



## L'ÉCOLE NAVALE RECRUTE

### UN DOCTORANT

<b>Etablissement :</b>	<b>ÉCOLE NAVALE, EPSCP-GE</b>
<b>Ministère de tutelle :</b>	<b>Ministère de la défense</b>
Localisation :	BRETAGNE, Finistère, commune de Lanvéoc et de Brest
Laboratoires d'accueil :	Institut de recherche de l'École navale (IRENav), ENSTA-Bretagne IRDL
Durée du contrat :	CDD 3 ans/ projet financé par l'Agence Innovation Défense (AID)
Etat du poste :	Vacant à compter du 1 <sup>er</sup> septembre 2023
<b>Mots clés :</b>	<b>Propulsion navale, propulseur à entraînement circconférentiel, modélisation multidisciplinaire, optimisation.</b>

**SUJET DE THESE :** Modélisation multi disciplinaire en vue de la conception optimale de propulseurs de type RIM-Driven .

**Laboratoire :** IRENAV (équipe M2EN), IRDL

**Encadrement :** MCF HDR J-F Charpentier, MCF F. Deniset, MCF P-M Guilcher contacts : [jean-frederic.charpentier@ecole-navale.fr](mailto:jean-frederic.charpentier@ecole-navale.fr), [francois.deniset@ecole-navale.fr](mailto:francois.deniset@ecole-navale.fr), [pierre-michel.guilcher@ensta-bretagne.fr](mailto:pierre-michel.guilcher@ensta-bretagne.fr)

#### Contexte

Les systèmes de propulsion navale à entraînement circconférentiel ou « Rim-Driven » sont une solution de plus en plus envisagée pour la propulsion navale dans les domaines civils et militaires. Dans ces systèmes, le moteur électrique de propulsion est intégré dans une tuyère entourant l'hélice. Les pales de l'hélice sont liées par leur périphérie aux parties actives du rotor du moteur comme présenté à la figure 1. Depuis plus d'une dizaine d'années ces systèmes sont étudiés pour la propulsion des navires civils et militaires.

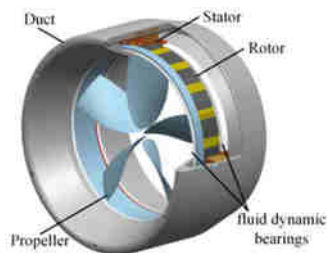


Figure 1 : Schéma de principe d'un propulseur Rim-Driven ([Cheng2019])

Ce mode d'intégration permet une amélioration significative du comportement du propulseur notamment sur les aspects compacité, discrétion, performances et fiabilité. Un autre intérêt est de pouvoir développer des systèmes sans arbres (ou « hubless »), ce qui permet entre autres d'envisager plus facilement des solutions originales comme par exemple l'intégration au sein du système d'hélices contrarotatives.

Ces systèmes peuvent présenter un grand intérêt pour la propulsion des navires civils ou militaires (sous-marins, navires de surfaces, véhicules autonomes). On peut notamment en espérer des gains significatifs en termes de compacité et discrétion. On peut penser par exemple à l'intégration de ces systèmes dans des pompes hélices pour sous-marins ou dans des AUV. C'est dans ce cadre que l'Agence Innovation Défense finance un projet qui implique les laboratoires IRDL et IRENAV, et qui a pour but de proposer des méthodologies de modélisation et de conception de ce type de système.

### **Verrous scientifiques à aborder**

La modélisation et la conception de ce type de systèmes dans lesquels le comportement de ou des hélices de propulsion est intimement couplé à celui de la ou des machines électriques qui l'entraîne et à celui de la tuyère pose des défis scientifiques importants. Tout d'abord, le dimensionnement et le comportement de la tuyère sont conditionnés à la fois par des aspects hydrodynamiques (géométrie) et des aspects liés à l'électrotechnique (conditionnement et positionnement des parties actives du stator du moteur). D'autre part, un certain nombre de grandeurs liées aux points de fonctionnement et à la géométrie (vitesse, Diamètre, Couple) sont communs au moteur et à l'hélice. En effet si dans une association classique, la géométrie de l'hélice (en particulier le diamètre) est relativement indépendante des dimensions du moteur, ce n'est pas le cas dans une structure « RIM-Driven ». Des compromis doivent donc être faits entre le fonctionnement de l'hélice et du moteur. Ceci est particulièrement vrai dans le cas d'une utilisation sur un ensemble de points de fonctionnement. Il y a également un fort couplage au niveau de l'interaction stator-rotor. En effet, l'anneau interne à la tuyère qui supporte les parties actives électromagnétiques du rotor (aimants et culasse) est directement fixé à l'extérieur des pales de l'hélice. Son épaisseur est donc conditionnée par le dimensionnement de la machine. Dans le cas d'un entrefer immergé (ce qui correspond à la solution la plus simple), l'entrefer peut par exemple contribuer significativement au refroidissement de la machine. L'écoulement dans cet entrefer immergé génère également des pertes visqueuses supplémentaires et doit être le plus petit possible au niveau électromagnétique.

