



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

**PROPOSITION DE RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE SPATIALE**

**POUR 2016**

Le dossier doit être impérativement approuvé par le Directeur du laboratoire proposant. Chaque dossier de proposition doit comporter 3 fichiers portant le même nom : un formulaire MS-word, un formulaire MS-excel et la fiche résumé du formulaire MS-excel signée par le Directeur du laboratoire et scannée au format .pdf.

## **1. RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX**

### **1.1. INTITULE DE LA PROPOSITION<sup>1</sup> : EROFALITT : EVALUATION DE L'IMAGERIE OPTIQUE A TRES HAUTE RESOLUTION SPATIALE ET MULTIANGLE (PLEIADES) POUR LE SUIVI DE L'EROSION DES FALAISES CRAYEUSES DU LITTORAL HAUT-NORMAND**

#### **1.2. SCIENTIFIQUE PROPOSANT**

Nom : Letortu  
Prénom : Pauline  
Téléphone : 02-90-91-53-88  
e-mail : pauline.letortu@univ-brest.fr  
Nom du Laboratoire : LETG<sup>1</sup>-Brest Géomer  
Adresse : Institut Universitaire Européen de la Mer, Rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané

Organisme de tutelle : CNRS – Université de Bretagne occidentale  
Organisme gestionnaire : LETG-Brest Géomer UMR 6554

#### **1.3. CO-PROPOSANTS<sup>2</sup>**

Nom : Hénaff  
Prénom : Alain  
Téléphone : 02-98-49-86-11  
e-mail : alain.henaff@univ-brest.fr  
Nom du Laboratoire : LETG-Brest Géomer  
Adresse : Institut Universitaire Européen de la Mer, Rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané

Organisme de tutelle : CNRS – Université de Bretagne occidentale  
Organisme gestionnaire : LETG-Brest Géomer UMR 6554

---

Nom : Le Dantec  
Prénom : Nicolas  
Téléphone : 02-98-49-86-65  
e-mail : nicolas.ledantec@univ-brest.fr  
Nom du Laboratoire : Domaines Océaniques  
Adresse : Institut Universitaire Européen de la Mer, Rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané

Organisme de tutelle : CNRS – Université de Bretagne occidentale  
Organisme gestionnaire : DO UMR 6538

---

Nom : Costa  
Prénom : Stéphane  
Téléphone : 02-31-56-64-60  
e-mail : stephane.costa@unicaen.fr  
Nom du Laboratoire : LETG-Caen Géophen

<sup>1</sup> Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique

Adresse : Université de Caen Basse-Normandie, Esplanade de la Paix, 14032 Caen cedex

Organisme de tutelle : CNRS – Université de Caen Basse-Normandie  
Organisme gestionnaire : LETG-Caen Géophen UMR 6554

---

Nom : Nabucet  
Prénom : Jean  
Téléphone : 02-99-14-18-54  
e-mail : jean.nabucet@uhb.fr  
Nom du Laboratoire : LETG-Rennes Costel  
Adresse : Université de Rennes 2, Place du recteur Henri Le Moal, 35043 Rennes cedex

Organisme de tutelle : CNRS – Université Rennes 2  
Organisme gestionnaire : LETG-Rennes Costel UMR 6554

