

SLAM ensembliste embarqué pour la navigation autonome d'AUV sans remontée surface

Fiche de poste de thèse — ENSTA / Lab-STICC / Rentrée 2026

Intitulé provisoire de la thèse

Méthodes embarquées de localisation et cartographie simultanées en milieu sous-marin profond

Mots-clés

Robotique sous-marine ; AUV ; SLAM ; estimation d'état ; méthodes ensemblistes ; calcul par intervalles ; navigation sans GNSS ; amers indiscernables ; perception sonar ; expérimentation en bassin et en mer.

Contexte

La navigation autonome sous-marine constitue un verrou scientifique et technologique majeur pour les véhicules autonomes de type AUV. En immersion, l'accès au GNSS est impossible et les solutions classiques reposant sur l'inertiel, l'acoustique active ou des infrastructures externes présentent des limites importantes : dérive progressive, coût énergétique, dépendance à l'environnement, complexité de déploiement ou signature acoustique non souhaitée.

La thèse s'inscrit dans la phase 1 du projet FAUV, dont l'objectif est d'établir un socle de navigation robuste permettant à un AUV d'explorer une zone sous-marine sans faire surface, tout en conservant une estimation fiable de sa position. Cette première phase constitue la base scientifique et expérimentale des phases ultérieures du projet, consacrées à la navigation bio-inspirée, aux AUVs discrets proches du fond et à la navigation collaborative par flottille.

Les travaux seront menés au sein de l'équipe ROBEX du Lab-STICC (ENSTA), dans un environnement de recherche combinant robotique sous-marine, estimation garantie, calcul par intervalles, perception embarquée, perception acoustique et validation expérimentale.

Objectif scientifique

L'objectif de la thèse est de développer une méthode de SLAM sous-marin ensembliste embarqué, capable de localiser un AUV en environnement incertain à partir de la perception d'amers ponctuels présents sur le fond marin.

Ces amers pourront correspondre à des éléments naturels du terrain, par exemple des rochers ou structures remarquables du fond. Une difficulté centrale réside dans le fait que ces amers peuvent être indiscernables : le robot détecte des objets mais ne sait pas nécessairement à quel amer de la carte ou de l'environnement chaque observation correspond.

La thèse cherchera donc à construire une approche robuste aux ambiguïtés de perception, aux incertitudes de navigation et aux perturbations environnementales, en s'appuyant sur des méthodes ensemblistes et sur la modélisation des incertitudes par intervalles bornés.

Missions principales

Le ou la doctorant(e) aura pour missions :

1. **Établir l'état de l'art** sur le SLAM sous-marin, la navigation référencée terrain, les méthodes d'association de données ambiguës, les approches ensemblistes et les méthodes garanties pour la localisation robotique.
2. **Formaliser le problème de SLAM avec amers indiscernables**, en tenant compte des incertitudes sur la position, l'orientation, les mesures capteurs, la perception des amers et la dynamique du véhicule.
3. **Développer des algorithmes de SLAM ensembliste**, fondés sur le calcul par intervalles, la programmation par contraintes et les contracteurs, afin de maintenir un ensemble de poses et de cartes compatibles avec les données.
4. **Implémenter les algorithmes dans un prototype logiciel**, avec une attention particulière portée à la robustesse numérique, à la complexité de calcul et à la possibilité d'un déploiement embarqué.
5. **Contribuer à l'intégration des briques développées dans la bibliothèque open-source Codac**, lorsque les développements présentent un intérêt générique pour la communauté scientifique.
6. **Valider les méthodes en simulation**, sur des scénarios contrôlés permettant d'évaluer la robustesse aux ambiguïtés, à la densité d'amers, aux erreurs de navigation et aux perturbations de mesure.
7. **Participer aux expérimentations en bassin**, puis à une validation en environnement naturel, notamment en rade de Brest, sur un AUV de petite taille instrumenté.
8. **Valoriser les résultats** sous forme de publications scientifiques, de démonstrateurs logiciels et de contributions aux livrables du projet.

