



Offre de thèse / *PhD position* / 2025-2028

Concours de l'Ecole Doctorale IMEP2 – Université Grenoble Alpes, France
Competition of Doctoral School IMEP2 – Grenoble Alpes University, France

Comportement de pieux d'ancrage en interaction avec le sol sous chargement multidirectionnel cyclique : étude expérimentale à l'échelle réduite et rétro-analyse numérique.

Anchor pile behaviour in interaction with the soil mass under multi-directional cyclic loading: reduced-scale experimental study and numerical back-analysis.

Contexte et objectifs

Ce projet de thèse porte sur l'analyse du comportement de pieux soumis à des chargements latéraux cycliques dont la direction de chargement varie (chargement multidirectionnel). Le contexte est celui des pieux d'ancrages d'éoliennes flottantes, en particulier des ancres mutualisées. Le comportement du pieu, lui-même plus ou moins flexible, dépend également des caractéristiques du massif de sol dans lequel il est installé, des conditions d'interface sol-pieu, du chemin de chargement appliqué... Le problème d'interaction sol-structure est d'autant plus complexe que le chargement est cyclique et multidirectionnel. La prédiction des déplacements en tête du pieu et des sollicitations induites dans celui-ci sont des éléments essentiels pour fiabiliser le dimensionnement de ce type d'ouvrage, mais elle est à l'heure actuelle encore difficile et dépend de nombreux facteurs.

Des approches par modélisation numérique sont en cours de développement, cependant celles-ci nécessitent impérativement une validation par des résultats physiques, de par la nature particulièrement complexe des chemins de chargement. Ainsi, au cours de cette thèse, des expérimentations réalisées en laboratoire à l'échelle réduite sont analysées et sont la base d'un travail de rétro-analyse numérique. Le développement, la validation rigoureuse puis l'exploitation d'un outil de simulation numérique a pour objectif de mettre en évidence et de quantifier le comportement du système et les paramètres qui le pilote, afin de contribuer à la mise au point d'une méthode de dimensionnement.

Méthodologie et résultats escomptés

Ce travail de thèse s'insère dans la continuité d'un projet au cours duquel une campagne d'essais a été réalisée dans une fosse *indoor* (5,4 m × 5 m de section) de chargement d'un pieu métallique ouvert, à une échelle intermédiaire (facteur d'échelle de 1/5) afin d'obtenir des données réalistes et fiables dans

un délai raisonnable. Un pieu (tube en acier) de 324 mm de diamètre et de 3 m de longueur, encastré de 2 m dans un massif de sol (sable de Darmstadt), a été chargé latéralement en tête par un système de vérins, spécialement développé à l'occasion de ce projet pour appliquer un chargement latéral multidirectionnel pour l'un des essais (Figure 1). Le pieu est instrumenté de jauges de déformations dans plusieurs directions et d'un système de mesure de la cinématique de la tête du pieu (déplacements et rotations). Des informations sur le champ de déplacements dans le massif de sol ont été obtenues par une instrumentation par fibre optique continue (technologie Rayleigh). Un travail de dépouillement et d'analyse des données d'instrumentation est encore nécessaire, qui constituera la tâche préliminaire du travail de la personne recrutée.



Figure 1. Installation expérimentale pour l'essai de chargement multidirectionnel (TU Darmstadt) / *Experimental installation for the multidirectional loading test (TU Darmstadt).*

Le travail de thèse prévoit une rétro-analyse numérique de la campagne d'essais sur pieu, sur la base d'un modèle développé dans une thèse en cours d'achèvement au laboratoire (cf. Figure 2). Cette tâche nécessite notamment l'exploitation des essais de caractérisation du sol et du massif qui ont été effectués lors de la campagne expérimentale, afin de calibrer des modèles de comportement pertinents pour modéliser la réponse du sol sous chargement complexe. Un travail rigoureux de confrontation entre modélisations numérique et physique devra ensuite être réalisé, sur la base des données d'instrumentation du pieu et du massif de sol. Cette étape de validation du modèle numérique est indispensable pour pouvoir ensuite analyser finement les mécanismes et extrapoler à l'échelle prototype (réelle) les résultats obtenus à l'échelle du modèle (réduite). Une étude paramétrique numérique devra être menée à l'échelle prototype, afin de constituer une base de données numérique du comportement des pieux d'ancrage sous chargement complexe.

