

Calcul ensembliste pour la robotique: développement de robots marins, sous marins, terrestres ou aériens pour l'exploration

Fourniture 3 (convention MRIS 2012-2013)

F. Le Bars, V. Drevelle, A. Béthencourt, M. S. Ibn Seddik, L. Jaulin

ENSTA Bretagne

04 Novembre 2013

Descriptif de l'étude

Dans le cadre de cette étude, nous cherchons à réaliser des plateformes robotiques marines, sous-marines, terrestres et aériennes dans le but de valider des concepts et algorithmes divers, notamment en utilisant des méthodes ensemblistes telles que le calcul par intervalles. Les thématiques liées à ce projet sont variées : réalisation de robots simples, peu coûteux et robustes, téléopération, autonomie, régulation, validation, localisation robuste, SLAM (Simultaneous Localization And Mapping), détection et reconnaissance d'objets, cartographie, 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 continue à travers la thèse d'Aymeric BETHENCOURT en cours sur le SLAM par meute de robots et le post-doc 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 en 2013, sous-marine en 2014) et WRSC (robots à voile et à moteur).

Voici les principaux travaux réalisés cette année :

- Robotique marine de surface : organisation et participation à la WRSC/IRSC 2013 (compétition et conférence de robotique marine de surface autonome), collaboration avec l'Ifremer pour le robot voilier autonome VAIMOS (Voilier Autonome Instrumenté pour Mesures Océanographiques de Surface), participation aux Journées Démonstrateurs 2013.
- Robots sous-marins autonomes. Comme l'année dernière, nous avons présenté 2 équipes au concours SAUC-E 2013 : une première avec les AUVs SAUC'ISSE et SARDINE utilisés les années précédentes, et une deuxième, avec un des ROVs (Remote Operated Vehicles) de la société CISCREA achetés en 2011 et que l'on a transformé en AUV (Autonomous Underwater Vehicle). Nous avons aussi effectué en Juillet le tour de l'Ile des Morts (petite ile en rade de Brest) avec ce robot en autonome.
- EURATHLON 2013. Ce nouveau concours européen (FP7) se veut l'héritier des concours ELROB et SAUC-E. En 2013, il était terrestre, puis devrait être sous-marin en 2014 et enfin terrestre, sous-marin, marin et aérien en 2015. Nous avons participé à l'épreuve d'exploration d'un tunnel enfumé avec notre robot à 6 roues (construit à l'origine pour le concours ETAS) et nous avons terminé 3^{ème} sur 10 participants à cette épreuve. Notre objectif cette année était de participer de manière minimale dans ce nouveau concours, qui a pour but de faire travailler les étudiants, chercheurs et

industriels sur des robots pouvant servir dans divers types de situations d'urgence. Ceci devrait nous permettre d'être mieux préparés à la prochaine édition, qui sera sous-marine.

- Organisation de journée de formation + conférence sur le calcul ensembliste : journée de formation à l'utilisation de la bibliothèque IBEX (<http://www.emn.fr/z-info/ibex/>) le 18 Décembre 2012 et organisation de la conférence SWIM (Small Workshop on Interval Methods) les 5-7 Juin 2013 (<http://www.ensta-bretagne.fr/swim13/>).
- Projets étudiants : Coupe de France de Robotique 2013, démonstration de l'intérêt d'une meute de robots hétérogènes pour l'exploration (collaboration entre un planeur, quadricoptère et robot terrestre), robot vélo autonome... Ces petits projets et concours sont de bons moyens pour initier les étudiants à la robotique.

Déroulement de l'année

Comme tous les ans, plusieurs étudiants, stagiaires, doctorants et personnels ont été impliqués dans les activités de robotique à l'ENSTA Bretagne. L'année a comme d'habitude commencé par une présentation des robots existants aux étudiants et des initiations aux éléments de base de nos robots les lundis et mardis soirs : programmation C sous Windows et Linux, traitement d'images de webcams, découverte d'OpenCV (bibliothèque de traitement d'images), utilisation d'Arduino pour la commande de servomoteurs, CAO (Conception Assistée par Ordinateur)... Des sujets de projets et de stages ont ensuite été proposés aux étudiants. Divers cours dans le cursus des étudiants sont aussi en lien avec la robotique et le calcul ensembliste.

