



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

**COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
DOSSIER PUBLIC 9298f**

**Levés de tomographie par résistivité électrique pour la
caractérisation des conditions du pergélisol à la suite
d'un incendie de forêt, sud des Territoires du
Nord-Ouest, 2015-2018**

J.E. Holloway, Y. Wang, A.G. Lewkowicz et S.A. Wolfe

2025

**COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
DOSSIER PUBLIC 9298f**

**Levés de tomographie par résistivité électrique pour la
caractérisation des conditions du pergélisol à la suite
d'un incendie de forêt, sud des Territoires du
Nord-Ouest, 2015-2018**

J.E. Holloway¹, Y. Wang², A.G. Lewkowicz¹ et S.A. Wolfe²

¹Département de géographie, environnement et géomatique, Université d'Ottawa, 60, Université, Ottawa (Ontario) K1N 6N5

²Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, 601, rue Booth, Ottawa (Ontario) K1A 0E8

2025

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre des Ressources naturelles, 2025

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 copyright-droitdauteur@nrcan-rncan.gc.ca.

On peut télécharger cette publication gratuitement à partir du Dépôt ouvert des sciences et technologie de RNCAN (<https://ostrnrcan-dostrncan.canada.ca/>).

Notation bibliographique conseillée

Holloway, J.E., Wang, Y., Lewkowicz, A.G. et Wolfe, S.A., 2025. Levés de tomographie par résistivité électrique pour la caractérisation des conditions du pergélisol à la suite d'un incendie de forêt, sud des Territoires du Nord-Ouest, 2015-2018; Commission géologique du Canada, Dossier public 9298f, 1 fichier .zip.
<https://doi.org/10.4095/pxwvawy8h3>

Les publications de cette série ne sont pas révisées; elles sont publiées telles que soumises par l'auteur.

ISSN 2816-7163
ISBN 978-0-660-79983-4
N° de catalogue M183-2/9298F-PDF
<https://doi.org/10.4095/pxwvawy8h3>

Introduction

Le présent dossier public contient les données tirées de 129 levés de tomographie par résistivité électrique (TRE) effectués pour caractériser les conditions du pergélisol et du sol à 19 sites d'étude dans le sud des Territoires du Nord-Ouest de 2015 à 2018. Sur les 19 sites d'étude, 16 ont été perturbés par des feux de forêt en 2014 ou 2015 (incendiés – B), tandis que trois sites sont demeurés intacts ou non incendiés (non incendiés – UB). Une description des sites d'étude et de la méthodologie est présentée dans le document principal, tandis que les résultats des levés sont présentés sous forme de fichiers .dat. Le présent dossier public appuie les recherches en cours de la Commission géologique du Canada sur la dynamique du pergélisol après un incendie dans le sud des Territoires du Nord-Ouest et accompagne le dossier public 9299, intitulé « Observations sur le terrain du climat, du sol et des conditions écologiques au cours des cinq premières années suivant un incendie de forêt, sud des Territoires du Nord-Ouest ». Des renseignements supplémentaires sont disponibles dans Holloway (2020).

Le présent dossier public contient un fichier .zip des résultats des levés (fichiers .dat) organisés en dossiers individuels pour chaque site d'étude, ainsi qu'un tableau (.csv) résumant tous les levés réalisés.

Zone et sites d'étude

La description suivante de la zone et des sites d'étude est également fournie dans le dossier public 9299, intitulé « Observations sur le terrain du climat, du sol et des conditions écologiques au cours des cinq premières années suivant un incendie de forêt, sud des Territoires du Nord-Ouest ».

Les sites de surveillance ont été sélectionnés en appliquant un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié dans sept zones touchées par des feux de forêt en 2014 ou 2015 le long des routes 1 et 3, principalement entre Kakisa et Behchoko (figure 1). Les strates représentaient un éventail de types de végétation, de gravité d'incendie et d'historiques d'incendie. La sélection finale des sites a été effectuée sur le terrain en fonction de la présence du sommet du gélisol et d'autres conditions caractéristiques du pergélisol. Les sites ont été établis en 2015 (n=16), 2016 (n=2) et 2017 (n=1) et ont fait l'objet de réexamens annuels de 2015 à 2019 à quelques exceptions près en raison de contraintes logistiques (tableau 1). Les sites d'étude sont disposés le long d'un transect orienté du sud-ouest au nord-est, perpendiculaire aux isothermes de la température moyenne annuelle de l'air, à la limite entre les zones de pergélisol discontinu sporadique et étendu (Heginbottom *et al.*, 1995), et à la frontière entre les écozones de la Taïga des plaines et de la Taïga du Bouclier.

