COLLEGE SCIENCES
DOCTORAL DE L'INGENIERIE
PAYS DE LA LOIRE ET DES SYSTEMES

CENTRALE NANTES

Titre : **Contribution à l'Étude de l'Effet de la Force Latérale Aérodynamique sur le Comportement Stationnaire d'un Navire à Propulsion Vélique**

Mots clés : navires véliques ; résistance vélique induite ; évaluation de performance ; manœuvrabilité ; KVLCC2 ; KCS ; appendices anti-dérive

Résumé : L'installation d'un système de propulsion vélique (SPV) sur un navire marchand pose plusieurs défis. Premièrement, la force latérale générée par le SPV augmente l'angle de dérive, l'angle de barre et l'angle de gîte, ce qui engendre une résistance supplémentaire — appelée « résistance vélique induite » — qui réduit la poussée nette du SPV. Deuxièmement, l'augmentation de l'angle de barre réduit la manœuvrabilité du navire. Troisièmement, l'augmentation de l'angle de gîte affecte également la stabilité transversale du navire. Cette thèse étudie l'effet de la force latérale du SPV sur l'équilibre stationnaire des navires à propulsion vélique, en se concentrant sur les trois critères susmentionnés : la résistance vélique induite, l'angle de barre et l'angle de gîte. L'approche repose sur la modélisation numérique des navires. Les forces de manœuvrabilité sont modélisées à l'aide du modèle MMG à 4 degrés de liberté, tandis qu'une méthode indépendante de toute technologie vélique est utilisée pour représenter la force latérale du SPV. D'abord, des valeurs représentatives de force latérale aérodynamique sont calculées à partir de données statistiques de vent et en considérant un rotor Flettner comme technologie vélique. Deux navires représentatifs des navires actuellement en service sont ensuite étudiés : le supertanker KVLCC2 et le porte-conteneurs KCS. Par la suite, une version réduite du KCS est étudiée, en tant que modèle plus représentatif des cargos « pure voiliers », i.e. les navires propulsés principalement par le vent. Afin de réduire la résistance induite par la voile et l'angle de barre, l'utilisation d'appendices hydrodynamiques est alors étudiée. Enfin, une étude de sensibilité du modèle de manoeuvrabilité est menée.

Title : **Contribution to the Study of the Effect of the Aerodynamic Side Force on the Steady-State Equilibrium of Wind-Powered Ships**

Keywords: wind powered ship ; sail-induced resistance; power prediction program; manoeuvrability; KVLCC2 ; KCS ; hydrodynamic appendages

Abstract: Installing a wind propulsion system (WPS) on a merchant vessel presents several challenges. First, the side force generated by the WPS is known to rudder angle and heel angle, which generates an additional resistance --- called the sail-induced resistance --- that reduces the net WPS thrust force. Second, the increase in rudder angle reduces the ship's manoeuvrability. Third, the increase in heel angle also affects the transverse stability of the ship. This thesis investigates the effect of the WPS side force on the steady-state equilibrium of wind-powered ships, focusing on those three aforementioned criteria: sail-induced resistance, rudder angle and heel angle. The approach is based on numerical modelling. Hydrodynamic forces are modelled using the 4-degree-of-freedom MMG manoeuvring model, whilst a technology-agnostic method is used to represent the WPS side force. To calibrate the aerodynamic technology-agnostic method, representative side-force values are computed based on statistical wind data and considering a rotor sail technology. Then, two ships representative of current operational ships are considered: the KVLCC2 supertanker and the KCS containership. Next, a scaled-down version of the KCS is studied, as a more representative model of current modern primary wind-powered ships. In order to reduce sail-induced resistance and rudder angle, the use of hydrodynamic appendages is studied. Last but not least, the sensitivity of the manoeuvring model is investigated.