

DÉTECTION, PAR MÉTHODES GÉOPHYSIQUES, DE SOLS GÉLIFS À L'EMPLACEMENT DE PISTES D'ATTERRISSAGE AU NUNAVIK, QUÉBEC

M.K. SEGUIN¹ et R. LÉVESQUE²

¹ Département de géologie et Centre d'études nordiques,
² Département de géographie et Centre d'études nordiques,
Université Laval, Sainte-Foy, Québec, G1K 7P4.

Résumé

Plusieurs pistes d'atterrissage en construction dans le nord québécois font face à un problème potentiel d'instabilité car elles reposent fréquemment sur des sédiments pergélisolés dont certains sont susceptibles au gel. Pour les quatre sites étudiés, différentes méthodes géophysiques, combinées aux observations géomorphologiques, ont permis d'élaborer une stratigraphie sommaire, de mesurer l'épaisseur du mollisol et du pergélisol (pour les épaisseurs ≤ 40 m) et de délimiter les couches et les zones à haute teneur en glace. Des carottages peu profonds (≤ 5 m) et l'installation de thermocâbles ont contribué à la validation des interprétations. Dans les sédiments fins, tels ceux de Salluit, le passage d'une couche riche en glace à une couche à faible teneur se traduit par une diminution de la résistivité apparente et par une transition rapide des chargeabilités positives vers les négatives. Des relevés sur deux buttes décamétriques, aplanies lors de la construction des pistes de Quaqtac et de Tasiujaq, révèlent la présence de sédiments fins. Le contenu en glace, qui ne dépasse pas la porosité naturelle des sols, est cependant plus élevé à Quaqtac (5 à 10%). La stabilité de la piste de Kangiqsualujuaq est assurée car les sédiments grossiers visibles en surface atteignent le socle rocheux sous-jacent.

Abstract

Many airstrips under construction in northern Québec are faced with possible problems of instability because they are built on permanently frozen unconsolidated deposits of which some are frost susceptible. For all four sites investigated, various geophysical methods, complemented by geomorphological observations, yield preliminary stratigraphic results, give the thickness of active layer and permafrost (for thicknesses ≤ 40 m) and provide an estimate of layers and zones having a higher ice content. Shallow drill holes (≤ 5 m) and the installation of thermistor cables verify the interpretations. In fine-grained sediments such as those of Salluit, the transition of an ice-rich to ice-poor layer causes a decrease in apparent resistivity and a quick change from positive to negative chargeabilities. Geophysical surveys on two decametric mounds, which were cut open during the construction of the airstrips of Quaqtac and Tasiujaq, show the occurrence of fine-grained sediments. The ice content of these sediments does not exceed the natural porosity of the soils, but it is slightly higher (5-10%) at Quaqtac. The stability of the Kangiqsualujuaq airstrip is clearly guaranteed considering the fact that the coarse-grained sediments observed on the surface extend down to the underlying bedrock.

Introduction

L'implantation d'infrastructures aéroportuaires au Québec nordique présente des problèmes spécifiques reliés à la présence du pergélisol. Une recherche intensive est en cours; elle pour but principal d'acquérir une somme de connaissances sur le pergélisol aux abords des pistes d'aviation et des routes d'accès. Depuis 1987, six localités ont fait l'objet de travaux, soit: Kangiqsujuaq, Kangirsuk, Kangiqsualujuaq, Quaqtac, Salluit et Tasiujaq. Les interprétations des levés géophysiques combinés aux observations de surface et à la géothermie, fournissent les renseignements nécessaires pour identifier les sols gélifs et les problèmes potentiels de stabilité des infrastructures. Nous présentons ici les principaux résultats obtenus pour les quatre derniers sites mentionnés (fig. 1).

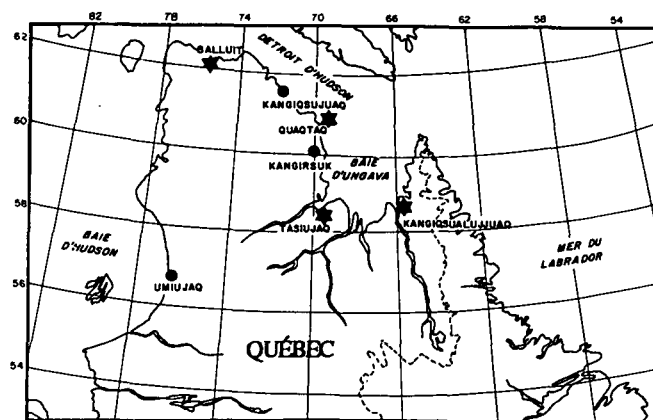


Figure 1 Localisation des pistes d'atterrissage étudiées. Les 4 sites discutés dans le texte sont indiqués par des étoiles.

Contraste des propriétés électriques

Le contraste des propriétés électriques entre les sols dégelés et gelés ainsi qu'entre le pergélisol riche ou pauvre en glace est utile pour évaluer la distribution spatiale de la glace dans le sol. La résistivité électrique de la glace ($\approx 10^8 \Omega\text{-m}$) est beaucoup plus élevée que celle des sols à granulométrie moyenne et non gelés ($\approx 10^3 \Omega\text{-m}$). Pour un sol donné, la résistivité électrique augmente en fonction du contenu en glace et diminue avec l'augmentation de la teneur en eau. Ces proportions relatives étant thermo-dépendantes dans un pergélisol près du point de fusion (0 à -2°C), la résistivité électrique du sol gelé devient alors fonction de sa température. Pour le pergélisol littoral, la salinité abaisse le point de congélation et augmente la proportion d'eau non gelée. Il en résulte une résistivité électrique plus faible que dans les sédiments non salins.