Le climat régional est de type subarctique et continental, avec une température moyenne annuelle de l'air (TMAA) de -4,0 °C à Yellowknife (62,5° N) et de -2,2 °C à Hay River (60,1° N) (selon les normales climatiques de 1991 à 2020) (Environment and Climate Change Canada, 2025). Les précipitations moyennes annuelles totales s'élèvent à 294 mm à Yellowknife et à 320 mm à Hay River, avec des fractions nivométriques respectives de 0,39 et 0,34 (normales climatiques de 1991 à 2020) (Environnement et Changement climatique Canada, 2025).

Quinze sites se situent dans l'écozone de la Taïga des plaines, tandis que quatre sites près de Yellowknife se situent dans celle de la Taïga du Bouclier. La Taïga des plaines se caractérise par une plaine sur un substrat de roches sédimentaires légèrement vallonnée et recouverte de till et de dépôts glaciolacustres. La végétation est principalement composée d'épinettes noires (*Picea mariana*) dans les basses terres et de forêts mixtes dans les hautes terres, avec des sous-étages généralement constitués de mousses, de lichens, de carex et de thé du Labrador (*Rhododendron groenlandicum*). La Taïga du Bouclier présente un relief vallonné sur un substrat de roches ignées et métamorphiques affleurantes comprenant des zones basses de milieux humides reposant sur du till et des dépôts glaciolacustres. Le pin gris (*Pinus banksiana*), l'épinette noire et le bouleau à papier (*Betula papyrifera*) poussent dans les sols minces des hautes terres, alors que l'épinette noire domine dans les basses terres. Les milieux humides couvrent environ 40 % de la superficie, l'épaisseur de tourbe variant entre 2 et 6 m (Gibson *et al.*, 2018).

La portion sud du transect se trouve dans la zone de pergélisol discontinu sporadique, où l'épaisseur du pergélisol est inférieure à 30 m et la température moyenne annuelle du sol est supérieure à -1 °C (Smith *et al.*, 2008; 2015). La portion nord du transect se situe dans la zone de pergélisol discontinu étendu, où l'épaisseur du pergélisol est inférieure à 50 m et la température moyenne annuelle du sol est supérieure à -2 °C (Wolfe *et al.*, 2015; Morse *et al.*, 2016).

