

Proposition d'un contrat doctoral attribué par l'ANR-Ricochet

Mouvements gravitaires de côtes rocheuses et d'arrière littoral : Rythmes d'évolution, seuils de déclenchement et modélisation spatialisée de l'aléa (Normandie, France)

Direction de thèse : Olivier MAQUAIRE & Stéphane COSTA (LETG-Caen, UMR 6554 CNRS)
Gilles GRANDJEAN (BRGM, Orléans)

1. Description du projet de thèse

Contexte et problématique

Les milieux côtiers, notamment les côtes à falaises sont des environnements complexes en raison de la multitude et de la combinaison des facteurs et processus responsables de leur mobilité.

Ces caractéristiques en font des milieux fragiles et sensibles aux changements environnementaux, et imposent une approche pluridisciplinaire pour la compréhension de leur fonctionnement actuel et futur, ainsi que leur gestion.

Ce projet doctoral s'inscrit dans un programme ANR en cours plus large : RICOCHET¹. Ce dernier s'intéresse à la gestion des aléas et des risques, qui sont souvent multiples et potentiellement concomitants (érosion côtière et submersion marine pour le littoral, inondation par remontée de nappe, crues turbides, mouvements de versants pour le secteur arrière littoral). Dans un contexte de changements environnementaux et sociétaux globaux et locaux, ces menaces appelleront probablement la relocalisation des personnes et des biens qu'il convient d'anticiper. Ce projet ANR a donc vocation à répondre à la fois à des questions de recherche fondamentale (compréhension du fonctionnement et de la dynamique de la frange côtière), et de recherche appliquée, puisqu'il tente d'apporter des éléments de réponse à une demande sociétale forte, notamment de la part des gestionnaires des territoires. Ce programme se focalise sur des côtes à falaises aux reculs rapides encadrant des vallées également soumises aux inondations continentales et marines. Les équipes pluridisciplinaires mettent en place diverses techniques et méthodes (multi-scalaires haute résolution, modèles, entretiens participatifs avec les parties prenantes) afin de fournir des outils d'aide à la décision aux gestionnaires des territoires côtiers. Le programme RICOCHET a **trois objectifs principaux** :

- 1.) Comprendre la **dynamique actuelle du continuum Terre / Mer** (arrière littoral / falaise / plage) et réaliser **le bilan des échanges de matière** ;
- 2.) Déterminer les **impacts multisectoriels du changement global** (climatiques, environnementaux et socio-économiques), de l'augmentation des tempêtes et de l'élévation du niveau moyen de la mer sur le fonctionnement du système falaise-plage, mais également de l'arrière littoral (plateaux, vallées et zones basses). Ces impacts affectant intensivement les enjeux situés sur ces territoires sensibles ;
- 3.) **Accompagner l'appropriation de la thématique du changement côtier par les élus locaux** et mieux cerner leurs préoccupations face aux impacts du changement global. Ce travail vise à définir l'accompagnement nécessaire à la mise en place de stratégies durables d'adaptation.

¹ Site Web : <http://www-ium.univ-brest.fr/pops/projects/anr-ricochet-2017-2020> Le programme ANR RICOCHET s'inscrit dans le domaine de la recherche fondamentale et appliquée. C'est un projet de recherche collaborative - Entreprises (PRCE) en partenariat entre quatre laboratoires de recherche académiques (LETG-Caen, LGO-Brest, M2C-Rouen, LETG-Brest), un organisme public (BRGM-Orléans), une association scientifique (IRD2, Normandie) et une entreprise (AZUR-DRONES, Paris).

Objectifs de la thèse

Le projet de thèse s'intéresse aux mouvements de terrain superficiels ou profonds aussi bien sur des falaises et versants littoraux, que sur la frange arrière littorale, en domaine continental.

