

## **Webinaire « Doctorants en géotechnique »**

**14 janvier 2025 de 10h30 à 12h00**

### **Programme**

*Organisateurs : Lucas Magno ROCHA BOTELHO (EGIS), Oriane JENCK (Grenoble INP)*

Le Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique (CFMS) a initié en 2021 une série de webinaires pour permettre aux doctorants de présenter leurs travaux de recherche en cours. Ces webinaires sont des moments de partage privilégiés, afin que les doctorants échangent avec la communauté du CFMS sur leur thématique de recherche.

Chaque présentation durera 15 minutes et sera suivie d'un échange de 5 minutes avec les auditeurs.

**Lien de connexion:** [Ici](#)

### **Programme**

<b>Créneau horaire</b>	<b>Doctorant</b>	<b>Sujet de thèse</b>
10h30 – 10h50	<b>Giovanni KABORE</b> Université Gustave Eiffel Razel-Bec	Etude du comportement physico-chimique et mécanique des graveleux latéritiques traités à l'émulsion de bitume
10h50 – 11h10	<b>Hussein OSMAN</b> Ecole Centrale de Lyon	Dimensionnement des murs de soutènement en pierre sèche
11h10 – 11h30	<b>Muhammad KHAN</b> Université de Lorraine	Applications of artificial intelligence for deciphering strength development of binder-soil mixtures in the context of soil stabilization <i>(Présentation en anglais)</i>
11h30 – 11h50	<b>Changhao QIU</b> Ecole Nationale des Ponts et Chaussées	Investigating the cyclic thermo-mechanical behaviour of an energy pile subjected to combined lateral-axial loading
11h50 – 12h00	Séance de questions / réponses	

## Giovanni Zinism KABORE

Démarrage de la thèse : 01/06/2023

Titre de la thèse : Etude du comportement physico-chimique et mécanique des graveleux latéritiques traités à l'émulsion de bitume

Encadrants : Myriam DUC (UGE), Layella ZIYANI (UTC), Mohamed NOUALI (ESTP), Omar BOUAYAD (Razel-Bec)

### Laboratoire d'Accueil

- GERS-SRO ([Page d'Accueil](#))

Le laboratoire SRO (Sols, Roches et Ouvrages) réunit plusieurs métiers dans le domaine de la géotechnique qui correspondent à trois types d'approches : naturaliste, expérimentale et théorique / numérique.

Aujourd'hui, les thématiques de recherche du laboratoire sont l'interaction sol-structure (ouvrages de fondation et soutènement sous chargement complexe et long terme : conception et optimisation), adaptations des ouvrages au changement climatique, développement de Bio-Géo matériaux, géotechnique sismique, entre autres.

### Résumé Thèse

Les latérites sont des sols formés par altération de roches sous l'action du climat. Elles sont riches en oxydes d'aluminium ( $Al_2O_3$ ), de fer ( $Fe_2O_3$ ), et de silicium ( $SiO_2$ ) et sont majoritairement constituées de quartz, d'hématite, de goethite, de gibbsite et de kaolinite. Les latérites sont abondantes dans les régions tropicales. Les formes graveleuses des latérites, dont 60% ont un diamètre supérieur à 2 mm, sont utilisées dans la construction routière en couche de fondation, de base et de forme. Face à la rareté des graveleux latéritiques de bonne qualité, et dans une perspective de réduction de l'impact environnemental dans le secteur des travaux publics, la thèse vise à améliorer les caractéristiques mécaniques des graveleux latéritiques par ajout d'émulsion de bitume.

Une émulsion de bitume, très souvent acide, est une dispersion de fines gouttelettes de bitume dans une phase aqueuse contenant un tensioactif. Lors du mélange émulsion-latérite, la réactivité de la latérite en milieu acide et son affinité avec le tensioactif de l'émulsion (capacité d'adsorption du tensioactif à la surface de la latérite) peuvent engendrer la rupture de l'émulsion, c'est-à-dire une séparation entre la phase aqueuse et le bitume. Celle-ci se traduit par une diminution de la maniabilité et une augmentation de la cohésion du mélange. La connaissance des propriétés physico-chimiques et mécaniques du graveleux latéritique est donc primordiale pour la prédiction du comportement du mélange latérite-émulsion. Cependant, ces aspects physico-chimiques associant la latérite à l'émulsion de bitume ne sont pas traités dans la littérature, ce qui justifie le travail réalisé dans cette thèse.

