

Sujet de thèse

Pieu hélicoïdal : modélisation physique et numérique pour des applications en géotechnique marine

Année 2024

Laboratoire principal : Géotechnique, Environnement, Risques et Sciences de la Terre (GERS),
Laboratoire Centrifugeuses Géotechniques (CG)

Spécialité de la thèse : Géotechnique

Etablissement d'inscription : Université Gustave Eiffel

Ecole doctorale : Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (SIS)

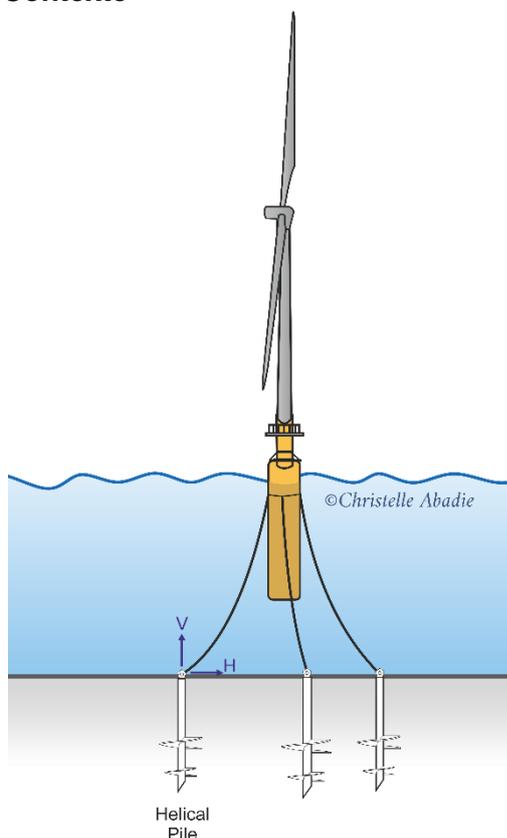
Directeur prévu : THOREL Luc - Université Gustave Eiffel - GERS - CG

Co-directeur prévu : LI Zheng - Université Gustave Eiffel - GERS – CG

ABADIE Christelle - Université Gustave Eiffel - GERS – CG

Contact : luc.thorel@univ-eiffel.fr; zheng.li@univ-eiffel.fr; christelle.abadie@univ-eiffel.fr

Contexte



Avec le développement des énergies renouvelables et la nécessité de faire évoluer les méthodes de construction pour privilégier les solutions à faible impact environnemental (empreinte carbone réduite et réutilisation/démontage), il existe maintenant un marché florissant pour un nouveau type de fondations, e.g. pour les structures légères (supports de panneaux solaires), les habitations individuelles ou les aménagements en zones naturelles protégées ou touristiques/de loisirs (pontons/passerelles/tonnelles) ou encore pour les structures provisoires (chapiteaux par exemple). D'autres pistes, actuellement en exploration, concernent les ancrages (fonctionnant en traction) en milieu aquatique ou marin (e.g. éoliennes flottantes ou panneaux solaires sur barges, ou convertisseurs de l'énergie des vagues).

Constitué d'un fût métallique sur lequel une ou plusieurs

hélices sont soudées, le pieu hélicoïdal (PH) est utilisé principalement pour reprendre des efforts de compression et de traction. Le plus souvent de petite dimension (longueur de quelques mètres, diamètre de l'hélice de l'ordre de 30 cm), il est facile à mettre en œuvre, et peut même être retiré après usage. Les atouts des PH ne sont donc plus à démontrer, de nombreux exemples de mise en œuvre sont répertoriés principalement en Amérique du Nord et au Brésil. Le PH n'est cependant couvert ni par les Eurocodes actuels ni par les normes d'exécution. Par ailleurs, les sollicitations auxquelles sont soumis les PH sont susceptibles de provoquer une "fatigue" à l'interface fût-sol et dans le voisinage de l'hélice, pouvant induire des désordres à long terme. Il est donc nécessaire d'étudier en détail le PH et d'avancer vers une intégration dans les codes en vigueur.

