Document généré le 11 août 2025 13:00

Cahiers de géographie du Québec

# Observations géophysiques sur le pergélisol des environs du lac Minto, Nouveau-Québec

Maurice K. Séguin

Volume 20, numéro 50, 1976

URI : https://id.erudit.org/iderudit/021324ar
DOI : https://doi.org/10.7202/021324ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

Département de géographie de l'Université Laval

ISSN

0007-9766 (imprimé)
1708-8968 (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

Séguin, M. K. (1976). Observations géophysiques sur le pergélisol des environs du lac Minto, Nouveau-Québec. *Cahiers de géographie du Québec*, *20*(50), 327–345. https://doi.org/10.7202/021324ar

Résumé de l'article

À l'aide de techniques géophysiques, on a étudié le pergélisol de la région du lac Minto, Nouveau-Québec. Le pergélisol a une distribution discontinue et son épaisseur varie selon les caractéristiques biophysiques des stations inventoriées. Le pergélisol est mince ou absent sur les terrasses lacustres boisées, ainsi que dans les fens et les sédiments grossiers d'origine fluvioglaciaire. Il est par contre présent dans les stations exposées aux vents et peu enneigées, autant dans les sédiments minéraux (terrasses de tills remaniés, buttes minérales cryogènes) qu'organiques (palses, plateaux palsiques dans les fens de la région). L'importance du mollisol et du pergélisol a fait l'objet d'une cartographie détaillée dans un secteur diversifié au point de vue écologique. La neige, le ruissellement et la capacité de rétention d'eau des sédiments semblent être les principaux facteurs déterminant la présence et l'importance du pergélisol.

Tous droits réservés © Cahiers de géographie du Québec, 1976

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

https://www.erudit.org/fr/

CAHIERS DE GÉOGRAPHIE DE QUÉBEC,
Vol. 20, No 50, septembre 1976, 327-346

# OBSERVATIONS GÉOPHYSIQUES SUR LE PERGÉLISOL DES ENVIRONS DU LAC MINTO, NOUVEAU-QUÉBEC

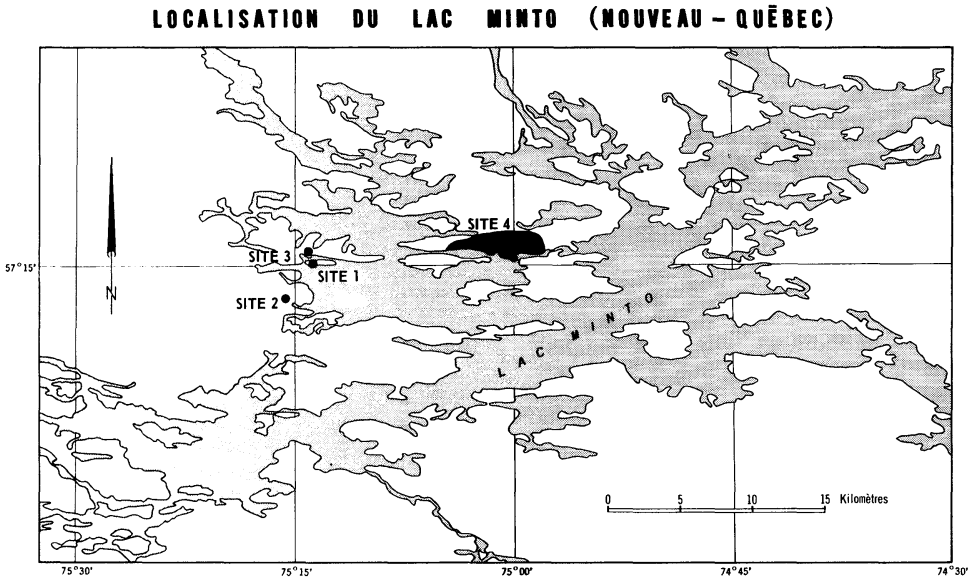
*par*

**Maurice K. SEGUIN** *

*Département de géologie et Programme de génie physique, université Laval, Québec G1K 7P4*

La région du lac Minto est située entre les longitudes 74°30′ et 76°W et les latitudes 57°05′ et 57°20′N (figure 1). Elle correspond à une pénéplaine constituée de granite gneissique d'âge précambrien (Archéen). Elle se caractérise par une topographie peu accentuée, l'altitude la plus basse étant de 184 m au niveau du lac et les plus hautes de 375 m à l'est et de 285 m à l'ouest de la région. L'altitude moyenne est de 285 m à l'est et de 210 m à l'ouest. La pente maximale en direction de la mer d'Hudson est de l'ordre de 0,1% tandis que la pente moyenne est de 0,06%.

**Figure 1**




La région étudiée se situe à la limite septentrionale de la zone du pergélisol discontinu. Le but du présent travail est de cartographier les nom-

* Contribution du Centre d'études nordiques de l'université Laval.

breuses aires de pergélisol, leur épaisseur ainsi que la profondeur du mollisol à l'aide de techniques géophysiques. Quelques travaux ont déjà abordé ce sujet sans toujours avoir recours aux techniques géophysiques (Brown, 1969, 1975 ; Hamelin et Cailleux, 1969 ; Lagarec, 1973 ; Payette *et al.*, 1976 ; Seguin, 1974 b, c).

Les travaux ont été concentrés sur quatre (4) sites localisés sur le pourtour du lac Minto (figure 1) : site 1 : 75°14'W et 57°13'N ; site 2 : 75°15'W et 57°12'N ; site 3 : 75°14'W et 57°14'N ; site 4 : 75°00'W et 57°14'N. Le premier site est recouvert de dépôts meubles disposés en terrasses d'origine lacustre (sables et graviers), tandis que le second est une terrasse fluvioglaciaire dont l'altitude varie entre 20 et 30 m au-dessus du niveau du lac. Les matériaux meubles très hétérogènes rencontrés dans ce site sont des sables et des graviers. Le troisième site, en face de l'île du campement, comprend des buttes cryogènes en forêt situées à 3 m au-dessus du niveau lacustre et deux terrasses de gravier et de cailloux dominées par une végétation basse, à des niveaux respectifs de 6 à 8 m et de 14 à 17 m ; ces niveaux correspondent aux terrasses principales de l'île. Le quatrième site, de plus grande étendue, représente le seul marécage d'importance dans la région. Constitué de buttes cryogènes et de palses, ce marécage est bordé de part et d'autre de terrasses lacustres. Le dépôt de surface est un till composé principalement de sable, de limon, de graviers et de blocs ; il est surmonté d'une couche très mince de matière organique. Le marécage est presque entièrement herbacé, à l'exception de quelques épinettes noires, mélèzes et bouleaux nains. L'altitude de la terrasse la plus basse est d'environ 6 à 9 m et la plus élevée de 11 à 14 m au-dessus du niveau du lac. La figure 4 représente un agrandissement de la photo aérienne au 1/31 680 du site 4.

Dans l'ensemble, 85 à 90% de la superficie de la région du lac Minto est constituée de roc, principalement de gneiss granitique et de pegmatite.

*Techniques de mesure*

L'utilisation de la technique de résistivité électrique en courant continu pour la délimitation des zones de pergélisol a été mise de l'avant par les géophysiciens soviétiques (Akimov, 1951, 1952 ; Ananyan, 1950, 1952 ; Dement'ev *et al.*, 1959 ; Dostovalov, 1947, 1955a, b ; Egerev, 1958 ; Korkina, 1952 ; Sumgin, 1931). Plus récemment, les Canadiens (Seguin, 1965, 1966a, b ; 1967 ; 1971a, b ; 1972a, b, c ; 1973 ; Collett et Brown, 1974) ont utilisé des méthodes électriques similaires ainsi que des méthodes électromagnétiques récemment découvertes. Seguin et Lambert (1975) ont produit une recherche bibliographique sur l'application de la géophysique à l'étude du pergélisol.

