

ÉVALUATION ET SURVEILLANCE DU PERGÉLISOL DANS LE PARC TERRITORIAL DE KUGLUK, AU NUNAVUT, DANS UNE PERSPECTIVE DE SENSIBILISATION DE LA COMMUNAUTÉ

S. Coulombe^{1*}, M.-A. Ducharme², M. Allard², L. Papatsie³, G. Atatahak³, L. Adjun³, S. Bilodeau² et S. Page⁴

¹ *Savoir polaire Canada, Cambridge Bay, Nunavut, Canada*

² *Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec, Québec, Canada*

³ *Nunavut Parks & Special Places, Gouvernement du Nunavut, Iqaluit, Nunavut, Canada*

⁴ *Secrétariat du changement climatique, gouvernement du Nunavut, Iqaluit, Nunavut, Canada*

* stephanie.coulombe@polar.gc.ca

Résumé

Le sentier des véhicules tout-terrain (VTT) du parc territorial de Kugluk subit d'importants dommages dus au dégel du pergélisol, à la fonte des coins de glace, aux multiples glissements de terrain et à l'érosion intense des ravins. Des modifications annuelles et le détournement d'une partie du sentier sont nécessaires pour le garder utilisable, mais la division des Parcs et Endroits spéciaux (PN&SP) du gouvernement du Nunavut et les dirigeants de la communauté aimeraient planifier un itinéraire à long terme approprié pour le sentier. Un projet collaboratif impliquant la division des Parcs du gouvernement du Nunavut, la communauté de Kugluktuk, le Climate Change Secretariat (CCS) du gouvernement du Nunavut, le Centre d'études Nordiques (CEN) de l'Université Laval et Savoir polaire Canada évaluent les processus morphologiques et les changements de conditions du pergélisol pour aider à atteindre cet objectif. Ce projet de recherche communautaire a trois objectifs principaux :

1. acquérir de nouvelles connaissances sur les conditions du pergélisol et les processus d'érosion des pentes ;
2. surveiller les changements du paysage ; et
3. soutenir le renforcement des capacités et le transfert des connaissances en offrant une formation en matière de collecte et d'analyse des données.

Le travail de terrain comprend la cartographie des changements géomorphologiques, les mesures de la profondeur du dégel, le carottage du pergélisol et les relevés par géoradar. Le savoir traditionnel local et la participation de membres de la communauté issus de plusieurs générations, à toutes les phases du projet de recherche, fournissent des informations et des perspectives essentielles sur la sensibilité du terrain et sont une source d'inspiration pour la recherche de solutions et la prise de décisions.

Référence suggérée :

Coulombe, S., Ducharme, M.-A., Allard, M., Papatsie, L., Atatahak, G., Adjun, L., Bilodeau, S. and Page, S. 2019. Évaluation et surveillance du pergélisol dans le parc territorial de Kugluk, au Nunavut, dans une perspective de sensibilisation de la communauté. *Savoir polaire : Aqhaliat 2019, Savoir polaire Canada*, p. 31–40. DOI: 10.35298/pkc.2019.04

Introduction

L'Arctique connaît actuellement un réchauffement rapide et les futures augmentations de température dans la région devraient être deux à trois fois supérieures à la moyenne mondiale (AMAP, 2017 ; Bush et Lemmen, 2019). Les changements climatiques auront une incidence sur le pergélisol en augmentant saisonnièrement la profondeur de la couche dégelée (couche active) et en faisant fondre la glace de sol. Le dégel du pergélisol à forte teneur en glace et le déplacement du sol et les modifications des paysages qui en résultent peuvent avoir des effets importants sur l'efficacité, la sécurité et la fiabilité des voies de transport nordiques, telles que les routes et les pistes d'atterrissage des avions (Allard et al., 2012 ; Doré, Niu et Brooks, 2016 ; Hjort et al., 2018). Les sentiers semi-permanents (c'est-à-dire les sentiers de véhicules tout-terrain (VTT)) utilisés par les Inuits pour se déplacer sur terre sont également considérés comme très sensibles au changement climatique (Prno et al., 2011 ; Ford et al., 2019). Ces sentiers sont des installations essentielles pour les communautés de l'Arctique – ils permettent d'accéder aux zones de chasse et de pêche traditionnelles ainsi qu'aux zones d'importance historique et culturelle pour les populations locales.

Au cours des dernières décennies, le sentier de VTT traversant le parc territorial de Kugluk a subi d'importants dommages dus au dégel du pergélisol le long de son parcours et à l'érosion des berges de la rivière Coppermine. Le sentier donne accès aux points de repère du parc et aux ressources intérieures, mais des modifications et quelques déviations sont régulièrement nécessaires pour qu'il reste utilisable. La division des Parcs et des endroits spéciaux du gouvernement du Nunavut et les dirigeants de la communauté sont à la recherche de solutions pratiques à long terme pour maintenir le fonctionnement du sentier tout en préservant l'intégrité de l'écosystème. L'évaluation des conditions géomorphologiques et de drainage et la recherche d'un meilleur itinéraire, qui constituent une préoccupation majeure pour la communauté, ont été considérées comme des priorités dans le plan de gestion des parcs de Kugluk. En réponse à ces besoins et préoccupations, le Comité mixte de planification et de gestion de la communauté de Kugluk (CJPMC) et la division des Parcs et des endroits spéciaux ont lancé ce projet communautaire en 2017 en collaboration avec la communauté de Kugluktuk, le Climate Change Secretariat (CCS) du gouvernement

du Nunavut, le Centre d'études Nordiques (CEN) de l'Université Laval et Savoir polaire Canada. L'objectif général de ce projet est d'améliorer l'accès à la terre pour les Nunavummiut, en particulier ceux qui se rendent dans le parc territorial de Kugluk et ses environs et qui le traversent.