La chargeabilité électrique de la glace est plus petite que celle de l'eau et de certains matériaux solides tels les argiles et les limons. Avec la polarisation provoquée, on observe un contraste élevé de chargeabilité à la transition entre un matériau saturé en eau et le pergélisol. Un milieu poreux dont les interstices sont remplis de glace ne contient que peu ou pas d'ions libres et est caractérisé par une chargeabilité faiblement positive ou nulle. Dans un matériau poreux, saturé en eau et contenant une certaine quantité d'électrolytes en solution, la chargeabilité est plus élevée. Cette dernière est généralement négative dans les sédiments fins dégelés et positive dans les sédiments grossiers et le socle rocheux.

Méthodes

À chaque site, les observations géomorphologiques ont consisté en un relevé détaillé des cryosols, de la nature des dépôts meubles, de la profondeur de dégel, du drainage superficiel, de la pente et de l'épaisseur du couvert de neige. Des thermocâbles de 5 et 20 m de longueur servent à suivre l'évolution du régime thermique des différents milieux (Lévesque *et al.*, 1990). Pour chacun des sites 4 ou 5 câbles sont implantés dans la piste, dans le roc et dans le terrain naturel environnant.

Les échantillons carottés permettent de procéder à des analyses granulométriques, de déterminer la teneur en eau, de décrire le type et la texture de la glace et d'estimer son volume. Ces forages peu profonds (≤ 5 m) sont toutefois impossibles dans les dépôts pierreux. Des sondages et des profilages électriques (résistivité électrique et polarisation provoquée) et électromagnétiques (géoradar) sont effectués à l'emplacement des pistes et des routes. Ils servent à mesurer l'épaisseur du mollisol et du pergélisol et à connaître sa distribution spatiale ainsi que ses principales caractéristiques.

La méthode de résistivité électrique établit la courbe de variation de la résistivité apparente (ρ_a) des terrains en fonction de la profondeur (Seguin, 1971a). Les mesures sont prises en surface à l'aide d'un dispositif à quatre électrodes (configuration de Schlumberger); la profondeur d'investigation augmente en fonction de l'écartement entre les électrodes d'envoi de courant (Seguin, 1974a). Les

contrastes de résistivité notés entre les diverses couches de sol sont interprétés en terme de séquences stratigraphiques (Seguin, 1974b; Seguin & Allard, 1984). Les variations de résistivité se produisent non seulement au passage d'une texture de sol à une autre mais aussi d'un matériau non gelé à un même matériau gelé (présence de glace). On peut alors évaluer l'épaisseur du pergélisol et délimiter les secteurs qui recèlent des concentrations de glace. L'interprétation des résultats de ces sondages est effectuée à l'aide d'abaques (Compagnie Générale de Géophysique, 1963; Rijkswaterstaat, 1969) et/ou suivant des techniques d'inversion par ordinateur (Zohdy, 1975, 1989). Outre les sondages ponctuels, des profilages de résistivité électrique (configuration dipôle-dipôle) sont réalisés lors des levés de polarisation provoquée. Cette méthode mesure la résistivité apparente (ρ_a) du terrain sondé, ainsi que sa chargeabilité apparente (m_a). Si l'on envoie un courant électrique dans le sol entre deux électrodes et qu'on coupe brusquement ce courant, on constate l'existence d'une différence de potentiel secondaire (V_s) décroissante entre deux autres électrodes colinéaires. En l'absence de phénomènes inductifs, cette différence de potentiel représente la polarisation provoquée dans le sol (Seguin, 1971b). D'après Sumner (1976), la mesure de la chargeabilité apparente (m_a) est obtenue en faisant le rapport de V_s sur V_p (voltage primaire) entre le temps (t_0) et le temps infini (t_∞).

$$m_a = \int_{t_0=200}^{t_\infty=1700} \frac{V_s}{V_p} \Delta T (ms) \quad (1)$$

Les valeurs de résistivité et de chargeabilité apparente mesurées permettent la confection d'une pseudo-section. Les secteurs à chargeabilité/résistivité plus élevées ou plus faibles que l'ensemble, ainsi que les fortes transitions susceptibles de correspondre aux contacts sols dégelés/sols gelés (zones contenant de la glace en excès), sont identifiés. Les profondeurs relatives sur ces pseudo-sections sont transposées en profondeurs réelles en employant les formules établies par Roy & Apparao (1971); Roy (1972); Edwards (1977); Apparao & Sarma (1981).