Les méthodes géophysiques utilisées dans cette étude sont de type électrique et thermique. Parmi les méthodes électriques d'emploi courant, nous avons choisi la résistivité électrique, la polarisation induite et la polarisation spontanée. Les méthodes magnéto-tellurique et magnéto-électrique par

onde de surface n'ont pas été retenues à cause du poids excessif de l'instrumentation et de la lenteur d'opération.

L'appareillage utilisé pour effectuer des mesures de résistivité électrique en courant continu et de polarisation spontanée est une unité de modèle SP5-RM fabriquée par Scintrex Limited, Toronto. Cette unité a une tension de sortie maximale de 630 volts lorsqu'on y ajoute une source additionnelle de 450 volts. L'unité de résistivité électrique en courant alternatif est le Terramètre de modèle TI 5370-IE fabriqué par Aktiebolaget Elektrisk Malmletning de Stockholm. Ce résistivomètre opère avec une onde carrée de très basse fréquence (4 hertz) et possède une étendue de mesure s'étalant entre 0,003 et 10 000 ohms ; sa tension de sortie maximale est de 400 volts. Les perturbations qui originent des variations rapides d'intensité des courants terrestres naturels (telluriques) sont passablement réduites grâce au filtrage très sélectif de ce résistivomètre à courant alternatif.

L'équipement de polarisation provoquée se compose d'un émetteur de type Lopo M-3 et d'un récepteur de type MK III. L'émetteur et le récepteur fabriqués par la firme Huntec de Toronto opèrent dans le domaine des temps. Les caractéristiques de l'émetteur sont les suivantes : a) tension de sortie maximum = 1800 volts ; b) courant maximum = 1,5 ampères ; c) étendue de résistance = 100 - 6200 ohms ; d) période d'injection ou de rétraction du courant $\leqslant$ 1 milliseconde ; e) période d'un cycle complet = 2, 4, 8 ou 16 secondes, et f) rapport de la période active sur la période d'attente = 1:1, 1: 28:1, 1:67:1, 2:2:1. Onze (11) échelles de mesure du voltage primaire (Vp) au récepteur permettent d'obtenir une résolution de 0,1% entre $10^{-6}$ et 10 volts. Les multiples variations du temps de délai entre la coupure du voltage primaire (Vp) et le début de l'échantillonnage du voltage secondaire (Vs) combinées aux options de temps d'intégration offrent la possibilité d'obtenir jusqu'à 56 points à partir de 14 séries de lecture pour définir la courbe de décroissance du voltage secondaire ou, en d'autres termes, 56 possibilités de calculer la « chargeabilité » du milieu étudié. Nous n'avons considéré qu'une quinzaine de ces possibilités lors des essais sur le terrain.

Nous avons fait quelques trous de forage verticaux dans les dépôts d'origine glaciaire et lacustre au moyen d'un carottier USA-CRREL ayant un diamètre interne de 7,5 cm. Généralement utilisé pour forer dans la neige, la glace, les matériaux organiques et les sédiments fins, ce carottier a causé des problèmes sérieux dans la région du lac Minto en raison de la dominance des matériaux grossiers ; nous n'avons pu forer plus profondément que 3 m. Ces quelques forages ont toutefois permis de vérifier la présence de pergélisol et d'observer la texture et le contenu en glace des limons des buttes minérales cryogènes.

Pour fin de vérification de l'instrumentation, nous avons effectué du carottage électrique, de polarisation provoquée et spontanée dans les régions de Cadillac et de Louvicourt en Abitibi (Seguin, 1974 a, 1975).

*Procédure opérationnelle*

Dans la majorité des cas, nous avons utilisé la configuration de Schlumberger pour l'exécution des relevés de résistivité électrique de surface en courant continu ou alternatif et de polarisation provoquée. Pour fin de comparaison et d'étalonnage dans des essais expérimentaux, nous avons employé la configuration de Wenner pour certains relevés de sondage électrique et la configuration dipôle-dipôle pour des relevés de polarisation provoquée. Après divers essais d'optimisation, le meilleur choix s'est avéré être celui de la configuration de Schlumberger en vertu de la facilité et de la rapidité d'exécution des relevés et de la plus grande résolution de certains détails relatifs à des variations de résistivité électrique. La formule alors employée pour calculer la résistivité apparente $\rho_a$ est :

$$\rho_a = \frac{\pi\ (A\ B)^2}{4\ (M\ N)}\ R = K.R\ (\Omega - m)$$

où A B = la distance séparant les électrodes de courant, exprimée en mètres.

M N = la distance séparant les électrodes de potentiel, exprimée en mètres.

R = la résistance électrique en ohms ($\Omega$).

Nous avons choisi des dimensions telles que la distance M N soit environ dix fois plus petite que la distance A B. Le tableau 1 indique les valeurs de A B/2 et M N/2 et K utilisées de façon standardisée pour les relevés.

**Tableau 1**

***Paramètres de la configuration de Schlumberger.***

| $\frac{A\ B}{2}$ (m) | $\frac{M\ N}{2}$ (m) | $K = \pi \frac{(A\ B)^2}{(M\ N)}$ | $\frac{A\ B}{2}$ (m) | $\frac{M\ N}{2}$ (m) | $K = \pi \frac{(A\ B)^2}{(M\ N)}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.5 | 1.571 | 30 | 2.0 | 353.4 |
| 2 | 0.5 | 6.28 | 32 | 2.0 | 402.1 |
| 3 | 0.5 | 14.13 | 32 | 4.0 | 201.0 |
| 4 | 0.5 | 25.14 | 34 | 4.0 | 232.0 |
| 6 | 0.5 | 56.56 | 36 | 4.0 | 254.5 |
| 8 | 0.5 | 100.0 | 38 | 4.0 | 283.6 |
| 10 | 0.5 | 157.1 | 40 | 4.0 | 314.2 |
| 10 | 1.0 | 78.5 | 42 | 4.0 | 346.4 |
| 12 | 1.0 | 113.1 | 42 | 8.0 | 173.2 |
| 14 | 1.0 | 153.9 | 46 | 8.0 | 207.8 |
| 16 | 1.0 | 201.0 | 50 | 8.0 | 245.5 |
| 18 | 1.0 | 254.4 | 54 | 8.0 | 286.3 |
| 20 | 1.0 | 314.2 | 58 | 8.0 | 330.3 |
| 20 | 2.0 | 157.1 | 60 | 8.0 | 353.4 |
| 22 | 2.0 | 190.1 | 62 | 8.0 | 377.4 |
| 24 | 2.0 | 226.2 | 65 | 8.0 | 414.8 |
| 26 | 2.0 | 265.4 | 70 | 8.0 | 481.1 |
| 28 | 2.0 | 307.9 | 80 | 8.0 | 628.3 |