Sous la direction du CJPMC de Kugluk, trois objectifs ont été établis :

1. accroître nos connaissances sur les conditions du pergélisol et les processus d'érosion des pentes dans le parc, en particulier le long des sentiers de VTT ;
2. surveiller les changements de paysage ; et
3. impliquer la jeunesse locale à la fois dans l'évaluation de la sensibilité du terrain et dans les phases de construction du projet afin d'offrir des possibilités de formation et d'acquisition de compétences.

Cet article présente les activités de recherche, de sensibilisation et de formation qui ont eu lieu de 2017 à 2019. Il comprend les résultats préliminaires de la première phase des travaux, en se concentrant sur les conditions de pergélisol et la sensibilité du terrain le long du nouveau sentier de VTT proposé. D'une perspective d'adaptation aux changements climatiques, ce projet permettra d'identifier les zones où les conditions de la glace de sol devraient être particulièrement problématiques et pourraient nécessiter une attention accrue lors de la construction et de l'entretien du sentier de promenade.

Zone de recherche

Le parc territorial Kugluk (67,8°N, -115,3°O, environ 50 mètres (m) au-dessus du niveau de la mer) se trouve à environ 12 kilomètres (km) du hameau de Kugluktuk (Figure 1). Kugluktuk est situé à l'embouchure de la rivière Coppermine et constitue la communauté la plus occidentale du Nunavut. La zone du parc est très importante pour la communauté car elle donne accès à des terrains de camping et de chasse traditionnels utilisés pour des activités de subsistance et culturelles qui contribuent au bien-être de la communauté et des individus. Depuis plus de 3 500 ans, ce site a été continuellement utilisé par les hommes pour la pêche saisonnière et à la chasse au caribou pour la subsistance (Parks et Endroits spéciaux Nunavut, 2019). En raison de

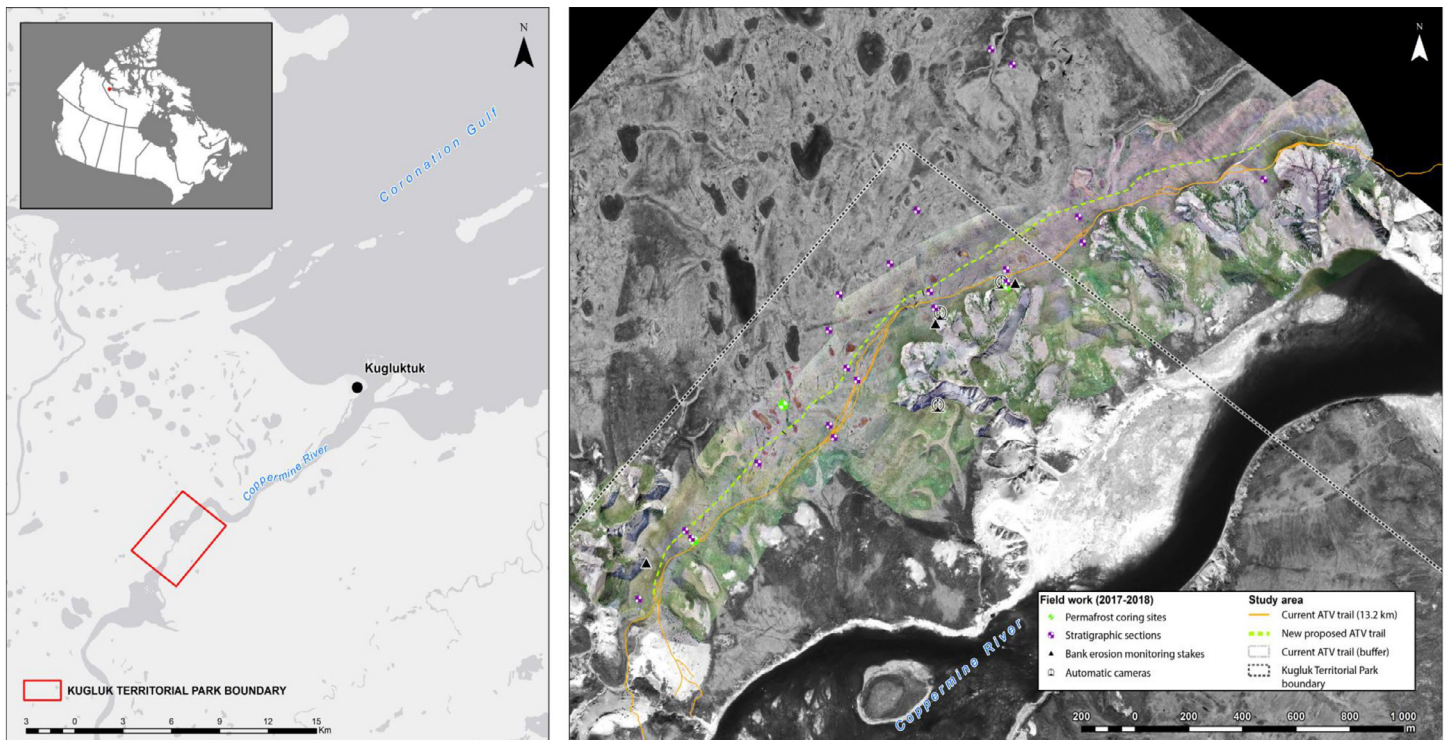


Figure 1 : Emplacement du parc national Kugluk, Nunavut (gauche). Sentier VTT actuel (orange) et nouveau sentier VTT proposé (vert), et sites de carottage (droite).

sa valeur culturelle, historique et panoramique, le site a été ciblé pour devenir un parc protégé en 1969. Lors de la création du Nunavut (1999), la responsabilité du parc a été transférée au gouvernement du Nunavut.

