

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DAAA-2025-09**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Meudon

Département/Dir./Serv. : DAAA/AMES

Tél. : 01 46 23 51 65

Responsable(s) du stage : Paul Beaumard

Email. : paul.beaumard@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Dynamique des écoulements libres

Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4 Autres

Intitulé : Etude expérimentale de l'impact de la turbulence sur les nouveaux concepts de propulsion vélique utilisés sur les navires.



Photo illustrative du navire Canopée équipé des voiles conçus par Ayro

Le transport maritime représente 3% des émissions mondiales de gaz à effet de serre, comparable au secteur de l'aviation (CAMMAS, MEHNERT, et PICHON 2020). Ces émissions pourraient même représenter jusqu'à 17% des émissions mondiales en 2050 en raison de la forte augmentation du trafic maritime. La propulsion vélique consiste à utiliser l'énergie du vent pour réduire la consommation des navires. C'est une solution prometteuse pour répondre aux objectifs de réduction des gaz à effet de serre fixés par l'Organisation Maritime internationale (50% de réduction d'ici 2050). La propulsion vélique a le potentiel de réduire la consommation de carburant de 5% à 20% sur des navires existants et jusqu'à 80% sur des navires spécialement conçus pour cela.

Différents prototypes sont développés (ex : TOWTS, AYRO, Chantiers de l'Atlantique). Ces voiles devront être capables de résister aux turbulences et rafales de vent présentes en mer et d'être performantes dans ces conditions de vent. La réalisation de ces deux objectifs nécessite d'être capable de bien prendre en compte la turbulence dans la conception de ces systèmes.

La turbulence change les propriétés de l'écoulement qui devient fortement instationnaire. Les systèmes de propulsion vélique pour navires sont modélisés classiquement dans des conditions stationnaires alors que les modèles de vent instationnaires ont un impact significatif sur les résultats : jusqu'à 10% de réduction de la vitesse du navire (Kjellberg, Gerhardt, et Werner 2023). Les effets instationnaires de

l'écoulement turbulent vont modifier localement, et à différentes échelles d'espace et de temps, la force et la direction apparente du vent sur la voile/aile et donc impacter les performances du profil et la fatigue mécanique des structures.

Dans le cadre de ce stage, on souhaite réaliser des essais en soufflerie qui reproduisent les effets de la turbulence en mer sur un concept de propulsion vélique. L'objectif est de comprendre la répartition et la variation des charges aérodynamiques sur une voile/ aile, à l'aide de capteurs de pression instationnaires placées sur l'aile, en fonction du type de turbulence générée en amont dans la soufflerie par des grilles.

Ce stage sera réalisé en collaboration avec Laurent Perret du laboratoire LHEEA de l'école Centrale de Nantes qui a déjà initié des recherches expérimentales autour du lien entre la turbulence et la propulsion vélique. Des premiers essais sont en cours à L'ONERA pour dé-risquer les aspects de fabrication de grilles en impression 3D et mesure des petites échelles de la turbulence par fil chaud.

Dans le cadre de ce stage, il s'agira de :

- Réaliser une revue de littérature concernant les diverses architectures de propulsion vélique qui émergent dans ce secteur.
- Concevoir et fabriquer des grilles en impression 3D qui reproduisent les principales caractéristiques de la turbulence en mer en collaboration avec des spécialistes de ce domaine.
- Concevoir et fabriquer en impression 3D un concept de propulsion vélique qui sera sélectionné selon l'étude bibliographique.
- Mener des essais en soufflerie de la maquette avec deux taux de turbulence différents, trois nombres de Reynolds différents. Mesure de la turbulence par fil chaud et estimation des fluctuations d'efforts avec des capteurs de pression instationnaires.
- Analyser et interpréter d'un point de vue physique et applicatif les résultats.
- Spécifier une future campagne expérimentale à plus haut Reynolds pour approfondir cette étude.
- Pour approfondir selon le temps disponible, étudier de la sensibilité à l'incidence de l'aile.

Cammas, Franck, Denis Mehnert, et Antoine Pichon. 2020. « DÉVELOPPEMENT D'UNE FILIÈRE de TRANSPORT MARITIME à VOILE ». CGEDD n° 013343-01, IGAM n° 2020-066.

Kjellberg, Martin, Frederik Gerhardt, et Sofia Werner. 2023. « Sailing Performance of Wind-Powered Cargo Vessel in Unsteady Conditions ». *Journal of Sailing Technology* 8 (01): 218-54.

Cédric Raibaud, Jean-Christophe Gilloteaux et Laurent Perret, 2023 "Realistic turbulent inflow conditions for estimating the performance of a floating wind turbine", *Wind Energy Science* 8 (11) 1711-1725

La direction du stage évoluera en fonction des résultats et des initiatives du candidat. Une possibilité de poursuite en thèse est envisagée.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

Méthodes à mettre en œuvre :

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche théorique | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input checked="" type="checkbox"/> Travail de documentation |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage : Minimum : 5 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : à partir de février 2025

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :

Maitrise d'un code de programmation (Matlab, Python, Fortran, ...). Sensibilité à la recherche et aux expériences.

Ecoles ou établissements souhaités :

Ecole d'ingénieur ou Master 2.