Étude géoélectrique des quatre sites

Le nord du Québec contient très peu de glace massive et l'épaisseur des dépôts meubles y est relativement mince. Les affleurements rocheux sont nombreux et les placages de till roc sont les dépôts qui couvrent la plus vaste superficie reposant sur le roc. Dans les sédiments grossiers tels les tills, les dépôts fluvio-glaciaires et les dépôts marins d'exondation, on retrouve surtout de la glace interstitielle tandis que la glace de ségrégation se développe préférentiellement dans les sédiments fins. L'identification des aires sous lesquelles se trouvent des concentrations de glace est relativement facile dans les régions où le pergélisol est discontinu, car certaines formes caractéristiques leur sont associées (pales, buttes minérales de pergélisol, etc.). Il n'en est pas de même dans la zone à pergélisol continu où de telles formes sont quasi inexistantes. À défaut de critères géomorphologiques, il faut utiliser les méthodes géophysiques pour détecter les zones plus riches en glace et ainsi délimiter les secteurs à risques pour la construction.

À Salluit, la piste d'atterrissage est construite sur du roc et sur un till mince (Lévesque *et al.*, 1987) alors que la route d'accès traverse 4 types de dépôts, soit des sédiments fins d'eau profonde, des sédiments grossiers d'exondation, du till délavé par la mer et au-dessus de la limite marine (167 m), du till mince. Les sondages de résistivité électrique et de polarisation provoquée sur les placages de till adjacents à la piste ont été effectués afin de déterminer l'épaisseur du mollisol et des sédiments. La résistivité électrique du till dégelé varie entre 0,6 et 3 kΩ-m, celle du till pergélisolé de 2 à 7,5 kΩ-m et celle du substrat rocheux de 10 à 35 kΩ-m. L'épaisseur du till oscille entre 1 et 5 m et le mollisol fait de 90 à 120 cm. La faible résistivité du till suggère une matrice sablo-limoneuse; ceci en fait un sédiment plastique et visqueux lorsqu'il est dégelé et saturé en eau. Cependant, la stabilité de la piste ne semble pas poser de problèmes majeurs car de grands secteurs s'appuient directement sur le roc.

Les problèmes reliés à la route sont plus nombreux et plus sérieux. Pour le tronçon qui passe sur des sédiments marins fins (≤ 50 m d'altitude), les sondages et les profilages électriques indiquent que le contenu en glace du pergélisol est élevé vu les très grandes valeurs de résistivité (25-50 kΩ-m). Le long de la route, un sondage de résistivité électrique (fig. 2) révèle la présence d'une couche de limons argileux gelés (7 m d'épaisseur) contenant de nombreuses lentilles de glace ($r = 15$ kΩ-m). Tout près de là, un trou de 11 m de profondeur a été creusé avec une foreuse à percussion-rotation (*air track*). Ce type de forage ne permet pas de recueillir des carottes, on a néanmoins pu déterminer que les 5 premiers mètres du sol sont très riches en glace. Au-delà de cette profondeur, les dépôts deviennent argileux et la glace moins abondante. Des carottages peu profonds (≤ 5 m) ont confirmé cette interprétation et indiqué la présence de zones riches en lentilles de glace de ségrégation (1 à 2 cm d'épaisseur, 40 à 75 % en volume). La figure 3 montre une pseudo-section de chargeabilité électrique obtenue à partir d'un levé de polarisation provoquée effectué en bordure de la

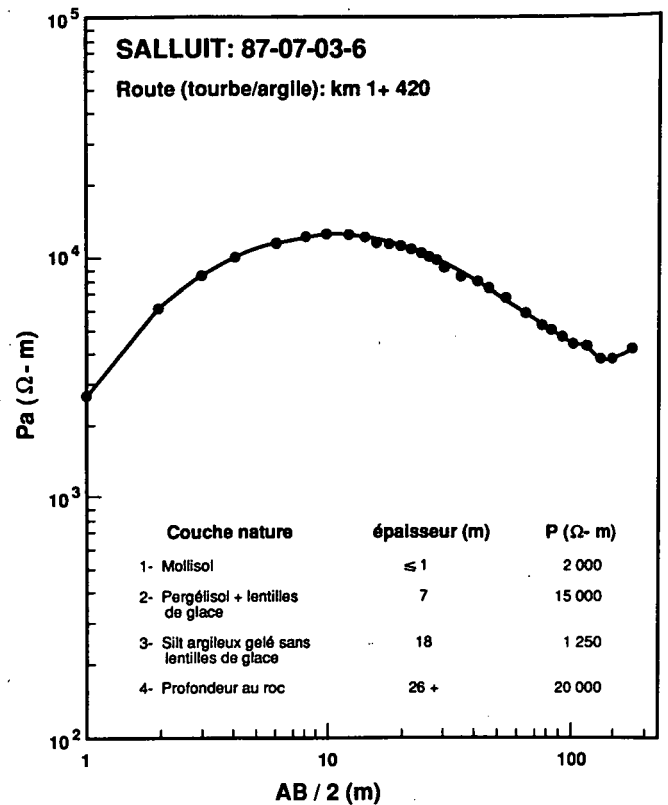


Figure 2. Sondage de résistivité électrique sur un segment de la route d'accès à Salluit. La très grande résistivité électrique des 7 premiers mètres indique l'abondance de lentilles de glace. Les points sur la courbe représentent les valeurs mesurées.

route et à proximité du forage de 11 m. L'interface entre les chargeabilités positives et négatives délimite l'épaisseur de la couche riche en lentilles de glace du sédiment limoneux (7 à 12 m d'épaisseur). Les chargeabilités négatives sous-jacentes