---

## 2. PROPOSITIONS NOUVELLES<sup>3</sup>

### 2.1. SITUATION ACTUELLE DU THEME DE RECHERCHE<sup>4</sup>

### 2.2. DESCRIPTION DETAILLEE DE LA PROPOSITION<sup>5</sup>

### 2.3. CALENDRIER PREVISIONNEL DE LA PROPOSITION<sup>6</sup>

### 2.4. PUBLICATIONS<sup>7</sup>

## 3. PROJETS ENGAGÉS<sup>8</sup>

### 3.1. RAPPEL DES OBJECTIFS SCIENTIFIQUES<sup>9</sup>

D'après l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature, 3,8 milliards de personnes (60 % de la population mondiale) résident à moins de 150 km du littoral. Or, ce dernier est constitué à près de 80 % par des côtes rocheuses et à falaises qui ne peuvent que reculer (Isakov, 1953 ; Emery et Kuhn, 1982 ; Sunamura, 1992). Le recul de ces côtes s'effectue brutalement, *a priori* sans signes précurseurs, avec des éboulements parfois massifs. Le risque est important pour les sociétés et les biens installés très près du rivage, car **le déclenchement des éboulements demeure un verrou scientifique** (Lim et al., 2005 ; Naylor et al., 2010 ; Moses et Robinson, 2011 ; Kennedy et al., 2014). Traditionnellement, l'étude des côtes à falaises passe par la quantification des vitesses de recul du haut de falaise (exprimées en m/an). Cette approche diachronique (sur plusieurs décennies) s'appuie principalement sur des missions de photographies aériennes verticales ou de LIDAR aéroporté d'emprise spatiale importante (plusieurs dizaines à centaines de km) mais d'intervalle pluriannuel (tous les 5 ans pour l'orthophotographie de l'IGN). Ces vitesses moyennes annuelles (qui lissent les temps forts et les temps morts de l'érosion) retranscrivent mal la dynamique érosive de ces formes. Pendant plusieurs années, voire décennies, la falaise est « stable » (durant cette période, l'érosion prépare, météorise l'abrupt sans qu'il y ait recul), puis, en un instant, elle recule et génère un éboulement. Par la suite, l'éboulement sur la plage est évacué par les actions marines et l'érosion poursuit son action sur le nouveau front de falaise. Seule l'acquisition d'images à très haute fréquence (suivi hebdomadaire souhaité, mais, dans le cadre de ce projet « d'évaluation de potentiel », nous commençons par un suivi mensuel) et à haute résolution spatiale (de l'ordre du mètre) permettra de mieux comprendre la dynamique fondamentalement non linéaire des côtes à falaises et de discriminer la part de chacun des facteurs jugés responsables du déclenchement des éboulements. Autrement dit, si les agents généraux impliqués dans le recul sont connus, le fait de les suivre permettra de discriminer la part de chacun des facteurs dans le déclenchement des mouvements. Ainsi, au-delà de la connaissance des vitesses de recul utile à la planification territoriale (Plan de Prévention des Risques Littoraux), c'est celle des modalités de recul (localisation, fréquence, intensité) et des rythmes de recul (durée écoulée entre un éboulement de pan entier de falaise, son évacuation, la météorisation de l'abrupt et l'apparition d'un nouvel éboulement de pan entier de falaise au même endroit) qui est primordiale pour la gestion de l'aléa et du risque. Cette connaissance fine des modalités et des rythmes de recul permet à terme d'identifier les facteurs responsables des mouvements gravitaires.

Notre problématique scientifique est donc la suivante : **quels sont les vitesses et les rythmes de recul ?** Cette réponse nous fournira des éléments de réflexion à la question suivante : **quels sont les processus responsables du déclenchement des éboulements ?**

Les objectifs de ce projet sont donc :

- La quantification des vitesses de recul ;
- La détermination des modalités (où, quand, comment ?) et des rythmes de recul (quelle période de retour ?) ;
- La détermination des processus responsables du déclenchement des éboulements (pourquoi ?) ;
- Mais aussi l'évaluation des paramètres idéaux pour le suivi du front de falaise par imagerie optique Pléiades (angle de prise de vue, précision au sol et sur le front de falaise).

