



## **PAMELi, un drone marin de surface pour étudier le littoral de façon interdisciplinaire**

**Thibault COULOMBIER<sup>1</sup>, Valérie BALLU<sup>1</sup>, Christine PLUMEJEAUD-PERREAU<sup>1</sup>, Nicolas LACHAUSSEE<sup>1</sup>, Philippe PINEAU<sup>1</sup>, Etienne POIRIER<sup>1</sup>, Antoine GUILLOT<sup>3</sup>, Michel CALZAS<sup>3</sup>, Christine DREZEN<sup>3</sup>, Lionel FICHEN<sup>3</sup>, Xavier BERTIN<sup>1</sup>, Vincent LE FOUEST<sup>1</sup>, Isabelle BRENON<sup>1</sup>, Christine DUPUY<sup>1</sup>, Guy WÖPPELMANN<sup>1</sup>, Laurent TESTUT<sup>2</sup>**

1. UMR 7266 LIENSs, CNRS/Université La Rochelle, France.  
*thibault.coulombier@univ-lr.fr*
2. UMR 5566 LEGOS, CNRS/Université de Toulouse France.
3. DT-INSU, Brest, France.

### **Résumé :**

Le littoral est un système dynamique complexe régi par les interactions entre divers processus physiques, biologiques ou humains. Mieux comprendre ces interactions nécessite l'acquisition simultanée et répétée de données de divers capteurs. PAMELi sera un drone marin destiné à acquérir des données scientifiques multidisciplinaires en domaine littoral : cet outil nourrira un système d'information spatio-temporel favorisant l'émergence de nouvelles recherches interdisciplinaires. C'est une étape indispensable, en vue de fournir des informations pertinentes à la société civile et aux pouvoirs publics et leur permettre ainsi de mieux gérer les espaces littoraux et d'anticiper leurs évolutions futures dans un contexte de changement climatique et de pression anthropique croissante.

Le drone sélectionné sera un catamaran insubmersible de 3 m de long, propulsé par 2 moteurs électriques lui apportant une autonomie de 8 h. Une commande à distance est possible via UHF, wifi ou 4G. Le drone sera également capable d'opérer en autonomie et d'effectuer une série de manœuvres définies avant ou pendant la mission. Un PC scientifique pilotera un certain nombre de capteurs (sondeur bathymétrique, centrale météo, centrale inertielle, caméra acoustique, sonde multi-paramètres, système GNSS géodésique) ainsi qu'un treuil CTD et un système de prélèvement d'eau. PAMELi se veut flexible : de l'espace sera disponible pour l'intégration permanente ou occasionnelle de nouveaux capteurs.

Différents types de missions sont envisagés (suivi de profils, cartographie, station fixe) avec un déploiement effectué depuis une cale de mise à l'eau, une plage ou un petit navire. PAMELi doit pouvoir effectuer des missions de mesure de façon régulière et est prévu pour être déployé de façon aisée par 2 personnes.

## *Thème 3 – Instrumentation, mesures, imagerie et télédétection*

La présentation abordera en détail la plus-value de l'outil PAMELi, l'architecture et les compétences du système, les capacités et les contraintes d'usage d'un drone marin ainsi que les évolutions futures.

**Mots-clés :** Génie côtier, Instrumentation, Altimétrie, Sédiments, Base de données, Environnement littoral, Drone.

### **1. Introduction et objectifs du projet**

Le projet PAMELi (Plateforme Autonome Multicapteurs pour l'Exploration Littorale interdisciplinaire) porte sur l'observation répétée des paramètres environnementaux tels que les paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau, la qualité des eaux, la hauteur d'eau et la bathymétrie précise à l'aide d'un drone marin. Ce projet sera mis en place dans un premier temps dans les Pertuis Charentais, à partir de juillet 2018. Des observations répétées permettront de répondre à un certain nombre de questions scientifiques telles que celle des échanges terre-mer de sédiments et d'eau au niveau du littoral et des estuaires en particulier, de la dispersion du panache de la Charente et des éléments qu'il transporte (contaminants tels que le nitrate qui influe sur le développement des écosystèmes, et en particulier des algues vertes), de la salinisation des estuaires et plus généralement de l'évolution du littoral. La mutualisation des sorties entre différentes disciplines favorisera l'alimentation d'une base de données interdisciplinaires : un utilisateur qui souhaite par exemple mesurer la salinité acquiert également d'autres données, qui seront post-traitées, qualifiées et archivées selon des protocoles standardisés.