La température annuelle de l'air de Kuglukuk est de $-10,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, avec des moyennes mensuelles de $-27,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en février et de $+10,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ en juillet (Environnement et Changement climatique Canada, 2019). Cette région reçoit une moyenne de précipitations annuelle de 247 millimètres (mm), dont 60 % tombent en pluie entre juin et septembre (Environnement et Changement climatique Canada, 2019). La région d'étude est située dans une zone où le pergélisol continu est d'une épaisseur d'environ 100-500 m, d'après les données sur la température (Smith et Burgess, 2002). Les températures du pergélisol ont été enregistrées sur deux sites de surveillance à l'est de Kuglukuk, entre 1995 et 1996 (Wolfe, 2000). La température annuelle moyenne du sol à une profondeur d'environ 15 m était d'environ $-6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant cette période (une année complète de données). Ces sites de surveillances ne sont plus en activité et, par conséquent, aucune donnée récente n'était accessible au début de ce projet.

La cartographie à grande échelle de la géologie de surface a été entreprise dans la région par St-Onge

(1988), Kerr, Dredge et Ward (1997), Dredge (2001) et St-Onge (2012). Le paysage actuel de la région de Kuglukuk est caractérisé par des basses terres côtières et une série de terrasses et de deltas s'élevant d'environ 10 à 170 m au-dessus du niveau de la mer dans le delta marin (St-Onge, 2012). Le parc est situé sur une terrasse de delta, où se trouve un vaste réseau de polygones de lisières de glace.

Matériels et méthodes

Travaux sur le terrain

Ce projet de recherche a commencé par une évaluation préliminaire de la géologie de surface et des processus périglaciaires dans le parc, guidée par le CJPMC de Kugluk et le NP & SP. Les activités sur le terrain se sont concentrées sur le sentier de VTT actuel et le nouveau sentier proposé (Figure 1). Une imagerie par satellite contemporaine à haute résolution spatiale (GeoEye, pixel = 0,5 m ; 2017) et des photographies aériennes historiques (photos datées de 1950, 1993 et 2010) ont été utilisées pour quantifier les changements dans les lacs et les étangs thermokarstiques de 1950 à 2010. Outre les techniques d'interprétation visuelle pour la cartographie, une fonction de classification semi-automatique a été utilisée pour extraire les lacs et les étangs de l'image

satellite et des photographies aériennes. Tous les processus géomorphologiques et les formes de terrain (par exemple, les zones sensibles à l'affaissement dû au dégel, les ravines, les polygones de lisière de glace) ont été identifiés et numérisés manuellement à l'écran dans un système d'information géographique pour produire une carte précise de la région.

Le parc compte de nombreux sites archéologiques inscrits auprès du ministère de la Culture et du Patrimoine (gouvernement du Nunavut) et de l'Inuit Heritage Trust. Un archéologue a donc été impliqué dans nos activités de terrain pour s'assurer qu'aucun artefact archéologique n'était perturbé. Des carottes de pergélisol intactes ont été prélevées à l'aide d'une foreuse portable équipée d'un carottier à carbure de diamant de 4 pouces. Deux forages peu profonds ont été réalisés à des profondeurs de 5 m et 4,5 m, respectivement. Toutes les carottes gelées et les échantillons localisés ont été photographiés et décrits sur le terrain relativement au type de sédiment et à la cryostratigraphie, en mettant l'accent sur le type de sédiment, la teneur en glace et les motifs de la glace (French et Shur, 2010 ; Gilbert, Kanevskiy et Murton, 2016). Les échantillons ont été conservés congelés, puis envoyés au laboratoire de l'Université Laval pour une analyse plus approfondie (pour le contenu en glace par exemple). La distribution granulométrique du sol et sa teneur en glace sont des informations essentielles pour évaluer le potentiel d'affaissement dû au dégel. La profondeur du dégel a été mesurée à de nombreux endroits (n = 24) dans le parc en creusant des fosses dans le sol.

Les deux forages ont été équipés d'enregistreurs automatiques de données (LogR Systems Inc.) et de câbles de thermistance. Les deux câbles de thermistance étaient équipés de 16 capteurs de température installés entre 0,15 m et environ 5 m sous la surface du sol. Les câbles ont été placés dans des tuyaux en PVC remplis d'huile de silicone pour assurer un contact thermique optimal. L'acquisition des données horaires a commencé le 25 juillet 2018. Ces sites de surveillance fourniront des enregistrements précieux sur l'épaisseur de la couche active et le régime de température du pergélisol dans la région d'étude. Ces mesures sont nécessaires pour évaluer comment les changements climatiques auront une incidence sur la stabilité et le comportement du sol, qui sont fortement influencés par la température du sol.

Une étude par géoradar a été réalisée en juillet 2018 pour étudier le sol gelé sous le nouveau sentier de VTT proposé (Figure 1). Les systèmes de géoradar utilisent

des antennes radar d'émission et de réception séparées. Une antenne d'émission produit une série d'impulsions électromagnétiques qui se propagent dans le sol et qui sont réfléchies lorsque les propriétés du sol changent. Cet outil est bien adapté à la cartographie de l'épaisseur de la couche active (couche de surface non gelée/pergélisol gelé) et à la stratigraphie du pergélisol en raison des grands contrastes de propriétés diélectriques entre les différentes couches et structures souterraines (Hinkel et al., 2001 ; Kneisel et al., 2008). Le géoradar est très utile pour détecter les coins de glace et estimer leur profondeur et leur taille car ils génèrent des modèles de réflexion spécifiques appelés réflecteurs hyperboliques (Fortier et Allard, 2004 ; Jørgensen et Andreasen, 2007 ; LeBlanc et al., 2012). L'instrument utilisé dans ce projet était un contrôleur pulseEKKO PRO à capteurs et logiciel avec des antennes de 100 mégahertz (MHz) et 200 MHz. Les mesures à haute fréquence (par exemple 200 MHz) ont généralement une meilleure résolution verticale pour détecter les structures proches de la surface dans le pergélisol (par exemple les coins de glace), mais n'atteignent que de faibles profondeurs. Inversement, les antennes basse fréquence (par exemple 50 et 100 MHz) atteignent des profondeurs plus importantes, mais avec une résolution plus faible. Les profils du géoradar ont été calibrés et corrélés avec les carottes de sol et les mesures de la profondeur de dégel. Les profils ont été post-traités à l'aide du logiciel privé Sensor and Software EKKO Project Version 5. Le post-traitement comprenait la correction du temps zéro et l'intégration des données GPS, la topographie et le filtrage horizontal pour améliorer la visualisation des réflecteurs horizontaux.

