

# Commission géologique du Canada

## Géosciences pour tous 99

### Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique du Canada : articles d'information



S.A. Wolfe, P.D. Morse, R. Fraser, D.E. Kerr, J.J. Van der Sanden,  
N.H. Short et Y. Zhang

2017



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada





Commission géologique du Canada  
Géosciences pour tous 99

**Géosciences des changements climatiques dans  
la région subarctique du Canada :  
articles d'information**

S.A. Wolfe, P.D. Morse, R. Fraser, D.E. Kerr,  
J.J. Van der Sanden, N.H. Short et Y. Zhang

2017



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

ISSN 1914-4954

ISBN 978-0-660-07986-8

N° de catalogue M41-9/99F-PDF

doi:10.4095/299884

Les bibliothèques de dépôt d'un bout à l'autre du pays ont accès à la présente publication par l'intermédiaire du site Web du Programme des services de dépôt (<http://dsp-psd.tpsgc.gc.ca>).

On peut télécharger cette publication gratuitement à partir de GEOSCAN  
<http://geoscan.rncan.gc.ca>

This publication is also available in English.

### Notation bibliographique conseillée

Wolfe, S.A., Morse, P.D., Fraser, R., Kerr, D.E., Van der Sanden, J.J., Short, N.H. et Zhang, Y.,  
2017. Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique du Canada : articles  
d'information; Commission géologique du Canada, Géosciences pour tous 99, 16 p.  
doi:10.4095/299884

### Illustration de la page couverture

La capacité de s'adapter aux impacts des changements climatiques commence par une compréhension des effets de ceux-ci sur les milieux naturel et bâti. Le personnel de RNCan applique ses connaissances géoscientifiques aux effets des changements climatiques dans la région subarctique du Canada afin d'aborder la question des impacts et de l'adaptation.

### Lecture critique

A. Plouffe

J. Cudlip

### Auteurs

**S.A. Wolfe** ([stephen.wolfe@canada.ca](mailto:stephen.wolfe@canada.ca))

**P.D. Morse** ([peter.morse@canada.ca](mailto:peter.morse@canada.ca))

**D.E. Kerr** ([daniel.kerr@canada.ca](mailto:daniel.kerr@canada.ca))

Commission géologique du Canada

601, rue Booth

Ottawa (Ontario)

K1A 0E8

**N.H. Short** ([naomi.short@canada.ca](mailto:naomi.short@canada.ca))

Centre canadien de cartographie et d'observation de la Terre

588, rue Booth

Ottawa (Ontario)

K1A 0Y7

**R. Fraser** ([robert.fraser@canada.ca](mailto:robert.fraser@canada.ca))

**J.J. Van der Sanden** ([joost.vandersanden@canada.ca](mailto:joost.vandersanden@canada.ca))

**Y. Zhang** ([yu.zhang@canada.ca](mailto:yu.zhang@canada.ca))

Centre canadien de cartographie et d'observation de la Terre

560, rue Rochester

Ottawa (Ontario)

K1S 5K2

Le contenu de cette publication ou de ce produit peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

On demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et le nom de l'organisation qui en est l'auteur;
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada (RNCan) et que la reproduction n'a pas été faite en association avec RNCan ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de RNCan. Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec RNCan à [rncan.copyrightdroitdauteur.rncan@canada.ca](mailto:rncan.copyrightdroitdauteur.rncan@canada.ca).

# Table des matières

|  |    |
|--|----|
| Résumé.....  | vi |
| Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique du Canada .....   | 1  |
| Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique<br>du Canada : géologie des formations superficielles .....   | 3  |
| Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique<br>du Canada : répartition du pergélisol et changements ..... | 5  |
| Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique<br>du Canada: températures du sol .....                       | 7  |
| Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique<br>du Canada : terrains riches en glace et thermokarst .....  | 9  |
| Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique<br>du Canada : routes d'hiver .....                           | 11 |
| Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique<br>du Canada : détection des changements.....                 | 13 |
| Remerciements.....   | 15 |
| Références.....  | 15 |

## **Résumé**

*Les températures de l'air dans le Nord du Canada se sont élevées à une vitesse trois à quatre fois plus grande que la vitesse moyenne mondiale. Ce réchauffement, et ses conséquences sur l'environnement et les habitants du Nord, est très préoccupant. C'est particulièrement vrai pour la région subarctique du Canada, dont le sol se trouve à la limite sensible entre le sol gelé en saison et le sol gelé toute l'année (appelé pergélisol). Ressources naturelles Canada aborde les enjeux prioritaires en géosciences qui sont importants pour les Canadiens. Le programme Géosciences des changements climatiques, en partenariat avec d'autres organismes, applique les connaissances, les techniques et les innovations aux enjeux que sont les impacts des changements climatiques et l'adaptation à ceux-ci. Dans cette série d'articles d'information, nous décrivons l'application de notre expertise géoscientifique et son apport au traitement des enjeux liés aux changements climatiques et à l'adaptation à ceux-ci dans la région subarctique du Canada. Ces articles traitent des questions suivantes : la géologie des formations superficielles, la répartition du pergélisol et les changements, les températures du sol, les terrains riches en glace et le thermokarst, les routes d'hiver et la détection des changements. Une liste des publications pertinentes quant aux activités de recherche présentées dans chaque article d'information est fournie à la fin du présent document.*

## **Abstract**

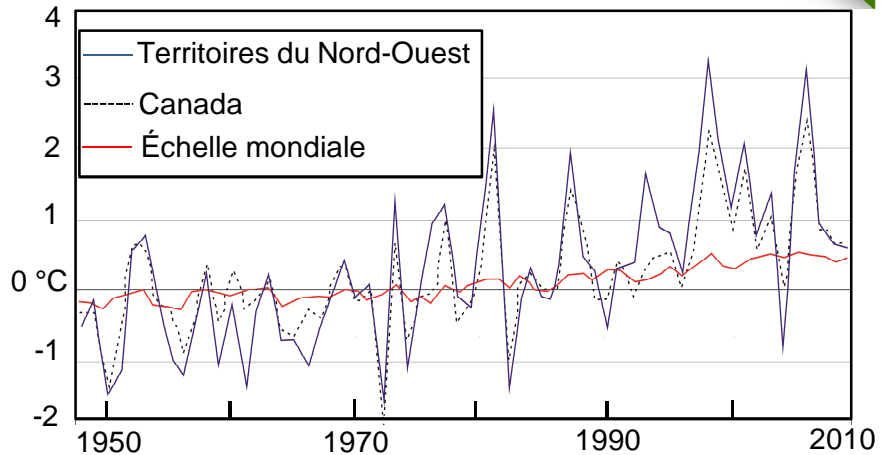
*Air temperatures in northern Canada are rising at a rate of three to four times that of the global average. This warming, and its consequences on the environment and people of the North, is of significant concern. This is particularly true for sub-Arctic Canada, which is located within a sensitive boundary between seasonally and perennially frozen ground (known as permafrost). Natural Resources Canada addresses priority geoscience issues important to Canadians. The Climate Change Geoscience Program, in partnership with other agencies, applies knowledge, techniques, and innovations to issues of climate change impacts and adaptations. This series of information pages describes the application of our geoscience expertise and its impact on addressing climate change and adaptation in sub-Arctic Canada. These pages cover the issues of surficial geology, permafrost distribution and change, ground temperatures, ice-rich terrain and thermokarst, winter roads, and change detection. A list of publications pertinent to the research activities presented in the information pages is provided at the end of this document.*



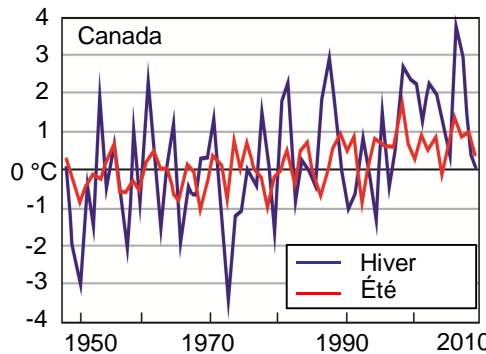
## Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique du Canada

**L'enjeu** Les températures de l'air dans le Nord du Canada se sont élevées à une vitesse trois à quatre fois plus grande que la vitesse moyenne mondiale. Ce réchauffement est très préoccupant, particulièrement dans la région subarctique du Canada où le sol peut être gelé toute l'année (appelé **pergélisol**) ou seulement en saison.

**Notre démarche** Ressources naturelles Canada aborde les enjeux prioritaires en **géosciences** qui sont importants pour les Canadiens. Le programme Géosciences des changements climatiques, en partenariat avec d'autres organismes, applique les connaissances, les techniques et les innovations aux enjeux que sont les impacts des changements climatiques et l'adaptation à ceux-ci. La recherche s'étend aussi aux enjeux de gestion des ressources, de protection de l'environnement, de santé publique et de sécurité, et d'aides à établir des politiques gouvernementales.



Températures annuelles moyennes de l'air (écarts par rapport à la moyenne pour la période de 1961 à 1990) à l'échelle mondiale, pour le Canada et les Territoires du Nord-Ouest.