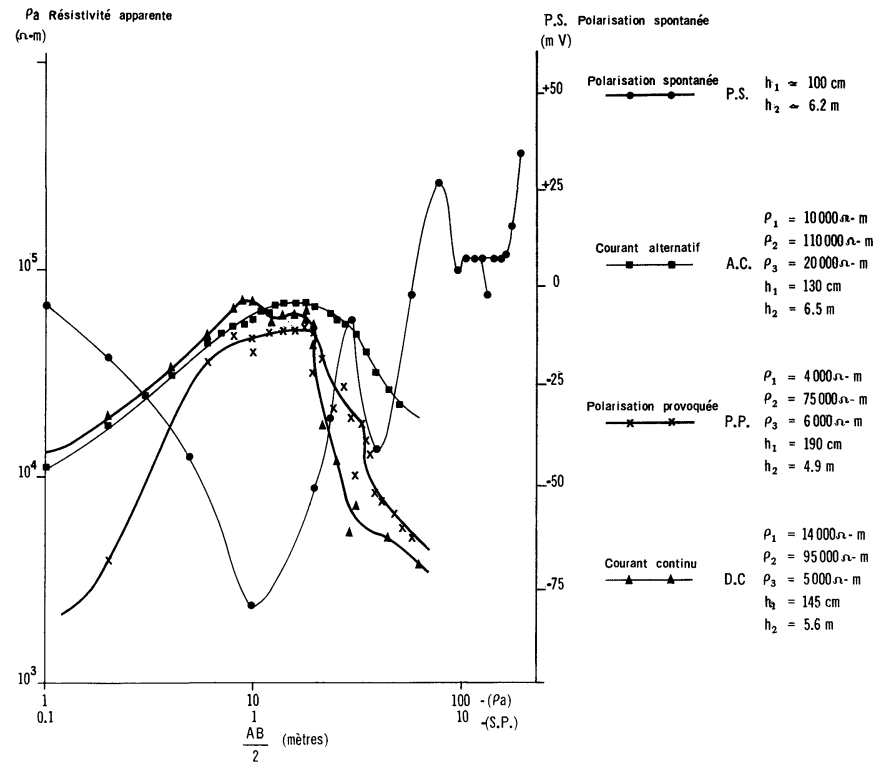
Nous avons effectué des mesures thermiques de surface à deux niveaux, soit 10 et 30 cm sous la surface du sol, suivant divers profils dans trois des quatre sites. Le résultats obtenus semblent indiquer la présence de pergélisol dans les dépôts sous-jacents lorsque le gradient de température est égal ou plus grand que 0,11°C $cm^{-1}$. Un grand nombre d'autres profils thermiques sont néanmoins nécessaires afin d'améliorer la procédure relative à la prise et à l'interprétation des mesures.

*Résultats et discussion*

La majeure partie de l'interprétation est basée sur les données de résistivité électrique en courant continu (D.C.), alternatif (A.C.), et de polarisation provoquée (P.P.) obtenues à partir des mesures de surface. Dans la majorité des cas, nous avons utilisé des abaques trois-terrains publiés par la Compagnie Générale de Géophysique de France (1955, 1963) et le Rijkswaterstaat de Hollande (1969). La figure 2 montre les résultats d'interprétation de

**Figure 2**

SONDAGES ÉLECTRIQUES EN COURANT CONTINU ET ALTERNATIF ET DE POLARISATION PROVOQUÉE À PARTIR DES MESURES DE SURFACE AU SITE 1 DU LAC MINTO

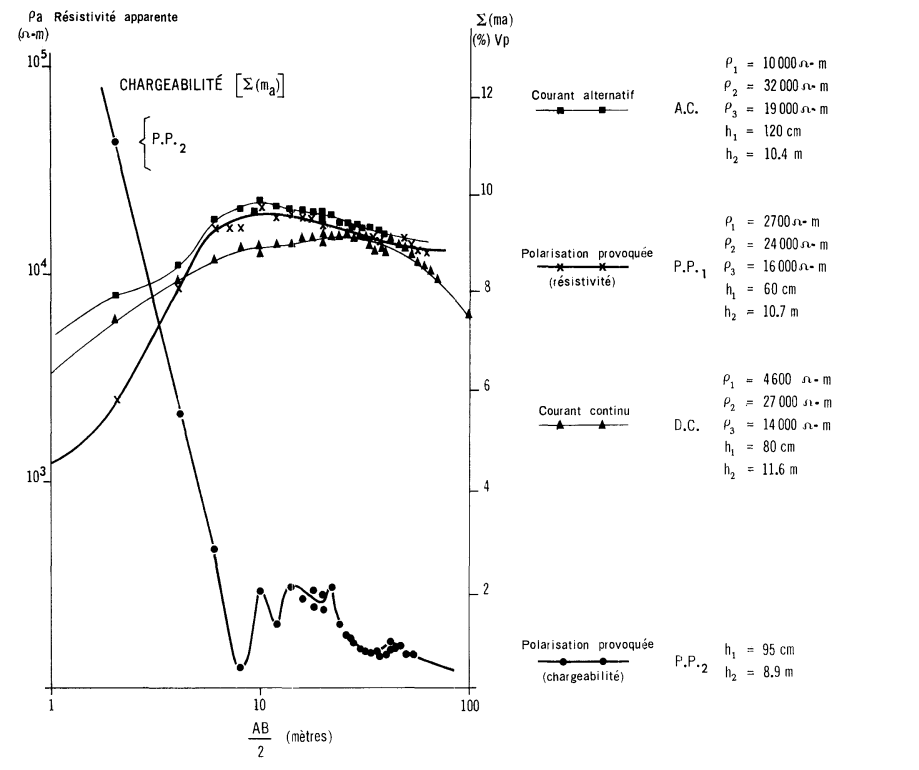


mesures de surface (D.C., A.C. et P.P.) obtenues sur une terrasse recouverte d'un tapis muscinal (site no 1) située à environ 7 m au-dessus du niveau du lac. Les diverses interprétations ont donné une épaisseur ($h_1$) variant entre 130 et 190 cm pour le mollisol et une épaisseur ($h^2$) allant de 4,9 à 6,5 m pour le pergélisol. La résistivité calculée ($\rho^2$) du pergélisol varie entre 75 et 110 k $\Omega$ – m. Nous avons aussi obtenu une épaisseur approximative du mollisol et du pergélisol à partir de l'interprétation qualitative des mesures de polarisation spontanée (P.S.). Cette terrasse est constituée de sable et de gravier.

La figure 3 montre les résultats obtenus à partir de l'interprétation des mesures de résistivité électrique en courant continu (D.C.), alternatif (A.C.) et de polarisation provoquée (résistivité ($P.P._1$) et chargeabilité ($P.P.^2$). Ces mesures ont été faites sur une terrasse non boisée située à 13 m au-dessus du niveau du lac (site 4). L'épaisseur calculée de mollisol varie entre 60 et 120 cm et celle du pergélisol entre 9 et 11,5 m ; la résistivité électrique du

**Figure 3**

SONDAGES ÉLECTRIQUES EN COURANT CONTINU ET ALTERNATIF ET DE POLARISATION PROVOQUÉE À PARTIR DES MESURES DE SURFACE AU SITE 4 DU LAC MINTO



pergélisol oscille entre 25 et 32 K $\Omega$ – m. Cette terrasse est surtout constituée de loam sableux ; la petite dimension du grain explique, en partie du moins, la diminution de la résistivité d'un facteur de 3 à 4. On remarque aussi la réduction rapide de la chargeabilité lors du passage de la couche de mollisol au pergélisol. À l'intérieur de la couche de pergélisol, on observe de faibles variations de la chargeabilité, tandis qu'en dessous, les lectures demeurent constantes. On a constaté que les mesures de chargeabilité sont surtout utiles dans des aires de pergélisol où la résistivité est relativement faible (buttes minérales cryogènes, fens, palses).

Il semble que les divers sondages électriques parviennent à détecter la couche de pergélisol en dépit des grandes fluctuations de résistivité d'un site à l'autre. Ceci est probablement dû au fait qu'une certaine partie des pores est remplie de glace dans la couche de pergélisol, maintenant ainsi un bon contraste de résistivité électrique entre les divers substrats gelés et non gelés. Il faut rappeler que la résistivité de la glace est de l'ordre de $4 \times 10^7$ $\Omega$ – m alors que celle de l'eau de ruisseau est d'environ 30 $\Omega$ – m.

Le tableau 2 rassemble les résultats les plus significatifs obtenus dans les 4 sites étudiés. Ce tableau comprend l'épaisseur du mollisol, l'épaisseur et la résistivité électrique du pergélisol et la profondeur du roc pour les différents points de mesure. Le type de relevé géophysique et la morphologie du terrain sont aussi indiqués.

