras nord en particulier. Les participants ont indiqué qu'ils planifiaient les itinéraires de voyage en fonction de leur connaissance des vents et de l'action des vagues dans le bras nord, et qu'ils choisissaient les destinations, le moment et même les modes de transport en fonction de ces connaissances :

*Dans ce secteur-ci, le bras nord, l'eau du lac peut remonter et descendre de quatre pieds selon la direction du vent, et ce n'est que l'occurrence quotidienne. Il y a des gens qui sont entrés, qui ont pris un bateau à moteur dans certaines de ces baies, et le vent a changé de direction, il a commencé à souffler du nord, puis leur bateau s'est échoué sur les vasières. Il faut donc faire attention à l'endroit où on s'arrête [...] Lorsqu'on passe à côté d'Old Fort, tout le bras nord au nord de l'île Old Fort n'a qu'une profondeur d'environ 12 pieds. Il n'y a pas vraiment d'endroits profonds là-bas. Et si vous avez un bon vent du nord qui sort de là pour pousser toute cette eau au-delà de Old Fort Point, il va tout simplement l'aspirer dans toutes ces baies ici. C'est en partie ce qui en fait une si bonne région, ça se vide et se remplit tout le temps [...] À l'automne, il y a vraiment de bons poissons, je ne sais pas, de qualité. Je n'en ai pris que quelques-uns, mais il y a un assez bon volume de corégone qui passe par là, comme aux chutes et aux rapides. (TUS#694, 2015)*

Pour ces raisons liées à la météo, Old Fort Island, à l'ouest du bras nord, est un lieu d'intérêt et une destination de

prédilection pour les voyageurs et les pêcheurs métis :

[À] Old Fort Island, nous avons regardé un peu autour. Il y avait des signes de campement. Certains vont à la chasse à l'original à l'automne. En fait, c'est un assez bon secteur de ce côté-là. Mais vous savez qu'à l'automne, il peut aussi y avoir du vent, alors vous devez avoir un bon bateau pour vous y rendre et en revenir. (TUS#694, 2015)

D'autres participants ont indiqué qu'ils connaissaient les conditions difficiles du vent et de l'eau dans la région lorsqu'ils ont indiqué qu'ils avaient tout simplement évité le bras nord, particulièrement en raison de ces facteurs :

Je n'aime pas voyager dans le bras nord parce que c'est de l'eau dangereuse. C'est vraiment imprévisible, et il y a aussi une marée. Vous savez où se trouve le rocher de guérison de l'ours? Eh bien, à la toute fin, c'est de ce côté de Behchoko, ou du chenal Frank, à quelques kilomètres du bord du lac, l'eau descend à peu près à telle hauteur quand elle est au fond. Je ne pouvais pas le croire non plus. Alors, cela affecte tout le bras nord, et donc au sommet des vagues, et elles peuvent devenir assez grosses là-bas, il y a du sol au fond, et les bateaux ne flottent pas au sol. Il y a donc eu beaucoup d'accidents et des gens n'ont toujours pas été retrouvés à cause de cela. De plus, il y a beaucoup plus de récifs, ce n'est pas aussi profond que de l'autre côté. Donc, et il n'y a pas de truite dans cette région. Il y a le corégone, le brochet, les inconnus, etc., mais il n'y a pas de truite dans cette région. (TUS#817, 2015)

Les participants à l'entrevue ont décrit une pratique consistant à offrir des allumettes ou du tabac aux vagues près de Old Fort Rae. En effet, en démontrant des connaissances sur les changements environnementaux, ils ont indiqué que, parce que les niveaux d'eau dans le bras nord avaient baissé et que l'action des vagues avait diminué, de telles offrandes ont ensuite rendu possible le passage au-delà de points qui, historiquement, nécessitaient de faire du portage près de Old Fort Rae. Les transcriptions des entrevues de l'AMNS suggèrent que la pratique consistant à faire des offrandes pour se protéger des tempêtes et des intempéries et pour assurer des conditions favorables à la sécurité des déplacements, en particulier par bateau, est courante chez la majorité de ses membres :

[Les Métis] laissent toujours quelque chose derrière eux, vous savez, comme une offrande. Oui, même quand vous pêchez, par exemple, ou quand vous sortez en bateau. Par exemple, vous pouvez offrir du tabac à l'eau, pour vous faire voyager en toute sécurité, vous savez. Et demandez aux esprits de vous guider là-bas en toute sécurité et de vous ramener à la maison en toute sécurité [parce que]

vous allez mettre de la nourriture sur votre table et nourrir votre famille et ce genre de choses. Oui, habituellement, vous faites des offrandes, quand vous attrapez quelque chose, vous offrez une partie de cette nourriture au feu parce que le feu est celui qui vous nourrit, qui va vous nourrir. Donc, chaque fois que je sors sur un bateau, je donne toujours du tabac à l'eau, et lorsque je sors et que nous attrapons des canards ou quelque chose du genre, j'en donne au feu [...] C'est comme le rôle que vous jouez dans le grand ordre des choses, comme [...] essayer de respecter la terre. (TUS#5, 2001)

En ce qui concerne les changements climatiques, les répondants ont indiqué qu'ils avaient constaté un réchauffement général des températures de l'eau et du temps, ce qui avait poussé les poissons plus profondément à la recherche d'eau plus froide. Les répondants ont indiqué qu'ils s'étaient adaptés à ce changement en pêchant en eau profonde le même poisson qu'ils pêchaient auparavant en eau peu profonde à la même période de l'année. Ils ont également signalé une diminution des niveaux d'eau dans le Grand lac des Esclaves à partir des années 1970, les niveaux d'eau étant de trois à quatre pieds plus bas qu'auparavant au moment des entrevues. Les personnes interrogées ont signalé que les conditions météorologiques avaient changé considérablement, ce qui a entraîné des hivers plus chauds et plus courts, marqués par moins de neige et plus de vent. Par le passé, les conditions météorologiques saisonnières avaient motivé l'élaboration et la sélection de différentes techniques de pêche métisses, dont certaines, expliquaient les participants, n'étaient plus appliquées en raison des répercussions environnementales associées aux changements climatiques. L'échange suivant entre l'intervieweur et un participant a permis de décrire une technique de pêche traditionnelle des Métis mise au point lorsque « la glace était épaisse » :

Participant : En hiver, à peu près après Noël, la glace est épaisse et froide. Autrefois quatre ou cinq pieds de profondeur, hein. On avait l'habitude de mettre un crochet là et un autre, la longueur du filet, eh. D'en mettre un autre ici, pour que la truite soit attrapée là et là-bas. Puis, elles nageaient ensemble, se retrouvaient prises ensemble. Donc, quand vous tirez sur le filet, vous savez, elles sont ensemble, donc vous mettez une autre ligne dessus, puis vous la tirez là et vous avez une ligne sous la glace, eh. Maintenant, tout ce que vous avez à faire, c'est de mettre votre filet là et de l'installer. (rires) Ils avaient l'habitude de poser un filet de cette façon. C'est ainsi qu'ils procédaient auparavant. Intelligent, non?

Intervieweur : Les Métis faisaient ça?

Participant : Oui, ils avaient l'habitude de faire ça, oui. Bien sûr, la glace était épaisse, alors il suffisait de percer deux trous. Sinon, vous devez faire cinq ou six trous, eh, ça prenait toute la journée pour poser un filet. Vous avez deux trous, eh, une corde et un crochet, puis les truites sont prises ensemble. Ensuite, il faut en sortir un, attacher une corde de l'autre côté et sortir la truite, et la ligne, et la ligne, et attacher un filet dessus, et la remettre à l'eau et le filet est installé.

Intervieweur : Est-ce une façon typique des Métis de poser des filets?

Participant : Oui, c'est comme ça qu'ils faisaient. En fait, papa a une photo ici au nord, lui et Phillipe [...] Ils ont eu une grosse truite. Il faisait froid là-bas, ils sont tous habillés. J'ai vu sa photo là-bas.

Intervieweur : Les Indiens pêchaient aussi comme ça.

Participant : Eh bien, je suppose que les Métis leur ont appris à le faire.

Intervieweur : (rires) Parce que c'est une bonne façon de faire, n'est-ce pas?

Participant : C'est une bonne façon de faire.

Intervieweur : Et surtout lorsque la glace était vraiment, vraiment épaisse?

Participant : Très épaisse, oui [...] mon Dieu, la glace était épaisse. (TUS#52, 2001)

Traditionnellement, les conditions météorologiques saisonnières ont non seulement été un facteur crucial dans la détermination du moment où les espèces disponibles à l'année étaient récoltées, mais elles ont aussi favorisé l'élaboration et l'utilisation de techniques d'entreposage. Les participants à l'entrevue ont partagé leurs connaissances culturelles liées à la sélection et à l'utilisation de peaux d'animaux et de plumes de canard pour confectionner les vêtements chauds et la literie traditionnellement nécessaires pour assurer l'isolation contre le froid prévu des hivers arctiques. Par exemple, ils ont expliqué que la peau de caribou d'hiver a des poils plus longs qui tombent trop facilement, et que les peaux d'été avec leur fourrure plus courte et plus dense sont donc plus propices à la chaleur. Les participants se souviennent également que leurs parents avaient l'habitude de garder les plumes des canards tués à la chasse pour remplir des couvertures,

des oreillers et d'autres literies. Comme le révèlent les transcriptions des entrevues de l'AMNS, les connaissances traditionnelles des Métis contiennent à la fois des connaissances pratiques des schémas météorologiques saisonniers et une conscience d'un changement graduel et constant des températures générales et des conditions connexes. Les répondants à l'entrevue ont laissé entendre qu'avant le milieu du XXe siècle, il y avait relativement moins de feux de forêt dans les Territoires du Nord-Ouest et qu'ils étaient plus souvent causés par l'homme, alors que pendant la seconde moitié du siècle, les incendies étaient plus susceptibles d'être causés par la foudre. Ils ont également signalé des changements dans l'habitat et les mouvements du poisson en raison des températures plus élevées en général et du réchauffement plus tôt dans la saison :

Une chose que j'ai remarquée dans la région de la baie Pauline, c'est qu'au cours des dernières années, il y a eu du temps chaud et la glace disparaît tôt. L'eau se réchauffe beaucoup, alors vous commencez à attraper le brochet dans le Chenal Hearne, ce que vous n'auriez jamais vu auparavant. On les trouve dans les baies peu profondes, peut-être le long de la rivière. Mais nous pêchons la truite dans les eaux profondes, nous en avons attrapé une, nous l'avons remontée et c'était un gros brochet, et nous n'avons jamais vu cela auparavant. Je n'avais jamais vu ça auparavant [...] Je pense que ça s'est tellement réchauffé qu'ils sont capables d'aller là-bas. (TUS#694, 2015)

En se fondant sur leur connaissance des espèces qu'ils récoltent depuis des générations et de leurs habitats de prédilection, les membres de l'AMNS ont également signalé des changements dans la santé, le comportement et la répartition de la faune en raison des températures plus chaudes. Les répondants à l'entrevue ont observé que les habitudes de migration du caribou avaient changé au cours des 20 années qui ont précédé les entrevues, et ils ont indiqué que le caribou était plus gros et que la graisse était répartie plus uniformément sur le dos, les hanches, les ventres et la poitrine des animaux. Dans l'échange suivant, un chasseur métis a décrit la migration des parasites dans le Nord, en raison des hivers plus doux, et des changements dans les habitudes de migration des caribous et dans les sources de nourriture en raison de l'augmentation des feux de forêt :

Participant : Je commence à entendre parler de certains cas, comme des parasites sur le corps de l'original, des tiques, et je l'ai vu, lorsque l'original devient comme avec ces grosses verrues partout. J'ai vu un peu cela.

Intervieweur : *Des tiques, eh, assez loin au nord.*

Participant : *Oui, c'étaient des tiques. Oui, c'est une mauvaise nouvelle si elle se rend jusqu'ici. Tout comme la population d'originaux du Manitoba [...] Elle a vraiment diminué à cause de ces choses, n'est-ce pas? Oui, c'est vraiment dur pour un orignal. Les hivers commencent à être doux et ça devient un vrai problème.*

Intervieweur : *Oui. Donc, voyez-vous un changement dans le nombre d'animaux?*

Participant : *Je pense qu'il y a probablement, semble-t-il, plus d'originaux, même si, compte tenu de mon succès au cours des dernières années, on ne le croirait pas. Mais, oui, je pense que l'observation des autres [...] ils voient plus d'originaux, vous savez. Lorsqu'ils sont en avion ou ailleurs.*

Intervieweur : *Et qu'en est-il du caribou?*

Participant : *Je pense que le caribou est à peu près pareil. Mais, vous savez, la distribution change pratiquement chaque année, parce qu'ils se déplacent dans une région différente. Et je pense, vous savez, que ça commence, avec le schéma des feux que nous avons eus et de tout le reste, ça pourrait présenter des problèmes localement.*

Intervieweur : *Oui, les gens en dépendent.*

Participant : *Oui, nous avons certainement eu des indications pour les troupeaux eux-mêmes. Les feux commencent à brûler tout leur fourrage. (TUS#81, 2001)*

Les membres de l'Alliance des Métis de North Slave ont également signalé que des températures plus chaudes et des changements dans les tendances de précipitations et les conditions du sol entraînaient des changements correspondants dans les petits fruits qu'ils récoltaient traditionnellement :

*J'ai vu un changement dans les petits fruits, oui. Par exemple, nous avons eu du mauvais temps. Sur School Draw, il s'agissait uniquement de développement, de destruction totale de tous ces lits de baies là-bas. Je trouve que les fraises, pas les fraises, mais les framboises que nous connaissions et que nous voyions autour, les baies sont plus petites, et elles sont toujours poussièreuses pour une raison ou une autre, et elles se sont asséchées. Je ne sais pas, c'est probablement à cause de la sécheresse. Trop chaud et sec. Et même les canneberges. L'année dernière, je pensais qu'il y en aurait beaucoup, mais il faisait trop chaud et trop sec. Je n'avais pas de fruits. La première année où j'étais ici, j'avais beaucoup de canneberges,*

*mais la dernière fois, je n'avais rien et cette année, je vais attendre et voir. Même dans le bois, quand je marchais dans le bois, il n'y avait pas de canneberges. Je ne pouvais pas le croire! (TUS#5, 2001)*

Les membres de l'AMNS ont décrit tous ces effets des changements climatiques par opposition aux conditions qu'ils s'attendaient à remplir en fonction de leurs connaissances culturelles. De cette façon, lorsque les Métis expliquent les répercussions, ils révèlent également leur connaissance culturelle des tendances et des attentes de base par rapport auxquelles ils établissent les répercussions, ainsi que les processus de changement des connaissances. Les participants à l'entrevue ont laissé entendre que les changements climatiques et environnementaux observés étaient devenus des facteurs dont ils tenaient compte lorsqu'ils évaluaient les risques et les avantages du développement sur leur territoire traditionnel :

*Vous créez aussi toutes ces sorties pour le gaz, le pétrole et l'essence. Vous créez [des sorties] pour le méthane, ce qui ajoute au gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ce qui n'est pas bon. Et ils disent qu'il y a suffisamment de pétrole et de gaz dans les réserves à l'heure actuelle pour nous amener bien au-delà de l'augmentation de 2 degrés de température, qui est le point critique. Et ils disent que ce qui est dans les réserves est jusqu'à six fois plus que ce qui est nécessaire pour nous amener à cette augmentation de 2 degrés. C'est tout un problème. Voulons-nous contribuer à quelque chose de ce genre? (TUS#694, 2015)*

Les transcriptions de l'AMNS montrent que les connaissances culturelles métisses sur les changements climatiques sont enracinées dans les connaissances appliquées des conditions climatiques et environnementales historiques, y compris les pratiques spéciales liées à ces conditions, ainsi que dans l'observation et l'analyse des écarts récents et continus par rapport aux normes historiques. Les connaissances culturelles des Métis suggèrent qu'en plus de la variabilité des conditions météorologiques et des conditions environnementales correspondantes prévues d'une année à l'autre, les changements climatiques produisent un réchauffement global, avec des répercussions sur la santé, le comportement et la répartition des poissons et des espèces sauvages, et ces changements sont liés aux répercussions sur le cycle saisonnier, les précipitations, les niveaux d'eau et la qualité de la glace.

