

# AMARSMER : Apprentissage de la Mobilité Autonome des Robots Sous-Marins pour les Énergies Renouvelables

## Contexte et Problématique

L'exploitation des énergies marines renouvelables (EMR), telles que les hydroliennes et les éoliennes offshore, nécessite des inspections et des maintenances régulières pour garantir leur efficacité et leur sécurité. Actuellement, ces tâches sont coûteuses et dangereuses, impliquant souvent des plongeurs spécialisés. L'autonomie des robots sous-marins (AUV) offre une solution prometteuse, mais la complexité des environnements marins impose des défis significatifs en termes de mobilité, de contrôle-commande, de navigation et de réalisation de tâches complexes. Les solutions que nous proposons d'étudier dans cette thèse sont la propulsion reconfigurable, avec l'optimisation et l'apprentissage automatique de la commande (dont prédictive) et l'exploitation de la simulation dynamique. Les travaux antérieurs du projet RSM au laboratoire IRDL (O. Chocron) ont permis d'explorer l'adaptation d'un robot sous-marin à ses tâches à travers l'optimisation de la propulsion vectorielle [1], les propulseurs magnéto-couplés reconfigurables [2] et la commande des robots sous-actionnés [3]. L'équipe Rambo du Lab-STICC ENIB (P. Hénaff) possède une expertise dans la commande de systèmes robotiques par réseaux de neurones artificiels (contrôle bio-inspiré), particulièrement dans la mise en œuvre de contrôleurs neuronaux adaptatifs permettant de doter les robots d'une résilience bio-inspirée face à une morphologie variable [4]. L'équipe Armen du LS2N ECN (O. Kermorgant) a une expertise en simulation et commande prédictive pour les robots autonomes [5]. Les données de simulation (Gazebo) seront utilisées pour l'apprentissage neuronal.

Cette thèse vise donc à repousser les limites de l'autonomie des robots sous-marins pour les tâches complexes, en intégrant des avancées en apprentissage automatique et en robotique. Les résultats attendus devraient améliorer significativement la fiabilité et l'efficacité des opérations sous-marines, contribuant ainsi à une exploitation plus durable et économique des énergies marines renouvelables. Ce sujet de thèse pluridisciplinaire et collaboratif propose un cadre innovant pour l'amélioration des robots sous-marins autonomes, en mettant en avant les interactions complexes entre l'algorithme de commande, l'apprentissage automatique, et l'adaptation aux environnements dynamiques.

## Objectifs Méthodologiques

Les méthodes utilisées seront les suivantes :

1. **Propulsion reconfigurable** : développer des mécanismes d'optimisation de la configuration de propulsion pour son adaptation en mission aux tâches dynamiquement variables.
2. **Apprentissage automatique**: utiliser des techniques d'apprentissage automatique pour permettre au robot d'acquérir des comportements adaptatifs basés sur son expérience.
3. **Commande prédictive** : Il s'agit de concevoir des systèmes permettant au robot d'adapter son comportement en fonction des spécificités intrinsèques et circonstancielles du robot et de sa tâche, telles que les incertitudes, imprévus, pannes ou perturbations externes/internes.

Elles devront permettre les 3 objectifs opérationnels suivants :

1. Le robot se verra confier des tâches complexes d'inspection ou maintenance des systèmes EMR, sans assistance et en totale autonomie (départ et retour d'un point accessible).
2. Le robot devra pouvoir interpréter ses données en temps réel pour évaluer la faisabilité des tâches, et réagir de manière appropriée face à des situations nouvelles ou imprévues.
3. Des stratégies de commande seront développées pour que le robot puisse décider lui même de poursuivre, interrompre, ou abandonner une tâche en fonction des conditions rencontrées.

