

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Formulaire demande de financement : ARED - ISblue - ETABLISSEMENTS - ...

pour dépôt sur le serveur <https://theses.u-bretagne.fr/sml> au format **PDF**

Identification du projet

Acronyme du projet (8 caractères *maximum*) : **CICERO**

Intitulé du projet *en langue française* : Contribution de la télédétection spatiale multiangulaire au suivi et à la Compréhension de l'ÉROsion des falaises

Intitulé du projet *en langue anglaise*: Contribution of multi-angle spatial remote sensing to the monitoring and understanding of Cliff EROsion

Présentation de l'établissement porteur (bénéficiaire de l'aide régionale)

Établissement porteur du projet : Université de Bretagne Occidentale

Ecole Doctorale : EDSML SP ou MATHSTIC pour les projets ISblue

Identification du responsable du projet (futur directeur de thèse)

Nom du laboratoire d'accueil : Laboratoire Géosciences Océan (LGO)

Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/JE/...) : UMR 6538

Directeur¹ du Laboratoire : Marc-André Gutscher

Nom de l'équipe de recherche : DYNELI

Nombre HDR dans le laboratoire : 27 Nombre de thèses en cours : 27 Nombre de post-docs en cours : 7

Nom et prénom du directeur* de thèse (HDR), porteur du projet : **DELACOURT Christophe**

- e-mail : christophe.delacourt@univ-brest.fr

- Téléphone : 02-98-49-87-42

- **Publications récentes du directeur de thèse** (nb total et 5 références max au cours des 5 dernières années) : 92 publications sur Publons (<https://publons.com/researcher/2892209/christophe-delacourt/publications/>)

Letortu, P., Taouki, R., Jaud, M., Costa, S., Maquaire, O., **Delacourt, C.**, accepté. 3D reconstructions of the coastal cliff face in Normandy (France) based on oblique Pléiades imagery: assessment of ASP® and MicMac® processing chains. *International Journal of Remote Sensing*.

Jaud M., **Delacourt C.**, Le Dantec N, Ammann J., Grandjean P., Allemand P., Cocquempot L., 2021. « Potential of Imaging UAVs for Coastal Monitoring ». In *Remote Detection and Maritime Pollution*, édité par Stéphane Le Floch et Frédéric Muttin, 1re éd., 133-42. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119801849.ch10>

Jaud M., Bertin S., Beauverger M., Augereau E., **Delacourt C.**, 2020. RTK GNSS-Assisted Terrestrial SfM Photogrammetry without GCP: Application to Coastal Morphodynamics Monitoring. *Remote sensing* 12(11), 1889. <https://doi.org/10.3390/rs12111889>

Costa, S., Maquaire, O., Letortu, P., Thirard, G., Compain, V., Roulland, T., Medjkane, M., Davidson, R., Graff, K., Lissak, C., **Delacourt, C.**, Duguet, T., Fauchard, C., Antoine, R., 2019. Sedimentary Coastal Cliffs of Normandy:

¹ Ce formulaire est rédigé en style épïcène

Letortu, P., Jaud, M., Grandjean, P., Ammann, J., Costa, S., Maquaire, O., Davidson, R., Le Dantec, N., **Delacourt, C.**, 2018. Examining high-resolution survey methods for monitoring cliff erosion at an operational scale. *GIScience & Remote Sensing* 55, 457–476. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1408931>

- Expériences d'encadrement et co-encadrement de doctorants (passées et en cours)

(nom des doctorants dirigés et en cours et antérieurement, sur les 6 années passées : sujet, financement, date de soutenance, et situation professionnelle actuelle si connue)

Docteurs ayant soutenu depuis 2014 :

