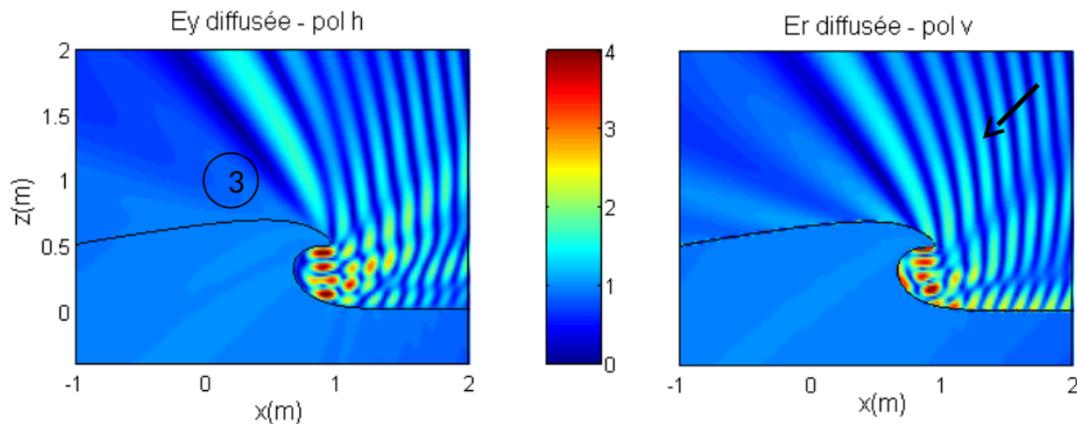


**Proposition de sujet de thèse :**  
**Vagues déferlantes et diffusion ElectroMagnétique :**  
**modélisation, simulation et analyse couplée (VAFEM)**

## Contexte

Dans les domaines de la surveillance ou de la télédétection en milieu maritime, l'analyse des données recueillies par des systèmes de mesures électromagnétiques (en particulier les systèmes radar) constitue un enjeu de premier plan. L'objectif principal est l'identification et l'interprétation des signatures électromagnétiques des différentes composantes de la scène d'observation (navires, éléments de côtes, surface de mer...). Dans ce contexte, les vagues déferlantes, générées par des vents forts ou par la proximité des côtes (variation bathymétrique), induisent des signatures très visibles et très informatives mais aussi complexes à analyser, notamment pour des ondes électromagnétiques émises en incidence rasante. La complexité de ces signatures est liée d'une part à la physique non linéaire du fluide qui génère des déformations importantes et des variations temporelles rapides de la surface de mer, et d'autre part à la diffusion de l'onde électromagnétique par une surface rugueuse aléatoire contenant des formes ayant de très fortes courbures et cavités comme illustré ci-dessous.



Le programme de thèse s'articule autour de trois volets complémentaires. Le premier concerne la génération des vagues déferlantes en mouvement, le second porte sur l'estimation de la signature EM des vagues générées et enfin un volet important est dédié à l'analyse des signaux reçus. Les retombées scientifiques attendues s'inscrivent dans la perspective de la surveillance maritime et aussi au sens large de la télédétection opérationnelle en environnement maritime.

## Problématique

Dans le cadre de cette thèse, nous proposons de réaliser des simulations numériques de diffusion électromagnétique par des vagues déferlantes. D'un point de vue de la mécanique des fluides, la génération, la propagation et les instabilités de la houle est un problème compliqué dès lors que l'on atteint de fortes cambrures et plus encore s'il se produit le déferlement. Le code de génération des vagues est développé à l'ENSTA Bretagne. Il fait l'objet de développements continus, voir les références plus bas. Ce code sera utilisé pour la génération des profils de vagues dont on cherchera à calculer la signature électromagnétique. D'un point de vue électromagnétique, la diffusion des ondes radar par ce genre de surface fluide fortement distordue est également un problème très compliqué. Toutefois, la difficulté majeure ne réside pas dans le fait de réaliser la simulation uniquement pour un profil de vague déferlante donné, mais de réaliser cette simulation à chaque instant pour un profil qui évolue dynamiquement. C'est là, l'enjeu principal de cette thèse que de résoudre le problème d'évolution temporel de la diffusion électromagnétique par de la houle fortement non linéaire.

En pratique on cherche à combiner les supports de discrétisation pour la résolution temporelle des problèmes de mécanique des fluides et d'électromagnétisme via des méthodes de singularités. Cette combinaison permettra

de décrire l'évolution temporelle du champ électromagnétique en fonction de la dynamique des vagues. Sur la base des développements numériques réalisés, on se concentrera aussi sur l'optimisation et la validation des algorithmes. Un des objectifs de la thèse est de concevoir des outils robustes et rapides.

1. Khairi R., Coatanhay A., Khenchaf A. & Scolan Y.-M., 2013, Numerical modeling of electromagnetic waves scattering from 2D coastal breaking sea waves. The European Physical Journal Applied Physics, Volume 64, Issue 2, doi : 10.1051/epjap/2013120437.
2. A. Coatanhay and Y.-M. Scolan, 2015, Adaptive multiscale moment method applied to the electromagnetic scattering by coastal breaking sea waves, Mathematical Methods in the Applied Sciences, 2015, 38, pp 2041-2052, (wileyonlinelibrary.com) DOI : 10.1002/mma.3405
3. Scolan Y.-M. & Etienne S., 2023, Pressure analysis in nonlinear waves by revisiting the breaking wave onset. European Journal of Mechanics / B Fluids 101 (2023), 246–256. doi : 10.1016/j.euromechflu.2023.06.002
4. Scolan Y.-M., 2024, On some properties of the pressure in nonlinear two-dimensional potential flow with a free surface, Applied Ocean Research, Volume 150, September 2024, 104123, doi : 10.1016/j.apor.2024.104123

## Objectifs

Le projet se déroule sur trois années, selon la chronologie suivante :

- analyse bibliographique des méthodes désingularisées pour la résolution de problèmes elliptiques,
- résolution bidimensionnelle couplée de la diffusion électromagnétique par une houle fortement non-linéaire,
- optimisation des algorithmes développés et définition des domaines de validité des outils numériques,
- extension des méthodes à des configurations quasi tridimensionnelles via une approche 2D+t.

**Profil recherché :** Etudiant.e (troisième année d'école d'ingénieurs, M2 ou BAC+5) en physiques (modélisation électromagnétique, voire multi-physique) et/ou mathématiques numériques. La thèse est financée par l'Agence de l'Innovation de Défense ; le/la thésard.e doit avoir la citoyenneté européenne.

**Lieu de la thèse :** ENSTA (Brest) et Laboratoires IRDL UMR 6027 et Lab-STICC UMR 6285, 2 rue François Verny, 29806 Brest Cedex 9.

**Début de la thèse :** en 2025.

**Pour postuler :** envoyer CV et deux lettres de recommandation à [arnaud.coatanhay@ensta-bretagne.fr](mailto:arnaud.coatanhay@ensta-bretagne.fr), tel : 33 (0)2 98 34 88 09 et [yves-marie.scolan@ensta-bretagne.fr](mailto:yves-marie.scolan@ensta-bretagne.fr), tel : 33 (0)2 98 34 88 91.