

## PROJET POST-DOCTORAL

FAISABILITÉ ET COMPLÉMENTARITÉ DES MÉTHODES SISMQUES ET GÉO-ÉLECTRIQUE  
POUR L'IMAGERIE DU SOUS-SOL EN MOYEN OFFSHORE VISANT L'APPORT  
GÉOTECHNIQUE POUR L'IMPLANTATION D'ÉOLIENNES.

**POSITIONNEMENT** : UNIVERSITÉ GUSTAVE EIFFEL – CAMPUS DE NANTES

**DURÉE** : 18 mois

**DÉMARRAGE** : du 01/10/2024 au 01/11/2024

**CONTACTS/ENCADREMENTS PRINCIPAUX** : Donatienne Leparoux et Sérgio Palma-Lopes  
[donatienne.leparoux@univ-eiffel.fr](mailto:donatienne.leparoux@univ-eiffel.fr) ; [sergio.palma-lopes@univ-eiffel.fr](mailto:sergio.palma-lopes@univ-eiffel.fr)

**COMITÉ DE SUIVI SCIENTIFIQUE** : Loïc Michel (société SERCEL), Damien Pageot

**FINANCEMENT** : projet régional PROSE+ / AAP du RFI WEAMEC 2022

*Comité de projet* Leparoux D . Palma Lopes S., Michel L., Baltzer A., Rousset J.M.

### SUJET :

**L'accroissement des projets d'implantation de champs d'éoliennes en mer au large des côtes françaises**, associé à la multiplicité du développement des techniques d'ancrages (éolien posé, éolien flottant, etc.) rendent nécessaire l'optimisation des fondations et ancrages aux conditions du sous-sol en moyen offshore. La reconnaissance par méthodes géophysiques peut alors fournir un apport d'information important. Dans ce sens, selon les recommandations de la CFMS (Berthelot et al., 2019), la reconnaissance géophysique dans le domaine des EMR est menée à deux échelles : tout d'abord lors de la phase préliminaire de pré-projet et d'avant projet pour définir la zone d'implantation ; puis lors de la phase projet (conception et exécution) pour fournir des informations les plus précises possibles aux emplacements des ouvrages. Pour ce faire, les méthodes utilisées incluent la sismique en Ondes de Surface et les méthodes de résistivité électrique.

**Par ailleurs, au niveau des côtes ouest françaises, la géologie des milieux peut être très variable** et les méthodes classiques en Ondes de surface, de type MASW (Multi Analysis of Surface Waves) sont limitées par une hypothèse de milieu tabulaire 1D. Concernant les méthodes de résistivité électrique à courant continu (CC), la perte de signal et de résolution est importante en environnement marin, telles que l'attestent les pratiques depuis les années 1980, et suivant différents modes d'acquisition.

**Dans ce cadre, le projet PROSE+** (<https://osuna.univ-nantes.fr/recherche/projets-de-recherche/prose-1>) (décembre 2022 - décembre 2025) vise à développer et valider expérimentalement des techniques géophysiques quantitatives 2D en Ondes de Surface associées aux méthodes géo-électriques, selon les **premiers développements mis au point numériquement, en amont de PROSE+** , au cours du projet PROSE (novembre 2016 - mars 2021, <https://www.weamec.fr/projets/prose/>) :

Pour l'approche sismique en Ondes de surface, il s'agit d'une technique d'inversion sismique 2D, adaptée à la variation potentielle du sous-sol marin, et basée sur les méthodes d'optimisation par Essaims de Particules (Pageot et al., 2018).

Concernant l'approche géo-électrique, le projet PROSE initial a permis de montrer numériquement l'intérêt d'un mode d'acquisition innovant qui pourrait augmenter significativement le pouvoir de résolution (Palma Lopes and Côte, 2020).

Suite à ces premières études et développements numériques dans le projet PROSE, le projet pot-doctoral proposé dans le projet PROSE+ comporte 3 phases :

