

OPPORTUNITE DE THESE – RECHERCHE EN ENERGIE RENOUVELABLE OFFSHORE OCTOBRE 2024 (3 ANS)

MODELISATION PHYSIQUE ET NUMERIQUE DES SYSTEMES D'ANCRAGE MUTUALISES POUR CHAMP D'EOLIENNES FLOTTANTES

Encadrants: Dr Christelle Abadie¹, Dr Matthieu Blanc¹

Collaborateurs Potentiels: Dr Ana Page² and Dr Sunniva Indrehus²

¹ Université Gustave Eiffel, Nantes, France

² NGI, Oslo, Norway

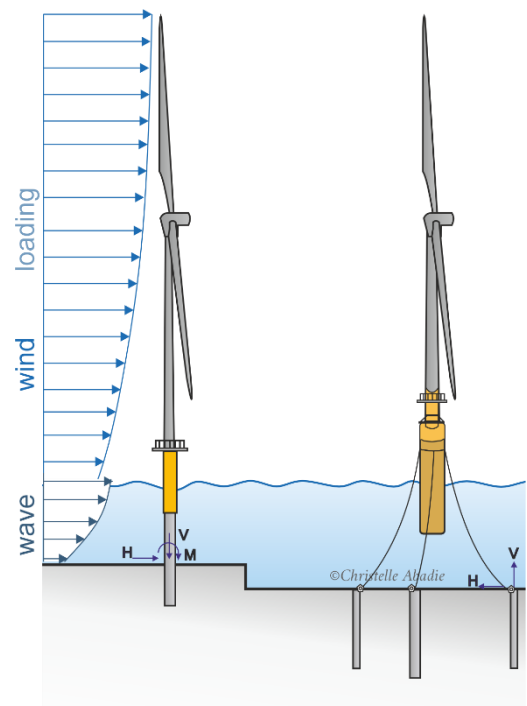
PhD specialty: Geotechnical Engineering, Offshore Geotechnics

1 | Description du projet

L'éolien offshore joue un rôle crucial dans la transition vers les énergies renouvelables, mais les coûts élevés de construction des systèmes d'ancrage pour les éoliennes en eaux profondes représentent un obstacle majeur. L'optimisation de la géométrie des fondations tout en assurant leur durabilité face à des chargements cycliques importants provenant de différentes directions - telles que le vent, les courants et les vagues - reste un défi majeur.

En parallèle, le développement des éoliennes en mer dites « flottantes » progresse en France, en Europe et dans le monde. Ces éoliennes flottantes atteindront bientôt une maturité technologique permettant leur installation en champs éoliens de plusieurs dizaines d'unités. Pour réduire les coûts d'installation, d'investigations géotechniques et de maintenance des ancrages, la mutualisation de l'ancrage est une solution prometteuse.

Chaque éolienne est ainsi ancrée au fond marin par trois lignes d'ancrage, et chaque ancre pourrait retenir trois lignes pour trois éoliennes différentes, espacées de 120°. Ainsi, le nombre d'ancres nécessaire pour un champ éolien pourrait être réduit de plus de moitié.



Cependant, la mutualisation des ancres induit un chargement complexe présentant une forte multi-directionnalité, un aspect peu étudié en géotechnique offshore. Les études actuelles proviennent principalement de la pratique pétrolière, qui n'a pas nécessité de champs de structures flottantes avec des ancres mutualisées. De plus, pour des raisons de sécurité, les lignes d'ancrage des plateformes pétrolières sont

souvent triplées, voire quadruplées, afin d'anticiper une éventuelle rupture de certaines lignes. Ceci induirait des coûts prohibitifs pour l'éolien offshore et cette solution n'est pas possible. Il est donc nécessaire de mieux comprendre l'impact de ces chargements multidirectionnels cycliques sur les systèmes d'ancrage et de les modéliser rigoureusement dans les codes de dimensionnement.

Mots clés: éolien offshore, éolien flottant, géotechnique offshore, système d'ancrage, ancrages mutualisés, chargement cyclique, chargement multidirectionnel, expériences en centrifugeuses, modélisation physique, modélisation numérique

2 | Objectifs du projet

Ce travail de thèse portera sur les problèmes d'interactions sol-ancrage liés à des chargements en tension multidirectionnels et cycliques.

Axe de recherche 1 : Essais sur modèles réduits en centrifugeuse

La réalisation d'essais de fondations sur site en mer est trop coûteuse pour être envisageable. Pour cette raison, en géotechnique offshore, la profession se tourne vers des essais réalisés sur modèles réduits centrifugés. L'intérêt de placer ces modèles réduits dans un champ de macro-gravité est de générer sur ce modèle le même état de contrainte qui est appliqué sur le prototype en vraie grandeur. Ainsi, un modèle réduit au 1/100ème soumis à un champ de macro-gravité de $100\times g$ (100 fois la gravité terrestre) se comporte comme le système à échelle réelle.

L'Université Gustave Eiffel possède sur le Campus de Nantes l'unique centrifugeuse géotechnique de France et l'une des cinq plus grande d'Europe. Lors de ce travail de thèse, une campagne expérimentale sur des modèles réduits sera conduite en centrifugeuse permettant des essais de chargements d'ancrage en tension, multidirectionnels et cycliques. En effet, lors d'essais en centrifugeuse, l'environnement et les conditions aux limites sont imposées et contrôlées et permettent une analyse systématique et rigoureuse du système d'ancrage. Les objectifs de cette campagne seront de i) mieux comprendre les conséquences de la mutualisation de l'ancrage sur comportement à long terme et ii) fournir des données précises et fiables permettant la calibration d'un modèle numérique. Ces essais en centrifugeuse permettront de créer l'une des premières base de données sur le comportement des ancrages sous chargement multidirectionnel cyclique.