### **2. Le drone PAMELi**

La construction de bases de données utiles à la compréhension des processus océanographiques nécessite des mesures nombreuses et répétitives. Gliders et bouées dérivantes (réseau Argos) enrichissent depuis les années 80 la connaissance des processus océaniques. Depuis une dizaine d'années, de petits drones maritimes apparaissent également sur les plans d'eau. Souvent au service d'une seule mesure (bathymétrie, mesure de courant ou prélèvement d'eau), ils facilitent l'accès à des environnements difficiles (rivières, lacs, réservoirs). Les acteurs de la recherche se sont également saisis de cette technologie, avec par exemple le développement d'un drone multi-capteurs à l'Ifremer (DALLEMAGNE *et al.*, 2008). Les sociétés de robotiques produisent aujourd'hui de nombreux drones innovants et autonomes: propulsés grâce aux vagues (Wave Glider, Autonaut), gonflables (Wam-V, Marinotech), multicoques (Evologics, ASVGlobal, Teledyne). Dans ce contexte, le drone PAMELi s'appuie sur les récents développements technologiques issus du privé, et sur l'expérience de la recherche dans la gestion d'acquisition de données multi-capteurs.

## 2.1 Caractéristiques

L'objectif à terme est de développer un drone scientifique flexible qui puisse naviguer en sécurité et de façon autonome (avec un retour vidéo dans les zones fréquentées et littorales), afin de remplir ses missions scientifiques.

Un cahier des charges précis a été établi par l'Université de La Rochelle, en collaboration avec la DT-INSU de Brest ; à l'issue d'une procédure de marché public, le C-CAT3 construit par la société ASV Global a été identifié comme drone support du projet. Capable d'atteindre des vitesses supérieures à 10 nœuds, le C-Cat3 possède une autonomie de 8h à 3 nœuds, des coques en polyéthylène insubmersibles et pèse 300kg pour une longueur de 3m. Facilement démontable, il est également transportable sur remorque de route. La photo de la Figure 1 présente l'appareil en situation de navigation.

Doté d'un rack de charge utile permettant l'intégration d'électronique dans sa coque centrale, il est modulable et permet l'ajout d'instruments scientifiques de manière ponctuelle et rapide. La dérive, ou bras de charge utile, permet la fixation des sondes et capteurs. Un système de treuil pour CTD ainsi qu'un système de prélèvement d'eau sont en cours de développement en collaboration avec la DT-INSU.



*Figure 1. Le C-CAT3 en navigation (source ASV).*

Certains équipements installés sur le drone PAMELi seront permanents, d'autres seront mobilisés suivant les missions, et peuvent nécessiter un pilotage à distance via le logiciel constructeur (Tableau 1). Dès sa réception en juillet 2018, le drone PAMELi portera 2 caméras, un sondeur monofaisceau, une centrale météo, un système GNSS, une sonde de surface multi paramètres (salinité, température, chlorophylle, turbidité). Dans les mois suivants, le drone devrait être équipé d'un sondeur multifaisceaux, d'une caméra acoustique, d'un système de prélèvement d'eau ainsi que d'un treuil CTD.

### Thème 3 – Instrumentation, mesures, imagerie et télédétection

Tableau 1. Equipements qui seront intégrés au drone PAMELi.

<i>Navigation</i>	<i>Scientifique</i>	
	<i>permanent</i>	<i>occasionnel</i>
<i>Centrale météo (Airmar)</i>	<i>Sonde multi paramètre (YSI)</i>	<i>Sondeur multifaisceaux</i>
<i>Centrale inertielle (Variense)</i>	<i>CTD (AML) + treuil CTD</i>	<i>Caméra acoustique</i>
<i>Compas (Maretron)</i>	<i>GNSS+ mini cycloptée</i>	<i>Courantomètre</i>
<i>GNSS de navigation</i>	<i>Préleveur d'eau</i>	<i>Autre...</i>
<i>Sondeur mono faisceau</i>		
<i>Caméra Iris x2</i>		

Le drone PAMELi sera mis à l'eau par une à deux personnes. Il sera piloté depuis la côte ou le bateau accompagnateur par un opérateur du LIENSs formé et qualifié. En l'absence de législation spécifique, une discussion est en cours avec la DDTM de Charente Maritime et le Cluster Maritime en vue de mettre en place des règles de sécurité et de bonne conduite dans le cadre du pilotage d'un navire autonome. Un certain nombre de scénarios ont été envisagés, ils correspondent à des missions répétitives avec un fort potentiel d'acquisition de données multi-capteurs.