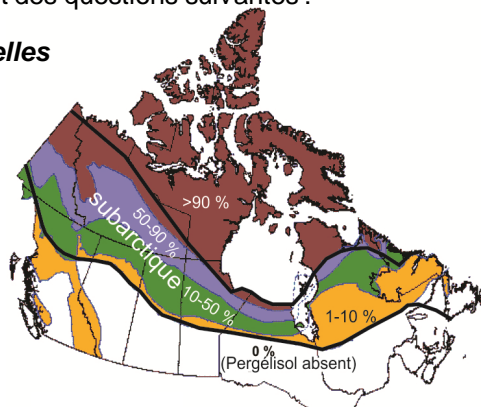


Températures moyennes de l'air en été et en hiver (écarts par rapport à la moyenne pour la période de 1961 à 1990) au Canada. Les températures de l'air en hiver ont augmenté presque deux fois plus vite que les températures de l'air en été, ce qui a un effet significatif sur le climat « froid » du Canada et un effet important dans le Nord où le pergélisol est présent.

### Notre apport

Nous présentons l'application de notre expertise en géosciences et en télédétection et son apport au traitement des enjeux liés aux changements climatiques et à l'adaptation à ceux-ci dans la région subarctique du Canada à l'aide d'articles d'information qui traitent des questions suivantes :

- **Géologie des formations superficielles**
- **Répartition du pergélisol et changements**
- **Températures du sol**
- **Terrains riches en glace et thermokarst**
- **Routes d'hiver**
- **Détection des changements**



Le pergélisol continu s'étend à l'ensemble de la région arctique du Canada et le pergélisol discontinu occupe une grande partie de la région subarctique du pays.

Le programme Géoscience des changements climatiques s'intéresse à la recherche appliquée dans ces régions sensibles sur le plan climatique.

Répartition du pergélisol au Canada



### Application de nos connaissances scientifiques

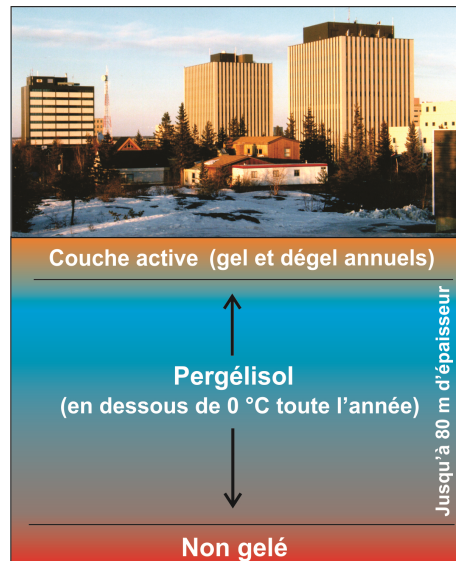
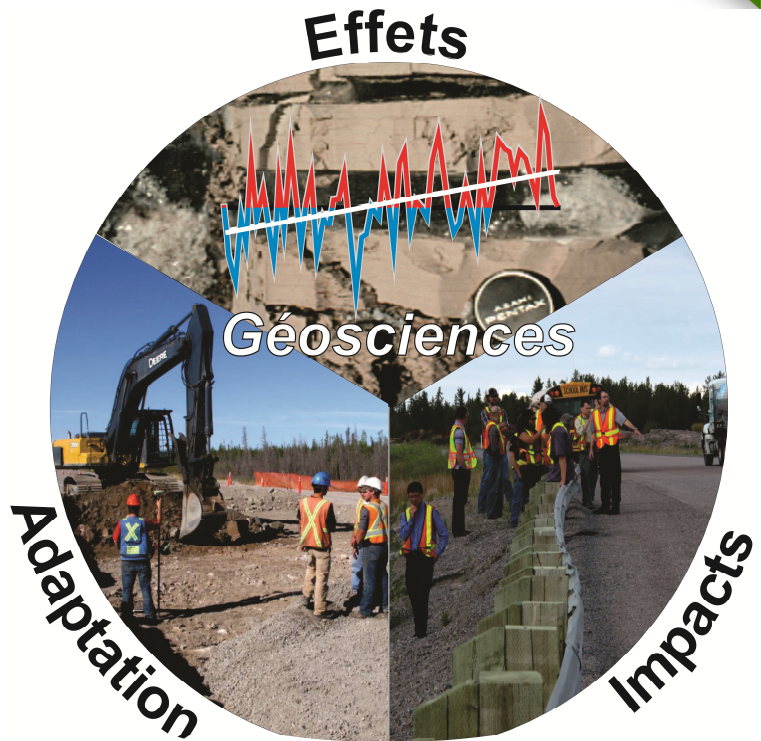
La capacité de s'adapter aux impacts des changements climatiques commence par la connaissance de ses effets sur le milieu naturel et le milieu bâti. Nous mettons en application nos connaissances géoscientifiques de façon à déterminer comment les conditions climatiques changeantes modifient les processus se produisant à la surface de la Terre.

Les chercheurs de Ressources naturelles Canada appliquent les nouvelles connaissances, technologies et méthodes aux enjeux des changements climatiques. Il peut s'agir de techniques de télédétection, de modélisation des interactions climat-sol, de surveillance des changements et de cartographie des conditions existantes et des changements.

Nos connaissances géoscientifiques progressent grâce à des partenariats avec des représentants d'organismes fédéraux et territoriaux, des collectivités, du milieu universitaire et de l'industrie afin d'offrir une meilleure prise de décisions en matière de planification, de développement et d'adaptation.

#### Pour en savoir plus

Le programme Géosciences des changements climatiques applique les connaissances géoscientifiques aux enjeux relatifs aux impacts des changements climatiques et à l'adaptation à ceux-ci au Canada. Des données et des articles connexes peuvent être consultés à l'adresse <http://geoscan.rncan.gc.ca/> Veuillez communiquer avec [celina.campbell@canada.ca](mailto:celina.campbell@canada.ca) ou [stephen.wolfe@canada.ca](mailto:stephen.wolfe@canada.ca) à la Commission géologique du Canada.



De nombreuses collectivités du Nord sont établies sur du pergélisol. Les perturbations et les changements climatiques peuvent entraîner le réchauffement du sol et son dégel. Il est essentiel d'appliquer les connaissances géoscientifiques pour élaborer des mesures d'adaptation qui empêchent ou ralentissent le dégel.



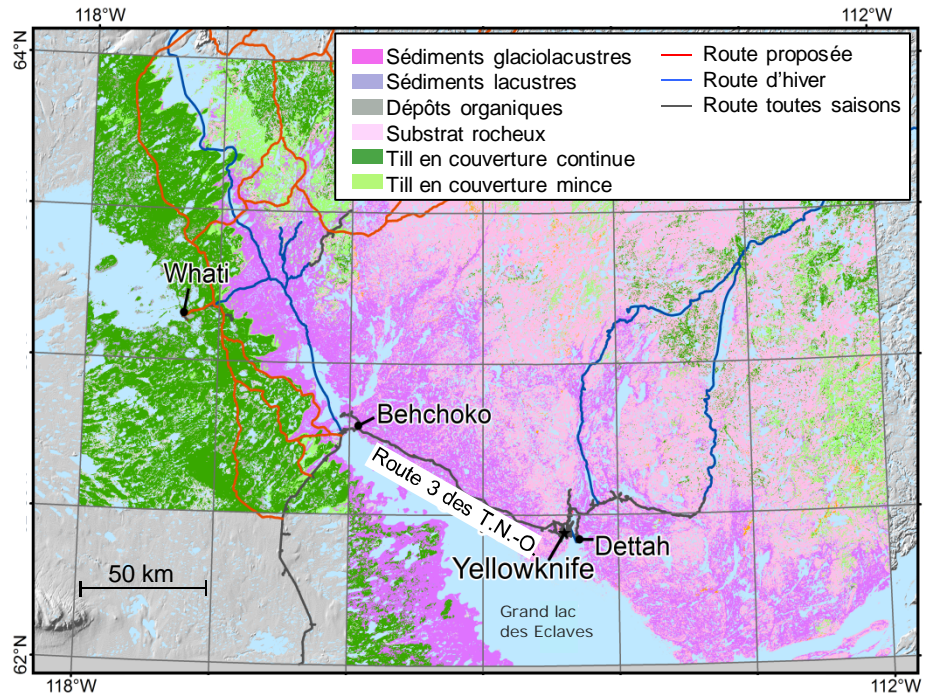


## Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique du Canada : géologie des formations superficielles

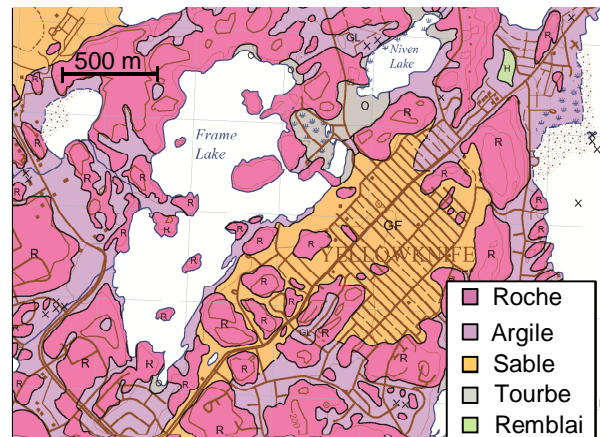
**L'enjeu** Environ 50 % de la masse continentale du Canada est occupée par des terrains à pergélisol. Aux endroits où le pergélisol est riche en glace ou est présent dans un sédiment à grain fin, le dégel peut causer un affaissement de la surface du sol. Il est important de savoir si le terrain est sensible au dégel pour l'aménagement du territoire et des infrastructures dans les régions pergélisolées. Mais une grande partie du Nord n'est pas encore cartographiée.