Malgré une forte nébulosité et des phénomènes d'ombrage (orientation sud-ouest/nord-est du littoral) peu propices à l'utilisation des images satellitaires, ce projet sera mené sur les **falaises crayeuses de Haute-Normandie** (de Saint-Valéry-en-Caux au Tréport, bande d'intérêt de 55 km, figure 1). Ce secteur a été choisi pour quatre raisons :

- 1) Ces falaises crayeuses sont marquées par un recul rapide (de 0,12 à 0,23 m/an en lien avec la lithologie (Letortu, 2013)) et évoluent par des éboulements pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup> (figures 1 et 2) ;
- 2) Les agents et les processus marins et continentaux (fortes précipitations, tempêtes, alternance gel/dégel) se combinent et se relaient sur ce secteur, expliquant aussi la forte dynamique régressive des falaises crayeuses ;
- 3) Le recul des falaises rattrape actuellement l'urbanisation, comme à Criel-sur-Mer et à Dieppe (procédure d'expropriation) (figure 1) ;

4) L'existence de travaux antérieurs et l'appartenance à des réseaux de recherche nationaux (réseau ALLEnvi, sites SNO<sup>2</sup> Dynalit) garantissent l'accès à de nombreuses données et de multiples collaborations pluridisciplinaires.

Les résultats attendus de cette étude sont :

- L'évaluation des potentialités actuelles de Pléiades pour connaître les vitesses, les modalités et les rythmes de recul des falaises crayeuses (outil d'aide à la décision) ;
- L'identification des facteurs endogènes (fracturation, stock sédimentaire sur la plage qui peut plus ou moins protéger le pied de falaise de l'action des vagues) et/ou exogènes jugés responsables du déclenchement (temps perturbés...) (outil de prévision/prévention) ;
- Les développements méthodologiques et l'évaluation du paramétrage idéal des missions Pléiades (angle de prise de vue le plus adapté au suivi du front de falaise, précision du MNT au sol et sur le front de falaise).

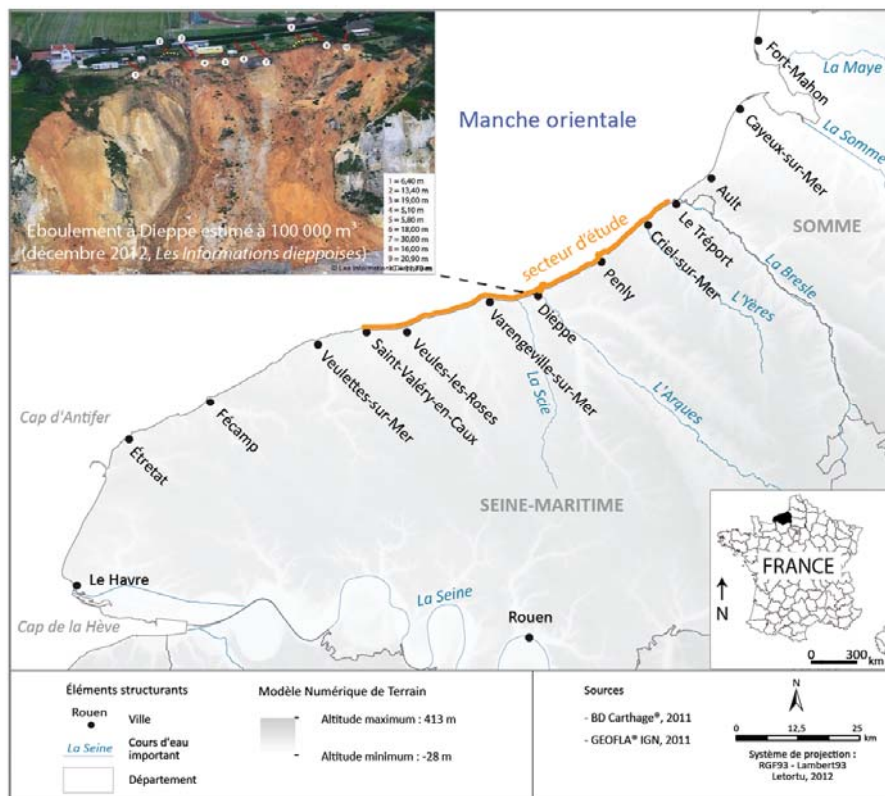


Figure 1 : Présentation du secteur d'étude entre Saint-Valéry-en-Caux et Le Tréport