#### 2.2 Exemples d'utilisation d'un futur drone

Le projet de cartographie par drone du niveau des eaux littorales (DroNivEauxLitt) sera un des premiers projets de recherche utilisant le futur drone marin. L'objectif est de contribuer à la calibration/validation des missions d'altimétrie satellitaires en domaine côtier (Figure 2) ainsi qu'à la validation et l'amélioration des modèles hydrodynamiques. En effet, il n'existe pour l'instant pas de données de ce type (cartographie de hauteur d'eau), à l'exception des données très ponctuelles des marégraphes qui sont situés dans des environnements spécifiques, à la côte.

Ce projet sera également l'occasion d'acquérir des données de salinité, turbidité, chlorophylle et ainsi valider le fonctionnement de l'acquisition multi-capteurs. Les données du sondeur mono-faisceau alimenteront également la base de données. Le drone devra rejoindre un point programmé avant la mission en suivant un trajet défini, rester en station au-dessus de ce point puis revenir.

Les données in-situ de hauteur de mer seront acquises à l'aide d'un système GNSS (Global Navigation Satellite System tel que le système GPS) de précision. L'évaluation de la hauteur de l'antenne au-dessus de la surface de la mer sera effectuée grâce à une mesure acoustique précise du tirant d'air en route (collaboration avec la DT-INSU de Brest). Suite à l'acquisition des données, leur traitement et leur validation sera réalisée

en comparaison avec des données de références obtenues lors de campagnes d'inter-comparaison avec une nappe tractée (CALZAS *et al.*, 2014a et 2014b) et des bouées GNSS existantes au laboratoire (ANDRE *et al.*, 2013).



Figure 2. Zone d'étude : les cercles pointillés représentent trois zones cibles d'intérêt particulier en termes de calibration/validation en altimétrie côtière.

Dans l'estuaire de la Charente, la compréhension des mouvements sédimentaires est un enjeu essentiel. Calculer des flux sédimentaires nécessite une mesure de la turbidité et de la vitesse du courant : le drone réalisera ces missions en effectuant en parallèle des prélèvements d'eau utiles à la calibration des turbidimètres (COULOMBIER *et al.*, 2013). En alimentant la base de données, les mesures de surface favorisent également la compréhension du lien entre front salin et turbidité dans cet estuaire. Les données acquises sur la Charente en 2013 ont mis en évidence la stratification de la colonne d'eau à l'aide de mesures acoustiques en surface et de profils verticaux de salinité et turbidité (figure 3). Ce type de mesure pourra être renouvelé.

Un drone marin instrumenté permettra de réaliser une cartographie environnementale sans mise en place de nombreux instruments. Dans cet environnement estuarien à petits fonds et eau turbide, les images obtenues à l'aide de la caméra acoustique pourront également être exploitées pour identifier les espèces pélagiques.

## Thème 3 – Instrumentation, mesures, imagerie et télédétection

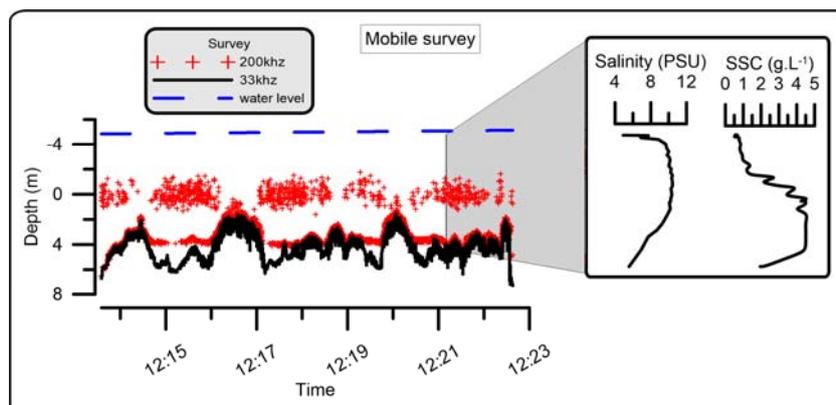


Figure 3. Mise en évidence de la stratification verticale de la Charente : sondeur bi-fréquence 33-200Khz, mesures de profils verticaux de salinité et turbidité.

### 2.3 Gestion des données

Ces nombreuses données acquises en parallèle seront centralisées dans un système d'information spatio-temporel, pour être qualifiées et redistribuées, suivant une stratégie en trois phases.

