



ED 398 Géosciences, Ressources Naturelles et Environnement

Proposition de sujet de thèse pour la rentrée universitaire 2021-2022

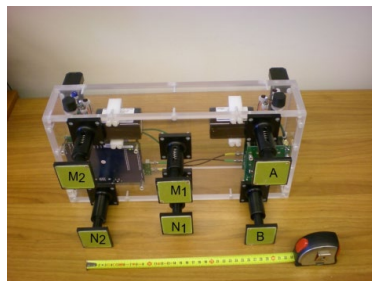
Mesures de l'altération des pierres de patrimoine et du béton par méthode électrostatique

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 matériau) est destructrice pour des matériaux de construction, anciens ou modernes. La méthode électrostatique par contact capacitif permet à l'aide de plaques de métal en guise de pôles électriques d'effectuer des mesures par une simple pose sur la surface. Les mesures électrostatiques se faisant à des fréquences dans la gamme 10-30 kHz, elles peuvent également renseigner sur la capacité de polarisation du matériau via l'estimation de la permittivité diélectrique. De fortes valeurs de cette propriété indiquent généralement la présence d'argiles dans le matériau, une teneur minimale et optimale en argiles étant nécessaire pour de bonnes propriétés mécaniques pour des matériaux comme les pierres de calcaire. Les valeurs de conductivité et de permittivité diélectrique sont aussi suspectées d'être liées à l'état d'altération du matériau, axe majeur du sujet de thèse proposé.

Depuis de nombreuses années plusieurs appareils électrostatiques de gabarits différents ont été développés au sein de l'UMR METIS. Celui qui est conçu pour la prospection des matériaux de construction (nommé « hexapôle ») est présenté dans la figure ci-dessous.



Hexapôle développé à l'UMR METIS : mesures électrostatiques sur matériaux de construction avec 2 profondeurs d'investigation d'environ 10 et 20 cm

A travers le présent projet de thèse le(la) doctorant(e) devra : (1) Identifier les processus d'altération qui peuvent être suivis par méthode électrostatique (altération géochimique, mécanique, incendie etc...) ; (2) Mieux comprendre les valeurs de conductivité et surtout de polarisation vs. mesures en cellule en labo ; (3) Concevoir des pôles plus « mous » et non rigides comme actuellement pour s'adapter à des surfaces rugueuses ; (4) Utiliser l'hexapôle sur des sites archéologiques et/ou de construction pour illustrer des cas d'études.

Enjeux de la thèse

L'hexapôle est l'un des prototypes développés à l'UMR METIS adaptés aux matériaux de construction (Souffaché *et al.*, 2010). Il a fait l'objet d'applications à des pierres de construction de monuments historiques d'Ile de France (Souffaché *et al.*, 2016). Plus récemment (fin 2020), en collaboration avec l'ISTeP, l'utilisation de l'appareil a été testée sur les pierres du sanctuaire de Delphes (Grèce) pour apporter des informations supplémentaires aidant à la reconstitution des étapes de construction et de reconstruction du site antique en corrélant avec les mesures dans les carrières d'exploitation voisines. Une seconde campagne de mesures est envisagée en 2021 pour compléter les

résultats de la première campagne. L'utilisation de pôles plus « mous » pouvant mieux s'adapter aux surfaces rugueuses des pierres érodées et des affleurements de carrières est à l'étude.

Les applications de la thèse sont :

- 1) En archéologie/gestion du patrimoine : reconstitution de l'historique de construction des anciens sites, identification des éléments les plus altérés (ex. fractures, infiltration, incendie)
- 2) En géotechnique : le suivi de l'altération et du vieillissement du béton
- 3) En pédologie : mesures sur des coupes verticales (profil pédologique en fosse)

Références

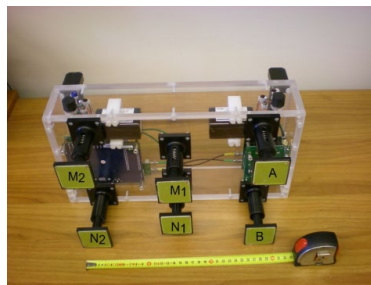
Souffaché B., Cosenza P., Flageul S., Pencolé J.-P., Seladji S., and Tabbagh A., 2010, Electrostatic multipole for electrical resistivity measurements at the decimetric scale, *Journal of Applied Geophysics*, 71(1), 6-12.

Souffaché B., Kessouri K., Blanc P., Thiesson J., and Tabbagh A., 2016, First investigations of in situ electrical properties of limestone blocks of ancient monuments, *Archaeometry*, 58(5), 705-721.

Measurement of weathering of heritage stones and concrete by electrostatic method

The measurement of electrical conductivity by galvanic contact (electrodes planted in the material) is destructive for old or modern building materials. The electrostatic method by capacitive contact allows measurements to be made by simply placing metal plates on the surface. Since electrostatic measurements are made at frequencies in the 10-30 kHz range, they can also provide information on the polarization capacity of the material by estimating the dielectric permittivity. High values of this property generally indicate the presence of clays in the material, a minimum and optimum clay content being necessary for good mechanical properties for materials like limestones. The values of conductivity and dielectric permittivity are also suspected to be related to the state of weathering of the material, a major focus of the proposed thesis topic.

For many years, several electrostatic devices of different sizes have been developed within the UMR METIS. The one designed for the prospecting of building materials (named "hexapole") is presented in the figure below.



Hexapole developed at UMR METIS: electrostatic measurements on building materials with 2 investigation depths of about 10 and 20 cm

Through this thesis project the PhD student will: (1) Identify the weathering processes that can be monitored by electrostatic method (geochemical weathering, mechanical weathering, fire etc...); (2) Better understand the conductivity and especially polarization values vs. cell measurements in the lab; (3) Design "softer" poles and not rigid as currently to fit rough surfaces; (4) Use the hexapole on archaeological and/or construction sites to illustrate case studies.

Challenges of the thesis

The hexapole is one of the prototypes developed at UMR METIS adapted to building materials (Souffaché et al., 2010). It has been applied to building stones of historical monuments in Ile de France (Souffaché et al., 2016). More recently (end of 2020), in collaboration with IStEP, the use of the device has been tested on stones from the sanctuary of Delphi (Greece) to provide additional information to help in the reconstitution of the construction and

reconstruction stages of the ancient site by correlating with measurements in nearby quarries. A second campaign of measurements is planned for 2021 to complete the results of the first campaign. The use of "softer" poles that can better adapt to the rough surfaces of eroded stones and quarry outcrops is being studied.

The applications of the thesis are:

- 1) In archaeology / heritage management: reconstitution of the construction history of ancient sites, identification of the most altered elements (e.g. fractures, infiltration, fire)*
- 2) In geotechnics: monitoring the alteration and aging of concrete*
- 3) In pedology: measurements on vertical sections (pedological profile in pit)*

References

Souffaché B., Cosenza P., Flageul S., Pencolé J.-P., Seladji S., and Tabbagh A., 2010, Electrostatic multipole for electrical resistivity measurements at the decimetric scale, Journal of Applied Geophysics, 71(1), 6-12.

Souffaché B., Kessouri K., Blanc P., Thiesson J., and Tabbagh A., 2016, First investigations of in situ electrical properties of limestone blocks of ancient monuments, Archaeometry, 58(5), 705-721.

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), ou un parcours en géotechnique/géomécanique/matériaux.

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), or a background in geotechnics/geomechanics/materials.