

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE
DE BRETAGNE OCCIDENTALE
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 602

Sciences pour l'Ingénieur

Spécialité : « Génie Mécanique »

Par

Henrique FAGUNDES GASPAROTO

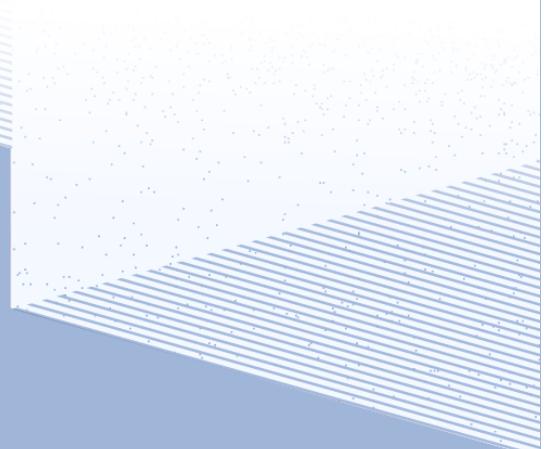
« Modélisation, Optimisation et Conception d'un Propulseur Magnéto-Couplé Reconfigurable pour la Robotique Sous-Marine »

Thèse présentée et soutenue à Brest, le 06 décembre 2019

Unité de recherche : UMR CNRS 6027 – Institut de Recherche Dupuy de Lôme

En cotutelle avec Universidade Estadual de Campinas, Brésil

Thèse N° : _____



Composition du Jury :

Philippe Bidaud	Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie	Rapporteur
Guillaume Krebs	Maître de Conférences HDR à l'Université Paris-Sud	Rapporteur
Sophie Sakka	Maître de Conférences HDR à l'École Centrale de Nantes	Examinateuse
Luc Jaulin	Professeur à l'ENSTA Bretagne	Examinateur
Jean Frédéric Charpentier	Maître de Conférences HDR à l'École Navale	Examinateur
Olivier Chocron	Maître de Conférences à l'ENI de Brest	Co-encadrant
Mohamed Benbouzid	Professeur à l'Université de Bretagne Occidentale	Directeur de thèse (France)
Pablo Siqueira Meirelles	Professeur à Universidade Estadual de Campinas	Directeur de thèse (Brésil)
Jean-Philippe Brunet	Docteur Ingénieur, directeur scientifique, THALES Brest	Invité du Jury

Titre : Modélisation, Optimisation et Conception d'un Propulseur Magnéto-Couplé Reconfigurable pour la Robotique Sous-Marine

Mots clés : Propulsion Vectorielle, Magnétomécanismes, Accouplements Magnétiques Reconfigurables

Résumé : Ce projet de recherche vise à développer un nouveau système de propulsion pour les véhicules sous-marins (robots), qui devrait garantir l'étanchéité totale, une plus grande maniabilité et une meilleure efficacité. L'étanchéité intégrale doit être assurée par des accouplements magnétiques, qui permettent la transmission du couple à l'extérieur du robot, sans trous ni joints mécaniques sur sa coque. Une meilleure manoeuvrabilité devrait être obtenue grâce au système de propulsion reconfigurable, qui permet l'orientation de l'hélice, assurant ainsi plus de degrés de liberté pour chaque propulseur, ce qui réduit le nombre total de propulseurs requis pour propulser et diriger le véhicule, augmentant ainsi son efficacité. Ce système est appelé propulseur magnéto-couplé reconfigurable (PMCR) et n'avait pas encore été entièrement conçu et appliqué à un vrai robot sous-marin. Pour ce faire, un concept innovant doit être proposé avec des actionneurs appropriés, modélisés, optimisés, détaillés, fabriqués et testés.

Pour une reconfiguration large de l'hélice, le nouveau PMCR doit avoir au moins plus deux degrés de liberté: un pour la transmission de puissance et un ou deux autres degrés agissant pour orienter l'hélice. Le nouveau design devrait être modélisé paramétriquement avec ses actionneurs, compte tenu de son comportement mécanique et magnétique, composant et générant un prototype numérique qui devra être optimisé. Le modèle magnétique paramétrique utilisera la méthode qui peut être évaluée (calculée) le plus rapidement parmi: la méthode des éléments finis, la méthode d'intégration des volumes finis, la méthode des dipôles magnétiques équivalents, ou un mélange entre eux. Le processus d'optimisation utilise des méthodes évolutionnaires telles que les algorithmes génétiques. Ainsi, un PMCR optimal devrait être atteint pour les paramètres qui seront considérés. Le projet détaillé sera réalisé pour fabriquer, assembler, tester et valider cette nouvelle version du PMCR.