### **Tâches et déroulement de la thèse**

- Étude de la commande adaptative basée modèle
- Étude de la commande par apprentissage automatique
- Étude du robot reconfigurable et optimisation de la configuration
- Simulation du robot et de sa commande et génération de scénarios d'apprentissage
- Prototypage de l'AUV et intégration Hardware In the Loop (HIL) en mission EMR
- Validation expérimentale sur un AUV réel en eaux (programmation, commande et essais)
- Rédaction d'articles, participation aux conférences internationales et du manuscrit de thèse

### **Contributions attendues au cours de cette thèse**

- Algorithmes innovants pour l'adaptation autonome de la configuration propulsive des AUV.
- Solutions pour l'optimisation de la propulsion et du contrôle-commande des AUV
- Validation des méthodes d'apprentissage automatique pour la robotique autonome

### **Profil du candidat : Francophone ou anglophone**

- Master Recherche (M2) ou Ingénieur en robotique, automatique ou mécatronique
- Capacités à mener à bien un travail complexe et de longue durée en autonomie
- Connaissances en modélisation mécanique, contrôle-commande, programmation
- Ayant effectué un stage dans un laboratoire de recherche en robotique de préférence
- Compétences complémentaires utiles: IA, électronique, génie mécanique, impression 3D

### **Laboratoires partenaires et encadrement**

1. **IRDL** (Institut de Recherche Dupuy de Lôme, UMR CNRS 6027), École Nationale d'ingénieurs de Brest (**ENIB**), O. Chocron, MCF HDR Mécanique, directeur de thèse :
2. **Lab-STICC** (Laboratoire en Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance, UMR CNRS 6284), École Nationale d'ingénieurs de Brest (**ENIB**), Patrick Hénaff, PR Informatique, codirecteur de thèse
3. **LS2N** (Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes, UMR CNRS 6004), École Centrale Nantes (**ECN**), Olivier Kermorgant, MCF Automatique

### **Lieu de travail de la thèse (durée : 36 mois)**

École Nationale d'ingénieurs de Brest, 945 Av. du Technopôle, 29280 Plouzané

### **Contact :**

**O. Chocron** email [chocron@enib.fr](mailto:chocron@enib.fr) téléphone: (02 98 05 66 90)

École Nationale d'Ingénieurs de Brest, Technopôle Brest-Iroise - CS 73862 - 29238 BREST  
CEDEX 3

## Références:

- [1] Chocron, O., Vega, E. P., & Benbouzid, M. (2018). Dynamic reconfiguration of autonomous underwater vehicles propulsion system using genetic optimization. *Ocean Engineering*, 156, 564-579. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.02.056>
- [2] H. Fagundes Gasparoto, O.Chocron, M.Benbouzid, P. Siqueira Meirelles (2021). « Advances in Reconfigurable Vectorial Thrusters for Adaptive Underwater Robots ». *J. Mar. Sci. Eng. JMSE* 2021, vol. 9, No 2, 170. <https://doi.org/10.3390/jmse9020170>
- [3] Loïck Degorre ; Emmanuel Delaleau ; Olivier Chocron (2023). « A survey on Model-Based Control and Guidance Principles for Autonomous Marine Vehicles ». *Journal of Marine Science and Engineering*, Special Issue "Review Papers in Ocean Engineering" (ISSN 2077-1312). <https://doi.org/10.3390/jmse11020430>
- [4] Melanie Jouaiti, Patrick Henaff. Comparative Study of Forced Oscillators for the Adaptive Generation of Rhythmic Movements in Robot Controllers. *Biological Cybernetics (Modeling)*, 2019, 113 (5-6), pp.547-560. [10.1007/s00422-019-00807-8](https://doi.org/10.1007/s00422-019-00807-8). [hal-02291575](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02291575)
- [5] D. Pérez-Morales, O. Kermorgant, S. Domínguez-Quijada, P. Martinet, “Multi-Sensor-Based Predictive Control For Autonomous Parking”, *IEEE Trans. on Robotics*, Aug 2021. <http://dx.doi.org/10.1109/TRO.2021.3091285>