

PROPOSITION DE SUJET POUR UN CONTRAT DOCTORAL

<p>Laboratoire : LIENSs UMR7266</p>
<p>Titre de la thèse :</p> <p>Apport des données de la mission d'altimétrie satellitaire large fauchée SWOT à la connaissance des processus dynamiques de l'océan littoral</p>
<p>Direction de la thèse <i>directeur-trice-s (grade, HDR) et éventuels co-directeur-trice-s</i></p> <p>TESTUT Laurent (PH CNAP, HDR)</p> <p>Co-encadrant</p> <p>BALLU Valérie (DR CNRS, HDR)</p>
<p>Adéquation scientifique avec les priorités de l'établissement</p> <p>Ce projet s'inscrit dans la thématique littorale de la politique scientifique de l'établissement ; à terme, en préparant l'exploitation des données d'altimétrie satellitaires du futur, il contribuera à la compréhension des processus hydrodynamiques qui affectent le littoral dans les Pertuis Charentais et plus largement sur l'ensemble de la façade maritime de la Nouvelle Aquitaine, un littoral soumis à de fortes pressions en lien avec son anthropisation croissante et le changement climatique global.</p> <p>Ce sujet de thèse contribuera à la dynamique du projet interdisciplinaire du laboratoire en créant une expertise sur les produits « océans » et « hydrologie » du nouveau satellite SWOT et en proposant au laboratoire et à l'établissement des outils et des séminaires de sensibilisation à ce nouveau jeu de données. Ce travail de thèse s'inscrit pleinement dans la dynamique de l'Institut Littoral Urbain Durable Intelligent.</p>
<p>Descriptif du sujet <i>(enjeux scientifiques, applicatifs, sociétaux...)</i></p> <p>Une partie de la dynamique littorale, et en particulier celle qui régit le transfert des éléments (polluants, nutriments, sédiments...) est très mal connue en zone littorale et pourtant cette dynamique joue un rôle prépondérant dans l'évolution des écosystèmes et de la morphologie littorale (processus d'érosion, envasement, etc...). Par exemple, dans la zone des Pertuis Charentais, la dynamique liée au mélange des eaux de la Charente avec le milieu marin est mal connue car nous ne disposons pas de données qui permettent de la suivre régulièrement ; nous manquons d'observations. C'est aussi vrai pour la dynamique océanique littorale pour laquelle nous ne disposons que de peu d'observation in situ et satellite. Le 16 décembre dernier le satellite SWOT (Surface Water Ocean Topography) a été mis en orbite depuis la base américaine de Vandenberg (https://swot.cnes.fr/fr). Ce satellite, fruit de 30 ans de collaboration entre la France et les Etats-Unis, observera l'eau à la surface de la Terre avec une définition améliorée d'un facteur 10 par rapport aux précédentes missions altimétriques (Topex/Poseidon et Jason). L'altimétrie satellitaire, née dans les années 1990, permet de mesurer en continue depuis l'espace la topographie des océans à l'échelle globale, mais elle est quasiment aveugle en zone littorale à cause de la contamination du signal radar par la présence de terre dans l'empreinte radar. Grâce à l'altimétrie satellitaire, la communauté scientifique a fait un bond en avant colossale dans la compréhension des processus physiques qui gouvernent la dynamique océanique de l'océan du large, le suivi des calottes polaires, l'élévation du niveau moyen des mers, ou encore dans la modélisation réaliste du climat par assimilation des données d'altimétrie satellitaire dans les modèles d'océan. La mission SWOT qui fait suite à une série de mission d'altimétrie conventionnelle, est dédié à la fois à l'hydrologie continental et à l'océanographie hauturière et côtière. Cela est rendu possible grâce à une rupture technologique lié à un nouvel instrument : un radar interférométrique à large fauchée. Le satellite observera la topographie des océans et des eaux de surfaces de part et d'autre de sa trajectoire sur des bandes de 50 km de large. Pour la première fois ce nouvel instrument permettra d'observer de manière quasi-globale les masses d'eaux océaniques hauturières et côtières avec une résolution jamais atteinte. Les produits « côtiers » seront distribués avec une résolution du pixel de 250 m. Cette mission permettra aussi pour la première fois de suivre plus de 95% des réservoirs d'eau terrestre en fournissant des informations de</p>

