

Journées Régionales Drones et Véhicules Autonomes (JRDVA)

24 & 25 avril 2025, Dunkerque

<https://jrdva.univ-littoral.fr>

Auteurs : Anaïs ZAMIARA, Isabelle BUCHARD, Serge REBOUL

I. INTRODUCTION



Les Journées Régionales Drones et Véhicules Autonomes (JRDVA) se sont déroulées à Dunkerque les Jeudi 24 et Vendredi 25 Avril 2025. Ces journées ont été organisées par l'Université du Littoral Côte d'Opale et se sont déroulées sur le site de l'École de commerce ISCID-CO à Dunkerque. L'objectif de ces journées était de faire un état des lieux des activités de recherche et développement ainsi que de l'enseignement en Région Hauts-de-France.

Elles ont concerné les chercheurs, les enseignants et les industriels de la Région Hauts-de-France. Ils ont été invités à décrire leurs travaux de recherche sous la forme de présentations orales et de posters. Le thème de ces journées concernait, la navigation autonome, les drones et les véhicules autonomes.

Ces journées ont été portées par l'Université du Littoral Côte d'Opale. Elles ont été supportées par la Région Hauts-de-France, la Communauté Urbaine de Dunkerque, la SFR Campus de la Mer, le GIS GRAISyHM, l'Ecole Universitaire de recherche IFSEA.

Les JRDVA se sont organisées autour de quatre événements permettant de dresser un état des lieux des activités dans les domaines de la navigation autonome, du développement et de l'utilisation des drones :

- Présentations orales plénières : interventions invitées et présentations de projets de recherche.
- Sessions posters : mise en avant des travaux de recherche.
- Session démonstrations : présentation de matériels et d'expérimentations.
- Table ronde : échanges entre acteurs académiques et industriels.

La journée du 24 avril a été plutôt dédiée à la présentation de travaux académiques et à la présentation de développements industriels, tandis que la journée du 25 avril était dédiée à la présentation de travaux académiques et aux actions d'enseignements. Durant ces journées nous avons accueilli 80 participants.

II. PROGRAMME

☐ JOUR 1 - JEUDI 24 AVRIL 2025

Président de session matinée : Serge Reboul

9h00-9h10 Introduction, Edmond Abi-Aad, Président de l'ULCO

9h10-9h20 Introduction, Laurent Degroote, Président du CESER Hauts-de-France

9h20-9h40 Introduction, Frédéric Motte, Président mission REV3 Hauts-de-France

9h40-10h05 "Détection, Identification et Neutralisation de Drones", Christophe Gaquière (Directeur Général MC2 Technologies-IEMN/ULille)

10h05-10h30 « Activités en Robotique Aérienne : Contributions du CRISAL et de la FR TTM aux Enjeux Technologiques et Scientifiques » Maan El Badaoui El Najjar (CRISAL, FR TTM, Ulille)

10h30-10h50 Pause Café

10h50-11h15 "Vers des flottes de drones aquatiques autonomes pour la cartographie environnementale" Éric Duviella et/ou Luc Fabresse / (IMT Nord Europe)

11h15-11h40 "Conception bio-inspirée et technologie MEMS pour les robots volants miniatures ", Sofiane Ghenna – (IEMN/UPHF)

11h40-12h05 "Caméras événementielles pour les drones ", Pascal Vasseur (MIS/UPJV)

12h00-14h00 Temps repas

Président de la session posters : Serge Reboul

12h00-14h00 session posters

Présidents de session après-midi : Philippe Richard et Serge Reboul

14h00-14h20 « Impact de Drones sur Personnes (Ground Impact Survey – Convention de Recherche DGAC), Fabien Coussa, Julien Berthe, Éric Deletombe (ONERA HdF)

14h20-14h40 "Prestations techniques et scientifiques par Drone", Laurent Thorez (Prodrone, Wimille)

14h40-15h00 "Présentation de la société ROAV7", Pierre Gaquere (ROAV7, Le Havre)

15h00-15h20 "L'utilisation des drones dans la préservation de la ressource en eau, et le contrôle des infrastructures", Pierre-Yves Lempire (Bathy Drone Solutions, Ruitz)

Animateurs de la table ronde : Philippe Richard et Serge Reboul

15h20-16h20 table ronde : " recherche et développement ; quelles interactions entre l'industrie et la recherche académique ? "

☐ JOUR 2 - VENDREDI 25 AVRIL 2025

Président de session matinée : Jean-Charles Noyer

9h00-9h15 Introduction, Sabine Duhamel, Vice-Présidente CFVU-ULCO

9h15-9h30 Recherche publique et valorisation : L'accompagnement de la SATT Nord, Salvatore Guzzo Bonifacio, Chef de projets SATT Nord TIC & IA

9h30-10h00 "Drones en Essaim pour la Surveillance des sites Industriels à Hauts Risques", François Guérin (Université Le Havre Normandie – ISEL – GREAH)

10h00-10h25 "Une approche innovante pour l'échantillonnage des microplastiques dans les eaux de surface de tous types de milieux aquatiques à l'aide d'un drone aquatique ", Rachid Amara (LOG, ULCO)

10h25-10h45 Pause-Café

10h45-11h10 « Conduire un train à distance : enjeux et intégration des contraintes de la future activité dans l'espace de travail », Philippe Richard (IRT Railenium)

11h10-11h35 "Outils MACS (Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes dynamiques) appliqués aux drones aériens : Rendre les véhicules plus sûrs, plus agiles et plus réactifs", Pedro Castillo Garcia (Laboratoire Heudiasyc UMR CNRS 7253, Université de technologie de Compiègne)

11h35-12h00 "Drones et AMR (Autonomous Mobile Robot) dans le cadre de la logistique", Éric Lefebvre (LGI2A – Université d'Artois)

12h00-14h00 Temps repas

Président de session Démonstrations: Éric Duviella, Luc Fabresse

12h00-14h00 session Démonstrations

Président de session après-midi : Michaël Hermoso

14h00-14h20 "Contraintes d'exploitation et potentiel d'observation par drone en Géomatique et Génie Urbain", Éric Masson (TVES-ULille)

14h20-14h40 « L'Environnement vu d'en haut : exemples d'insertions professionnelles d'étudiants ayant suivi la Licence Pro SBP de l'ULCO », Michaël Hermoso (LOG-ULCO)

14h40-15h00 « Parcours de formation Véhicules Autonomes à l'École d'Ingénieurs du Littoral Côte d'Opale », Georges Stienne (LISIC/ULCO)

III. DEROULEMENT DES JOURNEES

1. Session plénière

L'objectif de la session plénière était de présenter les travaux de recherche et développement dans les domaines des drones et véhicules autonome en Région Hauts-de-France. Une partie de cette session a permis aussi de présenter des enseignements académiques dispensés dans ce domaine. Durant ces journées 23 orateurs sont intervenus.

Sur les deux jours de présentations plénières, quatre entreprises, l'ensemble des universités et institutions en Hauts-de-France ont présenté leurs contributions dans ce domaine. Pour les universités étaient représentées, ULille, UPJV, UTC, UPHF, ULCO, Université Artois. Pour les institutions étaient représentés IMT Nord Europe, ONERA, IRT Railenium. Pour les entreprises étaient représentés, MC2 Technologies, Prodrone, ROAV7, Bathy Drone Solutions, John Cockerill Defense.