L'interaction interdisciplinaire et le très fort couplage entre les différents éléments du système (machine électrique, hélice, palier, tuyère) nécessite de coupler des modèles électromagnétiques et thermiques de la machine avec des modèles hydrodynamiques et mécaniques de l'hélice sous tuyère, au contraire du faible couplage rencontré classiquement lors du dimensionnement d'une hélice pour une ligne propulsive classique. L'élaboration et l'utilisation de modèles pluridisciplinaires couplés et pertinents pour la conception de ces systèmes est un des verrous majeurs qui freinent le développement de ces systèmes.

Le sujet de thèse sera donc consacré à l'élaboration de modèles dédiés à la conception des systèmes et à leur association dans une procédure de conception optimale couplée (optimisation) sur un point ou un cycle de fonctionnement. Ces modèles devront être suffisamment légers pour être inclus dans des procédures d'optimisation (ils serviront au calcul des fonctions objectifs et contraintes liées au cahier des charges). Ils devront être, cependant, suffisamment précis pour représenter fidèlement les phénomènes en interactions. Le travail pourra ainsi nécessiter la mise en œuvre de techniques de réduction de modèles plus lourds (comme les modèles numériques par exemple). Ce travail sera fait en relation avec celui d'un chercheur post-doctoral qui sera en charge de la modélisation numérique du propulseur. Une phase expérimentale de validation des modèles sera également prévue notamment avec des essais de caractérisation d'un dispositif existant.

### **Plan de travail (de principe)**

Le travail de thèse peut s'articuler autour de grandes tâches décrites ci-après.

-Tâche 1 – Identification des différents modèles envisageables pour prendre en compte les principaux phénomènes couplés. Cette tâche comprendra la caractérisation de ces modèles en termes de précision et complexité.

-Tâche 2 : Application de techniques de réduction des modèles afin d'identifier des modèles compatibles avec la conception optimale. Pour cela, des techniques de type « métamodèles » ou « space mapping » pourront par exemple être employées

-Tâche 3 : Participation aux essais et à l'analyse des essais de caractérisation/validation du dispositif existant. Ces essais comprendront des tests en bassin et les tests de caractérisation géométrique du dispositif.

-Tâche 4 : Détermination et application d'une méthodologie d'optimisation dans un processus de conception optimale. Les modèles identifiés précédemment seront mis en œuvre dans une boucle d'optimisation pour l'évaluation des fonctions objectifs et contraintes liée à un cahier des charges. On déterminera la méthode d'optimisation la plus pertinente en fonction de la nature du problème. Le processus sera appliqué à des cahiers des charges réalistes (navires, AUV par exemple) et les résultats seront analysés et discutés.

