

UNE APPROCHE SUD-EUROPEENNE DU RISQUE MOUVEMENTS DE TERRAIN EN ZONE COTIERE

A SOUTH EUROPEAN APPROACH FOR COASTAL LANDSLIDE HAZARD

Muriel Gasc-Barbier¹, Séverine Bernardie², Anne Chanal¹, Christian Iasio², Christophe Garnier³, Nathalie Dufour¹, Yannick Thiery²

¹ Cerema Méditerranée, Aix-en-Provence, France

² BRGM, Orléans, France

³ BRGM, Bordeaux, France

RÉSUMÉ – Riskcoast est un projet financé par le fond européen Interreg SudOE à hauteur de 1,07 M€ qui se concentre sur l'étude des risques géologiques en zone côtière, liés au changement climatique. Riskcoast intervient sur la chaîne complète du risque, de la compréhension de l'aléa à l'amélioration de la gestion du risque, de la prévention à la crise possible ainsi que la réhabilitation de zones sinistrées. Il a démarré en novembre 2019 et s'achèvera en octobre 2022.

ABSTRACT – Riskcoast project is funded by the European fund Interreg Sudoe for 1.07 M€. It focuses on the study of geological risks in coastal areas related to climate change. Riskcoast intervenes on the whole risks, from a better understanding of the hazard to the improvement of the risk management, from the prevention to the possible crisis as well as the rehabilitation of disaster areas. It starts on November 2019 and lasts 3 years.

1. Introduction : présentation des objectifs du projet

Le littoral en général, et celui du Sud-Ouest européen en particulier sont des territoires très vulnérables aux effets du changement climatique. Il s'agit d'espaces naturels substantiellement modifiés du fait d'une importante pression urbaine, où les processus marins et terrestres interagissent. Une grande partie des économies locales sont liées au tourisme, et l'augmentation de la fréquence d'événements météorologiques extrêmes donne lieu à une augmentation des risques géologiques, ce qui peut avoir un impact significatif (coûts directs et indirects, impact social et économique).

Riskcoast est un projet financé par le fond européen Interreg SudOE (Sud-Ouest Européen) qui promeut l'innovation pour faire face à différents aléas : glissements, érosion et perte de sol après des événements torrentiels, érosion des estrans et recul des deltas. Les processus côtiers sont très complexes et peuvent comporter des effets en cascade difficiles à prédire. Riskcoast a pour objectif de prendre en compte la chaîne complète des risques qui menacent la côte, de la connaissance de l'aléa à la proposition de mesures naturelles de réhabilitation post-crise. La gestion des risques au sens large implique, suivant les territoires, un très grand nombre d'institutions. Riskcoast proposera d'élaborer des stratégies pour une meilleure gestion coordonnée et efficace du risque, en établissant et encourageant un réseau de coopération transnational, en facilitant le développement d'outils innovants, de méthodologies et de solutions pour constituer un front commun contre les risques côtiers. Ce type de coopération doit aboutir à une gestion plus efficace des risques.

Les produits générés soutiendront les trois phases de la gestion des urgences : prévention, réponse et réhabilitation, et seront validés au cours de deux exercices participatifs. Les nouveaux instruments, à l'interface entre la communauté scientifique et la société civile, s'adapteront aux exigences des parties impliquées dans la gestion du

risque et se fonderont sur des techniques satellitaires et aéroportées, des modélisations numériques avancées, et des expérimentations en laboratoire, complétées bien entendu par des missions de terrain.

2. Présentation des différents partenaires

Le projet Riskcoast est porté par sept partenaires espagnols, portugais et français.