2. Table ronde

L'objectif de la table ronde était de partager différents points de vue sur l'évolution des véhicules autonomes dans les différents secteurs d'activités de la Région Hauts-de-France. Dans ce contexte cette table ronde a réuni différents acteurs du monde industriel et académique spécialistes des domaines d'applications tels que la surveillance, le rail, l'observation de l'environnement naturel et la technologie.

Les participants à la table ronde étaient :

- Maan El-Badaoui-El-Najjar (Professeur des Universités, CRISTAL, FR TTM, Ulille)
- Christophe Gaquiere (Directeur Général MC2 Technologies)
- Laurent Thorez (Directeur, Prodrone, Wimille)
- Baptiste Kouzoundjian (Directeur des Activités Sécurité, John Cockerill Defense France)
- Louis Delvig (Directeur scientifique, IRT RAILENIUM)
- Salvatore Guzzo Bonifacio (Chef de projets SATT Nord TIC & IA)

Les thèmes débattus dans les domaines des drones et de la navigation autonome ont été:

- ✓ Les enjeux de développement (technologiques, applications, normes,...)
- ✓ Les liens que peuvent développer le monde industriel et le monde de la recherche universitaire

- ✓ Quelles structurations en région pour créer un environnement de travail collaboratif et une visibilité sur ces activités.

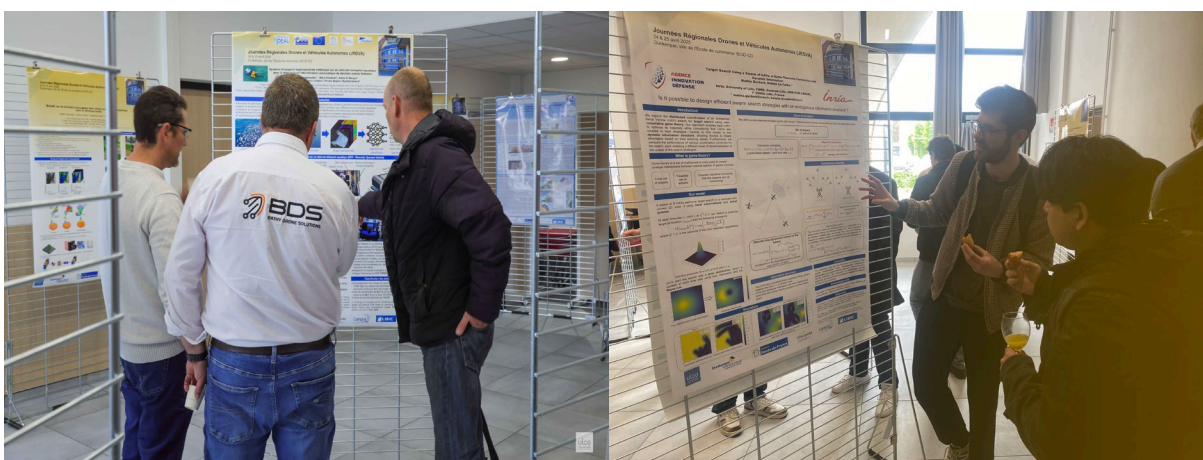


3. Session posters

Un moment important des Journées Régionales Drones et Véhicules Autonomes (JRDA) a été la session posters. Cette session a offert une opportunité aux acteurs du domaine de la Région Hauts-de-France de présenter leurs activités de recherche et de développement.

Les activités de recherche concernées sont le développement de nouvelles technologies pour les drones et l'utilisation des drones dans les diverses applications. Elles concernent notamment le développement des technologies drones mais aussi des capteurs embarqués sur les drones et du traitement de leurs données. Elles concernent aussi l'utilisation des drones et des véhicules autonomes pour l'observation, la surveillance et l'intervention. L'objectif était aussi de montrer la grande diversité en région des véhicules autonomes, terrestres aériens et aquatiques, utilisés dans les diverses applications.

Vous trouverez en annexe le recueil des résumés des présentations qui constituent les actes du colloque.





4. Session démonstrations

Dans la session démonstrations, des matériels de drones aquatiques et aériens ont été présentés ainsi que des plateformes de développement de drones.

Des matériels des entreprises PRODRONE et Bathy Drone Solution ont été présentés. Des matériels des laboratoires de l'IMT Nord Europe, du laboratoire LISIC de L'ULCO et du LEOST de l'Université Gustave Eiffel ont aussi été présentés.



***Journées Régionales Drones et Véhicules Autonomes
du 24 au 25 avril 2025 - DUNKERQUE***

BILAN FINANCIER

Dépenses		Recettes	
	HT		HT
REPAS DES MIDIS ET PAUSES CAFE BC 4500178884 - DUPONT RESTAURATION	4 680,00 €	SOUTIEN FINANCIER DU GRAISyHM	1 500,00 €
GOODIES BC 4500178154 - CECOP	208,20 €	SOUTIEN FINANCIER DU CAMPUS DE LA MER	1 325,21 €
PRESTATION DE GARDIENNAGE BC 4500178155 - ICS SECURITE	300,20 €	SOUTIEN FINANCIER ULCO	1 500,00 €
DEPLACEMENTS D'ANAÏS ZAMIARA EF 66153	70,26 €	SOUTIEN FINANCIER COMMUNAUTE URBAINE DE DUNKERQUE	1 500,00 €
DEPLACEMENTS DE SERGE REBOUL EF 66155	65,70 €	SOUTIEN FINANCIER IFSEA	432,00 €
PRISE EN CHARGE DU DEPLACEMENT DE FRANCOIS GUERIN EF 655768	319,10 €		
NUITEES DE FRANCOIS GUERIN BC 45004500178563	181,75 €		
IMPRESSION AFFICHES ET IMPRESSION ORIFLAMME BC 4500178163	432,00 €		
TOTAL DEPENSES	6 257,21 €	TOTAL RECETTES	6 257,21 €

ANNEXE 2 : ACTES DU CONGRÈS

Développement de nouvelles technologies pour les drones et l'utilisation des drones dans les diverses applications

*Résumés SESSION POSTER
(par ordre alphabétique)*

24 avril 2025

Président de la session : Serge Reboul

Vol Long-Range pour la Surveillance des Inondations

Safae Abouelouafa^{1,2}, Sarah El Hajj Chehade¹, Othmane El Attiq^{1,2}, Georges Stienne¹, Adnane Latif², Serge Reboul¹

¹Laboratoire d'Informatique, Signal et Image de la Côte d'Opale, Université Littoral Côte d'Opale, Calais, France

²Equipe Technologies de l'Information et Modélisation, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc

Cette étude examine l'intérêt de la réflectométrie aéroportée (GNSS-R) pour la télédétection à grande échelle, en particulier pour la surveillance environnementale de phénomènes tels que les inondations. L'objectif principal est de classer automatiquement différents types de surfaces (sable, eau et sol) à partir de l'analyse des signaux satellites réfléchis par ces surfaces. Notre approche s'appuie sur un algorithme robuste permettant d'évaluer le taux d'humidité des sols, d'identifier automatiquement chaque type de surface et de déterminer précisément leur localisation grâce à la détection des transitions entre ces dernières.