Participation de la communauté dans le projet

Dès le début, ce projet de collaboration a impliqué un échange de connaissances à différents stades du processus de recherche (par exemple, conception du projet, collecte de données, interprétation des résultats). Un aîné local a également participé à ce projet, apportant ses connaissances sur les changements survenus dans le parc et ses environs, sur la manière d'évaluer la sécurité du terrain et sur la manière dont des problèmes similaires ont été traités dans le passé. Ces connaissances ont facilité la compréhension à l'échelle locale des changements qui se produisent dans la région. Un autre aspect important de ce projet consistait à offrir des possibilités d'apprentissage et de formation aux membres des communautés et aux jeunes locaux en matière de science du pergélisol, de techniques de surveillance et de transfert de connaissances concernant la manière dont l'évaluation est effectuée.

Un groupe de jeunes de Kugluktuk, accompagné de techniciens de terrain de Cambridge Bay, ont rejoint les chercheurs pendant plusieurs jours pour effectuer l'évaluation des terres.

Résultats préliminaires

Évolution des lacs et des étangs

Le nombre de lacs et d'étangs thermokarstiques est passé de 244 en 1954, à 618 en 1993 et à 1 413 en 2010, soit une augmentation de 480 % au cours des 60 dernières années (Figure 2). La surface totale a également augmenté (0,363 km² à 0,446 km² ou + 23 %) au cours de la même période. Il est évident qu'il y a eu une augmentation du nombre de petits lacs et d'étangs en raison de la dégradation du coin de glace. Ces petites masses d'eau évoluent à partir de l'agrandissement des étangs enfermés dans la dépression des polygones de basse terre à coins de glace et de la fonte des coins de glace (profonde dépression remplie d'eau). La plupart des grands lacs se sont étendus latéralement par érosion thermique

et mécanique au cours de cette période de 60 ans. La cartographie détaillée met également en évidence une possible dégradation causée par un ancien sentier de VTT (1993). Il en résulte souvent une dégradation longitudinale des dépressions (ou coin de glace).

Conditions du pergélisol

Les journaux de forage présentés à la figure 3 indiquent une séquence de sable moyen à grossier et de sédiments à grain fin (limon et argile). Les profondeurs de dégel mesurées à la mi-juillet (2017 et 2018) varient entre 0,4 et 1,2 m (moyenne : 0,75 m), en fonction de l'humidité du sol et de la couche de tourbe. De la surface jusqu'à environ 0,5 m, le bloc supérieur (C) est composé de tourbe fibreuse mélangée à des matériaux sableux. Le bloc B est composé de sable moyen à grossier pauvre en glace, intercalé de couches de limon et d'argile présentant une cryostructure en suspension. Les couches de sable ont un cryofacies de sédiments pauvres en glace avec une cryostructure sans structure,