Le **CTTC**, centre de télécommunication de Catalogne, est le porteur du projet. Le Département de Télédétection (RSE) du CTTC a pour but de réaliser des recherches relatives à la génération et à l'analyse de données spatiales, aériennes et terrestres et de développer des applications scientifiques et techniques. Les développements du RSE concernent les différents types de capteurs actifs (radar, scan laser, etc.) ainsi qu'avec les capteurs passifs. Du point de vue des applications, le RSE est hautement spécialisé dans la mesure et le suivi de déformation, et la génération de modèles numériques du terrain. Riskcoast permettra la consolidation d'outils basés sur des capteurs à distance développés par le CTTC dans les dernières années pour les appliquer à la prévention des risques géologiques et au support d'alertes précoces. De plus, le fait de travailler dans des milieux côtiers permettra de les tester et les adapter à ce domaine. Par ailleurs, le fait de disposer d'un très grand nombre d'utilisateurs finaux associés au projet permettra de mieux comprendre les besoins de chacun d'entre eux et, donc, d'introduire des améliorations dans ces outils afin d'en faciliter et étendre l'utilisation.

l'IGME, Institut Géologique et Minier d'Espagne, développe une importante activité de recherche dans les thématiques liées à Riskcoast : il participe à l'élaboration d'outils et méthodologies pour faire face plus efficacement aux menaces géologiques. Il a participé à la mise au point et la validation d'outils basés sur la télédétection et la modélisation de risques géologiques (glissements, éboulements, subsidence du terrain, érosion...). Dans ce projet l'IGME pourra poursuivre sa ligne de recherche en matière de risques géologiques, appliqués dans ce cas aux régions côtières. Il bénéficiera du transfert d'information et de la formation qu'il recevra des autres participants, ce qui lui permettra d'acquérir une vision bien plus large des méthodologies et outils de dernière génération appliqués à la gestion des risques.

l'UGR, Université de Grenade, possède deux groupes de recherche à l'avant-garde en matière d'évaluation des risques géologiques et d'analyse de la dynamique fluviale et côtière, deux des principaux piliers sur lesquels le projet proposé est fondé. Le groupe Analyse du relief et processus actifs (ARPA) maîtrise des techniques de pointe comme l'interférométrie radar satellite ou l'utilisation de drones pour l'analyse de processus géologiques dangereux sur la côte. Les études du groupe Dynamique des flux environnementaux (TEP-209) apportent des outils de gestion qui sont employés actuellement par des organismes ayant des responsabilités dans la gestion de la côte en Andalousie et plus généralement en Espagne (Autorité portuaire, Département de l'Environnement de la Junta de Andalucía ou la Confédération hydrographique du sud). Il est de plus important, pour l'UGR de mettre au service de la société civile le savoir et les outils développés au sein de l'université. Dans ce cas, le projet peut aider à améliorer des méthodologies par leur mise en pratique sur le terrain.

Asitec, est une PME Espagnole qui possède une expérience de vingt ans dans le développement de projets de génie civil, englobant toutes les phases de développement, de la planification à l'étude d'alternatives, la conception et définition technique dans le domaine de l'hydraulique, du transport, de l'urbanisme et l'environnement. Elle apportera au projet son savoir et son expérience dans la définition et la proposition de solutions techniques de réhabilitation intégrant les effets du changement climatique sur l'environnement.

IGOT (Institut de Géographie de l'Université de Lisbonne) regroupe une équipe de chercheurs qui développent des travaux théoriques et appliqués dans l'évaluation de la

susceptibilité, du danger, de la vulnérabilité, du risque et de la perception des risques naturels, environnementaux et technologiques. La recherche développée utilise des outils SIG et des techniques de modélisation spatiale. Les principales applications sont orientées vers la planification et la gestion du territoire et la mise au point de mesures d'urgence.

Le **BRGM** (Bureau de Recherche Géologique et Minière) mène des actions dans les domaines suivants :1/ évaluation des aléas, de la vulnérabilité, et des risques naturels, 2/ réalisation d'expertises et appuis auprès des autorités et acteurs locaux, 3/ mise en œuvre et gestion de bases de données sur les principaux risques et 4/ mise en place de moyens d'acquisition de données, de systèmes de surveillance, et d'information à destination des opérateurs publics. Dans le domaine des aléas gravitaires, les travaux du BRGM visent à comprendre, évaluer et aider à la gestion des aléas et des risques liés aux instabilités des versants et des sols en développant les objectifs suivants: 1/ Comprendre et analyser les mécanismes de rupture/propagation, 2/ Développer des méthodes de mesures et des outils de modélisation, 3/Construire des modèles validés sur des sites pilotes et élaborer des méthodes d'évaluation de l'aléa et du risque, 4/Dimensionner des systèmes de surveillance.