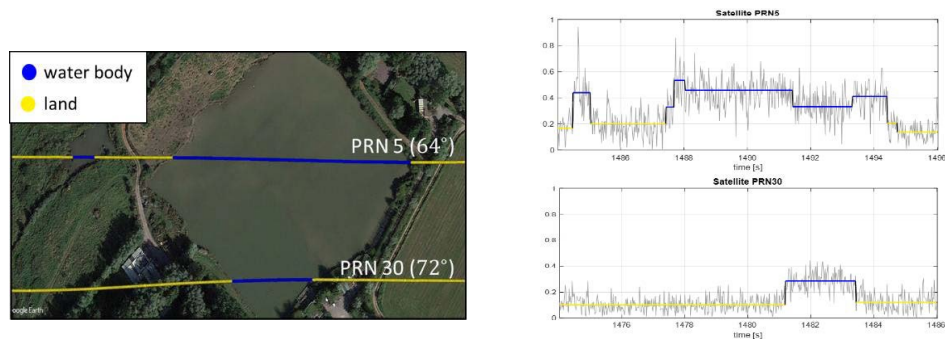


Figure 1 - La détection des différents types de surfaces

Des expérimentations aériennes ont été réalisées en 2020 et 2021 dans le nord de la France, à l'aide d'un gyrocoptère spécialement équipé pour acquérir des données GNSS-R. Le système embarqué utilisé, léger et compact, est particulièrement adapté à une intégration sur drones autonomes. Il comporte deux antennes : une antenne à polarisation circulaire droite (RHCP), placée à l'avant pour recevoir les signaux directs des satellites, et une antenne à polarisation circulaire gauche (LHCP), installée sous le gyrocoptère pour capter les signaux réfléchis par le sol. Dans ce contexte, la datation des signaux GNSS est primordiale pour localiser les surfaces réfléchissantes « les empreintes satellitaires ». Chaque signal réfléchi reçu est associé à une position géographique exacte, grâce à la synchronisation entre le temps GPS extrait directement des signaux GNSS enregistrés et celui fourni par une carte de contrôle drone. Cette carte embarquée permet d'enregistrer en continu la position, l'altitude et l'attitude du gyrocoptère avec une haute précision temporelle, à l'échelle de la milliseconde, assurant ainsi une identification précise des empreintes satellitaires tout au long du vol. De plus, elle permet un suivi rigoureux du vol sur de longues distances, tout en maintenant une continuité et exactitude élevées des mesures.

Au cours d'un vol d'environ 45 minutes au départ de l'aéroport à Calais-Dunkerque, le gyrocoptère a couvert une superficie d'environ 230 km², à une altitude moyenne de 315 mètres et à une vitesse moyenne de 95 km/h. Plus de 50 zones différentes, incluant des surfaces d'eau, des plages de sable et des zones maritimes, ont ainsi pu être analysées avec succès.

Cette expérimentation démontre clairement l'intérêt d'utiliser une plateforme aérienne compacte équipée de capteurs GNSS-R facilement adaptables sur drones autonomes, permettant ainsi la collecte des données environnementales sur de vastes régions. Notre approche offre en particulier la possibilité d'identifier automatiquement et précisément les changements intervenus à la surface du sol. Elle constitue ainsi une solution prometteuse pour des applications de surveillance environnementale, tel que les inondations, par l'analyse de l'évolution du taux d'humidité des sols.

References :

- [1] Chehade, Sarah El Hajj, Hamza Issa, Georges Stienne, and Serge Reboul. "Change Point Detection in Radar Reflectivity Measurements Contaminated by Speckle Noise." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* (2024).
- [2] Chehade, Sarah El Hajj, Hamza Issa, Georges Stienne, and Serge Reboul. "Segmentation and Classification of Airborne GNSS-R Reflectivity Signals with Speckle Noise Mitigation." In *2024 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)*, pp. 1-7. IEEE, 2024.
- [3] Issa, Hamza, Georges Stienne, Serge Reboul, Maximilian Semmling, Mohamad Raad, Ghaleb Faour, and Jens Wickert. "High-rate GNSS Reflectometry Estimates for Airborne Soil-moisture Detection." In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, pp. EGU21-11577. 2021.
- [4] Issa, Hamza, Georges Stienne, Serge Reboul, Mohamad Raad, and Ghaleb Faour. "Airborne gnss reflectometry for water body detection." *Remote Sensing* 14, no. 1 (2021): 163.

Localisation et cartographie coopératives par fusion de données multi-capteurs avec diagnostic au sein d'une flotte de robots aéro-terrestres

Clovis Adeler¹, Cindy Cappelle¹, Denis Pomorski¹, Maan El Badaoui El Najjar¹

¹Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, UMR 9189 CRISTAL, F-59000 Lille, France

Le projet ANR SOS (*Self-Organizing, Smart and safe heterogeneous robots fleet by collective emergence for a mission* / Auto-organisation adaptative et résiliente de flottes de robots hétérogènes par émergence collective pour une mission) vise à mettre en place une gestion intelligente d'une flotte de robots hétérogènes par auto-organisation adaptative à la mission, à l'environnement dynamique, aux caractéristiques spécifiques des robots et à l'état de santé effectif des robots en termes de contrôle (actionneurs), localisation, batterie, capacités, etc.

Il se concentre sur trois thématiques principales :

- l'auto-organisation résiliente d'une flotte de robots hétérogènes par émergence ;
- la commande tolérante aux fautes des robots ;
- la localisation tolérante aux fautes des robots.

Le consortium du projet est composé de deux laboratoires : CRISTAL (UMR 9189 CNRS – Université de Lille – Centrale Lille), CRAN (UMR 7039 CNRS – Université de Lorraine) et de la PME Lynxdrone.

Le travail présenté porte sur le dernier thème énuméré : la localisation tolérante aux fautes des robots. L'objectif est de doter une flotte de robots, à la fois terrestres et aériens, de capacités de localisation intègre et robuste dans un environnement non structuré.

Dans de telles conditions, les capteurs embarqués et les moyens de communication sont fréquemment exposés à des perturbations et peuvent être entachés de bruit, affectant ainsi la fiabilité des données perçues. Pour pallier ces limitations, l'approche développée exploite la redondance d'informations, qu'elles proviennent des capteurs individuels ou de la collaboration entre robots au sein de la flotte, afin de renforcer l'intégrité des données.

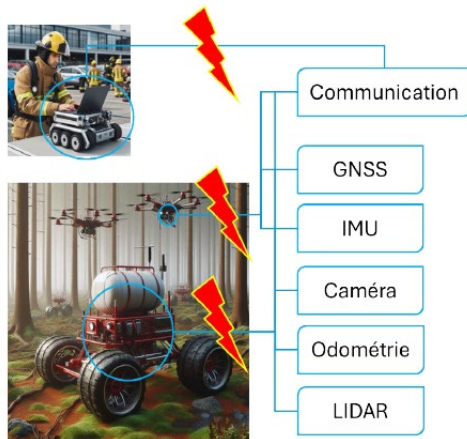


Figure 1 - Présentation de la provenance d'un défaut capteurs sur les robots de la flotte

La figure 1 présente une liste non exhaustive de ces capteurs pouvant être embarqués par un robot de la flotte. Cette redondance est valorisée à travers une fusion de données, qui permet d'améliorer la robustesse de la localisation. Toutefois, pour que cette fusion soit efficace, il est nécessaire de s'appuyer sur des données préalablement validées. Cela impose l'introduction d'une étape de diagnostic visant à détecter et isoler les défauts présents dans les données. La méthode de diagnostic proposée combine à la fois des approches basées sur des modèles physiques et des techniques orientées données.

Enfin, afin de concilier autonomie individuelle et coopération, l'architecture mise en œuvre adopte une organisation hybride : une partie des traitements est décentralisée — chaque robot devant assurer ses propres fonctions de localisation — tandis qu'une autre partie est distribuée, notamment pour des tâches collectives telles que la cartographie collaborative.