hauteur, largeur, pente et débit des rivières de plus de 100 m de large ainsi que sur la quasi-totalité des lacs. Cette mission permettra de mieux comprendre les dynamiques océaniques à fine échelle et permettra un suivi global du cycle de l'eau sur terre. La mission SWOT débutera par une phase avec une orbite répétitive à 1 jour sur un nombre réduit de traces afin de permettre **la validation et l'interprétation de ce nouveau type de données**. Aucune trace n'étant située dans la région Nouvelle-Aquitaine pour cette première phase, nous collaborerons avec une équipe du LEGOS (Toulouse et IRD Nouméa), autour d'une campagne d'acquisition de données marines conduite durant plusieurs mois en Nouvelle Calédonie, zone couverte par la phase à 1 jour. L'expertise acquise grâce à la phase à 1 jour en Calédonie sera ensuite mise à profit dans notre zone atelier niveau marin des Pertuis autour de l'instrumentation innovante que nous développons au LIENSs depuis plusieurs années (drone marin, nappes et bouées GNSS). La mission SWOT va révolutionner notre vision des eaux côtières en cartographiant la hauteur de la surface de la mer avec une résolution spatiale sans précédent.

Les encadrants de cette thèse travaillent depuis de nombreuses années avec les données d'altimétrie conventionnelle, qu'ils ont appliqués à des thématiques aussi variées que l'étude des marées océaniques (Testut *et al.* 2016), la validation des modèles hydrodynamiques côtiers (Testut *et al.*, 2012), les variations à long terme du niveau marin (Testut *et al.*, 2016) ou encore la géodésie marine (Ballu *et al.*, 2013). Nous avons avec le temps construit au LIENSs une solide expérience en altimétrie embarquée sur satellite, que nous avons développée dans les années récentes en l'appliquant aux régions littorales des Pertuis Charentais et de Nouvelle Calédonie. La reconnaissance de cette compétence se traduit dans la responsabilité du volet littoral du projet national FOAM (PI P. Bonnefond) financé par le CNES depuis 2012 et renouvelé tout les 4 ans depuis. C'est dans le cadre de ce projet que nous avons encadrés 2 doctorants : Tranchant Yann-Treden (2018-2022) et Chupin Clémence (2018-2022) qui ont développés des moyens instrumentaux innovants comme le drone marin PAMELi et des bouée GNSS (Chupin *et al.*, 2020) et des outils numériques : chaîne de traitement des données GNSS, modélisation numérique à haute-résolution des Pertuis (Tranchant *et al.*, 2021), toolbox Python, ... qui nous **permettent maintenant de mieux comprendre la physique de la mesure radar et son comportement en zones côtières** (rôle des estrans dans l'empreinte des radars, amélioration des corrections géophysiques à l'aide de modèles de vagues ou des données GNSS, ...). Des outils de programmation de campagne en mer optimisés pour le drone PAMELi ont aussi permis de mieux caractériser les erreurs des modèles de marée dans la zone macro-tidale des Pertuis Charentais (Tranchant *et al.*, 2021). Le traitement des données dans le lagon de Nouméa, nous a aussi amener à proposer à la communauté altimétrique un nouveau site de calibration absolu des altimètres qui en compte pour l'instant quatre au niveau mondial (Chupin *et al.*, 2022).

Ainsi au cours des trois dernières années, nous avons développés un certain nombre d'outils et de méthodes qui nous permettent de facilement travailler avec les données d'altimétrie (lecture des données, visualisation, traitement, ...) pour leur exploitation optimale en région côtière pour améliorer notre compréhension des processus dynamiques à l'œuvre dans ses zones (propagation de la marée, événement extrêmes et submersion, cartographie du géoïde marin).

Le travail du doctorant se fera en étroite collaboration avec les autres chercheurs du LIENSs avec des présentations régulières aux membres de l'équipe sur l'avancée de ces travaux. Une part du travail de thèse sera aussi consacré à faire connaître ces nouvelles données et à partager son expertise au niveau de l'équipe, mais plus largement au niveau du laboratoire et de l'établissement.

Au niveau national ce sujet s'inscrit dans le cadre du projet FOAM (PI : P. Bonnefond) financé par le comité TOSCA du CNES et dont l'objectif principal est la calibration et la validation des missions altimétriques dans différents contextes dynamiques (fleuves, lac, littorale, océan ouvert). Le doctorant bénéficiera aussi durant sa thèse de la dynamique et de l'expertise présente au sein du Service Nationale d'Observation SONEL (www.sonel.org), hébergé au LIENSs, qui est spécialisé dans la géodésie spatiale de grande précision, le traitement des données GNSS, la mesure in situ des niveaux d'eaux et qui vise à fournir des données du niveau de la mer de grande qualité métrologique obtenues à partir de marégraphes (niveaux relatifs de la mer) et de techniques modernes de géodésie (déplacements verticaux et niveaux absolus de la mer) pour l'étude des tendances à long terme du niveau de la mer ou la calibration d'altimètres radar embarqués sur satellite

Références :

Ballu, V., P. Bonnefond, S. Calmant, M. -N. Bouin, B. Pelletier, O. Laurain, W. C. Crawford, C. Baillard, et O. de Viron. 2013. « Using Altimetry and Seafloor Pressure Data to Estimate Vertical Deformation Offshore: Vanuatu Case Study ». *Advances in Space Research, Satellite Altimetry Calibration and Deformation Monitoring using GNSS*, 51 (8): 1335-51. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.06.009>.