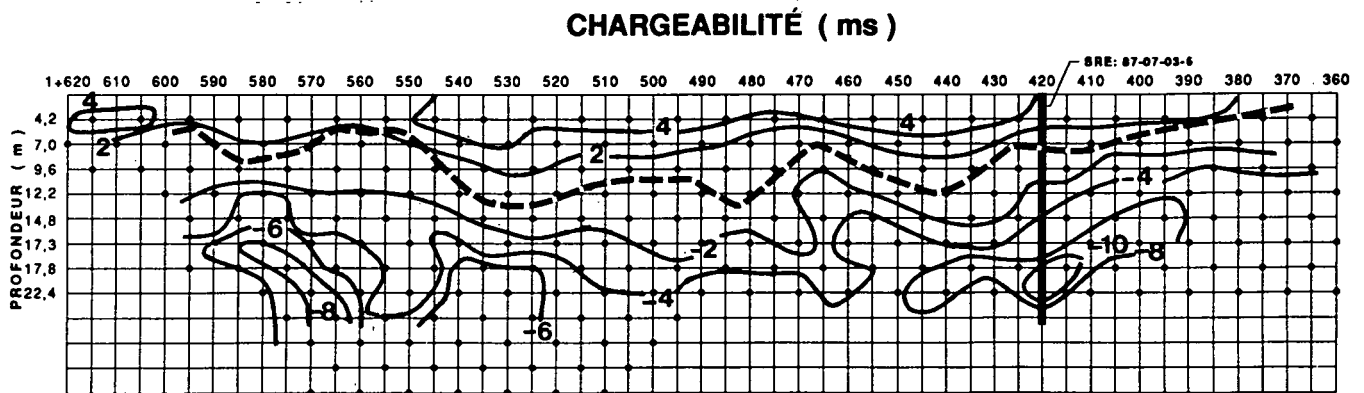


Figure 3. Pseudo-section de chargeabilité (en millisecondes) d'un segment à l'ouest de la route d'accès (Salluit: 87-07-12-2(X=10, N=8)) sur les limons argileux pergélisolés. La faible chargeabilité positive des 5 à 12 premiers mètres sous la surface suggère un fort contenu en lentilles de glace. Le SRE 87-07-03-6 correspond à la figure 2.

reflètent la diminution importante ou l'absence de couches de glace. La fonte du pergélisol dans ce secteur occasionnerait un affaissement marqué du terrain et des problèmes considérables à l'infrastructure routière. La canalisation de l'eau de ruissellement a d'ailleurs déjà provoqué l'érosion mécanique et thermique du sol riche en glace. Une superficie d'environ 400 m² a été totalement érodée à l'aval d'un ponceau qui traverse ce tronçon de route (Allard *et al.*, 1988). Au-dessus de 50 m d'altitude, les sédiments sont plus grossiers et le contenu en glace (interstitielle) n'excède pas 25 % en volume. Pour ce secteur où les problèmes d'instabilité sont mineurs, la résistivité électrique du mollisol varie de 0,6 à 6 k Ω -m et celle du pergélisol va de 7 à 20 k Ω -m.

QUAQTAQ

À Quaqtq, la partie NO de la piste est construite sur du roc et sa partie SE sur des dépôts quaternaires. Dans ce secteur, la surface est presque plane (29 à 31 m d'altitude) et les sédiments littoraux présents (limons, sables et graviers) sont riches en coquillages (Allard *et al.*, 1988). La route d'accès s'appuie principalement sur du roc et des dépôts grossiers, mais elle traverse aussi une zone de sables limoneux mal drainés. Lors de la construction de la piste, le sommet d'une butte a été déblayé sur une épaisseur d'environ 1,5 m. Les sables très fins du coeur de la butte ne contiennent que peu de lentilles de glace et leur teneur pondérale en eau varie de 12 à 18%. Ces sédiments, surtout cimentés par une glace diffuse, deviennent fluides au dégel.

Un levé de polarisation provoquée effectué à cet endroit (côté ouest de la piste) a révélé que les dépôts occupent une cuvette dans le substrat rocheux dont la profondeur est légèrement supérieure à 6 m. La résistivité électrique du roc pergélisolé varie entre 8 et 17 k Ω -m (fig. 4a) et sa chargeabilité (généralement positive) est de 2 à 3 fois plus élevée que celles des dépôts marins sus-jacents (fig. 4b). La profondeur du front de dégel varie de 80 à 130 cm (fin juin 1988) et la résistivité vraie (ρ) de cette strate va de 0,9 à 1,5 k Ω -m. La résistivité électrique augmente de façon régulière avec la profondeur dans les dépôts sableux pergélisolés et la chargeabilité y est légèrement positive. Ces deux observations suggèrent l'absence d'un contenu élevé de glace lenticulaire; la glace serait plutôt interstitielle et distribuée uniformément. Les plus faibles résistivités observées entre les repères 1+288 et 1+300 indiquent la présence d'une poche de limons argileux sous la couche de sables. Afin de suivre le comportement thermique de ce secteur, un thermocâble de 5 m a été installé dans le remblai et sous la piste au chaînage 1+290 (fig. 5). Des mesures prises depuis l'été 1988 indiquent que le mollisol a une épaisseur de 2,1 m (Lévesque *et al.*, 1990). Il correspond approximativement à l'épaisseur du remblai et conséquemment le pergélisol ne dégèle pas ou très peu sous l'infrastructure.