Dans la première phase, toutes les données seront archivées automatiquement sous forme de fichiers plats suivant le concept de *data lake*, déchargés du drone dans un système de fichier acceptant tout type de données, mais indexant les données par la nature de la variable mesurée et le contexte spatio-temporel de la sortie en mer. Seront également archivées, de façon non redondante, les métadonnées des capteurs ayant réalisé les mesures (valeurs d'étalonnage, dates des essais, nature du matériel, etc.). Dans la deuxième phase, la qualification et l'harmonisation des données issues des fichiers plats permettra notamment de synchroniser les mesures de tous les capteurs sur des valeurs étalon de temps et de lieu, et ces données dérivées seront réorganisées selon le modèle *Observation & Measurement*, (Cox, 2017), qui est un standard international de l'*Open Geospatial Consortium* (OGC, <http://www.opengeospatial.org/standards/om>). Cette réorganisation facilitera la troisième phase de la gestion des données : l'interfaçage et la diffusion des données qualifiées avec les portails existants grâce à la mise en place de service de données standardisés suivant les normes de l'OGC. Par exemple, les données seront diffusées sous la forme de flux via les services WFS (*Web Feature Services*) et SOS (*Sensor Observation Service*), ainsi que la mise en place d'un serveur ERDDAP (<http://oceanobservatories.org/erddap-server/>) très utilisé dans le domaine des données marines. Ce système d'information devrait favoriser l'émergence de nouvelles recherches à l'interface entre les disciplines. Les données pourront ensuite être diffusées au public, aux collectivités locales, aux chercheurs, aux gestionnaires via les services Web avec contenus géo-référencés, voire des applications web dynamiques.

### **3. Conclusion**

Les plus-values d'une acquisition multi-capteurs en zone littorale s'articulent autour de trois axes :

- Connaissances fondamentales sur des thématiques à fort enjeux environnementaux et sociétaux : le niveau marin littoral, la dynamique océanique et sédimentaire locale et leurs variations en contexte de changement climatique global.
- Développement des infrastructures et des liens recherche/collectivités locales (Observatoire de l'île d'Aix, activités pédagogiques)
- Développement d'une technologie innovante, celle des drones et en particulier les drones marins, prometteuse pour le futur.

Parallèlement à l'acquisition automatisée de données, l'originalité de ce projet est la réalisation et l'alimentation d'une base de données interdisciplinaire. Disponible pour la recherche, les gestionnaires ou encore le grand public, celle-ci apportera à des utilisateurs non spécialistes des données et indicateurs environnementaux dans la région d'étude.

### **4. Références bibliographiques**

ANDRE G., MARTIN MIGUEZ B., BALLU V., TESTUT L., WOPPLEMANN G. (2013). *Measuring sea-level with GPS-equipped buoys: a multi-instruments experiment at Aix Island*, International Hydrographic review, 10 p.

COULOMBIER T., BRENON I., TOUBLANC F. (2013). *Seasonal monitoring of sediments dynamics in a highly turbid estuary (Charente Estuary, France): source and sink of the turbidity maximum*. In : Philippe Bonneton and Thierry Garlan (eds) : *Proceedings of Coastal Dynamics 2013*, 24-28 June 2013. .

CALZAS M., BRACHET C., DREZEN C., FICHEN L., GUILLERM C., GUILLOT A., TESTUT L., BONNEFOND P. (2014a). *New technological development for CAL/VAL activities*. OST-ST Meeting, Germany, 26-31 October 2014.

CALZAS M., BRACHET C., DREZEN C., FICHEN L., GUILLERM C., GUILLOT A., TESTUT L., BONNEFOND P. (2014b). *New technological development: Tide Station, Static and Towed GPS Buoys for Altimetry Calibration*. AGU Fall Meeting, San Francisco, 15-19 December 2014.

COX S. (2017) *Ontology for observations and sampling features, with alignments to existing models*. Semantic Web Journal. Vol. 8(3), pp 453-470. <https://doi.org/10.3233/SW-160214>

DALLEMAGNE P., SÉNÉCLAUZE M., FARSEROTU J., TERCIER-WAEBER ML., CROS J, DUSSUD L., GRISEL A., MITCHESON P., MURALT P., ZEGHLACHE D (2008). *Mobesens: monitoring water quality, at large and in the long term*. In: Kooistra L., and Ligtenberg A., (eds) *Proceedings Workshop Sensing a Changing World 2008*.

*Thème 3 – Instrumentation, mesures, imagerie et télédétection*