Le **Cerema** (Centre d'étude et d'expertise sur les risques l'environnement, la mobilité et l'aménagement) est l'organisme public de référence français pour la chaîne complète de la gestion des risques en appui aux services de l'état et aux collectivités territoriales. Ses compétences vont de la définition de l'aléa à la résilience des territoires, en passant par l'analyse de leur vulnérabilité et l'appui à la gestion de crise. Le Cerema est territorialisé mais certains de ses services ont des compétences nationales comme l'équipe de recherche sur les mouvements gravitaires et le service « Vulnérabilité et Gestion de Crise » tous les deux basés à Aix-en-Provence, et qui viennent en appui aux cellules locales du territoire français qui n'ont pas toutes, les compétences requises. Les travaux du Cerema dans ce projet sont développés dans la dernière partie.

De plus une vingtaine de **partenaires externes**, issus des territoires concernés par le projet, ont été associés dès le montage : institutionnels, politiques, responsable de service de gestion de crise, associations locales, etc.

Ainsi, la participation au projet permet d'échanger et de collaborer avec des institutions similaires de l'espace SUDOE et de mener des recherches fondamentales et appliquées dans différents contextes naturels. En ce sens, le projet permettra l'application et la comparaison de techniques diversifiées par les différentes équipes participant au projet, permettant ainsi un accroissement des connaissances, essentielles pour soutenir le développement des communautés et des régions, dans le bon ordre du territoire et dans la durabilité des ressources environnementales

3. Programme prévisionnel

Le projet Riskcoast est financé pour une durée de 36 mois. Il a démarré officiellement le 1^{er} octobre 2019, et est découpé en six tâches majeures décrites ci-après.

3.1. Tâche 1 : état des lieux – points forts et faibles dans la gestion des risques côtiers

Ce groupe de tâche (GT) vise à identifier les points forts et les points faibles existant dans la gestion des différents risques géologiques dans les régions côtières SUDOE. Il mettra particulièrement l'accent sur l'identification des lacunes existantes, aussi bien pour ce qui concerne les outils disponibles pour faire face à l'urgence que pour les problèmes de coordination entre les différents acteurs impliqués. La première action sera dédiée au partage d'informations en élaborant une carte des événements survenus dans les dix dernières années, avec une description détaillée de ceux-ci, notamment des dommages

générés (directs et indirects). Ensuite, une série de questionnaires spécifiquement conçus pour Riskcoast sera partagée. Pour chaque région et pour chaque type de risque, on analysera la législation actuelle relative à l'inclusion des risques naturels dans la planification urbanistique et territoriale, les protocoles d'action en cas d'urgence, y compris les acteurs impliqués et la coordination, les produits cartographiques ou autres de type scientifique employés, les solutions adoptées : impact environnemental et coûts ainsi que la participation de la société et les actions de communication menées.

Tous les participants de Riskcoast y prendront part, ainsi que les partenaires associés. Chaque participant sera responsable de son territoire : il élaborera l'inventaire des événements et leurs caractéristiques, partagera les questionnaires et analysera les résultats. Le résultat final sera un rapport unique, fruit d'une discussion en commun.

3.2. Tâche 2 : cartographie des risques pour la planification urbanistique et territoriale

L'objectif de cette tâche est d'élaborer un ensemble de cartes utiles pour les étapes de prévention et gestion des catastrophes. La prise en compte des aléas géologiques dans la planification urbanistique et territoriale est d'une importance majeure pour éviter l'urbanisme et le développement d'infrastructures dans des zones à risque. Homogénéiser les contenus, les échelles, les légendes, etc. des cartes d'aléa, de vulnérabilité, de risques et des éléments exposés est une tâche que traite Riskcoast dans le but de créer des outils cartographiques utiles, dans un langage compréhensible pour les gestionnaires et dans lesquels tous les éléments du territoire sont recueillis.