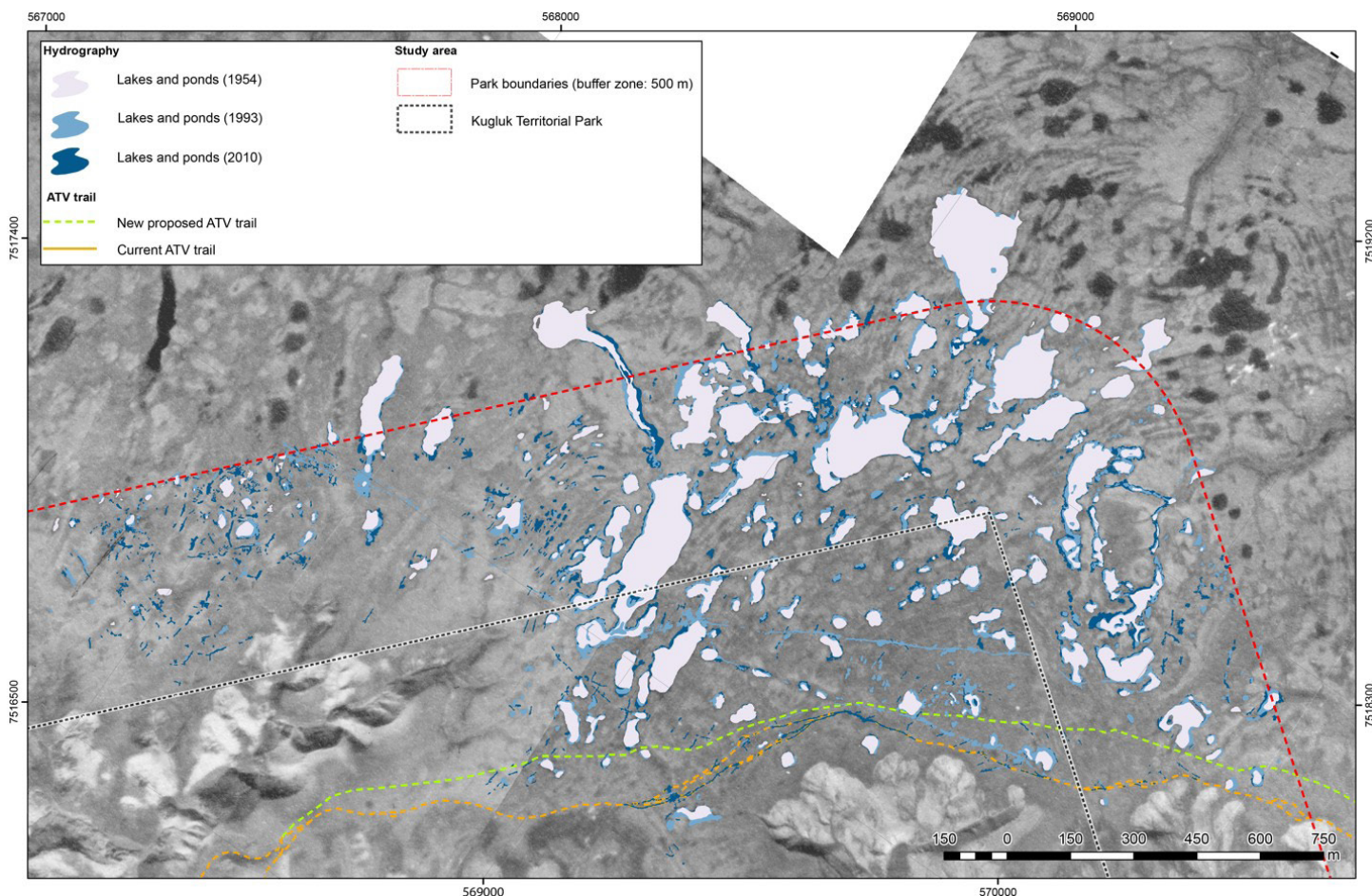


Figure 2 : Évolution du nombre de lacs et d'étangs et de la superficie des lacs.

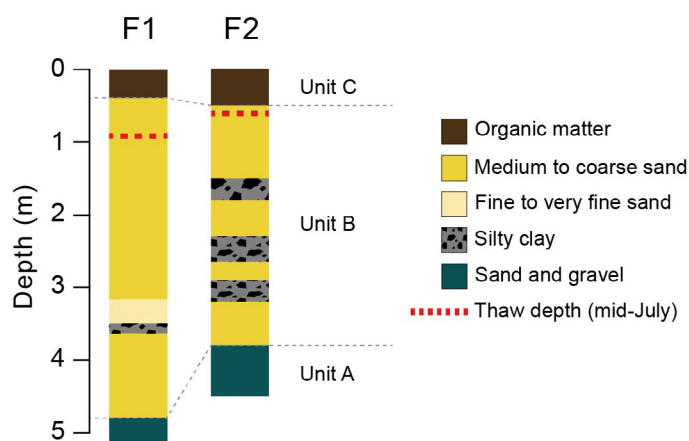


Figure 3 : Relevés des deux forages réalisés en juillet 2017 (F1) et en juillet 2018 (F2).

essentiellement composée de glace poreuse. Ce type de glace de sol se trouve dans les pores des sols et n'est pas visible à l'œil nu (teneur en glace : environ 12 %). Le bloc inférieur (A) est composé de sable et de gravier grossiers avec des cailloux arrondis. Aucune glace n'a pu être observée dans ce bloc car la chaleur générée lors du carottage a fait dégeler le sol et le matériau a fini par être remanié. Cette séquence de sédiments est interprétée comme un dépôt deltaïque formant un delta marin postglaciaire. Ces observations sont cohérentes avec l'histoire postglaciaire de la région décrite par St-Onge (2012). La température du sol des deux nouveaux forages sera relevée en juillet 2019 (une année complète de données), ce qui donnera un aperçu des conditions actuelles du pergélisol dans la région.

Études par géoradar

Le géoradar a permis d'obtenir des renseignements sur la subsurface à une plus grande profondeur que les données de cartographie et de forage. Sur les images du géoradar, une couche irrégulière a été observée à des profondeurs allant de 0,5 à 1,5 m, ce qui représente le contact entre le front de dégel (c'est-à-dire le fond de la couche non gelée) et le sol gelé en dessous (Figure 4). Les réflexions hyperboliques proches de la surface, plus ou moins également espacées dans le profil du géoradar, sont interprétées comme étant des coins de glace. Au total, 79 coins de glace ont été détectés sous le nouveau sentier proposé et 30 % d'entre eux étaient visibles depuis la surface du sol pendant l'enquête. Dans la plupart des cas, il n'y avait pas de dépressions, de crêtes ou de fissures visibles à la surface du sol.

Les coins de glace ont une largeur d'environ 3 à 6 m au niveau de la limite du pergélisol. Les sommets des coins de glace sont situés à environ 1 à 1,5 m sous la surface du sol s'étendant jusqu'à au moins 4 m de profondeur. L'étendue verticale maximale des coins de glace reste inconnue car la pénétration maximale du signal était d'une profondeur de 4 m. Les positions des coins de glace observées sur les profils du géoradar correspondaient aux dépressions des coins de glace qui délimitent les polygones visibles sur l'image satellite à haute résolution (Figure 4). Cela confirme donc que le sentier de VTT repose sur de nombreux coins de glace. Cette forte teneur en glace rend la région d'étude très vulnérable au thermokarst et à l'érosion thermique. En outre, de nombreux ravins ont été observés dans la région et beaucoup d'entre eux présentent des signes d'érosion thermique active. Il a également été observé que l'érosion et le recul du haut des escarpements des glissements de terrain sont contrôlés par la configuration des coins de glace dans le pergélisol. Toute perturbation future du régime thermique de la surface du sol, telle que le défrichage de la végétation, l'augmentation de l'accumulation de neige ou d'eau, ou l'augmentation de la température annuelle moyenne de l'air, pourrait potentiellement entraîner une dégradation supplémentaire du pergélisol et le tassement du sol provoqué par le dégel. En conséquence, le PN&SP construit un nouveau segment de promenade flottante en bois d'environ 3,2 km de long et 2,4 m de large. Les travaux ont commencé en 2019 et devraient s'achever en 2020. Ce nouveau tracé de promenade contribuera à réduire les effets cumulés des VTT sur la végétation et les sols (c'est-à-dire l'enlèvement de la végétation et le compactage de la couche de tourbe), qui créent un déséquilibre du régime thermique de la couche active ainsi que du pergélisol.