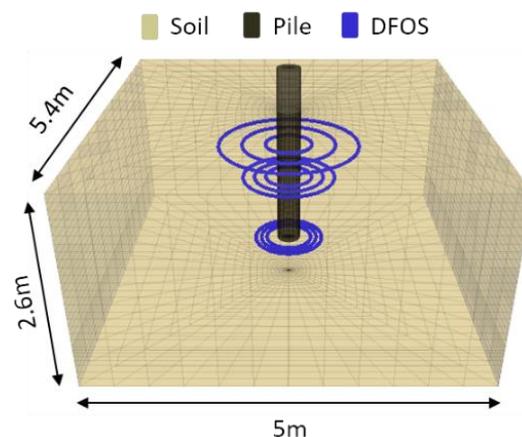


Figure 2. Modèle numérique tridimensionnel en milieu continu incluant la fibre (DFOS) autour du pieu / *3D Numerical model in a continuum, including the fibre optic (DFOS) around the pile.*

Enfin, au cours de cette thèse, il est prévu la conception d'une campagne d'essais dans la chambre de calibration du laboratoire 3SR, similaire à celle menée à Darmstadt, mais à une échelle plus petite (pieu de 80 mm de diamètre), afin de mieux appréhender l'effet des chargements multi-directionnels et d'étendre l'étude paramétrique expérimentale.

La synthèse de tous les résultats expérimentaux et numériques obtenus sera réalisée dans le cadre d'une analyse de type diagramme de stabilité (domaines stable, métastables ou instables sous chargement cyclique), à l'instar des approches développées dans le projet SOLCYP.

Project overview

This thesis work relates to the analysis of anchor pile behaviour when submitted to lateral cyclic loading, and with changing loading direction (multidirectional loading). The framework concerns anchor piles for floating offshore wind turbines, in particular for shared anchor piles. The behaviour of the pile, itself more or less flexible, also depends on the behaviour of the ground, on the soil-pile interface conditions, on the applied loading path... The soil-structure interaction issue is even more complex as the loading is cyclic and multidirectional. Predicting the displacements at the head of the pile and the stresses induced in it are essential elements in ensuring the reliability of the design of this type of structure, but it is currently still difficult and depends on many factors.

Numerical models are currently under development, but they necessitate the validation using physical results, in particular due to the complex nature of the loading paths. In the course of this thesis, small-scale laboratory experiments are analysed and form the basis of a numerical back-analysis. The aim of developing, rigorously validating and then using a numerical simulation tool is to highlight and quantify the behaviour of the system and the parameters that control it, in order to contribute to the development of a design method.

Methodology and expected results

This thesis work is the continuation of a project during which a test campaign was carried out in an indoor pit (5.4 m × 5 m cross-section) containing an open pile, at an intermediate scale (scale factor of 1/5) in order to obtain realistic and reliable data within a reasonable time. A pile (steel tube) 324 mm in diameter and 3 m long, embedded 2 m deep in a soil mass (Darmstadt sand), was laterally loaded at the head by a system of actuators, specially developed for this project to apply multidirectional lateral loading for one of the tests (Figure 1). The pile is instrumented with strain gauges in several directions and with a system for measuring the kinematics of the pile head (displacements and rotations). Information on the displacement field in the soil mass was obtained using distributed fibre optic sensing DFOS (Rayleigh technology). Further work is required to analyse the instrumentation data, which will be the preliminary task of the person recruited.