Title : Modelling, Optimisation, and Design of a Reconfigurable Magnetic Coupling Thruster for Underwater Robot

Keywords: Vectorial Thrust, Magneto-Mechanisms, Reconfigurable Magnetic Couplings

Abstract: This research project aims to develop a new propulsion system for submarine vehicles (robots), which should guarantee complete watertightness, greater manoeuvrability, and better efficiency. The perfect water-tightness must be ensured using magnetic couplings, which allow the torque transmission to the outside of the robot, without having holes and mechanical seals on its hull. Greater manoeuvrability should be achieved through the reconfigurable propulsion system, which allows the propeller reorientation, thus ensuring more degrees of freedom per each thruster, which reduces the total number of required thrusters to drive and steer the vehicle, thereby increasing its efficiency. This system is called reconfigurable magnetic coupling thruster (RMCT) and could not yet be completely designed and applied to a real submarine robot. To make it possible, innovative design should be proposed with appropriate actuators, modelled,

optimised, detailed, fabricated and tested. For an extensive propeller reconfiguration, the new RMCT must have more one or two degrees of freedom: one for the power transmission and other one or two degrees acting to orient the propeller. The new design should be modelled parametrically with its actuators, considering its mechanical and magnetic behaviour, composing a digital prototype that should be optimised. The parametric magnetic model will use the method that can be evaluated (computed) most quickly among the finite element method, the finite volume integration method, the equivalent magnetic dipoles method, or a mix of them. The optimisation process considers evolutionary methods such as Genetic Algorithms. Thus, an optimal RMCT should be achieved for the parameters that will be considered. The executive project will be carried out to fabricate, assemble, test and validate this new RMCT.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Em Cotutela Internacional de Tese com a

UNIVERSITE DE BRETAGNE OCCIDENTALE

Henrique Fagundes Gasparoto

Modeling, Optimization, and Design of a Reconfigurable Magnetic Coupling Thruster for Underwater Robots

Modelagem, Otimização e Projeto de Propulsor Vetorial Reconfigurável Acoplado Magneticamente para Robôs Submarinos

BREST
2019



Henrique FAGUNDES GASPAROTO received the Technologist degree in mechanics, speciality design, from the Faculty of Technology of São Paulo (FATEC-SP), São Paulo-SP, Brazil, in 2006, and the M.Sc. degree in mechanical engineering from the University of Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, Brazil, in 2013, in the domain of magnetomechanics. During and after receiving the technologist degree, he worked as a mechanical designer in different Brazilian and multinational companies, in Brazil. Since 2007, he has been teaching subjects related to mechanical design at various levels, including also the improvement of mechanical design teams in companies. After receiving the M.Sc. degree, he joined the University Nove de Julho, where he was a lecturer, teaching for engineering students. In 2016, he joined a joint Ph.D. program between the UNICAMP and the University of Brest, Brest, France, working in the domain of contactless mechanics for the development of a new reconfigurable magnetic coupling thruster (see the illustration), for autonomous underwater vehicles, at the IRDL_Lab (Institut de Recherche Dupuy de Lôme – UMR CNRS 6027). From 2017 to 2019, he joined the Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest (ENIB), Brest, France, as an Assistant Professor.

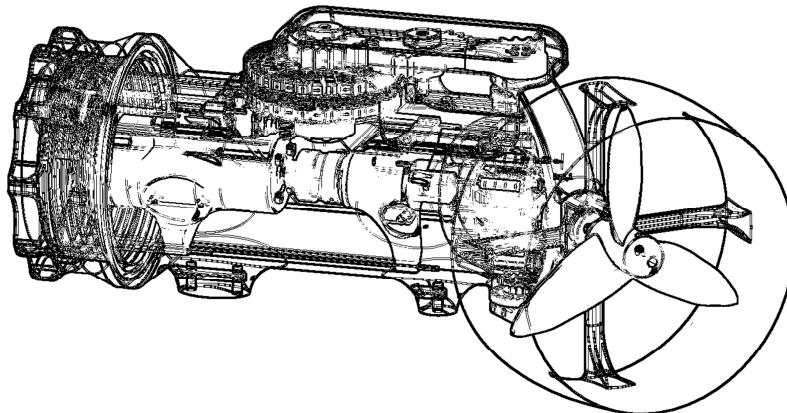


Illustration: Reconfigurable Magnetic Coupling Thruster (RMCT).

The following are some of the recent publications related to the Ph.D. thesis work.

International Journals

- [1] **H. Fagundes Gasparoto**, O. Chocron, M. E. H. Benbouzid, P. Siqueira Meirelles, and L. O. Saraiva Ferreira, “Torques analysis of a flat reconfigurable magnetic coupling thruster for marine renewable energy systems maintenance AUVs,” *Energies*, vol. 12, n°1, 56, pp. 1-17, 2019.

International Conferences

- [1] **H. Fagundes Gasparoto**, O. Chocron, M. E. H. Benbouzid and P. Siqueira Mireilles, “Design of an optimally stiff axial magnetic coupling for compliant actuators,” in *Proceedings of the 2019 IEEE IECN 2019*, Lisbon (Portugal), pp. 5058–5063, October 2019.
- [2] **H. Fagundes Gasparoto**, O. Chocron, M. E. H. Benbouzid and P. Siqueira Meirelles, “Feasible Design and analysis of a radial reconfigurable magnetic coupling thruster for vectorial AUV propulsion,” in *Proceedings of the 2017 IEEE IECN*, Beijing (China), pp. 2876-2881, October-November 2017.

National Conferences

- [1] **H. Fagundes Gasparoto**, O. Chocron, M. E. H. Benbouzid et P. Siqueira Meirelles, “Conception d’un accouplement magnétique axial par optimisation de sa raideur volumique,” dans les *Actes du CFM 2019*, Brest (France), pp. 1-13, Août 2019.