



ED 398 Géosciences, Ressources Naturelles et Environnement
Proposition de sujet de thèse pour la rentrée universitaire 2020-2021

Titre : Mesures électromagnétiques multi-configuration pour la caractérisation biochimique, hydraulique et mécanique des sols.

Nom, label de l'unité de recherche (ainsi que l'équipe interne s'il y a lieu) : UMR 7619 METIS, département H2GS2 (Hydrologie-Hydrogéologie-Géophysique de Sub-Surface)

Localisation (adresse) : Sorbonne Université, Campus Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, tour 56-46 3^{ème} étage, case 105, 75005 Paris

Nom du directeur de thèse HDR (et du co-directeur s'il y a lieu) : Ludovic BODET, maître de conférences HDR (UMR METIS)

Nom, prénom et affiliation des co-encadrants éventuels : Cyril SCHAMPER, maître de conférences (UMR METIS) ; Julien THIESSON, maître de conférences (UMR METIS)

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

Description du projet/sujet de thèse :

Les mesures électromagnétiques (EM) dans la gamme de fréquences 10 – 100 kHz ont montré leur capacité à déterminer des propriétés EM autres que la conductivité électrique (exemples en archéologie et pédologie (Simon *et al.*, 2019)) : la susceptibilité magnétique, la viscosité magnétique et la permittivité diélectrique. Comme illustré par la figure 1, ces différentes propriétés sont influencées par les caractéristiques des sols. La cartographie EM (à haut rendement et sans besoin de contact avec le sol) fournit des données densément réparties dans l'espace, mais qui restent localement une image moyennée « floutée ». En exploitant toutes les informations venant de la réponse EM du sol, l'objectif est de pouvoir étendre l'information parcellaire de mesures non géophysiques comme celles de teneurs en polluant, de conductivité hydraulique, ou de résistance mécanique, à des zones prospectées uniquement par la géophysique.

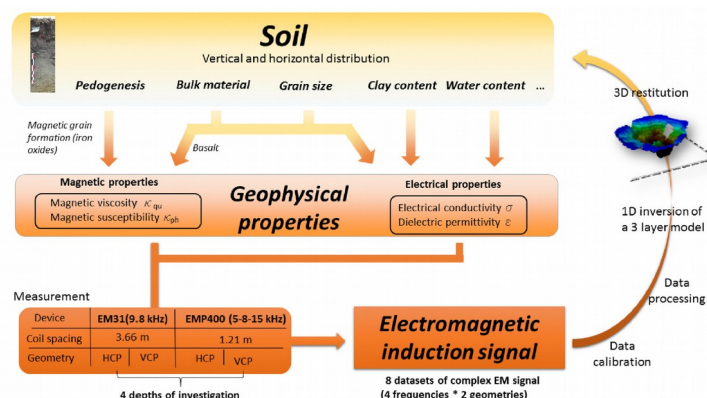


Figure 1: diagramme relationnel synthétique pour les méthodes électromagnétiques (Simon *et al.* 2019)

Dans le cadre du présent sujet de thèse le(la) doctorant(e) devra fiabiliser les mesures de différentes propriétés EM au travers d'études de sensibilité exhaustives qui permettront de cibler les outils de traitement et d'inversion vers les géométries d'acquisition les plus sensibles (et pour potentiellement en définir de nouvelles pour de futurs prototypes). Afin de rendre ces mesures multi-paramètres opérationnelles et accessibles à tout prospecteur dans des domaines d'application aussi variés que la pédologie, l'archéologie, le remaniement d'anciens sites pollués, l'hydrogéologie superficielle, ou la géotechnique, le(la) doctorant(e)

devra développer des outils numériques de calibration, traitement, inversion et visualisation avec une interface sous Python commandant des codes de calcul codés en Fortran (e.g. Schamper *et al.*, 2011 ; Brinon *et al.*, 2012). Enfin, afin d'étudier l'exploitabilité de ces données réparties densément dans l'espace, mais fournissant toutefois une image locale moyenne « floutée », le(la) doctorant(e) mettra en place des outils d'analyse géostatistique (e.g. co-krigeage) sur des jeux de données à densité moindre et de formats variées (e.g. analyses géochimiques, propriétés hydrauliques, résistance mécanique) pour lesquels les mesures EM seront utilisées comme variable auxiliaire (« image de fond ») afin de prédire les variables d'intérêt (e.g. teneur en polluants, conductivité hydraulique, résistance dynamique de pointe) où seules les mesures EM sont présentes.