Robotique marine : organisation de la WRSC/IRSC 2013 et participation aux Journées Démonstrateurs 2013 avec VAIMOS

La WRSC (World Robotic Sailing Championship) / IRSC (International Robotic Sailing Conference) est une compétition et conférence annuelle et internationale destinée à favoriser le développement de robots marins autonomes de surface et leurs applications. La nouvelle édition que l'on a organisée du 2 au 6 Septembre 2013 au Centre nautique du Moulin-Blanc à Brest (voir <http://www.ensta-bretagne.fr/wrsc13/>) avait pour nouveauté et particularité par rapport aux autres compétitions de regrouper à la fois des épreuves destinées aux robots voiliers et des épreuves destinées à tout type de robot de surface (bateaux à moteurs...). Jusqu'à maintenant, la WRSC/IRSC (voir www.roboticsailing.org) était exclusivement réservée aux robots voiliers (tout comme Sailbot, son équivalent américain, voir www.sailbot.org). La compétition Roboboat de l'AUVSI (compétition américaine, voir www.auvsifoundation.org/foundation/competitions/roboboat) propose elle des épreuves plutôt orientées bateaux à moteurs et difficiles pour des voiliers. Elle n'a pas d'équivalent européen à notre connaissance (pour l'année 2013).

Du fait de ses récentes activités en robotique marine l'ENSTA Bretagne est ressortie lors de la précédente édition comme la mieux placée pour organiser la WRSC/IRSC 2013. Les personnes qui se sont proposées pour son organisation sont Fabrice LE BARS et Luc JAULIN (ENSTA Bretagne). Les partenaires étaient :

- Centre nautique de Brest Moulin-Blanc

- Ifremer
- DGA/TN/GESMA
- Ecole Navale
- SRB

Les contrats, sponsors et subventions associés impliquaient :

- DGA/MRIS
- MBDA
- BMO
- Conseil général du Finistère
- Région Bretagne

Cet évènement avait aussi le soutien du Lab-STICC, du GDR MACS et du GDR Robotique.



Figure 1 : Zone de compétition au port du Moulin-Blanc

Les épreuves proposées mettaient en jeu des problèmes de station, vitesse, précision, évitement d'obstacles, suivi de cibles, endurance, coopération... La compétition était ouverte aux catégories de robots suivantes :

- Petits voiliers autonomes jusqu'à 1 m de long, 2 m de hauteur, 100 kg, nommée catégorie Microvoiliers (MS).
- Voiliers autonomes jusqu'à 4 m de long, 10 m de hauteur, 500 kg, nommée catégorie Voiliers (S).

- Tout type de bateaux autonomes jusqu'à 4 m de long, 10 m de hauteur, 500 kg, nommée catégorie Bateaux à moteur (M).

Il y avait 2 types d'équipes:

- Equipes étudiantes : au moins 50% d'étudiants (les doctorants étant considérés comme étudiants), un des étudiants étant Team Leader, max de 10 personnes et avoir au moins 1 robot. Leurs robots étaient classés dans le classement étudiant s'ils respectaient les règles des robots classés.
- Equipes libres : les seules contraintes sont un max de 10 personnes et avoir au moins 1 robot. Leurs robots étaient classés dans le classement libre s'ils respectaient les règles des robots classés.

7 équipes avec en tout une dizaine de robots ont participé à la compétition :

- A-TIRMA : student MS
- Aber Sailbot : student S
- Aberystwyth University: open M, (+2 spare open S)
- ENSTA Bretagne - Ifremer : open M (+spare open M), open S
- FASt : student MS, student S
- Handivoile Brest : open S
- Sailing Team Darmstadt : student MS

Tracks of robots during some tasks

Endurance task between Ronde Island and Ecole Navale



Accuracy task : make a triangle trajectory as accurately as possible



Station task : stay at the same point during some time



Obstacle avoidance task : go in the middle of a square and avoid a mobile obstacle



Figure 2 : Trajectoires pour certaines épreuves

Les prix suivants ont été attribués :

- Best open autonomous sailboat award : VAIMOS from ENSTA Bretagne - Ifremer team
- Best student autonomous sailboats award : FASt team
- Best autonomous microsailboat award : A-TIRMA team
- Best autonomous motorboat award : Aberystwyth University team
- Ecole Navale endurance special awards : VAIMOS, A-TIRMA, FASt
- Most professional student project award : Sailing Team Darmstadt
- Best open source architecture award : Aber Sailbot team
- Best mobile obstacle avoidance with an autonomous motorboat award : Motorboat from ENSTA Bretagne - Ifremer team
- Best innovation in control award : Handivoile Brest team



