

Titre : Modélisation analytique générique des collisions de navires contre des éoliennes offshore flottantes impliquant des navires déformables

Contexte et Objectif

La production d'énergie éolienne offshore est une solution prometteuse pour assurer la transition vers les énergies renouvelables mais son déploiement à grande échelle pose plusieurs problèmes. Récemment, plusieurs cas de collision entre des navires et des éoliennes offshore ont été signalés (voir par exemple [1-2]) et, à mesure que l'éolien offshore se développe, la probabilité de collisions entre des navires et des éoliennes offshore flottantes va augmenter. Les conséquences de ces collisions peuvent être importantes : perforation des réservoirs du navire entraînant une pollution ou même une explosion dans le cas d'un méthanier ou d'un navire propulsé à l'hydrogène, endommagement des éoliennes impactées pouvant aller jusqu'à l'effondrement de la nacelle et/ou la rupture des lignes d'ancrage entraînant une dérive de la plateforme et une collision avec d'autres éoliennes du parc.



Fig. 1a. Un cargo de 37200 tonnes en avarie de gouvernail a dérivé dans le parc éolien Hollandse Kust Zuid (mer du Nord néerlandaise).



Fig. 1b. Le cargo Petra L. est entré en collision avec une éolienne offshore du parc Gode Wind 1 (Allemagne).

Bien que l'approche par éléments finis (EF) permette une représentation fidèle des phénomènes physiques complexes qui se produisent lors d'une collision entre un navire et une éolienne, y compris les grandes déformations, la plasticité, la rupture et l'interaction fluide-structure, sa mise en œuvre reste difficile en termes de temps de calcul et d'expertise nécessaire à la préparation des modèles.

Les méthodes simplifiées basées sur des formulations analytiques sont donc très utiles pour évaluer les dommages subis par le navire et l'éolienne, en particulier au stade de la conception préliminaire associée à l'évaluation des risques, où l'optimisation structurelle et l'analyse de la stabilité après endommagement demandent de simuler des centaines de scénarios de collision, combinant plusieurs navires impacteurs et vitesses d'impact [3-4].

Le projet de recherche vise à développer un outil rapide et fiable, basé sur l'approche des super-éléments (SE) [3], capable de prédire les résultats d'une collision entre un navire et différents types d'éoliennes offshore flottantes. Il est basé sur les travaux de thèse précédemment entrepris à l'ICAM de Nantes et à l'Université de Liège par S. Echeverry [4], I. Ladeira [5], T. Pire [6] et L. Marquez [7].

Jusqu'à présent, aucun développement tenant compte de la déformation du navire percuté n'a été effectué, ce qui a conduit à des prévisions trop conservatives de l'endommagement subi par l'éolienne flottante. En outre, l'effet de certaines forces hydrodynamiques, comme celles générées par la vague d'étrave du navire avant et pendant l'impact, n'est toujours pas clairement identifié.

Dans la thèse de doctorat proposée, les déformations des deux structures seront prises en compte et intégrées dans un solveur unique, ce qui améliorera considérablement l'évaluation de la résistance aux chocs du navire et de l'éolienne. L'outil industriel qui en résultera permettra d'estimer les dommages subis par le navire et l'éolienne, en tenant compte des différentes géométries de navires, d'éoliennes et différentes vitesses d'impact. De plus, le solveur « fluide » existant MCOL [8], qui permet de tenir compte des forces hydrodynamiques pendant la collision, sera étendu afin d'intégrer l'action de la vague d'étrave du navire impacteur. Les validations des outils développés seront effectuées à l'aide du logiciel de calcul par EF LS-Dyna.

Programme de la thèse

Le travail de thèse comprendra les étapes suivantes :

- **Etape 1** : Analyse bibliographique des travaux analytiques, numériques et expérimentaux concernant les collisions de navires avec des éoliennes offshore.
- **Etape 2** : Mise en place de modèles EF LS-Dyna basés sur un couplage « Lagrange-Euler » pour étudier l'influence de la déformabilité du navire impacteur et des forces hydrodynamiques induites par la vague d'étrave.
- **Etape 3** : Développement d'un nouveau solveur SE pour évaluer rapidement la déformation du navire en cas d'impacts frontaux et latéraux et couplage de ce solveur avec les solveurs SE « éoliennes » existants.
- **Etape 4** : Extension du solveur « fluide » existant MCOL afin d'intégrer l'action des forces hydrodynamiques induites par la vague d'étrave.
- **Etape 5** : Validation du solveur couplé MCOL-SE par comparaison avec les résultats issus des simulations par EF LS-Dyna.
- **Etape 6** : Publication des résultats dans des revues internationales à comité de lecture et rédaction du manuscrit de thèse de doctorat.

Références

- [1] Jasmina Ovcina Mandra. Cargo ship strikes turbine at orsted's gode wind 1 offshore wind farm, suffers massive damage, <https://www.offshore-energy.biz/cargo-ship-strikes-orsteds-gode-wind-1-offshore-wind-farm-suffers-massive-damage/>, 2022
- [2] Margientimmer. Rudderless Julietta D causes damage to foundation of wind farm Hollandse Kust Zuid - Windpark Hollandse Kust South. <https://hollandsekust.vattenfall.nl/en/blog/2022/02/02/rudderless-julietta-d-causes-damage-to-foundation-of-wind-farm-hollandse-kust-zuid/>, 2022
- [3] Hervé Le Sourne, Nicolas Besnard, Cedric Cheylan, and Natacha Buannic. A ship collision analysis program based on upper bound solutions and coupled with a large rotational ship movement analysis tool. *Journal of Applied Mathematics*, 2012.
- [4] Sara Echeverry. Numerical and analytical study of a spar-like floating offshore wind turbine impacted by a ship. PhD thesis, University of Liege, 2021.
- [5] Icaro Ladeira. Development of a fast and reliable solver based on simplified formulae to assess the response of standalone tubular Offshore Wind Turbine support subjected to ship impact. PhD thesis, Ecole Centrale Nantes, ICAM, 2023
- [6] Timothée Pire. Development of a code based on the continuous element method to assess the crashworthiness of an offshore wind turbine jacket. PhD thesis, University of Liege, 2018.

[7] Lucas Marquez. Analytical and numerical modelling of ship collisions against floating offshore wind turbines with concrete floaters. PhD thesis, University of Liege, 2024.

[8] Hervé Le Sourné, Edmond Remy Donner, François Besnier, Michel Ferry. External dynamics of ship-submarine collision. In Proceedings of 2nd International Conference on Collision and Grounding of Ships (ICCGS), Copenhagen, 2001.

Localisation et équipe d'encadrement

Le travail de thèse sera réalisé à l'Icam site de Nantes.

Cette thèse sera co-encadrée par :

- Hervé Le Sourné (herve.lesourne@icam.fr) – Icam / GeM laboratory
- Ye Pyae Sone Oo (ye-paye.sone-oo@icam.fr) – Icam / GeM laboratory

Candidatures

Les candidatures (CV, lettre de motivation et relevé de notes de master / école d'ingénieur) doivent être envoyées à l'équipe d'encadrement.

Démarrage / Salaire

Démarrage dès que possible / salaire annuel : 33 700 €