



Offre de thèse / *PhD position* / 2024-2027

Comportement de pieux d'ancrage en interaction avec le sol sous chargement multidirectionnel cyclique : étude expérimentale par modélisation à l'échelle réduite

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

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 ancrages mutualisés. Le comportement du pieu, lui-même plus ou moins flexible, dépend également des caractéristiques du massif de sol dans lequel il est installé et des conditions d'interface sol-pieu. 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 est alors difficile et dépend de nombreux facteurs.

Des approches par modélisation numérique sont en cours de développement, mais 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 en laboratoire à l'échelle réduite (facteur d'échelle d'environ 1/5) sont effectuées et analysées, puis confrontées au modèle numérique. Les approches complémentaires expérimentale et numérique alimenteront une étude de type diagramme de stabilité, afin de définir les domaines de comportement stable, métastable ou instable d'un pieu soumis à chargement cyclique multidirectionnel.

Méthodologie et résultats escomptés

La campagne expérimentale est réalisée dans une fosse de 5 m × 5 m contenant un massif de sol (sable de Darmstadt) dense et un pieu de diamètre 324 mm et de 2 m de longueur d'encastrement. Le pieu est chargé latéralement en tête par un système de vérins, spécialement développé pour appliquer un chargement latéral multidirectionnel. La campagne actuellement programmée à la TU de Darmstadt prévoit un essai sous chargement latéral monotone et monodirectionnel, un essai sous chargement latéral cyclique monodirectionnel et un essai sous chargement latéral cyclique multidirectionnel. 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). Il est prévu d'obtenir des informations sur le champ de déplacements dans le massif de sol par une instrumentation par fibre optique continue (technologie Rayleigh).

Ainsi, après la réalisation des essais (programmés en 2024), un important travail de dépouillement et d'analyse des données d'instrumentation sera nécessaire. Des essais complémentaires prévus dans ce travail de thèse consistent en des essais de caractérisation du massif de sol en place par pénétromètre dynamique léger (Panda 3), des essais de caractérisation du comportement du sol par des essais triaxiaux monotones et cycliques et par *bender elements*, et des essais de caractérisation du comportement de l'interface sol-pieu par des essais de cisaillement d'interface, afin de pouvoir calibrer par la suite les paramètres des lois de comportement de la modélisation numérique.

Le travail de thèse prévoit une rétro-analyse numérique de la campagne d'essai sur pieu, en utilisant le modèle actuellement développé dans une autre thèse en cours au laboratoire. Ce complément numérique aidera à l'extrapolation à l'échelle prototype des résultats obtenus à l'échelle du modèle, en plus d'une analyse dimensionnelle (application des règles de similitudes).

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).

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 (multi-directional 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 highly depends on the behaviour of the ground. The soil-structure interaction issue is even more complex as the loading is cyclic and multidirectional. The prediction of the pile head displacements and pile solicitations is therefore a difficult task and depends on numerous 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. Hence this thesis work focuses on the running and analysis of laboratory reduced-scale models (scale factor equal to 1/5). The experimental results are compared to the numerical model. Complementary experimental and numerical approaches will contribute to a stability-diagram type, to assess the pile behaviour in stable, metastable or unstable domain, when subjected to cyclic and multidirectional loading.

Methodology and expected results

The experimental campaign is performed in a 5m × 5m pit containing a dense sand mass (Darmstadt sand) and a 324-mm-diameter pile with 2m-embedment. The pile is loaded laterally using an actuator system, specially developed to apply a multidirectional lateral loading. The experimental program at the TU Darmstadt plans a test under lateral monotonic loading, a test under monodirectional lateral cyclic loading and a test under multidirectional lateral cyclic loading. The pile is instrumented with strain gauges in several directions and a system to measure the pile head movements (displacement and rotation). Information on the displacement field within the ground mass will be obtained fibre optic sensing (Rayleigh technology).

