

# Calcul ensembliste pour la robotique marine et sous-marine

*Rapport d'avancement T0+9 mois (convention MRIS 2012-2013)*

*L. Jaulin, F. Le Bars*

*ENSTA Bretagne*

*7 juillet 2013*

## Descriptif de l'étude

Dans le cadre de cette étude, nous cherchons à réaliser des plateformes robotiques sous-marines dans le but de valider des concepts/algorithmes liés au calcul par intervalles. Les thématiques liées à ce projet sont variées : réalisation d'une mécanique simple et robuste, téléopération, autonomie, localisation et cartographie, détection et reconnaissance d'objets, collaboration entre robots...

Ce thème de recherche a été initié par la thèse DGA de Fabrice Le Bars soutenue en 2011 sur la robotique sous-marine (cartographie, localisation). Ce thème se continue à travers la thèse d'Aymeric Béthencourt en cours sur le SLAM par meute de robots et le postdoc de Vincent Drevelle sur l'exploration sous-marine par meute de robots. L'évaluation des algorithmes développés est assurée par la participation d'équipes de l'ENSTA-Bretagne à plusieurs concours ou défis dont SAUC-E (robotique sous-marine), Eurathlon (robotique terrestre) et WRSC (robots à voile).

Dans ce rapport, nous allons présenter trois événements : Le workshop SWIM qui s'est tenu à Brest début juin 2013, le concours SAUCE (robotique sous marine) qui se tient en ce moment et la journée démonstrateur, où nous avons présenté VAIMOS.

## Workshop SWIM (Small Workshop on Interval Methods)

L'objectif de SWIM est de réunir des chercheurs travaillant sur les applications des méthodes par intervalles.. SWIM s'est déjà tenu à Montpellier en 2008, Lausanne en 2009, Nantes en 2010, Bourges en 2011, Odenburg en 2012. Il est soutenu par notre groupe de travail MEA (Méthodes ensembliste pour l'automatique) du GDR MACS..En 2013 SWIM s'est tenu à Brest, ENSTA Bretagne et l'année prochaine, il se produira à Uppsala (Suède).

Cette année, il y a eu 22 exposés dont les titres sont donnés ci-dessous.

1. Experimental Validation of Interval Sliding Mode Observers for Nonlinear Systems with Bounded Measurement and Parameter Uncertainty. Luise Senkel (speaker), Andreas Rauh, and Harald Aschemann, University of Rostock, Rostock, Germany

2. Interval Methods for the Implementation of Real-Time Capable Robust Controllers for Solid Oxide Fuel Cell Systems. Andreas Rauh (speaker), Luise Senkel, Ekaterina Auer, Harald Aschemann, University of Rostock, Rostock, Germany
3. An Algorithm Approach for Model Order Reduction of Discrete Time Interval Systems. S. K. Bharadwaj (speaker), D. Kranthi Kumar, Department of Electrical Engineering, MANIT, India.
4. Model Order Reduction of Interval Systems for Mixed Methods. D. Kranthi Kumar (speaker), S. K. Nagar. Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology (BHU), Varanasi, U.
5. The Lorenz attractor exists, Warwick Tucker, Department of Mathematics, Uppsala University, Sweden-
6. Outer approximation of attractors using an interval quantization. Luc Jaulin, Lab-STICC, IHSEV, OSM, ENSTA-Bretagne, France.
7. Feedback-induced attractors in controlled aeroelastic wing and their detection via interval analysis Max Demenkov, Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
8. Numerical reproducibility in HPC: issues in interval arithmetic. Nathalie Revol, Philippe Théveny, INRIA, AriC team, LIP, ENS de Lyon, France.
9. On Implementing the C++ Interval Library libieeep1788. Marco Nehmeier, Institute of Computer Science, University of Wurzburg, Germany.
10. Current developments in the nonlinear solver SONIC. Elke Just. Applied Computer Science Group, University of Wuppertal, Germany
11. IaTestGen, a unit test generator written in Java for implementations of the upcoming IEEE P1788 interval arithmetic standard M.Jedich, M.Nehmeier, A.Dallmann, J. Wol von Gudenberg Institute of Computer Science, University of Wurzburg, Germany
12. Subsquares Approach - Simple but Efficient Scheme for Solving OILS. Jaroslav Horacek and Milan Hladik
13. Polyhedral relaxations for constraint satisfaction problems. Milan Hladik.
14. Efficient Solution of a Class of Universally Quantified Constraints. Stefan Ratschan. Institute of Computer Science · Academy of Sciences of the Czech
15. Improving Newton Existence Test. Clément Aubry. IRENav, Ecole Navale, Brest, France.
16. On Continuation Methods for Non-Linear Multi-Objective Optimization. B. Martin, A. Goldsztejn, L. Granvilliers, C. Jermann. Université de Nantes, LINA, France.
17. Classification of stable maps from a simply connected subset of  $\mathbb{R}^2$  to  $\mathbb{R}^2$ . Nicolas Delanoue, Sébastien Lagrange, Université d'Angers, France.
18. Determination of Inner and Outer Bounds of Reachable Sets, Francisco C. Rego, , Portugal.
19. Level Sets and Controls in a Two Pursuers One Evader Differential Game, S. Le Méneç, EADS/MBDA, Paris, France. S.A. Ganebny, S.S. Kumkov, , and V.S. Patsko. Institute of Mathematics and Mechanics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg.
20. Improvements on flow/guard intersection for nonlinear hybrid reachability. M. Maiga, LAAS, Toulouse, France.
21. Preview on IOLAVABE - the iSAT-ODE layer around VNODE-LP and bracketing enclosures - a nonlinear reachability library. Andreas Eggers, Nacim Ramdani, Nedialko S. Nedialkov & Martin Franz.