Argumentaire scientifique présentant les enjeux de la thèse :

Plusieurs travaux de recherche ont été menés à l'UMR METIS en se focalisant soit sur les propriétés magnétiques (Thiesson, 2007) soit sur les propriétés diélectriques (Kessouri et al., 2016), avec des appareils (commerciaux ou prototypes développés au sein du laboratoire) de caractéristiques (position et orientation des bobines, fréquence) différentes. Seules quelques études de cas à l'heure actuelle ont illustré le potentiel de ces mesures EM multi-paramètres qui ne sont pas devenues routinières et systématiques pour différentes raisons : un manque d'outils de traitement et de calibration fiables et accessibles à tout prospecteur, des outils d'inversion qui restent également peu accessibles et mériteraient des optimisations (en 1D et 3D), et des outils d'exploitation de données (géostatistiques) qui manquent pour exploiter l'information spatiale apportée par la cartographie EM sur des données non géophysiques plus parcellaires, comme des mesures de teneurs en polluants, de conductivité hydraulique, ou de résistance mécanique.

Un projet de recherche (ODYSSEY) débuté en 2019 avec l'US Air Force porte sur l'exploitation des mesures EM (potentiellement effectuables depuis un drone) pour la caractérisation de la capacité portante des sols (1-2 premiers mètres) en étendant l'information apportée par les sondages géotechniques de pénétromètre dynamique dont la répartition spatiale est plus parcellaire que les données EM. Ce projet a déjà pour support un site test au Cerema de Rouen, et un site d'étude plus naturel sur l'ancienne base de l'OTAN à Grostenquin (Moselle, France). De nombreux appareils EM, en possession de METIS (prototypes et venant de fabricants) et prêtés dans le cadre du projet permettront à le(la) candidat(e) d'acquérir lui(elle)-même des données avec des géométries d'acquisition différentes et de mettre en application les outils numériques développés.

Dans le cadre du programme PIREN (Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Eau et l'Environnement) Seine où des études sont menées régulièrement sur les propriétés hydrauliques de la proche surface pour l'estimation de l'infiltration et des écoulements dans la zone critique (au-dessus du niveau de la nappe phréatique). La cartographie EM extensive pourra également être appliquée pour mieux caractériser spatialement les propriétés hydrauliques, et ainsi améliorer la finesse des modèles numériques hydrogéologiques.

Conditions matérielles de réalisation du projet de recherche : Le projet bénéficiera de plusieurs projets en cours au sein de l'unité : en 2020-2021, la 2^{ème} année du projet ODYSSEY. et le programme PIREN Seine au sein duquel des expérimentations sont prévues sur le site d'étude du bassin de l'Orgeval (2020-2023). Le(la) candidate accédera aux ressources informatiques de l'unité et à toutes les bases de données acquises via différents projets antérieurs.

Connaissances et compétences requises : le(la) candidat(e) devra avoir suivi un parcours géosciences avec un minimum de formation aux méthodes géophysiques appliquées à la proche surface.

Références :

Brinon C., Simon F.-X., and Tabbagh A., 2012, Rapid 1D/3D inversion of shallow resistivity multipole data: Examples in archaeological prospection, *Geophysics*, 77(3), E193-E201.
Kessouri P., Flageul S., Vitale Q., Buvat S., Rejiba F., and Tabbagh A., 2016, Medium-frequency electromagnetic device to measure electric conductivity and dielectric permittivity of soils, *Geophysics*, 81(1), E1-E16.
Schamper C., Rejiba F., Tabbagh A., and Spitz S., 2011, Theoretical analysis of long offset time-lapse frequency domain controlled source electromagnetic signals using the method of moments: Application to the monitoring of a land oil reservoir, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116(B3), B03101.

Simon F.-X., Tabbagh A., Donati J. C., Sarris A., 2019. Permittivity mapping in the VLF-LF range using a multi-frequency EMI device: first tests in archaeological prospection. *Near Surface Geophysics*, 17, 27-41.

Thiesson J., 2007, Mesure et cartographie de la viscosité magnétique des sols, *Thèse de doctorat*, Université Pierre et Marie Curie, 143p.

Visa de la Direction de l'Unité



Commentaires éventuels :

Ce projet permettra de cristalliser des premiers développements multi-méthodes réalisés dans le cadre de différents projets antérieurs, mais dont ce n'était pas l'objectif principal. C'est un sujet important pour l'unité. Il a été discuté en conseil d'unité. Avis très favorable.