Le reste du segment SE de la piste repose sur le sol non perturbé. Les échantillons de sables et graviers prélevés lors des forages présentent un contenu volumique en glace (30%) qui ne dépasse pas la porosité naturelle des matériaux. Une fonte éventuelle du pergélisol ne devrait donc pas entraîner un tassement dommageable pour la piste.

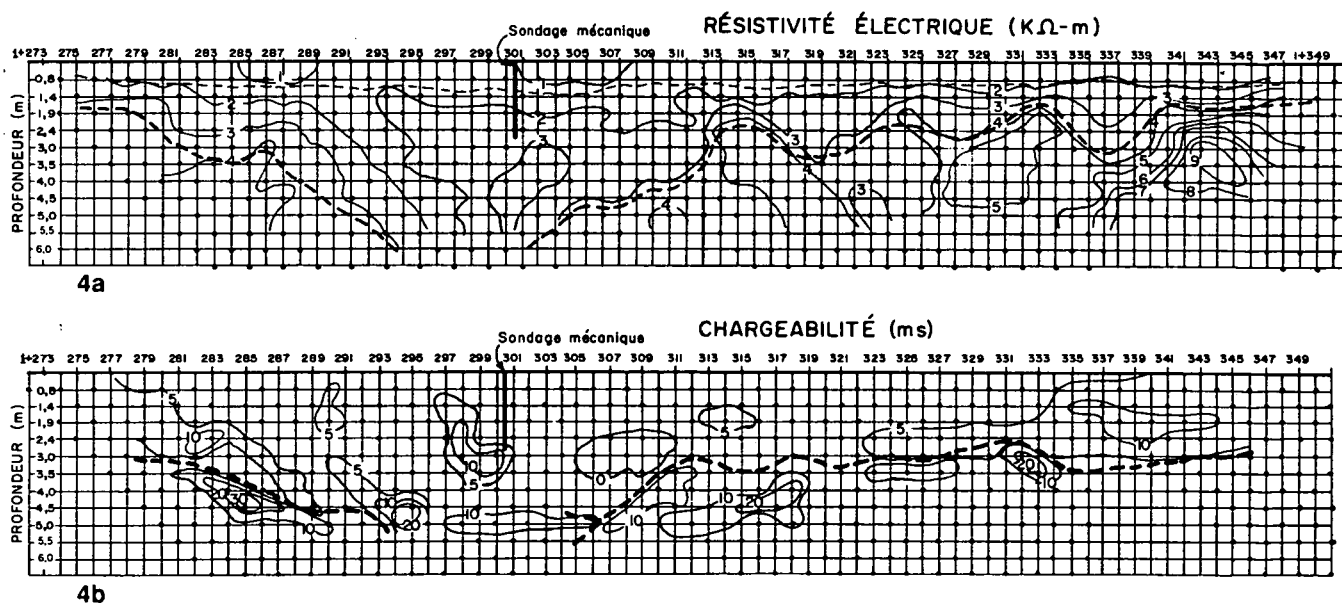


Figure 4. Pseudo-sections de résistivité électrique (4a) et de chargeabilité (4b) sur une butte de pergélisol (Quaqtq :88-06-23-1 (X=2, N=9)). Les données géoélectriques démontrent une faible quantité de lentilles de glace, une petite poche de limons argileux entre les repères 1+288 et 1+300 et donnent la profondeur au roc. Les tirets de la partie supérieure de la figure représentent la base du front de dégel. Les tirets de la partie inférieure marquent le contact entre les dépôts meubles et le roc.

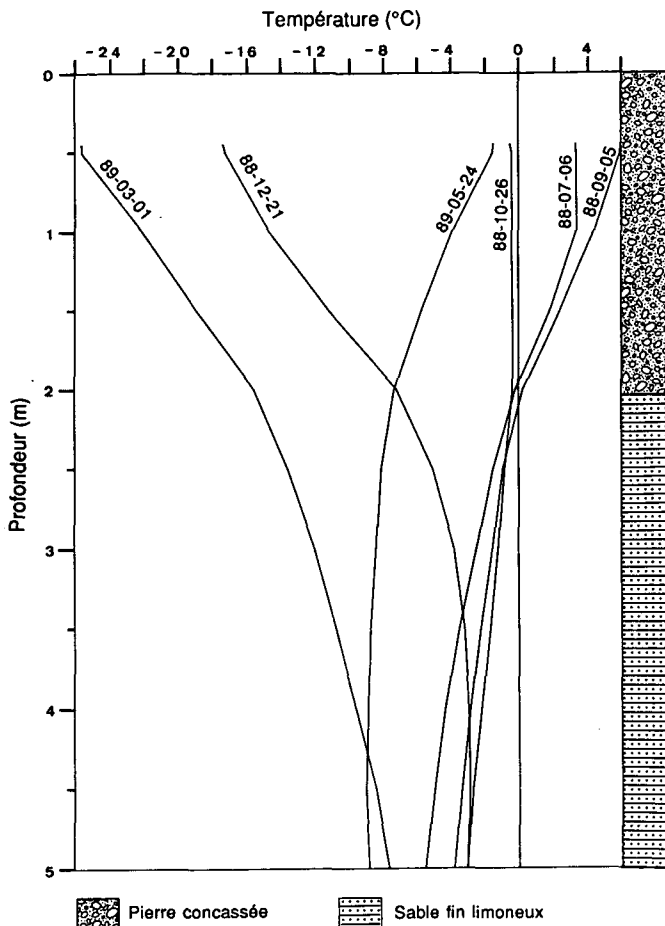


Figure 5. Température du sol à diverses périodes de l'année sous la piste d'atterrissage de Quaaqtaq. Le mollisol est d'environ 2,1 m.