*Étude détaillée du site 4*

La figure 5 illustre les formes et types de terrain rencontrés dans l'aire délimitée sur la figure 4. Nous avons subdivisé la surface du sol d'après les classes suivantes : 1) étendues d'eau (surtout les lacs), 2) roc, 3) terrasses basses non boisées, 4) terrasses basses boisées, 5) terrasses élevées non boisées, 6) dépression cryogènes d'effondrement, 7) buttes minérales cryogènes, 8) système de palses, de buttes minérales cryogènes et de fens (Payette *et al.*, 1976). Les points de mesures de résistivité électrique et de polarisation provoquée ainsi que les profils thermiques de surface sont indiqués dans la figure 5.

*Le mollisol*

La figure 6 indique les aires d'épaisseur du mollisol au site 4. Nous représentons les épaisseurs de mollisol suivant 5 tranches, à savoir de 30 à 70 cm, 70 à 110 cm, 110 à 150 cm, 150 à 190 cm et 190 cm ou plus. Nous avons calculé les épaisseurs ponctuelles du mollisol à partir de l'interprétation des données des sondages électriques et de polarisation provoquée. Vers la fin du mois d'août, nous avons mesuré l'épaisseur du mollisol au moyen d'une tige d'acier. La méthode utilisée consiste à faire une dizaine de mesures dans un rayon d'environ 3 m centré autour du point et de prendre la moyenne. Dans la majorité des cas, les profondeurs mesurées sont sensiblement plus grandes que celles obtenues à partir de l'interprétation des sondages électri-

**Tableau 2**

***Caractéristiques des sites échantillonnés au lac Minto, août 1975***

| *Point No.* | *Épaisseur mollisol (cm)* | *Résistivité pergélisol (Ω-m) X10 3* | *Épaisseur pergélisol (m)* | *Profondeur du roc (m)* | *Type de relevé* | *Type de terrain* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *Site #1* | | | | |
| 1 | 150 | 56 | 1.5 | >15 | DC* | PS* |
| 2 | 145 | — | 1.6 | >14 | DC | PS |
| 3 | 165 | 160 | 4.3 | >19 | DC | TBD |
| 4 | 225 | 250 | 6.8 | >20 | DC | TBD |
| 4 | 210 | 80 | 7.4 | ⩾18 | PP1 | TBD |
| 4 | 185 | — | 9.1 | >16 | PP2 | TBD |
| 4 | 200 | — | 8.2 | ⩾17 | SP | TBD |
| 4 | 145 | 250 | 7.6 | >14 | AC | TBD |
| 5 | 82 | 160 | 7.0 | 26 | AC | THD |
| 5 | 90 | 39 | 8.4(?) | >14 | AC | THD |
| 6 | 240 | 200 | 6.9 | >15 | AC | TBD |
| 6 | 210 | 200 | 7.8 | >14 | AC | TBD |
| 6 | 230 | 230 | 8.9 | >17 | DC | TBD |
| 6 | 180 | 60 | 4.7 | 8 | PP1 | TBD |
| 6 | 170 | — | 6.4 | 9 | PP2 | TBD |
| | | *Site #2* | | | | |
| 1 | 75 | 200 | 7.2 | >13 | PP1 | PS |
| 1 | 125 | — | 7.3 | >12 | PP2 | PS |
| 1 | 90 | 250 | 9.5 | >16 | AC | PS |
| 2 | 145 | 25 | 8.5(?) | >20 | PP1 | TF |
| 2 | 210 | — | 9.1 | >19 | PP2 | TF |
| 2 | 150 | 400 | 3.2 | >20 | DC | TF |
| 2 | 160 | 500 | 4.5 | >22 | DC | TF |
| 2 | 135 | 85 | 6.4 | >16 | AC | TF |
| | | *Site #3* | | | | |
| 1 | 95 | 24 | 6.9 | 14.4 | DC | BCF |
| 2 | 85 | 26 | 10.3 | 23.3 | DC | BC |
| 3 | 75 | 84 | 9.5 | >17 | DC | BC |
| 3 | 105 | 43 | 10.0 | >26 | AC | BC |
| 4 | 150 | 54 | 9.7 | ⩾34 | DC | BC |
| 5 | 135 | 170 | 7.2 | ⩾31 | DC | TBD |
| 5 | 145 | 65 | 7.0 | 14 | AC | TBD |
| 6 | 180 | 22 | 7.3(?) | 23 | DC | TBD |
| 6 | 150 | 165 | 6.9 | 31 | AC | TBD |
| | | *Site #4* | | | | |
| 1 | 120 | 36 | 7.2 | 13.7 | AC | TBD |
| 2 | 130 | 32 | 2.7 | 4.9 | AC | BC |
| 3 | 70 | 25 | 12.8 | 11.2 | AC | BC |
| 4 | 175 | 54 | 6.8 | >27 | AC | TBD |

**Tableau 2 (Suite)**

| *Point No.* | *Épaisseur mollisol (cm)* | *Résistivité pergélisol* ($\omega$-$\delta$) X10$^3$ | *Épaisseur pergélisol (m)* | *Profondeur du roc (m)* | *Type de relevé* | *Type de terrain* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *Site #4 (Suite)* | | | | |
| 5 | 160 | 13 | 1.6(?) | 4.6 | AC | BC |
| 6 | 120 | 20 | 0.9(?) | 4.8 | AC | TBB |
| 7 | 75 | 45 | 12.5 | 26.8 | AC | BC |
| 8 | 125 | 22 | >15 | >27 | AC | BC |
| 9 | 70 | 27 | 6.6 | 13.5 | AC | BC |
| 10 | 65 | 160 | 9.7 | < 1 | AC | R |
| 11 | 70 | 60 | 6.7 | 30.3 | AC | BC |
| 12 | 70 | 62 | 7.1 | 33.1 | AC | TBD |
| 13 | 145 | 58 | 4.6 | 7.4 | AC | THD |
| 14 | 180 | 27 | 0.9 | 12.2 | AC | BCF |
| 15 | ⩾180 | — | <0.8 | 15.7 | AC | BCF |
| 16 | 130 | 56 | 14.4 | 32.8 | AC | BC |
| 17 | 65 | 26 | 24.6 | ÷31 | AC | BC |
| 18 | 135 | 12 | 8.6(?) | 21.6 | AC | BC |
| 19 | 115 | 50 | 9.5 | 19.3 | AC | BCF |
| 20 | 35 | 23 | 2.7 | 12.6 | AC | BC |
| 21 | 90 | ÷32 | 9.6 | ⩾24 | AC | BC |
| 22 | 180 | 24 | 17.4 | ÷27 | AC | BC |
| 23 | 150 | 150 | 9.7 | ÷24 | AC | TBD |
| 24 | 160 | 56 | 14.6 | >34 | AC | THD |
| 25 | 105 | 82 | 4.4 | 21.4 | AC | TBD |
| 26 | 70 | 42 | ⩾4 | 32.7 | AC | BC |
| 27 | 100 | 70 | ÷0.9 | 19.1 | AC | TBB |
| 28 | 150 | 170 | 3.5 | 16 | AC | TBB |
| 29 | 60 | 30 | 8.6 | ⩾29 | AC | BC |
| 30 | 130 | 35 | 3.6 | 15.6 | AC | BC |
| 31 | ⩾180 | 29 | ⩽7 | 7.9 | AC | BC |
| 32 | ⩾180 | 70 | 1.0 | 5.3 | AC | TBD |
| 33 | 105 | ÷23 | 14.6 | 17.2 | AC | BC |
| 34 | 120 | 55 | 17.6 | ⩾19.7 | AC | THD |
| 35 | 130 | 60 | 8.6 | ⩾34 | AC | TBD |
| 36 | 100 | 19 | ÷14(?) | ÷23 | AC | BC |
| 37 | 85 | 31 | 22.6 | ⩾32 | AC | BC |
| 38 | 100 | 38 | 0.5 | ÷14.8 | AC | TBB |
| 39 | 120 | — | ⩽2m | 9.4 | AC | BC |
| 40 | 175 | 135 | 6.6 | ⩾33 | AC | TBD |
| 41 | >180 | 15 | 0.4 | 9.8 | AC | BC |
| 42 | 165 | 120 | 9.7 | 15.2 | AC | THD |
| 43 | 110 | 75 | 5.4 | 18.8 | AC | TBD |
| 44 | 160 | 16 | ÷2.7 | ÷10.8 | AC | BC |

