



Mesures combinées électrostatiques et électromagnétiques pour la caractérisation hydro-géotechnique des premiers mètres du sous-sol

Adresse courriel du contact scientifique : cyril.schamper@sorbonne-universite.fr

Description du projet de thèse

La mesure de la conductivité électrique par contact galvanique (électrodes plantées dans le sol) est complexe voire impossible à mettre en œuvre en milieu urbain. La méthode électrostatique par contact capacitif permet à l'aide de plaques de métal en guise de pôles électriques d'effectuer des mesures par glissement d'un tapis sur le macadam. La mesure de la conductivité électrique du sous-sol permet (selon le contraste) de distinguer par exemple des structures anthropiques résistantes électriquement d'un sol environnant plus conducteur (ex. limoneux et/ou argileux). La mesure des propriétés électriques peut aussi servir à cartographier l'hétérogénéité des matériaux sous la chaussée pour guider de futurs réaménagements.

Les mesures électrostatiques peuvent également se faire à plusieurs fréquences, dans la gamme 10-30 kHz, ce qui donne accès à la capacité de polarisation du milieu via l'estimation de la permittivité diélectrique. Ce paramètre physique peut avoir des valeurs particulièrement élevées pour les formations argileuses avec leur architecture en feuilletés. Sa détermination, en plus de la conductivité électrique, est un atout supplémentaire pour discriminer les matériaux.



MP3 – mesures métriques



Tapis – mesures pluri-métriques

Prototypes électrostatiques développés au sein de l'UMR METIS pour la prospection des premiers mètres

A travers le présent projet de thèse le(la) doctorant(e) devra : (1) Définir un prototype de sondage glissant en électrostatique avec plus de voies de mesure que les précédents prototypes développés à METIS (« tapis » qui n'a pour l'instant que 4 voies de mesure) pour une meilleure définition verticale des propriétés électriques ; (2) Quantifier à la fois la conductivité électrique et la permittivité diélectrique en fonction de la profondeur grâce au sondage glissant électrostatique ; (3) Créer un outil de modélisation/inversion (1D dans un 1er temps, puis 2D suivant l'avancée du projet) pour inverser les données électrostatiques sans négliger les effets d'induction ; (4) Comparer et calibrer les mesures électrostatiques avec les mesures électromagnétiques qui permettent d'estimer la

conductivité électrique et la permittivité dans la même gamme de fréquences (10-100 kHz) sur des sites tests non urbanisés.

Enjeux de la thèse

Plusieurs versions de prototypes d'acquisition ont été développées au sein de l'UMR METIS (Tabbagh *et al.*, 1993 ; Flageul *et al.*, 2013) pour différentes profondeurs d'investigation et pour principalement des prospections archéologiques en milieu urbain (Benech *et al.*, 2017 ; Blary *et al.*, 2017). Récemment la méthode électrostatique a aussi été utilisée pour une problématique de réaménagement en Suède (Rejckjær *et al.*, 2021). D'autres voies d'application du sondage électrostatique sont envisagées dans le cadre de la thèse :

- 1) Dans le domaine géotechnique : corrélation des variations de résistivité électrique et de permittivité diélectrique avec les variations de compacité/portance des sols (premiers 1-2 m). Ceci serait en lien avec le projet ODYSSEY (2019-2021) qui vise à l'évaluation des performances des mesures géophysiques de proche surface pour la cartographie de la portance des sols (croisement avec les sondages géotechniques de pénétromètre dynamique).
- 2) Dans le domaine hydrogéologique : meilleure identification des formations argileuses et non argileuses superficielles (grâce à la permittivité diélectrique), et donc des zones préférentielles d'infiltration. Problématique qui s'intègre dans le cadre des travaux du PIREN (Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Eau et l'Environnement) Seine.

Références

Benech C., Audebert M., Chevalier A., Darras L., Flageul S., Fourrier S., Rabot A., Rejiba F., Schamper C., and Tabbagh A., 2017, Revealing the topography of the Ancient Kition (Larnaka, Cyprus): an integrated approach, 12th International Conference of Archaeological Prospection (University of Bradford, UK, 12-16 September).

Blary F., Sosnowska P., Charruadas P., van Nieuwenhove B., Dabas M., Flageul S., and Tabbagh A., 2018, Prospection de la «grand place» de Bruxelles: utilisation de la méthode électrostatique, 11ème colloque GEOFCAN (Antony, France, 20-21 November).

Flageul S., Dabas M., Thiesson J., Rejiba F., and Tabbagh A., 2013, First in situ tests of a new electrostatic resistivity meter, *Near Surface Geophysics*, 11(3), 265-274.

Rejckjær S., Finco C., Schamper C., Rejiba F., Tabbagh A., König J., and Dahlin T., 2021, Determination of the resistivity distribution along underground pipes in urban contexts using galvanic and capacitive methods, *Near Surface Geophysics*, 19(1), 27-41.