NOM prénom	% d'encadrement et nom du co-directeur ou co-encadrant	Type d'allocation	Date d'inscription	Date de soutenance	Insertion Professionnelle
MAZUEL Aude	20% N. Babonneau 50% S. Jorry 30%	Labex Mer – Brest + Ministère	01/10/2010	10/04/2014	Post Doctorant
FROMANT Guillaume	30% N. Le Dantec 30% F. Floc'h 40%	DGA – Brest + Ministère	01/10/2012	09/11/2015	Enseignant- chercheur à l'Université du Littoral Côte d'Opale
PETIT Tristan	40% T. Bajouk 60%	IFREMER + Labex Mer	01/10/2013	07/03/2017	Ingénieur de Recherche à Actimar Brest
LE BIVIC Réjanne	30% P. Allemand 40 % A. Quiquerez 30 %	CNES + Ministère	01/10/2013	05/07/2017	Enseignante- chercheuse à l'Université du Maryland
VARING Audrey	30% J.F. Filipot 70%	ANR + FEM	01/11/2016	01/11/2019	Post Doctorant France Energies Marines (FEM)

Doctorants en cours de formation :

NOM prénom	% d'encadrement et nom du co- directeur ou co-encadrant	Type d'allocation	Date d'inscription
VIENT Jean-Marie	30%, R. Fablet 40 % F. Jourdin 30 %	CNES + ISblue	01/10/2019
HAYOUN Clarisse	30%, France Floc'h 70%	ISblue + Ministère	01/10/2019

Co-directeur de thèse (HDR ou équivalent étranger) éventuel :

Laboratoire de recherche : (nom + code U/UMR/USR/EA/JE/...)

- e-mail :
- Téléphone :
- **Expériences d'encadrement et co-encadrement de doctorants (passées et en cours)**
(nom des doctorants dirigés et en cours et antérieurement, sur les 6 années passées : sujet, financement, date de soutenance, et situation professionnelle actuelle si connue)

Et/ou co-encadrant-e scientifique :

LETORTU Pauline

Laboratoire de recherche co-encadrant (nom + code U/UMR/USR/EA/JE/...) : LETG (Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique) UMR 6554

- e-mail : pauline.letortu@univ-brest.fr
- Téléphone : 02-90-91-55-88
- **Expériences d'encadrement et co-encadrement de doctorants (passées et en cours)**
Pas d'expérience d'encadrement doctoral.

JAUD Marion

Laboratoire de recherche co-encadrant (nom + code U/UMR/USR/EA/JE/...) : UMS 3113

- e-mail : marion.jaud@univ-brest.fr
- Téléphone : 02-98-49-88-91
- Pas d'expérience d'encadrement doctoral.

Le cas échéant, autres collaborations (co-encadrant et laboratoire concerné) :
EVELPIDOU Niki (professeure, laboratoire de géo-environnement, université nationale et kapodistrienne d'Athènes, Grèce).

Financement du projet de thèse

En cas de financement à 50 %, le cofinancement est-il déjà identifié (oui/non) : oui

Si oui, préciser la nature du cofinancement (ANR, partenaire privé, Ademe, etc.) : GIS BreTel (1/2 ARED Bretagne)

Si le cofinancement n'est pas encore confirmé, date prévue de réponse du cofinancier : semaine du 25 janvier 2021

En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée (oui/non) : oui

Si oui, laquelle : DGA

Sollicitez-vous un co-financement Is-Blue (y compris ARED Is-Blue) (oui/non) ? oui

Projet de thèse en cotutelle internationale

S'agit-il d'un projet de thèse en cotutelle internationale dans le cadre d'une convention (oui/non) : non

Si oui, préciser l'établissement pressenti (et le pays de rattachement) :

Ce projet de thèse fera-t-il l'objet d'un cofinancement international (oui/non) : non

(Rémunération du doctorant par l'établissement implanté sur le territoire régional (18 mois sur 36 mois), et l'établissement étranger, qui s'engage également à rémunérer le doctorant dans le cadre de son séjour à l'étranger, soit durant 18 mois -a minima-)

En cas de cofinancement international, préciser -si vous en avez connaissance- l'organisation du calendrier des périodes de séjour :

Préciser quel est le stade du projet international (joindre une lettre d'engagement du partenaire)

Résumé du projet (4000 caractères maxi espaces compris) :

