

Utilisation des rotors Flettner et des voiles solides en tant que propulsion alternative : principes et expérimentations.

Vivant à Saint-Nazaire, ville ancrée dans l'industrie maritime, je souhaitais explorer des systèmes techniques innovants comme les rotors Flettner et les voiles rigides. Cette étude allie des phénomènes physiques complexes à des applications pratiques d'ingénierie!

L'étude des rotors Flettner et des voiles solides ou classiques s'inscrit dans la recherche d'alternatives aux énergies fossiles pour le transport maritime, contribuant ainsi à la transition énergétique et au développement durable.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- KARMAOUI Wissem
- LABADENS Gauthier

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *PHYSIQUE (Mécanique)*

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français) Mots-clés (en anglais)

<i>Rotor Flettner</i>	<i>Flettner Rotor</i>
<i>Voile Solide</i>	<i>Solid Sail</i>
<i>Voile Classique</i>	<i>Classic Sail</i>
<i>Effet Magnus</i>	<i>Magnus Effect</i>
<i>Énergie Renouvelable</i>	<i>Renewable Energy</i>

Bibliographie commentée

Le transport maritime représente aujourd'hui une part importante des émissions de gaz à effet de serre, en raison de sa forte dépendance aux énergies fossiles. D'après le rapport 2022 du GIEC sur la décennie écoulée, le transport maritime était annuellement responsable de 600 à 1 100 MtCO₂, soit 3 % des émissions mondiales de GES.

Pour répondre aux défis environnementaux actuels, plusieurs solutions alternatives sont en cours d'étude afin de réduire la consommation de carburant. Parmi ces solutions, l'exploitation

de la force du vent à travers différentes technologies permettrait une réduction de la consommation d'énergie fossile. Deux technologies principales émergent dans ce domaine : les rotors Flettner et les voiles aérodynamiques (classiques ou solides).

Les rotors Flettner : une propulsion basée sur l'effet Magnus.

Le rotor Flettner est un dispositif qui utilise un cylindre vertical en rotation pour générer une force perpendiculaire à l'écoulement de l'air grâce à l'effet Magnus. Ce phénomène physique repose sur une différence de pression créée autour du cylindre en raison de sa rotation, ce qui modifie les lignes de courant et produit une poussée exploitable pour la propulsion d'un navire. La modification de la vitesse de rotation du rotor permet d'ajuster sa portance [1]. En outre, la partie supérieure du rotor comprend souvent un disque dont le diamètre est plus grand que celui du rotor, ce qui optimise les performances aérodynamiques de celui-ci [8]. On trouve aussi des exemples de rotors comportant plusieurs disques disposés le long de la hauteur du cylindre, mais la configuration avec un unique cylindre est privilégiée. Le concept a été testé avec succès pour la première fois par Anton Flettner en 1925 à bord du navire BUCKAU. Les bénéfices des rotors Flettner sont multiples : ils fournissent une bonne poussée, opèrent même sous des vents assez faibles, et demandent moins de surface déployée que les voiles classiques. En règle générale, ils mesurent environ trente mètres mais il est important de noter que la majorité des systèmes ne sont qu'une aide à la propulsion, devant être combinés avec une propulsion traditionnelle [2]. L'efficacité de ces rotors Flettner est liée à la vitesse de rotation du cylindre et aux conditions de vent, nécessitant une gestion énergétique optimisée pour accroître les économies de carburant [3], [4].

Les voiles classiques et solides : une approche aérodynamique.

Les voiles constituent une autre solution éprouvée pour exploiter la force du vent dans la propulsion maritime. Leur principe repose sur la portance aérodynamique, qui dépend de l'angle d'incidence du vent sur la voile. Une voile bien positionnée maximise cette portance et permet au navire d'avancer efficacement.