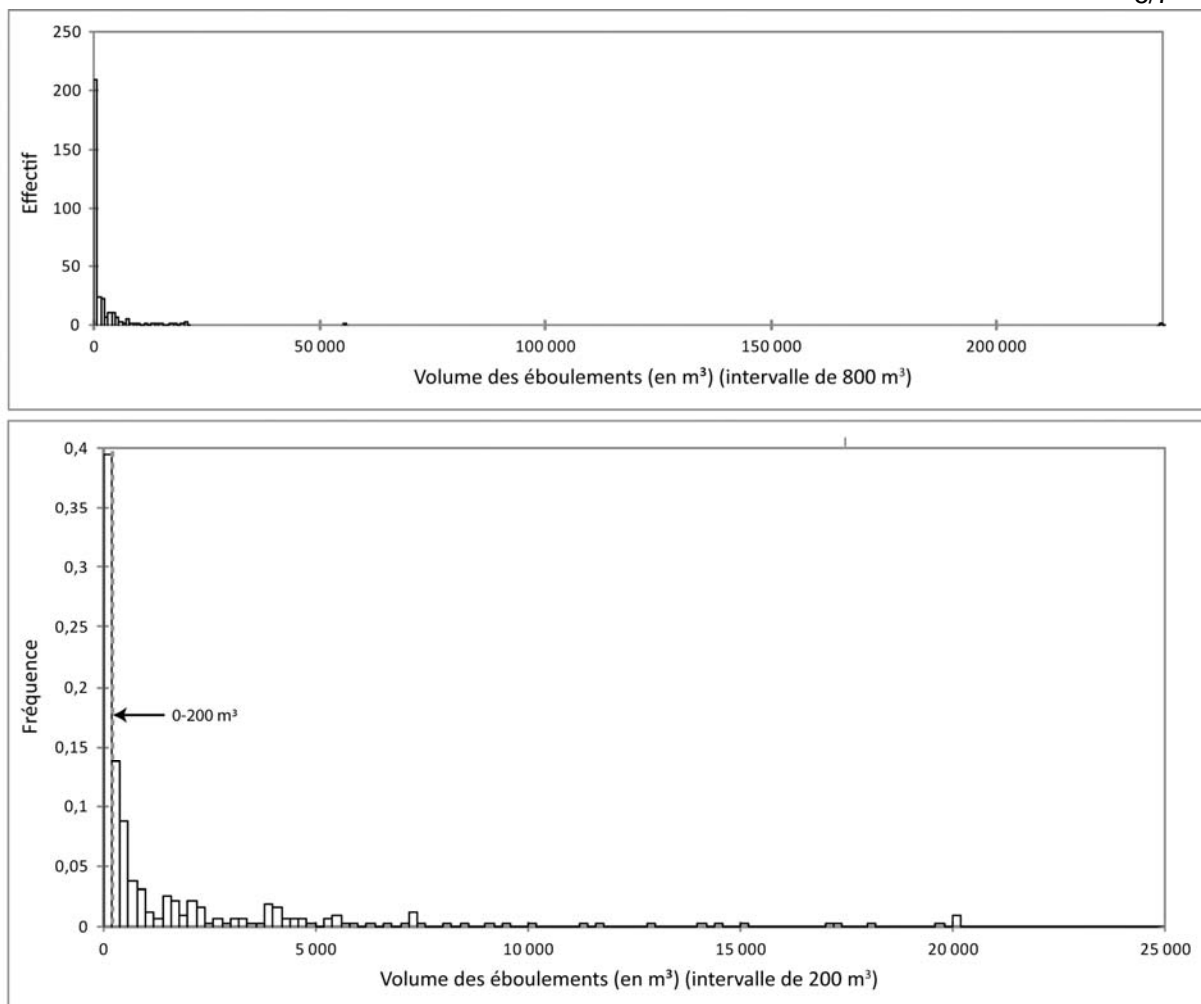


Figure 2 : Volumes éboulés entre Veules-les-Roses et Le Tréport de 2002 à 2009 (recensement effectué par l'association ESTRAN ; Letortu et al., 2015)