Enfin, la dynamique régionale dans le domaine des énergies marines renouvelables s'illustrera notamment en juin 2025 par l'organisation à Nantes de l'International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics, au cours duquel une partie de ces travaux sera présentée.

Problématique

Six questions se posent :

- quels sont les moyens de reconnaissance géotechnique les plus appropriés pour bâtir des règles de dimensionnement semi-empiriques (on s'attachera dans un premier temps aux sols principalement frottant d'une part et aux sols principalement cohérents d'autre part),
- quels sont les méthodes et moyens d'exécution (de mise en place) possibles pour le PH, et quelles informations peut-on retirer de cette phase (mesures du couple et de l'effort axial),
- quel est l'effet d'une installation « imparfaite » (différente d'un enfoncement d'un pas par tour) sur son comportement ultérieur,
- comment prédire la portance de ces pieux : on distinguera le fonctionnement en « ancrage » (traction), du fonctionnement en compression, mais aussi l'effet du chargement cyclique,
- quelle est l'influence de la configuration géométrique (une/deux hélices, par exemple) sur la portance,
- quels essais pour valider/contrôler la portance/le comportement (à court terme/long terme) ?

Le doctorant tentera de répondre à ces questions afin de proposer des règles de dimensionnement adaptées au domaine d'emploi de ces pieux et à leurs sollicitations inhérentes.

Verrous scientifiques

Face au déficit méthodologique actuel, le doctorant contribuera à améliorer la connaissance en vue de développer les essais et protocoles de reconnaissance, ainsi que les processus de contrôle pertinents, permettant de mieux comprendre le comportement du PH en premier lieu puis d'établir des règles de dimensionnement des pieux et ancrages hélicoïdaux dans un second, en se basant sur les méthodes existantes.

Il devra également étudier la phase de mise en place de ces pieux (expérimentalement et numériquement avec des approches de type CEL) et tenter de corrélérer les paramètres mesurés (force sur l'outil, couple, vitesse d'enfoncement...) avec la portance du pieu.

Déroulement

-Démarche de travail

On s'appuiera sur les développements analytiques et numériques existants ainsi que sur les expérimentations sur modèles réduits centrifugés :

Analyse bibliographique : étude de la littérature scientifique et technique, présentant les avancées récentes de dimensionnement des ancrages hélicoïdaux, en compression, en traction sous charge axiale et non axiale, ainsi que sous chargement transversal, aussi bien en statique que sous sollicitations cycliques. On s'appuiera notamment sur la méthodologie développée dans Solcyp et sur les résultats du projet Weamec REDENV-EOL. On étudiera les techniques numériques pour les simulations en grandes déformations et l'impact des lois de comportement avancées sur les simulations numériques.

Analyse détaillée de la phase d'installation : le couple mesuré, ainsi que la force verticale nécessaire à l'enfoncement, afin d'exploiter l'installation comme un essai in situ, sur la base des puissances mobilisées pour la rotation et l'enfoncement vertical. Des PH de différentes géométries seront étudiés, présentant soit un fut élargi en tête, soit des hélices multiples de diamètre identique ou croissant (pour des profondeurs décroissantes). Des corrélations avec des essais in situ (pénétromètre, pressiomètre etc.) seront établies, en particulier dans les cas de sur-rotation ou de sous-rotation (lorsque l'avancement est différent d'un pas par tour).

Etude du chargement (vertical et incliné) : Pour une ou deux géométries de pieu hélicoïdal on explorera l'effet de l'inclinaison de la charge monotone, de l'horizontale à la verticale (e.g. 0°, 30°, 45°, 60°). Ces essais seront réalisés en centrifugeuse sur un sable lâche et sur un sable dense. Des corrélations avec les essais de reconnaissance des sols seront effectuées pour établir des règles de dimensionnement.

Etude du chargement cyclique : Toujours en centrifugeuse, pour une (ou deux) géométries de pieu hélicoïdal, et pour quelques inclinaisons caractéristiques, des configurations de sollicitations cycliques d'intensité différentes seront testées, afin de balayer les domaines de stabilité. Une procédure d'essai de chargement adaptée à ce type de fondations sera proposée. Des chargements multidirectionnels seront également explorés.