Activités de formation et de sensibilisation

Au cours des deux dernières années, les membres de l'équipe de projet ont également organisé et participé à de nombreuses activités de sensibilisation pour communiquer des informations et tenir les membres de la communauté au courant des avancées du projet (Figure 5). L'objectif de ces activités était de sensibiliser la population locale au pergélisol et aux risques potentiels liés aux changements climatiques. Parmi les événements et les activités entrepris au cours du projet, citons :

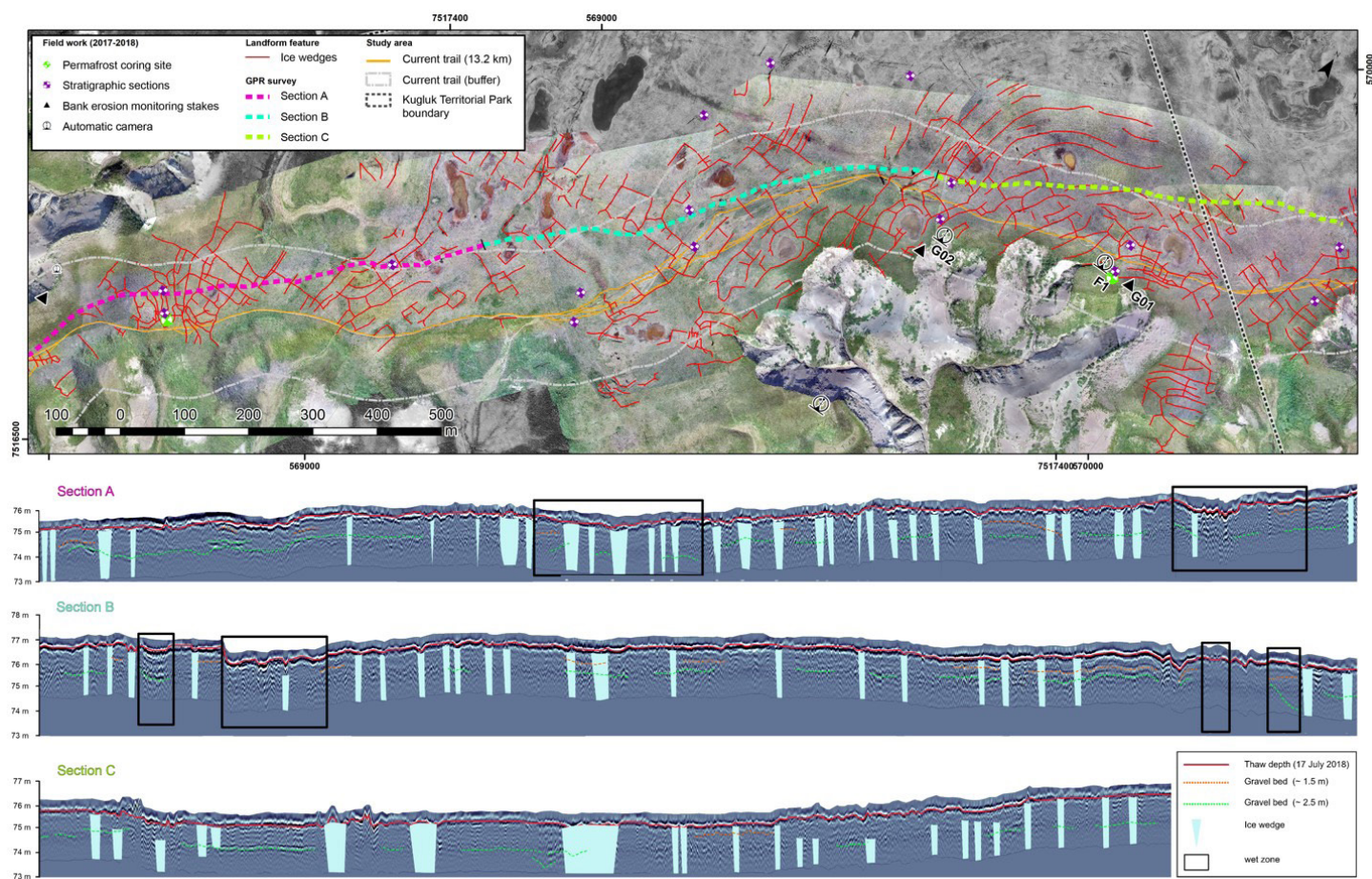


Figure 4 : Photo aérienne avec tous les coins de glace numérisés, et le profil géoradar du nouveau sentier de VTT proposé et l'interprétation des coins de glace.

- **Réunions du CJPMC du Kugluk :** Quatre réunions ont été organisées avec le CJPMC de Kugluk pour discuter des objectifs et de la conception du projet et pour offrir un retour d'information et des résultats à mesure que les étapes clés étaient franchies. L'objectif de ces réunions était de veiller à ce que les priorités et les préoccupations du comité soient correctement prises en compte tout au long du projet.
- **Journée des parcs du Nunavut :** En 2017, des membres de l'équipe de projet ont participé à la Journée des parcs du Nunavut et ont expliqué le projet à l'aide de cartes et d'images satellites. En outre, de nombreux membres de la communauté ont partagé leurs observations sur l'état passé et actuel du paysage et sur la manière dont ces changements influencent la vie communautaire.
- **Participation à des conférences scientifiques :** Ce projet a été coprésenté à trois conférences scientifiques avec Frank Ikpakohak (aîné de la communauté), Darryl Havioyak (membre du conseil

d'administration de la CJMPC) et Larry Adjun (employé du PN&SP et président de la Hunters and Trappers Organization de Kugluktuk (HTO)). Lors de la conférence Arctic Change (11 au 15 décembre 2017), les membres de notre équipe ont participé à un documentaire sur l'adaptation au changement climatique dans l'ouest du Nunavut, qui a été présenté lors de l'expédition Arctic 2018 (Students on Ice).