Axe de recherche 2 : Modélisation numérique par éléments finis 3D

Le deuxième axe de recherche consiste à établir une modélisation numérique du comportement d'une ancre mutualisée à l'aide de la méthode des éléments finis 3D. Le point clé de cette étape sera dans le choix de la loi de comportement pour le sol et l'interface sol/ancrage qui devra prendre en compte l'effet des cycles de chargement. Ce modèle numérique sera calibré à partir des essais réalisés en centrifugeuse.

Le modèle calibré permettra i) de conduire une étude paramétrique sur les différents éléments clés du dimensionnement d'une ancre mutualisée et donc, de limiter le nombre d'essais nécessaires en centrifugeuses et ii) d'obtenir des données qui ne sont pas accessibles expérimentalement (état de contrainte dans le sol, pression locale sur l'ancrage, mécanismes de déformation du sol, etc).

Axe de recherche 3 : Développement d'un outil de dimensionnement simplifié pour l'ingénierie

Une fois le comportement de l'ancrage finement étudié par l'approche expérimentale en centrifugeuse et modélisation numérique 3D, le problème devra être « simplifié » afin de développer un outil de dimensionnement utilisable en ingénierie. Pour cela, l'ancrage sera modélisée par un élément fini 1D (une poutre) ou par un macro-élément, destiné au dimensionnement industriel.

La modélisation de la réponse de la fondation au chargement multidirectionnel cyclique requiert la prise en compte des effets néfastes de l'action répétée des chargements cycliques (comme l'accumulation des déformations et le changement de rigidité) tout en considérant les effets de couplage entre les différentes directions de chargement. À ce jour, il n'existe pas de modèle numérique simple capable de traiter ces aspects de manière exhaustive.

Cependant, il existe des modèles spécialisés : le modèle HARM pour modéliser les effets de l'action répétée des chargements, et REDWIN, récemment développé pour aborder les effets de couplage entre les différentes directions de chargement. L'objectif est donc de fusionner numériquement et mathématiquement ces deux modèles, afin de permettre une modélisation complète de la réponse des fondations. Le modèle final développé sera mis en ligne en Open Source sur une plateforme de téléchargement. Cette avancée pourrait révolutionner la conception et la durabilité des fondations d'éoliennes offshore.

3 | Déroulement de la thèse et programme indicatif

Le doctorat utilisera les deux premières années de thèse pour la réalisation de la campagne expérimentale (axe 1) et la modélisation numérique des comportements observés (axe 2). La dernière année de thèse permettra de transférer les connaissances acquises vers le milieu industriel (axe 3) et de diffuser les travaux de thèses (plateforme Open Source et rédaction de papiers).

4 | Encadrement

Directeur de thèse - taux d'encadrement : 51%. Matthieu Blanc (HDR) a plus de 13 ans d'expérience dans la modélisation physique en centrifugeuse appliquée à la géotechnique offshore.

Encadrante - taux d'encadrement : 49%. Après l'obtention de sa thèse de doctorat en 2015 réalisée à l'Université d'Oxford sur le comportement cyclique des monopieux et le développement du modèle HARM, Christelle Abadie a poursuivi son parcours de recherche à l'Université de Cambridge comme « assistant professor » travaillant en géotechnique pour le développement d'infrastructures durables dans le contexte du changement climatique. Recrutée à l'Université Gustave Eiffel fin 2023, elle continue d'explorer des thématiques en lien avec l'émergence de nouvelles fondations pour les Energies Marines Renouvelables.

5 | Partenaire

Le modèle REDWIN ayant été développé par une chercheuse du Norwegian Geotechnical Institute (NGI), ce projet fera l'objet d'une collaboration avec le laboratoire de recherche du NGI dans le cadre de laquelle des conseils experts sur le développement de modèles constitutifs seront apportés à l'équipe encadrante et au/à la doctorant.e sélectionné.e afin de développer le modèle numérique. Une visite de quelques semaines en Norvège pourra être envisagée dans le cadre de la thèse pour faciliter ces échanges.

6 | Candidate's profile

Nous recherchons un.e candidat.e dynamique ayant une solide formation en ingénierie géotechnique. Les étudiants en master/école d'ingénieur en génie civil, en génie géotechnique ou en géotechnique offshore sont particulièrement les bienvenus. Une expérience en programmation, en modélisation numérique (par exemple, analyse par éléments finis) et en conception de fondations est bénéfique, mais non obligatoire pour ce poste. Une bonne maîtrise de l'anglais est obligatoire pour ce projet..

7 | Location and Funding

Location

La thèse se déroulera dans le laboratoire Centrifugeuses Géotechniques du campus de Nantes de l'Université Gustave Eiffel. Une courte visite de quelques semaines dans les laboratoires du Norwegian Geotechnical Institute à Oslo (Norvège) peut-être envisageable dans le cadre de cette thèse.

Funding

Le contrat de doctorat accordé par l'UGE est actuellement de 1858€ brut par mois pour les deux premières années, et de 2125€ brut par mois pour la troisième année. Des vacances d'enseignement ou des missions industrielles peuvent compléter ces contrats doctoraux.

8 | How to apply

Pour candidate, envoyer par email:

- Un CV
- Une lettre de motivation détaillant votre adéquation et votre motivation pour ce poste.
- Les notes de master

Email : Christelle.abadie@univ-eiffel.fr . N'hésitez pas à me contacter pour de plus amples informations..

Plus d'information: https://www.ifsttar.fr/offres-theses/sujet.php?num=3886&num_session=1&ver=fr