

# Sujet de thèse

## Exploration par un groupe de robots sous-marins

25 octobre 2020

**Sujet de la thèse :** Exploration par un groupe de robots sous-marins

**Candidat :** Julien Damers, ingénieur ENSTA-Bretagne en septembre 2018, profil robotique

**Directeur de thèse et co-encadrants.** Luc Jaulin, Simon Rohou.

**Entreprise.** Kopadia

**Objectif de la thèse.** L'objectif de cette thèse est de développer un système à base d'un groupe de robots sous marins [Fos02] bas coût capable d'explorer une zone vaste sous marine sans que les robots aient à refaire surface pour se localiser [NMJ<sup>+</sup>14]. Afin de répondre à un besoin de l'entreprise KOPADIA qui cherche à concevoir des systèmes robotisés sous-marins bas-coût, discrets et sans interférences entre les robots, nous supposons que les robots ne disposent pas de DVL pour la mesure de vitesse relativement au fond avec des ondes acoustiques. Cette absence de DVL engendre une dérive forte sur l'estimation de la trajectoire difficile à prendre à compte avec les méthodes de localisation actuelles [LDW92][NLTN02].

Pour permettre une localisation dans un tel contexte, nous allons supposer

- Que les robots peuvent collaborer (contrairement à ce qui est proposé dans [Sed15]) afin d'échanger des informations et les incorporer dans leurs algorithmes de localisation. Cette collaboration devrait également permettre une couverture plus rapide de la zone de recherche
- Que les robots sont capables de se percevoir mutuellement, soit par une caméra (à courte portée), soit par mesure de distances [Bet14]. Cette information additionnelle devrait permettre de limiter la dérive de localisation [Cre14]. En effet, un robot peut pendant une

durée limitée s’immobiliser au fond et servir de balise aux autres membres du groupe.

- Que les robots sont capables de mesurer la bathymétrie. A partir d’un simple écho-sondeur et connaissant une carte bathymétrique des fonds[Gly07], les robots devraient pouvoir recalculer leur position absolue. Dans le cas, où une telle carte n’existe pas, un recalage par fermeture de boucle [Aub14] pourrait être envisagé.
- Que les robots sont parfois capables de repérer un point remarquable (rocher, anomalie magnétique). Les points remarquables peuvent alors être utilisés pour améliorer la localisation en utilisant une approche de type SLAM (Simultaneous Localization And Mapping)[MW03].

Une autre difficulté qui nous préoccupe est de pouvoir démontrer, a priori, que la procédure de recherche permet de garantir à coup sûr, sous certaines conditions réalistes, que la mission se déroulera comme convenu et que les robots reviendront[NLTN02].

La garantie [DB11] pourra se faire relativement à des hypothèses ensemblistes où la dynamique des robots est bien connue [Roh17]. La bathymétrie de la zone est supposée disponible et sera utilisée pour la localisation.

Nous nous placerons dans un contexte où les espaces à explorer sont grands avec un nombre de robots relativement limité, qui est le contexte dans lequel KOPADIA cherche à se positionner.

**Programme de la thèse.** L’objectif académique de cette thèse est de développer des méthodes certifiées capables de permettre à un groupe de robots d’explorer un grand espace sans refaire surface. La garantie pourra être établie en combinant des méthodes formelles avec des méthodes numériques ensemblistes à base de calcul par intervalles.

Année 1. La première étape sera une reformulation du problème en termes académiques de façon à pouvoir appliquer les outils de résolution existants. Cela se fera en faisant une étude bibliographique approfondie de la littérature associée.

Le caractère distribué est également à prendre en compte car nous disposons de plusieurs robots avec des capacités de communication limitées.

Les contraintes sont de trois types :

- Les contraintes différentielles. Les robots ont une dynamique bien connue. Leur rayon de courbure, leur accélération, etc. sont supposées bornées. Ces contraintes peuvent être modélisées par des équations d’état ou des inclusions différentielles.
- Les contraintes d’état pour les robots. Les robots doivent rester dans une zone prédéfinie

et ne pas en sortir. Ces contraintes doivent être vérifiées à chaque instant et pour chaque robot.

- Les contraintes inter-robots. Pour certains scénarios, les robots doivent être capables de communiquer avec un certain débit, pouvoir se voir localiser et se partager la mission. Si ces contraintes ne sont pas satisfaites, le bon déroulement de la mission ne peut plus être garanti.

