

**Laboratoire d'accueil :** Lab-STICC ENSTA Bretagne, Brest, France

**Directeur de thèse :** Luc JAULIN (luc.jaulin@ensta-bretagne.fr, tél 02 98 34 89 10)

**Encadrants de thèse :** Simon ROHOU (ENSTA Bretagne), Fabrice LEBARS (ENSTA Bretagne), Fabien NOVELLA (DGA TN)

**Centre DGA 'tuteur' :** DGA TN Brest, DN-GDM/LCM

**Intérêt pour les programmes DGA :** Système de lutte anti-mines du futur (SLAMF), Maîtrise des fonds marins (MFM)

**Doctorant :** Damien ESNAULT (damien.esnault@ensta-bretagne.org)

**Sujet :** *Navigation référencée terrain : Recalage de la position d'un robot sous-marin avec des capteurs bas coûts pour l'approche de cibles dangereuses*

### **Description :**

L'emploi de drones sous-marins, qu'ils soient filoguidés (ROV - Remote Operated Vehicles) ou sans lien physique avec la surface (AUV – Autonomous Underwater Vehicles), devient de plus en plus important. Leur modularité, discrétion, et leurs capacités d'autonomie en font des outils précieux pour des applications telles que le REA (Rapid Environment Assessment), l'inspection d'ouvrages ou les travaux en environnements dangereux. En matière de lutte contre les mines, de tels engins sont utilisés depuis les années 1980 avec le PAP (Poisson Auto-Propulsé) et le SPIV (Sonar Propulsé à Immersion variable). Le programme SLAMF (Système de Lutte anti-mines du futur) généralise l'utilisation de drones de surface ou sous-marins à l'ensemble des phases de la lutte contre les mines. Ainsi la phase de Détection/Classification/Localisation (DCL) des contacts mines peut être menée de manière équivalente par un drone de surface (USV) remorquant un sonar SAMDIS ou alors par un drone sous-marin (AUV) embarquant le même sonar SAMDIS. Les phases d'identification et de neutralisation sont quant à elles menées par un ROV guidé par un opérateur.

Néanmoins la navigation sous-marine autonome soulève certaines problématiques, à commencer par le positionnement du drone. En effet, la forte absorption des ondes électromagnétiques dans l'eau empêche toute utilisation du positionnement par satellite (GNSS) durant la mission. Des méthodes de positionnement alternatives existent. On peut citer par exemple les méthodes de positionnement acoustique de type USBL (Ultra-Short Base Line) ou (LBL). Bien que permettant d'obtenir un positionnement absolu et précis, ces méthodes nécessitent la pose et la calibration de balises sur le fond ou bien la présence d'un navire support en surface. La méthode la plus conventionnellement utilisée repose sur l'hybridation d'une centrale inertielle (INS) et d'un DVL (Doppler Velocity Log). Cependant l'intégration des biais et bruits des mesures accélérométriques ainsi que des mesures de vitesses conduit à une dérive temporelle de l'estimation de position ce qui limite significativement le temps de mission. De plus, les performances de ce système de positionnement dépendent fortement de la précision des centrales inertielles. La gamme dite 'de navigation' de ces produits permet de maintenir des incertitudes de position compatibles des

missions de guerre des mines pendant quelques heures mais ces centrales sont encombrantes et onéreuses. Dans le cas où une connaissance a priori de la zone de mission est disponible, il est possible d'utiliser cette information pour recalibrer la position de la centrale : c'est la navigation référencée terrain. Plusieurs descripteurs de l'environnement peuvent être exploités pour effectuer ce recalage : variation de bathymétrie, amers remarquables, contours de faciès sédimentaires, ...

Dans un contexte de guerre des mines, le sonar SAMDIS utilisé en phase de DCL est capable d'obtenir une imagerie et une bathymétrie du fond à très haute résolution lors de la phase de DCL. Cette donnée pourrait être réutilisée par un autre drone afin de mener à bien la phase d'identification. Parce que ce drone devra évoluer à proximité d'objets potentiellement explosifs il convient de maîtriser le coût de l'engin. Cela est possible par l'emploi de capteurs plus faibles performances compensés par des traitements avancés de navigation référencée terrain. L'objectif de cette thèse est de travailler sur de tels traitements et de définir une stratégie de revisite des contacts.

Pour garantir que l'AUV atteindra bien la zone à prospecter, il faut lui définir un chemin à suivre en se basant sur les données bathymétriques et les images produites par le sonar SAMDIS lors de la phase de DCL. En suivant ce chemin constitué de points d'intérêts bathymétriques successifs, l'AUV sera en mesure d'atteindre l'objet suspect par suivi et rebond d'isobathes. Cette solution de navigation, en plus d'être peu onéreuse dû à l'utilisation de capteurs bas coûts (IMU, capteur d'immersion et sonar), peut générer des chemins qui pourront alors être certifiés par des méthodes de calcul par intervalles. Nous aurons alors la garantie que le porteur sera en mesure d'atteindre la zone à prospecter. D'un point de vue opérationnel, il est important que cette garantie puisse être apportée en amont de la mission.

Sur le plan académique, le problème se formalise comme un problème d'atteignabilité. La dynamique du robot est alors décrite par une équation différentielle non-linéaire. Il s'agit de trouver une loi de commande qui permette de garantir que le système atteindra une zone cible et ceci quelques soient les incertitudes [Jaulin15]. La définition du chemin à suivre pour garantir la revisite en amont du début de la mission impose de prendre en compte les incertitudes sur les mesures alors que ces dernières n'ont pas encore été réalisées.

La représentation des incertitudes se fera sous forme ensembliste, et plus précisément à l'aide de tubes [Rohou19, Béthencourt14, LeBars12] pour représenter les trajectoires et des ensembles épais [Desrochers17] pour la représentation des zones incertaines. Cette représentation permettra de garantir les propriétés d'atteignabilité dans le pire des cas. La propagation des incertitudes se fera à l'aide de propagation de contraintes [Rohou19] en se fondant sur les outils du calcul par intervalles [Jaulin01].

## **Bibliographie :**

[Jaulin15] L. Jaulin (2015). Mobile robotics, *ISTE WILEY*, 2015.

[LeBars12] F. Le Bars, J. Sliwka, O. Reynet and L. Jaulin (2012). State estimation with fleeting data, *Automatica*, Vol. 48, number 2, pages 381-387.

[Rohou19] S. Rohou, L. Jaulin, L. Mihaylova, F. Le Bars, S. Veres (2019). Reliable Robot Localization; A Constraint-Programming Approach Over Dynamical Systems Wiley.

[Béthencourt14] A. Béthencourt and L. Jaulin (2014). Solving non-linear constraint satisfaction problems involving time-dependant functions. *Mathematics in Computer Science*, special issue on Interval methods and applications, vol. 8, number 3,4, pages 503 523.

[Desrochers17] B. Desrochers and L. Jaulin (2017). Computing a guaranteed approximation, the zone explored by a robot. *IEEE Transaction on Automatic Control*. Volume 62, Issue 1, pages 425-430.

[Jaulin01] L. Jaulin , M. Kieffer, O. Didrit and E. Walter (2001). *Applied Interval Analysis with Examples in Parameter and State Estimation, Robust Control and Robotics*, Springer-Verlag.