Allocation de tâches sous contraintes par commande prédictive en robotique mobile : Application à la logistique industrielle

Arnaud Belhomme¹, François Guerin¹

¹GREAH, University Le Havre Normandie, Le Havre, France

Ce travail présente une méthode d'allocation de tâches décentralisée pour des robots mobiles, basée sur une commande prédictive MPC (Model Predictive Control). Le cadre proposé prend en compte des contraintes externes telles que les demandes des opérateurs et les capacités des robots afin d'allouer les tâches de manière efficace. L'idée est que chaque robot puisse évaluer ce qu'il est capable de faire, résoudre les conflits avec les autres via un mécanisme de consensus, et ainsi choisir les tâches de manière autonome et efficace. Les résultats d'expérimentations en laboratoire avec des robots équipés de ROS confirment la performance et l'adaptabilité du système.

La logistique industrielle joue un rôle clé pour assurer la fluidité de la production, en acheminant les matériaux jusqu'aux lignes d'assemblage [1]. Pour cela, les robots mobiles sont devenus incontournables. Pourtant, les systèmes d'organisation actuels sont souvent centralisés, ce qui pose des limites en matière de flexibilité, d'extensibilité à plus grande échelle et de robustesse. Une alternative consiste à répartir les décisions de manière décentralisée, surtout quand le contrôle central n'est pas adapté à des environnements complexes ou contraints [2, 3].

Le MPC est un outil de contrôle avancé qui permet d'optimiser les choix en tenant compte des contraintes en temps réel. S'il est déjà bien implanté dans les domaines de la navigation et de la manipulation robotique [6–10], son utilisation pour l'allocation de tâches reste encore peu explorée. Différentes approches ont toutefois montré son efficacité : navigation en milieu risqué [6], planification adaptative avec incertitudes [7], manipulation en environnement non structuré [8], ou transport collaboratif d'objets [9].

Notre système repose sur une flotte de robots (R) et plusieurs postes d'opérateurs (N). Chaque robot possède ses propres caractéristiques : position, niveau de batterie, vitesse, et capacité de charge. L'objectif est que chaque robot choisisse la tâche qui lui correspond le mieux, en fonction de son état et des besoins du système. L'environnement est connecté via l'IoT : il collecte les données sur les niveaux des stations en bacs et les demandes des opérateurs en temps réel. Pour tester le système, nous avons utilisé trois robots Turtlebot3, avec ROS Noetic et la boîte à outils do-mpc [13]. Chaque robot navigue avec la technologie SLAM et partage les données de tâches via une base de données commune. Les demandes ont été simulées, et plusieurs indicateurs ont été suivis pour évaluer les performances.

L'algorithme proposé a montré sa capacité à gérer efficacement l'allocation de tâches, même dans des contextes industriels contraints. Il repose sur une évaluation en temps réel, une modélisation fine des contraintes et un mécanisme de consensus entre les robots. Il s'agit d'une solution à la fois performante et résiliente. Les travaux futurs incluent une mise en œuvre dans des systèmes industriels réels et une intégration avec l'apprentissage automatique pour une évaluation adaptative des tâches.

References :

- [1] Y. Shang, "Design of an Integrated Approach to Industrial Logistics Information Based on Supply Chain Management," *Advances in Multimedia*, 2022.
- [2] M. De Ryck et al., "Decentral task allocation for industrial AGV-systems," *Journal of Manufacturing Systems*, 2021.
- [3] P. Mahato et al., "Consensus-based fast and energy-efficient multi-robot task allocation," *Robotics and Autonomous Systems*, 2023. 1
- [4] S. Teck et al., "An efficient multi-agent approach to robot scheduling," *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2023.
- [5] N. Sharma et al., "A Review of Mobile Robots: Applications and Prospects," *IJPEM*, 2023.
- [6] K. Ryu and N. Mehr, "Predictive Motion Uncertainties in Crowds," *IEEE ICRA*, 2024.
- [7] O. M. de Groot, "Probabilistic Motion Planning in Dynamic Environments," 2024.
- [8] M. V. Minniti et al., "Interaction Control for Mobile Manipulation," *IEEE ICRA*, 2021.
- [9] I. Muhammed et al., "Multi-Robot Object Transport: MPC Approach," *IEEE MESA*, 2024.
- [10] X. Du et al., "Hierarchical Task MPC for Sequential Manipulation," *IEEE RA-L*, 2024.
- [11] E. F. Camacho and C. Bordons, *Model Predictive Control*, Springer, 2007.
- [12] J. B. Rawlings et al., *Model Predictive Control: Theory and Design*, Nob Hill Publishing, 2017.
- [13] do-mpc.com, "Model predictive control python toolbox," 2025.
- [14] A. Belhomme et al., "Decentralised Bio-inspired Task Allocation," *CoDIT*, 2024.

Jordan Caracotte¹, Antoine Caillot², Guillaume Caron^{1,2}, Matthieu Puigt³

¹Univ. Picardie Jules Verne, MIS – UR 4290, 80039 Amiens, France

²CNRS-AIST, JRL – IRL 3218, 305-0032 Tsukuba, Japon

³Univ. Littoral Côte d'Opale, LISIC – UR 4491, 62219 Longuenesse, France

Les capteurs visuels émergents offrent le potentiel d'apporter de nouveaux types d'information aux robots mobiles qui les embarquent. D'une part, si les caméras couleur (RGB) et couleur-profondeur (RGB-D) à champ de vue conventionnel sont des standards de fait pour la cartographie et la localisation simultanée (SLAM), des champs de vue plus grands ont montré leur intérêt. En effet, pour les premières, aller jusqu'à 360 degrés [2], comme pour les secondes aller jusqu'à 120 degrés [6], ont apporté plus de robustesse au SLAM par l'augmentation des chances de percevoir des amers visuels naturels, offerte par un plus grand champ de vue [4]. D'autre part, la multi-modalité des caméras RGB-D a aussi fait ses preuves, pour fixer l'échelle du SLAM notamment. Pour tous ces travaux, l'existence de jeux de données avec vérité terrain a permis d'évaluer précisément les contributions variées au fil du temps sur une base commune.

Le but de cette recherche est de construire un nouveau jeu de données afin de permettre l'introduction dans le SLAM de la nouvelle modalité qu'est l'imagerie multispectrale instantanée [1]. Contrairement aux caméras RGB usuelles, une caméra multispectrale voire hyperspectrale échantillonne le spectre de 8 à 600 fois plus finement [5], permettant d'envisager la perception de plus d'amers visuels naturels, invisibles dans les images RGB, et ainsi améliorer encore la robustesse du SLAM. Malgré les différentes modalités, des données hyperspectrales ont pu être précisément recalées sur des images RGB, y compris de champs de vue différents [3]. Ainsi, le nouveau jeu de données MuSeM combine l'imagerie multispectrale instantanée, la vision couleur conventionnelle, la vision infrarouge et de profondeur grand angle, le Lidar (Light detection and ranging) mono-nappe, l'odométrie des roues du robot mobile Pioneer 3-AT et le positionnement GNSS (GPS, Galileo) menant à 100 Go de données acquises par le robot en mouvement sur une boucle de 400 m dans les allées du Bois Bonvallet à Amiens à l'été 2024 (Fig. 1).