Le travail bibliographique initial pourra se décomposer comme suit.

- Faire une étude bibliographique sur les différents systèmes utilisés pour se localiser sous l'eau.
- Comprendre sur les méthodes par intervalles avec leur utilisation pour la sécurité des systèmes dynamiques.
- Lire la littérature sur le calcul dans un contexte distribué et faiblement communiquant.

Année 2. Il conviendra de proposer des solutions innovantes capables de lever les verrous scientifiques identifiés dans la littérature. Des simulations suivies d'expérimentations en mer viendront valider les résultats académiques obtenus. La partie expérimentale sera assez conséquente et devra être développée avec des AUV (trois environ) de type Folaga. Ils seront prêtés par l'entreprise KOPADIA. Les expérimentations se tiendront dans la rade de Brest où au lac de Guerlédan. Ces expérimentations auront pour objectif de valider les algorithmes de localisation et de commande. Des étudiants de l'ENSTA Bretagne et de l'ISEN pourront également participer au développement des algorithmes dans le cadre de leur formation. Le candidat participera activement aux expérimentations et à l'encadrement des étudiants.

Année 3. Cette dernière année cherchera à prendre du recul sur le travail effectué et à proposer des perspectives. Il s'agira également de publier des articles dans des revues internationales et à présenter les travaux dans des conférences scientifiques. Une bonne partie de cette dernière année sera dédiée à la rédaction du manuscrit de thèse.

**Publications visées.** La localisation bathymétrique combinée avec les algorithmes de contrôle pourront être publiés dans une revue internationale de type 'Oceanic Engineering' ou 'IEEE Transaction on Robotics'. Deux conférences internationales en robotique sont également visées : ICRA (qui se tiendra en 2020 à Paris) et IROS.

**Candidat.** Le candidat recherché doit avoir des compétences en programmation, en robotique

et en automatique.

## Références

- [Aub14] Clément Aubry, *Analyse par intervalles pour la détection de boucles dans la trajectoire d'un robot mobile*, PhD dissertation, Université de Bretagne Occidentale, ENSTA-Bretagne, France, October 2014.
- [Bet14] Aymeric Bethencourt, *Interval analysis for swarm localization; application to underwater robotics*, PhD dissertation, Université de Bretagne Occidentale, ENSTA-Bretagne, France, Septembre 2014.
- [Cre14] V. Creuze, *Robots marins et sous-marins; perception, modélisation, commande*, Techniques de l'ingénieur (2014).
- [DB11] V. Drevelle and P. Bonnifait, *A set-membership approach for high integrity height-aided satellite positioning*, GPS Solutions **15** (2011), no. 4, 357–368.
- [Fos02] T. Fossen, *Marine control systems : Guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles*, Marine Cybernetics, 2002.
- [Gly07] J.M. Glynn, *Acoustic calibration and bathymetric processing with a Klein 5410 sidescan sonar*, Ph.D. thesis, University of New Hampshire, US, 2007.
- [LDW92] J. J. Leonard and H. F. Durrant-Whyte, *Directed sonar sensing for mobile robot navigation*, Kluwer, Boston, 1992.
- [MW03] D. Koller Montemerlo, S. Thrun and B. Wegbreit, *Fastslam 2.0 : An improved particle filtering algorithm for simultaneous localization and mapping that provably converges*, Proc. of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI) (2003).
- [NLTN02] P. Newman, J. Leonard, J.D. Tardós, and J. Neira, *Explore and return : Experimental validation of real-time concurrent mapping and localization*, ICRA02 (Washington DC), 2002, pp. 1802–1809.
- [NMJ<sup>+</sup>14] R. Neuland, R. Maffei, L. Jaulin, E. Prestes, and M. Kolberg, *Improving the precision of auvs localization in a hybrid interval-probabilistic approach using a set-inversion strategy*, Unmanned Systems, Special Issue on Autonomous Underwater Robots **2** (2014), no. 4.

- [Roh17] S. Rohou, *Reliable robot localization : a constraint programming approach over dynamical systems*, PhD dissertation, Université de Bretagne Occidentale, ENSTA-Bretagne, France, december 2017.
- [Sed15] Mohamed Saad Ibn Seddik, *Localization of a swarm of underwater robots using set-membership methods*, PhD dissertation, Université de Bretagne Occidentale, ENSTA-Bretagne, France, novembre 2015.