The thesis work involves a numerical back-analysis of the pile test campaign, based on a model developed in a thesis currently being completed at the laboratory (cf. Figure 2). In particular, this task requires the use of characterisation tests carried out on the soil and soil mass during the experimental campaign, in order to calibrate relevant constitutive models for simulating the soil response under complex loading. A rigorous comparison between numerical and physical modelling will then have to be performed, on the basis of instrumentation data from the pile and the soil mass. This stage of validating the numerical model is essential in order to be able to analyse the mechanisms in detail and extrapolate the results obtained at the prototype (real) scale to the (reduced) model scale. A parametric

numerical study will have to be carried out at the prototype scale, in order to build up a numerical database of the behaviour of anchor piles under complex loading.

Finally, during the course of this thesis, it is planned to design a test campaign in the calibration chamber of the 3SR laboratory, similar to that carried out in Darmstadt, but on a smaller scale (80 mm diameter pile), in order to gain a better understanding of the effect of multi-directional loading and to extend the experimental parametric study.

The synthesis of all the experimental and numerical results obtained will be carried out within the framework of a stability diagram type analysis (stable, metastable or unstable domains under cyclic loading), following the example of the approaches developed in the SOLCYP project.

Mots-clés

Géotechnique, Géomécanique, Pieu d'ancrage, Modélisation physique, Modélisation numérique, Interaction sol-structure, Chargement cyclique, Chargement multidirectionnel.

Key-words

Geotechnics; Geomechanics; Anchor pile; Physical modelling; Numerical modelling; Soil-structure interaction; Cyclic loading; Multidirectionnal loading.

Formation et compétences requises

- Formation initiale en géotechnique/géomécanique et génie civil (Master/Diplôme d'ingénieur), avec une initiation à la recherche (stage/PFE),
- Bonne compréhension de problèmes d'interaction sol-structure relatifs aux ouvrages géotechniques,
- Aptitude à la programmation (traitement et analyse de données d'instrumentation et de modélisation),
- Capacités pour l'utilisation d'outils de modélisation numérique dédiés à la géomécanique (interactions sol-structure, modèles de comportement des sols avancés),
- Maîtrise de l'anglais (C1) et du français (A2).

Requirements and skills

- *Education in geotechnics/geomechanics and civil engineering (Master's degree), with an initiation to research,*
- *Good understanding of soil-structure interaction questions,*
- *Aptitude for computer programming (processing and analysis of instrumentation and modelling data)*
- *Aptitude for the use of software/numerical codes dedicated to geomechanics (soil-structure interactions, advanced soil modelling),*
- *English (C1) and French (A2)*

Equipe d'encadrement/Supervisors

Dr. Oriane JENCK, Dr. Christophe DANO, Pr. Fabrice EMERIAULT
Enseignants-chercheurs au laboratoire 3SR.

Collaborations scientifiques/collaborations

Technische Universität Darmstadt, Institut für Geotechnik, Allemagne,
Université Gustave Eiffel, Département de Géosciences, Campus de Nantes et Laboratoire Sols, Roches
et Ouvrages Géotechniques, campus de Champs-sur-Marne, France.

Informations générales/General information

- Localisation : laboratoire 3SR, domaine universitaire de Saint-Martin d'Hères, Grenoble, France.
- Concours contrat doctoral de l'école doctorale IMEP2/*Competition for a doctoral contract at doctoral school IMEP2.*
- Date limite de candidature/*application deadline*: 15/04/2025.
- Date (prévisionnelle) de début de contrat/*estimated start date*: 01/10/2025.
- Salaire mensuel brut 2100€/Monthly gross salary : 2100€.
- Informations complémentaires/contact : orianne.jenck@univ-grenoble-alpes.fr

Candidature/application process

Pour candidater (pas de dossier de candidature envoyé par email) / *to apply (no full application file per email)*:

https://adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?langue=&site=edimep2&matricule_prop=60657