Figure 3 : Les robots de l'équipe ENSTA Bretagne – Ifremer : le voilier autonome VAIMOS et un bateau à moteur autonome construit cette année. VAIMOS est arrivé premier à l'épreuve d'endurance et a reçu le prix du meilleur voilier dans la catégorie open et le bateau à moteur a reçu un prix spécial pour sa réussite dans l'épreuve d'évitement d'obstacle mobile de position connue

En parallèle à la compétition, la conférence IRSC a eu lieu du 2 au 3 Septembre 2013. Les thèmes abordés étaient :

- Conception mécanique
- Organisation matérielle et logicielle
- Gestion de l'énergie
- Architectures de contrôles et algorithmes
- Planification et optimisation de trajectoire
- Evitement d'obstacles, des collisions et communication entre bateaux
- Intelligence artificielle
- Applications de la robotique marine autonome
- Aspects légaux de la robotique marine autonome
- Robotique marine autonome et enseignement
- ...

Les articles de la conférence ont été publiés dans des proceedings avec Springer.

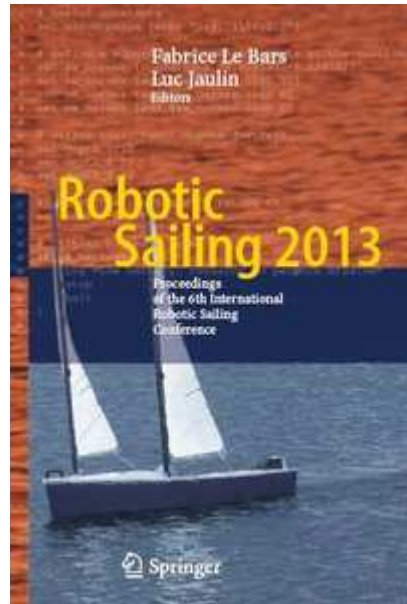


Figure 4 : Proceedings d'IRSC 2013

L'ENSTA Bretagne en partenariat avec l'Ifremer a participé à l'édition 2013 des Journées Démonstrateurs qui se sont déroulées à Angers du 12 au 13 Juin. L'équipe était la suivante : Patrick ROUSSEAU, Sébastien PRIGENT (Ifremer), Luc JAULIN, Fabrice LE BARS, Maël MELGUEN, Nicolas BROCHETON (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 et 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.



Figure 5 : VAIMOS tractant une bouée sur le Lac de Maine pour tester la robustesse de sa régulation