**Notre démarche** La cartographie des formations superficielles a permis de noter la présence répandue de silt fin et d'argile sensibles au dégel dans la région subarctique des Territoires du Nord-Ouest.

**Notre apport** Les cartes des formations superficielles servent à traiter des enjeux relatifs à l'adaptation aux changements climatiques en lien avec le développement et les infrastructures dans la région subarctique. Certaines collectivités sont desservies uniquement par des routes d'hiver. Le ministère des Transports des Territoires du Nord-Ouest a employé de nouvelles données géologiques sur les formations superficielles pour évaluer l'aménagement de routes toutes saisons afin de diminuer le recours aux routes d'hiver et de réduire au minimum les répercussions sur les terrains. En permettant d'identifier les secteurs de sédiments fins sensibles au dégel, l'information sur la géologie des formations superficielles a été utilisée par les collectivités de Yellowknife et de Dettah pour cartographier le pergélisol et les dangers liés aux terrains, en lien avec l'infrastructure et le développement communautaires.



Cartes des formations superficielles préparées par le programme Géocartographie de l'énergie et des minéraux (GEM) et le programme Géosciences des changements climatiques pour déceler les terrains potentiellement sensibles au dégel dans la région subarctique des Territoires du Nord-Ouest.

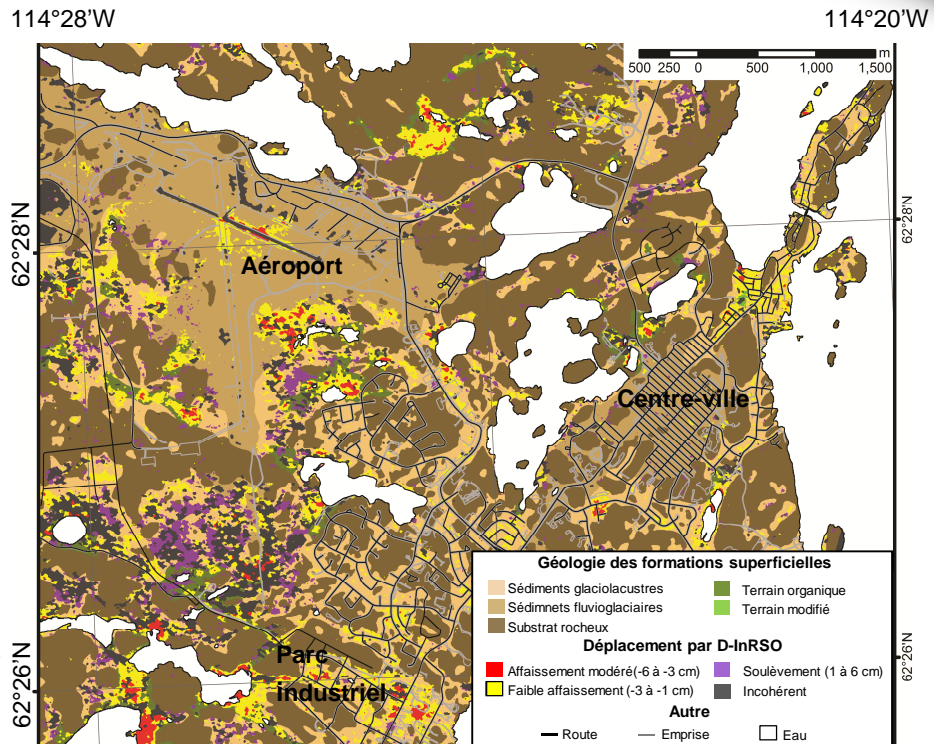


Géologie des formations superficielles en détail, Yellowknife, T.N.-O.



## Application de nos connaissances scientifiques

Bon nombre de collectivités se heurtent à des difficultés avec l'infrastructure en raison du réchauffement ou du dégel du pergélisol. Des applications de télédétection (mises au point par le Centre canadien de télédétection), utilisées avec des données sur les formations superficielles servent à montrer les régions d'affaissement existant ou prévu de la surface du sol selon la nature des sédiments superficiels. Ces méthodes ont été appliquées pour créer des cartes à des fins municipales à Iqaluit, à Pangnirtung, à Rankin Inlet, à Yellowknife et à d'autres collectivités du Nord.



Représentation cartographique du déplacement de la surface du sol dans la ville de Yellowknife déterminé par satellite radar, superposé à la géologie des formations superficielles. Bine que les régions de substrat rocheux soient stables, un affaissement se produit dans les terrains organiques et à sédiments fins, dont ceux de l'aéroport et de secteurs résidentiels et industriels.

### Pour en savoir plus

De nouvelles cartes géologiques sont publiées pour le Nord, ainsi que des cartes du déplacement de la surface du sol dans des collectivités du Nord, déterminé par interférométrie différentielle par radar à synthèse d'ouverture (D-InRSO) porté par satellite. Des cartes et des articles connexes peuvent être consultés à l'adresse <http://geoscan.rncan.gc.ca/>.

Veuillez communiquer avec [daniel.kerr@canada.ca](mailto:daniel.kerr@canada.ca) de la Commission géologique du Canada ou [naomi.short@canada.ca](mailto:naomi.short@canada.ca) du Centre canadien de télédétection.



Affaissement du sol associé au réchauffement du pergélisol sensible au dégel. RNCan contribue à l'élaboration de nouveaux codes et de nouvelles normes pour la construction de bâtiments sur le pergélisol. Photo prise par S. Wolfe.

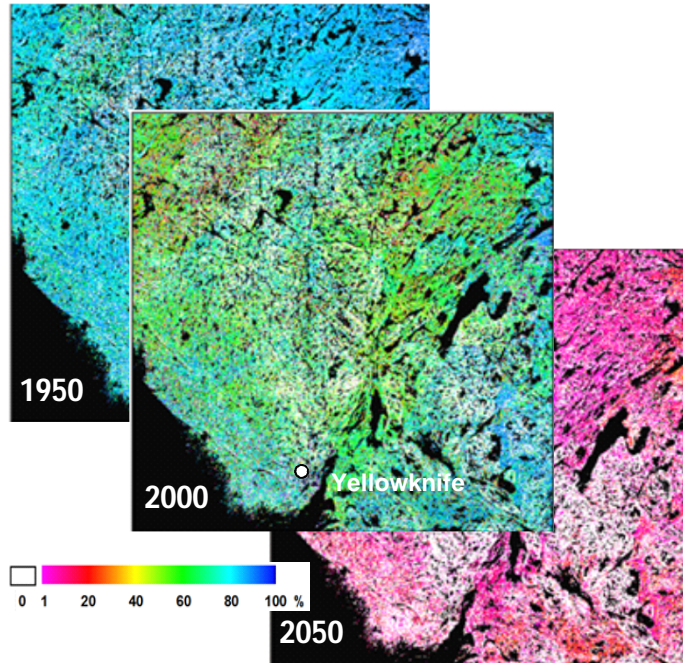


## Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique du Canada : répartition du pergélisol et changements

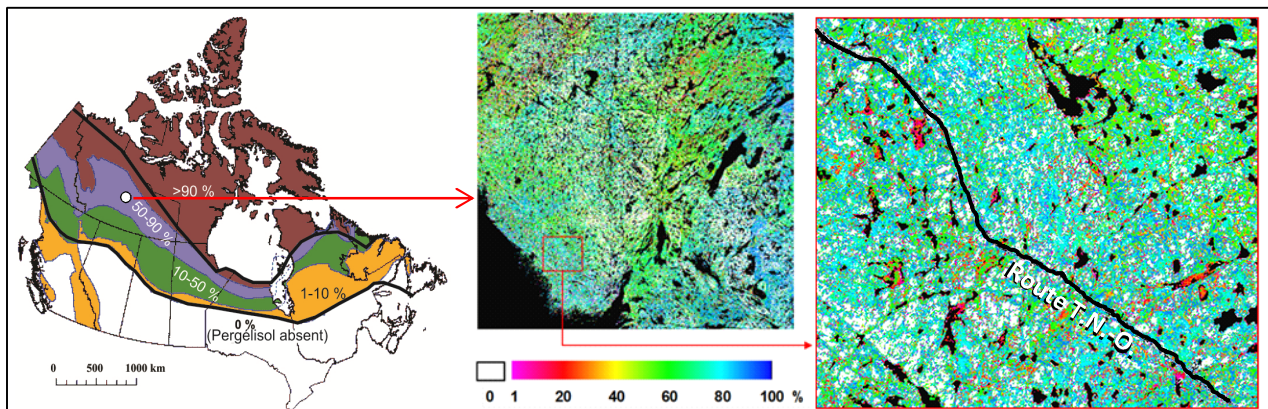
**L'enjeu** Environ 50 % de la masse continentale du Canada est occupée par des terrains à pergélisol. Une grande partie de ces terrains se réchauffent et dégèlent en raison des changements climatiques. La plus récente carte du pergélisol au Canada, publiée en 1995, n'illustre pas avec exactitude les conditions changeantes du pergélisol à une échelle utile pour planifier des mesures d'adaptation aux changements climatiques.