Ainsi, dix graveleux latéritiques ont été caractérisés d'un point de vue géotechnique (analyse granulométrique, masse volumique, valeur au bleu de méthylène, limites d'Atterberg), chimique (fluorescence X) et structural (diffraction des rayons X). Ils ont aussi fait l'objet d'une caractérisation physico-chimique via les essais de remontée de pH afin d'évaluer leur réactivité chimique en milieu acide et observer leur éventuelle dissolution.

Les résultats de la caractérisation montrent que les dix latérites étudiées appartiennent à la famille des sols limoneux ou argileux et sableux. Elles se répartissent selon la classification chimique en latérites ferralitiques ( $\%SiO_2 < 50\%$ ) pour certaines et en latérites ferrugineuses ( $\%SiO_2 > 50\%$ ) selon leur histoire géologique. Nombre de corrélations entre paramètres de caractérisation ont été mises en évidence. Par exemple, la masse volumique réelle des latérites (mesurée à l'aide d'une méthode simple) diminue avec la teneur en oxyde de silicium et augmente avec la teneur en oxyde de fer (mesure chimique plus complexe et moins accessible sur chantier). La densité est donc un bon paramètre pour prédire d'une certaine manière la composition minéralogique et le comportement des latérites. De plus, la caractérisation géotechnique réalisée au cours de cette première année de thèse a montré que ces latérites sont traitables à l'émulsion de bitume pour un usage en couche de fondation et/ou de base dans la construction routière, sur la base des résultats granulométriques et de limites d'Atterberg. Cependant, les latérites dans un milieu acide à pH 2 montrent une remontée de pH faible, ce qui indique que cet effet pH n'est pas le processus régissant la rupture de l'émulsion. Autrement dit, les effets des réactions acido-basiques entre les latérites étudiées et l'émulsion sont négligeables. Ce premier résultat suggère qu'une autre explication doit être trouvée au comportement spécifique des latérites.

**Hussein OSMAN**

Démarrage de la thèse : 01/10/2022

Titre de la thèse : Dimensionnement des murs de soutènement en pierre sèche

Encadrants : Eric VINCENS (Ecole Centrale de Lyon), Nathanael SAVALLE (UCA), Stéphane HANS (ENTPE)

### Laboratoire d'Accueil

- LTDS ([Page d'Accueil](#))

Le LTDS est un laboratoire de recherche français, dont l'activité est centrée sur l'ingénierie et couvre un large spectre, allant de la tribologie, la dynamique des structures, la bio-ingénierie et la perception, les matériaux, les procédés, jusqu'au génie civil.

Il travaille à toutes les échelles, de l'atome au kilomètre, mais aussi sur les aspects de couplages multi-physiques présents dans les domaines de l'aéroélasticité, la vibro-acoustique, la tribochimie.

### Résumé Thèse

La pierre sèche est une technique constructive plurimillénaire qui consiste à assembler sans liant des pierres peu retaillées pour ériger un ouvrage. Cette technique nécessite des savoir-faire spécifiques qui ont été inscrits au Patrimoine Culturel Immatériel de l'Humanité en 2018 par l'UNESCO. De tout temps, elle a permis à l'humain de développer des activités agricoles ou économiques pour subsister sur des territoires, et ce dans différentes régions du globe. La valeur patrimoniale et économique des ouvrages en pierre sèche est redécouverte depuis une dizaine d'années. Par ailleurs, le très faible impact environnemental de ces ouvrages ne nécessitant que peu d'énergie grise pour leur fabrication, et pour lesquels 70 à 80% des matériaux peuvent être réutilisés en fin de vie sur le site de l'ouvrage constitue un levier intéressant pour décarboner le secteur de la construction. L'enjeu de la filière pierre sèche est alors la levée des freins pour la massification de cette technique constructive. Des études scientifiques, basées sur des essais échelle 1, ont permis d'élaborer des guides de dimensionnement pour les soutènements de talus en pierre sèche. Cependant, l'absence de règles de dimensionnement finalisées concernant le volet sismique est l'un des freins identifiés. Cet aspect constitue l'objet de ce travail.