## Conclusions

La connaissance de l'environnement est au cœur de l'histoire des Métis dans la mesure où elle constitue le

corpus de connaissances acquises par une association étroite avec les pratiques traditionnelles, que les Métis étaient souvent appelés à partager dans leurs rôles fréquents d'intermédiaires. *The Barren Ground of Northern Canada*, de Warburton Pike, offre un aperçu de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle qui montre l'importance des connaissances des Métis en matière de climat et d'environnement, comme l'ont démontré son guide, King Beaulieu et les membres de sa famille. Comme il a été mentionné plus tôt, le récit de Pike sur le parcours du groupe et les décisions prises en cours de route sur le moment, l'endroit et la façon de voyager, de se loger, de récolter de la nourriture et de recueillir des fournitures ont révélé les connaissances culturelles de ses compagnons métis. Il a également enregistré les récits traditionnels de Beaulieu, qui sont ancrés dans les connaissances culturelles du climat et de l'environnement, y compris la sensibilisation aux changements saisonniers et continus dans les deux cas, ainsi que les indications de connaissances métisses possibles concernant les changements climatiques et environnementaux affectant le comportement des animaux.

Les transcriptions des entrevues de l'AMNS sont quelque peu nuancées au sujet des changements climatiques et environnementaux. Elles consignent les connaissances sur les changements continus des conditions météorologiques (c.-à-d. la variabilité des conditions météorologiques et des conditions environnementales correspondantes d'une année à l'autre), ainsi que sur les changements graduels, mais continus des températures et des conditions correspondantes au fil du temps (c.-à-d. le réchauffement global). Selon leurs connaissances des espèces qu'ils récoltent depuis des générations et de leurs habitats de prédilection, les membres de l'AMNS ont signalé des changements dans la santé, le comportement et la répartition de la faune en raison des températures plus chaudes. Ils ont également signalé des changements dans l'habitat et les mouvements du poisson en raison des températures plus élevées en général et du réchauffement plus tôt dans la saison. Ils ont en outre décrit les techniques de pêche traditionnelles des Métis qui ont été mises au point lorsque « la glace était épaisse », mais qui ne pouvaient plus être appliquées en raison des changements environnementaux. Les observations des membres de l'AMNS sur les répercussions des changements climatiques, comme les changements dans la santé, le comportement et la répartition de la faune en raison des températures plus chaudes, ont aussi révélé des connaissances culturelles liées au climat et à l'environnement en comparant ces changements avec la norme établie que leurs connaissances culturelles métisses prévoyaient. En signalant, par exemple, les changements

dans l'habitat et les mouvements du poisson découlant de températures globales plus élevées et du réchauffement des températures plus tôt au cours de la saison, les participants ont aussi indiqué que les connaissances culturelles des Métis sur le climat et les changements climatiques se perfectionnent continuellement. En effet, les connaissances culturelles des membres de l'AMNS sur les changements climatiques sont fondées sur des connaissances appliquées des conditions climatiques et environnementales historiques, y compris des pratiques spéciales liées à ces conditions, ainsi que sur l'observation et l'analyse des écarts récents et continus par rapport aux normes historiques. Ces connaissances culturelles suggèrent qu'en plus de la variabilité des conditions météorologiques et des conditions environnementales correspondantes prévues d'une année à l'autre, les changements climatiques produisent un réchauffement global, entraînant des répercussions sur la santé, le comportement et la répartition des poissons et des espèces sauvages, et ces changements sont liés aux répercussions sur le cycle saisonnier, les niveaux de précipitations, les niveaux d'eau et la qualité de la glace.

## Références

- Barr, S. 2010. Great Britain at Fort Rae, Canada. *In* The history of the international polar years (IPYs). pp. 59–63.
- Bellman, J.L. and Hanks, C.C. 1998. Northern Métis and the fur trade. *In* Picking up the threads: Métis history in the Mackenzie Basin. Métis Heritage Association of the Northwest Territories and Parks Canada—Canadian Heritage. pp. 29–68.
- Bulkeley, Rip. 2010. The first three polar years: A general overview. *In* The history of the international polar years (IPYs). pp. 1–6.
- Downing, A. and Cuerrier, A. 2011. A synthesis of the impacts of climate change on the First Nations and Inuit of Canada. *Indian Journal of Traditional Knowledge* 10:57–70.
- Duerden, F. 2004. Translating climate change impacts at the community level. *Arctic* pp. 204–212.
- Franklin, J. 1828. Narrative of a second expedition to the shores of the Polar Sea in the years 1825, 1826, and 1827.
- Guyot, M., Dickson, C., Paci, C., Furgal, C., and Chan, H.M. 2006. Local observations of climate change and impacts on traditional food security in two northern Aboriginal communities. *International Journal of Circumpolar Health* 65:403–415.

Hanks, C. 1999. Francois Beaulieu II: Son of the last coureurs de bois in the Far Northwest. Historic Sites and Monuments Board of Canada Agenda Paper.

Hanks, C. 2000. Francois Beaulieu II: The origins of the Métis in the Far Northwest. Prepared for Rupert's Land Colloquium 2000, Centre for Rupert's Land Studies, University of Winnipeg.

Hayden, S. 2008. Final report on the 2008 Old Fort Rae landscape archeology project. Prepared for the North Slave Métis Alliance.

Hayden, S. 2010. One land, many people: Archeology, agency, and landscape at Old Fort Rae, Northwest Territories.

Hinzman, L.D., Bettez, N.D., Bolton, W.R., Chapin, F.S., Dyrgerov, M.B., Fastie, C.L., Griffith, B., Hollister, R.D., Hope, A., Huntington, H. P., Jensen, A.M., Jia, G.J., Jorgenson, T., Kane, D.L., Klein, D.R., Kofinas, G., Lynch, A.H., Lloyd, A.H., McGuire, A.D., Nelson, F.E., Oechel, W.C., Osterkamp, T.E., Racine, C.H., Romanovsky, V.E., Stone, R.S., Stow, D.A., Sturm, M., Tweedie, C.E., Vourlitis, G.L., Walker, M.D., Walker, D.A., Webber, P.J., Welker, J.M., Winker, K.S., and Yoshikawa, K. 2005. Evidence and implications of recent climate change in northern Alaska and other Arctic regions. *Climatic Change* 72:251–298.

Hopper, J. F. 1985. Early meteorological observations at Fort Enterprise, Northwest Territories, Canada. *Polar Record* 22:684–688.

Houston, C. 2014. Arctic ordeal: The journal of John Richardson, surgeon-naturalist with Franklin, 1820–1822.

Hudson's Bay Company Archives, Archives of Manitoba, Government of Manitoba. Available from <http://www.gov.mb.ca/chc/archives/hbca/index.html>.

Johnson, L. 1975. The Great Bear Lake: Its place in history. *Arctic* 28:231–244.

Jones, G.C.D. 2005. Historical profile of the Great Slave Lake area's mixed European-Indian ancestry community. Prepared for Justice Canada.

Jones, G.C.D. 2014. Research report, phase I and II: Historic Métis populations north of Great Slave Lake. Prepared for North Slave Métis Alliance.

McCormack, P.A. 2011. The ethnogenesis of the northern Métis of the Great Slave Lake area. Prepared for North Slave Métis Alliance.

Meteorological Council of Great Britain. 1879. Contributions to our knowledge of the meteorology of the Arctic regions. Her Majesty's Stationery Office.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Arctic Research Office. Daily mean surface air temperature and sea-level pressure, Fort Rae, the first International Polar Year 1882–1883. NOAA, University of Washington. Available from <http://www.arctic.noaa.gov/aro/ipy-1/Data-S8.htm>.

North Slave Métis Alliance. 2013. Traditional knowledge and land use report: A study for De Beers Canada Inc. proposed Gahcho Kué project.

Northwest Territories Environment and Natural Resources. 2008. NWT climate change and adaptation report.

Pike, W. 1892. The barren ground of northern Canada.

Province of Manitoba. 2015. Spotlight: HBC in words and images. Hudson's Bay Company Archives. Available from [http://www.gov.mb.ca/chc/archives/hbca/spotlight/knights\\_tale.html](http://www.gov.mb.ca/chc/archives/hbca/spotlight/knights_tale.html).

Przybylak, R. and Vizi, Z. 2005. Air temperature changes in the Canadian Arctic from the early instrumental period to modern times. *International Journal of Climatology* 25:1507–1522.

Riedlinger, D. and Berkes, F. 2001. Contributions of traditional knowledge to understanding climate change in the Canadian Arctic. *Polar Record* 37:315–328.

Stevenson, M. 2000. Old Fort Rae's "Old Fort": An early Métis settlement on Great Slave Lake, preliminary excavations.

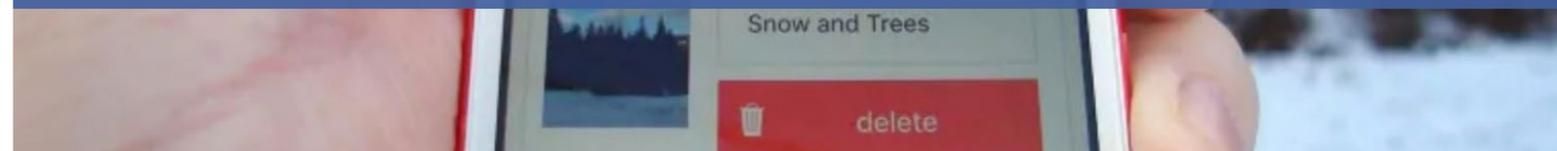
Stevenson, M. 2001. The North Slave Métis land use report (Draft). Prepared for North Slave Métis Alliance.

Tam, B.Y., Gough, W.A., Edwards, V., and Tsuji, L.J. 2013. The impact of climate change on the lifestyle and well-being of a First Nation community in the western James Bay region. *Canadian Geographer* 57:441–456.

Thomson, A. 1948. The growth of meteorological knowledge of the Canadian Arctic. *Arctic* 1:34–43.

Wood, K. and Overland, J.E. 2006. Climate lessons from the first International Polar Year. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 87.

## UN PROFIL DU PROGRAMME DE SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA SANTÉ ENUK



**Amy Kipp<sup>1\*</sup>, Ashlee Cunsolo<sup>2</sup>, Daniel Gillis<sup>3</sup>, Alexandra Sawatzky<sup>1</sup>, Oliver Cook<sup>3</sup>, Nic Durish<sup>3</sup>, Inez Shiwak<sup>4</sup>, Charlie Flowers<sup>4</sup>, Rigolet Inuit Community Government<sup>4</sup>, Marilyn Wood<sup>5</sup>, and Sherilee L. Harper<sup>1,6</sup>**

<sup>1</sup> Département de la médecine démographique, Université de Guelph, Guelph, Ontario, Canada

<sup>2</sup> Département d'informatique, Université de Guelph, Guelph, Ontario, Canada

<sup>3</sup> Institut du Labrador, Université Memorial, Happy Valley-Goose Bay, Terre-Neuve et Labrador, Canada

<sup>4</sup> The Rigolet Inuit Community Government, Rigolet, Terre-Neuve-et-Labrador, Canada

<sup>5</sup> Ministère de la Santé et du Développement social, gouvernement du Nunatsiavut, Happy Valley-Goose Bay, Terre-Neuve et Labrador, Canada

<sup>6</sup> École de santé publique, Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta, Canada

\* [akipp@uoguelph.ca](mailto:akipp@uoguelph.ca)

**Le programme de surveillance de l'environnement et de la santé (eNuk) est dirigé par des chercheurs inuits de Rigolet, au Nunatsiavut, au Labrador, en partenariat avec des chercheurs de l'Université de Guelph, de l'Institut du Labrador de l'Université Memorial, de l'Université de l'Alberta et du ministère de la Santé et du Développement social du Nunatsiavut. La zone à l'étude comprend la zone située dans la collectivité de Rigolet et ses environs, dans la zone de règlements des Inuits du Labrador, connue sous le nom de Nunatsiavut.**

### Résumé

Les répercussions des changements climatiques dans le Nord canadien présentent des défis importants pour la santé humaine et l'environnement, et bon nombre des répercussions les plus graves sont ressenties chez les peuples autochtones, comme les Inuits du Nord du Labrador. Bien que la recherche ait établi des liens entre les changements climatiques et environnementaux et les résultats pour la santé humaine, la détection de ces résultats et la réponse à ceux-ci constituent un défi important. Des systèmes de surveillance complets, intégrés, durables et appropriés à l'échelle locale ont été identifiés comme une stratégie possible pour relever ce défi complexe. Dans cet article, nous présentons un exemple de ce type de surveillance, le programme eNuk, qui est un programme participatif de surveillance de l'environnement et de la santé dirigé par les Inuits à Rigolet, au Nunatsiavut, au Labrador. Une partie intégrante

Citation suggérée :

Kipp, A., Cunsolo, A., Gillis, D., Sawatzky, A., Cook, O., Durish, N., Shiwak, I., Flowers, C., Rigolet Inuit Community Government, Wood, M., et Harper, S.L. 2018. « Profil du programme de surveillance de l'environnement et de la santé eNuk », *Savoir polaire : Aqhaliat* 2018, *Savoir polaire Canada*, p. 117-125. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.14

à l'échelle locale dans la région et fournir des outils de gestion aux décideurs et aux collectivités qui sont fondés sur les valeurs, les connaissances et la science inuites.

