

COMPARAISON DE MÉTHODES GÉO-ELECTRIQUES POUR L'AUSCULTATION DU PERGÉLISOL

BAZIN S.¹, SYED S.G.², GILBERT G.³, ETZEMÜLLER B.⁴

¹ maintenant à l'Institut Européen de la Mer, UBO, Brest, France, Sara.Bazin@univ-brest.fr

² Université d'Oslo (UiO), Oslo, Norvège, syedsg@student.geo.uio.no

³ Institut Norvégien de Géotechnique (NGI), Oslo, Norvège, Graham.Gilbert@ngi.no

⁴ Université d'Oslo (UiO), Oslo, Norvège, bernd.etzelmuller@geo.uio.no

RESUME

La tomographie par résistivité électrique (ERT) est très efficace pour cartographier les sols gelés en raison du fort contraste de résistivité entre la glace et l'eau. Nous présentons un exemple d'ERT avec des levés réalisés en utilisant deux types d'acquisition : le couplage galvanique classique avec électrodes et le couplage capacitif (CCR). Bien que peu de travaux aient été publiés sur l'auscultation de la couche active du pergélisol (c'est-à-dire la partie superficielle qui dégèle annuellement) avec la méthode CCR, la présente étude de cas montre l'intérêt de cette méthode en raison de sa rapidité de mise en place.

Mots clés : pergélisol, couche active, ERT, CCR

COMPARISON BETWEEN TWO GEOELECTRICAL METHODS FOR PERMAFROST MAPPING

ABSTRACT

Electrical resistivity tomography (ERT) is very effective in mapping frozen soils due to the strong resistivity contrast between ice and water. We present an example of ERT with surveys carried out using two types of acquisition: classic galvanic coupling with electrodes and capacitive coupling (CCR). Although little work has been published on the mapping of the active layer of permafrost (i.e. the ground layer which thaws annually) with the CCR method, this case study shows the interest of this method thanks to its rapidity of field acquisition.

Key words: permafrost, active layer, ERT, CCR

INTRODUCTION

L'étude est située dans la ville de Longyearbyen, Svalbard (**Fig. 1**) sur le site choisi par le Norwegian Geotest Site (NGTS, GILBERT et al. 2019) comme chantier de recherche pour caractériser le pergélisol.

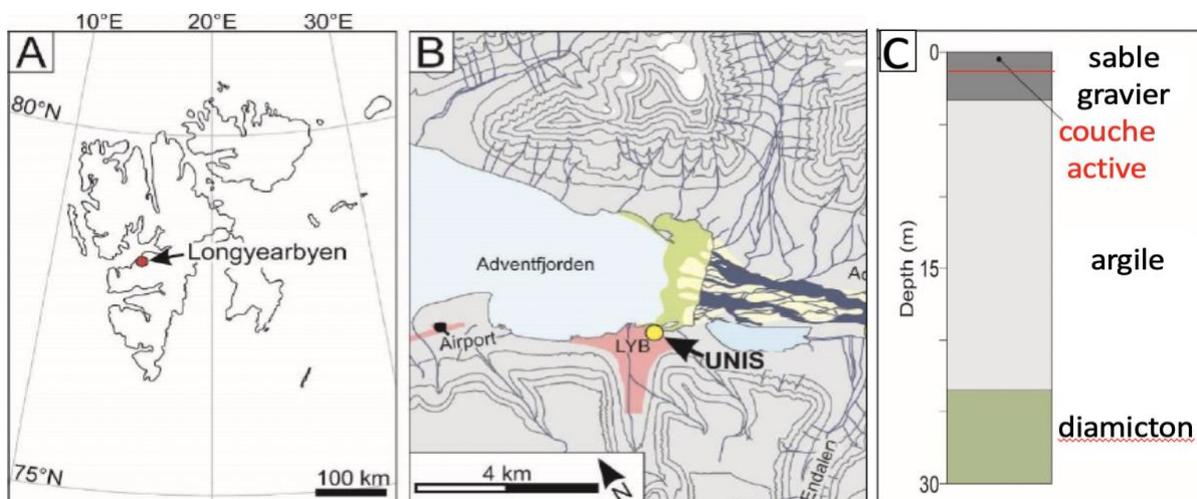


Fig. 1 – A) ville de Longyearbyen, Svalbard. B) site NGTS sur le campus UNIS. C) géologie du site.