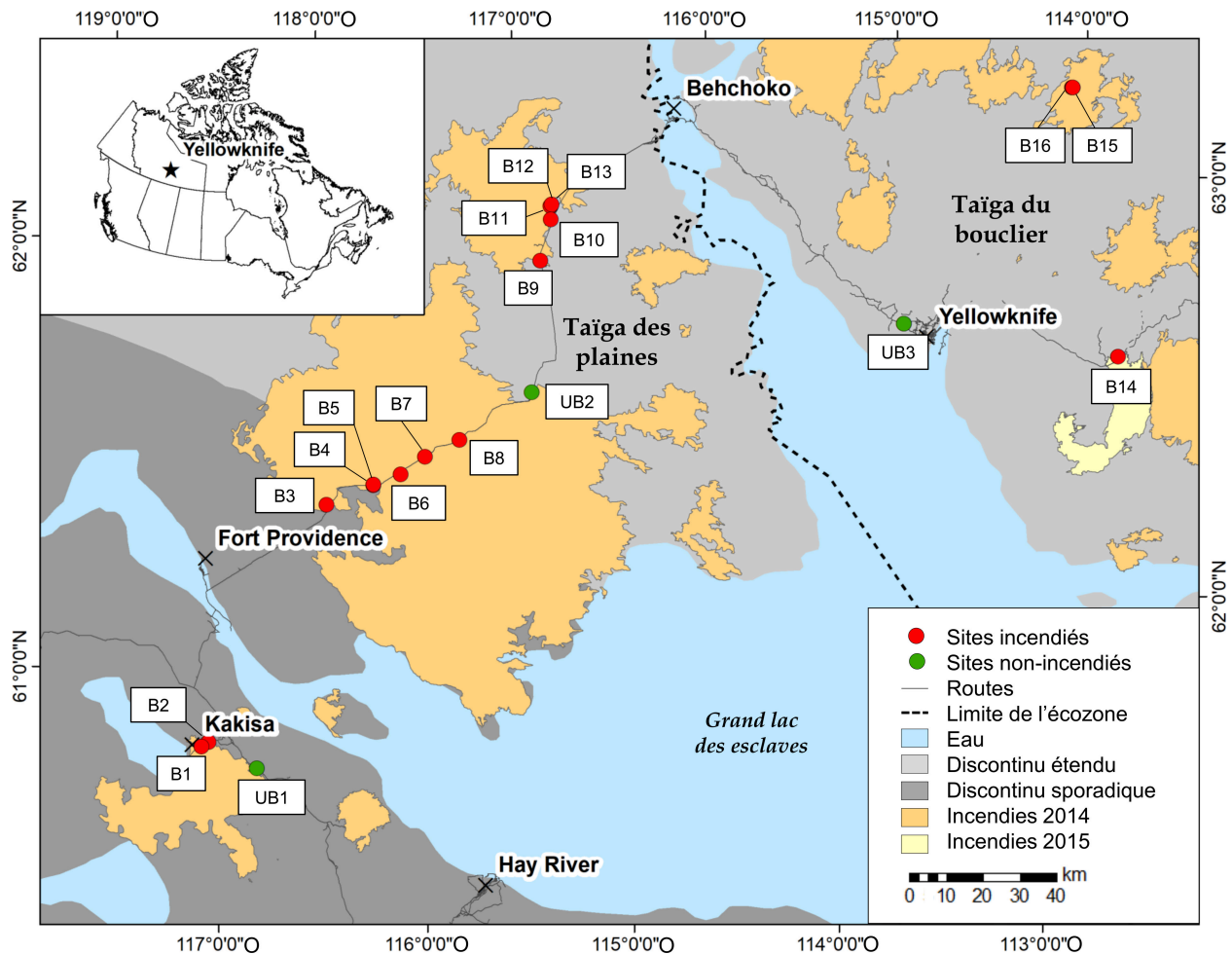


Figure 1. Carte de la zone d'étude dans le sud des Territoires du Nord-Ouest, au Canada, présentant les sites incendiés (n=16) et non incendiés (n=3), les routes principales, les limites d'incendies de 2014 et 2015 (Northwest Territories Centre for Geomatics, 2015), les écozones (Government of Northwest Territories, 2008) et les zones de répartition du pergélisol (Heginbottom *et al.*, 1995). La carte dans l'encadré situe Yellowknife à l'intérieur du Canada.

Tableau 1. Noms, coordonnées, descriptions, écozones, dates de visite et épaisseur estimée du pergélisol des sites d'étude.

