

## *Proposition de sujet de thèse*

# **Commande et optimisation du pas d'un propulseur cycloïdal**

### **1. Objet de la thèse**

*L'objet de la thèse est d'optimiser les performances d'un propulseur naval cycloïdal, pour différentes vitesses d'avance, en maximisant l'effort propulsif et le rendement par une approche multi-modèles numérique-expérience. Des méthodes d'optimisation originales seront mises en œuvre et appliquées aux modèles numériques et expérimentaux afin de déterminer les lois de calage optimales.*

### **2. Descriptif de la thèse**

Le fonctionnement d'un propulseur marin à axe transverse est très différent de celui des hélices ou des turbines axiales classiques. Il est en effet caractérisé par la rotation de plusieurs pales autour d'un axe vertical, associée à un mouvement de chaque pale autour de son axe propre. L'avantage de ces systèmes est de générer une force de poussée vectorielle à 360°. La cinématique élaborée des pales produit une poussée horizontale dont le rendement hydrodynamique dépend fortement de la loi de commande des pales.

L'IRENav (Institut de Recherche de l'Ecole Navale) s'intéresse depuis de nombreuses années à ces propulseurs à axes transverses et a conçu une plateforme expérimentale SHIVA (Système Hydrodynamique Intelligent à Variation d'Angle), largement instrumentée, de grande dimension (0.8-1.6 m de diamètre), qui permet de générer toutes les formes de cinématiques par le biais de moteurs électriques auxiliaires indépendants qui assurent le calage instantané de chacune des pales autour de leur axe de rotation situé au quart de corde, synchronisés sur le moteur électrique principal.

Les études préliminaires menées ces dernières années sur l'optimisation de la loi de calage entre l'ENSTA Bretagne et l'Ecole Navale, ont montrées des possibilités d'amélioration importantes et inédites sur le plan du rendement hydrodynamique. Ce genre de rotor présente une cinématique de pales très originale mais complexe en termes d'optimisation. En effet, la loi de calage dépend à la fois

du paramètre d'avance  $\lambda = \frac{V}{\omega R}$ , rapport de la vitesse d'avance sur la vitesse périphérique),

des paramètres géométriques (profil et allongement des pales, solidité, i.e. rapport entre la surface des pales et celle balayée par les pales) et de la stratégie souhaitée : maximisation de l'effort propulsif et/ou du rendement. Une approche multi-modèles a donc été mise en œuvre afin d'étudier différents modèles hydrodynamiques du propulseur : modèles CFD (2D ou 3D, suite FINE/Marine) et mesures expérimentales avec la plateforme SHIVA. A partir de ces différents modèles, de premières confrontations et validations ont été effectuées dans le cas d'une optimisation par méta-modélisation simple-objectif (maximisation de l'effort propulsif) et multi-objectifs (détermination du front de Pareto par maximisation de l'effort propulsif et du rendement), pour un fonctionnement du propulseur en mode trochoïdal, plus facile, d'une part à modéliser en CFD, et d'autre part à reproduire expérimentalement en termes de loi de calage.

Les enjeux scientifiques et techniques de ce projet de thèse sont de mettre en œuvre des méthodes d'optimisation avancées par une approche multi-modèles (numériques et expérimentaux), et de les appliquer dans le cadre d'une application réelle d'un propulseur cycloïdal en mode propulsion navale pour les deux modes de fonctionnement : épicycloïdal et trochoïdal.

Les points durs concernent en premier lieu la complexité de la physique de l'écoulement, tridimensionnel, instationnaire et fortement perturbé, rencontré par les pales du propulseur. Cette physique peut être modélisée par des simulations CFD, mais le coût calcul peut très rapidement augmenter avec la précision des résultats recherchés, en particulier pour le mode épicycloïdal, pouvant atteindre plusieurs heures. Il est donc indispensable d'avoir recours à une approche multi-modèles, incluant le modèle 2D, le modèle 3D et des mesures expérimentales avec la plateforme SHIVA, afin

d'assurer la pertinence des résultats obtenus. En second lieu, la modélisation du problème d'optimisation et sa résolution constituent également des points durs. En effet, il s'agit d'un problème bi-objectif (maximisation de l'effort propulsif et du rendement) avec un modèle multi-échelle, tout en combinant des contraintes imposées par les moteurs électriques du propulseur, pour que les lois de calage soient réalisables. De plus, il faudra proposer des solutions robustes pour inclure toutes les incertitudes de modèles et de mesures.

L'objectif de ce projet de thèse est donc, d'une part de pouvoir établir des lois de calage optimales, pour les modes épicycloïdaux et trochoïdaux, maximisant l'effort propulsif et le rendement par une approche multi-modèles numérique-expérience, et d'autre part de s'intéresser au développement de méthodes d'optimisation innovante permettant de modéliser et de résoudre ce problème en proposant plusieurs solutions réalisables, performantes et robustes.

En fonction de l'avancement des travaux de thèse, il est également envisagé d'étudier l'utilisation de l'apprentissage automatique de la loi de calage, à partir du retour des efforts sur les pales et/ou d'une consigne en vitesse, ou encore afin de maintenir des performances optimales du propulseur dans des cas d'utilisation dégradés (pale bloquée, pale « folle » sur son axe, etc.).

### 3. Laboratoire de rattachement et localisation

Ce projet de thèse s'inscrit dans un contexte de partenariat académique qui implique des compétences multidisciplinaires apportées par l'ENSTA Bretagne, l'Ecole Navale et l'IFREMER.

La thèse se déroulera sur le site de l'ENSTA Bretagne à Brest, au sein de deux laboratoires : le Lab-STICC (UMR CNRS 6285), dans l'équipe MATRIX (Modèles et Algorithmes pour le TRAitement et l'eXtraction de l'information) du pôle DMID (Données, Modèles, Informations & Décisions), et l'IRDL (UMR CNRS 6027), au sein du Pôle Thématique de Recherche (PTR) 3 « Fluides, Structures et leurs Interactions ».

### 4. Financement

La thèse s'inscrit dans le cadre d'un projet « Ecole AID (DGA) » porté par l'ENSTA Bretagne et l'Ecole Navale. La date envisagée pour le début du contrat doctoral est le 1er octobre 2023. Le salaire mensuel brut est de l'ordre de 2100 euros.

### 5. Profil recherché

Titulaire du grade de master (université ou école d'ingénieur), le(la) candidat(e) devra avoir une formation solide en mécanique et/ou en mathématiques appliquées. Des compétences dans au moins un des domaines suivants sont souhaitables : mécanique des fluides, CFD, méthodes d'optimisation, control optimal. Pour des raisons d'accès aux sites, l'étudiant devra être de nationalité d'un pays de l'espace Schengen.

### 6. Renseignements et candidature

Le dossier de candidature devra inclure un CV, une lettre de motivation, ainsi qu'un relevé des notes obtenues au cours de la scolarité (années M1 et M2).

Ces pièces doivent être envoyées par mail au plus tard le **31er juillet 2023**, à l'équipe d'enseignants-chercheurs proposée pour l'encadrement :

- Benoît CLEMENT - [benoit.clement@ensta-bretagne.fr](mailto:benoit.clement@ensta-bretagne.fr)
- Jordan NININ - [jordan.ninin@ensta-bretagne.fr](mailto:jordan.ninin@ensta-bretagne.fr)
- Matthieu SACHER - [matthieu.sacher@ensta-bretagne.fr](mailto:matthieu.sacher@ensta-bretagne.fr)