Géométrie des hélices : Dans le cas d'un PH multi-hélice, on étudiera la stratégie de dimensionnement des hélices, de façon à ce que chaque hélice apporte une contribution en résistance, compte tenu du remaniement lors de l'installation.

Simulation numérique : Dans un premier temps, on établira un cadre pour la simulation des grandes déformations, à cette étape une loi de comportement simple peut être utilisée. Dans la deuxième étape, le passage de la loi de comportement simple à une loi avancée est effectué en calibrant une série de paramètres du modèle et en validant le modèle numérique avec les données expérimentales. Dans la troisième étape, le modèle numérique validé est utilisé pour l'analyse paramétrique et la simulation d'autres cas, puis étendu à la simulation de situations réelles.

-Disponibilité des ressources

La centrifugeuse du campus de Nantes permettra de réaliser des essais paramétriques sur modèles réduits. La simulation numérique de la phase d'installation et chargement par Couplage Eulérien Lagrangien (CEL) sera entreprise via l'utilisation d'un logiciel adapté (e.g. Abaqus) nécessitant par ailleurs l'accès à un super ordinateur (e.g. au Centre de Calcul Intensif des Pays de la Loire). Une autre méthode de simulation des grandes déformations, la méthode SPH (Smoothed Particle Hydrodynamic) peut être utilisée comme alternative à la méthode CEL.

-Organisation

Le candidat sera basé à Université Gustave Eiffel - Campus de Nantes (ex IFSTTAR), au lab-CG. Un court séjour (4 semaines) au Brésil est aussi envisagé dans le cadre de cette thèse, en fonction des chantiers et plans expérimentaux en cours en liaison avec l'Université de Sao Paulo.

-Financement

Le montant du contrat doctoral alloué par l'IFSTTAR est actuellement de 1858 € bruts mensuels pendant les deux premières années et de 2165 € bruts mensuels la troisième année. Des vacances d'enseignement ou des missions en entreprise peuvent venir compléter ces contrats doctoraux.

Caractère innovant

Cette thèse s'appuie sur une multi-approche (modèles réduits, modélisation numérique) pour étudier le comportement des PH en vue d'établir des règles de dimensionnement adaptées aux applications futures, telles que les ancrages d'éolienne flottante.

Résultats attendus & valorisation

Avec une finalité appliquée, les résultats obtenus via des méthodologies modernes doivent contribuer à affiner les règles de dimensionnement en vue d'un transfert vers la profession.

Des publications dans des revues internationales et congrès complèteront le volet de valorisation.

References:

Cerfontaine, B., Brown, M., Knappett, J., Sharif, Y., & Davidson, C. (2022). Overflighting screw piles in sand, a detrimental effect?. 1081-1086. Paper presented at 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sydney, Australia.

Reape D, Naughton P 2018 An experimental investigation of HP subject to inclined pullout loads Proc. Civil Engng Res.Ireland Conf. CERI-ITRN2018 Dublin. 235-240

Sakr M et al. 2016 Behavior of grouted single screw piles under inclined loads in sand. *EI.J. Geotech.Engng*, 21(2), 571-591.

Schiavon JA 2016 Behav. helical anchors subjected to cyclic loadings. Ph.D. th., Uni Sao Paulo.

Schiavon JA, Tsuha C, Neel A, Thorel L 2018 Centrifuge modelling of a helical anchor under cyclic loading conditions in sand.<https://doi.org/10.1680/jphmg.17.00054>

Schiavon JA, Tsuha C, Thorel L 2017. Cyclic and post-cyclic monotonic response of a single-helix anchor in sand. *Geot. lett.*7, 11-17, <http://dx.doi.org/10.1680/jgele.16.00100>

Szymkiewicz F et al. 2020 Static Pile Load Test: International Practice Review And Discussion About The European & Japanese Standards, <https://doi.org/10.21660/2020..66.9432>

Tsuha C et al. 2007 Physical modelling of helical pile anchors. *Int. J. Phys.Mod. Geotech.* 7(4) 1-12.