Nom du site	Latitude, Longitude (°)	Description (p. ex. humidité du sol, forme de relief, végétation, topographie locale)	Écozone	Dates de visite (AAAA-MM-JJ)	Épaisseur du pergélisol (m)
B1 (SS33-9a)	60,941 -117,366	Mésique-subhygrique. Plateau palsique, présence élevée de thermokarst. Aucune pente.	Taïga des plaines sud	2015-06-16 2015-08-16 2016-05-17 2016-09-01 2017-08-29 2018-09-03	15-20
B2 (SS33-6c)	60,958 -117,339	Subhygrique. Forêt d'épinettes, présence élevée de buttes. Aucune pente.	Taïga des plaines sud	2015-06-04 2015-08-14 2016-09-06	Aucun
B3 (ZF20-34b)	61,608 -117,154	Mésique-subxérique. Gradient allant du pin à l'épinette à la tourbière. Aucune pente.	Taïga des plaines centrale	2015-06-02 2015-08-15	Aucun
B4 (ZF20-6b-1)	61,689 -116,952	Mésique-subxérique. Secteur gravement incendié, tous les arbres tombés. Aucune pente.	Taïga des plaines centrale	2015-06-08 2015-08-15 2016-05-13 2016-09-07 2017-09-01 2018-09-07	10 (parcelle)
B5 (ZF20-6b-LK)	61,692 -116,953	Mésique-subhygrique. Forêt d'épinettes humide près d'un étang; une extrémité présente un plateau palsique épais, l'autre est très marécageuse.	Taïga des plaines centrale	2015-06-11 2015-08-18 2016-05-13 2016-09-05 2017-09-02 2018-09-06	15
B6 (ZF20-12b)	61,736 -116,834	Mésique. Gradient allant du pin à l'épinette à la tourbière. Aucune pente.	Taïga des plaines centrale	2015-06-14 2015-08-13 2016-05-15 2016-09-03 2017-08-31 2018-09-08	5 (petite parcelle)
B7 (ZF20-9c)	61,796 -116,740	Mésique-subhygrique. Forêt d'épinettes avec de nombreuses buttes et une petite section non incendiée. Aucune pente.	Taïga des plaines centrale	2015-06-10 2015-08-19 2016-05-14 2016-09-04 2017-09-01 2018-09-05	5-10
B8 (ZF20-4a)	61,863 -116,597	Mésique-subxérique. Gradient de la sévérité du brûlage, allant de non incendié à gravement incendié. Aucune pente.	Taïga des plaines centrale	2015-06-02 2015-08-17 2016-05-14 2016-09-02 2017-08-30 2018-09-09	10-20
B9 (ZF46-18b)	62,345 -116,482	Mésique-subhygrique. Pinède avec une petite zone d'épinettes noires. Aucune pente.	Taïga des plaines nord	2015-06-09 2015-08-12 2016-05-11 2016-09-14 2017-09-05 2018-09-12	>5
B10 (ZF46-35c)	62,450 -116,496	Mésique. Pinède et parcelle de petites épinettes noires. Aucune pente.	Taïga des plaines nord	2015-06-09 2015-08-20 2016-05-16 2016-09-13 2017-09-05 2018-09-12	>5
B11 (ZF46-1b-1)	62,480 -116,518	Mésique-subhygrique. Petite vallée de pins sur les hauteurs et d'épinettes dans le fond (humide/marécageux). Pente de 30°, fond de vallée (60 m) plat. Sol sablonneux.	Taïga des plaines nord	2015-06-06 2015-08-20 2016-05-15 2017-09-06 2018-09-11	5 (petite parcelle)

B12 (ZF46-1b-2)	62,481 -116,520	Mésique-subhygrique. Petite vallée de pins sur les hauteurs et d'épinettes dans le fond (humide/marécageux). Pente de 30°, fond de vallée (60 m) plat. Sol sablonneux.	Taïga des plaines nord	2015-06-06 2015-08-20 2016-05-20 2016-09-15 2017-09-06 2018-09-11	5-10
B13 (ZF46-1c)	62,485 -116,518	Mésique. Pessière. Sol sablonneux. Aucune pente.	Taïga des plaines nord	2015-06-10 2015-08-19 2016-06-03 2016-09-15 2017-09-05 2018-09-10	5-10
B14 (TIB-1)	62,522 -113,382	Tourbière incendiée avec coins de glace.	Taïga du bouclier	2016-06-16 2016-09-12 2017-09-07 2018-09-14	>24
B15 (LL-PEAT)	63,133 -114,004	Tourbière dans une vallée près de lithales.	Taïga du bouclier	2015-06-18 2015-08-30 2016-09-10 2018-08-25	>24
B16 (LL-LITH2)	63,132, -114,006	Lithale avec un couvert d'épinettes et de bouleaux.	Taïga du bouclier	2015-06-18 2015-08-30 2016-09-11 2018-08-25	>24
UB1 (KAK-UB)	60,935 -117,072	Mésique-subhygrique. Forêt non incendiée. Aucune pente.	Taïga des plaines sud	2017-08-23 2018-09-04	5
UB2 (HWY3-UB-1A)	62,029 -116,314	Mésique-subhygrique. Forêt non incendiée. Aucune pente.	Taïga des plaines centrale	2016-05-18 2016-09-09 2017-09-03 2018-09-10	>24
UB3 (UB-1)	62,458 -114,532	Tourbière non incendiée.	Taïga du bouclier	2015-06-07 2015-08-11 2016-05-31 2016-09-16 2017-09-07 2018-09-13	>24

La tomographie par résistivité électrique

La tomographie par résistivité électrique (TRE) est une méthode géophysique qui s'impose progressivement comme technique de référence pour l'étude et la caractérisation du pergélisol (Herring *et al.*, 2023). La TRE est utile pour comprendre les conditions du pergélisol, car le sol gelé, surtout à forte teneur en glace, présente une résistivité électrique plusieurs ordres de grandeur supérieure à celle du sol non gelé contenant de l'eau interstitielle.