Figure 1 - Acquisition de données MuSeM : robot Pioneer 3-AT avec caméra multispectrale instantanée PhotonFocus, caméra RGB-D Microsoft Azure Kinect, Lidar SICK LMS200 et récepteur GNSS Trimble AG-372

References:

- [1] K. Abbas, M. Puigt, G. Delmaire, G. Roussel, "Locally-rank-one-based joint unmixing and demosaicing methods for snapshot spectral images. Part I: a matrix-completion framework," *IEEE Trans. on Computational Imaging*, vol. 10, pp. 848–862, 2024.
- [2] H.-E. Benseddik, F. Morbidi, G. Caron, "PanoraMIS: An ultra-wide field of view image dataset for vision-based robot-motion estimation", *Int. J. of Robotics Research*, vol. 39, n. 9, pp. 1037–1051, 2020.
- [3] G. Caron, S. J. Kessy, Y. Mukaigawa, T. Funatomi, "Direct alignment of narrow field-of-view hyperspectral data and full-view RGB image", *Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing*, pp. 3201–3205, 2022.
- [4] K. Chappellet, G. Caron, F. Kanehiro, K. Sakurada, A. Kheddar, "Benchmarking cameras for OpenVSLAM indoors", *Proc. of Int. Conf. on Pattern Recognition*, pp. 4857–4864, 2021.
- [5] T. Funatomi, T. Ogawa, K. Tanaka, H. Kubo, G. Caron, E. Mouaddib, Y. Matsushita, Y. Mukaigawa, "Eliminating temporal illumination variations in whisk-broom hyperspectral imaging", *Int. J. of Computer Vision*, vol. 130, pp. 1310–1324, 2022.
- [6] E. Goichon, G. Caron, P. Vasseur, F. Kanehiro, "On camera model conversions", *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 12262–12268, 2024

Télédétection hyperspectrale à l'aide d'une caméra Linescan embarquée sur drone pour l'observation environnementale

Pierre Chatelain¹, Gilles Delmaire², Matthieu Puigt², Gilles Roussel²

¹UCEIV, Univ. Littoral Côte d'Opale, Calais, France

²LISIC, Univ. Littoral Côte d'Opale, Longuenesse, France

La caméra linescan est une des plus petites caméras hyperspectrales du marché, pouvant être embarquée sur un drone, possédant de bonnes résolutions spatiales (2048 pixels de largeur) et spectrales (plus de 150 bandes de 450 à 900nm) [1]. Cette caméra est donc bien adaptée pour l'observation aéroportée de scènes environnementales (champs, forêts, estran maritime, etc). Une description du drone utilisé par le LISIC avec ses équipements illustrera deux projets actuellement en développement :

- La caractérisation spectrale du rouissage du lin sur champ (collaboration avec l'UCEIV/ULCO)
- La recherche In natura, de signatures spectrales du ble' en croissance et des feuilles des chênes plantés sur des sols pollués par les munitions de la Grande Guerre. (Collaboration avec EDYSAN/UPJV).

References:

[1] P. Chatelain, G. Delmaire, A. Alboody, M. Puigt, G. Roussel, "Semi-automatic spectral image stitching for a compact hybrid linescan hyperspectral camera. Application to remote monitoring of potatoe crop leafs in micro agriculture," Sensors, Volume 21, Issue 22, Article number 7616, special issue on "Machine Learning, Signal, and/or Image Processing Methods to Enhance Environmental Sensors", November 2021.

[2] K. Abbas, P. Chatelain, M. Puigt, G. Delmaire and G. Roussel, "Fabry-Perot Spectral Deconvolution With Entropy-Weighted Penalization", IEEE Sensors Letters, volume 8, number 9, pp 1-4, doi:10.1109/LENS.2024.3439209.

Suivi de l'évolution du rivage par stéréophotogrammétrie aéroportée par drone dans le cadre du SNO DYNALIT : exemples sur la Côte d'Opale

Olivier Cohen¹, Emmanuel Blaise¹

¹Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, France

DYNALIT est un SNO (Service National d'Observation) labellisé par le CNRS (Centre National pour la Recherche Scientifique) et l'INSU (Institut National des Sciences de l'Univers). Fondé en 2014, il regroupe environ 120 personnes : chercheurs, doctorants, ingénieurs et techniciens de différents OSU (Observatoires des Sciences de l'Univers), universités, du BRGM, du SHOM et du CEREMA.

Ce réseau d'observation étudie les dynamiques géomorphologiques et hydrodynamiques de la zone côtière en accordant une importance particulière à l'évolution du trait de côte. Un des principaux objectifs est l'acquisition, la collecte et la mise en cohérence des données métrologiques de qualité sur 30 sites du littoral métropolitain et l'outre-mer : deltas, estuaires, falaises et plages sableuses.

L'équipe Géolit (Géosciences du Littoral) du Laboratoire d'Océanologie et des Géosciences s'occupe de l'observation de l'évolution de ces sites : un de plage et dunes (à l'est de Dunkerque jusqu'à la frontière belge) et un à falaises (le secteur de la Pointe aux Oies au nord de Wimereux).

Pour étudier l'évolution de la topographie des dunes et des falaises, des levés stéréophotogrammétriques aéroportés par drone sont réalisés au moins deux fois par an sur chaque site. Le drone utilisé dispose d'un positionnement très précis grâce à un GNSS (Global Navigation Satellite System) différentiel : le positionnement en temps réel (Real Time Kinematic) est corrigé en post-traitement (Post Processed Kinematic) ; il permet d'obtenir une précision de localisation de ± 5 cm. Un plan de vol avec la même extension et les mêmes paramètres est utilisé à chaque mission afin de garantir un protocole similaire de prises de vue. La qualité de la restitution stéréophotogrammétrique est optimisée grâce à un fort recouvrement des clichés (80 % entre 2 photos successives le long d'un axe de vol, 60 % entre deux axes parallèles). La hauteur de vol des drones est entre 50 et 65 m, afin d'obtenir des Modèles Numériques de Surface (MNS) à très haute résolution spatiale (5 cm). Avant traitements ultérieurs, les MNS sont validés en comparant des points et des profils de vérification au niveau de zones invariantes dans le temps. Des profils topographiques peuvent être extraits des MNS dans un logiciel de SIG (Système d'Information Géographique).

La comparaison de MNS et des profils topographiques successifs permet de mettre en évidence l'évolution géomorphologique du rivage. Ainsi, à Zuydcoote, on montrera une accentuation de l'érosion de la dune. Au nord de Wimereux, au niveau de la Petite Pointe aux Oies, on a pu identifier que le mouvement de la falaise d'argile et de sable est de type glissement rotationnel.

References :

- [1] E. Blaise, O. Cohen, A. Trentesaux, et D. Bourdu-Devulder, « Evolution récente des falaises du Bas Boulonnais (Pas-de-Calais) : l'apport des nouvelles techniques de mesure et de la restitution en 3D », in *Actes des XVIIèmes Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil*, Chatou, Editions Paralia, 2022, p. 267-276.
- [2] O. Cohen et A. Héquette, « Recent Advances in Coastal Survey Techniques: From GNSS to LiDAR and Digital Photogrammetry - Examples on the Northern Coast of France », in *Spatial Variability in Environmental Science - Patterns, Processes, and Analyses*, Intechopen., J. Tiefenbacher et D. Poreh, Éd., London: IntechOpen, 2020, p. 91-112.
- [3] O. Cohen, K. Pikelj et E. Blaise, « Assessing Coastal Hazards Using Multivariate Statistical Analysis: Examples On Two Soft Cliffs In France And Croatia », in *Coastal Dynamics 2025 Proceedings*, Springer, 2025 (accepté).

