

Titre : Élaboration d'une Commande Prédicative avec Apprentissage par Renforcement Profond pour Application à la Navigation Fluviale.

Mots clés : Commande prédictive, apprentissage profond par renforcement, embarcation de surface autonome (USV/ASV), navigation fluviale/maritime.

Contexte : Les navires automatisés et autonomes pour du transport fluvial et côtier deviennent un enjeu stratégique pour de nombreuses applications : surveillance environnementale, bathymétrie, logistique portuaire, sécurité maritime ou encore opérations en environnements contraints. Cette transition vers des plateformes capables de fonctionner avec un niveau d'intervention humaine réduit exige des systèmes de contrôle avancés, capables de maintenir précision, robustesse, efficacité énergétique et sécurité en toutes circonstances. L'autonomisation impose en effet un niveau de sûreté supérieur à celui d'un pilotage humain, ce qui nécessite des algorithmes de commande capables d'anticiper les comportements du navire, de gérer les perturbations et de garantir la continuité de mission.

Dans ce contexte, NEAC Industry, Jeune Entreprise Innovante spécialisée dans la dronisation de navires [1], souhaite faire évoluer ses plateformes vers une architecture de trimaran autonome dotée de deux moteurs électriques de type RIM (moteurs annulaires à courant continu) montés en tandem. Cette configuration offre une manœuvrabilité fine, une redondance face aux pannes et une capacité de contrôle vectoriel de la poussée. A cette motorisation s'ajoutent des ballasts qui permettront de maintenir une inertie quasi constante. Cependant, la pleine exploitation de ce potentiel nécessite une stratégie de commande avancée, capable de gérer simultanément la dynamique du navire, la répartition de la poussée entre les deux moteurs, les contraintes énergétiques, les perturbations environnementales (vent, courant, houle, etc.) et les exigences de précision des missions évoquées plus haut.

Face à cette complexité, les approches classiques de commande montrent leurs limites : variabilité des conditions marines, incertitudes sur les modèles dynamiques des plateformes légères, dynamique du système de traction immergé induisant des latences variables, environnement non structuré et potentiellement encombré d'obstacles statiques ou dynamiques et enfin, nécessité d'une décision autonome en temps réel. Pour répondre à ces enjeux, NEAC Industry, en collaboration avec le Groupe de Recherche en Electrotechnique et Automatique du Havre (GREAH, EA3220) et l'Institut de Recherche en Systèmes Electroniques Embarqués (IRSEEM, UR4353), souhaite utiliser la commande prédictive (*model predictive control*, ou MPC). Cette approche est aujourd'hui l'une des commandes avancées les plus déployées industriellement [2], du fait de sa capacité à traiter des systèmes multivariables sous contraintes, à optimiser les commandes selon un critère de coût reflétant la performance du système sur un horizon de prédiction et à tolérer, dans une certaine mesure, les incertitudes de modélisation [3].

D'un point de vue scientifique, NEAC, l'IRSEEM [4][5] et le GREAH [6-8] souhaitent explorer les possibilités d'une commande prédictive *data-driven* [9][10] fondée sur l'utilisation de *world models* [11][12], combinant optimisation en ligne, apprentissage profond et apprentissage par renforcement. L'objectif est alors triple : (i) planifier les déplacements de l'embarcation directement à partir des données fusionnées des capteurs embarqués, sans recourir à une reconstruction 3D en temps réel de l'espace navigable, trop coûteuse ; (ii) garantir la robustesse de la loi de commande aux retards variables propres au système de traction immergé, une problématique encore peu traitée dans la littérature ; (iii) assurer la robustesse aux perturbations environnementales agissant sur la plateforme. Contrairement aux approches purement neuronales, qui substituent au correcteur un réseau de neurones, perdant ainsi la garantie d'un respect de contraintes

opérationnelles apportée par la commande prédictive, la stratégie envisagée intègre l'apprentissage au sein du correcteur prédictif en paramétrant son problème d'optimisation sous-jacent.

Sur le plan applicatif, la méthode sera mise en œuvre pour la commande de la motorisation et du ballastage des embarcations de NEAC Industry, en se concentrant dans un premier temps sur la phase d'appareillage, les phases de navigation et d'accostage étant plus complexes. Les algorithmes ayant vocation à être embarqués, une attention particulière sera portée à l'efficacité du temps d'apprentissage et à la performance en temps réel. A terme, l'approche par *world models* doit permettre, après calibration, de réduire le nombre de capteurs embarqués sans dégrader le niveau de pilotage, diminuant ainsi la consommation énergétique globale des plateformes.

Le-la doctorant-e rejoindra ainsi une collaboration éprouvée entre NEAC Industry, le GREAH et l'IRSEEM, à la croisée de l'automatique avancée, de l'intelligence artificielle et de la robotique mobile, sur un sujet à fort impact industriel et porteur de verrous scientifiques originaux.