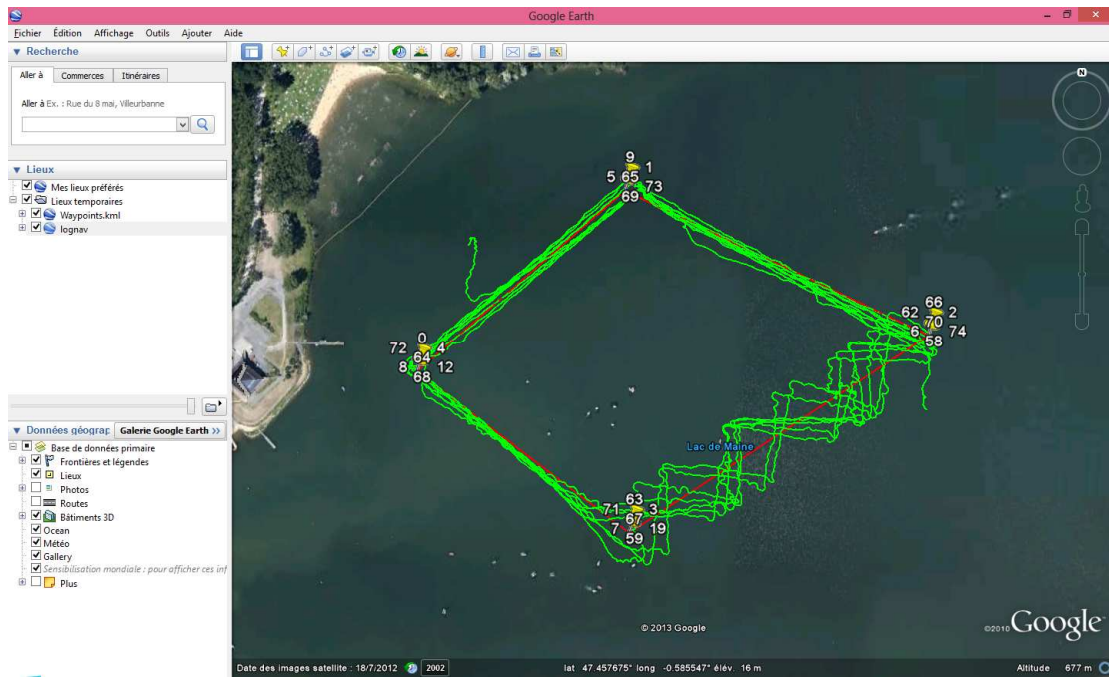


Figure 6 : Trajectoire de VAIMOS dans le Lac de Maine

Robotique sous-marine : SAUC-E 2013 et tour de l'île des Morts

Comme l'année dernière, l'ENSTA Bretagne a présenté 2 équipes au concours de robots sous-marins autonomes SAUC-E 2013 à La Spezia, Italie du 28 Juin au 5 Juillet 2012 (<http://www.sauc-europe.org>):

- Equipe 1 SAUC'ISSE et SARDINE : les 2 robots sous-marins les plus anciens, voir la vidéo de présentation sur YouTube : <http://youtu.be/QC8eIGbuWmc>



Figure 7 : SAUC'ISSE et SARDINE



Figure 8 : Equipe 1 SAUC'ISSE et SARDINE de l'ENSTA Bretagne pour SAUC'E 2013 avec le sous-marin SAUC'ISSE

- Equipe 2 CISSAU (CIScrea Sauc-e AUv's) : ROVs CISCREA achetés par l'école et modifiés pour pouvoir fonctionner en mode AUV pour réaliser les missions du concours de manière autonome, voir la vidéo de présentation sur YouTube : <http://youtu.be/-vZSaor2wLw>



Figure 9 : Mise à l'eau d'un robot CISCREA modifié pendant SAUC-E 2013

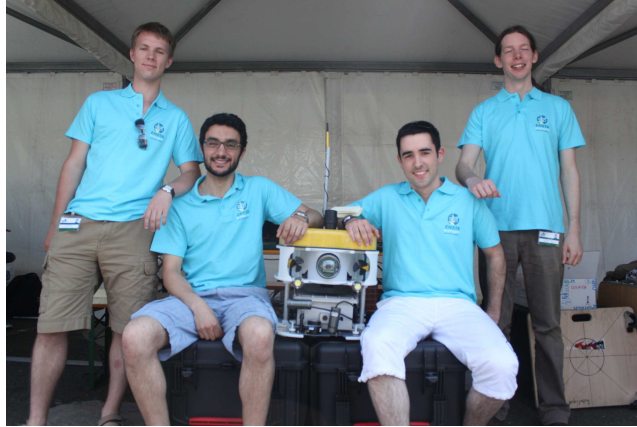


Figure 10 : Equipe 2 CISSAU de l'ENSTA Bretagne pour SAUC'E 2013

Bien que similaires à celles du concours précédent, les épreuves de cette année étaient nettement plus difficiles que d'habitude et peut-être trop ambitieuses. Sur les 11 équipes participantes, seules 3 se sont qualifiées, dont les 2 de l'ENSTA Bretagne (1^{er} SAUC'ISSE, 2^{ème} Cambridge et 3^{ème} CISSAU). Seuls SAUC'ISSE a pu effectuer un suivi complet au sonar des bords de la zone de compétition lors de l'épreuve Impress the Judges, et CISSAU a repassé le Validation Gate lors de la finale mais a perdu tous ses points en retentant la finale sans succès. Aucune équipe n'a réussi à faire plus d'épreuves dans l'eau. Malgré cela, le système de notation attribuant beaucoup de points subjectifs (sur le journal paper, présentation, sécurité...), les prix attribués ont été les suivants : 1^{er} Cambridge, 2^{ème} UWE, 3^{ème} University of Florence, "Rookie of the Year Award" pour University Polytechnic of Marche, "Persistence Award" pour University of Las Palmas de Gran Canaria, "Navigator Award" pour Heriot Watt University, et "Gambler Award" et "1st Qualifier Award" pour les 2 équipes de l'ENSTA Bretagne. Il faudra que les organisateurs revoient leur système de notation pour éviter que des équipes qui n'ont rien fait dans l'eau passent devant celles qui ont réussi des épreuves. Le fait que les règles aient été publiées très tard (au mois de Mars au lieu de Novembre d'habitude) et que celles-ci soient nettement plus complexes peuvent expliquer la non-compétition lors de la finale. De plus, la précision demandée pour réussir l'épreuve de qualification (passage du Validation Gate faisant 1 m de côté en partant d'un des bords de la zone de compétition, nécessitant un changement de cap au milieu de la zone et un trajet total d'une trentaine de m dans l'eau) était excessivement difficile.