Les versants littoraux et falaises subissent une érosion continue mais reculent par des mouvements de terrain brusques et soudains (chutes de blocs, éboulements, écroulements, effondrements, glissements, ...). Il s'agit de phénomènes dynamiques, au comportement complexe dans le temps et dans l'espace et contrôlés par des facteurs (hérités et actuels) de prédisposition et de déclenchement. Leurs facteurs de contrôle, leur cinématique et leurs effets peuvent être extrêmement hétérogènes. Par leur soudaineté, ils peuvent mettre les populations côtières en danger et détruire des infrastructures (bâti, voies de communications) ou affecter l'environnement (cultures, forêts).

Alors que des avancées importantes ont été réalisées ces dernières années, d'une part sur l'identification des variables de contrôle et des mécanismes élémentaires, et d'autre part sur le développement de modèles à base physique, de nombreuses lacunes subsistent dans la caractérisation quantitative de ces aléas naturels. En effet, des verrous scientifiques importants existent encore, notamment sur les conditions conduisant à la rupture d'un versant littoral (et/ou falaise), sur la réactivation ou l'accélération d'un glissement déclaré, ou encore sur la simulation de leur comportement transitoire et multidimensionnel. Ces lacunes concernent la caractérisation quantitative de l'aléa (prévision spatiale, prédiction temporelle, estimation de la magnitude), à la fois les facteurs de prédisposition (structure géologique régionale, lithologie, fatigue de la roche, occupation du sol et leurs évolutions) et les facteurs de déclenchement (climat, hydrologie, sismicité) qui doivent être étudiés à des échelles d'observation et d'analyse adaptées.

En s'appuyant sur quelques secteurs spécifiques, les objectifs généraux de ce travail de thèse de doctorat sont :

- (1) d'approfondir la connaissance des mécanismes physiques qui contrôlent les ruptures d'équilibre (hydrologie, hydromécanique) ;
- (2) de préciser les rythmes d'évolution des falaises et versants côtiers (analyse diachroniques de différents documents cartographiques et photographiques, suivi photogrammétrique drone et terrestre, suivi Lidar et TLS) ;
- (3) de proposer des modèles conceptuels de développement (modèle géométrique, modèle morpho-structural, modèle cinématique, modèle géotechnique, modèle géomécanique couplé hydrologie) ;
- (4) de préciser le rôle des différents forçages : eau (hydrologie, hydrogéologie) et action de la mer (suppression de butée et sapement à la base des escarpements), ... ;
- (5) de simuler le comportement hydrologique et hydro-mécanique à long-terme et à court-terme (crise) des phénomènes par des modèles statistiques et à base physique, de manière à préciser les différents seuils de déclenchement ;
- (6) de quantifier l'aléa associé à ces phénomènes par l'utilisation de scénarios d'évènements (observation de phénomènes passés, simulation de scénarios) ;
- (7) d'intégrer ces connaissances dans une plateforme de modélisation spatiale de type SIG.

Une approche multidisciplinaire associant géomorphologie, géologie, géophysique de sub-surface (*i.e.* sismique pour identifier la décompression par exemple), hydro-géotechnique, traitements de MNTs, analyse croisée de données, modélisation numérique et statistique sera utilisée sur les secteurs retenus pour lesquels des bases de données sont en partie déjà disponibles. Les étapes du travail de recherche sont donc de :

1. caractériser les facteurs de prédisposition, en particulier d'ordre morpho-structural, de ces mouvements de versant ;
2. proposer des modèles géométriques et géotechniques 3D de ces falaises, en combinant investigation géophysique (sismique, électrique, ...), investigation géotechnique et traitements de MNTs ;