**Tableau 2 (Suite)**

| *Point No.* | *Épaisseur mollisol (cm)* | *Résistivité pergélisol (Ω-m) X10 3* | *Épaisseur (m)* | *Profondeur du roc (m)* | *Type de relevé* | *Type de terrain* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 100 | 30 | 6.6 | >21 | DC | BC |
| B | 120 | 31 | 4.7 | >9.8 | AC | BC |
| C | 70 | 65 | 6.9 | — | AC | TBD |
| D | 140 | 52 | 5.3 | >8 | AC | BC |
| E | 60 | 21 | 9.6 | >17 | AC | BC |
| E | 75 | 40 | 7.4 | >22 | DC | BC |
| E | 120 | 19 | 12.9 | >23 | PP1 | BC |
| E | 160 | — | — | — | PP2 | BC |
| F | 125 | 150 | 5.8 | ÷9 | AC | TBD |
| F | 85 | 28 | 10.7 | ÷12.5 | DC | TBD |
| F | 55 | 160 | 9.5 | 10.9 | PP1 | TBD |
| F | 125 | — | 9.0 | 11 | PP2 | TBD |
| G | 150 | 80 | 9.1 | 10.2 | DC | THD |
| G | 110 | 45 | 7.3 | ÷ 15 | PP1 | THD |
| G | 150 | — | 7.4 | 13 | PP2 | THD |
| H | 60 | 25 | 5.5 | ÷14 | DC | BC |
| I | 65 | 18 | 8.6 | ÷20 | DC | BC |
| J | 90 | 17 | 4.6 | >19 | DC | BC |
| J | 80 | 19 | 5.1 | >17 | PP1 | BC |
| J | 105 | — | 4.5 | — | PP2 | BC |
| K | 190 | 23 | 11.9 | >17 | DC | BC |
| K | 170 | 25 | 11.1 | >20 | PP1 | BC |
| K | 130 | — | 11.6 | 31 | PP2 | BC |
| K | 120 | — | 8.6 | >22 | AC | BC |

LÉGENDE DU TABLEAU 2

*DC = Résistivité électrique en courant contitnu.

AC = Résistivité électrique en courant alternatif.

PP1 = Résistivité électrique de l'unité de polarisation provoquée.

PP2 = Chargeabilité de l'unité de polarisation provoquée.

SP = Polarisation spontanée.

TBD = Terrasse inférieure non boisée.

TBB = Terrasse inférieure boisée.

THD = Terrasse supérieure non boisée.

PS = Plage de sable.

TF = Terrasse fluvioglaciaire.

BCF = Butte minérale cryogène boisée.

BC = Butte minérale cryogène non boisée.

R = Roc.

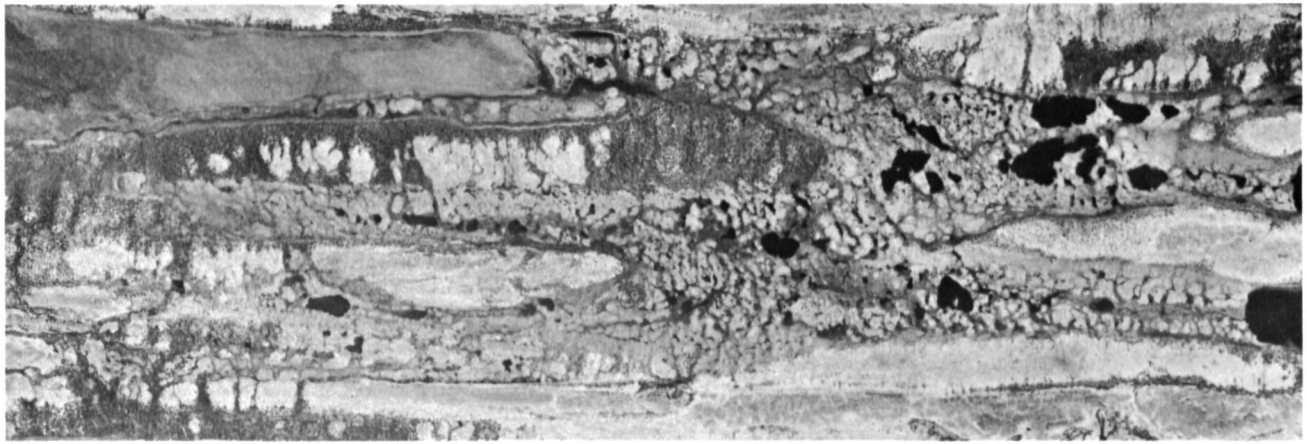


Figure 4

**FORMES ET TYPES DE TERRAIN RENCONTRÉS AU SITE 4 DU LAC MINTO**

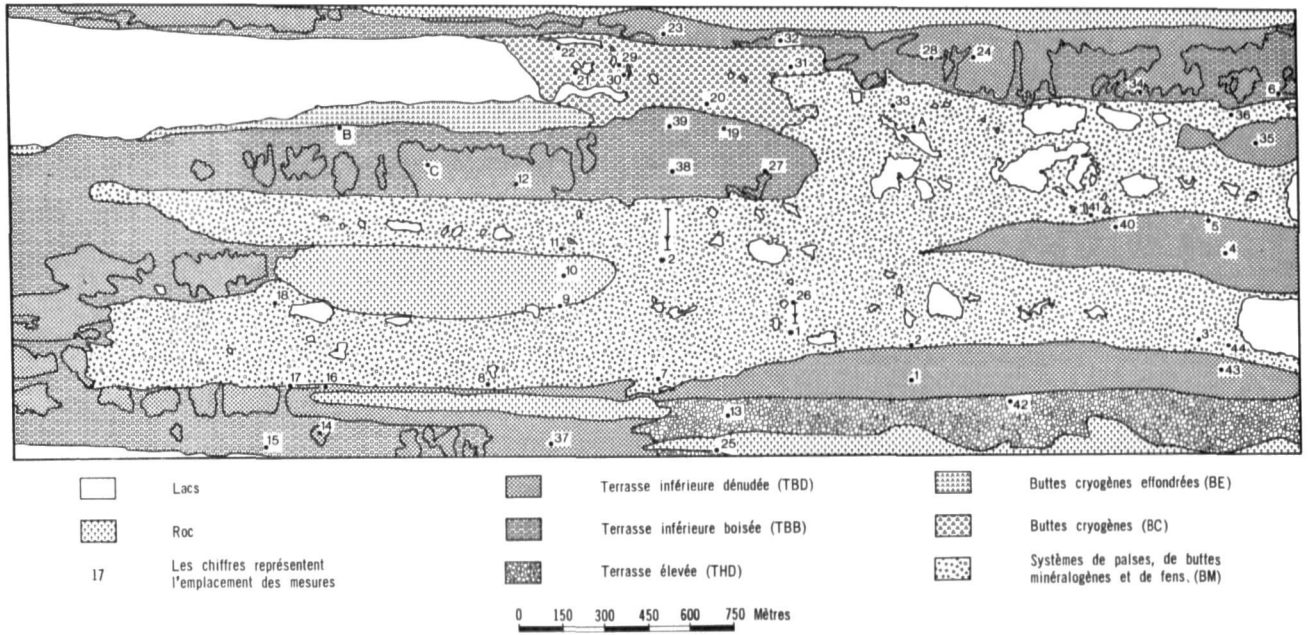
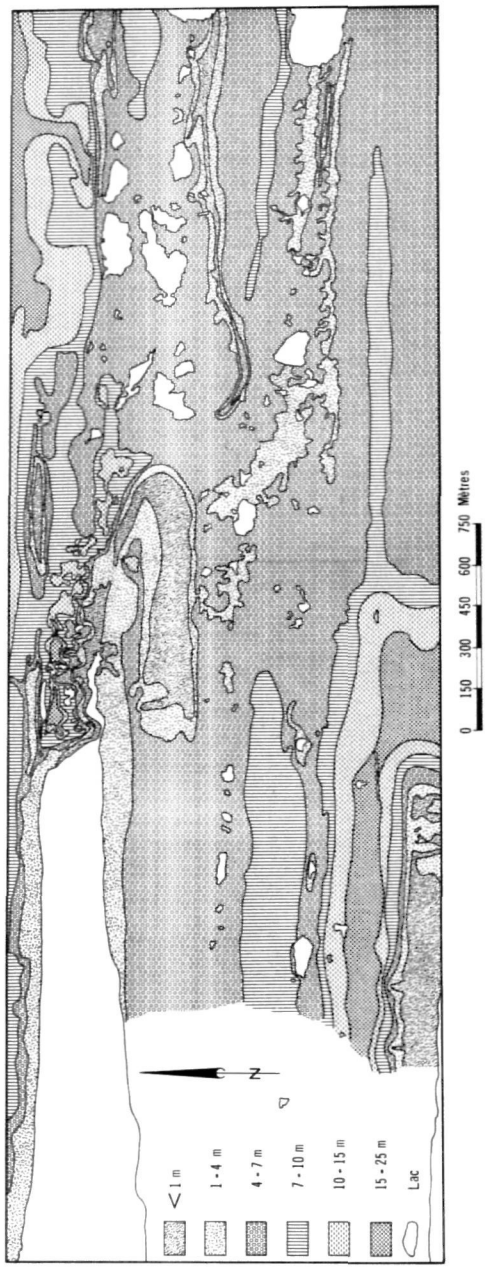