Déroulement : Le-la doctorant-e commencera par la réalisation d'un état de l'art, dans la continuité de celui amorcé par l'équipe encadrante, autour de la commande prédictive *data-driven* et des *world models*. Il-elle contribuera ensuite à la construction de l'architecture globale de l'embarcation, intégrant les ballasts et la motorisation retenue, dans le but d'établir un plan détaillé de la chaîne de contrôle. Sur cette base, un modèle de l'embarcation réelle pourra être réalisé, avec l'appui méthodologique de l'équipe encadrante, afin de développer les lois de commande désirées. Plusieurs scénarii de déplacement réalistes, définis avec l'expertise de NEAC Industry, permettront alors d'identifier les paramètres de ce modèle et de réaliser une validation expérimentale.

La dernière phase constituera le cœur scientifique de la thèse : l'élaboration d'une commande prédictive *data-driven* originale à base de *world models*, adaptée à la classe de systèmes à laquelle appartiennent l'embarcation et ses équipements, sur la base de l'expertise des équipes de l'IRSEEM et du GREAH. Les correcteurs obtenus seront implémentés sur l'embarcation et évalués sur différents scénarii fournis par NEAC Industry.

Profil du candidat : Etudiant-e de niveau M2 (master ou diplôme d'ingénieur) ayant des compétences en automatique (commande prédictive) et en modélisation des systèmes intégrant des moteurs électriques et leur électronique de commande. Des connaissances dans le domaine de l'apprentissage automatique seront appréciées.

Période de démarrage envisagée : Octobre 2026.

Financement : Convention Industrielle de Formation par la REcherche (CIFRE).

Equipe encadrante : Nicolas Langlois (IRSEEM, co-directeur de thèse), François Guérin (GREAH, co-directeur de thèse), Thomas Chevet (IRSEEM, co-encadrant académique), Lionnel Mesnil (NEAC Industry, co-encadrant industriel).

Dépôt de candidature : Envoyer un CV, les relevés de notes de M1 et M2 et deux lettres de recommandation à thomas.chevet@irseem-esigelec.fr et lionnel.mesnil@neac-industry.com

Références bibliographiques :

- [1] M. Mansuy, M. Candries, G. Delefortrie, I. Alliot, A. Alliot et L. Mesnil, "From full-scale trials to a simplified 3DOF manoeuvring model: enabling rapid assessment of SFAZ vessel performance", in *Smart Rivers Proceedings*, 2025.
- [2] S. J. Qin et T. A. Badgwell, "A survey of industrial model predictive control technology", *Control Engineering Practice*, t. 11, n° 7, p. 733-764, 2003.
- [3] L. Grüne et J. Pannek, *Nonlinear Model Predictive Control: Theory and Algorithms*, Springer: Cham, Suisse, 2017.
- [4] A. Salaje, T. Chevet et N. Langlois, "Learning-based nonlinear model predictive control using deterministic actor-critic with gradient Q-learning critic", in *18th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, IEEE, 2024.
- [5] A. Salaje, T. Chevet et N. Langlois, "Convergent NMPC-based reinforcement learning using deep expected Sarsa and nonlinear temporal difference learning", in *European Control Conference*, IEEE, 2025.
- [6] H. Chakraa, E. Leclercq, F. Guérin, D. Lefebvre, "Integrating collision avoidance strategies into multirobot task allocation for inspection", *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, t. 47, n°7, p. 1466-1477, 2025.
- [7] T. Do, F. Guérin, A unified orchestration architecture for multi-robot systems in automated ground levelling, 12th European Conference on Mobile Robots (ECMR), 2025.
- [8] A. Belhomme, F. Guérin, Model predictive control (MPC) for task allocation under constraints in mobile robotics: application to industrial logistics, 11th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), pp. 371-376, 2025.
- [9] S. Gros et M. Zanon, "Data-driven economic NMPC using reinforcement learning", *IEEE Transactions on Automatic Control*, t. 65, n° 2, p. 636-648, 2019.
- [10] R. Reiter, J. Hoffmann, D. Reinhardt, F. Messerer, K. Baumgärtner, S. Sawant, J. Bödecker, M. Diehl, S. Gros, "Synthesis of model predictive control and reinforcement learning: Survey and classification", *Annual Reviews in Control*, t. 61, 101045, 2026.
- [11] A. Bar, G. Zhou, D. Tran, T. Darrell et Y. LeCun, "Navigation world models", in *2025 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2025, p. 15791-15801.
- [12] N. Hansen, H. Su et X. Wang, "TD-MPC2: Scalable, Robust World Models for Continuous Control", in *The Twelfth International Conference on Learning Representations*, 2024.