La thèse porte sur la contribution de la télédétection spatiale multiangulaire (Pléiades et Pléiades Neo) au suivi et à la compréhension de l'érosion des falaises. Cette thèse analysera différents types de falaises (meubles et rocheuses), situées dans différentes régions. Seront ainsi étudiées des falaises meubles en Bretagne (qui représentent 20 % du linéaire côtier breton) et des falaises rocheuses calcaires en Normandie et sur l'île de Zakynthos (Grèce). Sur ces trois sites, les falaises reculent rapidement (> 10 cm/an) et menacent des enjeux implantés à proximité de la falaise (personnes, biens, activités, réseaux...). Cela soulève des questions scientifiques, sociétales et politiques sur la gestion et l'aménagement du littoral, et ce, dans un contexte de changement global. L'échelle synoptique des images satellites (en cohérence avec l'échelle de gestion du littoral, qui va de quelques km à centaines de km), le nombre croissant de satellites et la répétitivité des acquisitions propices au suivi saisonnier et événementiel, ainsi que la très haute résolution (THR) des images et la grande agilité des satellites (capables d'acquérir des images obliques variées) sont autant de critères qui offrent de nouvelles perspectives en termes de suivi des évolutions des côtes à falaises, et notamment du front de falaise, référentiel jusque-là impossible à étudier à partir d'images acquises au nadir. Le projet EROFALITT (EROSion des FAlaises du LITToral normand), financé par le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) et coordonné entre 2016 et 2020 par P. Letortu, a permis de démontrer le potentiel de l'imagerie spatiale THR et agile dans le suivi et la compréhension de l'érosion des falaises. Le sujet de thèse proposé ici permettra de préciser cette contribution en étudiant (1) le suivi pluridécennal des vitesses de recul du haut de falaise par imagerie aérienne et spatiale THR sous SIG (Systèmes d'Information Géographique) ; (2) la détection semi-automatique de mouvements gravitaires par apprentissage statistique (type Machine Learning) afin de suivre les rythmes et les modalités d'éboulement ; (3) la reconstruction 3D par stéréorestoration des zones de changement potentielles afin de calculer l'érosion du front de falaise (vitesses de recul complémentaires de celles mesurées en haut de falaise, informations sur la diffusion spatiale et temporelle de l'instabilité des parois) ; (4) la comparaison des dynamiques d'érosion entre les différents sites étudiés et la proposition d'hypothèses permettant d'expliquer ces différences. Par ailleurs, une attention particulière sera portée à la dissémination des méthodes et des résultats auprès des élus et des gestionnaires afin d'intégrer durablement le jeu de données d'imagerie spatiale dans une « boîte à outils » pour une gestion pérenne des territoires côtiers. Il s'agira également d'améliorer la prise en compte des données satellites dans le cadre des services d'observations dédiés au trait de côte (par ex. le Service National d'Observation Dynalite), labellisés par les organismes de recherche nationaux et européens.

Présentation détaillée du projet :

1 - Hypothèse et questions posées, état de l'art, identification des points de blocages scientifiques (4000 caractères maxi espaces compris)

L'érosion des falaises (qui représentent 52 % du linéaire côtier mondial, Young et Carilli, 2019) est le résultat de facteurs marins (niveau moyen des mers, vagues...), continentaux (précipitations, variations des températures...) et anthropiques (artificialisation, modification du stock sédimentaire...). Leur multiplicité et leur imbrication ne permettent pas actuellement d'identifier les contributions respectives de ces facteurs au déclenchement des éboulements (Naylor et al., 2010 ; Letortu et al., 2015). Ainsi, l'imprévisibilité du moment et du lieu de l'érosion demeure, posant des problèmes de gestion des risques (accidents parfois mortels). Pour atteindre cet objectif majeur, la recherche requiert des données 3D du front de falaise (FF, du pied au haut de falaise, meilleur référentiel pour observer tous les éboulements), à THR spatiale (< 1 m), avec un temps de revisite court (de la saison à la journée), sur de longs linéaires côtiers afin de respecter l'échelle de gestion qu'est la cellule hydro-sédimentaire².