Le pergélisol est constitué de matériaux qui restent en dessous de 0°C pendant au moins deux années consécutives (FRENCH, 2018). L'archipel du Svalbard possède le pergélisol le plus chaud au nord de l'Arctique (ROMANOVSKY et al., 2010). Il a une épaisseur moyenne d'environ 100 m dans les vallées. La couche gelée peut être très hétérogène dans sa distribution spatiale, en raison des variations de topographie et du couvert de neige et de végétation. Actuellement, le pergélisol est dégradé en raison du réchauffement climatique et la géophysique peut aider à caractériser cette dégradation.

Différents outils d'investigation géophysique de subsurface ont été utilisés avec succès pour cartographier la présence de pergélisol, évaluer la teneur en glace et l'épaisseur de la couche active (HAUCK, 2013). L'ERT convient parfaitement aux études sur le pergélisol car la présence de glace entraîne un changement de résistivité conséquent. Celle-ci augmente de façon exponentielle pendant la congélation car la teneur en eau non gelée dans le substrat diminue. L'ERT fournit une information indirecte sur la nature du sous-sol, de la surface jusqu'à quelques dizaines de mètres de profondeur, et peut être facilement étalonnée par forage.

MATERIEL ET METHODES

Un panneau de résistivité électrique a été réalisé en septembre 2017 avec la méthode galvanique classique en utilisant un Terrameter LS2 (ABEM, **Fig. 2A**) avec une disposition roll-along à 81 électrodes et 2 m de séparation entre les électrodes pour une longueur de 200 m. Le même profil a été acquis en juillet 2019, cette fois avec la méthode CCR, en utilisant un OhmMapper (GEOMETRICS, **Fig. 2B**) avec 2 dipôles récepteurs. Celui-ci a été réalisé par plusieurs passages en allongeant successivement la distance entre les dipôles. Les données ont ensuite été concaténées pour produire un panneau vertical. Le profil du OhmMapper est légèrement plus court (160 m) que celui du Terrameter en raison de la présence de bâtiments qui empêchaient de dérouler totalement la flûte. Le point d'origine à 0m, est identique pour les deux profils. Chacun des levés a été réalisé en environ 2 heures.