Integration of UAV and AI for the monitoring of lugworm abundances

Alfredo Fernández-Alfías¹, Olivier Losson², Nicolas Bur³, Sylvie Marylène Gaudron^{1,4}, Sébastien Lefebvre^{1,2}

¹Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, station marine de Wimereux. Univ. Lille, Univ. Littoral Côte d'Opale, CNRS, IRD, UMR 8187, 42 Rue Paul Duez, 59000 Lille, France

²CRISTAL. Centre de Recherche en Informatique, Signal et Automatique de Lille. Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, UMR 9189, 59000 Lille, France

³LaMCube, Laboratoire de Mécanique, Multi-physique, Multi-échelle. Univ. Lille, CNRS Centrale Lille, UMR CNRS 9013, 59000 Lille, France

⁴Sorbonne Université, UFR 927, F-75005 Paris, France

The lugworms from the genus *Arenicola* provide important ecosystem services as coastal engineers contributing to nutrients recycling through sediment reworking as well as being used as bait by anglers. These organisms have been exploited over the years by recreational fishermen given their shoreline availability and the relatively capture easiness. However, the development of professional exploitation techniques can severely compromise the viability of the lugworm populations in some overexploited ecosystems, thus arising the need to monitor the populations and developing regulation measurements for their extraction. Traditional monitoring system for these organisms involves the use of extensive time in digging the worms, which live between 5 to 70 cm depth, or counting the faecal casts that they produce as a *proxy* for the real population abundance. In this work, we have developed a new methodological approach by combining the deployment of an unmanned aerial vehicle (UAV) with image analysis by means of self-trained artificial intelligence (AI) providing near real-time data on the abundance and distribution of faecal casts over the beach. This approach reduces the personnel requirement, allowing higher area coverage and an increased resolution. The implementation of this technique across the Opale coast in the French coastal area of the Eastern English Channel will allow the development of effective management measurements, ensuring the maintenance of the ecosystem services.

Filtre particulaire ensembliste par intervalles pour le suivi de cibles

Mohamed Fnadi¹, Régis Lherbier¹

¹LISIC – UR4491, Université du Littoral Côte d'Opale, France

Le filtre particulaire, méthode de Monte Carlo séquentielle, représente une approche fondamentale pour l'estimation d'état dans les systèmes autonomes. Son efficacité dépend principalement de deux paramètres critiques : le nombre de particules utilisées et la fonction de densité qui régit l'adaptation de leurs poids à chaque itération. Nous proposons une extension ensembliste du filtre particulaire classique, fondée sur une formalisation par intervalles à erreurs bornées.

Contrairement aux approches classiques utilisant des particules ponctuelles, notre méthode repose sur une représentation ensembliste par intervalles. L'algorithme s'articule autour de quatre phases clés. La phase de prédiction propage chaque particule, modélisée sous forme de boîtes d'intervalles, à travers les fonctions d'inclusion du modèle dynamique, intégrant ainsi les incertitudes du système et de la commande. En phase de correction, les intervalles sont affinés par intersection avec les mesures des capteurs ajustées dans des intervalles, en prenant en compte leurs bruits. Les poids des particules sont ajustés dynamiquement selon le recouvrement de chaque boîte avec le modèle de mesure. Une contraction dynamique resserre les bornes des intervalles pour éviter la surestimation des incertitudes, en exploitant la technique de propagation des contraintes. Enfin, un rééchantillonnage adaptatif sélectionne les particules les plus probables en fonction de leurs poids et vérifie leur diversité via un seuil de variance effective. L'état estimé est obtenu par une moyenne pondérée des centres des particules.

Notre méthode a été appliquée au suivi de cibles en environnements marins incertains, notamment pour des véhicules autonomes de surface (ASV), en utilisant la bibliothèque INTLAB1 pour le calcul par intervalles. Le système intègre un LiDAR fixe (dans le référentiel global) fournissant à chaque instant deux mesures télémétriques intervalaires bruitées : la distance et l'orientation de l'ASV par rapport au repère LiDAR. L'analyse comparative (Figure 2) entre notre approche ensembliste (IPF avec $N_p = 200$ particules) et un filtre à particules classique (PF avec $N_p = 1000$ particules) met en évidence deux atouts majeurs : (i) une réduction de 70 % du nombre de particules nécessaires, tout en garantissant une estimation certifiée et précise à partir des observations LiDAR ; (ii) un temps de calcul considérablement réduit, tout en maintenant (voire améliorant) la précision des estimations. Dans le cadre de nos travaux futurs, nous approfondirons nos simulations sur des scénarios plus complexes, tels que l'utilisation d'un LiDAR mobile embarqué sur une plateforme pour le suivi d'objets marins, avec une validation expérimentale sur des données réelles.

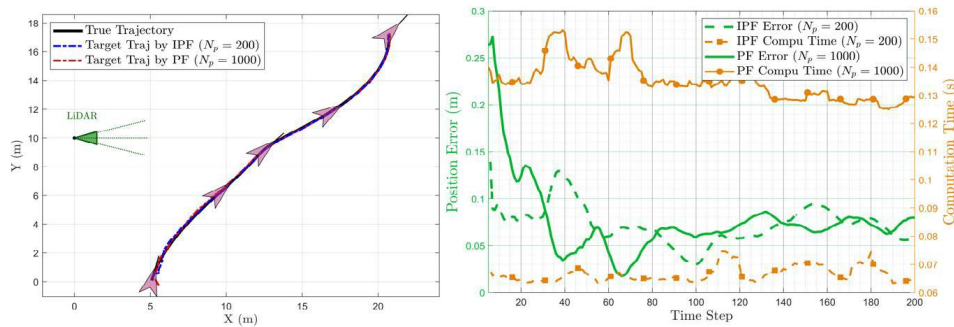


Figure 1 - Comparaison des performances de suivi d'ASV entre filtre particulaire classique (PF, $N_p=1000$), ensembliste (IPF, $N_p=200$) [Gauche] Trajectoires estimées [Droite] Erreurs de position et Temps de calcul

References :

- [1] L. Jaulin, M. Kieffer, O. Didrit, and E. Walter. Interval analysis. In: Applied interval analysis, pp. 11-43. Springer, London, 2001.
- [2] F. Abdallah, A. Gning, and P. Bonnifait. Box particle filtering for nonlinear state estimation using interval analysis. Automatica, 44(3), pp. 807-815, 2008.
- [3] A. Gning, L. Mihaylova, F. Abdallah, and B. Ristic. Particle Filtering Combined with Interval Methods for Tracking Applications. In: Integrated Tracking, Classification, and Sensor Management, pp. 43-74, 2013.
- [4] N. Merlinge, K. Dahia, H.J. Piet-Lahanier, Brusey, and N. Horri. A box regularized particle filter for state estimation with severely ambiguous and non-linear measurements. Automatica, 104, pp.102-110, 2019

¹<https://www.tuhh.de/ti3/rump/intlab/>

Target Search Using a Swarm of UAVs : a Game Formulation with Dynamic Information

Mathis Guckert¹, H       Le Cadre¹

¹Inria, Université de Lille, CNRS, Centrale Lille, UMR 9189 CRISTAL, F-59000, Lille, France

Unmanned aerial vehicles (UAVs), like drones, are at the heart of high intensity military conflicts due to their versatility and tactical capabilities. Beyond defence applications, UAV swarms are being explored for civilian tasks such as surveillance, disaster response, and environmental monitoring. One critical challenge in these applications is target search, where UAVs aim to locate hidden objects or adversaries while operating under constraints such as limited energy and communication ranges. We formulate target search by a swarm of UAVs as a dynamic game considering different coordination schemes and information structures.