² Echelle à laquelle se déroulent les phénomènes et dynamiques sédimentaires. La cellule hydro-sédimentaire est ainsi un concept permettant d'identifier, à une échelle donnée, des compartiments du littoral qui peuvent être décrits et analysés de manière autonome sur le plan des transports sédimentaires. Ce découpage du littoral a pour objectif de permettre l'établissement de bilans des échanges de sédiments au sein de chaque cellule et d'aider à la définition de la bonne échelle géographique de prise de décision en matière d'aménagement côtier. Elle permet en effet de bien prendre en compte l'ensemble des facteurs d'évolution du littoral sur un secteur géographique donné (<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr>).

Mais le suivi de ce référentiel subvertical est problématique car l'imagerie satellite « classique » (au nadir) ne permet que le suivi du sommet de falaise. La mesure THR du FF est possible par des méthodes in situ, telles que la photogrammétrie ou le scanner laser (Lim et al., 2010 ; Jaud et al., 2019), mais sans remplir les critères de haute fréquence et de surface couverte. Mais aujourd'hui, les nouvelles générations de satellites THR (70 cm pour Pléiades et 30 cm pour Pléiades Neo (Airbus Defence and Space, 2017) et d'une grande agilité (dépointage jusqu'à 40° pour Pléiades (ASTRIUM, 2012)) permettent d'envisager un suivi du front de falaise remplissant tous ces critères. A partir d'images Pléiades panchromatiques dépointées et multitudes, une méthode de reconstruction 3D a été proposée pour le suivi du front des falaises calcaires en Normandie (Letortu et al., 2020, EROFALITT). La précision planimétrique peut atteindre 10 cm avec une densité de points de 2 pts/m² sur le FF permettant un bon suivi de toute érosion supérieure à 100 m³ (Letortu et al., accepté), soit 70 % des éboulements observés sur ce secteur.

Certains problèmes persistent comme la dépendance de la restitution 3D aux paramètres environnementaux (météo, exposition du front de falaise) et la difficulté à optimiser les paramètres de traitements sur l'ensemble de la zone. Par ailleurs, les volumes de données en jeu impliquent de développer des méthodes d'analyses semi-automatiques adaptées, telles que l'apprentissage statistique de type Machine Learning. Là encore, un verrou devra être levé pour adapter ces méthodes aux images obliques (non orthorectifiées). Enfin, un autre levier consiste à travailler sur des sites aux caractéristiques géologiques proches, mais aux contraintes environnementales variées pour mieux connaître le rôle des facteurs environnementaux dans l'érosion.

Ainsi cette thèse permettra d'améliorer le suivi et la compréhension du fonctionnement des falaises grâce à l'imagerie satellite THR et multiangulaire. Ceci implique de tirer le meilleur profit de l'imagerie satellite en développant des chaînes de traitements adéquates, intelligibles et transposables pour le suivi et la gestion durable des falaises.

2 - Approche méthodologique et techniques envisagées : (4000 caractères maxi espaces compris)

Cette thèse se focalisera sur trois sites : Pléneuf-Val-André (falaises meubles, Bretagne), Varengeville-sur-Mer (falaises rocheuses calcaires, Normandie) et Keri sur l'île de Zakynthos (falaises rocheuses calcaires, Grèce). Ces falaises, possédant un FF subvertical et pluridécimétrique, reculent rapidement (>10 cm/an), maximisant les probabilités d'occurrence des éboulements. Considérer deux contextes bioclimatiques différents (climat tempéré océanique et climat méditerranéen) permettra de bénéficier de différents contextes météorologiques pour l'acquisition d'images satellites dépointées et d'évaluer le rôle des facteurs météorologiques (entre autres) dans les dynamiques d'érosion des falaises calcaires. Par ailleurs, les orientations variées des falaises (nord en Normandie, nord-ouest en Bretagne, sud-ouest pour Zakynthos) permettront de tester différentes configurations d'acquisition des images satellites. Ces trois sites sont étudiés depuis plusieurs décennies et il sera possible de réaliser des levés photogrammétriques qui serviront de vérité terrain. La variété des sites permettra d'évaluer la transposabilité de la méthode, afin que les autres acteurs de la communauté scientifique et de la société civile puissent en bénéficier.