**Notre démarche** Le Centre canadien de télédétection (CCT) et la Commission géologique du Canada (CGC) ont modélisé et cartographié la répartition du pergélisol et les changements qu'il subit. Ces cartes illustrent les pertes de pergélisol passées et prévues dans la région subarctique du Canada dues au réchauffement climatique.

**Notre apport** Des cartes du pergélisol à haute résolution spatiale (de 10 à 30 m) ont récemment été dressées pour le parc national du Canada Wapusk dans les basses terres de la baie d'Hudson au Manitoba et le parc national du Canada Ivvavik dans le nord du Yukon. Ces cartes illustrent les conditions modélisées de référence du pergélisol et serviront à évaluer l'état de l'environnement dans les parcs du Nord. Les cartes du pergélisol à haute résolution dans la région subarctique près de Yellowknife, dans les Territoires du Nord-Ouest, fournissent des indicateurs des conditions du pergélisol le long des infrastructures routières.



Étendue passée et prévue du pergélisol dans la région de Yellowknife illustrant la perte prévue de pergélisol sur un siècle.

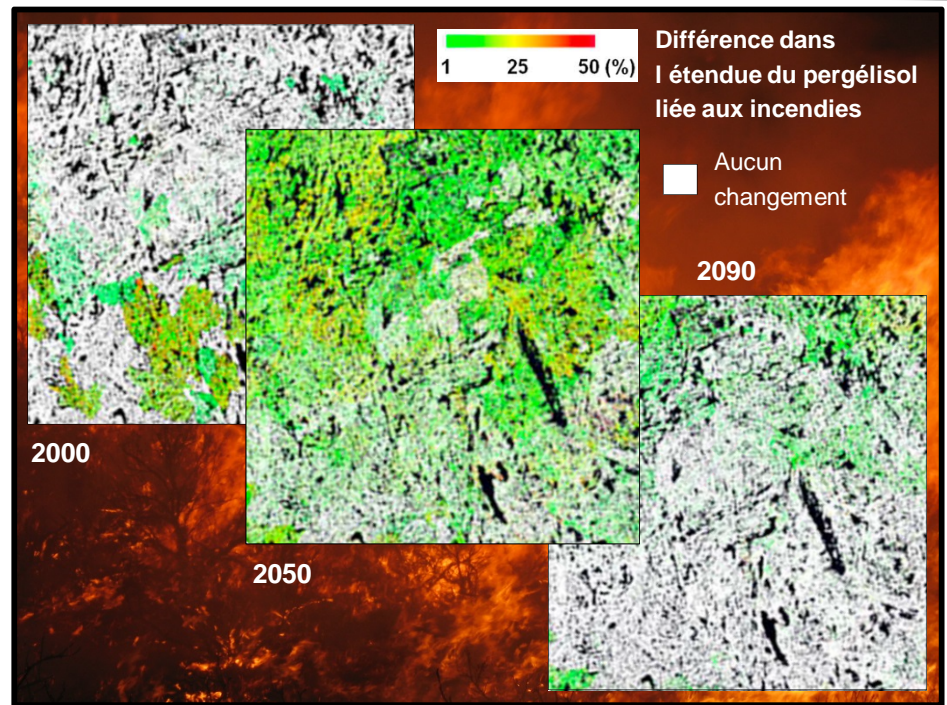


L'accroissement d'échelle des cartes du pergélisol donne des résultats applicables à l'infrastructure et utiles aux décideurs.



## Application de nos connaissances scientifiques

Les observations au sol révèlent que les feux de forêt ont des répercussions importantes sur l'épaisseur de la couche active et les températures du sol. Cependant, on ne connaît pas les effets à long terme des feux par comparaison avec ceux des changements climatiques. La modélisation réalisée par le Centre canadien de télédétection (CCT) indique que, même si les feux accélèrent la perte de pergélisol, le réchauffement climatique demeurera la principale cause de la perte de pergélisol d'ici la fin du présent siècle. Dans la région subarctique, les couches actives pourraient ne pas se rétablir et retrouver leur épaisseur d'origine après un feu.



Effet des feux et des changements climatiques sur l'étendue du pergélisol dans la région subarctique du Canada. Les changements climatiques auront un effet immense sur la perte de pergélisol d'ici la fin du présent siècle et les feux accéléreront modérément cette perte. Photo prise par S. Wolfe.

### Pour en savoir plus

De nouvelles cartes géologiques sont publiées pour le Nord, et les effets de la température et des perturbations, comme les feux, font l'objet d'une surveillance. Des cartes et des articles connexes peuvent être consultés à l'adresse <http://geoscan.rncan.gc.ca/> Veuillez communiquer avec [yu.zhang@canada.ca](mailto:yu.zhang@canada.ca) au Centre Canadien de télédétection ou [stephen.wolfe@canada.ca](mailto:stephen.wolfe@canada.ca) à la Commission géologique du Canada.



Eau riche en sédiments, libérée par le dégel du pergélisol après qu'un feu de forêt eut brûlé sur un terrain riche en glace. Les feux épaississent la couche active et causent la fonte de la glace située près de la surface. Photo prise par S. Wolfe.

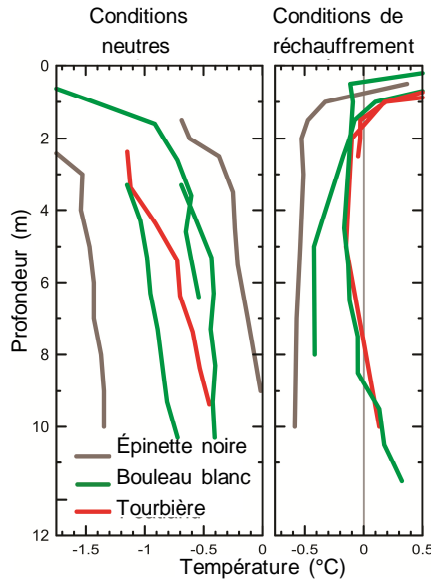


## Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique du Canada: températures du sol

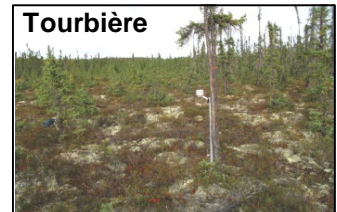
**L'enjeu** Les températures du sol dans la région subarctique du Canada réagissent aux changements des températures de l'air de façon saisonnière et annuelle. Les températures du sol dépendent également de l'épaisseur de neige, du couvert végétal, du type de sol et de l'humidité. Tous ces facteurs influencent les températures du sol après des perturbations anthropiques ou naturelles ou dans un climat changeant.

**Notre démarche** La Commission géologique du Canada (CGC) collabore avec ses partenaires du Nord pour surveiller les températures du sol dans une gamme de conditions naturelles en vue d'examiner les preuves d'un réchauffement des températures du sol et d'évaluer l'importance de divers facteurs environnementaux sur les températures du pergélisol.

**Notre apport** La surveillance des températures du sol dans une gamme de milieux subarctiques a révélé que, dans certaines régions, le pergélisol est plus étendu qu'on ne le pensait. Dans un grand nombre de régions, la présence de pergélisol et les températures se rapportent aux conditions climatiques antérieures, lesquelles étaient plus froides, comme lors du Petit Âge glaciaire (entre 1300 et 1850 de notre ère). Aujourd'hui, les températures du sol augmentent en raison d'une hausse des températures de l'air et, dans de nombreuses régions, le dégel cause l'affaissement du terrain. La pérennité du pergélisol tempéré dans la région subarctique n'est pas assurée. La surveillance continue des températures du sol aide à connaître le rythme des impacts des changements climatiques dans la région subarctique du Canada et à planifier des mesures d'adaptation appropriées.



Les températures du sol mesurées en divers lieux naturels révèlent des conditions thermostables neutres et un réchauffement.

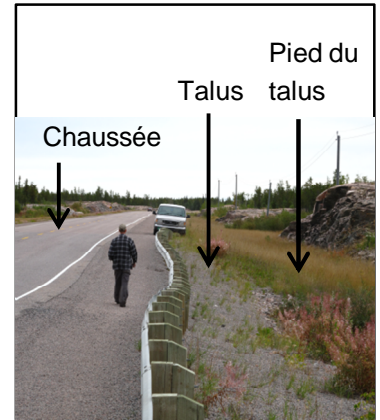
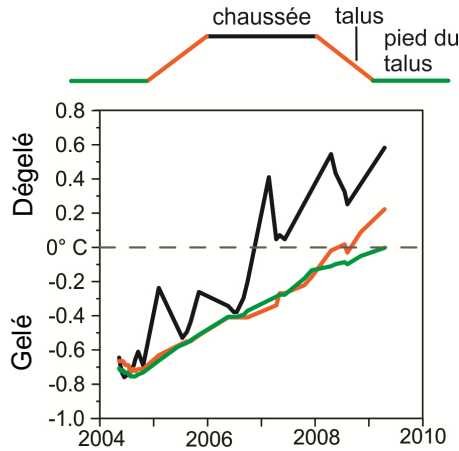


La Commission géologique du Canada mesure les températures du sol à plus de 50 endroits dans la région subarctique du Canada. Certains lieux ont été surveillés depuis plus de 20 ans. Photo prise par S. Wolfe.