- **Entrevues à la radio :** Les membres de l'équipe du projet ont participé à des entrevues à la station de radio locale pour parler des changements climatiques, des problèmes liés au pergélisol et communiquer les résultats de la recherche avec la communauté. Les membres de la communauté ont appelé et fait part de leurs expériences sur les changements climatiques et ont posé des questions sur le projet.

- **Soirées communautaires** : L'équipe a organisé trois soirées communautaires pour présenter le projet et recueillir les points de vue locaux sur les changements observés dans la région. Au cours de ces soirées, de courts documentaires sur les changements climatiques dans l'Arctique ont également été présentés.
- **Pergélisol 101** : Un cours d'introduction aux concepts de base du pergélisol a été proposé à divers participants du CJPMC de Kugluk, du HTO, de l'association inuite de Kitikmeot (KIA) et du hameau de Kugluktuk.

Travaux futurs

La prochaine phase (2019-2020) de ce projet communautaire évaluera la sensibilité du pergélisol le long de la nouvelle route qui donnera accès au parc depuis la communauté de Kugluktuk. Des études supplémentaires au moyen de géoradars et de véhicules aériens sans pilote seront menées le long de cette nouvelle route afin de caractériser les conditions du pergélisol. Ces résultats permettront d'évaluer la sensibilité au dégel et les impacts potentiels futurs

le long de la route. En outre, une priorité essentielle sera de former des surveillants communautaires au sein de la communauté pour leur permettre de poursuivre les activités de surveillance du pergélisol dans le parc (c'est-à-dire l'analyse et l'interprétation des données de température du sol, la maintenance des enregistreurs de données). Des membres de l'équipe de projet aimeraient organiser des sessions de formation supplémentaires au cours de l'année prochaine à la Station canadienne de recherche dans l'Extrême-Arctique (SCREA) à Cambridge Bay, au Nunavut, et au CEN à Québec, au Québec. Comme les années précédentes, l'équipe organisera et participera à une variété d'événements qui impliqueront les jeunes et dans lesquels les membres de la communauté seront invités à rencontrer l'équipe et à en apprendre davantage sur le projet. Ce projet de recherche continuera à placer la communauté dans un rôle de leader dans l'évaluation et la réponse aux changements environnementaux qui se produisent déjà et veillera à ce que les voies de transport semi-permanentes soient plus durables et plus résistantes aux changements climatiques et au dégel du pergélisol.



Figure 5 : Activités de sensibilisation et de formation : a) Réunion du CJPMC de Kugluk ; b) Journée des parcs du Nunavut ; c) Entrevue donnée par Michel Allard à la station de radio locale ; d) Forage dans le pergélisol ; e) Des jeunes effectuant des études cinématiques en temps réel pour cartographier les berges des rivières ; f) Des jeunes et le personnel du PN&SP utilisent la station de surveillance et téléchargent des données sur la température.

Conclusions

Ce projet de recherche a permis de mieux comprendre comment le pergélisol sensible au dégel compromet le sentier de VTT dans le parc territorial de Kugluk. Les travaux préliminaires démontrent que :

1. Les polygones de coin de glace sont bien développés dans la région. Ce paysage de pergélisol riche en glace pourrait être touché par la subsidence du dégel et l'érosion thermique. Cette situation peut être causée par des processus naturels dans un contexte de réchauffement climatique ou par des activités humaines (par exemple, perturbation de la surface par des véhicules hors route).
2. La majorité des lacs et des étangs thermokarstiques sont en expansion active et la formation de nouveaux étangs est le résultat de la dégradation du pergélisol. L'analyse de l'abondance et de la superficie des lacs sur la période de 60 ans couverte par l'étude révèle une dégradation naturelle du pergélisol dans la zone étudiée, et pas seulement le long du sentier.
3. Le sentier est marqué par la présence de nombreuses dépressions profondes causées par la fonte du sommet des coins de glace provoquant un affaissement différentiel du sol. Il en résulte souvent une accumulation d'eau et une plus grande accumulation de neige, ce qui peut accélérer encore la dégradation du coin de glace.
4. Le dégel des coins de glace a causé le développement de ravines et a modifié les modèles d'érosion des berges dans le parc.
5. L'augmentation des températures de l'air et du sol devrait accroître la dégradation des coins de glace. Compte tenu des projections climatiques futures, il est important de déterminer les zones où le pergélisol est riche en glace afin de prévoir quelles sections du sentier sont les plus sensibles aux dommages causés par le dégel du pergélisol. L'adoption de bonnes pratiques de planification et de gestion, telles que la construction d'une promenade de bois, aidera à minimiser ou à prévenir les perturbations du terrain le long du nouveau sentier.

6. Il est essentiel d'impliquer les membres des communautés dans la recherche sur le pergélisol afin de leur permettre de mieux documenter les changements du pergélisol et du paysage, et de s'adapter aux changements climatiques. Pour faciliter la participation de la communauté aux efforts de recherche, de surveillance et d'adaptation, ce projet met l'accent sur le renforcement des capacités par la formation et la mise à disposition d'information sur le pergélisol.