Les levés de TRE sont réalisés par l'insertion d'électrodes métalliques dans le sol le long d'une ligne de levé (figure 2). Les électrodes sont reliées à une source d'alimentation au moyen d'un ensemble de câbles, puis un courant électrique continu est appliqué par ces câbles jusqu'aux électrodes. La différence de tension mesurée par d'autres électrodes permet de déterminer la résistivité au courant du sol entre les électrodes. Au cours d'un même levé, de nombreuses mesures sont effectuées à partir de diverses combinaisons d'électrodes, ce qui permet de visualiser en deux dimensions les variations de résistivité jusqu'à une certaine profondeur d'investigation. De manière générale, plus le levé est long, plus la profondeur d'investigation est importante. Pendant les mesures, l'instrument enregistre les résistivités apparentes, qui sont des indicateurs indirects de la résistivité du sol.

Les levés de TRE sont souvent accompagnés d'autres renseignements recueillis sur le terrain pour fournir un contexte et appuyer l'interprétation de la présence et de la répartition du pergélisol. Les profondeurs de dégel, mesurées à l'aide d'une sonde à gélisol, peuvent aider à repérer la présence de sol gelé et à déterminer les seuils locaux entre les zones gelées et non gelées (Mackay 1977; Way *et al.*, 2018; 2021). Les données topographiques recueillies le long des lignes de levé peuvent également fournir des indications : les zones surélevées peuvent correspondre à des formes de relief du pergélisol reposant sur de la glace de sol, tandis que les dépressions peuvent signaler des secteurs affaissés à la suite du développement de thermokarst.



Figure 2. Électrodes et câbles utilisés dans un levé de tomographie par résistivité électrique mené en août 2016.

À ces sites d'étude (tableau 2), les levés ont été effectués à l'aide de l'appareil ABEM Terrameter LS. Les longueurs des segments de levé étaient de 40, 80 ou 160 m et atteignaient des profondeurs d'investigation d'environ 6, 12 et 24 m, respectivement. Les espacements minimaux entre électrodes ont été fixés à 0,5, 1 et 2 m pour les levés d'une longueur respective de 40, 80 et 160 m. Les levés les plus courts, comportant des espacements réduits, offrent des tomogrammes à plus haute résolution de la couche active et de la partie supérieure du pergélisol, tandis que les levés plus longs, où l'espacement entre les électrodes est élevé, permettent une investigation plus en profondeur, susceptible de révéler la base du pergélisol. Les levés ont été réalisés selon une configuration de type Wenner, reconnue pour sa stabilité dans les milieux hétérogènes et pour sa capacité à bien délimiter les structures horizontales, telles que la base de la couche active ainsi que les parties supérieure et inférieure du pergélisol (Hauck *et al.*, 2004; Fortier *et al.*, 2008; Herring *et al.*, 2023). Les données topographiques ont été recueillies le long de ces lignes de levé à l'aide d'un niveau Abney portatif en 2015, ou d'un altimètre ZipLevel Pro-2000 en 2016, 2017 et 2018. La topographie a été calculée relativement à une altitude de départ mesurée à l'aide d'un GPS différentiel Trimble R7. Les données topographiques ont été annexées à chacun des fichiers .dat.

Tableau 2. Résumé des levés de TRE réalisés sur 19 sites d'étude dans le sud des Territoires du Nord-Ouest entre 2015 et 2018, à la suite des incendies de 2014 et 2015.

Site	Latitude (°)	Longitude (°)	Nombre de levés	Dates de visite (AAAA-MM-JJ)	Longueurs des segments de levé (m)
B1	60,94252	-117,36760	10	2015-06-16 2015-08-16 2016-05-17 2016-09-01 2017-08-29 2018-09-03	40 160
B2	60,95821	-117,33925	4	2015-06-04 2015-08-14 2016-09-06	40 160
B3	61,60719	-117,15216	2	2015-06-02 2015-08-15	160
B4	61,68981	-116,95195	10	2015-06-08 2015-08-15 2016-05-13 2016-09-07 2017-09-01 2018-09-07	40 160
B5	61,69166	-116,95312	10	2015-06-11 2015-08-18 2016-05-13 2016-09-05 2017-09-02 2018-09-06	40 160
B6	61,73540	-116,83377	10	2015-06-14 2015-08-13 2016-05-15 2016-09-03 2017-08-31 2018-09-08	40 160
B7	61,79598	-116,74158	6	2015-06-10 2015-08-19 2016-05-14 2016-09-04 2017-09-01 2018-09-05	160
B8	61,86187	-116,59834	10	2015-06-02 2015-08-17 2016-05-14 2016-09-02 2017-08-30 2018-09-09	40 160
B9	62,34478	-116,48088	9	2015-06-09 2015-08-12 2016-05-11 2016-09-14 2017-09-05 2018-09-12	40 80 160
B10	62,44933	-116,49620	7	2015-06-09 2015-08-20 2016-05-16 2016-09-13 2017-09-05 2018-09-12	40 80 160
B11	62,48020	-116,51913	6	2015-06-06 2015-08-20 2016-05-15 2017-09-06 2018-09-11	40 80 160