### Application de nos connaissances scientifiques

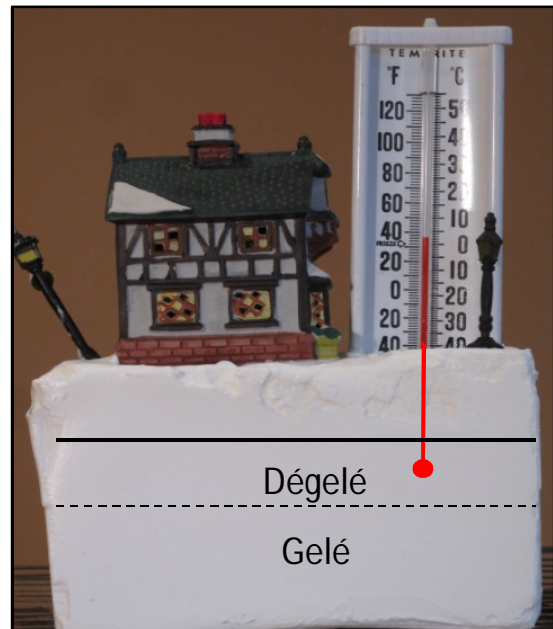
D'après les tendances des températures du sol, le pergélisol n'est probablement pas durable sous les nouvelles routes construites sur un remblai de roche dynamitée à granulométrie ouverte. L'affaissement y est inévitable. Là où les sédiments à grain fin sont riches en glace, le terrain pourrait subir un tassement de plus de 2 m. Cependant, la vitesse de dégradation pourrait être ralentie par l'enlèvement de la neige et par l'amélioration du drainage et de la convection de l'air à travers le remblai dans les sections à problèmes.



Les températures du sol mesurées sous la route 3 dans les Territoires du Nord-Ouest (de 7 à 14 m de profondeur) indiquent un réchauffement et un dégel depuis sa construction. Le dégel du pergélisol sous-jacent a causé un affaissement différentiel en travers de la chaussée, du talus et du pied du talus de la route. Photo prise par S. Wolfe.

#### Pour en savoir plus

Les températures du sol sont régulièrement mises à jour et publiées pour le Nord dans le but de surveiller les effets du climat et des perturbations sur le pergélisol. Des dossiers publics et des articles connexes peuvent être consultés à l'adresse <http://geoscan.rncan.gc.ca/>. Veuillez communiquer avec [peter.morse@canada.ca](mailto:peter.morse@canada.ca) ou [sharon.smith@canada.ca](mailto:sharon.smith@canada.ca) à la Commission géologique du Canada.



Le pergélisol ressemble un peu à de la crème glacée. Le dégel et le réchauffement amollissent le sol, le rendant trop faible pour supporter le poids des bâtiments et des infrastructures. Photo prise par S. Wolfe.

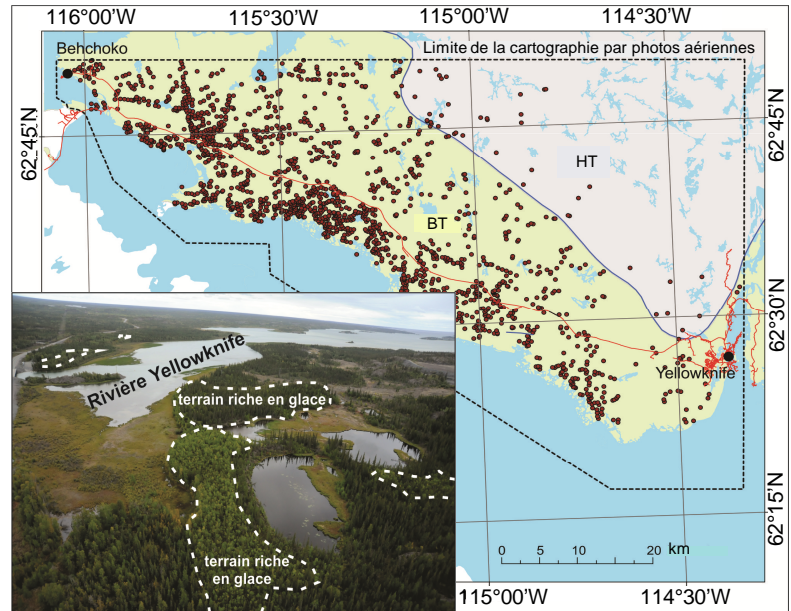


## Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique du Canada : terrains riches en glace et thermokarst

**L'enjeu** Le pergélisol riche en glace est une composante importante du paysage nordique parce qu'il est sensible à l'affaissement et à la formation de **thermokarst** (dépressions causées par le dégel du pergélisol riche en glace). Il est essentiel de connaître l'emplacement et l'étendue des terrains riches en glace en vue de la planification, de la construction et de l'entretien des infrastructures telles que les routes terrestres et les bâtiments dans le Nord.

**Notre démarche** La Commission géologique du Canada (CGC) utilise la cartographie par photos aériennes et les techniques de télédétection et de lidar (détection et télémétrie par ondes lumineuses) pour repérer et cartographier les terrains riches en glace et l'affaissement du sol dans la région subarctique du Canada.

**Notre apport** Auparavant, on pensait que la teneur en glace du sol dans la région du Grand lac des Esclaves était faible, et que celle-ci ne se trouvait que dans des tourbières isolées. Or, on a récemment répertorié et cartographié près de 1 800 entités riches en glace dans les Territoires du Nord-Ouest, et l'on sait maintenant qu'une grande partie d'entre elles surmontent un pergélisol à teneur élevée en glace, associé à des dépôts d'argile. Nous reconnaissons maintenant que cette région est très sensible au réchauffement et au dégel du pergélisol. Comme près de la moitié de la population (21 000 habitants) des Territoires du Nord-Ouest se trouve dans les basses terres du Grand lac des Esclaves, la connaissance des conditions des terrains riches en glace revêt une très grande importance pour les résidents du Nord. Le ministère des Transports et la Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest utilisent ces connaissances pour contrer les risques géologiques et cerner les problèmes liés aux tracés des routes de transport et à l'entretien de celles-ci. Les résidents, les municipalités et les industries sont aussi mieux renseignés sur l'état de l'assise du sol et les dangers liés au pergélisol.



Aire de répartition des terrains riches en glace dans les basses terres (BT) et les hautes terres (HT) du Grand lac des Esclaves, dans les Territoires du Nord-Ouest.

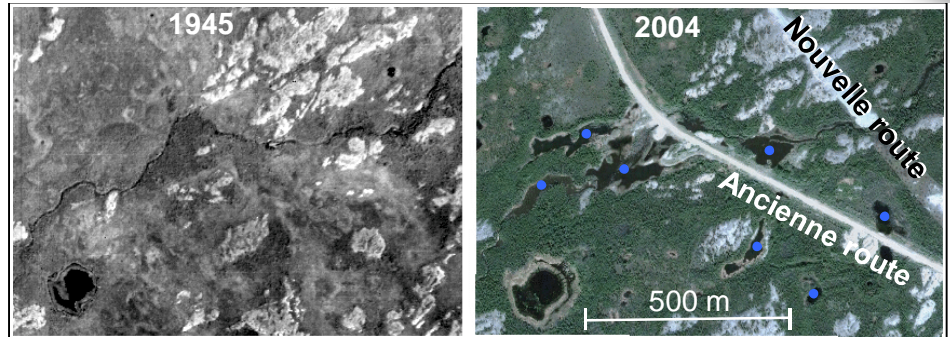


Mise à jour de glace au sommet du pergélisol après le dégel des matériaux en surface. P. Normandeau de la Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest. Photo prise par P. Morse.

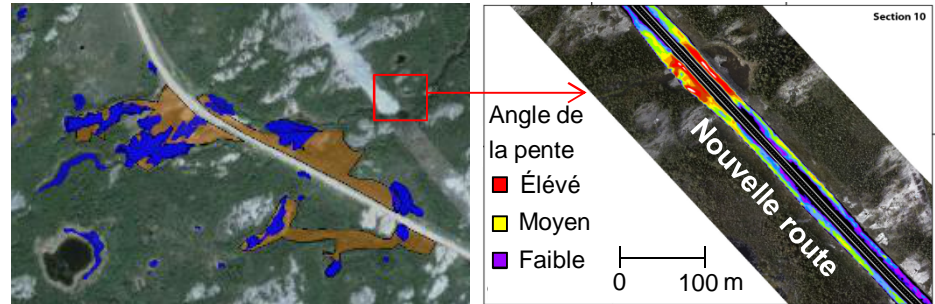


### Application de nos connaissances scientifiques

En comparant des photos aériennes d'archives et des images satellitaires récentes, on note une augmentation des zones d'eau libre découlant de l'activité thermokarstique et de l'érosion. Nos cartes indiquent que la formation de thermokarst survient dans les zones perturbées où des sédiments ont été prélevés pour construire une route. Les routes pour lesquelles on utilise de la roche dynamitée plutôt que des sédiments entraînent moins de perturbations thermokarstiques. Toutefois, il peut se produire un affaissement du sol sous la route avec le dégel du pergélisol et le tassement du sol sous-jacent. Les régions qui posent problème peuvent faire l'objet d'un suivi au moyen de techniques de télédétection et de mesure de la température du sol.