La piste et la route d'accès de Tasiujaq se situent sur une terrasse marine constituée de sables et graviers. La surface plane de cette terrasse remaniée par les agents fluviaux, fait un dénivelé de 9 m entre les extrémités de la piste. Dans la partie nord de cette dernière, des sondages de résistivité électrique ont montré qu'entre 2 et 10 m de profondeur le pergélisol est peu résistif ($\rho = 0,5 \text{ k}\Omega\text{-m}$); les matériaux seraient des sables ou des limons contenant peu de glace. Au centre de ce tronçon de la piste se profile une butte de 1,5 m de hauteur et de 30 m de diamètre. Ce type de forme pourrait être associé à un soulèvement différentiel du sol causé par la formation de minces lentilles de glace dans un matériel fin. Une excavation à la pelle au sommet de la butte montre que les premiers 175 cm (épaisseur du mollisol) sont composés de sables et graviers. Entre 175 et 370 cm (profondeur du trou de forage au fond de l'excavation) les sédiments passent abruptement des sables aux limons. La glace du pergélisol est surtout interstitielle et son volume ne dépasse pas la porosité naturelle du sédiment (0,3 à 0,35). La stratigraphie sous cette butte a été établie à l'aide d'un sondage de résistivité électrique. Un sable sec ($\approx 2 \text{ m}$ d'épaisseur) recouvre une couche de 6 m de limons argileux pergélisolés. La faible résistivité de cette couche gelée s'explique par la rareté des lentilles de glace et par des sédiments ayant un contenu élevé en minéraux conducteurs (chlorite, magnétite et pyrrhotite). Au-delà de 8 m de profondeur, l'augmentation de la résistivité ($0,5 \text{ k}\Omega\text{-m}$ à $1,5 \text{ k}\Omega\text{-m}$) découle probablement de la présence de sédiments plus grossiers (sables). La figure 6 montre les pseudo-sections de résistivité et de chargeabilité sur et au pied de cette butte (repères 5+062 à 5+092). Sur la figure 6a,

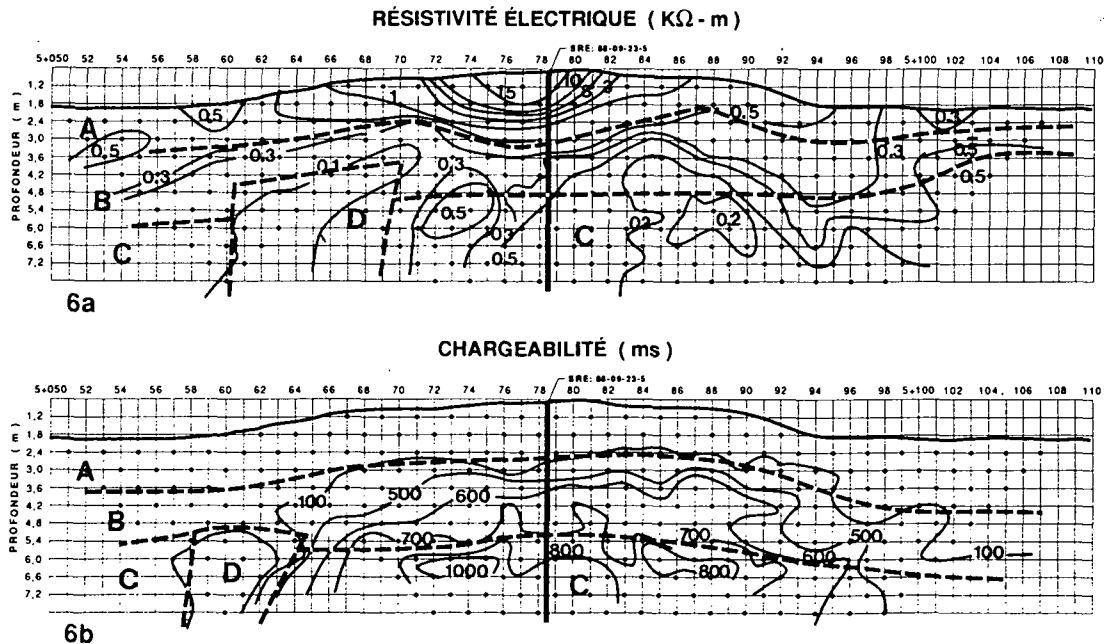


Figure 6. Pseudo-sections de résistivité (6a) et de chargeabilité (6b) au droit d'une butte sous la partie nord de la piste de Tasiujaq (88-09-18-1, $X=2$, $N=9$, dépôts marins et fluvioglaciers). Les 2 premiers mètres (A) sont constitués de sables dégelés. La couche B (2 à 3 m d'épaisseur) est composée de limons argileux pergélisolés mais sans lentille de glace, la couche C comprend des sables gelés et la zone D est constituée soit de limons argileux gelés, soit de sables dégelés. Les chargeabilités de cette zone sont négatives (entre -1 et -100 ms).