Une série d'études, incluant à la fois des essais pseudo-statiques et dynamiques, a été menée afin d'examiner le comportement sismique de ce type de structures et d'estimer le coefficient de comportement ( $r$ ). Lors de ces travaux, le comportement sismique du mur de soutènement a été évalué en appliquant des signaux harmoniques à la base du système mur-remblai. Les signaux synthétiques ont été caractérisés par une fréquence de 5 Hz et une durée totale de 15 secondes, comprenant une phase linéaire ascendante de 5 secondes et une phase linéaire descendante de 10 secondes. Ces caractéristiques, notamment la fréquence et la durée, ont été calibrées en fonction des séismes critiques potentiels en France, assurant ainsi leur pertinence pour l'étude des comportements sismiques locaux.

Une approche numérique mixte MDF-MED (différences finies-éléments discrets) 2D en déformation plane avait été utilisée pour modéliser le comportement statique et dynamique des murs sur la base des expériences menées en laboratoire. La problématique résidait dans le choix d'une section représentative ; ce problème a été résolu en recombinaison des réponses de différents profils. La réalité des assemblages qui sont très différents dans différentes coupes transversales du mur et la difficulté de retrouver directement et précisément les résultats des essais expérimentaux ont montré l'intérêt d'utiliser un modèle 3D vrai, bien que les essais expérimentaux aient montré globalement des ruptures en déformation plane. Tout d'abord, cette étude propose de revisiter les essais pseudo-statiques et les essais dynamiques en appliquant des signaux harmoniques synthétiques à l'aide d'un outil numérique 3D, basé sur l'approche MDF-MEF (*3DEC, ITASCA*). Le modèle, constitué de motifs périodiques à travers la longueur, a été simplifié à un seul motif, qui s'est avéré suffisant pour reproduire le comportement global du système. Ainsi les simulations numériques montrent-elles des résultats sensiblement identiques entre l'outil 3D et l'outil 2D en déformation plane.

Ensuite, l'outil 3D a été utilisé pour étudier l'influence de la forme de la phase descendante exponentielle des signaux synthétiques utilisés dans les simulations. Cette décroissance exponentielle du signal, plus ou moins accentuée et représentative de la majorité des séismes enregistrés, s'est avérée fortement influencer la réponse du système. Cela met en avant la forte influence des effets de seuil au-dessous duquel le système ne cumule plus de déplacements irréversibles vers l'aval. L'étude montre que, selon la forme du signal dans la phase décroissante, le coefficient de comportement pour une fréquence de 5 Hz se situe entre [1,8;2,3].

## Muhammad Hasnain Ayub KHAN

Démarrage de la thèse : 01/12/2022

Titre de la thèse : Applications of artificial intelligence for deciphering strength development of binder-soil mixtures in the context of soil stabilization

Encadrants : Olivier CUISINIER (Université de Lorraine), Adel ABDALLAH (Université de Lorraine)

### Laboratoire d'Accueil

- LEMTA ([Page d'Accueil](#))

Unité Mixte de Recherche de l'Université de Lorraine et du CNRS, le LEMTA (Laboratoire Energies et Mécanique Théorique Appliquée) concentre ses recherches autour de la Mécanique et de l'Énergie.