On distingue principalement deux types de voiles :

Les voiles classiques, fabriquées en tissu souple, qui s'adaptent naturellement aux variations du vent. Elles offrent une flexibilité intéressante mais sont limitées en termes de performances, notamment lorsque le vent est faible ou instable.

Les voiles solides, qui constituent une alternative rigide inspirée des profils aérodynamiques utilisés en aéronautique, sont composées d'un gréement sur lequel sont fixés des panneaux rigides. Elles peuvent être composées de plusieurs éléments articulés permettant de régler la courbure générale du profil [5]. Comme pour les voiles souples, il est nécessaire de pouvoir réduire la surface portante lorsque la voile n'est pas en fonctionnement. Plusieurs méthodes existent pour cela. Certains systèmes ont des éléments pliables alors que d'autres sont intégralement rétractables [6]. Leur courbure optimisée permet une meilleure gestion des écoulements d'air et une efficacité accrue, notamment dans des vents changeants. Elles

nécessitent cependant une structure plus complexe et un contrôle précis pour être exploitées au maximum de leur potentiel [7].

Pour conclure, les rotors Flettner et les voiles aérodynamiques représentent des solutions prometteuses pour la transition énergétique du secteur maritime. Leur intégration croissante dans la conception des navires ouvre la voie à un transport plus durable, réduisant la dépendance aux carburants fossiles et limitant l'impact environnemental du commerce maritime mondial.

Problématique retenue

Dans quelle mesure les technologies alternatives basées sur les énergies renouvelables permettent-elles au transport maritime de répondre aux défis énergétiques et environnementaux actuels ?

Objectifs du TIPE du candidat

Étudier des phénomènes physiques liés à la propulsion des voiles et rotors Flettner.

Étudier le fonctionnement des rotors Flettner et des voiles solides.

Tracer l'évolution de la portance en fonction de l'angle d'incidence du vent pour différentes configurations.

Mettre en équation les forces de poussées s'exerçant sur un Rotor Flettner.

Comparer l'efficacité du rotor Flettner avec celle des voiles solides.

Comparer l'efficacité du rotor Flettner avec celle des voiles classiques

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] BRUNEL AUDE, RIVAL ANTONIN : Le rotor de Flettner : *ECAM*, 2015
- [2] PEZZOTTI, NADAL : Experimental Study of the Magnus Effect in Cylindrical Bodies with 4, 6, 8, and 10 Sides : *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, B/Fluids*, 2020
- [3] GAËL CLODIC : Analyse, modélisation et optimisation d'un voilier hydro-éolien de production d'hydrogène : https://theses.hal.science/tel-03530282v1/file/G_CLODIC.pdf
- [4] GOVARDHAN, SRINIVASA RAO : Conceptual Wing Design Blended with Magnus Effect : *Journal of Aerospace Technology and Management*, July 2023
- [5] GHELARDI , FREDA : A Fluid-Structure Interaction Case Study on a Square Sail in a Wind Tunnel : *Journal of Aerospace Technology and Management*, September 2018

- [6] THÉO DESGRANGES : SolidSail : *Conférence au lycée Aristide Briand*
- [7] KRAMER ,STEEN : Sail-Induced Resistance on a Wind-Powered Cargo Ship : *Ocean Engineering, October 2022*
- [8] KWON, MO YEON : A Parametric Study for a Flettner Rotor in Standalone Condition Using CFD : *Ocean Engineering, 2022*

DOT

- [1] : *Juillet 2024 - Visite de Farwind Energy à Nantes*
- [2] : *Septembre et octobre 2024 - Création de notre première maquette de rotor Flettner et expérimentations*
- [3] : *Novembre et décembre 2024 - Création de la maquette de voile solide et expérimentations*
- [4] : *Février 2025 - Création de la seconde maquette de rotor Flettner*
- [5] : *Mars 2025 - Expérimentations avec la seconde maquette de rotor Flettner*
- [6] : *Mai 2025 - Modélisation sur SolidWorks d'un rotor Flettner et étude paramétrique associé*