## Introduction

Les répercussions des changements climatiques dans le Nord canadien présentent des défis importants pour la santé humaine et l'environnement, et la plupart des répercussions les plus graves sont ressenties chez les peuples autochtones, partout dans l'Inuit Nunangat (Cunsolo Willox et coll. 2013; Furgal et Seguin 2006). La recherche a révélé de nombreuses associations négatives entre les changements climatiques et environnementaux et les résultats pour la santé humaine, y compris la morbidité et la mortalité attribuables à la hausse des températures et aux phénomènes météorologiques extrêmes (Ford et coll. 2006; Furgal et Seguin 2006; Pearce et coll. 2010); la diminution de la sécurité des aliments et de l'eau (Goldhar, Bell et Wolf 2014; Harper et coll. 2015a, 2015b; Organ et coll. 2014); l'incidence accrue de maladies d'origine alimentaire, hydrique et vectorielle (Harper et coll. 2011, 2015a, 2015 b; Martin et coll. 2007); et les répercussions sur la santé mentale et le bien-être attribuables au déplacement de personnes, à la perte de moyens de subsistance et d'identité culturelle, et à l'évolution des relations avec la terre et les lieux naturels importants sur le plan culturel (Cunsolo Willox et coll. 2012, 2013a, 2013 b, 2015). Il est très difficile de détecter ces résultats et d'y réagir pour soutenir la santé humaine.

Afin de surveiller ces changements dans la santé et l'environnement des Inuits et d'y réagir, des représentants du gouvernement, des professionnels de la santé et des universitaires réclament des programmes de surveillance complets, intégrés, durables et appropriés à l'échelle locale (Jay et Marmot 2009; Haines et coll. 2006; Ford 2012). Pour répondre à cette demande, une équipe de chercheurs inuits et non inuits a travaillé avec la collectivité inuite de Rigolet, au Nunatsiavut (figure 1) pour conceptualiser, élaborer et mettre en œuvre le programme eNuk (Harper et coll. 2016; Sawatzky et coll. 2017a). Le programme eNuk est un programme de surveillance participative de l'environnement et de la santé dirigé par les Inuits, qui vise à appuyer les efforts des Inuits pour suivre, à analyser et à réagir aux répercussions des changements climatiques sur l'environnement et la santé à Rigolet (Harper et coll. 2016; Sawatzky et coll. 2017a). Le programme consiste à appuyer et à accroître la capacité de recherche existante dans la collectivité, ainsi qu'à élaborer des outils de surveillance

novateurs. Une composante fondamentale du programme eNuk est l'application mobile eNuk (application eNuk), un outil qui permettra aux membres de la collectivité, pendant qu'ils sont dans la collectivité et sur le territoire, d'enregistrer et de partager leurs observations sur les indicateurs de l'environnement et de la santé associés aux changements climatiques au moyen d'une variété de produits multimédias (Harper et coll. 2016; Sawatzky et coll. 2017a, 2017b).

Le programme eNuk a été mis au point selon une méthode de recherche axée sur la conception participative et dirigée par la collectivité, ce qui comprend la collaboration avec les responsables de la recherche communautaire à Rigolet, l'administration communautaire inuite de Rigolet, le ministère de la Santé et du Développement social du Nunatsiavut et des chercheurs universitaires de l'Université de Guelph, de l'Institut du Labrador de l'Université Memorial<sup>1</sup> et de l'Université de l'Alberta (Harper et coll. 2016; Sawatzky et coll. 2017a, 2017b). Ce document présente un résumé du programme eNuk, détaillant les méthodes utilisées pour créer et développer conjointement le programme de surveillance et l'application eNuk plus précisément (fig. 2), ainsi que pour cibler les thèmes émergents. Cette recherche met en évidence la nécessité 1) d'une surveillance intégrée de l'environnement et de la santé et 2) de la participation de la collectivité à tous les aspects des programmes de surveillance. De plus, ce document explicatif met l'accent sur les avantages potentiels d'une telle surveillance quant aux stratégies d'adaptation des collectivités et des régions et pour ce qui est de la prise de décisions stratégiques face à l'évolution rapide des conditions climatiques dans le Nord.

## Conceptualiser le programme eNuk

Depuis une décennie, la communauté de Rigolet, au Nunatsiavut (population 305; 95 % s'identifiant comme Inuits) est un chef de file de la recherche sur les changements climatiques et la santé dans le Nord. Les recherches portent sur les répercussions des changements climatiques sur la sécurité alimentaire (Harper et coll. 2015C; Cunsolo Willox, 2013b), l'incidence des maladies d'origine hydrique et des maladies gastro-intestinales aiguës (Harper et coll. 2011, 2015a, 2015 b; Wright et coll. 2017), la santé mentale (Cunsolo Willox 2012, 2013a, 2013b) et la continuité culturelle (Cunsolo et coll. 2017; Petrsek MacDonald et coll. 2013a, 2013b). Rigolet a activement dirigé et lancé des

<sup>1</sup> Le Labrador Institute est une division de l'Université Memorial.

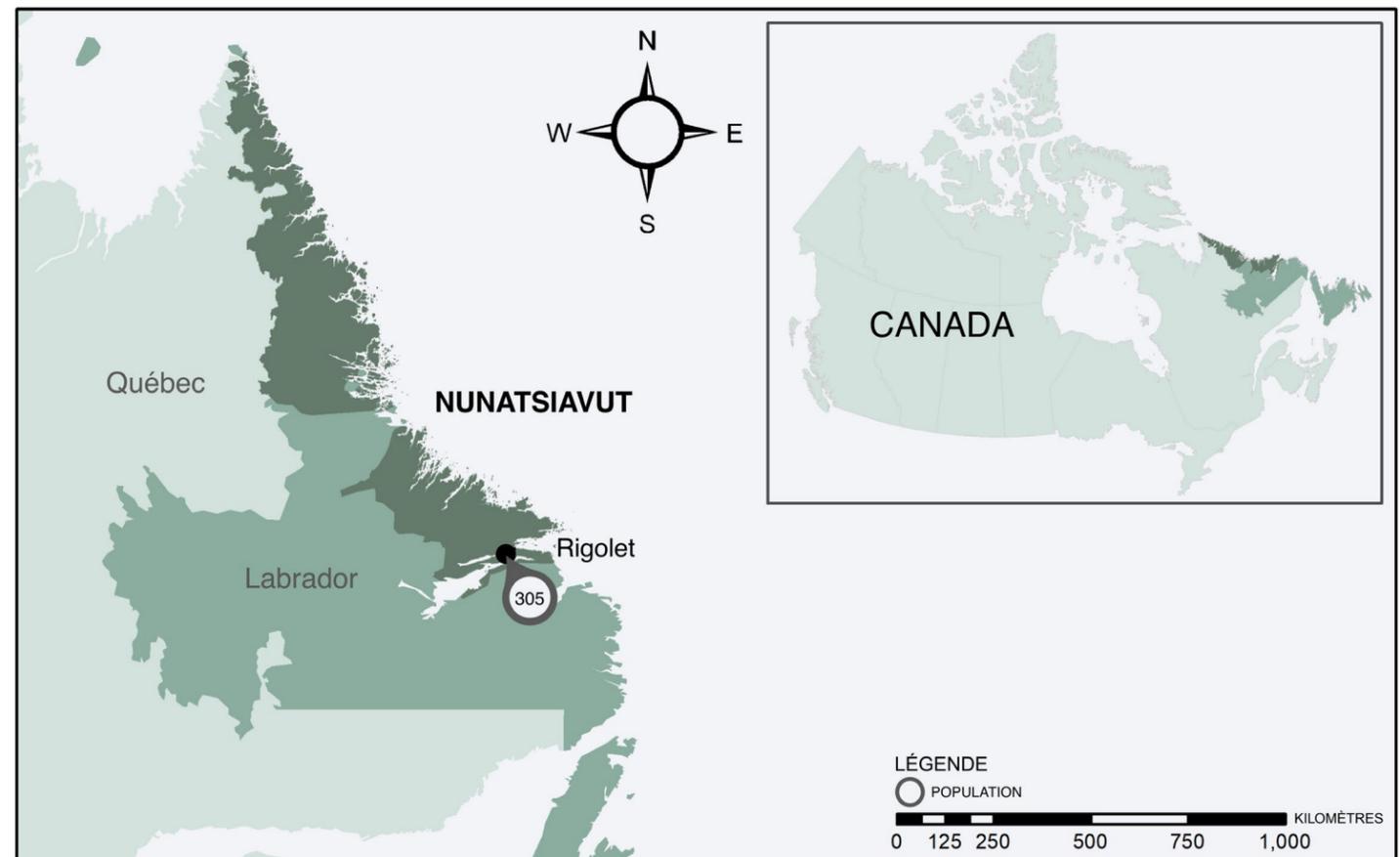


Figure 1 : Carte du Nunatsiavut, indiquant l'emplacement et la population de Rigolet.

recherches pour comprendre comment le réchauffement des températures, les changements climatiques, la diminution de la couverture et de l'étendue de la glace et le changement des modèles végétaux et animaux ont une incidence de différentes façons sur la santé des Inuits. Au-delà de l'importance et de l'utilité de cette recherche pour soutenir la santé des Inuits, il a été déterminé que, pour fournir des renseignements plus opportuns et utilisables, la recherche sur les changements climatiques et la santé dans la collectivité devait passer de la documentation à l'intervention.

En 2013, le concept initial du programme eNuk est né de discussions avec divers membres du gouvernement de la collectivité inuite de Rigolet, le ministère de la Santé et du Développement social du Nunatsiavut et des chercheurs de différents établissements universitaires sur la façon de surveiller les répercussions des changements climatiques sur l'environnement et la santé et comment y réagir. Aux fins de ces discussions initiales, l'équipe a préparé des demandes de subvention afin de financer la conception d'un programme de surveillance axée sur la collectivité, dont une application pour les Inuits visant à améliorer la surveillance des changements sur les terres, des eaux, du

climat, des végétaux et des animaux (p. ex., les changements d'épaisseur de la glace, les températures plus chaudes, l'augmentation de la prévalence d'événements climatiques extrêmes, de changements de la présence et de la condition de la flore et de la faune), et des répercussions sur la santé physique, mentale, émotive et spirituelle et le bien-être en général (p. ex., des sentiments d'anxiété associés aux schémas climatiques imprévisibles, des blessures causées par de la glace plus mince que la normale de saison).

Pour commencer la phase de conception du programme eNuk, en fonction des points de vue des Inuits sur la surveillance de l'environnement et de la santé, et pour situer ce travail dans les activités existantes liées à la surveillance intégrée et communautaire dans le Nord, plusieurs méthodes ont été utilisées afin de mobiliser les gens, d'obtenir des commentaires, de comprendre les besoins et les priorités, et de soutenir/d'améliorer la capacité locale de recherche; nous donnons ici des exemples de ces activités.

À partir de 2015, 31 entrevues ont été menées auprès de personnes de Rigolet et de Happy Valley – Goose Bay

## CONCEPTION DU PROGRAMME ENUK



## DÉVELOPPEMENT DE L'APPLICATION ENUK

Figure 2 : Méthodes utilisées pour concevoir le programme eNuk et développer l'application eNuk, 2014-2018.

(Labrador) et des environs, et auprès de membres de la collectivité (n=13) de représentants des administrations locales et régionales (n=14) et de professionnels de la santé (n=4), et plusieurs discussions de groupe ont eu lieu. Les questions ouvertes portaient sur les conditions environnementales et sanitaires qu'il était important de surveiller à Rigolet, les raisons pour lesquelles il était important de le faire et la façon dont la surveillance devrait être effectuée, appuyant ainsi le maintien de la direction et des conseils des Inuits.

Afin de situer le programme eNuk dans les documents de recherche plus généraux sur la surveillance intégrée de l'environnement et de la santé dans le Nord circumpolaire, on a procédé à un examen méthodique et réaliste. Les bases de données MEDLINE® et Web of ScienceMC ont été consultées méthodiquement pour y trouver des articles pertinents. À la suite d'une méthode réaliste, des questions ont été posées sur comment, pourquoi et dans quels contextes les systèmes de surveillance intégrés ont été abordés (Pawson et coll. 2005; Braun et Clarke 2006). Les composantes clés des systèmes intégrés de surveillance de l'environnement et de la santé ont alors été déterminées et décrites.

Une analyse de l'environnement (Arksey et coll. 2005; Mew et coll. 2017; Pham et coll. 2014) des programmes de surveillance communautaire dans le Nord circumpolaire a été réalisée afin de mieux situer le programme eNuk parmi les programmes de surveillance déjà en cours. Plusieurs méthodes, y compris la consultation universitaire, la participation à deux ateliers sur la surveillance participative communautaire dans le Nord, la recherche de documents parallèles et examinés par des pairs, et la recherche dans une base de données en ligne sur les programmes de surveillance,<sup>2</sup> ont été utilisées afin de déterminer les

initiatives en collaboration avec les collectivités autochtones et à l'aide de technologies Web (p. ex., applications pour téléphones intelligents ou bases de données Web). Les renseignements sur ces programmes ont été organisés en fonction des caractéristiques du programme et des indicateurs surveillés.

### Développement de l'application eNuk

En vue d'assurer que l'application eNuk a été conçue pour répondre aux besoins de la collectivité et qu'elle était à la fois utile et opportune, une approche de conception participative a été au cœur de son développement.<sup>3</sup> Cette approche, qui a utilisé diverses méthodes, a permis aux membres de la collectivité et à l'équipe de recherche de développer et de concevoir conjointement des caractéristiques et des fonctionnalités d'application (Sanoff, 2008; Simonsen et coll. 2012; Racadio et coll. 2014).

En octobre 2015 et en février 2016, une série d'entrevues approfondies sous forme de conversations semi-structurées ont été menées auprès des membres de la collectivité afin d'évaluer les ressources technologiques disponibles à Rigolet, de déterminer les composantes techniques que les membres de la collectivité souhaitaient voir intégrées à l'application et de déterminer qui aimerait jouer un rôle actif dans la conception et l'évaluation de l'application. De plus, tout au long du processus de conception de l'application, une série de huit journées portes ouvertes très fréquentées ont eu lieu entre 2015 et 2017 afin d'encourager le partage d'idées, la participation et la mobilisation de la collectivité.