Thus, after the completion of the tests (scheduled for 2024), significant work on processing and analysing the instrumentation data will be necessary. Additional tests planned in this thesis work consist of tests to characterize the soil mass in place by a light dynamic penetrometer (Panda 3), tests to characterize the behaviour of the soil by monotonic and cyclic triaxial tests and by bender elements, and tests to characterize the behaviour of the soil-pile interface by interface shear tests, in order to subsequently be able to calibrate the parameters of the constitutive models of the numerical modelling.

The thesis work provides for a numerical retro-analysis of the pile test campaign, using the model currently developed in another thesis in progress at the laboratory. This numerical complement will help in the extrapolation to the prototype scale of the results obtained at the model scale, in addition to a dimensional analysis (application of similarity rules).

Finally, during 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).

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), like the approaches developed in the SOLCYP project.

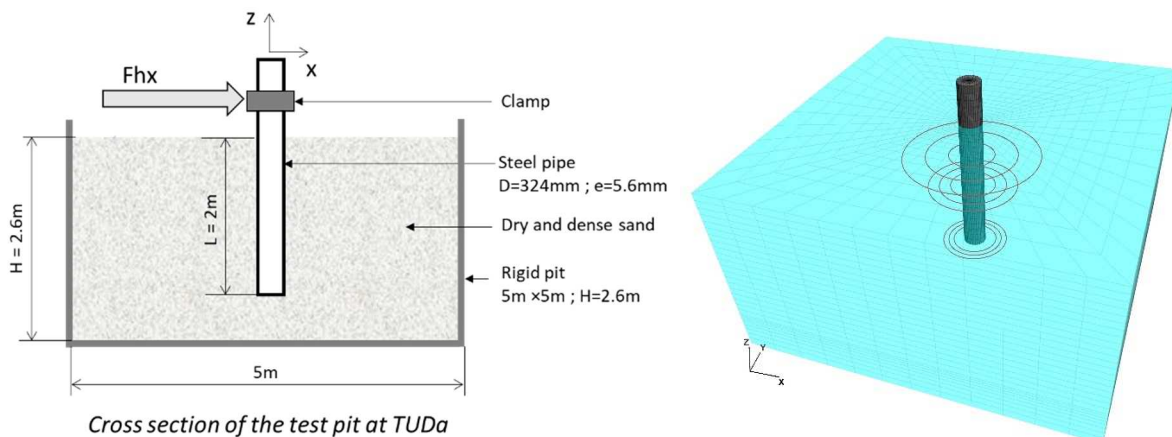


Figure 1. Coupe schématique du modèle physique (gauche) et modèle numérique dont la fibre optique autour du pieu (droite)/Schematic section of the physical model (left) and numerical model including the fibre optic around the pile (right)

Mots-clés

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

Key-words

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

Formation et compétences requises

- Formation initiale en géotechnique/géomécanique (Master/Diplôme d'ingénieur),
- Bonne compréhension de problèmes d'interaction sol-structure relatifs aux ouvrages géotechniques,
- Aptitude à la programmation (traitement et analyse de données d'instrumentation)
- Capacités pour l'utilisation d'outils de modélisation numérique (géomécanique, interactions sol-structure),
- Maîtrise de l'anglais (C1) et du français (A2).

Requirements and skills

- *Formal education in geotechnics/geomechanics and civil engineering (Master's degree),*
- *Good understanding of soil-structure interaction questions,*
- *Aptitude for computer programming (processing and analysis of instrumentation data)*
- *Aptitude for the use of software/numerical codes (geomechanics, soil-structure interactions),*
- *English (C1) and French (A2)*

Equipe d'encadrement/Supervisors

Pr. Fabrice EMERIAULT, Dr. Oriane JENCK, Dr. Christophe DANO

Collaborations scientifiques/collaborations

Technische Universität Darmstadt, Institut für Geotechnik, Germany
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*: 15/05/2024
- Date (prévisionnelle) de début de contrat/*estimated start date*: 01/10/2024
- Salaire mensuel brut 2100€/Monthly gross salary : 2100€
- Informations complémentaires/contact : orianne.jenck@univ-grenoble-alpes.fr

Candidature/application process

Pour candidater (pas de candidature par email)/to apply (no application per email):

https://adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?langue=&site=edimep2&matricule_prop=54827