Tabbagh A., Hesse A., and Grard R., 1993, Determination of electrical properties of the ground shallow depth with an electrostatic quadrupole: field trials on archaeological sites, *Geophysical Prospecting*, 41(5), 579-597.

Combined electrostatic and electromagnetic measurements for the hydro-geotechnical characterization of the first meters of the subsoil

Research project outline :

The measurement of electrical conductivity by galvanic contact (electrodes planted in the ground) is complex, if not impossible to implement in an urban environment. The electrostatic method by capacitive contact makes it possible to carry out measurements by sliding a carpet on the tarmac using metal plates as electrical poles. The measurement of the electrical conductivity of the subsoil allows (depending on the contrast) to distinguish for example electrically resistant anthropic structures from a more conductive surrounding soil (e.g. silty and/or clayey). The measurement of electrical properties can also be used to map the heterogeneity of materials under the pavement to guide future redevelopment.

Electrostatic measurements can also be made at several frequencies, in the 10-30 kHz range, which gives access to the polarization capacity of the medium via the estimation of the dielectric permittivity. This physical parameter can have particularly high values for clay formations with their layered architecture. Its determination, in addition to the electrical conductivity, is an additional asset to discriminate materials.



MP3 – metric measurements



Carpet – multi-metric measurements

Electrostatic prototypes developed within the UMR METIS for the exploration of the first meters

Through this thesis project, the PhD student will: (1) Define a prototype of electrostatic sliding probe with more measurement channels than the previous prototypes developed at METIS ("carpet" which currently has only 4 measurement channels) for a better vertical definition of electrical properties; (2) Quantify both electrical conductivity and dielectric permittivity as a function of depth using the electrostatic sliding probe; (3) Create a modeling/inversion tool (1D at first, then 2D according to the progress of the project) to invert the electrostatic data without neglecting induction effects; (4) Compare and calibrate the electrostatic measurements with electromagnetic measurements that allow the estimation of electrical conductivity and permittivity in the same frequency range (10-100 kHz) on non-urbanized test sites.

Challenges of the thesis

Several versions of acquisition prototypes have been developed at UMR METIS (Tabbagh et al., 1993; Flageul et al., 2013) for different depths of investigation and for mainly archaeological surveys in urban areas (Benech et al., 2017; Blary et al., 2017). Recently the electrostatic method has also been used for a redevelopment problem in Sweden (Reijkjær et al., 2021). Other types of applications of electrostatic prospecting are considered in the thesis:

- 1) In the geotechnical field: correlating variations in electrical resistivity and dielectric permittivity with variations in soil compactness/bearing capacity (first 1-2 m). This would be related to the ODYSSEY project (2019-2021) which aims at evaluating the performance of near-surface geophysical measurements for soil bearing capacity mapping (cross-referenced with dynamic penetrometer geotechnical surveys).
- 2) In the hydrogeological field: better identification of clayey and non clayey superficial formations (thanks to dielectric permittivity), and thus of preferential infiltration zones. This problem is part of the work of the PIREN (Interdisciplinary Research Program on Water and the Environment) Seine.

References

- Benech C., Audebert M., Chevalier A., Darras L., Flageul S., Fourrier S., Rabot A., Rejiba F., Schamper C., and Tabbagh A., 2017, Revealing the topography of the Ancient Kition (Larnaka, Cyprus): an integrated approach, 12th International Conference of Archaeological Prospection (University of Bradford, UK, 12-16 September).
- Blary F., Sosnowska P., Charruadas P., van Nieuwenhove B., Dabas M., Flageul S., and Tabbagh A., 2018, Prospection de la «grand place» de Bruxelles: utilisation de la méthode électrostatique, 11ème colloque GEOFCAN (Antony, France, 20-21 November).
- Flageul S., Dabas M., Thiesson J., Rejiba F., and Tabbagh A., 2013, First in situ tests of a new electrostatic resistivity meter, *Near Surface Geophysics*, 11(3), 265-274.
- Reijkjær S., Finco C., Schamper C., Rejiba F., Tabbagh A., König J., and Dahlin T., 2021, Determination of the resistivity distribution along underground pipes in urban contexts using galvanic and capacitive methods, *Near Surface Geophysics*, 19(1), 27-41.
- Tabbagh A., Hesse A., and Grard R., 1993, Determination of electrical properties of the ground shallow depth with an electrostatic quadrupole: field trials on archaeological sites, *Geophysical Prospecting*, 41(5), 579-597

Compétences et connaissances requises :

Le(la) candidat(e) devra avoir suivi un parcours géosciences avec un minimum de formation aux méthodes géophysiques appliquées à la proche surface, ou un parcours en mesures physiques appliquées (idéalement en contrôle non destructif).

Prerequisite skills and knowledge :

The candidate should have a geosciences background with a minimum of training in geophysical methods applied to the near surface, or a background in applied physical measurements (ideally in non-destructive testing).