Par exemple, plusieurs activités interactives à chaque journée portes ouvertes ont permis aux membres de la collectivité de contribuer à la conception conjointe de l'application eNuk grâce à des activités comme la cartographie participative, le prototypage sur papier de l'interface de l'application et

<sup>3</sup> Pour plus de renseignements sur la conception participative, voir Sanoff 2008; Simonsen et coll. 2012; et Racadio et coll. 2014.

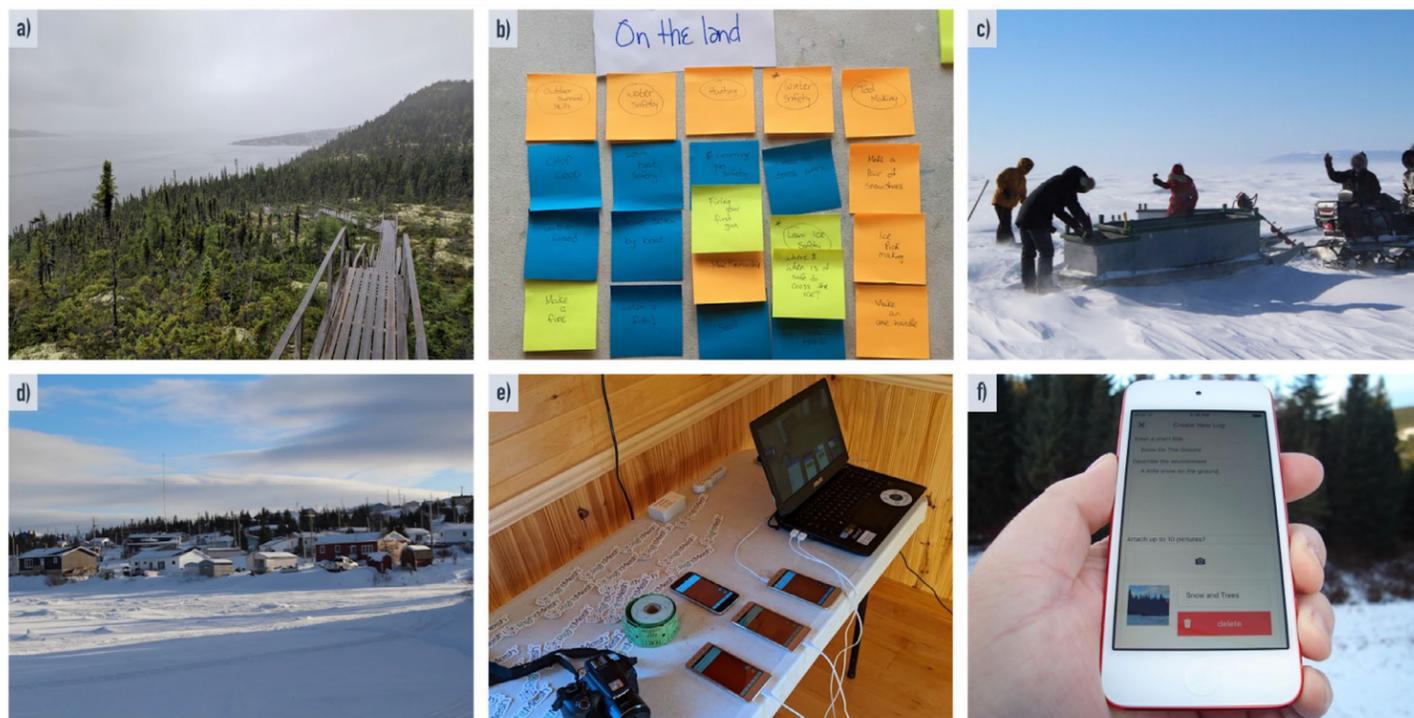


Figure 3 : Images de Rigolet et des différentes étapes du programme eNuk : (a) une vue de la promenade de Rigolet vers les principaux sites historiques et archéologiques de la région, (b) la méthode de bloc-notes participative utilisée lors de la consultation des membres de la collectivité au sujet de la conception de l'application, (c) l'équipe de recherche eNuk mettant à l'essai l'équipement technique en compagnie de partenaires de la collectivité à English River à une température de -40 °C, (d) un aperçu de maisons dans la collectivité de Rigolet pendant l'hiver, (e) un kiosque de l'application eNuk lors d'un événement portes ouvertes dans la collectivité, (f) la version pilote de l'application eNuk.

le classement des priorités. Plusieurs ateliers en classe ont été organisés à l'Académie Northern Lights afin de solliciter davantage la participation des jeunes à l'élaboration conjointe de l'application (Robertson et Simonsen 2018).

En 2016, un prototype de l'application eNuk a été réalisé, et mis à l'essai dans cinq ménages de Rigolet. Les ménages pilotes avaient été sélectionnés par les responsables de la recherche communautaire et reflétaient une diversité de genre, d'âge, de moyens de subsistance et d'expérience de la terre. Grâce à la technologie et aux responsables communautaires, l'évaluation du prototype fut continue, et les expériences de ces utilisateurs pilotes ont contribué à une version mise à jour de l'application eNuk, qui sera disponible à l'été 2018.

Au moment où cet article a été rédigé (mars 2018), une autre série d'entrevues semi-structurées étaient effectuées par des responsables de la recherche communautaire (n=8). Ces entrevues ont été conçues pour donner aux Inuits de Rigolet l'occasion de déterminer et de décrire des indicateurs précis de l'environnement et de la santé qui devraient être surveillés par l'application eNuk (p. ex., indicateurs liés à la glace, à la neige, à la pluie, au vent, à la marée, à la

température, à la faune, à la végétation, à l'eau potable et au bien-être mental) et afin d'expliquer la meilleure façon dont l'application pourrait saisir les données liées à ces indicateurs. L'analyse initiale des entrevues a révélé que les Inuits décrivaient l'information environnementale utilisée pour la prise de décisions sur le territoire et dans la collectivité, les sources et le partage de cette information environnementale, ainsi que les liens entre les changements dans certaines conditions environnementales et la santé de la collectivité. Les commentaires des Inuits découlant de ces entrevues contribueront à l'élaboration de mises à jour de l'application.

### Surveillance intégrée de l'environnement et de la santé

Pendant le programme eNuk et l'élaboration conjointe d'applications, plusieurs thèmes sont ressortis. Grâce aux entrevues semi-structurées, divers indicateurs précis de l'environnement et de la santé ont été catégorisés par les Inuits, y compris les conditions en eau douce; les conditions de la glace de mer et des sentiers; les tendances des plantes, des animaux et de la faune; l'évolution des conditions météorologiques, de la température et du

climat; et une augmentation de l'anxiété et de la dépression chez les membres de la collectivité (Sawatzky et coll. 2017a). Au-delà de ces indicateurs, les Inuits ont discuté des priorités de la collectivité pour le programme eNuk, y compris de la promotion de la gérance de l'environnement, du savoir culturel et de la prise de décisions fondées sur des données probantes (Sawatzky et coll. 2017a). Ces priorités mettent en évidence l'importance des terres pour la conceptualisation inuite du bien-être et la nécessité d'élaborer le programme eNuk de façon holistique, orientée par les méthodes de connaissance inuites (Harper et coll. 2016; Sawatzky et coll. 2017a). Une approche intégrée d'un programme de surveillance de l'environnement et de la santé est donc conforme à la compréhension qu'ont les Inuits des répercussions des changements climatiques sur la santé à Rigolet (Sawatzky, et coll. 2017 b).

De plus, nous avons constaté que pour réagir aux changements environnementaux, les programmes doivent tenir compte de nombreuses sources d'information, de facteurs de stress multiples, d'une vaste couverture géographique et de différents systèmes de connaissances (Sawatzky et coll. 2017c). L'importance de la technologie de conception collective et de développement collectif est également devenue de plus en plus évidente. La surveillance menée et conçue par la collectivité permet de répondre à ses besoins et de recueillir des données fiables et authentiques sur l'environnement et la santé qui peuvent éclairer la recherche, les politiques, la planification et la prise de décisions (Sawatzky et coll. 2017c).

## L'importance de la recherche et de la conception participatives et dirigées par la collectivité

Une approche communautaire utilisée tout au long du programme eNuk, y compris l'élaboration conjointe de l'application, a fait en sorte que les connaissances, les valeurs et l'expertise inuites soient prises en compte dans le programme de surveillance. En effet, grâce aux méthodes participatives décrites dans le présent document, le programme eNuk a été et continue d'être développé de manière pertinente et utile sur le plan culturel pour les membres de la collectivité (Sawatzky et coll. 2017a, 2017b).

## Conclusion

Grâce à la recherche menée par la collectivité et à la conception conjointe participative, le programme eNuk facilite la surveillance intégrée et appropriée de l'environnement et de la santé à l'échelle locale. Le processus de conceptualisation et d'élaboration conjointe du programme eNuk a mis en évidence plusieurs leçons possibles pour les chercheurs ainsi que pour les responsables des politiques et les décideurs du Nord du Canada, notamment :

- l'importance des programmes dirigés et conçus conjointement par les Inuits;
- le pouvoir d'utiliser des indicateurs identifiés par les Inuits et d'intégrer les conceptions autochtones du mieux-être dans les programmes de surveillance;
- le besoin de programmes de surveillance intégrés adaptés au contexte et adaptés à la culture;
- l'utilité d'une technologie novatrice (p. ex., applications) conçue par et pour les Inuits comme outil de surveillance des programmes.

Le programme eNuk est un exemple de système de surveillance dirigé par les Inuits qui pourrait éclairer les programmes locaux appropriés à Rigolet, ainsi que dans la région, en fournissant des outils de gestion aux décideurs et aux collectivités qui sont ancrés dans les valeurs, les connaissances et la science inuites et qui sont orientés par celles-ci. Ce type de programme de surveillance peut renforcer la résilience aux changements environnementaux tout en orientant les interventions futures en matière d'adaptation dans la région et dans le Nord.

## Préoccupations pour la collectivité

Le programme eNuk repose sur la participation et le leadership de la collectivité. Grâce à l'application eNuk, les membres de la collectivité de Rigolet, au Nunatsiavut, seront en mesure de surveiller les répercussions des changements climatiques sur la santé et l'environnement dans leur collectivité et autour de celle-ci, et pourront ainsi promouvoir la collecte et l'échange d'information importante sur la collectivité. De cette façon, le programme eNuk appuie l'adaptation des collectivités aux changements environnementaux.

## Remerciements

Cette recherche se déroule sur les terres ancestrales et actuelles des Inuits de la zone visée par l'entente avec les Inuits du Labrador, connue sous le nom de Nunatsiavut. L'équipe de recherche d'eNuk tient à remercier la collectivité de Rigolet pour son leadership et ses connaissances inestimables sur le projet, ainsi que Savoir polaire Canada, l'Autorité canadienne pour les enregistrements Internet, les Instituts de recherche en santé du Canada et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada pour leur soutien financier. L'équipe tient à remercier tout particulièrement Charlotte Wolfrey, de Rigolet, pour ses premières visions du programme eNuk et pour ses conseils, sa sagesse et son soutien continu.

## Références

- Arksey, H. and O'Malley, L. 2005. Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology* 8:19–32.
- Bano, M. and Zowghi, D. 2013. User involvement in software development and system success: A systematic literature review. *In Proceedings of the 17th International Conference on Evaluation Assessment in Software Engineering (EASE 2013)*. pp. 125–130.
- Björgvinsson, E., Ehn, P., and Hillgren, P. 2012. Design things and design thinking: Contemporary participatory design challenges. *Design Issues* 28:101–116.
- Braun, V. and Clarke, V. 2006. Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology* 3:77–101.
- Cunsolo Willox, A., Harper, S.L., Edge, V.L., Landman, K., Houle, K., Ford, J.D., and Rigolet Inuit Community Government. 2013a. The land enriches the soul: On climatic and environmental change, affect, and emotional health and well-being in Rigolet, Nunatsiavut, Canada. *Emotion, Space, and Society* 6:14–24.
- Cunsolo Willox, A., Harper, S.L., Ford, J.D., Edge, V.L., Landman, K., Houle, K., Blake, S., and Wolfrey, C. 2013b. Climate change and mental health: An exploratory case study from Rigolet, Nunatsiavut, Canada. *Climatic Change* 121:255–270.

Cunsolo Willox, A., Harper, S.L., Ford, J.D., Landman, K., Houle, K., Edge, V.L., and Rigolet Inuit Community Government. 2012. "From this place and of this place": Climate change, sense of place, and health in Nunatsiavut, Canada. *Social Science & Medicine* 75:538–547.

Cunsolo, A., Shiwak, I., Wood, M., and IlikKuset-Ilingannet team. 2017. "You need to be a well-rounded cultural person": Youth mentorship programs for cultural preservation, promotion, and sustainability in the Nunatsiavut region of Labrador. *In Northern sustainabilities: Understanding and addressing change in the circumpolar world*. Springer, Cham. pp. 285–303.

Cunsolo Willox, A., Stephenson, E., Allen, J., Bourque, F., Drossos, A., Elgaroy, S., Kral, M., Mauro, I., Moses, J., Pearce, T., Petrasek MacDonald, J., and Wexler, L. 2015. Examining relationships between climate change and mental health in the Circumpolar North. *Regional Environmental Change* 15:169–182.

Ford, J.D., Smith, B., and Wandel, J. 2006. Vulnerability to climate change in the Arctic: A case study from Arctic Bay, Canada. *Global Environmental Change* 16:145–160.

Ford, J.D. 2012. Indigenous health and climate change. *American Journal of Public Health* 102:1260–1266.

Furgal, C. and Seguin, J. 2006. Climate change, health, and vulnerability in Canadian northern Aboriginal communities. *Environmental Health Perspectives* 114:1964–1970.

Gearheard, S., Aporta, C., Aipellee, G., and O'Keefe, K. 2011. The Igliniit project: Inuit hunters document life on the trail to map and monitor Arctic change. *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien* 55:42–55.

Goldhar, C., Bell, T., and Wolf, J. 2014. Vulnerability to freshwater changes in the Inuit Settlement Region of Nunatsiavut, Labrador: A case study from Rigolet. *Arctic* 67:71–83.