Figure 11 : Photo d'une bouée à détecter pendant SAUC-E 2013

A la suite du concours SAUC-E, des expériences en rade Brest avec le robot CISCREA modifié ont été faites. Le tour de l'île des Morts a été fait en autonome par le sous-marin, en utilisant sa bouée GPS en surface. Des données sonar du bord de l'île ont été prises afin de préparer un autre tour de l'île en se régulant uniquement à distance constante du bord grâce au sonar (sans utiliser le GPS).

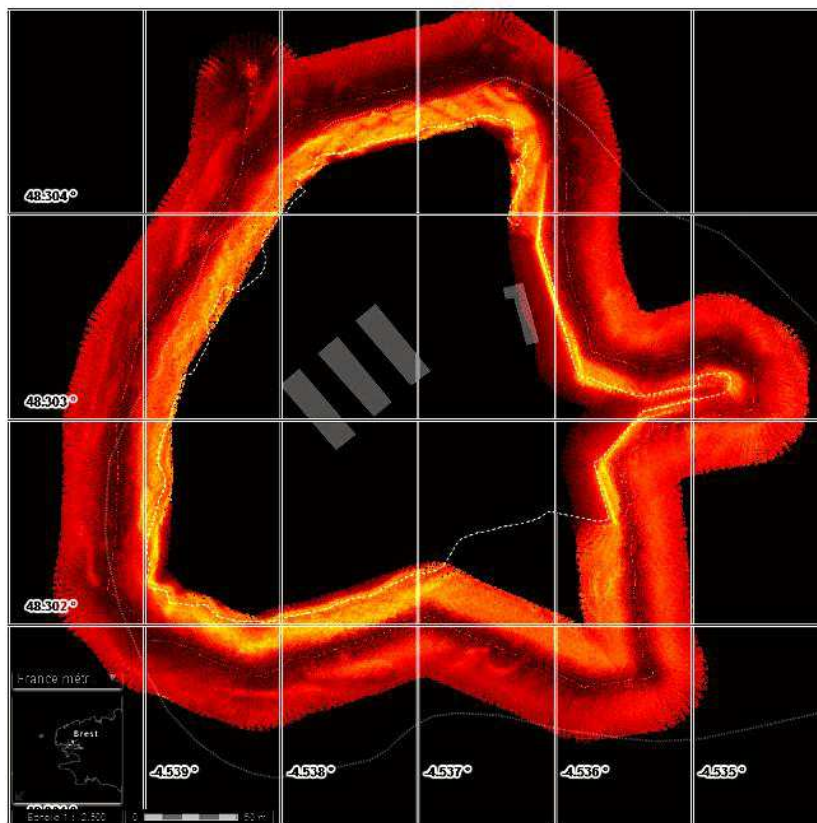


Figure 12 : Reconstitution du bord de l'île à partir des données sonar

D'autres travaux plus en lien avec les meutes de robots ont aussi été effectués. Nous développons actuellement des algorithmes utilisant l'analyse par intervalles pour calculer la position de robots sous-marins en essaims, caractériser les zones explorées de manière sûre, et définir en fonction de ces résultats quelles sont les meilleures fréquences de communication, quelles données sont intéressantes à transmettre pour gagner en précision, comment gérer la synchronisation des horloges des robots...

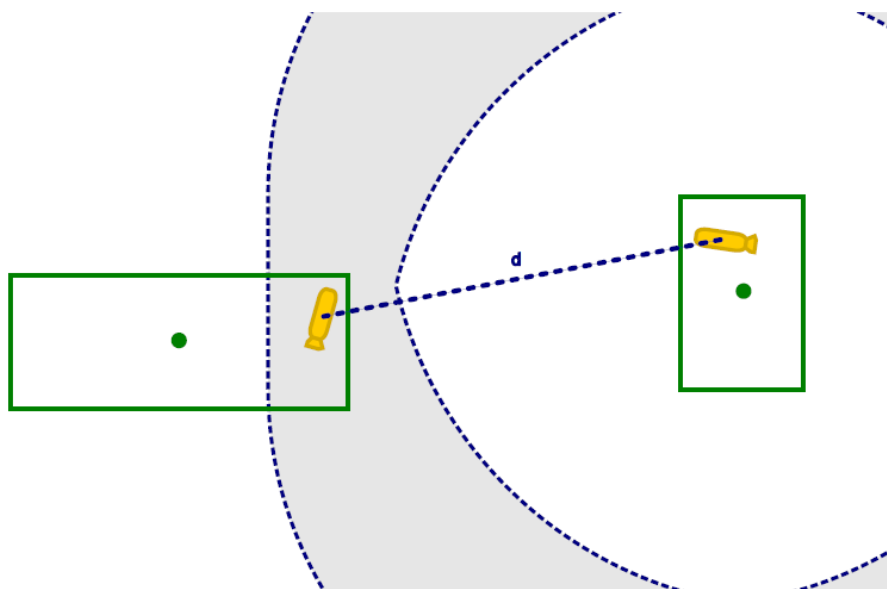


Figure 13: Robots sous-marins communiquant par acoustique lorsqu'ils sont à proximité pour améliorer leur localisation