Chupin, Clémence, Valérie Ballu, Laurent Testut, Yann-Treden Tranchant, Michel Calzas, Etienne Poirier, Thibault Coulombier, Olivier Laurain, Pascal Bonnefond, et Team FOAM Project. 2020. « Mapping Sea Surface Height Using New Concepts of Kinematic GNSS Instruments ». *Remote Sensing* 12 (16). <https://doi.org/10.3390/rs12162656>.

Chupin, Clémence, Valérie Ballu, Laurent Testut, Yann-Treden Tranchant, et Jérôme Aucan. 2022. « Noumea: A New Multi-Mission Cal/Val Site for Past and Future Altimetry Missions? » *EGUsphere*, juillet, 1-37.

<https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-514>.

Testut, L., F. Birol, et C. Delebecque. 2012. « Regional Tidal Modeling and Evaluation of Jason-2 Tidal Geophysical Correction ». *Marine Geodesy* 35 (SUPPL. 1): 299-313. <https://doi.org/10.1080/01490419.2012.718642>.

Testut, L., V. Duvat, V. Ballu, R.M.S. Fernandes, F. Pouget, C. Salmon, et J. Dymont. 2016. « Shoreline changes in a rising sea level context: The example of Grande Glorieuse, Scattered Islands, Western Indian Ocean ». *Acta Oecologica* 72: 110-19. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2015.10.002>.

Testut, L., et A.S. Unnikrishnan. 2016. « Improving modeling of tides on the continental shelf off the west coast of India ». *Journal of Coastal Research* 32 (1): 105-15. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00019.1>.

Tranchant, Yann-Treden, Clémence Chupin, Laurent Testut, et Valérie Ballu. 2021. « Assessing Tide Correction under Altimetry Tracks: An Innovative Validation Methodology Using USV (Unmanned Surface Vehicle) in-Situ Measurements ». *EGU21-16339. Copernicus Meetings*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-16339>.

Tranchant, Yann-Treden, Laurent Testut, Clémence Chupin, Valérie Ballu, et Pascal Bonnefond. 2021. « Near-Coast Tide Model Validation Using GNSS Unmanned Surface Vehicle (USV), a Case Study in the Pertuis Charentais (France) ». *Remote Sensing* 13 (15): 2886. <https://doi.org/10.3390/rs13152886>.

Contexte partenarial (cotutelle internationale, EU-CONEXUS, partenariat avec un autre laboratoire, une entreprise...)

Le début de la thèse se fera en collaboration avec l'UMR5566 LEGOS à Toulouse pour pouvoir bénéficier des données de la phase à un jour de SWOT qui survolera la Nouvelle-Calédonie en même temps qu'une campagne de mesure in situ (campagne SWOTALIS piloter par le LEGOS Toulouse et sur laquelle nous collaborons)

Impacts (scientifiques, technologiques, socio-économiques, environnementaux, sociétaux...)

L'impact attendu de la mission SWOT, est au moins aussi important que celui de la première mission d'altimétrie précise lancée en 1993 (TOPEX/Poseidon) qui a fondamentalement révolutionné notre compréhension de l'océan et du climat (<https://www.eumetsat.int/features/legacy-topex-poseidon>). Avec une rupture dans la technologie d'observation et, pour la première fois depuis le début de l'ère de l'observation spatiale, des mesures précises dans les zones littorales, l'impact de SWOT sur le monde scientifique devrait être énorme. Les résultats issus des analyses de ces données d'un nouveau genre auront des répercussions sur l'ensemble des acteurs de la société.

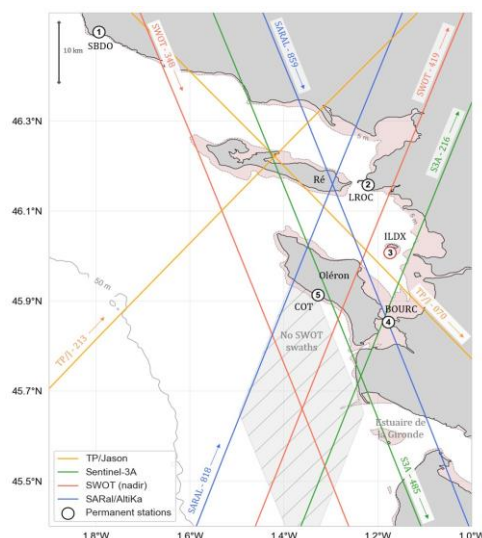
Dans le cadre de cette thèse, l'objectif est de doter l'Université et plus largement la région, d'une expertise locale sur la donnée SWOT. Les domaines d'applications de ces nouvelles données sont nombreux, parmi lesquels on peut citer : le suivi de l'évolution du niveau marin à la côte le long du littoral néo-Aquitain, l'évaluation des zones inondées lors d'évènements extrêmes, la meilleure compréhension de la dynamique des submersions marines, un bilan en continue des eaux de surfaces, ...