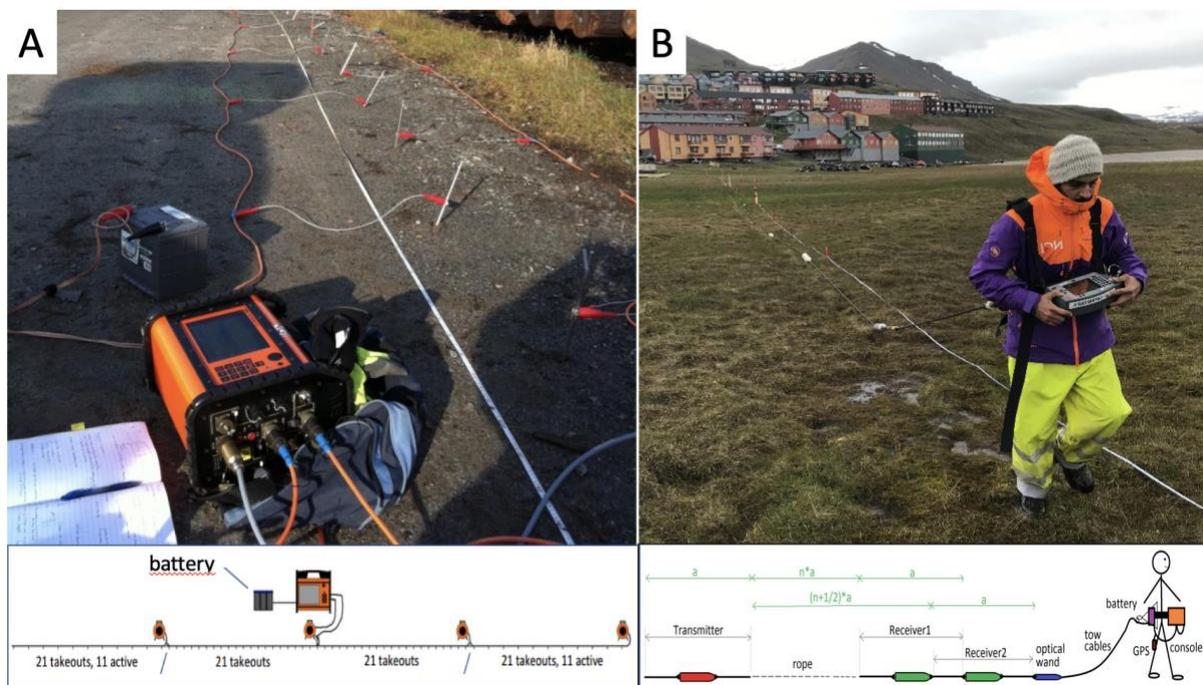


Fig. 2 – A) Acquisition classique avec un Terrameter. B) Acquisition type CCR avec un OhmMapper.

Les deux jeux de données ont été traités de façon similaire avec le logiciel Res2Dinv : une inspection manuelle avec élimination des valeurs aberrantes puis une inversion de type robuste (norme L1). Les modèles de résistivités sont illustrés dans les **Fig. 3A** et **Fig. 4A** avec la même échelle de couleurs.

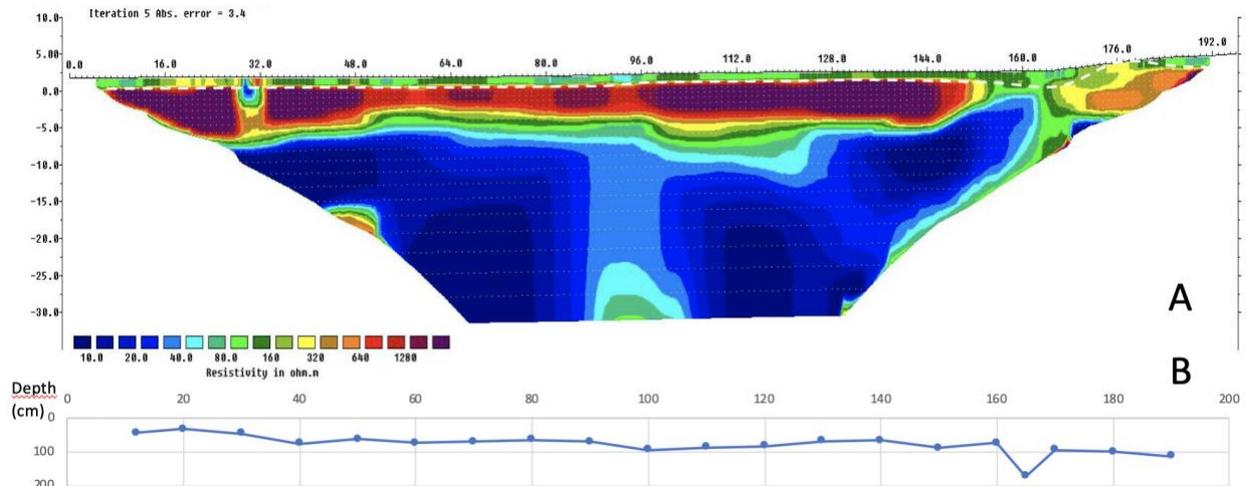


Fig. 3 – A) Panneau de résistivité avec le Terrameter. B) Profondeur de la couche active en cm.

Par ailleurs, la profondeur de la couche active a été mesurée manuellement le long des deux profils en enfonçant une pointe graduée dans le sol. L'épaisseur moyenne de la couche active était de 79 cm en septembre 2017 pendant le levé avec le Terrameter (**Fig. 3B**) et de 35 cm en juillet 2019 pendant le levé avec le OhmMapper (**Fig. 4B**). L'épaississement de la couche active est dû au dégel pendant l'été.