Figure 5

**Figure 6**

**Figure 7**



ques. Ceci est dû au fait que ces sondages ont été effectués en majorité durant le mois de juillet alors que les mesures obtenues à l'aide de la tige étalonnée l'ont été vers la fin d'août lorsque le mollisol atteint approximativement son épaisseur maximum. Nous avons donc retenu ces dernières valeurs pour dessiner la carte des épaisseurs du mollisol.

Il est à noter que les épaisseurs plus grandes que 190 cm se trouvent : 1) sur une terrasse basse boisée dans la partie sud-ouest de la carte, 2) dans une région de fens et de ruisseaux au centre-est, et 3) sur une terrasse basse faiblement boisée au centre-nord de la carte, où une très grande épaisseur de neige s'y accumule. Ce sont là les seules aires de ce site où le pergélisol est probablement absent.

*Le pergélisol*

La figure 7 illustre les aires d'épaisseur du pergélisol dans le même site. Seules les étendues d'eau sont identifiées séparément. Nous avons représenté les aires d'épaisseur du pergélisol suivant 6 tranches différentes : 1) moins d'un mètre, 2) 1 à 4 m, 3) 4 à 7 m, 4) 7 à 10 m, 5) 10 à 15 m, 6) 15 à 25 m. Nous avons calculé les épaisseurs ponctuelles du pergélisol à partir de l'interprétation des données des sondages électriques et de polarisation provoquée. Les épaisseurs les plus faibles se situent : 1) sur les terrasses basses boisées au sud-ouest et dans le centre de la carte, 2) dans des régions de fens et de ruisseaux au centre-est et 3) sur une terrasse basse non boisée au centre-nord de la carte. Trois des cinq emplacements où le pergélisol est très mince ou absent correspondent aux aires où l'épaisseur mesurée de mollisol est plus grande que 190 cm. Comme ces mesures sont complètement indépendantes et que les sondages ont été effectués et interprétés avant la prise des mesures des épaisseurs de mollisol, on ne peut conclure à une coïncidence ; le pergélisol est discontinu dans ce site. Les plus grandes épaisseurs de pergélisol se trouvent sur et en bordure des hautes terrasses déboisées au sud-ouest et au nord-est de la région étudiée, ainsi que dans une petite aire de buttes minérales cryogènes situées dans le centre-nord.

Afin d'établir aussi précisément que possible la délimitation des épaisseurs de pergélisol, nous avons eu recours à l'interprétation des formes de terrain à partir des photographies aériennes (Barygin, 1953). Ainsi, nous avons remarqué que les résultats des sondages électriques ponctuels sont très uniformes sur le terrasse basse boisée près du centre de la région. À l'aide de la photo aérienne, nous avons donc délimité les pourtours de cette terrasse boisée et circonscrit l'aire où les épaisseurs de pergélisol sont inférieures à un mètre. Nous avons procédé de façon similaire pour les autres formes de terrain. L'aire centrale qui est recouverte de buttes minérales cryogènes et de fens est celle où la densité des points de mesures est la plus faible. Cette situation s'explique du fait que, à l'exception de quelques fens très étroits où le pergélisol peut être absent (Ponomarev et Tolstikhin, 1959), l'épaisseur du pergélisol est relativement constante et varie généralement entre 4 et 7 m.

Le tableau 3 comprend les variations dans l'épaisseur ainsi que l'épaisseur moyenne du mollisol et du pergélisol pour divers types et formes de terrain des quatre sites étudiés au lac Minto. On note que la plus grande épaisseur de mollisol se trouve dans les terrasses fluvioglaciaires alors que l'épaisseur est minimum dans les buttes minérales cryogènes. Le pergélisol est absent ou presque sur les terrasses basses boisées ; l'épaisseur maximum est rencontré sur les terrasses supérieures non boisées. On n'a pu traverser toute l'épaisseur du pergélisol par forage et vérifier l'exactitude des profondeurs calculées concernant la limite inférieure du pergélisol.

*Le substrat rocheux*

À l'aide des sondages de résistivité électrique et de polarisation provoquée, nous sommes parvenus à déterminer la profondeur du roc à quelque 53 points de mesure dont une quarantaine au site 4. Si cela s'était avéré utile et nécessaire, on aurait facilement pu produire une carte des profondeurs du roc. La résistivité électrique moyenne calculée à partir de l'interprétation de ces 53 sondages est égale à 37 K $\Omega$ – m avec un maximum de 74 K $\Omega$ – m et un minimum de 11 K $\Omega$ – m. La valeur de la résistivité électrique du roc mesurée au point no. 10 est égale à 21 K $\Omega$ – m. Ce point de mesure est d'une importance capitale, car il permet un étalonnage essentiel à l'interprétation de la majorité des sondages électriques effectués au site 4. Les résultats présentés au tableau 2 ne semblent pas indiquer de corrélation bien établie entre l'épaisseur du pergélisol et la profondeur du roc ; ce dernier est gelé sur une épaisseur de 9 m au point de mesure no. 10.

*Remarques générales*

La synthèse présentée au tableau 3 indique que la résistivité életrique du pergélisol est très variable (20 à 500 K $\Omega$ – m). Il apparaît donc évident qu'on ne peut attribuer ces grandes fluctuations uniquement à des variations de température. La classification par types de terrain montre clairement que les matériaux gelés à grain grossier et relativement secs des terrasses fluvioglaciaires ou de till remanié ont une résistivité électrique de 5 à 8 fois plus grande que les matériaux à grain fin (loam sableux) et relativement humides des buttes minérales cryogènes. Cependant, pour un même type de terrain (dimension des grains et contenu en eau et glace à peu près constant), il semble possible d'établir une relation entre la résistivité électrique (croissante) et la température (décroissante). Les mesures thermiques dans quelques trous de forage sur la tranche supérieur du pergélisol ont donné des températures de – 0,1 à – 0,8°C. Ces valeurs suggèrent des températures de l'ordre de – 1 à – 2°C vers le noyau des couches ou lentilles de pergélisol. À cause d'un système de forage inadéquat, il a été impossible de vérifier s'il existe une relation entre les températures (décroissantes) et l'épaisseur du pergélisol (croissante) (Shvetsov, 1941).