B12	62,48088	-116,52031	9	2015-06-06	40 80
				2015-08-20	
				2016-05-20	
				2016-09-15	
				2017-09-06	
				2018-09-11	
B13	62,48500	-116,51748	9	2015-06-10	40 80
				2015-08-19	
				2016-06-03	
				2016-09-15	
				2017-09-05	
				2018-09-10	
B14	62,52220	-113,38200	4	2016-06-16	160
				2016-09-12	
				2017-09-07	
				2018-09-14	
B15	63,13341	-114,00413	4	2015-06-18	160
				2015-08-30	
				2016-09-10	
				2018-08-25	
B16	63,13244	-114,00634	7	2015-06-18	160
				2015-08-30	
				2016-09-11	
				2018-08-25	
UB1	60,93496	-117,07239	2	2017-08-23	80
				2018-09-04	
UB2	62,02892	-116,31390	4	2016-05-18	160
				2016-09-09	
				2017-09-03	
				2018-09-10	
UB3	62,45825	-114,53160	6	2015-06-07	160
				2015-08-11	
				2016-05-31	
				2016-09-16	
				2017-09-07	
				2018-09-13	

Les valeurs moyennes de résistivité apparente obtenues pour les sites incendiés entre 2015 et 2018 ne montrent aucun changement important au fil du temps, en raison de la grande variabilité des valeurs entre les sites d'étude et de l'effet d'amortissement dû à la présence de portions dégelées, notamment dans les zones de sable sec dépourvues de pergélisol, où les résistivités apparentes sont élevées (figure 3).

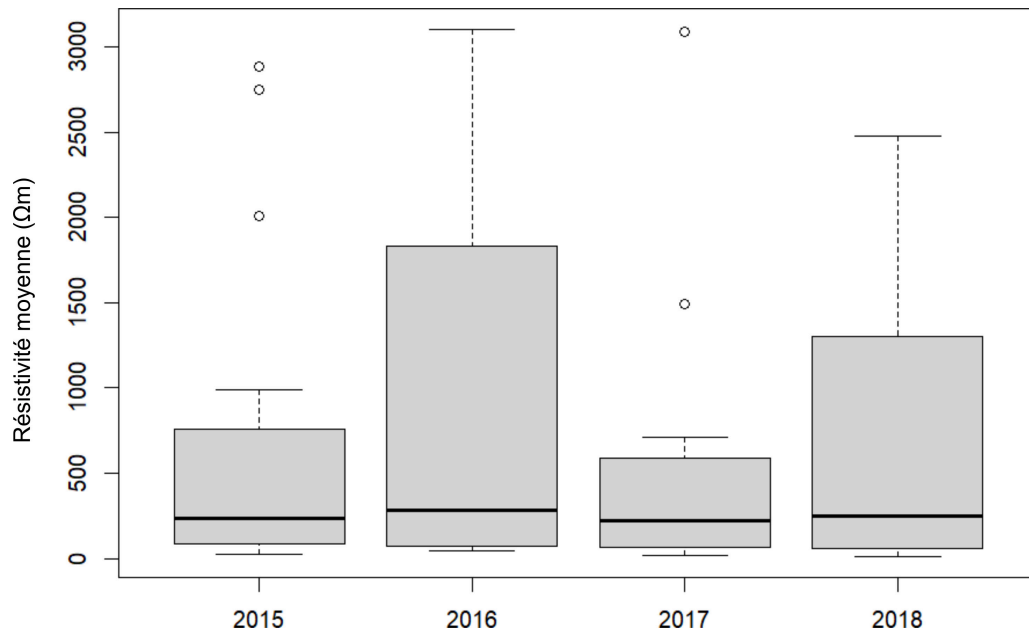


Figure 3. Résistivité apparente moyenne tirée des levés de tomographie par résistivité électrique effectués sur les sites incendiés (B1 à B16) entre 2015 et 2018. Il convient de noter la différence sur l'axe des Y dans la figure 4.