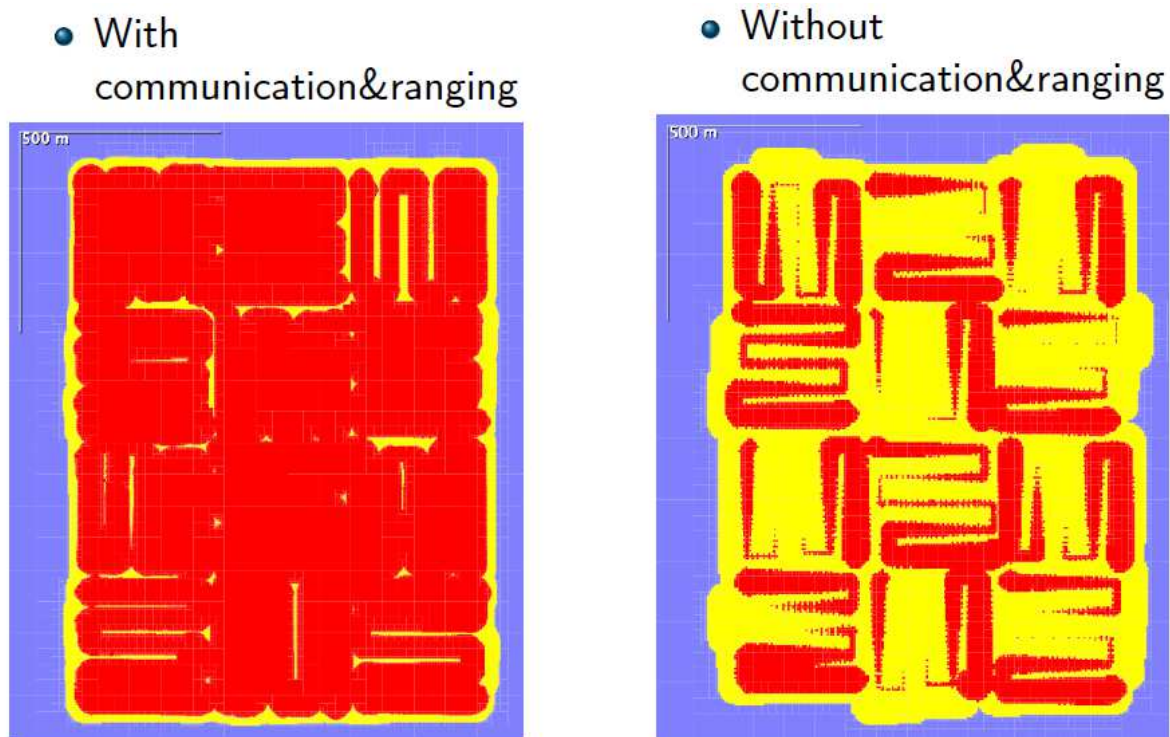


Figure 14: Caractérisation de la zone explorée de manière sûre (en rouge) et de la zone potentiellement explorée (en jaune) compte tenu des incertitudes de localisation de robots sous-marins équipés de sonars latéraux, dans une expérience simulée de quadrillage de zone

Ces travaux sont en lien avec d'autres projets à l'école, comme le projet COMET.

Concours EURATHLON

L'ENSTA Bretagne a participé le 25 Septembre 2013 au concours EURATHLON 2013 à Berchtesgaden, Allemagne. L'idée de ce concours financé par l'Union Européenne est de réunir des étudiants, chercheurs et industriels pour développer des robots capables d'assister au maximum des humains dans des situations d'urgence difficiles et dangereuses telles qu'un incendie dans un tunnel, incident dans une centrale nucléaire ou encore naufrage d'un bateau... Cette année, le concours concernait la robotique terrestre, l'année prochaine il sera sous-marin et l'année suivante devrait regrouper différents types de robots.