La collecte des images satellites THR et des données de validation est financée par le projet CNES HIRACLES (High Resolution imAgery for CLiff Erosion Studies), coordonné par P. Letortu (2021-2023). À partir de ces images, la méthodologie envisagée combine des approches classiques et des volets innovants qui sont davantage explicités ci-dessous :

- un suivi diachronique classique de la position du sommet de falaise sous SIG (à partir des images acquises pour la thèse et d'archives) pour obtenir des vitesses annuelles d'érosion ;

- une approche orientée « front de falaise », avec la mise en place d'une détection semi-automatique des mouvements gravitaires grâce à un apprentissage statistique. En effet, les images satellites d'un FF s'avèrent être un jeu de données massivement multivarié, que ce soit en fonction des caractéristiques propres au site (couleur, texture, hauteur, orientation de la falaise) ou des caractéristiques de l'acquisition (trajectographie du satellite par rapport au site, heure de passage, saison, météo). Aussi, pour identifier les zones d'éboulements (et plus largement des zones aux caractéristiques communes), des méthodes de Machine Learning seront mises en œuvre, car la diversité des sites devrait permettre de créer un jeu de données d'entraînement suffisamment varié pour couvrir au mieux l'ensemble

des configurations possibles ;

- à partir de ces résultats de segmentation et des couples stéréoscopiques, une reconstruction 3D sera réalisée. Pour la restitution du FF, l'un des résultats du projet EROFALITT soulignait l'importance d'optimiser les paramètres de traitement en fonction des caractéristiques de la zone. La qualité des reconstructions devrait donc se trouver améliorée en travaillant de façon plus ciblée sur ces zones d'éboulements. Les chaînes de traitement ASP, Micmac et ERDAS Imagine ayant été testées, ces routines pourront être réutilisées. Par ailleurs, les nouvelles possibilités offertes par le logiciel Agisoft Metashape ou la chaîne de traitement CARS du CNES seront également testées ;

- les précédentes étapes renseigneront sur les rythmes et les modalités d'érosion (taille des éboulements, cinématique, durée d'évacuation des éboulements par la mer...). Une analyse des données d'érosion sera menée afin d'expliquer les différences obtenues entre les sites d'étude ;

- la dissémination de nos méthodes et résultats auprès des élus et des gestionnaires sera facilitée par les rapports privilégiés entretenus par l'équipe encadrante avec ces interlocuteurs dans le cadre des observatoires régionaux et interrégionaux du littoral (OSIRISC, ROL...).

3 - Positionnement et environnement scientifique dans le contexte régional, national et international :

À l'échelle régionale, l'amélioration des connaissances grâce à cette thèse contribuera à renforcer l'expertise régionale de suivi et de compréhension de l'aléa érosion côtière sur les côtes à falaises de l'EUR ISblue (qui appartient au Domaine d'Innovation Stratégique (DIS) 1 : économie maritime pour une croissance bleue) et en matière d'expertise en télédétection du GIS BreTel (qui appartient au DIS 3 : économie numérique sécurisée et responsable). À terme, ces expertises ont vocation à alimenter le secteur du conseil auprès des élus et des gestionnaires de collectivités territoriales confrontées à l'aléa érosion, le secteur des études environnementales ainsi que des travaux pour l'aménagement durable du littoral et du trait de côte. Les objectifs assignés à la thèse justifient aussi son rattachement à l'axe transversal « les transitions énergétique et écologique ». Cette transversalité dans les DIS souligne que ce projet doctoral est pleinement sur des domaines bretons d'excellence et porteurs. De plus, notre forte volonté de transfert des connaissances et de dialogue entre la recherche académique, les élus, les gestionnaires du littoral, et les acteurs du développement économique et de l'innovation permettront d'accélérer la transition vers une économie sobre et durable. En outre, le projet de thèse répond au chantier phare 8 « améliorer la sauvegarde de la vie humaine et la gestion des risques environnementaux en zone côtière » de la charte des espaces côtiers bretons. Enfin, ce sujet de thèse permettrait d'avancer sur les propositions émises par l'Association des CESER de l'Atlantique et l'étude sur « Submersion marine et érosion côtière. Connaître, prévenir et gérer les risques naturels littoraux sur la façade atlantique » (2015).