On observe une diminution statistiquement significative (valeur $p < 0,05$) de la résistivité apparente moyenne entre 2015 et 2018 pour un sous-ensemble des sites incendiés (B1 à B13), situés dans l'écozone de la Taïga des plaines et caractérisés par un pergélisol relativement mince (figure 4). Cette diminution traduit une hausse de la teneur en eau non gelée et une réduction de la teneur en glace à ces sites. Les sites les plus au nord au sein de l'écozone de la Taïga du Bouclier (B14 à B16) présentent des épaisseurs de pergélisol d'au moins 24 m et des résistivités beaucoup plus élevées que celles des sites de B1 à B13, en raison de leur teneur plus élevée en glace de sol et de la présence d'un pergélisol plus froid et plus épais.

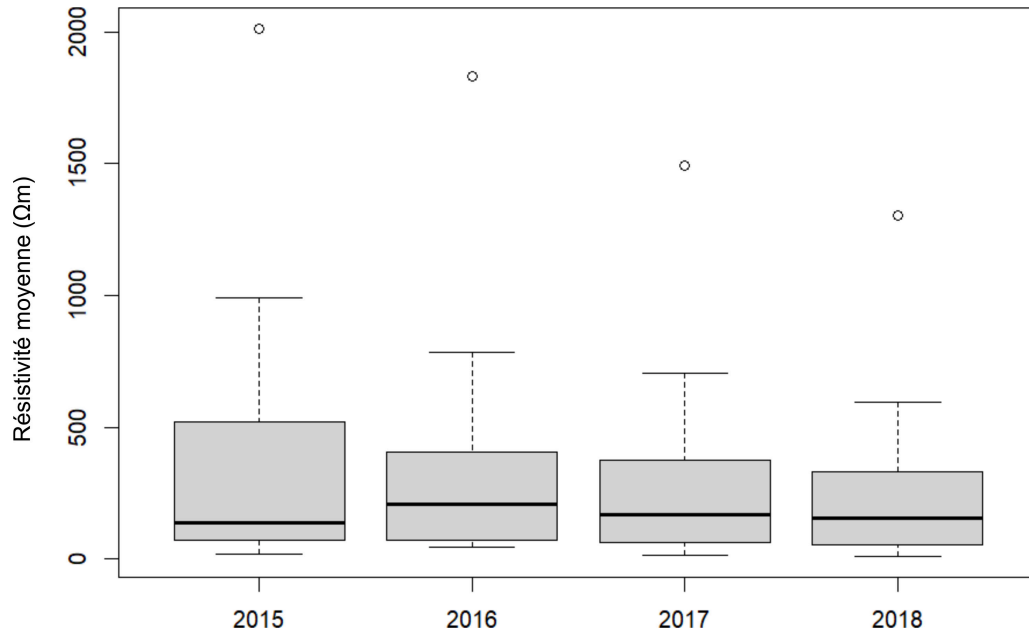


Figure 4. Résistivité apparente moyenne tirée des levés de tomographie par résistivité électrique effectués sur les sites incendiés (B1 à B13) entre 2015 et 2018. Il convient de noter la différence sur l'axe des Y dans la figure 3.

Ces données constituent des valeurs de référence auxquelles comparer les réponses futures du pergélisol aux incendies de forêt dans le Nord canadien et viennent compléter les ensembles de données de TRE déjà produits pour la région par la Commission géologique du Canada (Oldenborger, 2012).

Remerciements

Le soutien financier pour la collecte des données sur le terrain a été assuré par le Programme de surveillance des effets cumulatifs des Territoires du Nord-Ouest (projet n° 170), le Programme de subventions à la découverte du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, la Fondation de la famille Weston, le Programme de formation scientifique dans le Nord, la Société géographique royale du Canada, l'Université d'Ottawa et la Commission géologique du Canada. Le soutien logistique sur le terrain a été fourni par Merritt Turetsky, Jennifer Baltzer et Steven Cumming. L'assistance sur le terrain a été fournie par Kirsten Reid, Lucas Brehaut, Nicola Day, Xanthe Walker, Geneviève Degré-Timmons, Julie Trus, Tom Douglas, Catherine Dieleman, Brittany Main, Kevin Stones et Moya Painter. Des commentaires constructifs ont été formulés par Brendan O'Neill.

