

Etude de la récupération de l'énergie du vent en haute mer par des éoliennes flottantes non-ancrées

1 DESCRIPTION DU SUJET

La décarbonation de secteurs tels que la mobilité lourde (fret maritime et ferroviaire) et l'aviation nécessite le développement de solutions pour la production de carburants neutres en carbone. Parmi les différentes possibilités, il a été proposé d'utiliser des éoliennes en mer flottantes non-ancrées (UFOWTs pour unmoored floating offshore wind turbines en anglais) alimentant une installation de production de carburant de synthèse : hydrogène, ammoniac, méthanol (power-to-X en anglais). L'avantage d'une telle solution est qu'elle permettrait d'exploiter la ressource éolienne en haute mer (second gisement d'énergie renouvelable sur la planète).

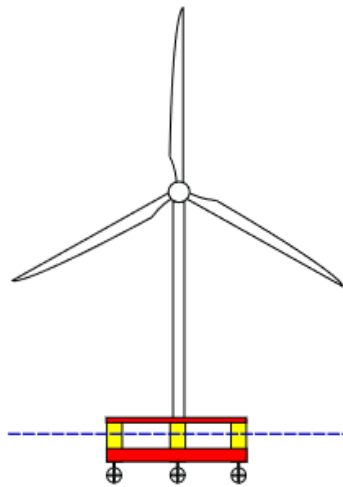


Figure 1. Illustration du principe d'une éolienne flottante non-ancrée. La figure est tirée de [Connolly et al., 2023]

La différence entre une éolienne flottante non-ancrée et une éolienne flottante conventionnelle est que le système d'ancrage est remplacé par des propulseurs. Une partie de l'énergie produite par l'éolienne est consommée par ces propulseurs. Il a été montré [Alwan et al., 2021][Xu et al., 2021] et [Connolly et al., 2023] que cet aspect n'est pas rédhibitoire : dans le pire des cas (conditions nominales $V1=11$ m/s) la puissance consommée par les propulseurs est d'environ 50% de la puissance produite par l'éolienne. Le bilan d'énergie reste donc largement positif. Par ailleurs, ces études ont montré que ce bilan d'énergie s'améliore significativement:

1. Pour des conditions où la vitesse de vent est supérieure à la vitesse de vent nominale.

2. Si on autorise l'éolienne à dériver lentement (la trainée induite permettant de réduire la poussée à fournir par les propulseurs et donc leurs consommations d'énergie)

Une analyse préliminaire du facteur de charge d'une éolienne flottante non-ancrée a été réalisée dans [Alwan et al., 2021]. Le cas considéré est celui d'une éolienne relativement petite (2 MW), stationnaire (positionnement dynamique), et installée sur un flotteur de type barge. L'étude a montré que son facteur de charge serait de l'ordre d' $1/3$ de celui de la même éolienne flottante ancrée au fond. Ce résultat rend a priori difficile tout modèle économique basé sur ce concept d'éolienne flottant non-ancrée. Cependant, d'après [Xu et al., 2021] comme [Connolly et al., 2023], un design de flotteur de type semi-submersible pourrait permettre d'améliorer significativement ce facteur de charge (via la réduction de l'effort de dérive), tout comme autoriser l'éolienne à dériver, ainsi que réduire sa vitesse nominale.

L'objectif de cette thèse est de poursuivre l'étude de la récupération de l'énergie du vent en haute mer par des éoliennes flottantes non-ancrées. Le programme de travail envisagé est le suivant :

1. Développement structuré d'un design d'UFOWT
 - a. Revue bibliographique
 - b. Développement d'une méthode d'évaluation des concepts d'UFOWT par analyse fonctionnelle et ingénierie des systèmes. Cette sous-tâche inclut la sélection d'un ou plusieurs sites ou typologies de sites pour le déploiement.
 - c. Analyse des concepts existants (et de nouveaux concepts)
 - d. Sélection d'un concept
2. Evaluation et optimisation de la performance énergétique du concept retenu
 - a. Développement d'un modèle OpenFAST du concept retenu. Sur ce sujet, on envisage une collaboration avec l'Université de Victoria, Canada où un travail de thèse (P. Connolly) a démarré sur la modélisation d'UFOWTs dans OpenFast. En fonction des avancées du doctorant de l'Université de Victoria, le présent projet de thèse pourra inclure l'ajout des efforts hydrodynamiques de second ordre dans OpenFast et la modélisation de propulseurs.
 - b. Optimisation du rotor de l'éolienne. Ici, il s'agit a minima d'évaluer l'effet du choix de la vitesse de vent nominal sur la production d'énergie. On pourra également réaliser des optimisations paramétriques pour la taille des pales et étudier l'influence du contrôle (notamment le peak shaving algorithm du contrôleur ROSCO d'OpenFAST [Abbas et al., 2021])
 - c. Optimisation des propulseurs (effet du nombre et de la taille des propulseurs)
3. (Réalisation d'une « preuve de concept »)

Sous réserve de réunir le financement nécessaire, des essais de « preuve de concept » pourront être réalisés pendant la thèse dans les bassins d'essai du LHEEA. Ils mettront en œuvre une approche « Software-In-the-Loop » (l'effet de l'éolienne sera simulé avec le dispositif SOFTWIND développé au LHEEA).

2 ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE

- R. Alwan, A. Babarit, J-C. Gilloteaux: *Investigation of a dynamically positioned floating offshore wind turbine concept*. Journal of Physics Conference Series 2018(1) :012001, 2021, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2018/1/012001>
- S. Xu, M. Murai, X. Wang, K. Takahashi: *A novel conceptual design of a dynamically positioned floating wind turbine*. Ocean Engineering 221, 108528, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108528>
- P. Connolly, C. Crawford: *Comparison of optimal power production and operation of unmoored floating offshore wind turbines and energy ships*. Wind Energy Science 2023, <https://doi.org/10.5194/wes-2022-100>
- N.J. Abbas, D.S. Zalkind, L. Pao, A. Wright: *A Reference Open-Source Controller for Fixed and Floating Offshore Wind Turbines*. Wind Energy Science 2021
- J.H. Raisanen, S. Sundman, T. Raisanen: *Unmoored : a free-floating wind turbine invention and autonomous open-ocean wind farm concept*. Journal of Physics Conference Series 2022:012032, 2022, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2362/1/012032>
- C. Rickert, A.M.T. Parambil, M. Leimister: *Conceptual Study and Development of an Autonomously Operating, Sailing Renewable Energy Conversion System*. Energies 15(12), 2022 <https://doi.org/10.3390/en15124434>
- A.M. Annan, M.A. Lackner, J.F. Manwell: *Wind Trawler: operation of a wind energy system in the far offshore environment*. Journal of Physics: Conference Series 2020:012031, 2020
- K. Takagi, T. Hiramatsu, Y. Korogi, M. Ishiguro: *Experimental Study on the Sailing Performance of a VLMOS for Wind Power Plant*. In Proc. Of the IEEE Oceans 2009 Conference.

3 CONTACT :

Aurélien Babarit
Laboratoire LHEEA, Ecole Centrale de Nantes
Aurelien.babarit@ec-nantes.fr