À l'échelle nationale, ce sujet s'inscrit dans la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. Il fait notamment écho au rapport du député S. Buchou « Quel littoral pour demain ? Vers un nouvel aménagement des territoires côtiers adapté au changement climatique » (2019). Notre projet rejoint de nombreuses préconisations de ce rapport comme l'impératif de la connaissance associé à la nécessité de son partage, pour aller vers la question cruciale de la transition (adapter l'existant et anticiper l'implantation future et durable des biens et des activités).

À l'échelle internationale, notre collaboration avec N. Evelpidou (Univ. Athènes), dont l'expertise est reconnue en géomorphologie des falaises calcaires des îles ioniennes, nous permet d'élargir nos recherches vers un environnement propice à l'acquisition d'images satellites (faible couverture nuageuse en Méditerranée) et où, malgré une géologie proche des falaises calcaires normandes, les forçages continentaux et marins rencontrés sont différents. Cette collaboration, officialisée par le projet HIRACLES, se poursuit dans ce sujet de thèse afin de comparer la contribution des facteurs météo-marins à l'érosion des falaises calcaires entre un climat méditerranéen et un climat tempéré océanique (Normandie). De par la couverture mondiale du réseau satellite et notre réseau de chercheurs internationaux étudiant les falaises (coll. avec le Canada, le Royaume-Uni, la Nouvelle-Zélande, États-Unis (soumission en septembre dernier d'un projet de post doc Marie Curie en lien avec ces pays)), nos travaux seront facilement transférables. À terme, des projets de recherche internationaux (par ex. ERC) sur le suivi à THR spatiale et temporelle

de l'érosion des falaises à l'échelle globale selon un transect nord/sud seront développés grâce à la complémentarité des outils THR (images satellites, LiDAR mobile...) dont nous avons une bonne expertise. Par ailleurs, notre projet s'inscrit pleinement dans l'Objectif de Développement Durable 9 « Industrie, innovations et infrastructures » des Nations Unies en recherchant des solutions durables aux défis environnementaux.

Références bibliographiques :

- Airbus Defence and Space, 2017. Airbus révolutionne le marché de l'observation de la Terre avec sa constellation Pléiades Neo, les premiers satellites optiques commerciaux utilisant le SpaceDataHighway [WWW Document]. Airbus. URL <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/fr/2017/09/Press-release-SpaceDataHighway.html> (accessed 9.24.20).
- Association des CESER de l'Atlantique, 2015. Submersion marine et érosion côtière - Connaître, prévenir et gérer les risques naturels littoraux sur la façade atlantique.
- ASTRIUM, 2012. Pléiades Imagery - User Guide (Technical report No. USRPHR-DT-125-SPOT-2.0).
- Basara, N., 2019. L'érosion des littoraux à falaises meubles en Bretagne : aléa, enjeux et gestion du risque. Université de Bretagne Occidentale.
- Buchou, S., 2019. Quel littoral pour demain ? Vers un nouvel aménagement des territoires côtiers adapté au changement climatique (Rapport parlementaire).
- Jaud, M., Letortu, P., Théry, C., Grandjean, P., Costa, S., Maquaire, O., Davidson, R., Le Dantec, N., 2019. UAV survey of a coastal cliff face - Selection of the best imaging angle. *Measurement* 139, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.024>
- Letortu, P., Costa, S., Cador, J.-M., Coinaud, C., Cantat, O., 2015. Statistical and empirical analyses of the triggers of coastal chalk cliff failure. *Earth Surface Processes and Landforms* 40, 1371–1386. <https://doi.org/10.1002/esp.3741>
- Letortu, P., Jaud, M., Théry, C., Nabucet, J., Taouki, R., Passot, S., Augereau, E., 2020. The potential of Pléiades images with high angle of incidence for reconstructing the coastal cliff face in Normandy (France). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 84, 101976.
- Letortu, P., Taouki, R., Jaud, M., Costa, S., Maquaire, O., Delacourt, C., accepté. 3D reconstructions of the coastal cliff face in Normandy (France) based on oblique Pléiades imagery: assessment of ASP® and MicMac® processing chains. *International Journal of Remote Sensing*.
- Lim, M., Rosser, N.J., Allison, R.J., Petley, D.N., 2010. Erosional processes in the hard rock coastal cliffs at Staithes, North Yorkshire. *Geomorphology* 114, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.02.011>
- Naylor, L.A., Stephenson, W.J., Trenhaile, A.S., 2010. Rock coast geomorphology: Recent advances and future research directions. *Geomorphology* 114, 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.02.004>
- Young, A.P., Carilli, J.E., 2019. Global distribution of coastal cliffs. *Earth Surface Processes and Landforms* 44, 1309–1316. <https://doi.org/10.1002/esp.4574>