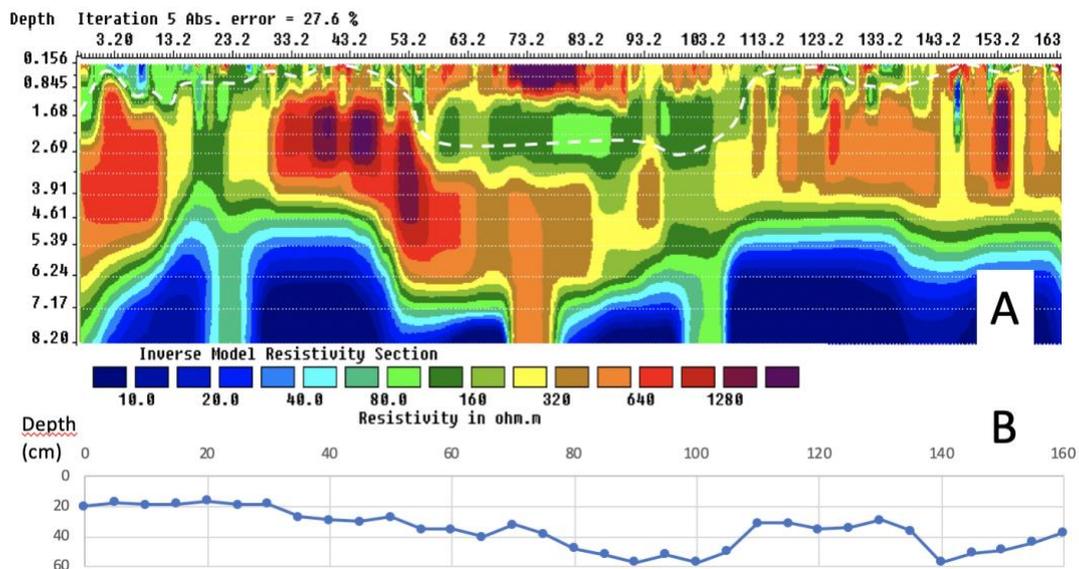


Fig. 4 – A) Panneau de résistivité avec le OhmMapper, l'échelle horizontale est similaire à celle de la **Fig. 3A** mais l'échelle verticale est dilatée. B) Profondeur de la couche active en cm.

La profondeur d'investigation du panneau mesuré avec le Terrameter est 32 m alors que celle avec le OhmMapper est 8 m. Les données brutes sont globalement plus bruitées avec le OhmMapper qu'avec le Terrameter, ce qui est probablement causé par des décalages de la flûte pendant les passages successifs. En conséquence, le modèle obtenu a une erreur moyenne quadratique bien supérieure (28 % contre 3 %) et apparaît moins lisse visuellement. Les deux modèles imagent une couche superficielle conductrice ($\rho \sim 100 \Omega\text{m}$, le contour est surligné sur **Fig. 3A** et **Fig. 4A**) qui correspond à la couche active du pergélisol. Son épaisseur varie entre 1 et 2 m sur le levé du Terrameter. Cette surestimation est engendrée par l'écartement des électrodes. L'épaisseur de la couche active varie entre 0 et 2,7 m sur le levé du OhmMapper, alors que les mesures manuelles indiquent une moyenne de seulement 35 cm et une faible variabilité. En-dessous, les deux profils imagent la couche de sable gelé ($\rho \sim 1 \text{ k}\Omega\text{m}$) avec la même épaisseur ($\sim 5 \text{ m}$), puis la couche d'argile salée très conductrice ($\rho \sim 10 \Omega\text{m}$).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Même si la résolution verticale d'un levé CCR devrait être supérieure grâce à la plus grande densité de points de mesure, le modèle obtenu est moins facile à interpréter qu'avec le levé classique. Ainsi pour un panneau vertical, la méthode classique semble plus efficace pour cartographier la couche active du pergélisol. En revanche, l'intérêt de la méthode CCR se révèle pour une acquisition en mode carte. En effet, l'opérateur n'a pas besoin de modifier l'écartement entre les dipôles lors de l'acquisition et il peut rapidement réaliser un levé en 3D en marchant le long de profils parallèles. De plus, les mesures ne souffrent pas du bruit induit par des passages successifs mal alignés. La **Fig. 5** montre l'exemple d'une grille de 100 m x 100 m acquise dans la même vallée, à ~5 km en amont du profil précité. Elle a été réalisée en environ 2 heures de temps et inversée avec Res3Dinv (SYED, 2021). Les rides résistives allongées correspondent à des structures géologiques (coins de glace). Avec cette géométrie d'acquisition, la grande densité de points de mesure devient un avantage par rapport à la méthode classique qui consisterait à planter de nombreuses électrodes le long de profils parallèles. Par ailleurs, la méthode CCR s'affranchit du problème de résistances de contact qui est pénalisant en milieu résistif.