Cette étude préliminaire du pergélisol au lac Minto est incomplète à divers points de vue. Elle permettra toutefois d'orienter des travaux futurs

**Tableau 3**

***Épaisseur du mollisol et du pergélisol selon les types de terrain du lac Minto, août 1975***

| *Forme et type de terrain* | *Épaisseur du mollisol* (cm) | | | *Épaisseur du pergélisol* (m) | | | *Résistivité électrique du pergélisol* ($\Omega$−m) X$10^3$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *moyenne* | *maximum* | *minimum* | *moyenne* | *maximum* | *minimum* | *moyenne* | *maximum* | *minimum* |
| PS* | 120 (5) | 150 | 75 | 5 (5) | 9 | 2 | 770 (3) | 250 | 60 |
| TF | 160 (5) | 210 | 135 | 6 (5) | 9 | 3 | 250 (4) | 500 | 85 |
| TBD | 105 (29) | 240 | 60 | 7 (29) | 11 | 4 | 120 (23) | 230 | 25 |
| TBB | 120 (4) | 150 | 100 | 1 (4) | 3 | 0 | 75 (4) | 170 | 30 |
| THD | 120 (9) | 165 | 85 | 10 (9) | 17 | 5 | 80 (8) | 160 | 40 |
| BCF | 140 (4) | 180 | 95 | 4 (4) | 8 | 1 | 35 (3) | 50 | 25 |
| BC | 110 (43) | 190 | 35 | 9 (43) | 25 | 2 | 30 (38) | 80 | 20 |

Le chiffre entre parenthèse représente la fréquence des mesures ponctuelles.

* Voir légende au tableau 2.

plus élaborés dans cette région du Nouveau-Québec (Brown, 1973, 1975). Les résultats obtenus au lac Minto suggèrent que les recherches peuvent être poursuivies dans trois directions : 1) choix de sites additionnels complétant géographiquement ceux du lac Minto (travaux de reconnaissance), 2) application systématique au Nouveau-Québec des méthodes et techniques de mesure qui ont donné les meilleurs résultats au lac Minto, 3) établissement de cartes géomorphologiques et phyto-pergélisoliques pour usage ultérieur au Nouveau-Québec.

## CONCLUSION

L'étude géophysique préliminaire de sites caractéristiques d'une région à pergélisol discontinu (lac Minto) au Nouveau-Québec a permis de confectionner une carte d'épaisseur du mollisol et du pergélisol. Pour ce faire, nous avons procédé à une étude des principales formes de terrain reliées au pergélisol : palses (Fries et Bergström, 1911), buttes minérales cryogènes, mares et dépressions thermokarstiques (Payette *et al.*, 1976), aires d'effondrement en bordure de terrasses, cicatrices de gel en croissant, etc. Ces descriptions qualitatives ont été faites à partir d'observations au sol et sur photo aérienne, complétées par des mesures planimétriques et altimétriques. La distribution du pergélisol dans les sites étudiés a été obtenue grâce à des profils et à des sondages électriques en courant continu et alternatif, des relevés de polarisation provoquée et spontanée et des profils de la répartition des températures en surface.

La délimitation du pergélisol en profondeur a été obtenue par des sondages de résistivité électrique et de polarisation provoquée ; la présence du pergélisol a pu être vérifiée grâce à quelques forages de faible profondeur (3 m) où des mesures thermiques ont été prises. Nous avons ainsi pu établir certaines corrélations entre les propriétés physiques du pergélisol, les formes et types de terrain, la végétation et le drainage (ruisseaux et fens). La présence de dépressions thermokarstiques et de cicatrices de gel peuvent suggérer que le pergélisol discontinu est dans un état de dégradation dans cette région, mais ceci reste à prouver.

L'acquisition de connaissances fondamentales relatives aux propriétés électriques et thermiques du pergélisol dans cette région du Nouveau-Québec, jusqu'à maintenant inexplorée, représente un nouvel apport scientifique. Fondamentale, dans l'immédiat, cette recherche est susceptible d'application en fonction de décisions imminentes d'aménagement. Les relations végétation-pergélisol et drainage-pergélisol permettront éventuellement d'orienter les actions d'intervention d'aménagement et d'utilisation du sol. Une meilleure connaissance des propriétés physiques du pergélisol discontinu s'avère indispensable en Hudsonie et dans le Nouveau-Québec central.

*Remerciements*

L'auteur remercie S. Payette de l'université Laval et R.J.E. Brown du Conseil national de la recherche à Ottawa pour les stimulantes discussions tout au cours de cette

étude. G. Lambert a prit part à la réalisation technique du projet et a servi de liaison avec les travaux de phytoécologie. R. Laplante a assisté l'auteur dans la récolte, la compilation et l'analyse des mesures. Une partie de ces travaux a été financée par une subvention d'équipe (action concertée) du gouvernement du Québec (DGES – FCAC – 1975-76 – 02) tandis que l'autre l'a été par une subvention personnelle à l'auteur accordée par le Conseil de la Recherche pour la Défense (octroi no : 9511-130, 1975-76).

## BIBLIOGRAPHIE

AKIMOV, A.T. (1951) *Investigation of permafrost by geothermal and geoelectric methods in the eastern part of the Bol'shezemel'skaya tundra.* Rukopis' fondy In-to merzlotoved.

AKIMOV, A.T. (1952) *A preliminary account of permafrost investigations along the Adz'va River.* Rukopis', fondy In-to merzlotoved.

ANANYAN, A.A. (1950) *Investigation of the passage of an electric current through freezing and frozen soils.* Rukopis', fondy In-to merzlotoved.

ANANYAN, A.A. (1952) *The transfer of moisture in frozen soils under the influence of electro-osmotic forces,* Kolloid, Zhur., Vol. 14, No. 1.

BARYGIN, V.M. (1953) *Experiments in using aerial photography in studying permafrost in the Vorkuta region,* Izd-vo ANSSSR, Moscow.

BROWN, R.J.E. (1969) Factors Influencing Permafrost in Canada, in *The Periglacial Environment, Past and Present,* ed by Péwé, T.L. INQUA 7th Congress, Alaska, 1965, Montreal, McGill-Queens University Press, p. 11-53.

BROWN, R.J.E. (1973) Permafrost Distribution in Relation to Environmental Factors in the Hudson Bay Lowland. Reprint from: *Symposium on the Physical Environment of the Hudson Bay Lowland,* University of Guelph, March 30-31, p. 35-68.

BROWN, R.J.E. (1975) *Permafrost Investigations in Quebec and Newfoundland (Labrador),* Division of Building Research, Technical Paper no. 449, November, 36 p. 49 figures.

COLLETT, L.C. and R.J.E. BROWN (1974) *Proceedings of a Symposium on Permafrost Geophysics, Calgary,* February 27 and 28. Technical Memorandum No. 113, NRCC, November, 124 p.

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE (1955) Abaques de sondage électrique. *Geophysical Prospecting,* vol. 3, Publ. no. 3.

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE (1963) *Abaques de sondage électrique/Master Curvis for Electrical Sounding.* European Ass. of Exploration Geophysicists.

DEMENT'EV, A.I. et al. (1959) *Principles of Geocryology (Permafrost Studies),* Part II, Engineering Geocryology, Chapter XII, Methods of Investigations in Engineering Geocryology, Moscow, Academy of Sciences of the USSR, V.A. Obruchev Institute of Permafrost Studies, p. 298-347.