The target location being unknown, it is common to use a Bayesian framework, allowing to capture dynamic information. We define the UAVs' beliefs about the target's location as a probability distribution on the search area. At each time step, based on the sensor observations and conditional target detection probability, we update the UAVs' belief using Bayes' rule.

The target search is formalized as a discrete-time dynamic game with incomplete information, in which, at each time step, the UAVs maximize their information gain while minimizing their energy consumption. Our objective is to optimize the trajectories of the UAVs by tracking the equilibria solutions of the game over time. Further, we consider two coordination schemes:

a **centralized coordination scheme** where a central unit gathers information from all UAVs and optimize their strategies to minimize the swarm's social cost;

decentralized coordination schemes where UAVs optimize their strategies based on local information. As benchmarks, we consider two extreme cases: (i) UAVs operate in stand-alone without information exchange, and (ii) UAVs can share information with others within a predefined neighborhood. Between these cases, we propose a single leader multi-follower Stackelberg game to model UAV interactions and information exchange, where a leading UAV constrains the feasibility set of the followers to enforce information exchange, giving rise to a noncooperative game with an endogenous information structure. Conjectural variations game extensions will be considered.

Simulations are conducted to evaluate and compare the performance of each coordination scheme.

Acknowledgements

This work is financially supported by the French Ministry of Armed Forces – Defence Innovation Agency.

References :

- [1] F. Bourgault, T. Furukawa, et H. F. Durrant-Whyte, « Optimal Search for a Lost Target in a Bayesian World », in *Field and Service Robotics: Recent Advances in Reserch and Applications*, S. Yuta, H. Asama, E. Prassler, T. Tsubouchi, et S. Thrun,    ., Berlin, Heidelberg: Springer, 2006, p. 209-222.
- [2] T. Ba  ar et G. J. Olsder, *Dynamic noncooperative game theory*, 2nd ed. in Classics in applied mathematics, no. 23. Philadelphia: SIAM, 1999.
- [3] B. O. Koopman, *Search and screening*. in OEG report, no. no. 56. Washington, D.C: Operations Evaluation Group, Office of the Chief of Naval Operations, Navy Dept, 1946.

Cas d'usage des drones dans l'industrie sidérurgique

Simon Trackoen, Anthony Deharte, Reda Ougasse

ArcelorMittal Dunkerque

ArcelorMittal est un acteur majeur de la sidérurgie, produisant de l'acier pour divers secteurs industriels. Le site de Dunkerque est l'une des installations majeures de l'entreprise, où l'innovation technologique joue un rôle crucial dans l'optimisation des opérations et la sécurité des travailleurs.

L'intégration des drones dans les opérations industrielles à ArcelorMittal Dunkerque a transformé notre approche de l'inspection et de la gestion des ressources. Les drones améliorent la sécurité et l'efficacité des inspections, permettent d'accéder à des zones difficiles d'accès, et réalisent des inventaires précis des matières premières, y compris l'acier recyclé. Les évolutions techniques futures, telles que la mesure d'épaisseur par drone, promettent de renforcer encore davantage nos capacités d'inspection et de maintenance.

Système d'imagerie hyperspectrale embarqué sur un véhicule téléopéré aquatique pour la détection et l'identification automatique de déchets marins flottants

Nicolas Vandenbroucke¹, Alice Porebski¹, Adam El Bergui¹
Rosa Sawan², Florence Viudes², Perine Doyen³, Rachid Amara²

¹Laboratoire d'Informatique Signal et Image de la Côte d'Opale, UR 4491, LISIC, Université du Littoral Côte d'Opale, F-62100 Calais, France

²Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, Université du Littoral Côte d'Opale, UMR 8187, LOG, CNRS, IRD, Université de Lille, F-62930 Wimereux, France

³Université du Littoral Côte d'Opale, UMRt 1158, BioEcoAgro, USC Anses, INRAe, Université d'Artois, Université de Lille, Université Picardie Jules Verne, Université de Liège, Junia, F-62200 Boulogne-sur-Mer, France

La gestion des déchets issus de l'activité humaine représente un enjeu environnemental et sanitaire majeur, notamment pour lutter contre la pollution marine. La pollution par les déchets plastiques demeure l'une des menaces environnementales les plus importantes et les plus persistantes pour les écosystèmes marins, affectant la biodiversité et la santé humaine. L'observation et la quantification de ces déchets qui polluent les environnements marins est nécessaire pour comprendre et combattre cette pollution.

Afin d'étudier cette pollution, différents équipements sont généralement utilisés pour l'échantillonnage des macro et micro plastiques dans les eaux de surface (bords de mers, plages, estuaires, zones portuaires, marais, cours d'eau, fleuve, rivière, étang, lacs, etc.). Les chercheurs du laboratoire LOG ont ainsi développé un drone aquatique muni de filets permettant cet échantillonnage [1]. Les prélèvements effectués par ces méthodes nécessitent un long et fastidieux processus d'analyse afin de déterminer la quantité et la nature exacte des plastiques présents.

Pour réduire ce temps d'analyse, le développement de solutions innovantes est nécessaire pour automatiser et standardiser l'observation de la pollution plastique dans différents environnements marins. L'imagerie hyperspectrale émerge ainsi comme une technologie récente appropriée pour caractériser, détecter et catégoriser les déchets marins automatiquement.

Dans le cadre d'une collaboration avec le LOG et l'unité BioEcoAgro, les chercheurs du laboratoire LISIC ont ainsi développé le prototype d'un véhicule téléopéré (ROV : *Remotely Operated Vehicle*) aquatique qui embarque un système d'imagerie hyperspectrale pilotable à distance pour l'observation de déchets flottant à la surface de l'eau et passant sous ce véhicule [2]. Ce système innovant est équipé d'une caméra hyperspectrale linéaire sensible dans le domaine du proche infrarouge et d'une rampe d'éclairage halogène émettant de la lumière dans ce même domaine spectral. Le dispositif optique monté sur la caméra permet de visualiser une ligne de visée devant laquelle passent les déchets. L'image hyperspectrale en deux dimensions de l'objet est alors constituée des images-lignes acquises successivement par la caméra où chaque pixel représente un spectre de la lumière réfléchi par la surface observée. L'ensemble est complété d'une unité centrale embarquée et d'un système de communication Wi-Fi longue portée permettant le contrôle à distance du système d'imagerie. Le ROV est attelé au drone aquatique du LOG afin d'obtenir un ensemble motorisé dirigeable à distance permettant son déplacement à la surface de l'eau.

Le prototype ainsi développé a d'abord été testé et validé en laboratoire [2], puis calibré dans le bassin à houle et courant de l'IFREMER avec l'équipe du LHyMAR où une première base de données d'images hyperspectrales a été acquise en condition contrôlée [3].

Les premiers essais en condition réelle sur le fleuve « la Liane » ont montré la nécessité de poursuivre le développement informatique d'une application dédiée à l'acquisition à distance, à la sauvegarde automatisée en cas de détection d'objets, à la calibration spectrale et à la correction des images, déformées par les variations de vitesse et les mouvements de l'eau ainsi que par la trajectoire des objets.