Haines, A., Kovats, R.S., Campbell-Lendrum, D., and Corvalan, C. 2006. Climate change and human health: Impacts, vulnerability, and public health. *Public Health* 120:585–596.

Harper, S.L., Cunsolo, A., Shiwak, J., Shiwak, I., Flowers, C., Wood, M., Gillis, D., Ford, J., Furgal, S., Sawatzky, A., and Cook, O. 2016. Implementing a community-driven environment and health surveillance program with Inuit in Rigolet, Nunatsiavut. Open Access Government.

Harper, S.L., Edge, V.L., Ford, J., Thomas, M.K., IHACC Research Group, Rigolet Inuit Community Government, and McEwen, S.A. 2015a. Lived experience of acute gastrointestinal illness in Rigolet, Nunatsiavut: "Just suffer through it." *Social Science & Medicine* 126:86–98.

Harper, S.L., Edge, V.L., Ford, J., Thomas, M.K., Pearl, D.L., Shirley, J., IHACC Research Group, Rigolet Inuit Community Government, and McEwen, S.A. 2015b. Acute gastrointestinal illness in two Inuit communities: Burden of illness in Rigolet and Iqaluit, Canada. *Epidemiology & Infection* 143:3048–3063.

Harper, S.L., Edge, V.L., Ford, J., Willox, A.C., Wood, M., IHACC Research Group, Rigolet Inuit Community Government, and McEwen, S.A. 2015c. Climate-sensitive health priorities in Nunatsiavut, Canada. *BMC Public Health* 15:605.

Harper, S.L., Edge, V.L., Schuster-Wallace, C.J., Berke, O., and McEwen, S.A. 2011. Weather, water quality, and infectious gastrointestinal illness in two Inuit communities in Nunatsiavut, Canada: Potential implications for climate change. *EcoHealth* 8:93–108.

Jay, M. and Marmot, M. 2009. Health and climate change. *British Medical Journal* 339:645–646.

Martin, D., Bélanger, D., Gosselin, P., Brazeau, J., Furgal, C., and Déry, S. 2007. Drinking water and potential threats to human health in Nunavik: Adaptation strategies under climate change conditions. *Arctic* 60:195–202.

Mew, E.J., Ritchie, S.D., VanderBurgh, D., Beardy, J.L., Gordon, J., Fortune, M., Mamakwa, S., and Orkin A.M. 2017. An environmental scan of emergency response systems and services in remote First Nations communities in Northern Ontario. *International Journal of Circumpolar Health* 76:132–208.

Organ, J., Castleden, H., Furgal, C., Sheldon, T., and Hart, C. 2014. Contemporary programs in support of traditional ways: Inuit perspectives on community freezers as a mechanism to alleviate pressures of wild food access in Nain, Nunatsiavut. *Health and Place* 30:251–259.

Pals, N., Steen, M., Langley, D., and Kort, J. 2008. Three approaches to take the user perspective into account during new product design. *International Journal of Innovation Management* 12:275–294.

Pawson, R., Greenhalgh, T., Harvey, G., and Walshe, K. 2005. Realist review: A new method of systematic review designed for complex policy interventions. *Journal of Health Services Research & Policy* 10:21–34.

Pearce, T., Smit, B., Dierden, F., Ford, J., Goose, A., and Kataoyak, F. 2010. Inuit vulnerability and adaptive capacity to climate change in Ulukhaktik, Northwest Territories, Canada. *Polar Record* 46:157–177.

Petrasek MacDonald, J., Harper, S.L., Willox, A.C., Edge, V.L., and Rigolet Inuit Community Government. 2013a. A necessary voice: Climate change and lived experiences of youth in Rigolet, Nunatsiavut, Canada. *Global Environmental Change* 23:360–371.

Petrasek MacDonald, J., Ford, J.D., Willox, A.C., and Ross, N.A. 2013b. A review of protective factors and causal mechanisms that enhance the mental health of Indigenous circumpolar youth. *International Journal of Circumpolar Health* 72:21775.

Pham, M.T., Rajić, A., Grieg, J.D., Sargeant, J.M., Papadopoulos, A., and McEwen, S.A. 2014. A scoping review of scoping reviews: Advancing the approach and enhancing the consistency. *Research Synthesis Methods* 5:371–385.

Racadio, R., Rose, E., and Kolko, B. 2014. Research at the margin: Participatory design and community-based participatory research. In Proceedings of the 13th participatory design conference: Short papers, industry cases, workshop descriptions, doctoral consortium papers, and keynote abstracts. ACM, New York. pp. 49–52.

Robertson, T. and Simonsen, J. 2018. Challenges and opportunities in contemporary participatory design. *Design Issues* 28:3–9.

Sanoff, H. 2008. Multiple views of participatory design. *International Journal of Architectural Research* 2:131–143.

Sawatzky, A., Cunsolo, A., Gillis, D., Shiwak, I., Flowers, C., Cook, O., Wood, M., Rigolet Inuit Community Government, and Harper, S.L. 2017a. Profiling the eNuk program. *Northern Public Affairs*.

Sawatzky, A., Cunsolo, A., and Harper, S.L. 2017b. The eNuk program: Developing a community-based, participatory health and environment surveillance strategy. Open Access Government.

Sawatzky, A., Cunsolo, A., Jones-Bitton, A., Middleton, J., and Harper, S.L. 2017c. Integrated environment and health surveillance: A systematic realist review. In Proceedings of the 2017 International Arctic Change Conference (ArcticNet 2017). p. 129.

Simonsen, J. and Robertson, T. 2012. Routledge international handbook of participatory design.

Wright, C.J., Sargeant, J.M., Edge, V.L., Ford, J.D., Farahbakhsh, K., Rigolet Inuit Community Government, Shiwak, I., Flowers, C., Harper, S.L., and IHACC research team. 2017. Water quality and health in northern Canada: Stored drinking water and acute gastrointestinal illness in Labrador Inuit. *Environmental Science and Pollution Research* pp. 1–13. doi:10.1007/s11356-017-9695-9.

# ATLAS DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET MISE À L'ESSAI DE MICRORÉSEAUX DANS L'ARCTIQUE



Yves Poissant<sup>1\*</sup>, Alexandre Côté<sup>1</sup>, Naveen Goswamy<sup>1</sup>, Robert Cooke<sup>2</sup>, and Matt Wallace<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ressources naturelles Canada CanmetÉNERGIE–Varenes, Varenes, Québec, Canada

<sup>2</sup> Savoir polaire Canada, Whitehorse, Yukon, Canada

<sup>3</sup> Savoir polaire Canada, Cambridge Bay, Nunavut, Canada

\* [yves.poissant@canada.ca](mailto:yves.poissant@canada.ca)

**Le projet Atlas des énergies renouvelables et de mise à l'essai de microréseaux dans l'Arctique est dirigé par Ressources naturelles Canada – CanmetÉNERGIE de Varenes. Il est appuyé sur le plan logistique par Savoir polaire Canada, et la zone d'étude comprend plusieurs entreprises appartenant à des Inuits et des sites du gouvernement du Nunavut. La zone d'étude est située à Cambridge Bay, au Nunavut.**

## Résumé

Afin d'accroître la contribution de l'énergie renouvelable à la production locale d'électricité dans les collectivités éloignées, il faut acquérir plus d'information sur les ressources d'énergie renouvelables dans l'Arctique (vitesse du vent et irradiation solaire) et les profils de charge électrique des collectivités afin que les systèmes d'énergie renouvelable puissent être adéquatement dimensionnés pour répondre à la demande. Dans cette optique, Ressources naturelles Canada (RNC) – CanmetÉNERGIE, en collaboration avec Savoir polaire Canada (POLAIRE), a élaboré une proposition de projet pour le financement de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation (écolIE) avec les objectifs suivants :

1. Élaboration d'un atlas des énergies renouvelables dans l'ensemble de l'Arctique. Ce projet a été proposé par le Conseil de l'Arctique et est appuyé par le gouvernement du Canada, principalement par l'entremise de RNC – CanmetÉNERGIE d'Ottawa;

2. Mise à l'essai d'un microréseau d'énergie renouvelable avec gestion intelligente de la charge à Cambridge Bay, POLAIRE effectuant le travail sur le terrain sous la direction de RNC – CanmetÉNERGIE de Varenes;
3. Une évaluation techno-économique de la conception de microréseaux d'énergie renouvelables comprenant une étude comparative des méthodes de stockage optimales.

Les efforts cumulatifs de ces trois phases contribueront grandement à réduire la dépendance à l'égard du carburant diesel importé et coûteux comme moyen de production d'énergie dans les collectivités éloignées du Nord. Cette proposition a été acceptée pour le financement intégral du projet dans le cadre du programme écolIE. Ce rapport porte principalement sur les travaux réalisés à ce jour dans le cadre de la phase 2, soit la mise à l'essai d'un microréseau d'énergie renouvelable avec gestion intelligente de la charge à Cambridge Bay.

Citation suggérée :

Poissant, Y., Côté, A., Goswamy, N., Keyte, L., Cooke, R., et Wallace, M. 2018. Atlas des énergies renouvelables et de mise à l'essai de microréseaux dans l'Arctique. Savoir polaire : Aqhaliat 2018, Savoir polaire Canada, p. 126-130. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.15

## Introduction

Les régions nordiques du Yukon, des Territoires du Nord-Ouest, du Nunavut, du Nunatsiavut et du Nunavik comptent 119 000 habitants répartis dans 65 collectivités rurales éloignées. Bon nombre de ces collectivités dépendent fortement de la production d'électricité au diesel, qui relie une collectivité comme Cambridge Bay à des coûts de production d'électricité considérablement plus élevés que la moyenne canadienne par kilowattheure (kWh)<sup>1</sup>, avec des tarifs non subventionnés pouvant atteindre 1,14 \$ par kWh, comparativement à 0,132 \$ en Ontario.<sup>2</sup> La logistique de l'acheminement du diesel vers ces collectivités constitue l'une des principales raisons du coût élevé du carburant. De plus, des infrastructures pour le camionnage et le stockage du carburant doivent être en place, ce qui accroît considérablement les répercussions environnementales de la production d'électricité dans les collectivités éloignées.

Les conditions ambiantes et climatiques, comme l'irradiation solaire prolongée au printemps et en été, les températures hivernales plus froides qui augmentent la conductivité et les vents plus forts et plus fréquents, en particulier pendant les mois d'hiver, offrent la possibilité d'une utilisation accrue de l'énergie propre et renouvelable des systèmes éoliens et photovoltaïques (PV). Ces systèmes donneraient une plus grande indépendance énergétique pour de nombreuses collectivités éloignées hors réseau comme Cambridge Bay, grâce à une réduction importante de la consommation de combustibles fossiles.

Il ne s'agit toutefois pas simplement de remplacer la production au diesel par une source renouvelable. Il est nécessaire de savoir quelles sont les charges énergétiques dans une collectivité — lorsque la demande d'énergie atteint un sommet, lorsque des creux surviennent, comment ces sommets et creux sont corrélés à la disponibilité des ressources énergétiques renouvelables, et quelle est la quantité maximale d'énergie renouvelable qui peut être mise sur un microréseau avant que cette ressource renouvelable ait des répercussions sur la stabilité du réseau. Dans le cadre de l'initiative ECO-EII, CanmetÉNERGIE – Varenes, en partenariat RNC, CanmetÉNERGIE – Ottawa, et POLAIRE ont élaboré une proposition de projet en trois phases pour déterminer la possibilité de réduire la dépendance au diesel en matière de production d'énergie dans les collectivités éloignées du Nord. Le projet global s'intitule Atlas des énergies renouvelables et mise à l'essai

<sup>1</sup>[https://www.qec.nu.ca/sites/default/files/qec\\_energy\\_framework\\_-\\_generation\\_-\\_april\\_18\\_eng.pdf](https://www.qec.nu.ca/sites/default/files/qec_energy_framework_-_generation_-_april_18_eng.pdf)

<sup>2</sup><https://www.oeb.ca/rates-and-your-bill/electricity-rates>

de microréseaux dans l'Arctique. Le projet atteindra ses objectifs énoncés (1) en améliorant l'accès à l'information sur les énergies renouvelables en remplissant un atlas de l'énergie renouvelable de l'Arctique; (2) en effectuant la surveillance communautaire, la gestion et la mise à l'essai sur le terrain d'un microréseau d'énergie renouvelable avec gestion intelligente de la charge à Cambridge Bay; et (3) en collaborant avec les experts de CanmetÉNERGIE pour étudier l'intégration des énergies renouvelables aux méthodes de stockage secondaires.

Cette approche combinée donnera un aperçu des systèmes éoliens et photovoltaïques bien dimensionnés pour tenir compte de la variabilité ambiante et de la demande commune. Ce projet s'harmonise à deux des priorités scientifiques et technologiques de POLAIRE; en particulier, la réduction de la dépendance au diesel pour la production d'énergie grâce à une plus grande utilisation des énergies de remplacement et renouvelables et à l'amélioration de la conception des infrastructures de construction dans le Nord en déterminant de meilleures techniques de construction, pratiques d'entretien et technologies, et en développant une meilleure efficacité énergétique pour les climats nordiques. En tant que coresponsable du projet ECO-EII, POLAIRE fournit des conseils et du soutien dans la collectivité et fait le pont avec elle, contribue à l'exécution du projet et à la collecte de données.

## Proposition Atlas des énergies renouvelables et mise à l'essai de microréseaux dans l'Arctique

La proposition de projet originale qui a été approuvée pour le financement ECO-EII de RNC et comporte trois phases distinctes :

**Atlas des énergies renouvelables de l'Arctique** : En collaboration avec le Groupe de travail sur le développement durable (GTDD) du Conseil de l'Arctique, CanmetÉNERGIE–Ottawa aide à l'élaboration et à l'alimentation de l'Atlas de l'énergie renouvelable de l'Arctique, une trousse complète qui comprendra des cartes, des ressources en énergie renouvelable et des études de cas de projets d'énergie renouvelable dans les huit États membres de l'Arctique. Cette trousse servira de base de données pour les projets d'énergie renouvelable dans l'Arctique et permettra aux chercheurs et aux éventuels praticiens du projet d'avoir accès aux connaissances sur les ressources et aux pratiques exemplaires. POLAIRE a joué un rôle consultatif au besoin.