1. Tester et adapter la méthodologie sismique développée numériquement, sur des données expérimentales issues de mesures à échelle réduite au laboratoire. Elle pourra être également testée sur des mesures fond-de-mer en site réel acquises parallèlement dans ce projet. La validation expérimentale rendra la technique disponible aux entreprises de géophysique pour fournir la variation latérale et en profondeur du profil de vitesses des ondes S.
2. Tester et valider numériquement le mode d'acquisition « fond de mer avec écran isolant » dans un contexte représentatif de la géologie d'une zone proche offshore du littoral ouest breton; mener une étude bibliographique cadrée pour proposer une approche d'imagerie géoélectrique pertinente pour ce mode d'acquisition (NB : le développement de cette approche n'étant a priori pas inclus dans ce post-doc).
3. Analyser les potentialités de combinaison des approches sismique et géo-électrique sur un modèle de référence caractéristique d'une zone proche offshore du littoral ouest breton (comme définie dans les phases précédentes), en vue du développement d'une approche jointe permettant d'affiner la résolution des milieux imagés sur les premiers mètres du sous-sol marin. Les approches envisagées sont l'inversion conjointe (couplage par inversion simultanée ou séquentielle géoélectrique puis sismique) ou la fusion de données (modèle mathématique pertinent à identifier : clustering, logique floue, ...). Pour cette troisième phase, l'analyse bibliographique préalable à ce développement pourrait être démarrée dès le début du projet, en parallèle des étapes sismique et géoélectrique .

## **PARTENAIRES IMPLIQUÉS DANS LE PROJET PROSE+**

- Le projet PROSE+ est financé par le RFI WEAMEC.
- Il regroupe 3 partenaires académiques (GERS/Université Gustave Eiffel, le LHEEA / Ecole Centrale de Nantes ; le LETG / Nantes Université) tous trois membres de l'OSUNA (Observatoire des Sciences de l'Univers de Nantes Atlantique) qui gère le projet, et s'appuie sur le soutien de l'entreprise Sercel, fournissant la technologie d'enregistrement sismique « fond-de-mer »
- L'Ifremer est membre partenaire associé au projet PROSE+.
- TOTAL Energies est membre extérieur du comité de pilotage.

## **OUTILS NUMERIQUES et EXPERIMENTAUX :**

- Résistivité électrique à CC :
  - Comsol Multiphysics, Res2Dmod/inv, Res3Dmod/inv, ERTLlab, Matlab, Python, (FEniCSx ou FreeFEM pourront être utilisés si la personne en poste possède ces compétences)
- Sismique :
  - Banc de mesures MUSC (Mesures Ultrasonores Sans Contact)  
<https://geoend.univ-gustave-eiffel.fr/presentation/equipements/banc-de-mesures-ultrasonores-sans-contact-musc>
  - Différences Finies et Elements Spectraux (SEM)

## **PRE-REQUIS**

- Thèse en géophysique de subsurface
- Connaissances théoriques et expérimentales en sismique Ondes de Surface, et si possible en méthodes géoélectriques,

- Connaissances et expérience en modélisation numérique et imagerie géophysique, capacités et goût pour le travail numérique appliqué (compréhension, adaptation et utilisation d'outils scientifiques existants),
- Des connaissances en combinaison d'information (fusion de données) seraient appréciées.

## REFERENCES DU PROJET PROSE :

- Pageot, D., Leparoux, D., Capdeville, Y. and Côte, P., 2018, September. Alternative Surface Wave Analysis Method for 2D Near-Surface imaging Using Particle Swarm Optimization. In *3rd Applied Shallow Marine Geophysics Conference* (Vol. 2018, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.
- Palma Lopes S. & Côte P., 2020, A new technique for increasing the sensitivity of marine DC-electrical resistivity acquisitions, , NSG 2020, Dec. 7-8, online.
- P. BERTHELOT, A. PUECH, F. ROPERS, , « POUR LA CONCEPTION ET LE DIMENSIONNEMENT DES FONDATIONS D'ÉOLIENNES OFFSHORE », 2019, Rapport du Groupe de Travail «Fondations d'éoliennes offshore» du Comité français de Mécaniques des Sols et de Géotechnique (CFMS)VERSION 2.0, 217 pp
- Leparoux D, Michel L, Pelleau P, Rousset J, Allemand T, Evain M, Sourice A, Schnurke P, Baltzer A, Vallishin O, Lehujeur M, Sea Bottom surface wave seismic for windfarm implantation and foundations, Oral Presentation, EAGE/SUT Workshop on Integrated Site Characterization for Offshore Renewable Energy, 20-23 -May 2024, Boston, Massachusetts
- Leparoux D., Michel L., Pelleau P., Rousset J.M., Allemand T., Evain M., Baltzer A., Josse F, Schnurle Ph., Lehujeur M, Sourice A., Belov S., Geomechanical characterization of heterogeneous seabed for wind turbine anchorages/foundations using non-destructive geophysical approaches: Small-scale laboratory experiments and full-scale sea measurements, OCEANEXT 2024 « Meeting challenges of marine and coastal socio-ecosystems together, oral presentation, June 2024, Nantes Fr