3. caractériser l'évolution (ou « cycle d'évolution ») de ces falaises à long-terme (analyse diachronique et historique) et à court-terme (crise) à partir de traitement d'images satellites, aériennes et terrestres (corrélation d'image optique) afin d'obtenir des cartes d'évolution sur plusieurs périodes ;
4. proposer des modèles hydrologique et géomécanique de comportement de ces falaises par l'analyse de données piézométriques et climatiques et de données géotechniques ;
5. identifier des seuils dans les variables de contrôle des phénomènes (nappes phréatiques, pressions interstitielles, etc.) par l'analyse statistique des bases de données temporelles multi-sources (monitoring). Des techniques statistiques d'analyse de données complexes et des techniques d'apprentissage de type intelligence artificielle (eg. ANN ; Artificial Neural Network) pourront être en particulier utilisées ;
6. simuler le comportement hydro-mécanique de ces falaises, en combinant plusieurs modèles d'analyse 2D ou 3D (Seep/Slope, Flac, Alice, Flame, ...) ;
7. quantifier le niveau d'aléa (occurrence spatiale, occurrence temporelle, intensité) associé à ces phénomènes ;
8. proposer plusieurs scénarios d'aléas en incluant des changements climatiques (élévation du niveau de la mer, efficacité renforcée de la houle en pied de falaise, précipitations, température) et d'occupation/usage du sol.

Faisabilité : Données disponibles sur le territoire normand

Les côtes à falaises normandes sont affectées par une large gamme de mouvements de terrain. Aussi, le projet de thèse bénéficiera de nombreuses missions de suivis diachroniques topographiques et hydrologiques acquises dans le cadre de précédents programmes de recherche nationaux et internationaux : ANR SISCA, LabEx MER, Seine Aval, Interreg BAR...

Sur ce littoral normand touché par des mouvements de terrain, bon nombre de travaux ont été menés, mais il reste encore beaucoup à faire pour préciser les rythmes et les agents responsables. Sans que ce soit exhaustif, on peut citer, par exemple, les travaux :

- (1) sur la quantification du recul des falaises et l'apport sédimentaire aux plages et à la mer (Costa, 1997 ; Costa *et al.*, 2002, 2003, 2014 ; Dewez *et al.*, 2013 ; Letortu *et al.*, 2015 ; Lissak *et al.*, 2013b) ;
- (2) sur l'investigation des différents processus impliqués dans les glissements et écroulements (Maquaire, 2000; Lissak, 2012, Lissak *et al.*, 2014a ; Lissak *et al.*, 2015) ;
- (3) sur les facteurs de contrôle et de déclenchement responsables des retraits de falaises et glissements (Costa *et al.*, 2002, 2003; Hénaff *et al.*, 2002; Letortu, 2013; Duperré *et al.*, 2004, 2005 ; Senfaute *et al.*, 2009 ; Letortu *et al.*, 2015; Lissak *et al.*, 2014b) ;
- (4) sur les glissements de terrain 'arrière littoral' notamment sur les facteurs de prédisposition et de déclenchement (Fressard, 2013 ; Fressard *et al.*, 2014 ; Fressard *et al.*, 2016 ; Cance, 2017).

Aussi, de nombreuses bases de données multi-paramètres existent déjà sur l'érosion des falaises, les glissements et les écoulements. Ces données déjà disponibles pour ce projet de thèse permettent d'envisager de préciser les rythmes, définir les différents niveaux d'aléas et de pouvoir évaluer les impacts potentiels du Changement global (climatique et anthropique).

Le projet de thèse bénéficiera des collaborations issues des deux observatoires de recherche : SNO-OMIV-INSU² et SNO-DYNALIT³. Trois sites expérimentaux de recherche sont représentatifs des valeurs de recul des falaises avec des taux de 0,1 – 1 m/an : Dieppe (falaises rocheuses crayeuses,) et le versant littoral de Villerville-Cricqueboeuf (falaises marneuses et crayeuses). Ces observatoires produisent de nombreuses données en hydrologie, volumes de débris, déplacements de surface, données météorologiques locales et régionales, ...

² OMIV-INSU: Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versants : http://eost.u-strasbg.fr/omiv/monitored_landslide.php

³ SNO DYNALIT (Service National d'Observation) : <http://www.dynalit.fr>

2. Expérience et formation souhaitées du candidat

La candidate/le candidat pourra être titulaire d'un master Recherche en géographie physique ou d'un master en géosciences, ou de tous diplômes équivalents. En dehors, de compétences générales sur le fonctionnement des milieux littoraux et continentaux, des aléas et des risques hydro-gravitaires, il devra avoir une solide expérience dans l'utilisation des outils d'investigation et de surveillance *in situ*, du traitement de données sous logiciels dédiées ou sous MATLAB, de modélisation géomécanique et spatialisée sous SIG. Des connaissances approfondies sur les traitements statistiques seraient très fortement appréciées.