**Évaluation techno-économique de la conception et de l'exploitation de microréseaux d'énergies renouvelables avec gestion de la charge en Alaska et au Nunavut :** Un partenariat de collaboration entre CanmetÉNERGIE, POLAIRE et Intelligent Energy Systems (IES) pour élaborer une étude comparative de l'intégration des énergies renouvelables, associée au stockage d'énergie secondaire, par la gestion de la demande et des systèmes de stockage lithium-ion pour les microréseaux éloignés en Alaska et au Canada. Cette activité permettra de recueillir et de traiter des données provenant du projet de stockage thermique éolien-électrique (TEE) de Chaninik, en Alaska, de concevoir des modèles de systèmes TEE et de batteries à l'aide de données provenant de systèmes basés en Alaska, et d'effectuer une analyse techno-économique comparative des batteries et des TEE pour les services de microréseaux en Alaska et au Canada. Le rôle de POLAIRE consistera à gérer l'installation et à surveiller l'évaluation techno-économique de l'utilisation de la charge et de l'efficacité énergétique de la collectivité et, une fois le tout terminé, à partager l'utilisation de la charge, l'efficacité énergétique et les résultats en matière d'énergie renouvelable avec les partenaires actuels et futurs de la collectivité, du gouvernement et de l'industrie. Ce projet s'appuiera sur les travaux réalisés dans le cadre de la phase de surveillance communautaire de la proposition Atlas des énergies renouvelables et mise à l'essai de microréseaux dans l'Arctique.

**Surveillance, gestion et mise à l'essai par la collectivité d'un microréseau d'énergie renouvelable avec gestion intelligente de la charge à Cambridge Bay :** Cette phase vise à élaborer une approche coordonnée des solutions énergétiques (écrêtement de la demande de pointe, intégration des énergies renouvelables), y compris la surveillance des ressources renouvelables et de la demande d'électricité de la collectivité. POLAIRE gère la mise en œuvre d'instruments de surveillance de l'énergie renouvelable et de surveillance de la charge à Cambridge Bay, collabore avec des experts de CanmetÉNERGIE pour étudier l'intégration de l'énergie renouvelable à des méthodes de stockage secondaires par une gestion intelligente de la demande, et élabore des ensembles d'information de source ouverte et une modélisation de l'énergie. Étant donné que cette phase constitue la base principale de ce rapport, nous allons maintenant en discuter plus en détail.

Afin de s'assurer que les données les plus représentatives ont été obtenues pour ce projet, CanmetÉNERGIE, en collaboration avec la seule entreprise d'électricité du

Nunavut, Qulliq Energy Corporation (QEC), a dressé une liste des 21 unités les plus énergivores de Cambridge Bay. En tant que liaison communautaire au nom du projet, le personnel de POLAIRE a visité les propriétaires/occupants des emplacements à forte consommation d'énergie susmentionnés afin de décrire l'objet du projet, d'en expliquer les avantages potentiels et de demander leur participation. Il s'agissait notamment de fournir de l'information sur les projets aux entreprises, aux ministères locaux et aux écoles qui pouvaient collaborer, au moyen d'un résumé écrit préparé par CanmetÉNERGIE-Varenes de RNCAN. Le résumé permettait de cibler les objectifs du projet, de nommer les partenaires collaborateurs, de préciser les instruments qui devraient être installés à chaque emplacement, ainsi que les coûts connexes. Le personnel de POLAIRE a également tenu des discussions en personne qui portaient sur la valeur pour le client d'obtenir des profils de charge concernant les opérations d'utilisation quotidiennes, saisonnières et de pointe. Ces avantages comprenaient la façon d'apporter des changements structurels pour accroître l'efficacité énergétique ainsi que de meilleures méthodes globales d'utilisation de l'énergie.

À la suite des séances d'information initiales en personne, des partenariats ont été établis avec dix emplacements commerciaux, publics et gouvernementaux à Cambridge Bay, y compris les écoles primaires et secondaires, le principal bâtiment de recherche de la Station de recherche du Canada dans l'Extrême-Arctique (SRCEA), l'usine de traitement de l'eau et le magasin du Nord (une liste complète des emplacements est disponible sur demande). Des mesures de charge et d'efficacité énergétique ont ensuite été déterminées pour chaque immeuble faisant partie de l'ensemble de partenaires collaborateurs en utilisant des études de site, en comprenant mieux la fonction de l'immeuble et en établissant des profils de charge qualitatifs fondés sur les heures d'exploitation et l'utilisation de l'équipement ainsi que les niveaux de charge normaux et de pointe. À la lumière de cette information, on a évalué les possibilités d'améliorer l'efficacité énergétique pour l'enveloppe du bâtiment et, par la suite, pour l'équipement interne et les profils d'utilisation actuels. Et au moyen de ces vérifications énergétiques, POLAIRE a ensuite mis au point sept ensembles distincts écoénergétiques fondés sur les types de bâtiments communs que l'on trouve dans les collectivités éloignées du Nord, y compris les garages mécaniques/de construction, les patinoires, les écoles, les installations d'emballage de la viande, les épiceries, les centres médicaux et les immeubles de bureaux. Chaque ensemble de vérifications a permis d'apporter des

améliorations écoénergétiques selon le type de bâtiment, de proposer des changements quant à l'exploitation du bâtiment afin de déplacer les charges de pointe énergétiques, d'améliorer l'équipement en vue d'accroître l'efficacité et/ou de modifier l'enveloppe du bâtiment en fonction de l'efficacité énergétique. Les recommandations comprenaient, dans la mesure du possible, des descriptions des avantages de chaque amélioration, y compris le coût, la période de récupération et des recommandations pour des modèles d'équipement et des fournisseurs appropriés. Cet ensemble de documents d'information sur l'efficacité énergétique a par la suite été communiqué aux personnes-ressources des municipalités et des entreprises de la région de Kitikmeot.

Après des discussions initiales avec les propriétaires des immeubles, et avant de procéder à l'installation de l'équipement de surveillance de l'énergie, POLAIRE a sollicité les conseils et les directives du directeur de la sécurité des services et de l'inspecteur en chef des installations électriques du gouvernement du Nunavut ainsi que de l'inspecteur des installations électriques de la région de Kitikmeot concernant la conformité au code de l'électricité du Nunavut et les protocoles d'inspection de sécurité qui doivent être en place (avant, pendant et après l'installation) pour les instruments de surveillance de la charge. Ces conseils ont orienté la décision de CanmetÉNERGIE, qui a choisi les compteurs rechargeables de la série 9100 d'AccuEnergy AcuPanel pour ce projet.

Après avoir reçu dix compteurs AcuPanel à Cambridge Bay, POLAIRE a entamé des négociations contractuelles avec des entrepreneurs en électricité locaux afin qu'ils effectuent jusqu'à dix installations dans la collectivité. Un plan d'installation séquentiel a été élaboré en fonction des lignes directrices d'installation de CanmetÉNERGIE et d'une évaluation des risques pour l'installation et l'exploitation des compteurs. Les deux premières unités sélectionnées pour l'installation étaient les deux écoles, car elles font l'objet de vérifications quotidiennes fréquentes par le gestionnaire de l'immeuble, et il est donc possible de déterminer rapidement s'il y aurait lieu de modifier la méthode d'exploitation et d'installation, ce qui aurait une incidence sur les emplacements futurs. Dès qu'une validation de principe réussie aura été effectuée dans les deux écoles, les huit prochaines installations seront planifiées et mises en œuvre. De là, CanmetÉNERGIE et POLAIRE surveilleront les installations et les résultats au cours de l'hiver 2018-2019.

## Préoccupations pour la collectivité

L'efficacité énergétique est l'une des principales raisons de la réduction du diesel, et les émissions de gaz à effet de serre seront considérablement réduites dans les collectivités éloignées. Le fait de déterminer comment mieux utiliser et économiser l'énergie peut entraîner de grands avantages économiques pour les personnes, les collectivités et les services publics, et ainsi améliorer les conditions de vie des occupants des logements résidentiels. En comprenant mieux comment l'énergie est utilisée dans les collectivités éloignées (commerciales, résidentielles et municipales), il sera alors possible de déterminer où les mesures d'efficacité énergétique peuvent être le plus avantageusement ciblées et ainsi proposer des changements aux procédures d'exploitation pour réduire la charge de pointe. Dans le cadre de ce projet, RNCAN et POLAIRE se sont engagés à travailler avec les participants au projet dans la collectivité de Cambridge Bay en vue d'aider à déterminer comment l'énergie est utilisée dans les unités individuelles et de proposer des mesures d'efficacité énergétique qui peuvent réduire les coûts. De surcroît, en comprenant mieux la consommation d'énergie à l'échelle de la collectivité, il sera également possible de réduire considérablement la consommation de diesel, et ce, pour la production de chauffage et d'électricité. Cela permettra non seulement de réduire les coûts globaux pour la collectivité, mais aussi d'assainir l'air et l'environnement. Ce projet contribuera aussi à ouvrir la voie à l'intégration future de l'énergie propre dans le microréseau de Cambridge Bay, ce qui réduira par conséquent davantage la dépendance générale au diesel. Ces renseignements seront également transférables, en partie, à d'autres collectivités éloignées, ce qui permettra à des collectivités semblables de profiter des améliorations en matière d'efficacité énergétique et des possibilités de réduction du diesel cernées par ce projet.

## Conclusions et prochaines étapes

Bien que le projet soit bien engagé, il a progressé plus lentement que prévu au départ, entravé par des problèmes de passation de marchés et de réglementation, deux points qui ont exigé des efforts considérables de la part de l'ingénieur de POLAIRE basé à Cambridge Bay pour aider à résoudre les problèmes. Les installations initiales sont maintenant terminées et les travaux de surveillance sont en cours. CanmetEnergy et POLAIRE vont maintenant de l'avant avec le prochain lot d'installations pour compter un minimum de dix unités à haute consommation d'énergie dans le cadre d'un protocole de surveillance avant la fin de

l'exercice 2018-2019. Une bonne partie du travail effectué jusqu'à maintenant dans le cadre de la phase 2 facilitera grandement la réalisation de la phase 3, qui consiste en l'évaluation techno-économique de la conception et de l'exploitation du microréseau d'énergie renouvelable avec la gestion de la charge en Alaska et au Nunavut, ce qui permettra par conséquent la progression plus rapide que prévu de cette phase.

Ensemble, les trois phases de ce projet ont un énorme potentiel de réduire considérablement la consommation de combustibles fossiles en encourageant et en aidant l'utilisation de ressources renouvelables appropriées comme remplacement du diesel et en déterminant et en façonnant les charges et l'efficacité énergétiques, réduisant ainsi le besoin général de production d'énergie.

Enfin, ce projet s'est avéré très bénéfique pour établir un partenariat de collaboration entre CanmetÉNERGIE de RNCAN et POLAIRE, et constitue une autre étape vers l'objectif de POLAIRE de mettre à l'essai et de démontrer des technologies à la SRCEA et à Cambridge Bay, réduisant ainsi le risque pour les projets à venir de production d'énergie dans les collectivités éloignées de l'Arctique canadien.

## Remerciements

Les personnes suivantes ont joué un rôle clé dans la réalisation du projet Atlas des énergies renouvelables et mise à l'essai de microréseaux dans l'Arctique à ce jour : le chef d'équipe M. Yves Poissant de CanmetÉNERGIE RNCAN, l'ingénieur débutant Alexandre Côté et l'ingénieur de projet du microréseau Naveen Goswamy ont élaboré et soumis la proposition de projet à l'ECO-EII de RNCAN. Richard Kelly, directeur des Services de sécurité pour le gouvernement du Nunavut, et Richard Tourangeau, inspecteur en électricité pour la région de Kitikmeot, ont fourni soutien et conseils concernant les installations électriques et la réglementation. Qulliq Energy Corporation a fourni des données sur la consommation d'énergie afin de déterminer quelles unités à forte consommation d'énergie devraient faire l'objet d'une surveillance. Jago Services Inc., de Cambridge Bay, a fourni des conseils sur les installations et a réalisé toutes les installations matérielles.

## Références

AccuEnergy. Pre-Wired Power and Energy Meter Panel: AcuPanel 9100 series. 2018. URL: <https://www.accuenergy.com/product/acupanel-9100-pre-wired-panels>

# OBTENTION D'AVANTAGES GRÂCE AU TRAITEMENT ET À LA RÉUTILISATION DES EAUX GRISES DANS LES BÂTIMENTS ET LES COLLECTIVITÉS DU NORD



## Nicole A. Poirier<sup>1\*</sup> and Ramona Pristavita<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Terragon Environmental Technologies Inc., Montréal, Québec, Canada

\* [nicole\\_a\\_poirier@outlook.com](mailto:nicole_a_poirier@outlook.com)

**Terragon Technologies de l'environnement inc. est une entreprise de technologies propres primée qui a été fondée en 2004 et qui est basée à Montréal, au Québec. Terragon met au point des appareils simples pour les déchets solides, les eaux usées et les boues qui permettent à n'importe quel habitat de traiter ses propres déchets localement sans causer de dommages à l'environnement tout en retirant des avantages importants découlant de la récupération de ressources précieuses.**

## Résumé

Le traitement et la réutilisation des eaux grises (EG) sont habituellement associés à des régions aux prises avec des pénuries d'eau. Bien que certaines régions arctiques n'aient pas de sources d'eau, le traitement et la réutilisation des EG peuvent intéresser la plupart des régions, puisqu'elles doivent généralement gérer un coût élevé d'approvisionnement en eau potable par camion, une faible consommation par habitant et des problèmes de gestion des eaux usées. Un système de traitement des EG bien conçu qui tient compte des contraintes du Nord pourrait offrir des avantages importants. Les EG traitées pourraient être utilisées pour la chasse d'eau des toilettes et d'autres applications non potable, ce qui permettrait de réserver de l'eau potable coûteuse pour des utilisations nécessitant cette qualité tout en réduisant le volume d'eaux usées produites. En prévision d'un projet de démonstration de traitement des EG à Cambridge Bay, au Nunavut, un nouveau système de traitement des EG a été évalué sur une période de six mois. Le système traitait de véritables EG de douche et de lessive, dans certains cas ajustées pour ressembler davantage aux EG qui devraient se trouver dans le Nord. Le rendement du traitement a été comparé à la norme NSF/ANSI 350 pour les immeubles résidentiels et

commerciaux. On a constaté que le système de traitement des EG fonctionnait de façon fiable et pouvait satisfaire aux exigences de la norme NSF/ANSI 350 pour toutes les EG testées.