Programme de travail du doctorant (tâches confiées au doctorant)

Le travail du doctorant sera d'utiliser et de développer les outils existants au laboratoire pour les adapter aux jeux de données SWOT, principalement pour le produit « océan » à haute résolution (250m), mais aussi pour le produit « hydrologie ». Dans une première phase de la thèse, le doctorant s'appropriera les outils développés par l'équipe, notamment le modèle hydrodynamique haute résolution mis en place dans les Pertuis (Tranchant et al. 2021) pour être capable de lancer des simulations lors du passage du satellite. Le doctorant travaillera en premier lieu avec le jeu de données de la phase fast-sampling à 1 jour qui survole le lagon de Nouméa en Nouvelle-Calédonie. Ce jeu de données « en avant-première » ne sera accessible qu'à une petite partie de la communauté pour évaluer sur différents aspects la qualité de ces nouvelles données. Durant cette phase à 1 jour des mesures de campagnes à l'aide de nappe GNSS et bouées GNSS seront faites (campagne SWOTALIS) et serviront au doctorant à évaluer la qualité des données. Lors du basculement à la phase « science » avec une orbite à 21 jours, les données seront disponibles pour tous et sur l'ensemble du globe et sur les Pertuis (cf. Figure 1). Le doctorant mènera une étude exhaustive de la qualité des

données et des différents produits (océan large, océan côtier haute-résolution, rivière et lacs) dans la zone des Pertuis Charentais et sur certains fleuves et rivières de Nouvelle-Aquitaine.

Figure 1 : Carte des traces des principales missions d'altimétrie satellitaire qui survolent la région des Pertuis Charentais. La seule



zone non couverte par le nouveau satellite SWOT est indiquée en grisée. Les stations marégraphiques permanents sont indiquées par les chiffres entourés. Les estrans sont en roses.

En se basant sur les connaissances acquises pendant la phase « fast-sampling », le doctorant fera une analyse complète et détaillée de la plus-value scientifique des données SWOT en régions côtières. Il se basera pour cela sur l'ensemble des données (marégraphes, campagnes in-situ, données in situ, altimétrie conventionnelle, ...) acquises dans la région et sur les études produites sur la région pour la compréhension des processus littoraux (marée, vagues, géoïde, courants, ...). Le doctorant disposera de données in situ en Nouvelle-Calédonie (données de la campagne SWOTALIS) et dans les Pertuis (marégraphes côtiers, GNSS et bouée ancrée dans les pertuis sous une trace satellite). Le doctorant devra aussi mettre en place des outils d'extraction et d'analyse pour que l'utilisation des données soit disponible sur la région Nouvelle-Aquitaine pour le LIENSs (en lien avec la cellule géomatique du LIENSs) et à terme pour une communauté plus large.

Calendrier de réalisation

	ANNEE 1												ANNEE 2												ANNEE 3											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tache 1 : Prise en main des outils existants	[shaded]																																			
1a : Bibliographie + formation aux outils	[shaded]																																			
1b : Prise en main du modèle océanique des Pertuis	[shaded]																																			
Tache 2 : Analyse des données SWOT													[shaded]												[shaded]											
2a : Analyse des données de la phase à 1 jour (coll. LEGOS)													[shaded]												[shaded]											
2b : Analyse des données de la phase science													[shaded]												[shaded]											
2c : Analyse des données littoral néo-Aquitain													[shaded]												[shaded]											
Tache 4 : Rédaction																									[shaded]											
4a : Articles scientifiques																									[shaded]											
4b : Manuscrit de thèse																									[shaded]											

Accompagnement du doctorant / Fonctionnement de la thèse (accompagnement humain, matériel, financier, en particulier pour la prise en charge du fonctionnement de la thèse et des dépenses associées)

L'intégralité des frais de la thèse seront pris sur les budgets d'équipement et de fonctionnement du projet pluriannuel FOAM financé par le CNES et dédié aux activités de calibration/validation de données d'altimétrie spatiales que nous menons depuis plusieurs années.