3. Modalités de candidature

Envoyer pour le **vendredi 21 juillet 2017 au plus tard** à Olivier Maquaire (olivier.maquaire@unicaen.fr) et à Gilles Grandjean (g.grandjean@brgm.fr) un dossier composé d'un CV, d'une lettre de motivation, des photocopies des diplômes et des relevés de notes, accompagné de toute production individuelle (mémoire de recherche, rapport, article scientifique, etc.).

Les candidats présélectionnés (titulaires d'un master 2) seront auditionnés par l'école doctorale ED 556 HSRT durant la première quinzaine de septembre (la date exacte sera communiquée ultérieurement par email aux candidats présélectionnés).

Début du contrat : le 1^{er} octobre 2017.

Durée du contrat : 36 mois

Lieu de travail : Université de Caen-Normandie, LETG-Caen. Des séjours de courtes durées seront à prévoir au BRGM Orléans.

4. Contact

MAQUAIRE Olivier
Courriel : olivier.maquaire@unicaen.fr
Tél. : 06 87 82 97 09

COSTA Stéphane
Courriel : stephane.costa@unicaen.fr
Tél. 06 79 70 20 20

GRANDJEAN Gilles
Courriel : g.grandjean@brgm.fr
Tél. : 06 31 84 70 80

5. Bibliographie

- Costa S., 1997. *Dynamique littorale et risques naturels : L'impact des aménagements, des variations du niveau marin et des modifications climatiques entre la Baie de Seine et la Baie de Somme*. Thèse de l'Université de Paris I., 376 p.
- Costa S., Delahaye D., Freire-Diaz S., Davidson R., Di-Nocera L., Plessis E., 2004. Quantification by photogrammetric analysis of the normandy and picardy rocky coast dynamic (Normandie, France). Edited by Mortimore&Duperet, Geological Society Engineering, Geology special publication, 20 : *Coastal chalk cliff instability*, 139-148.
- Costa S., Delahaye D., Freire-Diaz S., Davidson R., Laignel B., Di Nocera L., 2002 - Quantification par analyse photogramétrique du recul des falaises et des apports en galets corrélatifs (Haute-Normandie, France). In Delahaye D., Levoy F., Maquaire O. Eds., *Symposium Geomorphology : from expert opinion to modelling*, 26-27 avril 2002, Strasbourg, 205-214.
- Costa S., Maquaire O., Letortu P., Lissak C., Pfeiffer N. Thulie A. (2015). Quantification et gestion du recul des falaises normandes. *Géologues*, 84, 86-90.
- Dewez, T.J.B., Rohmer, J., Regard, V., Cnudde, C., 2013. Probabilistic coastal cliff collapse hazard from repeated terrestrial laser surveys: case study from Mesnil Val (Normandy, northern France). *Journal of Coastal Research*, Special Issue 65, 702-707.
- Duperret A., Genter A., Martinez A., Mortimore R.N., 2004, Coastal chalk cliff instability in NW France : the role of lithology, fracture pattern and rainfall. in : Mortimore R.N. and Duperret A. (eds), *Coastal Chalk Cliff Instability*, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 20, p. 33-55. [DOI:10.1144/GSL.ENG.2004.020.01.03]
- Duperret A., Taibi S., Mortimore R.N., Daigneault M., 2005, Effect of groundwater and sea weathering on the strength of chalk rock from unstable coastal cliffs of NW France, *Engineering Geology*, 78, p. 321-343. (IF 2010 : 1,44) . [DOI : 10.1016/j.enggeo.2005.01.004]
- Fressard, M., 2013. Les glissements de terrain du Pays d'Auge continental (Normandie, France) Caractérisation, cartographie, analyse spatiale et modélisation. PhD thesis of the university of Caen Basse-Normandie, 331p (in French).
- Fressard, M., Thiery, Y., Maquaire, O., 2014. Which data for quantitative landslide susceptibility mapping at operational scale? Case study of the Pays d'Auge plateau hillslopes (Normandy, France). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14, 569–588. doi:10.5194/nhess-14-569-2014
- Fressard, M., Maquaire, O., Thiery, Y., Davidson, D., Lissak, C. 2016. Multi-method characterisation of an active landslide: Case study in the Pays d'Auge plateau (Normandy, France). *Geomorphology*, 270, 22-39.
- Hénaff, A., Lageat, Y., Costa, S., Plessis, E., 2002. Le recul des falaises crayeuses du Pays de Caux: détermination des processus d'érosion et quantification des rythmes d'évolution. *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, 8(2), 107-118.