Nous avons terminé 3^{ème} sur 10 (1er parmi les écoles/centres de recherche) à l'épreuve "Search and rescue in a smoke-filled underground structure", seule épreuve à laquelle on s'était inscrit (voir <http://www.eurathlon2013.eu/information/competition/results.html> et <http://www.eurathlon2013.eu/information/competition/participants.html>). Le but était d'explorer un tunnel enfumé pour trouver des OPI (Objects of Potential Interests) qui étaient dans notre cas des plaques indiquant la présence de certains produits dangereux. Nous avons réutilisé et adapté notre robot à 6 roues (construit en 2005 à l'origine pour le concours ETAS) en mode téléguidé et nous avons réussi à trouver 1 OPI (les autres meilleures équipes en ayant trouvé 2 et 5) et nous avons fourni une estimation de la trajectoire du robot. La vidéo prise par le robot est ici : <http://youtu.be/81szqQOT-Fg> (d'autres vidéos montrant les tests à Brest sont aussi sur notre chaîne YouTube). Voir aussi la page Facebook du concours : <https://www.facebook.com/eurathlon>.

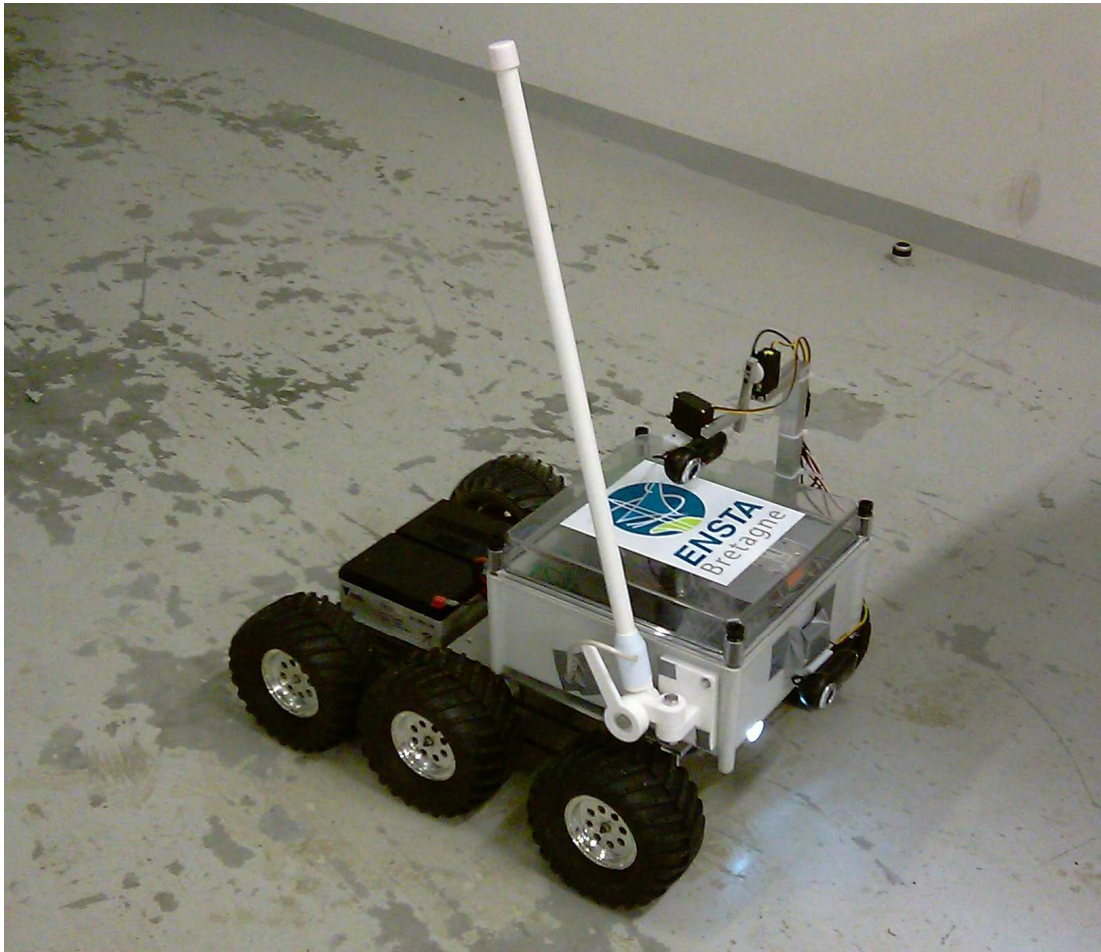


Figure 15 : Robot utilisé pour EURATHLON 2013

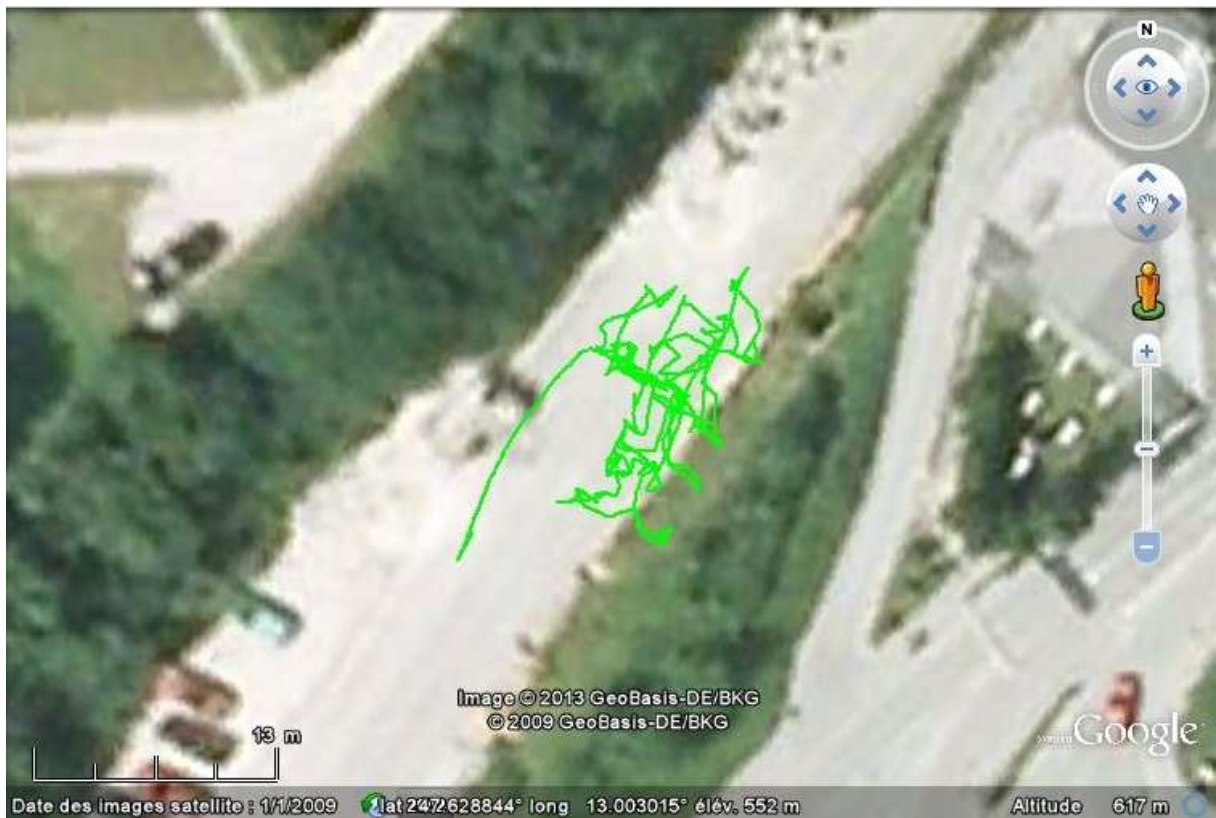


Figure 16 : Reconstitution de la trajectoire du robot dans le tunnel enfumé



Figure 17 : OPI trouvé avec le robot

Journée de formation et conférence sur le calcul ensembliste

Une journée de formation à la bibliothèque de calcul par intervalles IBEX (<http://www.emn.fr/z-info/ibex/>) a été organisée à l'ENSTA Bretagne le 18 Décembre 2012. Cette rencontre, qui a regroupé une trentaine de personnes, était dans le cadre du GT MEA (Groupe de Travail Méthodes Ensemblistes pour l'Automatique) du GDR MACS (<http://www.ensta-bretagne.fr/jaulin/MEA.html>).

A la suite de cette journée, la conférence annuelle et internationale SWIM (Small Workshop on Interval Methods) s'est tenue à l'ENSTA Bretagne les 5-7 Juin 2013 (<http://www.ensta-bretagne.fr/swim13/>). 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, Oldenburg en 2012. Il est soutenu par notre groupe de travail MEA et l'année prochaine, il se produira à Uppsala (Suède).

Cette année, il y a eu 21 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 Gutenberg 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 Republic.
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. Carl von Ossietzky Universitat, Oldenburg, Germany, Université d'Orléans, PRISME, 18020 Bourges, France, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.