4 - Contexte scientifique et partenarial : éléments généraux (ERC, CPER, FEDER, Breizhcop ...) (4000 caractères maximum espaces compris)

De par son interdisciplinarité, tant thématique que méthodologique, ce sujet renforce les collaborations entre plusieurs unités de recherche et de services au sein d'ISblue, de la région Bretagne et au-delà.

Concernant le contexte scientifique, le/la doctorant.e sera intégré.e à la fois au LGO (UMR 6538, C. Delacourt, N. Le Dantec), au LETG (UMR 6554, P. Letortu, A. Hénaff, S. Costa, T. Corpetti, J. Nabucet, S. Niculescu) et au P2I (Pôle Image et Instrumentation – UMS 3113, M. Jaud). Le « Littoral » et la « Télédétection » font partie des axes de recherche du LGO et du LETG. Le P2I est une plateforme transversale en imagerie et instrumentation au sein de l'OSU IUEM, mutualisant des instruments et des connaissances et menant des recherches technologiques et méthodologiques en télédétection pour le suivi littoral. Le P2I donnera également accès à des outils logiciels et des moyens informatiques adaptés pour le Machine Learning. En plus de bénéficier du projet CNES HIRACLES (2021-2023), obtenu par l'équipe qui propose ce sujet de thèse, lui apportant le financement des acquisitions d'images satellites, des missions de terrain, et les ressources informatiques nécessaires, l'étudiant.e bénéficiera également du réseau ISblue, facilitant les échanges avec les membres académiques du consortium ISblue ou avec les entreprises (ISblue Hub) et garantissant un soutien logistique, par exemple un accès au Pôle de Calcul DATARMOR. De plus, sur les thématiques de Machine Learning, l'étudiant.e sera aidé.e par l'équipe de S. Lefèvre à l'IRISA (UBS) (immersion possible dans l'équipe OBELIX) et/ou T. Corpetti (LETG – Univ. Rennes 2), permettant ainsi d'initier des collaborations

interdisciplinaires à l'échelle régionale autour de thématiques innovantes pour l'observation littorale à THR.

Concernant le contexte partenarial, le sujet de thèse s'intègre dans un contexte régional propice avec :

- la convention-cadre CNES-Région Bretagne et le GIS BreTel, qui soulignent la volonté de la Région Bretagne de positionner son territoire comme précurseur de l'utilisation des technologies spatiales et de leurs applications ;
- le métaprojet CPER Glaz sur l'environnement continental et littoral en Bretagne (2021-2027) qui vise à construire une infrastructure de recherche de niveau mondial capable de détecter, d'anticiper et d'accompagner les transitions socio-environnementales que les écosystèmes terrestres et côtiers vont connaître dans les décennies à venir, notamment via le projet de plateforme de coordination interrégionale d'observation (projet AAA) ;
- la recommandation 6 de la Breizh COP, qui préconise un engagement fort dans l'innovation (pour s'adapter au changement climatique), la recherche (pour être en capacité d'innover et de mieux prévenir les effets du changement climatique), ainsi que l'éducation et la formation (notamment accompagner les élus et les acteurs des territoires dans la mise en place des politiques et stratégies nécessaires).