### 3.2. ETAT D'AVANCEMENT DU PROJET<sup>10</sup>

Titre de la tâche	Méthodologie	Etat d'avancement
1) Acquisition des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programmation des images tri-stéréo Pléiades <ul style="list-style-type: none"> <li>• Missions drone (DRELIO)</li> </ul> </li> <li>• Missions scanner laser terrestre (Riegl VZ400)</li> </ul>	Acquisition en cours des images drone et scanner laser terrestre (mission de terrain prévue les 22-24 juin 2016). Acquisition d'images Pléiades sont en commande auprès d'Airbus.
2) Vitesses de recul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extraction semi-automatique du trait de côte (OTB, Ecognition) ;</li> <li>• Quantification des vitesses de recul par la méthode des aires perdues (1966-2016) (ArcGIS)</li> </ul>	
3) Modalités et des rythmes de recul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modalités de recul : cartographie des éboulements (ArcGIS) ; calcul des fréquences ; calcul des volumes éboulés (ERDAS Imagine, Cloudcompare, Riscan Pro)</li> <li>• Rythmes de recul : comparaison des localisations d'éboulement avec l'ensemble des missions antérieures (depuis 1939) (ArcGIS)</li> </ul>	
4) Facteurs déclenchants	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en relation des dates d'éboulement avec les facteurs endogènes (fracturation, stock sédimentaire) et exogènes (précipitations, houle...) par des traitements statistiques (ACP, CAH, <math>\chi^2</math>) et une analyse empirique (XLstat)</li> </ul>	
5) Evaluation des paramètres idéaux pour le suivi du front de falaise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification de l'angle de vue optimal à partir de la comparaison des MNT issus des clichés du drone (clichés allant de la verticale jusqu'à l'horizontale) (Micmac ou Agisoft PhotoScan)</li> <li>• Evaluation de la précision des MNT au sol et sur le front de falaise grâce au MNT de référence issu du scanner laser terrestre (Riscan Pro)</li> </ul>	

Tableau 1 : Synthèse de la méthodologie proposée

### 3.3. CALENDRIER DU PROJET<sup>11</sup>

Tâche	Année 2016												Année 2017											
	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) Acquisition des données																								
2) Vitesses de recul																								
3) Modalités et rythmes de recul																								
4) Facteurs déclenchants																								
5) Evaluation des paramètres																								

**Tableau 2 : Calendrier prévisionnel de la proposition**

### 3.4. PUBLICATIONS<sup>12</sup>

Pour le moment, nous n'avons aucune publication parue dans des revues à comité de lecture dans le cadre des travaux effectués avec le support du CNES.