Organisé en trois groupes de recherche et une opération scientifique transverse sur l'IRM, le Laboratoire contribue à créer des connaissances nouvelles dans le domaine des sciences pour l'ingénieur. Ces recherches sont mises en œuvre par près de 75 chercheurs et enseignants-chercheurs, 30 personnels administratifs et techniques répartis dans les services communs d'appui à la recherche (finances & administration, conception et fabrication mécanique, électronique & instrumentation, logistique et projets, informatique & calculs) et environ 60 doctorants et post-doctorants.

### Résumé Thèse

Existing empirical models for predicting the unconfined compressive strength (UCS) of cement-treated soils (CTS) in the literature are typically tailored to specific soil-cement types and a limited set of strength-controlling factors, such as soil properties, compaction, curing conditions, and binder dosage. While machine learning models in the literature integrate a broader range of these factors as input features, they often prioritize enhancing prediction accuracy over understanding the relative importance of these factors. This research focuses on deciphering the strength development in CTS by quantitatively evaluating the significance of strength-controlling factors and exploring their interdependencies using explainable artificial intelligence (XAI).

A comprehensive CTS database was compiled from the literature, encompassing diverse soil and cement types. A high-performance XGB model, optimized through grid search, was developed to predict UCS using input features related to soil classification, compaction conditions, cement type and dosage, curing time, and the porosity-to-volumetric cement content ratio ( $\eta/Civ$ ). The model demonstrated robust generalization capabilities on an independently generated laboratory dataset. Additionally, Shapley Additive Explanations (SHAP) identified the most influential factors affecting UCS. SHAP feature dependence analysis further highlighted interactions and dependencies between variables, offering deeper insights into the factors influencing UCS.

Although compaction parameters were not individually ranked as highly influential, many features exhibited significant interactions and dependencies on these parameters. This observation inspired the creation of design charts aimed at optimizing UCS through compaction parameters. Using artificially augmented data, innovative design charts were developed, outlining potential combinations of dry density and water content to achieve the desired strength at a fixed cement dosage. These charts provide cost-effective and efficient solutions for soil stabilization projects.

## Changhao QIU

Démarrage de la thèse : 01/10/2023

Titre de la thèse : Investigating the cyclic thermo-mechanical behaviour of an energy pile subjected to combined lateral-axial loading

Encadrants : Anh-Minh TANG (ENPC), Hussein MROUEH (Université de Lille), Fabien SZYMKIEWICZ (UGE), Roxana VASILESCU (Pinto GC)

## Laboratoire d'Accueil

- Navier ([Page d'Accueil](#))

Le Laboratoire Navier est une unité mixte de recherche de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC), de l'Université Gustave Eiffel et du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), située sur la cité Descartes de Marne-la-Vallée. Les personnels du laboratoire (près de 170 personnes) mènent des recherches sur la mécanique et la physique des matériaux, des structures et des géomatériaux, et sur leurs applications à la géotechnique, au génie civil, aux transports, à la géophysique et à l'énergie. Les enjeux sociétaux concernent la construction durable, les risques naturels, l'environnement et l'énergie. Dans le développement des lois mécaniques et physiques relatives à ces thèmes, les études entreprises sont à la fois expérimentales et théoriques. Elles s'appuient sur des équipements variés dont certains grands équipements sont uniques en leur genre.

## Résumé Thèse

This study investigates the long-term thermo-mechanical behaviour of an energy pile installed in clay using field experiments and numerical simulations. Firstly, full-scale experiments were performed on energy piles (0.42 m in diameter and 12 m in length) subjected to constant axial loads combined with three or five cyclic thermal loads. One pile was loaded to 30% of its bearing capacity and another to 50%. Under these constant axial loads, the piles were subjected to several thermal loading cycles. Mechanical loading was finally applied to these piles after thermal cycles. A third pile was only mechanically loaded until the pile's bearing capacity was reached. Results for the pile temperature and axial strain, pile head displacement, and axial load are shown. Secondly, a numerical model was developed using the load transfer method to investigate the long-term thermo-mechanical behaviour. This model was validated against the experimental results. It was then used to simulate 30 thermal cycles, revealing that the irreversible settlement of the pile head increases with higher axial loads.

o—O—o