DOSTOVALOV, B.N. (1947) *The Electrical Characteristics of Frozen Rocks.* Tr. Inst. Merzlotovedeniya in V.A. Obruchev, vol. 5, p. 18-35.

DOSTOVALOV, B.N. (1955a) *Mapping ground ice and thickness of permafrost by the direct current method.* Izd-vo ANSSSR.

DOSTOVALOV, B.N. (1955b) *The fundamentals of electric surveying of frozen soil by the resistance method.* Rukopis', fondy In-to merzlotoved., Moscow.

EGEREV, K.E. (1958) *Electric method of determining the tangential reactions distributed along the lateral surfaces of a pile with load applied and frozen in the soil.* Tr. In-to merzlotoved, Vol. 14.

FRIES, Th. M., et BERGSTROM, E. (1911) *Nagra iakttagelser öfver palsar ochderas förekomst in nordligaste Sverige.* Geol. för. i Stockh. förh., Bd. 32, H. 1.

HAMELIN, L.E. et CAILLEUX, A. (1969) Les palses dans le bassin de la Grande Rivière de la Baleine. *Rev. Geogr. Montréal,* vol. 23, no. 3 p. 329-337.

KORKINA, R.I. (1952) *Report on electrometric field work in Yakutia in 1950. Rukopis',* fondy In-to merzlotoved.

LAGAREC, D. (1973) Postglacial Permafrost Features in Eastern Canada. *Proc. Second Internal. Conf. Permafrost, North American Contribution,* U.S. National Academy of Sciences, Washington, p. 126-131.

PAYETTE, S., SAMSON, H. et LAGAREC, D. (1976) The evolution of permafrost in the taiga and in the forest-tundra, western Quebec-Labrador Peninsula, *Can. J. For. Res.*, p. 203-220.

PONOMAREV, V.M., et TOLSTIKHIN, N.I. (1959) *Principles of Geocryology (Permafrost Studies).* Part 1, General Geocryology, Chapter X, Ground Water in Permafrost Areas. Academy of Sciences of the USSR. V.A. Obruchev Institute of Permafrost Studies, Moscow, p. 328-364.

RYKSWATERSTOOT, The Netherlands (1969) *Standard Graphs for Resistivity Prospecting.* European Ass. of Exploration Geophysicists.

SÉGUIN, M.K. (1965) *Electrical resistivity survey to determine overburden depths.* Open file report to IOCC, July 28th, 9 pp.

SÉGUIN, M.K. (1966 a) *Electrical resistivity surveys conducted on the Redmond No: #1 deposit; water table determination study.* Open file report to IOCC, August 23rd, 24 pp.

SÉGUIN, M.K. (1966 b) *Overburden depth determination in the Fleming #9 — Barney #1 area (lower part).* A report to the development section of IOCC, September 9th, 16 pp.

SÉGUIN, M.K. (1967) *Overburden depth determination in the Fleming No: 9 — Barney No: 1 1967 mapping area (upper part), using the FS-3 Huntec portable seismograph.* Open file report to IOCC, September 3rd, 20 pp.

SÉGUIN, M.K. (1971 a) *Quantitative interpretation of the refraction seismic survey inducted for permafrost and overburden depth determination in the Fleming #3 area.* Open file report to IOCC, September 5th, 7 pp.

SÉGUIN, M.K. (1971 b) *Interpretation of the geophysical studies conducted on permafrost zones of the Timmins Mine area.* Open file report to IOCC, August 12th, 7 pp.

SÉGUIN, M.K. (1972 a) *Interpretation of ground electromagnetic survey in the Timmins #4 deposit as a tool permitting to outline permafrost zones.* Open file report to IOCC, July 17th, 21 pp.

SÉGUIN, M.K. (1972 b) *Investigation of resistivity studies in permafrost from the Schefferville district.* Open file report to IOCC, August 16th, 64 pp.

SÉGUIN, M.K. (1972 c) *Comments in the last and up-to-date resistivity soundings used to outline the permafrost depth in the mine zone.* Open file report to IOCC, August 29th, 24 pp.

SÉGUIN, M.K. (1973) *Report on the monitoring of two blasts in the Timmins #1 (mine) area.* Open file report to IOCC, July 23rd, 32 pp.

SÉGUIN, M.K. (1974 a) *Test géophysique de résistivité électrique dans des trous de forages, Projet-11-832 Canton Bousquet, Abitibi.* Rapport interne, Université Laval, Département de géologie, 30 juillet, 6 pp.

SÉGUIN, M.K. (1974b) *The Use of Geophysical Methods in Permafrost Investigation : Iron Ore* Deposits of the Central Part of the Labrador Trough, Northeastern Canada. *Geoforum,* vol. 18, p. 55-67.

SÉGUIN, M.K. (1974 c) État des recherches sur le pergélisol dans la partie centrale de la fosse du Labrador, Québec subarctique, *Rev. de Géogr. Montréal,* 28: 323-342.

SÉGUIN, M.K. (1975) *Essais de carottage électrique, de polarisation spontanée, de polarisation provoquée et thermique sur la propriété de Louvem, à Louvicourt, Abitibi.* Université Laval, Département de géologie, rapport interne, 3 juin, 17 pp.

SÉGUIN, M.K. et LAMBERT, G. (1975) *Études bibliographiques de l'application de la géophysique au pergélisol.* Mémoire, Centre d'ingénierie nordique et Centre d'études nordiques, janvier, 8 pp.

SHVETSOV, P.F. (1941) *On problems of the relationship between temperature and the thickness of permafrost to the geological and hydrogeological factors.* Izv. ANSSSR, ser. geol. No. 1.

SUMBIN, M.I. (1931) *A short course in geophysics as applied to roads.* Moscow, Gostransizdat, 83 pp.

## RÉSUMÉ

**SEGUIN, Maurice K. : Observations géophysiques sur le pergélisol des environs du lac Minto, Nouveau-Québec.**

À l'aide de techniques géophysiques, on a étudié le pergélisol de la région du lac Minto, Nouveau-Québec. Le pergélisol a une distribution discontinue et son épaisseur varie selon les caractéristiques biophysiques des stations inventoriées. Le pergélisol est mince ou absent sur les terrasses lacustres boisées, ainsi que dans les fens et les sédiments grossiers d'origine fluvioglaciaire. Il est par contre présent dans les stations exposées aux vents et peu enneigées, autant dans les sédiments minéraux (terrasses de tills remaniés, buttes minérales cryogènes) qu'organiques (palses, plateaux palsiques dans les fens de la région). L'importance du mollisol et du pergélisol a fait l'objet d'une cartographie détaillée dans un secteur diversifié au point de vue écologique. La neige, le ruissellement et la capacité de retention d'eau des sédiments semblent être les principaux facteurs déterminant la présence et l'importance du pergélisol.


**MOTS-CLÉS : Pergélisol, mollisol, géophysique, Nouveau-Québec, Lac Minto.**


## ABSTRACT

**SEGUIN, Maurice K. : Geophysical observations of permafrost in Lake Minto area, Nouveau-Québec.**

This paper is concerned with permafrost distribution n Lake Minto area, Nouveau-Québec, studied with the aid of geophysical techniques. Permafrost has a discontinuous distribution and its depth varies greatly with biophysical conditions of sampled sites. Permafrost is shallow or absent on wooded lacustrine terraces, fens and coarse fluvioglacial deposits, whereas it is well developped on windy and snow-free sites, either in mineral deposits (reworked till terraces, cryogenic mineral mounds) or organic ones (palsas and peat plateaus). In an ecologically well diversified area the active layer and permafrost were mapped in detail. Snow, run-off, and soil water capacity seem to be the main factor responsible for the presence and importance of permafrost.


**KEY WORDS : Permafrost, active layer, geophysics, Nouveau-Québec Lake Minto.**