Références

- Environment and Climate Change Canada. 2025. Canadian Climate Normals.
- Fortier, R., LeBlanc, A.-M., Allard, M., Buteau, S. et Calmels, F. 2008. Internal structure and conditions of permafrost mounds at Umiujaq in Nunavik, Canada, inferred from field investigation and electrical resistivity tomography. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **45**(3): 367–387. doi:10.1139/E08-004.
- Gibson, C.M., Chasmer, L.E., Thompson, D.K., Quinton, W.L., Flannigan, M.D. et Olefeldt, D. 2018. Wildfire as a major driver of recent permafrost thaw in boreal peatlands. *Nature Communications*, **9**(1): 3041. doi:10.1038/s41467-018-05457-1.
- Government of Northwest Territories. 2008. Ecosystem classification.
- Hauck, C., Isaksen, K., Vonder Mühl, D. et Sollid, J.L. 2004. Geophysical surveys designed to delineate the altitudinal limit of mountain permafrost: an example from Jotunheimen, Norway. *Permafrost and Periglacial Processes*, **15**(3): 191–205. doi:10.1002/ppp.493.
- Heginbottom, J.A., Dubreuil, M.-A. et Harker, P. 1995. Canada, Permafrost (National Atlas of Canada, 5th Edition). Natural Resources Canada,. doi:10.4095/294672.
- Herring, T., Lewkowicz, A.G., Hauck, C., Hilbich, C., Mollaret, C., Oldenborger, G.A., Uhlemann, S., Farzamian, M., Calmels, F. et Scandroglio, R. 2023. Best practices for using electrical resistivity tomography to investigate permafrost. *Permafrost and Periglacial Processes*, **34**(4): 494–512. doi:10.1002/ppp.2207.
- Holloway, J. 2020. Impacts of forest fire on permafrost in the discontinuous zones of northwestern Canada. PhD, University of Ottawa, Ottawa, Canada.
- Mackay, J.R. 1977. Probing for the bottom of the active layer. Geological Survey of Canada, **Paper 77-1A**: 327–328.
- Morse, P.D., Wolfe, S.A., Kokelj, S.V. et Gaanderse, A.J.R. 2016. The occurrence and thermal disequilibrium state of permafrost in forest ecotopes of the Great Slave Region, Northwest Territories, Canada. *Permafrost and Periglacial Processes*, **27**(2): 145–162. doi:10.1002/ppp.1858.
- Northwest Territories Centre for Geomatics. 2015. Fire history.
- Oldenborger, G.A. 2012. Electrical resistivity surveys for permafrost terrain characterization along the Highway 3 corridor, Yellowknife, Northwest Territories. Geological Survey of Canada, **Open File 7062**: 39. doi:10.4095/291335.

- Smith, S.L., Burgess, M.M. et Riseborough, D.W. 2008. Ground temperature and thaw settlement in frozen peatlands along the Norman Wells Pipeline Corridor, NWT Canada: 22 years of monitoring. *Dans* Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost. Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks. pp. 1665–1670.
- Smith, S.L., Riseborough, D.W. et Bonnaventure, P.P. 2015. Eighteen year record of forest fire effects on ground thermal regimes and permafrost in the Central Mackenzie Valley, NWT, Canada. *Permafrost and Periglacial Processes*, **26**(4): 289–303. doi:10.1002/ppp.1849.
- Way, R.G., Lewkowicz, A.G., Wang, Y. et McCarney, P. 2021. Permafrost investigations below the marine limit at Nain, Nunatsiavut, Canada. *American Society of Civil Engineers*. pp. 33–48.
- Way, R.G., Lewkowicz, A.G. et Zhang, Y. 2018. Characteristics and fate of isolated permafrost patches in coastal Labrador, Canada. *The Cryosphere*, **12**(8): 2667–2688. doi:10.5194/tc-12-2667-2018.
- 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. *Dans* Proceedings of GeoQuebec 2015. Quebec, Canada. pp. 1–8.