22. Carl von Ossietzky Universitat, Oldenburg, Germany, Université d'Orléans, PRISME, 18020 Bourges, France, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada

## Concours SAUCE

Le concours se tient au NURC (NATO Undersea Research Centre) à La Spezia en Italie en ce moment. 11 équipes participent à la compétition. Pour l'instant, seules 3 sont qualifiées dont les deux équipes de l'ENSTA Bretagne. Nous en reparlerons plus en détail dans le prochain rapport.



Photo du robot CISCRA, janvier 2013

Les épreuves se déroulent dans l'eau de mer d'une marina. La turbidité de l'eau nous empêche de voir nous-mêmes les positions des objets et nos sous-marins. Il faut que le robot s'approche pour voir les objets à détecter.



Photos d'une bouée qu'il nous faut détecter, juillet 2013.

Ce qui nous distingue des autres équipes est le fait que nous ayons 2 équipes. Cela fait 2 fois plus de problèmes à régler mais au final, on espère avoir plus de chances d'avoir un robot fonctionnel à tout moment.

Certains travaux déjà commencés vont être continués : des tests de communication acoustique ont été tentés mais le dispositif réalisé reste à valider. L'objectif est de trouver une solution plus aboutie pour pouvoir tenter une communication et collaboration entre sous-marins.

## **Journées démonstrateurs (VAIMOS)**

Ce paragraphe consiste en un bref retour d'expérience sur la participation d'une équipe de l'ENSTA Bretagne en partenariat avec l'IFREMER à l'édition 2013 des Journées Démonstrateurs qui se sont déroulées à Angers du 12 au 13 juin. L'équipe était la suivante ROUSSEAU Patrick, PRIGENT Sébastien (IFREMER), JAULIN Luc, LEBARS Fabrice, MELGUEN Maël, BROCHETON Nicolas (ENSTA Bretagne). A cette occasion, l'équipe a eu la possibilité de présenter et de faire évoluer le robot autonome VAIMOS sur le lac de Maine et ainsi, présenter à la communauté d'automaticiens venus assister à ces conférences l'avancée voire le résultat de travaux menés conjointement par l'IFREMER et l'école et qui ont abouti à la construction d'un robot voilier autonome aux performances uniques à ce jour.

Après avoir chargé le coffre du Kango de l'école et attelé le zodiac, le départ est donné à 14h00, direction le Moulin Blanc afin de rejoindre l'équipe de l'Ifremer en charge du transport de VAIMOS. Le voyage s'est déroulé sans encombre jusqu'à Angers et nous sommes arrivés au camping aux alentours de 18h30. Une zone pour des tentes et un mobil home ayant été réservés, les places ont été réparties puis les tentes installées et le matériel déchargé.



Nouveau zodiac de l'ENSTA Bretagne qui nous permettait de faire la surveillance de VAIMOS sur le lac de Maine