L'analyse des images hyperspectrales ainsi acquises pour la reconnaissance automatique des déchets fait l'objet de travaux de thèse basés sur une méthode d'apprentissage profond qui utilise une architecture à réseaux de neurones convolutifs adaptée à ce type d'images. L'approche originale proposée permet en effet de traiter des données massives de grande dimension avec un modèle léger qui réduit le coût calculatoire de ces réseaux. Des premiers résultats très encourageants viennent confirmer les performances de cette approche et contribuer à la lutte contre la pollution plastique.

References :

- [1] Gabriel Pasquier, Périne Doyen, Nicolas Carlesi et Rachid Amara, "An innovative approach for microplastic sampling in all surface water bodies using an aquatic drone", *Heliyon*, vol. 8, no. 1: e11662, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11662>
- [2] Ahed Alboody, Nicolas Vandenbroucke, Alice Porebski, Rosa Sawan, Florence Viudes, Perine Doyen, et Rachid Amara, "A New Remote Hyperspectral Imaging System Embedded on an Unmanned Aquatic Drone for the Detection and Identification of Floating Plastic Litter Using Machine Learning", *Remote Sensing*, vol. 15, no. 14: 3455, 2023. <https://doi.org/10.3390/rs15143455>.
- [3] Adam El Bergui, Florian Sellier, Alice Porebski, Nicolas Vandenbroucke, Périne Doyen, Rosa Swan, Florence Viudes, Guillaume Veillet, Rachid Amara, Jean-Valéry Facq et Benoît Gomez, "Benchmark dataset and classification of marine plastic waste acquired by a remote hyperspectral imaging system embedded on an aquatic drone," 5th Edition of the International Conference MICRO 2024, Septembre 2024, Lanzarote Canary Islands, Spain. <https://hal.science/hal-04978174>

Utilisation de l'imagerie hyperspectrale et thermique par vecteur drone aéroporté au Laboratoire d'Océanologie et Géosciences (LOG UMR CNRS 8187) de l'ULCO

Charles Verpoorter¹, Laurent Brutier¹

¹Université du Littoral Côte d'Opale, Univ. Lille, IRD, CNRS UMR 8187 - LOG - Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, 32 avenue Foch, Wimereux, France

L'Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO) s'engage dans le développement de la filière drone, à travers des formations et des recherches au sein de plusieurs laboratoires. Le Laboratoire d'Océanologie et Géosciences (LOG) se spécialise dans la télédétection aéroportée en milieu marin et côtier, en développant des méthodes innovantes, notamment en télédétection hyperspectrale /thermique pour étudier les milieux côtiers/estuariens etc. (équipe 3) ou sur des applications pour suivre l'évolution topographique du littoral (équipe 4). L'équipe Telhyd du LOG est reconnue pour son expertise dans l'extraction de données biogéochimiques à partir d'observations spatiales. Spécialisée sur l'analyse de la couleur de l'eau (projets CNES/ESA/Europen Horizon Landsealot, etc.), mais aussi en télédétection hyperspectrale des estrans, son étude sur des données thermiques en milieu marin n'est que récente (projets CPER IDEAL et BQR OCEAN). La télédétection acquise par vecteur aéroporté s'avère être un outil complémentaire des mesures de terrain et permet d'obtenir les informations à distance de façon synoptique pour des échelles d'observations fines. Devant l'importance écologique de nos côtes mais aussi leur vulnérabilité, une approche spatiale est proposée dans une action commune d'analyse et de cartographie des sédiments côtiers par observation hyperspectral/thermique par vecteur drone.

Ces données acquises sont essentielles pour comprendre la dynamique des écosystèmes aquatiques face aux enjeux climatique et la biodiversité. Les sédiments constituent quant à eux un compartiment clé de l'environnement marin et littoral [1, 2] leurs caractérisations physique, chimique et biologique revêtent un caractère essentiel dans un contexte de plus en plus anthropisé et très dynamique en termes de sédimentation, d'érosion ou encore de processus d'échanges. De son côté, la télédétection hyperspectrale permet d'obtenir des images cartographies quantitatives précises des constituants du littoral avec une application aux surfaces en eau, aux macroalgues [3] et au microphytobenthos [4] durant l'émersion, ou encore de la matière en suspension. Elle peut être utilisée pour mettre en place des indices de végétation, de distinguer les différents types de végétation et d'estimer quantitativement la biomasse ou encore la taille des particules des sédiments [5]. En effet, ces paramètres (e.g. composition minérale et chimique, granulométrie, teneur en eau, végétation, microalgues, algues, composés organiques) sont des indicateurs précieux de la dynamique sédimentaire et leur variabilité spatiale au cours du temps informe des processus naturels et/ou anthropiques qui en sont à l'origine et influe sur les échanges entre le substrat et la colonne d'eau. Pour répondre à ces objectifs, la plateforme aéroportée été développée au cours des programmations du CPER MARCO, CPER IDEAL, BQR ULCO, BQR ULCO OCEAN et TeleEST, Projet INSU HyperFUCUS permettant l'opérabilité des survols et mesures *in situ* et des développements méthodologiques, algorithmiques adaptés pour *in fine* réaliser un suivi quantitatif et qualitatif de la distribution des paramètres bio-géo-chimiques des sédiments pour une meilleure gestion de ces espaces.

Enfin, notre technologie drone et caméras est essentielle pour améliorer nos activités en matière de recherche et de développement en télédétection satellitaire, notamment dans le cadre du projet structurant CPER IDEAL ou du projet TOSCA CNES Trishna ou permettant de répondre à des expertises et des exercices de validation d'envergure internationale auprès des agences spatiales (ESA, CNES, etc.) et nous l'espérons, dans un futur proche, auprès des collectivités locales ou encore avec des industriels de notre territoire.

References :

- [1] Charles Verpoorter, Laurent Brutier, Augustin Leprêtre, François Gevaert, Florian Douay, et al. Utilisation de l'imagerie hyperspectrale par vecteur drone. François G. Schmitt; Anne Brisabois. Observer le monde marin, de la ressource à l'assiette : recherches marines et littorales en Côte d'Opale, Editions universitaires européennes, 2024, 978-3-8416-7831-7. (hal-04885383)
- [2] Laignel, B., Vignudelli, S., Almar, R., Becker, M., Bentamy, A., Benveniste, J., Birol, F., Frappart, F., Idier, D., Salameh, E., Passaro, M., Menende, M., Simard, M., Turki, E.I., Verpoorter, C. Observation of the Coastal Areas, Estuaries and Deltas from Space (2023) Surveys in Geophysics, .DOI: 10.1007/s10712-022-09757-6
- [3] Douay, F., Verpoorter, C., Duong, G., Spilmont, N., Gevaert, F. New Hyperspectral Procedure to Discriminate Intertidal Macroalgae (2022) Remote Sensing, 14 (2), art. no. 346, .DOI: 10.3390/rs14020346 Document Type: Article
- [4] Launeau, P., Méléder, V., Verpoorter, C., Barillé, L., Kazemipour-Ricci, F., Giraud, M., Jesus, B., Menn, E.L. Microphytobenthos biomass and diversity mapping at different spatial scales with a hyperspectral optical model (2018) Remote Sensing, 10 (5), art. no. 716 . DOI: 10.3390/rs10050716
- [5] Verpoorter, C., Carrere, V., Combe, J.-P. Visible, near-infrared spectrometry for simultaneous assessment of geophysical sediment properties (water and grain size) using the spectral derivative-modified gaussian model (2014) Journal of Geophysical