Formation de thermokarst révélée par l'augmentation de la superficie des eaux libres sur une période de 60 ans.



Le thermokarst (en bleu) est principalement attribuable à l'extraction de sédiments (en brun) pour la construction de la route.

Augmentation de l'angle d'inclinaison des remblais de la route (en rouge) à la traversée du cours d'eau en raison de l'affaissement du sol.

#### Pour en savoir plus

De nouvelles cartes du pergélisol sont publiées pour le Nord, et les effets de la température et des perturbations telles que le feu, font l'objet d'un suivi. Des cartes et des articles connexes peuvent être consultés à l'adresse <http://geoscan.rncan.gc.ca/>. Veuillez communiquer avec [peter.morse@canada.ca](mailto:peter.morse@canada.ca) [sharon.smith@canada.ca](mailto:sharon.smith@canada.ca) à la Commission géologique du Canada.



Affaissement du sol et mouvement de pente sur la nouvelle route 3 dans les Territoires du Nord-Ouest causés par le tassement du sol et le dégel du pergélisol sous le remblai. Photo prise par S. Wolfe.





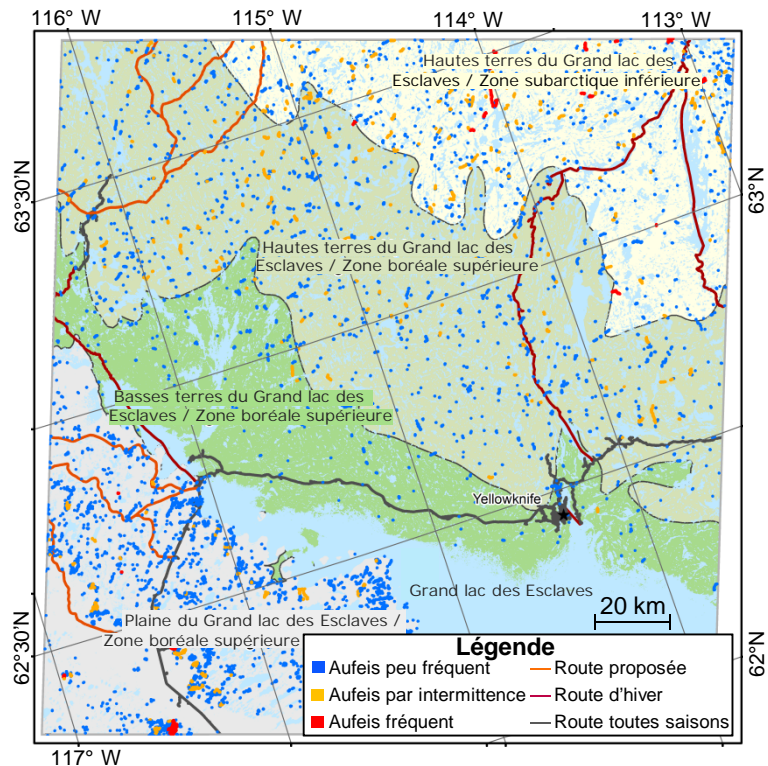
## Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique du Canada : routes d'hiver

**L'enjeu** Dans le Nord du Canada, des réseaux de transport fiables sont indispensables pour les collectivités et les industries. Le transport terrestre vers de nombreuses régions au-delà des grandes collectivités s'appuie sur l'accès à des routes d'hiver qui franchissent les lacs, rivières et terres gelés. La traficabilité réduite sur les routes d'hiver, en raison des changements de l'épaisseur de la glace, de l'état des glaces, des conditions de portage et du ruissellement (**aufeis** ou **glaçage**), est un des enjeux majeurs que posent les changements climatiques pour le transport.

**Notre démarche** Le Centre canadien de télédétection (CCT) et la Commission géologique du Canada ont fait des prévisions des conditions des routes de glace et cartographié les risques d'aufeis survenus par le passé au moyen de techniques de télédétection. De concert avec la Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest, nous procédons au repérage et à la surveillance de ces sites.

### Notre apport

Les cartes à l'échelle régionale (1/125 000) indiquent l'occurrence et la probabilité des risques d'aufeis pour les réseaux routiers existants et proposés dans la région subarctique. Des données historiques sont utilisées pour déterminer la probabilité que se produisent ces situations dangereuses ainsi que les conditions climatiques qui les favorisent. Le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest a choisi des méthodes de télédétection pour évaluer les risques d'aufeis dans le corridor proposé de la route de la vallée du Mackenzie. De son côté, la coentreprise qui développe la route d'hiver entre Tibbitt et Contwoyto (*Tibbitt to Contwoyto Winter Road Joint Venture*) a utilisé des cartes prototypes de la composition et de l'intégrité de la couverture de glace pour établir le tracé de sa route d'hiver.



Carte de l'occurrence d'aufeis établie à partir d'une série de données Landsat d'archives couvrant une période de 24 ans.

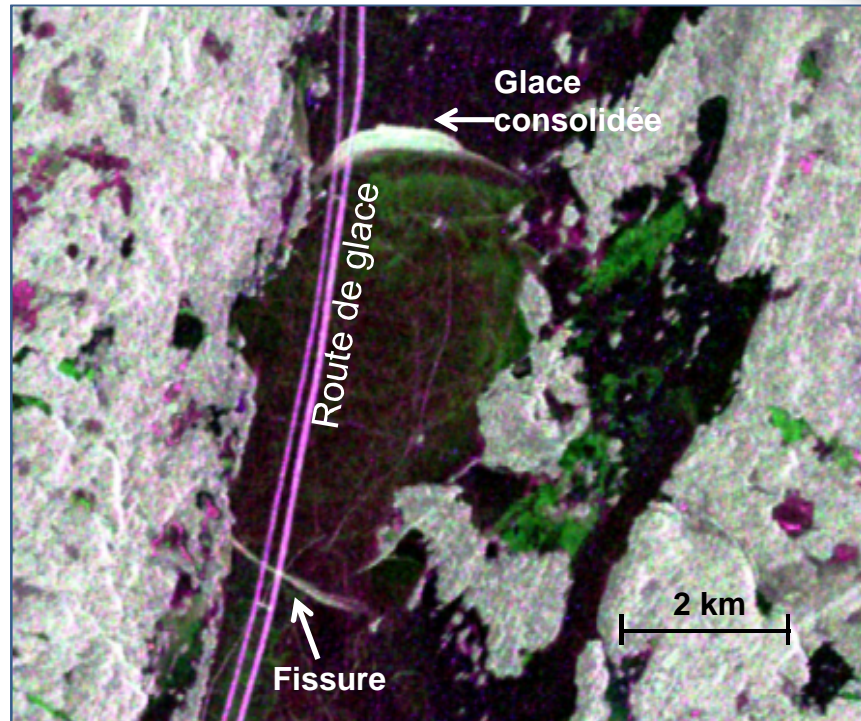


Formation d'aufeis en hiver dans le ruisseau Baker, près de Yellowknife (T.N.O.), qui empiète sur des résidus miniers et les remblais de la route. Photo prise par P. Vescie.



## Application de nos connaissances scientifiques

L'avenir des routes d'hiver est incertain dans certaines régions du Nord, où les hivers plus chauds raccourcissent la saison des routes de glace et entraînent des conditions de glace dangereuses. Le CCT a mis au point des applications de télédétection qui font appel à des données satellitaires radar pour fournir rapidement des renseignements sur l'épaisseur et les conditions de la glace et analysent les déplacements de la glace causés par la circulation qui sont susceptibles d'endommager la route de glace. Ces méthodes ont été utilisées sur la route d'hiver qui relie Tibbitt à Contwoyto, un axe de ravitaillement essentiel vers les mines situées dans la province géologique des Esclaves.



Images RADARSAT-2 traitées montrant le tronçon de la route d'hiver reliant Tibbitt à Contwoyto qui passe par le lac Gordon et les risques possibles liés aux glaces, notamment de la glace consolidée (formée par la fracture et l'entassement de glaces) et de larges fissures. (Données et produits RADARSAT-2 © MacDonald Dettwiler & Associates Ltd. 2014 – Tous droits réservés.)

### Pour en savoir plus

De nouvelles applications de télédétection sont en développement pour suivre l'évolution et les conditions des routes d'hiver dans le Nord. Des données et des articles connexes peuvent être consultés à l'adresse <http://geoscan.rncan.gc.ca/>. Veuillez communiquer avec [joost.vandersanden@canada.ca](mailto:joost.vandersanden@canada.ca) au Centre canadien de télédétection ou [peter.morse@canada.ca](mailto:peter.morse@canada.ca) à la Commission géologique du Canada.