## Introduction

Cambridge Bay est un hameau situé sur l'île Victoria, dans la région de Kitikmeot, au Nunavut, au Canada. En 2016, la population était de 1 716 habitants, la majorité d'entre eux étant des Autochtones (Inuits) (Statistique Canada, 2016). En raison du pergélisol et du climat rigoureux à Cambridge Bay, les réseaux de distribution d'eau par canalisation (souterrains ou en surface) et les réseaux de collecte des eaux usées sont extrêmement coûteux et peu pratiques. Ainsi, comme dans la plupart des collectivités du Nunavut, les maisons et les entreprises de Cambridge Bay sont équipées de réservoirs d'eau et d'eaux usées distincts pour la livraison d'eau potable et la collecte des eaux usées par camion. Ces services de camionnage sont fournis contre rémunération par le hameau, et les tarifs diffèrent pour les clients résidentiels et commerciaux.

Citation suggérée :

Poirier, N.A., et Pristavita, R. 2018. « Obtention d'avantages grâce au traitement et à la réutilisation des eaux grises dans les bâtiments et les collectivités du Nord », *Savoir polaire : Aqhaliat 2018, Savoir polaire Canada*, p. 131-137. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.16

L'eau potable provient des eaux de surface traitées et les eaux usées sont éliminées dans un étang d'épuration situé à proximité.

Le coût de l'eau à Cambridge Bay (taux économique) est de 75 \$/m<sup>3</sup> (comprenant la livraison et le pompage), bien qu'avec les subventions gouvernementales, le coût soit réduit à 23 \$/m<sup>3</sup> pour les clients commerciaux et à 6 \$/m<sup>3</sup> pour les clients non commerciaux (Hameau de Cambridge Bay Règlement 232). À titre de comparaison, les tarifs et les frais combinés pour l'eau et les eaux usées dans les grandes villes canadiennes sont généralement inférieurs à 5 \$/m<sup>3</sup> pour les clients résidentiels et commerciaux. La consommation résidentielle d'eau par habitant au Nunavut est généralement d'environ 100 L/jour, ce qui représente environ le tiers de la moyenne canadienne (Daley et coll. 2014). De plus, le coût de l'électricité produite au diesel au Nunavut est environ 5 à 10 fois plus élevé que dans les autres régions canadiennes.

Traiter les eaux grises des activités de bains et de lessives et les entreposer dans un réservoir de traitement séparé afin de les utiliser pour des activités qui ne nécessitent pas d'eau potable (p. ex., chasse d'eau de toilette et lessive) est une approche qui pourrait être envisagée en vue de réduire les coûts et de réserver de l'eau propre pour les applications qui exigent vraiment une qualité potable (c.-à-d., boire, cuisiner et se laver). La réutilisation des eaux grises peut également réduire le volume par habitant d'eau potable nécessaire et le volume d'eaux usées produit. Elle pourrait également alléger le fardeau sur les installations de traitement de l'eau potable et/ou les services de livraison par camion qui fonctionne presque à capacité maximale dans certaines collectivités. Les utilisateurs commerciaux d'eau peuvent être particulièrement intéressés par la réutilisation des eaux grises, étant donné qu'ils paient beaucoup plus pour leurs services de camionnage que leurs clients résidentiels.

Le traitement et la réutilisation des eaux grises suscitent un grand intérêt dans de nombreuses régions d'Amérique du Nord en raison des pénuries d'eau résultant de la sécheresse et/ou d'un décalage entre la disponibilité de l'eau et les besoins domestiques, agricoles et industriels. Toutefois, le traitement et la réutilisation des eaux grises ont rarement été envisagés pour le Nord en raison de divers défis, notamment techniques, pratiques et sociaux. Dans le cadre de ce projet, un nouveau système

de traitement des eaux grises sera évalué et démontré afin de déterminer s'il convient de traiter celles produites en milieu nordique. Par la suite, les meilleures options pour tirer profit du traitement et de la réutilisation des eaux grises dans le Nord seront déterminées à l'aide d'analyses techno-économiques et de commentaires des résidents de la collectivité locale, recueillis par des étudiants du Collège de l'Arctique du Nunavut.

Le présent article contient les résultats d'une évaluation de six mois du système de traitement des eaux grises effectué à Montréal en vue de l'installation du système dans une résidence triplex (fig. 1) à la Station canadienne de recherche dans l'Extrême-Arctique (SRCEA).

## Défis liés au traitement des eaux grises dans le Nord

De nombreuses initiatives de traitement et de réutilisation des eaux grises se déroulent dans des climats chauds où l'équipement de traitement peut être situé à l'extérieur. Dans le cas du Nord, il faut envisager l'installation de systèmes de traitement d'eaux grises à l'intérieur des bâtiments ou d'enceintes chauffées. De nombreuses maisons du Nord sont petites, parfois surpeuplées et construites sur des échasses (pieux) à cause du pergélisol. Par conséquent, les maisons unifamiliales résidentielles n'ont généralement



Figure 1 : Résidence triplex à la Station de recherche du Canada dans l'Extrême-Arctique (SRCEA), où le système d'eaux grises sera installé en novembre 2018.

aucun sous-sol et aucun espace disponible pour recevoir l'équipement de traitement des eaux grises. Les systèmes de traitement des eaux grises peuvent être intégrés plus facilement et de préférence à d'autres types de bâtiments (c.-à-d. multioccupants, commerciaux, gouvernementaux,

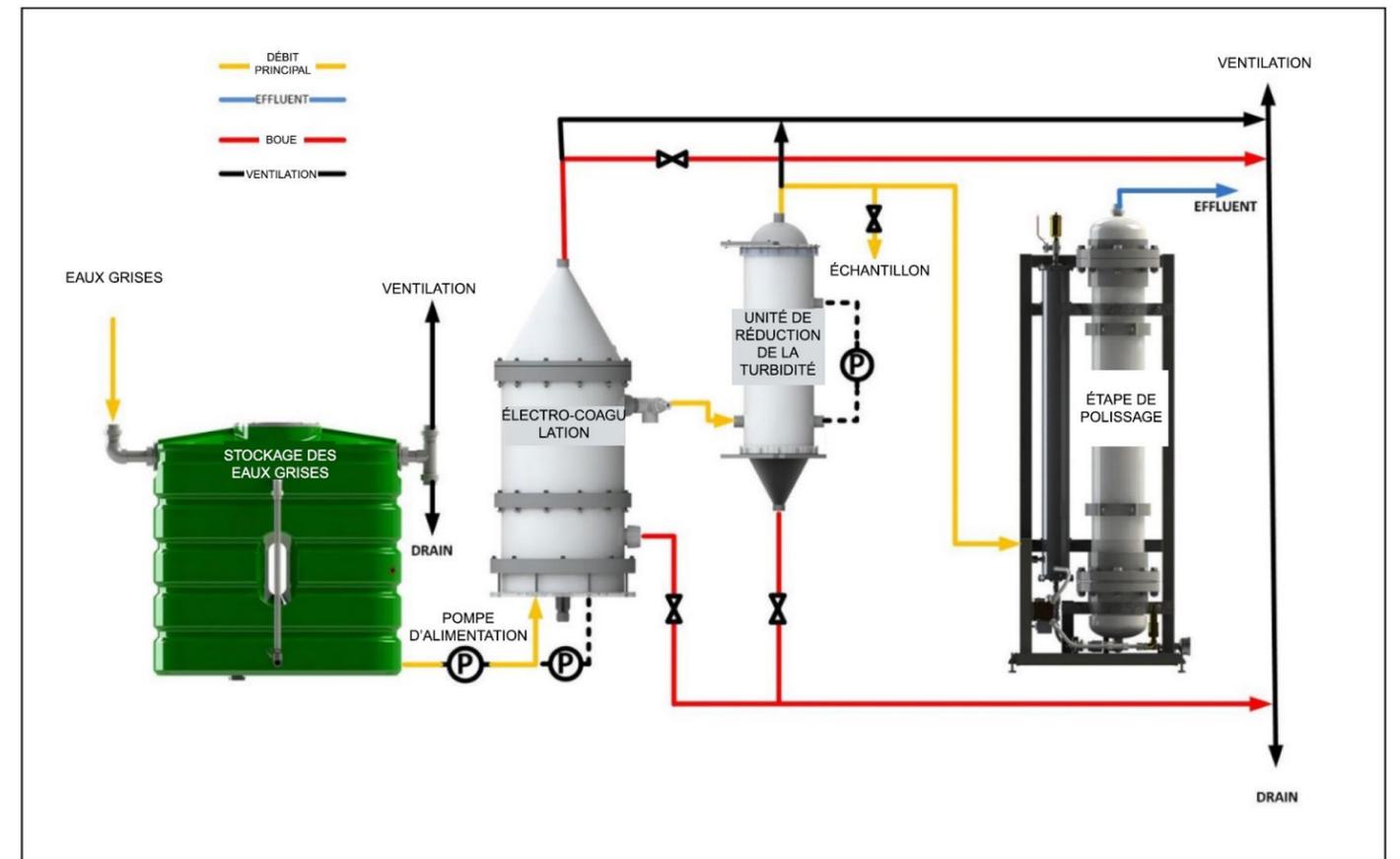


Figure 2 : Schéma du système de traitement des eaux grises.

éducatifs) ou à un site de réception central où les eaux grises provenant de plusieurs sources distinctes sont acceptées et traitées. Enfin, certaines approches de traitement des eaux grises disponibles sur le marché reposent sur des chaînes de traitement qui ne sont pas compatibles avec l'exploitation dans le Nord, en raison des exigences en matière de consommables (p. ex., produits chimiques) et d'entretien ou de l'incapacité de traiter les eaux grises du Nord selon les normes de réutilisation acceptées.

## Installation d'un système de traitement des eaux grises à des fins d'évaluation

Un nouveau système automatisé de traitement des eaux grises non fondé sur l'ajout de produits chimiques ou sur un traitement biologique a été évalué pendant six mois. Il fonctionnait du lundi au vendredi pendant la journée seulement. Il avait une capacité de 1,44 m<sup>3</sup>/jour, exigeait environ 0,5 kW pour fonctionner et est illustré de façon schématique à la figure 2. Il consistait en un réservoir de réception pour recueillir les eaux grises (de la douche et de la lessive), une unité d'électrocoagulation en instance de brevet servant à éliminer la majorité des

contaminants particuliers et des charges organiques, une unité d'élimination de la turbidité et, enfin, une colonne d'adsorption pour le polissage final. Les eaux grises traitées ont été recueillies dans un réservoir de stockage et désinfectées au moyen d'un procédé électrochimique sur place. Au cours de l'évaluation, les électrodes d'électrocoagulation ont été remplacées une fois, en utilisant une procédure de 10 minutes.

Le système de traitement des eaux grises a été installé dans le sous-sol d'un complexe sportif d'un collège de Montréal (fig. 3); le système qui sera installé à la SRCEA sera plus compact et clos. Les eaux grises traitées provenaient de douches et de machines à lavées domestiques utilisées pour laver des uniformes d'équipe et des uniformes de travail. Les eaux grises traitées ont ensuite été utilisées pour la chasse d'eau de toilette tout près. Il s'agit d'un point important puisqu'une enquête précédente a indiqué qu'avec le temps, des eaux grises traitées de manière inappropriée peuvent entraîner des répercussions négatives sur les mécanismes des toilettes et créer un biofilm dans le réservoir (Kuru et Luettgen 2012).

## Normes de réutilisation des eaux grises

En ce qui concerne le traitement décentralisé des eaux grises, NSF International a créé une norme en 2011 (NSF/ANSI 350 : *Onsite Residential and Commercial Water*



Figure 3 : Installation du système de traitement des eaux grises lors de l'évaluation effectuée à Montréal.

*Reuse Treatment*), qui décrit les critères exigés pour les systèmes de réutilisation des eaux. La norme a maintenant été adoptée par les codes de la plomberie et du bâtiment et a été utilisée dans le cadre de ce projet pour évaluer le rendement du nouveau système de traitement des eaux grises. Les seuils de traitement pour les applications résidentielles (!\_ 5,678 L/jour) et commerciales (> 5,678 L/jour) sont présentés au tableau 1.

## Caractérisation et composition des eaux grises

Les eaux grises mélangées provenant des douches et de la lessive, ainsi que les eaux grises provenant des douches seulement et de la lessive seulement, ont été échantillonnées sur une période de deux semaines et entièrement décrites. Les résultats sont présentés au tableau 2, où l'on peut voir que la force des eaux grises provenant de la lessive seulement est d'un ordre de grandeur plus élevée que celle des eaux grises provenant des douches seulement. À la suite de cette période initiale de caractérisation des eaux grises, certains paramètres des eaux grises ont été mesurés chaque semaine au cours de l'essai de six mois; en général, elles comprenaient, au minimum, la demande chimique en oxygène (DCO), la

Tableau 1 : NSF/ANSI 350, exigences en matière de traitement des eaux grises pour la réutilisation résidentielle (Classe R) et commerciale (Classe C).

| Paramètre                                 | Unités              | Classe R                |                            | Classe C                |                            |
|---|---------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
|   |                     | Moyenne globale du test | Échantillon unique maximum | Moyenne globale du test | Échantillon unique maximum |
| CBOD5                                     | (mg/L)              | 10                      | 25                         | 10                      | 25                         |
| TSS                                       | (mg/L)              | 10                      | 30                         | 10                      | 30                         |
| Turbidité                                 | (UTN)               | 5                       | 10                         | 2                       | 5                          |
| E.coli <sup>2</sup>                       | (NPP/100 mL)        | 14                      | 240                        | 2.2                     | 200                        |
| pH  | (SU)                | 6 - 9                   | S.O. <sup>1</sup>          | 6 - 9                   | S.O.                       |
| Désinfection des récipients d'entreposage | (mg/L) <sup>3</sup> | ≥0.5 - ≤2.5             | S.O.                       | ≥0.5 - ≤2.5             | S.O.                       |
| Couleur                                   |                     | MC <sup>4</sup>         | S.O.                       | MC                      | S.O.                       |
| Odeur                                     |                     | Inoffensif              | S.O.                       | Non-offensive           | S.O.                       |
| Film huileux et mousse                    |                     | Non détectable          | Non détectable             | Non détectable          | Non détectable             |
| Consommation d'énergie                    |                     | MC                      | NA                         | MC                      | S.O.                       |

<sup>1</sup>S.O. = Sans objet

<sup>2</sup>Calculé comme moyenne géométrique

<sup>3</sup>Comme du chlore. D'autres désinfectants peuvent être utilisés.