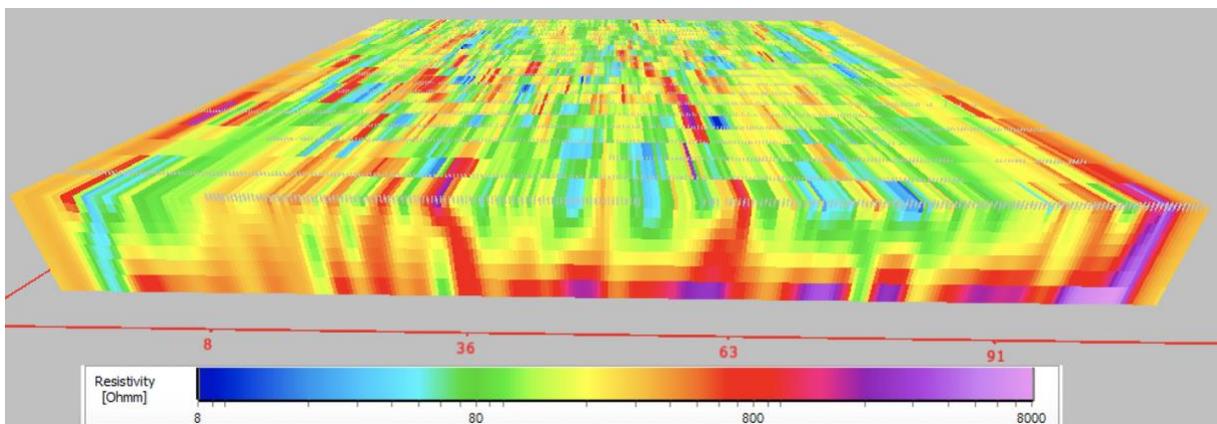


Fig. 5 – une grille (100 m x 100 m x 2 m) de résistivité mesurée par méthode CCR image la couche active (conductrice) et les coins de glace (longues rides résistives) caractéristiques du pergélisol.

Remerciements

Cette étude a été financée par le projet GBV290190133 du NGI. Nous remercions UNIS pour avoir facilité la logistique de la mission et M.-E. Pau pour son aide musclée sur le terrain.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

FRENCH H.M., 2018 - The Periglacial Environment, *John Wiley and Sons, Ltd.*, 515 pages.

GILBERT G., INSTANES A., SINITSYN A.O., AALBERG A. 2019 - Characterization of two sites for geotechnical testing in permafrost: Longyearbyen, Svalbard. *Geosciences*, 5 (4) 868-885.

HAUCK C., 2013 - New concepts in geophysical surveying and data interpretation for permafrost terrain. *Permafrost and Periglacial Processes*, doi:10.1002/ppp.1774

ROMANOVSKY V.E., SMITH S.L., CHRISTIANSE H.H. 2010 - Permafrost thermal state in the polar Northern Hemisphere during the international polar year 2007–2009: a synthesis. *Permafrost and Periglacial Processes*, doi:10.1002/ppp.689.

SYED S.G., 2021 - Testing of different resistivity investigation methods for mapping permafrost. Thèse de Master, *Université d'Oslo, en prep.*