## Références

- [Amri2023] Lahcen Amri, Mohamed Kebdani, Smail Zouggar, Jean-Frederic Charpentier, Design and optimization of a rim driven motor for pump application, *Materials Today: Proceedings*, Volume 72, Part 7, 2023,
- [Bolam2020] R. C. Bolam, Y. Vagapov, J. Laughton and A. Anuchin, "Optimum Performance Determination of Single-Stage and Dual-Stage (Contra-Rotating) Rim Driven Fans for Electric Aircraft," 2020 XI International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICEPDS47235.2020.9249263
- [Cheng2019] B. Cheng, G. Pan, and Y. Cao, "Analytical design of the integrated motor used in a hubless rim-driven propulsor," *IET Electr. Power Appl.*, vol. 13, no. 9, pp. 1255–1262, 2019, doi: 10.1049/iet-epa.2018.5303
- [Djebbari 2015] S. Djebbari, Contribution à la modélisation et à la conception optimale de génératrices à aimants permanents pour hydroliennes, thèse de Doctorat, UBO-IRENav 2010
- [Drouen2008] Laurent DROUEN, Jean-Frederic CHARPENTIER, Frédéric HAUVILLE, Eric SEMAIL, Stéphane CLENET - A coupled electromagnetic / hydrodynamic model for the design of an integrated rim-driven naval propulsion system - In: *ElectrIMACS*, Canada, 2008-06 – 2008
- [Drouen2010] L. Drouen ; Machines électriques intégrées à des hélices marines : contribution à une modélisation et conception multi-physique, thèse de Doctorat, ENSAM-IRENav 2010
- [Drouen2015] Drouen, Laurent & Charpentier, Jean-Frederic & Hauville, Frédéric & ASTOLFI, Jacques & Semail, Eric & Clénet, Stéphane. (2015). Modélisation couplée multi physique d'une hydrolienne RIM-DRIVEN. *La Houille Blanche*. 101. 14-21. 10.1051/lhb/2015002.
- [Dubas2015] Aleksander J. Dubas, N.W. Bressloff, S.M. Sharkh, Numerical modelling of rotor–stator interaction in rim driven thrusters, *Ocean Engineering*, Volume 106, 2015, Pages 281-288
- [Fang2022] Xiaoyi Fang, «Design of Magnetic Levitation Shaftless Contra- Rotating Propeller and Feasibility Analysis of Drive System» 2022 , *J. Phys.: Conf. Ser.* 2268 012010
- [Fleurot2019] E. Fleurot, J. Charpentier and F. Scuiller, "Electromagnetic study of segmented Permanent Magnet Synchronous Machines for Rim-Driven applications," 2019 19th International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering (ISEF), 2019, pp. 1-2, doi: 10.1109/ISEF45929.2019.9096976.
- [Fleurot 2020] E. Fleurot, Etude de machines à structures non conventionnelles destinées à la propulsion navale et aux énergies marines, thèse ENSAM-IRENav 2020
- [Hao2019] Z. Hao, J. Shuanbao, W. Dong, W. Gongbao and H. Pengfei, "Design and Analysis of the Integrated Motor Cooling System for Shaftless Propeller," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 174573-174582, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2957104
- [Jiang2022] Han Jiang, Wu Ouyang, Chenxing Sheng, Jiafen Lan, Richard Bucknall, "Numerical investigation on hydrodynamic performance of a novel shaftless rim-driven counter-rotating thruster considering gap fluid, *Applied Ocean Research*, Volume 118, 2022, 102967,
- [Li2022] Li, Q.; Abdullah, S.; Rasani, M.R.M. A Review of Progress and Hydrodynamic Design of Integrated Motor Pump-Jet Propulsion. *Appl. Sci.* 2022, 12, 3824. <https://doi.org/10.3390/app12083824>
- [Laing2013] Liang, Jinghui et al. "Optimal design and multifield coupling analysis of propelling motor used in a novel integrated motor propeller." *IEEE Transactions on Magnetics* 49 (2013): 5742-5748.
- [Ouldhamrane2022] Ouldhamrane, Hichem, Jean-Frédéric Charpentier, Farid Khoucha, Abdelhalim Zaoui, Yahia Achour, and Mohamed Benbouzid. 2022. "Optimal Design of Axial Flux Permanent Magnet Motors for Ship RIM-Driven Thruster" *Machines* 10, no. 10: 932. <https://doi.org/10.3390/machines10100932>
- [Perez2022] Pérez, R.; Pelletier, A.; Grenier, J.-M.; Cros, J.; Rancourt, D.; Freer, R. Comparison between Space Mapping and Direct FEA Optimizations for the Design of Halbach Array PM Motor. *Energies* 2022, 15, 3969. <https://doi.org/10.3390/en15113969>
- [Shen2016] Shen, Y., Hu, P., Jin, S., Wei, Y., Lan, R., Zhuang, S., et al., 2016. Design of novel shaftless pump-jet propulsor for multi-purpose long-range and high-speed autonomous underwater vehicle. *IEEE Trans. Magn.* 52 (7), 1–4

[Yan2017] Xiping Yan et al.. « A review of progress and applications of ship shaft-less rim-driven thrusters », Ocean Engineering, Volume 144, 2017, Pages 142-156,  
[Zhang 2012] Zhang, S., Zhu, X., Zhou, Z.L., 2012. Hydrodynamic Performance Analysis of Hubless Rim-Driven Propulsors. AMM 256–259, 2565–2568.

## **PROFIL SOUHAITÉ**

Diplôme : Master Recherche ou ingénieur idéalement en Génie Electrique et/ou Mécanique et/ou physique appliquée

Compétences :

- Intérêt pour la recherche scientifique et l'ingénierie.
- Intérêt pour les applications des domaines maritime et naval.
- Bonnes capacités relationnelles, dynamisme.
- Bonne capacité rédactionnelle, bon niveau en anglais.

**Dossier de candidature : Envoyer CV détaillé, lettre de motivation et lettres de recommandation**

**Date limite de réception des candidatures : 15 mai 2023, par voie électronique aux adresses suivantes :**

[chloe.rabache@ecole-navale.fr](mailto:chloe.rabache@ecole-navale.fr) et [jean-frederic.charpentier@ecole-navale.fr](mailto:jean-frederic.charpentier@ecole-navale.fr) (sous référence : FDP\_2023\_DDR\_AID-RDprop-Doc)

Contacts pour les aspects administratifs DRH Ecole Navale : QUENECANT Yohan, [yohan1.quenecant@intradef.gouv.fr](mailto:yohan1.quenecant@intradef.gouv.fr)

Service enseignants/chercheurs : Mme Chloé Rabache, [chloe.rabache@ecole-navale.fr](mailto:chloe.rabache@ecole-navale.fr)