Résultats attendus

Les résultats attendus de la thèse sont :

- un formalisme de SLAM ensembliste adapté à la navigation sous-marine sans GNSS ;
- des algorithmes robustes aux amers indiscernables et aux ambiguïtés d'association ;
- une modélisation des incertitudes sous forme d'intervalles bornés ;
- un prototype logiciel opérationnel ;
- des contributions open-source à la bibliothèque Codac ;
- une validation en simulation et en bassin ;
- une démonstration expérimentale sur AUV en milieu naturel ;
- au moins une publication scientifique de rang international sur le SLAM ensembliste sous-marin.

Environnement scientifique et technique

La thèse sera réalisée à l'ENSTA, au sein de l'équipe ROBEX, dans un contexte fortement interdisciplinaire associant :

- robotique mobile et robotique sous-marine ;
- estimation d'état et SLAM ;
- calcul par intervalles et méthodes garanties ;
- perception embarquée, notamment sonar ;
- expérimentation sur plateformes AUV ;
- développement logiciel scientifique en C++ et Python.

Le ou la doctorant(e) sera amené(e) à travailler avec des plateformes expérimentales de type AUV de petite taille, des capteurs de navigation et de perception sous-marine, ainsi qu'avec les outils logiciels développés au sein de l'équipe, en particulier la bibliothèque Codac.

Profil recherché

Le poste s'adresse à un(e) candidat(e) titulaire, ou en cours d'obtention, d'un diplôme de niveau Master 2, diplôme d'ingénieur ou équivalent, avec une spécialisation en robotique, automatique, mathématiques appliquées, informatique scientifique, traitement du signal ou domaines proches.

Compétences attendues

- bonnes bases en estimation d'état, robotique mobile, automatique ou SLAM ;
- solide niveau en mathématiques appliquées : géométrie, optimisation, probabilités ou analyse numérique ;
- capacité à formaliser un problème scientifique et à développer des algorithmes ;
- maîtrise d'au moins un langage de programmation scientifique, idéalement C++ et/ou Python ;
- intérêt pour l'expérimentation robotique et les systèmes embarqués ;
- bonne capacité de rédaction scientifique en anglais.

Compétences appréciées

- connaissance du calcul par intervalles, des méthodes ensemblistes ou de la programmation par contraintes ;
- expérience avec ROS, Linux, Git, CMake ou des environnements de développement robotique ;
- expérience en robotique sous-marine, perception sonar ou navigation inertielle ;
- goût pour les validations expérimentales, y compris en bassin ou en milieu naturel.

Qualités attendues

Le sujet requiert une capacité à articuler théorie, implémentation et expérimentation. Le ou la candidat(e) devra faire preuve de rigueur scientifique, d'autonomie, de persévérance face aux problèmes ouverts, et d'un intérêt marqué pour la robotique réelle.

Une appétence pour les méthodes formelles, la validation expérimentale et les environnements marins sera particulièrement appréciée.

Encadrement pressenti

La thèse sera encadrée par :

- **Simon Rohou**, ENSTA, équipe ROBEX ;
- **Luc Jaulin (HDR)**, ENSTA, équipe ROBEX.

Encadrement complémentaire possible selon les développements expérimentaux et les collaborations associées au projet FAUV.

Lieu et durée

- **Lieu principal** : ENSTA, site de Brest ;
- **Laboratoire / équipe** : Lab-STICC / ROBEX ;
- **Durée** : 36 mois ;
- **Démarrage souhaité** : 2026, début du contrat envisagé au 05/10/2026 ;
- **Expérimentations** : simulation, bassin d'essais, puis validation en milieu naturel, notamment en rade de Brest.

Modalités de candidature

Le dossier de candidature devra comprendre :

- un CV détaillé ;
- une lettre de motivation ;
- les relevés de notes de Master ou d'école d'ingénieur ;
- le cas échéant, un mémoire de stage, rapport de projet ou publication ;
- les coordonnées d'une ou deux personnes référentes pouvant être contactées.