Mercredi matin, le zodiac et VAIMOS ont été mis à l'eau au niveau du centre nautique du lac de Maine. L'usage d'une nouvelle voile et d'un nouveau mat pour VAIMOS combiné à un vent important et à des gestes mal assurés ont entraîné l'arrachage de la prise de la station météo, le fil étant du fait d'un mat plus long nettement plus tendu. Heureusement, des réparations de fortune ont suffi à assurer la connexion et ont permis de débiter la phase de test et de démonstration sans cela clairement compromise. En fin de matinée, L. Jaulin a assuré une présentation d'une dizaine de minutes du voilier autonome VAIMOS dans le cadre défini par les journées démonstrateurs. Du fait de la présence sur le lac, des écoles de voile du centre nautique, le zodiac a assuré une protection permanente du voilier lors des manœuvres dans les zones présentant des risques de collision. Aux alentours de 15h00, en marge des démonstrations, une journaliste de l'édition locale de «Ouest France» est venue s'informer sur cet événement, son contexte et ses objectifs. Lors des démonstrations de l'après-midi, l'équipe a globalement constaté que les importants délais écoulés depuis les derniers essais et manipulations du robot voilier entraînaient quelques erreurs de manipulation et quelques oublis (Points GPS situé au niveau de la mer, bonne définition des trajectoires et des points de station, ...) néanmoins complètement transparents pour le public.

Jeudi, le temps pluvieux du matin et l'absence de démonstrations à assurer nous a permis quelques ajustements techniques sur un robot à moteur. Les démonstrations de l'après-midi ont permis de mener des essais de traction par VAIMOS d'une bouée et d'en constater l'impact quasi inexistant sur les fichiers de trace. Par ailleurs, il a été offert aux spectateurs au préalable équipés d'un gilet de sauvetage de venir en zodiac voir évoluer au plus près le robot voilier et effectuer divers ajustements de voile afin de se déplacer au mieux des consignes fournies. Globalement, la communauté scientifique présente a manifesté un intérêt certain pour cette démonstration et ce robot, ses performances aussi bien que sa taille en ayant

conquis plus d'un. La sortie de l'eau, le désarmement des bateaux et le rangement du matériel a pris en moyenne une heure. L'équipe est partie d'Angers aux alentours de 18h45 pour arriver aux alentours de 01h00 à l'ENSTA Bretagne.

- 



Montage de VAIMOS



Au camping



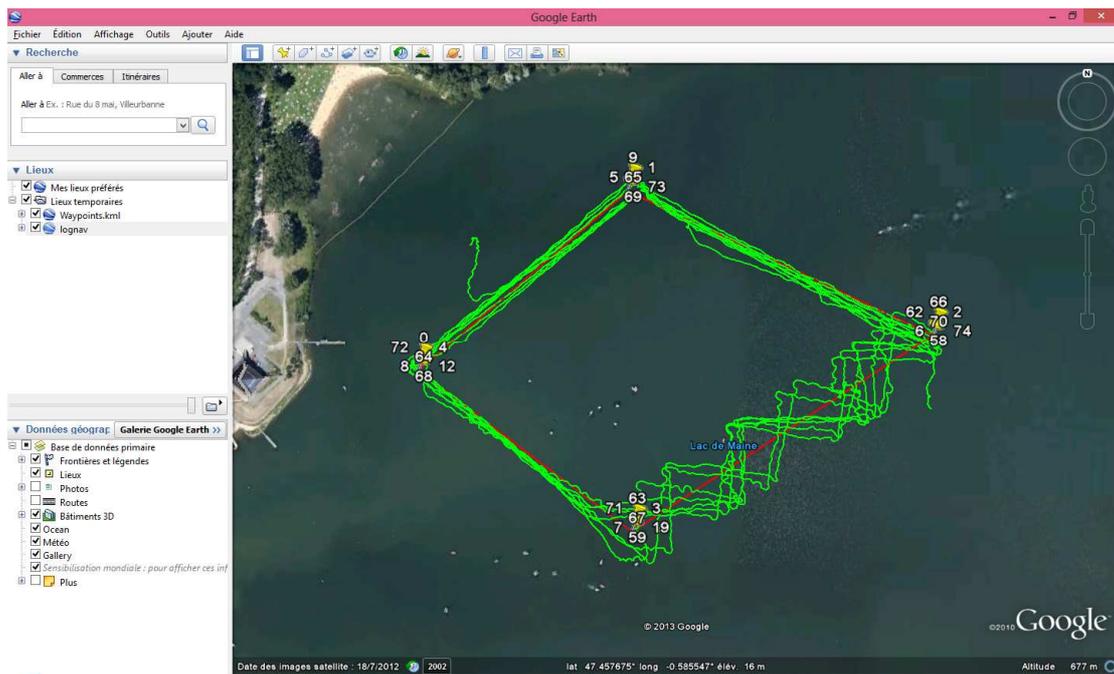
Mise à l'eau



Montage de la voile



VAIMOS tractant une bouée pour tester la robustesse de la régulation



Exemple de trace effectuée par VAIMOS



VAIMOS sur le lac de maine

Nous n'avons pas pu tester le robot bateau à moteur que nous avons développé pour la WRSC.  
Nous étions trop occupé sur VAIMOS



Robot à moteur équipé d'une caméra.