Camion-citerne qui s'enfonce dans un lac gelé sur une route d'hiver qui relie les collectivités de Deline et Tulita, au Grand lac de l'Ours, en mars 2016. Photo du ministère de l'Environnement et des Ressources naturelles du gouvernement des T.N.-O.



## Géosciences des changements climatiques dans la région subarctique du Canada : détection des changements

**L'enjeu** Les régions du Nord subissent de rapides changements en raison du réchauffement climatique, des perturbations naturelles et du développement de l'infrastructure. Pour les décideurs du Nord, il est important de comprendre et d'assurer un suivi de ces changements. Or, la surveillance des milieux nordiques se révèle un défi majeur puisque ces zones sont vastes et éloignées.

**Notre démarche** Le Centre canadien de télédétection (CCT) a mis au point de nouvelles techniques de détection des changements par satellite qui utilisent des registres d'images Landsat couvrant une période de 30 ans. Ces registres offrent un moyen peu coûteux d'analyse de séries chronologiques des changements survenus à l'échelle régionale sur de vastes zones du Nord.

**Notre apport** De grandes parties de l'Arctique et de la région subarctique des Territoires du Nord-Ouest ont fait l'objet de cette analyse. Nous avons ainsi noté des modifications naturelles, telles que l'occurrence de feux de forêt, des changements dans la végétation, le verdissement de la toundra, des variations de la surface des lacs et des glissements de terrain dus au dégel résultant d'une augmentation de l'activité thermokarstique. Des changements dans les zones d'exploitation des ressources et les collectivités ont aussi été observés. Ces observations permettent aux partenaires du Nord de mieux surveiller certains domaines préoccupants; en outre, elles sont utilisées dans le rapport sur l'état de l'environnement dans les Territoires du Nord-Ouest (*Northwest Territories State of the Environment Report*) pour illustrer les tendances quant aux changements du thermokarst et de la végétation dans la toundra.

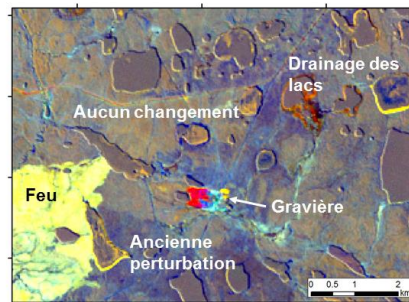
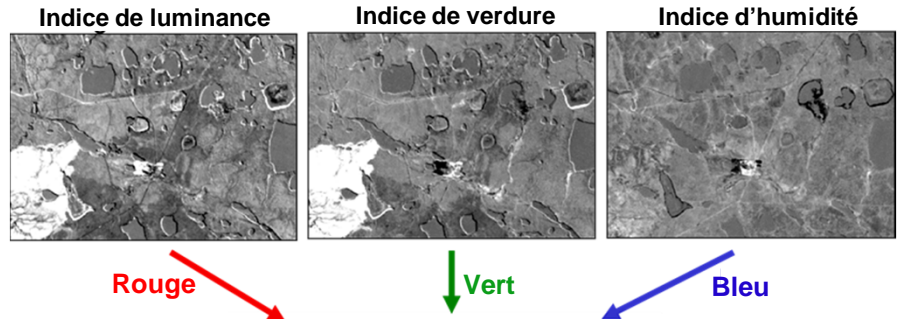
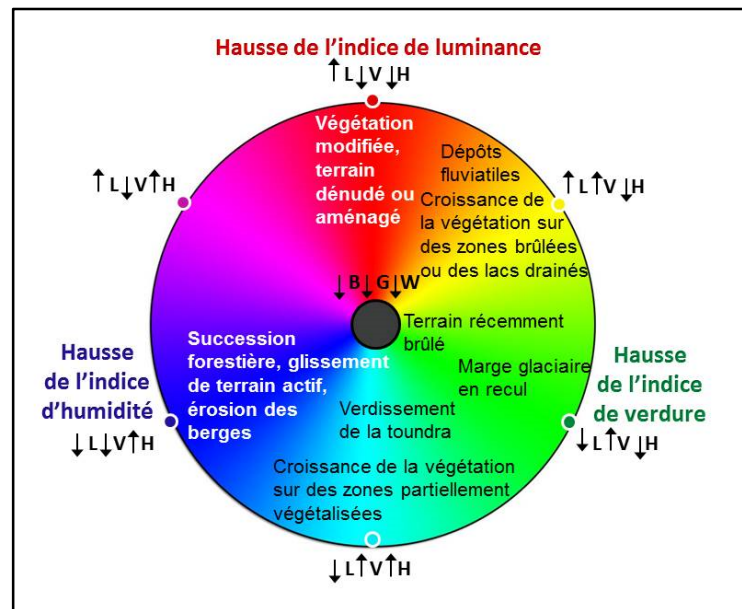


Image couleur composite RVB

Des cartes de chacun des indices sont utilisées pour créer une image couleur composite illustrant différents types de changements du paysage.

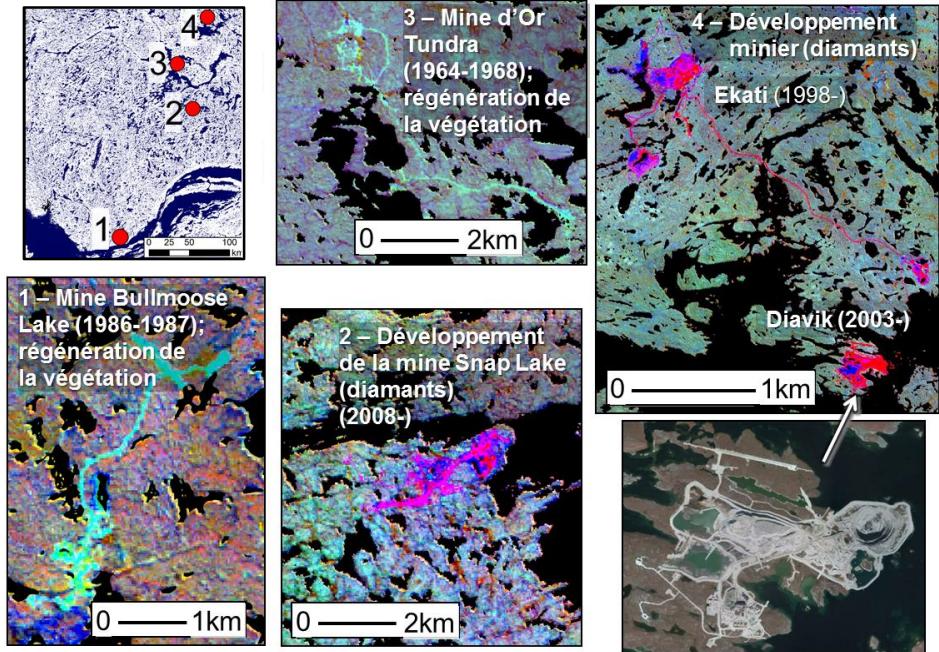


Une roue des couleurs fournit un index des changements observés.



### Application de nos connaissances scientifiques

Ces méthodes de détection des changements constituent un moyen visuel relativement simple de surveiller les changements dans le paysage des régions du Nord. Les organismes de gestion de l'environnement et des terres dans le Nord peuvent utiliser des cartes de détection des changements pour surveiller l'étendue et la répartition des perturbations connues, mais aussi pour découvrir des changements qui n'avaient pas été décelés. Les cartes apportent des renseignements supplémentaires aux responsables de la planification et aux décideurs concernant de nouveaux développements de l'infrastructure (p. ex. routes, carrières, bâtiments et pistes d'atterrissage), et aider à la gestion de l'intégrité écologique des aires protégées.

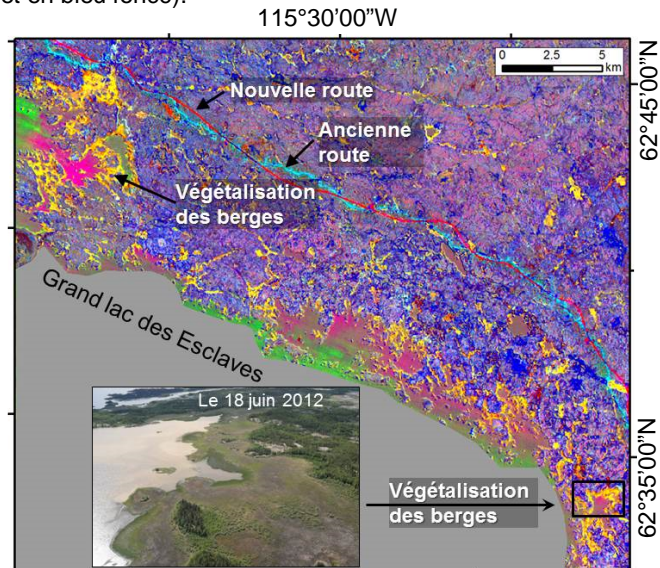


Tendances historiques de sites miniers éloignés. Mines d'or abandonnées et régénération de la végétation (en bleu vert) et aménagement récent des infrastructures de mines de diamants (en rouge et en bleu foncé).