Remerciements

Le soutien financier pour ce projet a été offert par le Programme : Se préparer aux changements climatiques dans le Nord de Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada. Nous remercions tout particulièrement le personnel du PN&SP pour ses conseils sur le choix du site et l'installation des instruments, ainsi que pour l'entretien continu des sites de surveillance et la collecte des données. Nous sommes reconnaissants à OJ Berhardt, Andrew Jack Atatahak, Zachary Kunana, Kevin Kamoayok, Aili Pedersen, Alysha Maksagak, Jennifer Kilabuk, Joanna MacDonald et Sara Holzman pour leur aide dans ce projet. Nous souhaitons également remercier Frank Ipkahak, les membres de la communauté de Kugluktuk et le CJPMC de Kugluk pour leur intérêt pour le projet et leur précieuse connaissance du paysage qui ont été essentiels à la réussite de ce projet.

Références

- Allard M., Lemay M., Barrette C., et al. 2012. Permafrost and climate change in Nunavik and Nunatsiavut: Importance for municipal and transportation infrastructures. In: Nunavik and Nunatsiavut: from science to policy. An integrated regional impact study (IRIS) of climate change and modernization, edited by M. Allard and M. Lemay. ArcticNet Inc., Quebec City, Quebec. pp 171–197.
- AMAP. 2017. Snow, water, ice, permafrost in the Arctic (SWIPA). Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway.
- Bush, E., Lemmen, D.S. (eds.) 2019. Canada's Changing Climate Report. Government of Canada, Ottawa, Ontario. 444 p. Retrieved from: <https://www.changingclimate.ca/CCCR2019> [accessed April 1, 2019].

- Doré, G., Niu, F., Brooks, H. 2016. Adaptation Methods for Transportation Infrastructure Built on Degrading Permafrost. *Permafrost and Periglacial Processes*, 27(4):352–364. doi: 10.1002/ppp.1919.
- Dredge, L.A. 2001. Where the river meets the sea: geology and landforms of the lower Coppermine River valley and Kugluktuk, Nunavut. Geological Survey of Canada, Miscellaneous Report 69, Ottawa, Ontario.
- Environment and Climate Change Canada. 2019. Canadian Climate Normals, Kugluktuk Station Data. Retrieved from: http://climate.weather.gc.ca/climate_normals [accessed Jan 20, 2019].
- Ford, J.D., Clark, D., Pearce, T., et al. 2019. Changing access to ice, land and water in Arctic communities. *Nature Climate Change*, 9:335–339. doi: 10.1038/s41558-019-0435-7.
- Fortier, D., Allard, M. 2004. Late Holocene syngenetic ice-wedge polygons development, Bylot Island, Canadian Arctic Archipelago. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 41(8):997–1012. doi: 10.1139/e04-031.
- French, H., Shur, Y. 2010. The principles of cryostratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 101(3):190–206. doi: 10.1016/j.earscirev.2010.04.002.
- Gilbert, G.L., Kanevskiy, M., Murton, J.B. 2016. Recent Advances (2008–2015) in the Study of Ground Ice and Cryostratigraphy. *Permafrost and Periglacial Process*, 27(4):377–389. doi: 10.1002/ppp.1912.
- Hinkel, K.M., Doolittle, J.A., Bockheim, J.G., et al. 2001. Detection of subsurface permafrost features with ground-penetrating radar, Barrow, Alaska. *Permafrost Periglacial Process*, 12(2):179–190. doi: 10.1002/ppp.369.
- Hjort, J., Karjalainen, O., Aalto, J., et al. 2018. Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century. *Nature Communications*, 9:5147. doi: 10.1038/s41467-018-07557-4.
- Jørgensen, A.S., Andreasen, F. 2007. Mapping of permafrost surface using ground-penetrating radar at Kangerlussuaq Airport, western Greenland. *Cold Regions Science and Technology*, 48(1):64–72. doi: 10.1016/j.coldregions.2006.10.007.
- Kerr, D.E., Dredge, L.A., Ward, B.C. 1997. Surficial geology, Coppermine (east half), District of Mackenzie, Northwest Territories. Retrieved from: <https://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/fulle.web&search1=R=209395>. doi:10.4095/289237.
- Kneisel, C., Hauck, C., Fortier, R., Moorman, B. 2008. Advances in geophysical methods for permafrost investigations. *Permafrost and Periglacial Processes*, 19(2):157–178. doi: 10.1002/ppp.616.
- LeBlanc, A.-M., Short, N., Oldenborger, G.A., et al. 2012. Geophysical Investigation and InSAR Mapping of Permafrost and Ground Movement at the Iqaluit Airport. In: *Cold Regions Engineering*. American Society of Civil Engineers, Quebec City, Quebec. August 19-22, 2012, pp 644–654. doi: 10.1061/9780784412473.064.
- Nunavut Parks and Special Places. 2019. Kugluk (Bloody Falls) Territorial Park. Department of Environment, Government of Nunavut. Retrieved from: <https://nunavutparks.com/parks-special-places/kugluk-bloody-falls-territorial-park/> [accessed Jan 20, 2019].
- Prno, J., Bradshaw, B., Wandel, J., et al. 2011. Community vulnerability to climate change in the context of other exposure-sensitivities in Kugluktuk, Nunavut. *Polar Research*, 30(1):7363. doi: 10.3402/polar.v30i0.7363.
- Smith, S.L., Burgess, M.M. 2002. A digital database of permafrost thickness in Canada. Geological Survey of Canada, Open File 4173. doi: 10.4095/213043.
- St-Onge, D.A. 1988. Surficial Geology of Coppermine River, District of Mackenzie, Northwest Territories. Geological Survey of Canada, “A” Series Map 1645 A. Retrieved from: <https://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/fulle.web&search1=R=126431>. doi: 10.4095/126431.
- St-Onge, D.A. 2012. Late Wisconsinan Morphosedimentary Sequences of the Lower Coppermine River Valley, Nunavut and Northwest Territories. *Geoscience Canada*, 39(3):132–147.
- Wolfe, S.A. 2000. Permafrost research and monitoring stations in west Kitikmeot, Slave geological province, Nunavut. Geological Survey of Canada, Open File 3848. doi: 10.4095/211242.