on observe une couche superficielle (A) de plus forte résistivité (15 k Ω -m en milieu sec et 0,4 k Ω -m en milieu humide). Il s'agit d'un matériau sableux dont l'épaisseur (\approx 1,8 m) correspond à celle du mollisol. La couche sous-jacente (B), a une plus faible résistivité électrique ($\rho=$ 0,06 à 0,3 k Ω -m) et correspond vraisemblablement à des limons argileux gelés; son épaisseur moyenne est de 3 m. À partir d'une profondeur de 5 m, la résistivité électrique augmente (0,3 à 2,6 k Ω -m) et indique la présence d'une couche (C) de sables pergélisolés. Une zone (D) de faible résistivité (0,05 à 0,1 k Ω -m) recoupe cette couche; il peut s'agir d'une lentille de limons argileux pergélisolés ou d'un talik dans la couche C. Sur la pseudo-section de la figure 6b, les chargeabilités des 2 premiers mètres sous la surface sont faibles (5 à 10 ms) et généralement positives; elles correspondent à la couche sableuse dégelée (A). Dans la couche "B" (3 m d'épaisseur), la chargeabilité est élevée et positive (100 à 500 ms); ces valeurs suggèrent la présence d'un matériel fortement polarisable (argiles ou limons contenant des minéraux conducteurs). La zone "C" est caractérisée par des valeurs de chargeabilité positives encore plus élevées (700 à 900 ms); le contenu en eau dans cette couche gelée doit être encore plus grand. Entre les repères 5+058 et 5+065, une zone (D) à chargeabilités négatives (entre -1 et -100 ms) indique la présence de limons argileux faiblement gelés ou de sables dégelés.

La structure du pergélisol sous cette butte, amputée de sa couche sableuse (\approx 2 m) lors du nivellement préalable à la construction de la piste, est donc complexe. Pour cette raison, il a été jugé utile d'installer un isolant à la base du remblai pour assurer la stabilité thermique du pergélisol.

KANGIQSUALUJUAQ

Les infrastructures aéroportuaires de Kangiqsualujuaq sont localisées au fond d'une vallée partiellement comblée de sables et graviers d'origine fluvio-glaciaire et marine. Selon Seguin *et al.*, (1988) l'épaisseur du pergélisol oscille entre 2 et 20 m, tandis que celle du mollisol varie entre 1,5 et 3 m.

Ces sédiments pergélisolés ne contiennent probablement que de la glace interstitielle, mais quelques ostioles laissent supposer la présence de sols gélifs entre les repères 4+980 et 5+040. La pseudo-section de résistivité électrique effectuée à cet endroit (fig. 7) indique cependant des valeurs élevées. La résistivité électrique de la couche superficielle dégelée, dont l'épaisseur était de 1,3 m lors du relevé (18/07/88), va de 5 à 12 k Ω -m. Pour sa part, l'épaisseur du pergélisol est comprise entre 4,5 et 7 m (cette dernière valeur est tirée d'un sondage en configuration Schlumberger) et sa résistivité électrique oscille entre 10 et 35 k Ω -m. Entre les stations 5+006 et 5+017, la résistivité diminue substantiellement (facteur de 2 à 5) et il est possible que la matrice devienne limoneuse. D'après l'ensemble des données, il est peu probable que cette poche de matériel fin crée des problèmes d'instabilité. Elle ne fait qu'une dizaine ou une quinzaine de mètres de largeur et la base du mollisol n'atteint pas son sommet qui se situe à 3,5 m sous la surface du terrain naturel.

Conclusions

Les méthodes géoélectriques ont aidé à préciser la stratigraphie des dépôts quaternaires, l'épaisseur du mollisol, la distribution latérale et l'épaisseur du pergélisol. Elles donnent aussi un aperçu du contenu en glace au droit des sites où seront construits les routes et les pistes d'atterrissage. Les forages et les mesures géothermiques ont contribué à calibrer et à améliorer l'interprétation des résultats géoélectriques. L'ensemble des données géophysiques a permis d'identifier avec une bonne précision les zones susceptibles de connaître des problèmes de tassement, d'érosion thermique ou d'autres processus liés à l'instabilité d'un pergélisol riche en glace. À partir de ces résultats, on peut corriger les plans de construction (remblais plus épais, géotextiles, isolants) pour éviter les dommages aux infrastructures. Un suivi temporel des installations sera assuré à l'aide des méthodes géothermiques et géoélectriques. On pourra ainsi prévenir les bris et apporter des correctifs avant qu'ils ne prennent de l'ampleur, diminuant de ce fait les coûts d'entretien et de réparation.