<sup>4</sup>MC = Mesuré et communiqué seulement

Table 2: Characterization of greywater from shower water (SW) and laundry water (LW).

| Paramètre         | Unités                                | 3-Sep-17           | 21-Sep-17             | 26-Sep-17             | 28-Sep-17             | 10-Oct-17          |
|-------------------|---------------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
|                   |                                       | Échantillon 1 (ED) | Échantillon 2 (ED+EL) | Échantillon 3 (ED+EL) | Échantillon 4 (ED+EL) | Échantillon 5 (EL) |
| DCO               | (mg/L)                                | 122                | 208                   | 133                   | 218                   | 1840               |
| BOD <sub>5</sub>  | (mg/L)                                | 70                 | 120                   | 87,5                  | 117,5                 | 655                |
| TSS               | (mg/L)                                | 19                 | 36                    | 23                    | 15                    | 340                |
| PT                | (mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) | 4,5                | 2,6                   | 3,64                  | 5,25                  | -                  |
| pH                | -                                     | 7,69               | 7,94                  | 7,84                  | 8,46                  | 7.51               |
| Conductivité      | (µs/cm)                               | 512                | 496                   | 465                   | 554                   | 621                |
| Turbidité         | UTN                                   | 13,2               | 38,7                  | 20,9                  | 15,3                  | 483                |
| Alcalinité        | (mg/L CaCO <sub>3</sub> )             | 162                | 150                   | 132                   | 185                   | -                  |
| N-NH <sub>3</sub> | (mg/L)                                | 16,4               | 11,3                  | 10,25                 | 18                    | -                  |
| TOC               | (mg/L)                                | 26,3               | 44,1                  | 21,9                  | 53,8                  | -                  |
| ATK               | (mg/L)                                | -                  | 15,1                  | -                     | 26,7                  | 42.4               |
| Huile et graisse  | (mg/L)                                | -                  | 20                    | -                     | 15                    | 252                |
| Coliformes fécaux | (UFC/100 mL)                          | -                  | 72                    | -                     | -                     | 170 000            |
| Coliforme total   | (UFC/100 mL)                          | -                  | 800 000               | -                     | -                     | 800 000            |
| E.coli            | (UFC/100 mL)                          | -                  | 60                    | -                     | -                     | 5000               |

demande biochimique en oxygène (DBO5) et le total des solides en suspension (TSS).

Les eaux grises générées au cours de l'essai de six mois provenaient des activités utilisant l'eau potable disponible à Montréal. Toutefois, l'eau potable disponible à Cambridge Bay (et dans de nombreuses autres régions du Nord) peut avoir des caractéristiques quelque peu différentes, contenant souvent une plus grande quantité de matières organiques naturelles (MON) provenant de la décomposition de la matière végétale et animale. La principale composante des MON est l'acide humique; les substances humiques représentent généralement 40 à 80 % de la matière organique dissoute dans l'eau, avec une contribution moindre de l'acide fulvique (Uyguner, 2007).

Au cours d'une visite à Cambridge Bay à la fin de juillet 2017, on a constaté que l'eau du robinet du triplex de la SRCEA avait une demande chimique en oxygène (DCO) de 8 à 22 mg/L, déterminée par un analyseur Mantech PeCOD (limite de détection de 0,7 mg/L). On a également constaté que l'eau de source utilisée pour créer l'eau potable avait des valeurs de DCO semblables, qui seraient principalement attribuables aux matières organiques naturelles. L'eau du Nord peut aussi contenir des sous-produits de désinfection, des minéraux et des métaux lourds, selon la source

d'eau de surface et le procédé de traitement de l'eau potable utilisé.

Pour étudier l'impact potentiel des matières organiques naturelles (MON) sur le traitement des eaux grises, le collège de Montréal a produit des eaux grises et les a ensuite enrichies de quantités connues d'acide humique (acide humique Ez-Gro à 80 %). L'eau potable de Montréal non contaminée par des eaux grises a également été enrichie de fortes concentrations d'acide humique, puis traitée par le procédé de traitement des eaux grises.

## Résultats du traitement des eaux grises

Après plusieurs périodes d'essai au cours desquelles l'unité d'électrocoagulation a été exploitée à des intensités de courant différentes, une intensité de courant optimale a été sélectionnée et utilisée pour le reste de l'essai (novembre 2017 à la mi-février 2018). Les figures 4 et 5 présentent les valeurs des affluents et des effluents d'eaux grises pour la DCO, la demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO5), le total des solides en suspension (TSS) et la turbidité. Les normes de traitement NSF/ANSI 350 présentées au tableau 2 ont été respectées, et le pH (non indiqué) est demeuré dans la plage de 6 à 9, tel que requis.

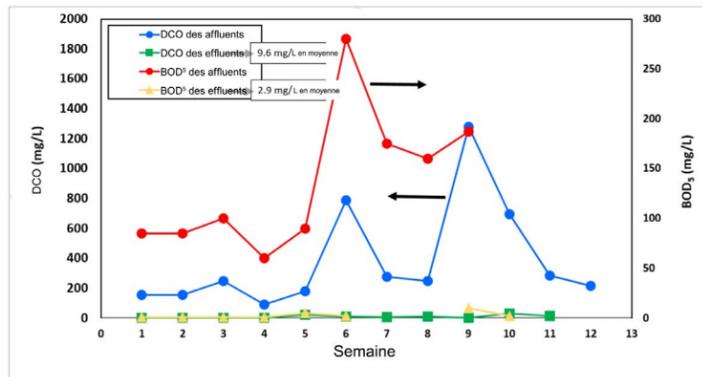


Figure 4 : DCO et BOD5 des influents et effluents d'eaux grises.

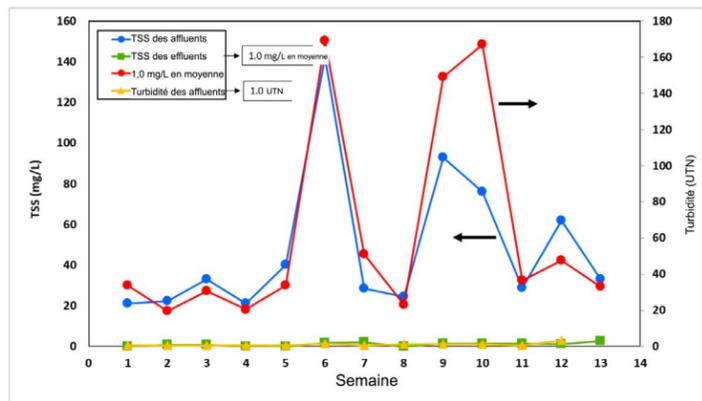


Figure 5 : Les affluents et les effluents d'eaux grises, le TSS et la turbidité

L'influence des MON sur le traitement des eaux grises a été étudiée en ajoutant de l'acide humique aux eaux grises dans le réservoir de collecte, en vue d'atteindre une concentration d'environ 30 mg/L. Une fois ajouté au réservoir de collecte des eaux grises, il n'a malheureusement pas été possible d'y mélanger le concentré de MON. La valeur de la DCO des eaux grises envoyées au système de traitement après l'ajout des MON a atteint une valeur maximale de 1 235 mg/L, et sur une période d'une heure, elle a graduellement diminué à 584 mg/L (encore beaucoup plus élevée que la valeur habituelle de la DCO des eaux grises des affluents). En dépit de cette DCO élevée de l'affluent d'eaux grises, le traitement a tout de même réussi à respecter les normes NSF/ANSI 350. Un autre essai a ensuite été mené pour voir si le procédé de traitement des eaux grises pouvait être utilisé pour traiter une solution hautement concentrée d'acide humique (150 ppm d'acide humique Ez-Gro à 80 %) dans de l'eau potable non contaminée par des eaux grises. La figure 6 montre que le procédé de traitement était encore très efficace et qu'il est donc possible de conclure

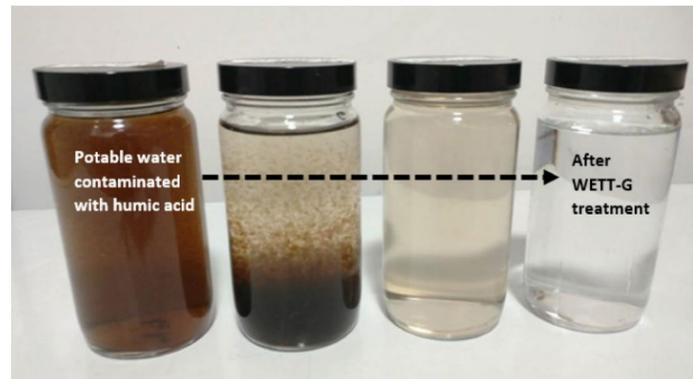


Figure 6 : L'eau potable de Montréal a été enrichie d'acide humique et traitée avec le système de traitement des eaux grises.

que les eaux grises du nord peuvent être traitées selon les normes NSF/ANSI 350 même si elles sont produites à partir d'eau potable contenant une concentration de fond de MON.

En ce qui concerne la désinfection, les paramètres microbiologiques ont été mesurés périodiquement, et les valeurs obtenues sont présentées au tableau 3. L'approche électrochimique utilisée pour produire des oxydants sur place dans le réservoir de rétention des effluents d'eaux grises a permis de créer un petit résiduel de chlore entre 0,5 et 2,5 mg/L et de réduire l'E. coli à 14 UFC/100 mL, comme l'exige la NSF/ANSI 350. Aucun biofilm n'a été observé dans la cuve de toilette au cours de la période de six mois et aucun problème n'a été rencontré avec le mécanisme de rinçage.

### Préoccupations pour la collectivité

Au-delà des aspects techno-économiques, la réceptivité du concept par les résidents de la collectivité constitue un élément clé du succès d'une initiative de traitement des eaux grises, non seulement dans le Nord, mais partout. Les perceptions culturelles et sociales profondément enracinées des Inuits au sujet de l'eau seront étudiées au moyen d'une série de sondages et d'échanges avec les habitants locaux, menés par des étudiants du Collège de l'Arctique du Nunavut.

### Conclusions

La nouvelle technologie de traitement des eaux grises a permis de traiter de façon fiable dans un collège de Montréal et sur une période de six mois les eaux grises réelles générées par les activités de douche et de lessive. Les caractéristiques des eaux grises traitées respectaient les exigences établies par la norme NSF/ANSI 350. Même

Tableau 3 : Les résultats de la désinfection des eaux grises.

| Échantillon | Analyse microbiologique | Unités       | Eaux grises non traitées | Eaux grises non traitées | Après Désinfection | Chlore libre (mg/L) | Initial pH | Final pH |
|-------------|-------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|------------|----------|
| 15-11-2017  | Coliformes fécaux       | (CFU/100 mL) | 2900                     | <10                      | <10                | -                   | 7.81       | 7.4      |
|             | Coliformes totaux       |              | CTN <sup>1</sup>         | <10                      | <10                |                     |            |          |
|             | E. Coli                 |              | 2400                     | 200                      | 81                 |                     |            |          |
| 21-11a-2017 | Coliformes fécaux       | (CFU/100 mL) | 30 000                   | <10                      | <10                | -                   | 7.03       | 7.66     |
|             | Coliformes totaux       |              | >800 000                 | 36000                    | <10                |                     |            |          |
|             | E. Coli                 |              | 500                      | <10                      | <10                |                     |            |          |
| 28-11-2017  | Coliformes fécaux       | (CFU/100 mL) | 210                      | <10                      | <10                | 1.34                | 7.37       | 7.6      |
|             | Coliformes totaux       |              | >800 000                 | 7900                     | <10                |                     |            |          |
|             | E. Coli                 |              | 99                       | <10                      | <10                |                     |            |          |
| 5-12-2017   | Coliformes fécaux       | (CFU/100 mL) | 1400                     | <10                      | <10                | 1.2                 | 7.69       | 7.99     |
|             | Coliformes totaux       |              | >800 000                 | 550                      | <10                |                     |            |          |
|             | E. Coli                 |              | 2400                     | <10                      | <10                |                     |            |          |
| 12-12-2017  | Coliformes fécaux       | (CFU/100 mL) | <10                      | <10                      | <10                | 0.11                | 6.69       | 7.55     |
|             | Coliformes totaux       |              | >800 000                 | 11000                    | 310                |                     |            |          |
|             | E. Coli                 |              | 98                       | <10                      | <10                |                     |            |          |
| 13-02-2018  | Coliformes fécaux       | (CFU/100 mL) | -                        | -                        | -                  | 0.18                | 7.96       | 7.83     |
|             | Coliformes totaux       |              | >600 000                 | -                        | <10                |                     |            |          |
|             | E. Coli                 |              | 990                      | -                        | <10                |                     |            |          |

<sup>1</sup>CTN = Colonies trop nombreuses pour être mesurées

lorsque l'eau grise ou l'eau potable était dopée avec de fortes concentrations de MON, sous forme d'acide humique, comme on peut le trouver dans les eaux grises du nord, ces mêmes résultats ont été obtenus.

### Remerciements

Nous sommes très reconnaissants de la contribution de M. Rimeh Daghri, du Cégep de Saint-Laurent, à ce projet et de l'appui financier de Savoir polaire Canada et du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada.

### Références

Daley K., Castleden, H., Jamieson, R., Furgal, C., and Ell, N. 2014. Municipal water quantities and health in Nunavut households: An exploratory case study in Coral Harbour, Nunavut, Canada. *International Journal of Circumpolar Health* 73:23843. doi:10.3402/ijch.v73.23843. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3970036/> [accessed 29 March 2018].

Hamlet of Cambridge Bay, NU. By-law No. 232–Schedule A: Water and sewer rates for municipal services. 24 pp. Available from <http://www.cambridgebay.ca/sites/default/files/By-Law%20232%20-%20Water%20Sewer.pdf> [accessed 29 March 2018].

Kuru, B. and Luetgen, M. 2012. Is gray-water reuse ready for prime time? Available from [https://www.us.kohler.com/webassets/kpna/pressreleases/2012/KOHLER-GRAYWATER\\_111412.pdf](https://www.us.kohler.com/webassets/kpna/pressreleases/2012/KOHLER-GRAYWATER_111412.pdf) [accessed 30 March 2018].

Statistics Canada. Census profile, 2016 census, Cambridge Bay [population centre], Nunavut and Nunavut [Territory]. Available from <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/details/page>.

Uyguner, C.S., Bekbolet, M., and Swiétlik, J. 2007. Natural organic matter: Definitions and characterization. In *Advances in control of disinfection by-products*. Nikolau, A., Selcuk, H., and Rizzo, L. (eds.), Nova Science Publishers Inc., New York. pp. 419–446. Available from <https://www.researchgate.net/profile/Ceyda-Uyguner-Demirel/publication/286329976-Natural-organic-matter-Definitions-and-characterization/links/566ebc08a0892c52a5df/Natural-organic-matter-Definitions-and-characterization.pdf> [accessed 25 April 2018].