## Notice d'utilisation de l'imprimé MS-word

- 1 Utiliser le même intitulé dans le fichier MS-word et dans le fichier MS-excel
- 2 Ajouter des lignes si nécessaire
- 3 Les propositions nouvelles sont soumises à l'expertise scientifique d'un groupe de travail thématique du CNES assisté si nécessaire de rapporteurs extérieurs et à l'avis du Comité d'Evaluation de la Recherche et de l'Exploration Spatiale (CERES) pour le domaine Etude et Exploration de l'Univers, ou au comité Terre Océans Surfaces Continentales Atmosphère (TOSCA) pour le domaine Terre, Environnement, Climat. Elles pourront être soumises à une expertise technique et financière du CNES sur la **faisabilité de l'instrumentation** proposée, la **prévision des essais**, le nombre des **modèles** et le **traitement des données**. La **maturité technique** du projet, la **crédibilité du calendrier** de développement et du **coût** seront appréciées, de même que le **contexte coopératif** le cas échéant et le **schéma d'organisation**. La place du projet dans le **plan de charge du laboratoire** proposant et le **volume des moyens propres**, notamment humains, seront également pris en compte.
- 4 Décrire la situation actuelle du thème de recherche et le projet, notamment le **cadre de réalisation**. Préciser le **statut de l'expérience**, notamment si elle est présentée dans un cadre de coopération internationale : expérience déjà sélectionnée, en cours d'examen ou encore à proposer.
- 5 Décrire la **methodologie envisagée et les travaux** à réaliser. Décrire le cas échéant le dispositif expérimental et préciser s'il s'agit d'une campagne ballon ou aéroportée.
- 6 Décrire en une page maximum le calendrier de réalisation en donnant les **étapes-clés** du déroulement du projet. Ce calendrier doit être compatible avec l'échéancier financier.
- 7 Les indicateurs que doit préparer le CNES pour ses tutelles ne prenant en compte que les publications mentionnant le nom de la ou des missions spatiales ou instruments, dans le titre ou le résumé, toute publication devra obligatoirement **mentionner dans le titre ou dans le résumé le nom** de la ou des missions ou instruments spatiaux dont des données ont été utilisées.
- 8 Les actions engagées entrent dans le cadre de projets ayant déjà fait l'objet d'une décision positive de soutien par le CNES. **Tout projet engagé doit faire l'objet d'une demande de financement chaque année**. Si les objectifs du projet et/ou son contenu ont été modifiés par rapport à la proposition acceptée, ou si les résultats intermédiaires diffèrent sensiblement des objectifs initiaux, il est demandé d'envoyer une **proposition révisée**. Le CNES se réserve le droit de présenter à nouveau l'expérience concernée au groupe de travail thématique correspondant, au CERES ou au TOSCA et au Comité des Programmes Scientifiques, pour juger de l'opportunité de ces modifications. S'agissant des expériences en cours de développement pour lesquelles une structure de projet a été mise en place au centre de Toulouse, la présente demande de financement doit concerner les **activités d'accompagnement scientifique et les activités de calibration, validation des données**, le financement des activités de développement étant couvertes en principe par le projet.
- 9 **A renseigner avec attention** pour la bonne compréhension des comités d'évaluation, en particulier sur les avancées obtenues par rapport à l'an dernier, et en précisant si les objectifs du projet et/ou son contenu ont été modifiés par rapport à la proposition acceptée par le CNES ou si les résultats intermédiaires diffèrent sensiblement des objectifs initiaux.
- 10 Indiquer ici l'état d'avancement du projet au moment de la demande. Le CNES doit être en mesure de **justifier auprès de ses Tutelles** le financement des propositions qu'il a engagées. Un **bilan des activités de l'année doit être fourni à chaque fin d'année**. Par ailleurs, le paragraphe « état d'avancement du projet » du formulaire MS-word fait office de rapport intermédiaire pour les financements versés à mi-année. Ce bilan qualitatif a pour objet d'exposer l'état d'avancement du projet au moment de la demande, les étapes franchies, les difficultés rencontrées (par exemple, les évolutions éventuelles du contexte scientifique et/ou du cadre de réalisation). Le cas échéant, il détaille comment les recommandations du TOSCA ou du CERES ont été prises en compte. Pour les propositions comportant la réalisation d'un dispositif expérimental : exposer son état de réalisation.
- 11 Rappeler le calendrier d'origine. Indiquer ses évolutions éventuelles et leurs causes. Indiquer les prochaines échéances. Ce calendrier doit être compatible avec l'échéancier financier.
- 12 Pour les projets engagés, donner la liste des publications parues dans des revues à comité de lecture des **deux dernières années** dans le cadre des travaux effectués avec le support du CNES. Toute publication parue dans le cadre de la présente proposition devra obligatoirement mentionner dans le titre ou dans le résumé le nom du ou des missions ou instruments spatiaux dont des données ont été utilisées