- Letortu P., 2013. *Le recul des falaises crayeuses haut-normandes et les inondations par la mer en Manche centrale et orientale : de la quantification de l'aléa à la caractérisation des risques induits*. Thèse de Géographie, UCBN, 408 p.
- 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*. DOI: 10.1002/esp.3741.
- Letortu P., Costa S., Cantat O., Planchon O., 2016. Conditions météo-marines responsables des inondations par la mer en Manche orientale française. *La Houille Blanche*, 2, 5-10.
- Letortu P., Costa S., Maquaire O., Delacourt C., Augereau E., Davidson R., Suanez S., Nabucet J., 2015a. Retreat rates, modalities and agents responsible for erosion along the coastal chalk cliffs of Upper Normandy: The contribution of terrestrial laser scanning. *Geomorphology*, 245, 3-14. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.05.007.
- Lissak C., Maquaire O., Malet J.P., Bitri A., Samyn K., Grandjean G., Bourdeau C., Reiffsteck P., Davidson R. 2014a. Airborne and ground-based sources of information for characterizing the morphostructure of coastal landslides. *Geomorphology*, 217, 140-151.
- Lissak, C., 2012. Coastal landslides of the Pays d'Auge (Calvados): Morphology, functioning and risk management. Ph.D. Thesis, University of Caen, France.
- Lissak, C., Maquaire, O., Malet, J.-P. et al., 2013a. Landslide consequences and post crisis management along the coastal slopes of Normandy, France. Proc. 2nd World Landslide Forum, 3-7 October 2011, Rome. In Margottini, C., Canuti, P., Sassa, K. (Eds), *Landslide Science and Practice*, Vol. 7, Springer Berlin Heidelberg, pp 23-30.
- Lissak, C., Maquaire, O., Malet, J.-P., Davidson, R. (2014b). Piezometric thresholds for triggering landslides along the Normandy coast, France. *Revue 'Géomorphologie'*, 2, 145-158.
- Lissak, C., Maquaire, O., Malet, J.-P., Lavigne F., Virmoux C., Gomez C., Davidson, R., (2015). Ground-penetrating radar observations for estimating the vertical displacement of rotational landslides. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 1399-1406.
- Lissak, C., Maquaire, O., Puissant, A., Malet, J.-P., 2013b. Analyse spatio-temporelle de glissements de terrain littoraux par l'exploitation de données géospatiales multi-sources, *Revue Internationale de Géomatique*, Hermes, n° 2/2013, 199-225.
- Maquaire O. 2000. Effects of groundwater on the Villerville-Cricqueboeuf landslide. Sixteen years of survey Calvados, France. In *Proc. 8th Int. Symp. On landslides, Cardiff, Telford*, 2, 1005-1010.
- Senfaute G., Duperret A., Lawrence J.A., 2009, Micro-seismic precursory cracks prior to rock-fall on coastal chalk cliffs : a case study at Mesnil-Val, Normandy, France. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1625-1641, 2009 (IF 2011 : 1,98). [DOI : 10.5194/nhess-9-1625-2009]