#### Pour en savoir plus

Vous pouvez vous procurer des cartes d'imagerie Landsat des changements du paysage couvrant de grandes portions des Territoires du Nord-Ouest par l'entremise du portail de découverte des T. N.-O. à l'adresse suivante :

<http://nwtDiscoveryportal.enr.gov.nt.ca>  
 Pour en savoir plus, veuillez communiquer avec [robert.fraser@canada.ca](mailto:robert.fraser@canada.ca) du Centre canadien de télédétection ou [stephen.wolfe@canada.ca](mailto:stephen.wolfe@canada.ca) de la Commission géologique du Canada.



Changements historiques le long de la rive nord du Grand lac des Esclaves. Les berges et les lacs drainés sont colonisés par la végétation (en jaune). La nouvelle route 3 des Territoires du Nord-Ouest (en rouge), en construction, et la régénération de la végétation sur l'ancienne route (en bleu vert) sont nettement visibles.

---

## REMERCIEMENTS

---

Les présents articles d'information sont des résumés des résultats scientifiques du programme Géosciences des changements climatiques obtenus dans le cadre de l'activité RTRAVC (Risque en matière de transport dans l'Arctique relatifs à la vulnérabilité au climat) du projet de Transports terrestres, au cours des années 2010 à 2016. Nous remercions de leur appui, pendant cette période, les gestionnaires de programmes Andy Rencz, Celina Campbell, Réjean Couture et Maria Teresa Fernandez de Castro, et la directrice de la Division du Nord du Canada de la CGC, Linda Richard. Nous tenons également à remercier de leurs contributions à divers articles scientifiques Adrian Gaanderse, Chris Stevens, Steve Kokelj, Greg Oldenborger, Shawn Eagles, Mark Ednie, Stephanie Delaney, Caroline Duchesne, Dan Riseborough, Wendy Sladen, Ed Hoeve, Lucas Arenson, Steve Schwarz, Hugo Drouin, et Ian Olthof. Les ébauches précédentes de ces articles ont été révisées par Kevin Anderson, Janice Cudlip, Maria Teresa Fernandez de Castro, Erica Weterings, Steve Kokelj et Alain Plouffe. Nous remercions particulièrement Alain Plouffe et Janice Cudlip pour leurs examens critiques à l'interne. Finalement, nous tenons à remercier Alison Weatherston, Benoît Couture et Paul Champagne de leur contribution à la révision scientifique et technique et à la conception graphique.

---

## RÉFÉRENCES

---

- Ednie, M., Kerr, D.E., Olthof, I., Wolfe, S.A. et Eagles, S., 2014. Predictive surficial geology derived from LANDSAT 7, Marian River, NTS 85-N, Northwest Territories; Geological Survey of Canada, Open File 7543, 21 p. [doi:10.4095/294923](https://doi.org/10.4095/294923)
- Fraser, R.H., Olthof, I., Kokelj, S., Lantz, T., Lacelle, D., Brooker, A., Wolfe, S.A. et Schwarz, S., 2014. Detecting landscape changes in high latitude environments using landsat trend analysis: 1. visualization; Remote Sensing, v. 6, p. 11533–11557. [doi:10.3390/rs61111533](https://doi.org/10.3390/rs61111533)
- Kerr, D.E., 2014. Reconnaissance surficial geology, MacKay Lake, Northwest Territories, NTS 75-M; Geological Survey of Canada, Canadian Geoscience Map 206 (preliminary), scale 1:125 000. [doi:10.4095/295542](https://doi.org/10.4095/295542)
- Morse, P.D. et Wolfe, S.A., 2014. Icings in the Great Slave region (1985 – 2014), Northwest Territories, mapped from Landsat imagery; Geological Survey of Canada, Open File 7720, 38 p. [doi:10.4095/295540](https://doi.org/10.4095/295540)
- Morse, P.D. et Wolfe, S.A., 2015. Geological and meteorological controls on icing (aufeis) dynamics (1985 to 2014) in subarctic Canada; Journal of Geophysical Research: Earth Surface, v. 120, no. 9, p. 1670–1686. [doi:10.1002/2015JF003534](https://doi.org/10.1002/2015JF003534)
- Morse, P.D., Wolfe, S.A., Kokelj, S.V. et Gaanderse, A.J., 2015. The occurrence and thermal disequilibrium state of permafrost in forest ecotopes of the Great Slave region, Northwest Territories, Canada; Permafrost and Periglacial Processes, v. 27, no. 2, p. 145–162. [doi:10.1002/ppp.1858](https://doi.org/10.1002/ppp.1858)
- Olthof, I. Kerr, D.E. Wolfe, S.A. et Eagles, S., 2014. Predictive surficial materials and surficial geology from LANDSAT-7, Upper Carp Lake, NTS 85-P, Northwest Territories; Geological Survey of Canada, Open File 7601, 21 p. [doi:10.4095/293970](https://doi.org/10.4095/293970)
- Short, N., Stevens, C.W. et Wolfe, S.A., 2011. Seasonal surface displacement derived from InSAR, Yellowknife and surrounding area, Northwest Territories; Geological Survey of Canada, Open File 7030, 1 CD-ROM. [doi:10.4095/289578](https://doi.org/10.4095/289578)
- Stevens, C.W., Kerr, D.E., Wolfe, S.A. et Eagles, S., 2012. Predictive surficial materials and geology derived from LANDSAT 7, Yellowknife, NTS 85J, Northwest Territories; Geological Survey of Canada, Open File 7108, 31 p. [doi:10.4095/291731](https://doi.org/10.4095/291731)
- Stevens, C.W., Kerr, D.E., Wolfe, S.A. et Eagles, S., 2013. Predictive surficial materials and surficial geology derived from LANDSAT 7, Hearne Lake, NTS 85-I, Northwest Territories; Geological Survey of Canada, Open File 7233, 22 p. [doi:10.4095/292394](https://doi.org/10.4095/292394)
- Stevens, C.W. et Wolfe, S.A., 2012. High-resolution mapping of wet terrain within discontinuous permafrost using LiDAR intensity; Permafrost and Periglacial Processes, v. 23, p. 334–341.
- Stevens, C.W., Short, N. et Wolfe, S.A., 2012. Seasonal surface displacement and highway embankment grade derived from InSAR and LiDAR, Highway 3, west of Yellowknife, Northwest Territories; Geological Survey of Canada, Open File 7087, 112 p. [doi:10.4095/291383](https://doi.org/10.4095/291383)
- Stevens, C.W., Wolfe, S.A. et Gaanderse, A.J.R., 2012. Lithalsa distribution, morphology and landscape associations in the Great Slave Lowlands, Northwest Territories; Geological Survey of Canada, Open File 7255, 41 p. [doi:10.4095/292115](https://doi.org/10.4095/292115)
- Wolfe, S. A., Delaney, S. et Duchesne, C., 2011. An inventory of borrow pits and pond development between 1961 to 2005, Highway 3, Yellowknife region, Northwest Territories; Geological Survey of Canada, Open File 6948, 42 p. [doi:10.4095/289032](https://doi.org/10.4095/289032)
- Wolfe, S.A. et Kerr, D.E., 2014. Surficial geology, Yellowknife area, Northwest Territories, parts of NTS 85-J/7, NTS 85-J/8, NTS 85-J/9 and NTS 85-J/10; Geological Survey of Canada. Canadian Geoscience Map 183, scale 1:25 000. [doi:10.4095/293725](https://doi.org/10.4095/293725)
- Wolfe, S.A., Short, N.H., Morse, P.D., Schwarz, S.H. et Stevens, C.W., 2014. Evaluation of RADARSAT-2 DInSAR seasonal surface displacement in discontinuous permafrost terrain, Yellowknife, Northwest Territories, Canada; Canadian Journal of Remote Sensing, v. 40, p. 406–422. [doi:10.1080/07038992.2014.1012836](https://doi.org/10.1080/07038992.2014.1012836)
- Wolfe, S.A., Stevens, C.W., Gaanderse, A.J. et Oldenborger, G.A., 2014. Lithalsa distribution, morphology and landscape associations in the Great Slave. Lowland, Northwest Territories, Canada; Geomorphology, v. 204, p. 302–313. [doi:10.1016/j.geomorph.2013.08.014](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.014)
- Wolfe, S.A., Morse, P.D., Hoeve, T.E., Sladen, W.E., Kokelj, S.V. et Arenson, L.U., 2015. Disequilibrium permafrost conditions on NWT Highway 3; in Proceedings, 68rd Canadian Geotechnical Conference & 7th Canadian Permafrost Conference. September 20-23, 2015, Quebec City, QC. Canadian Geotechnical Society: Richmond, BC, 8 p.

Zhang, Y., Olthof, I., Fraser, R. et Wolfe, S.A., 2014. A new approach to mapping permafrost and change incorporating uncertainties in ground conditions and climate projections; *The Cryosphere*, v. 8, p. 177–2194. [doi:10.5194/tc-8-2177-2014](https://doi.org/10.5194/tc-8-2177-2014)

Zhang, Y., Wolfe, S.A. Morse, P.D., Olthof, I. et Fraser, R.H. 2015. Spatiotemporal impacts of wildfire and climate warming on permafrost across a subarctic region, Canada, *Journal Geophysical Research Earth Surface*, v. 120, no. 11, p. 2338–2356. [doi:10.1002/2015JF003679](https://doi.org/10.1002/2015JF003679)

---

Commission géologique du Canada Projet 343202NP21