Par ailleurs, la Chaire européenne Jean Monnet « European Spatial Studies of Sea and Coastal Zones », obtenue par S. Niculescu (LETG, 2018-2021), permettra de bénéficier de l'expertise spatiale sur la mer et le littoral du réseau des Chaires J. Monnet et des liens avec des centres de recherche spatiale sur la mer et le littoral en Europe et dans le monde. De plus, l'objectif étant d'obtenir une méthode d'observation reproductible indépendamment des sites d'étude, la méthode pourra être étendue à d'autres espaces. Nous pensons notamment aux observatoires régionaux (OSIRISC, ROL Normandie – Hauts-de-France) et interrégionaux ou aux sites nationaux DYNALIT (quatre sites à falaises), mais aussi à l'international, via notre réseau de recherche (Grèce, Canada, Malte, Brésil...) et celui de la Chaire européenne J. Monnet.

Vous sollicitez un financement ISblue, ou une ARED ISblue :

Précisez le lien du sujet avec les thèmes ISblue

Thème ISblue	Thème principal	Thème secondaire (si nécessaire)	Autre (si nécessaire)
la régulation du climat par l'océan			
les interactions entre la Terre et l'océan			
la durabilité des systèmes côtiers	x		
l'océan vivant et les services écosystémiques			
les systèmes d'observation à long terme		x	

Expliquez/précisez en quelques lignes dans quelle mesure votre demande correspond à l'un ou plusieurs des critères ISblue ci-dessous :

1- Originalité, impact potentiel du projet (4 lignes maxi)

Ce sujet est novateur et porteur car il y a peu de recherches sur les falaises or 157 communes bretonnes sont concernées par l'érosion des falaises meubles (Basara, 2019) ; seule notre équipe travaille sur la restitution 3D du front de falaise par télédétection spatiale multiangulaire ; l'interdisciplinarité du projet permettra le développement de méthodes originales de Machine Learning (entre autres) et la proposition de méthodes de suivi aux gestionnaires.

2- Positionnement international du sujet, cotutelle ou co-encadrement international (4 lignes maxi)

Le sujet est international par l'emprise spatiale des côtes à falaises (52 % du linéaire côtier mondial), la couverture mondiale des satellites et par la collaboration avec N. Evelpidou (Univ. Athènes), commencée en 2018. Ensemble, nous avons soumis plusieurs projets : le projet européen COST COAST ENGAGE (COASTal Evolution and adaptation: climate chaNGe And GEohazards, 2020) et le projet HIRACLES (soumis et accepté en 2020, financé de 2021 à 2023).

3- Effet intégrateur entre unités de recherche et / ou interdisciplinarités (4 lignes maxi)

Le projet de thèse qui combine géomorphologie, télédétection et informatique permettra l'intégration : (1) au sein de l'IUEM-UBO, de l'UMR 6538 LGO (C. Delacourt), l'UMR 6554 LETG (P. Letortu) et l'UMS 3113 (M. Jaud) ; (2) au sein d'ISblue, de l'UBO, l'UBS (IRISA, S. Lefèvre) et l'IMTA (P. Tando, qui accepte que le/la doctorant.e assiste à ses cours) ; (4) du laboratoire de géo-environnement de l'Université nationale et kapodistrienne d'Athènes (N. Evelpidou).

4- Potentiel d'insertion à un haut niveau dans la communauté académique ou non académique du docteur (4 lignes maxi)

Les compétences thématiques (érosion des falaises et gestion des risques) et méthodologiques (photogrammétrie, SIG, Machine Learning) acquises par le/la futur.e docteur.e lui permettront de s'orienter soit vers la recherche académique, soit vers des emplois dans des collectivités territoriales ou des services de l'Etat, soit dans le domaine privé des bureaux d'études ou des entreprises de fourniture de solutions d'observation et de surveillance de la Terre.

Le candidat

Profil souhaité du candidat (spécialité/discipline principale, compétences scientifiques et techniques requises) :

- Master 2 en géographie ou géosciences ou télédétection ou programmation ou diplôme d'ingénieur équivalent ;
- Compétences en matière d'environnement côtier ;
- Compétences en photogrammétrie (MicMac, ASP, ERDAS Imagine, Agisoft Metashape, CARS) ;
- Compétences en systèmes d'information géographique (ArcGIS ou QGIS) ;
- Compétences en programmation ;
- Compétences en traitement des nuages de points et en analyse de données 3D (par exemple CloudCompare).