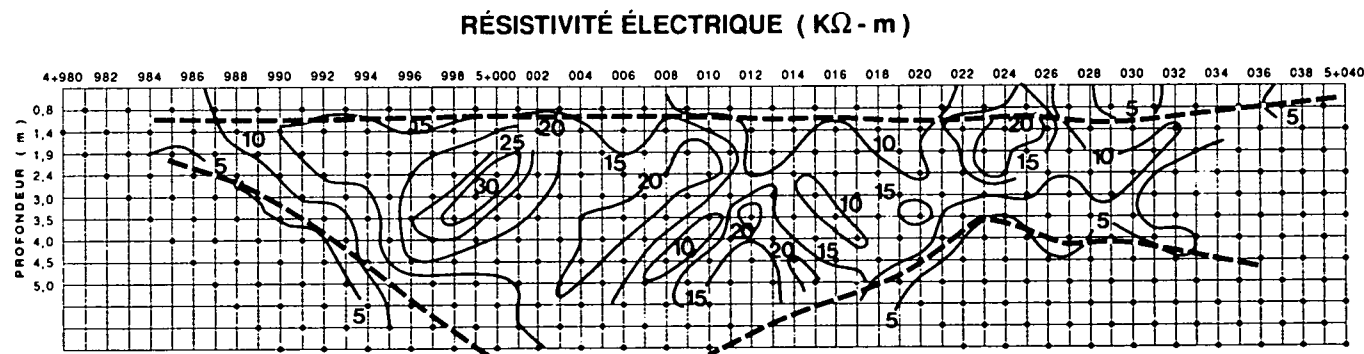


Figure 7. Pseudo-section de résistivité d'un segment de la piste de Kangiqsualujuaq (88-07-18-1 ($X=2$, $N=9$, dépôts marins grossiers). Le front de dégel atteint environ 120 cm de profondeur et l'épaisseur du pergélisol oscille entre 3,5 et 8 m. Une lentille de limons ($\rho_a \leq 10$ k Ω -m) est enfouie à 3,5 m de profondeur sous le centre de ce segment de piste.

Remerciements

Les auteurs remercient le ministère des Transports du Québec pour son soutien logistique et financier. En plus de contribuer à tous les travaux de terrain, le Dr. M. Allard a participé à l'analyse des résultats et commenté le texte

original. MM. C. Bouchard, J. Lavoie, Y. Moisan et S. Poitras ont participé à la cueillette des données à titre d'assistants de recherche. La collaboration des communautés inuit et des entrepreneurs en construction a été fort appréciée. Nous exprimons aussi notre gratitude aux lecteurs externes MM. J.-A. Pilon et W. J. Scott pour leurs critiques constructives.

Références

- ALLARD, M., LÉVESQUE, R., SEGUIN, M.K. & PILON, J.-A. 1988. Le pergélisol et les infrastructures de transport au Québec nordique. Rapport de la saison de terrain 1988. Présenté à Transports Québec, 21 p.
- APPARAO, A. & SARMA, V.S. 1981. A modified pseudo-depth section as a tool in resistivity and IP prospecting. *Geological Research Bulletin*. Vol. 19: 187-208.
- COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE 1963. Master curves for electrical sounding. *European Association of Exploration Geophysicists*.
- EDWARDS, L.S. 1977. A modified pseudo-section for resistivity and induced polarization. *Geophysics*, Vol. 42: 1020-1036.
- LÉVESQUE, R., ALLARD, M., SEGUIN, M.K. & PILON, J.-A. 1987. Recherches en cours sur le pergélisol: aéroport de Salluit. Rapport de la saison de terrain 1987. Présenté à Transports Québec, 32 p.
- LÉVESQUE, R., ALLARD, M., SEGUIN, M.K. & PILON, J.-A. 1990. Données préliminaires sur le régime thermique du sol au Nunavik, Québec. Cinquième conférence canadienne sur le pergélisol.
- RIJKS WATERSTAAT, THE NETHERLANDS 1969. Standard graphs for resistivity prospecting. *European Association of Exploration Geophysicists*.
- ROY, A. 1972. Depth of investigation in Wenner, three-electrodes and dipole resistivity methods. *Geophysical Prospecting*, Vol. 20: 329-340.
- ROY, A. & APPARAO, A. 1971. Depth of investigation in direct current methods. *Geophysics*, Vol. 3: 943-959.
- SEGUIN, M.K. 1971a. La géophysique et les propriétés physiques des roches. Les Presses de l'Université Laval. 562 p.
- SEGUIN, M.K. 1971b. Applications des méthodes électriques aux problèmes de génie. *L'Ingénieur*, No. 262, janvier, 12-21.
- SEGUIN, M.K. 1974a. État des recherches sur le pergélisol dans la partie centrale de la fosse du Labrador, Québec subarctique. *Rev. Géogr. Montr.*, Vol. 28: 343-356.
- SEGUIN, 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: 56-68.
- SEGUIN, M.K. & ALLARD, M. 1984. La répartition du pergélisol dans la région du détroit de Manitoonuk, côte est de la mer d'Hudson, Canada. *Can. J. Earth Sci.* Vol. 21: 354-364.
- SEGUIN, M.K., GAHÉ, É., ALLARD, M. & BEN-MILOUD, K. 1988. Permafrost geophysical investigation at the new airport site of Kangiqsualujjuaq, northern Québec, Canada. *Proceedings of Ve International Conference on Permafrost*, Vol. 2: 980-988.
- SUMN, J.S. 1976. Principles of induced polarization for geophysical exploration. Elsevier, Amsterdam, 277 p.
- ZOHDY, A.A.R. 1975. Automatic interpretation of Schlumberger sounding curves, using modified Dar Zarrouk functions. *U.S. Geological Survey, Bull.* 1313E, 41 p.
- ZOHDY, A.A.R. 1989. A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves. *Geophysics*, Vol. 54: 245-253.