3.3. Tâche 3 : Dynamique d'outils de gestion basés sur l'étude intégrée de la dynamique fluviale et côtière

Le GT3 a pour but d'identifier et d'analyser les processus hydrologiques et hydrauliques impliqués dans le risque côtier à partir d'une perspective holistique incluant l'analyse du système bassin et sa réponse face aux différents scénarios climatiques, l'interaction des flux d'eau et sédiment avec les infrastructures existantes le long du réseau fluvial, les implications de ces processus dans la dynamique littorale et les effets de différents scénarios extrêmes sur les processus côtiers. Pour ce faire, nous proposons 1) d'évaluer la réponse du bassin pour différents scénarios climatiques et d'utilisation du sol à partir de modèles numériques et d'images satellitaires, 2) d'analyser, dans une approche stochastique, les flux d'eau et de sédiments et leur répercussion le long du réseau fluvial, en incluant l'analyse de l'alluvionnement de retenues et leur impact sur les processus d'érosion et sédimentation, 3) d'analyser la dynamique littorale face à des événements extrêmes et leurs répercussions pour différents scénarios de changement climatique et 4) de générer des outils pouvant être appliqués dans des situations de prévention et d'urgence. Les résultats du GT3 permettront d'améliorer les stratégies d'adaptation et mitigation dans des cas d'événements extrêmes occasionnés par le changement climatique dans les zones côtières.

3.4. Tâche 4 : Outils de soutien des systèmes d'alerte précoce pour différents types de risques et modèles de côtes

Ce GT vise à adapter des outils existants ou à en développer des nouveaux, si nécessaire, basés sur des données de télédétection (satellitaires / drones / terrestres) pouvant contribuer à des systèmes d'alerte précoce face à différents risques et types de côte. L'objectif est de fournir une solution intégrée capable d'absorber des données provenant de différents capteurs et de générer des cartes pouvant être utilisées comme support de la prévention et de l'alerte face aux risques géologiques. Les résultats de ce

GT seront utiles au GT2 car ils permettront l'amélioration des cartes de susceptibilité et d'aléa, et amélioreront donc les capacités de prévention des autorités compétentes.

3.5. Tâche 5 : Réalisation de deux exercices de crise « sur table » pour tester les outils développés dans les tâches précédentes

Cette tâche vise à tester en conditions de mise en situation, via deux exercices sur table (en France et en Espagne), les outils et développements réalisés par les autres GT dans le cadre du projet. L'objectif est à la fois de mobiliser : 1) les partenaires scientifiques du projet ayant une compétence locale afin de les placer en position d'appui scientifique à la gestion des risques, et 2) les praticiens de la gestion des risques et de la gestion de l'urgence en mesure d'utiliser (directement ou via les scientifiques) les outils mis à disposition par le projet pour tirer les enseignements relatifs à l'usage des outils, de façon à analyser leur apport potentiel.

3.6. Tâche 6 : mesures naturelles de réhabilitation préventives d'adaptation au changement climatique

Il est prévu d'élaborer un catalogue recueillant l'ensemble des mesures naturelles de réhabilitation, en les classant comme mesures d'adaptation au changement climatique, de mitigation, préventives, ou de réhabilitation des zones endommagées ou touchées. Chacune de ces solutions ou mesure sera considérée comme une solution type, conçue pour toute localisation et tout risque.

Dans ce catalogue, chacune des mesures considérées sera détaillée sous la forme d'une fiche qui présentera une définition technique, géométrique et économique. Chaque fiche sera accompagnée de documentation graphique, de tableau définissant le matériel utilisé, de son évaluation et d'une brève description de la proposition de réhabilitation. Le catalogue sera disponible gratuitement sur le site du projet (www.riskcoast.eu) afin que toute personne intéressée puisse le télécharger.

4. Focus sur les actions françaises

4.1. Connaissance et comportement des massifs rocheux

4.2.1. BRGM

Deux sites d'étude sur la Côte basque sont particulièrement ciblés au regard de la diversité de leur contexte géomorphologique (et typologie des mouvements de terrain associée), et des enjeux exposés.

Le secteur de la Corniche de Socoa (communes de Ciboure/ Urrugne – Fig 1) correspond à un vaste monoclinale dans la série du flysch Crétacé supérieur (flyschs marno-calcaires de Socoa sur la zone d'intérêt). Cette série présente de forts contrastes lithologiques, entre des strates de marnes calcaires dures et des niveaux marneux meubles, et se caractérise par ailleurs par une forte fracturation, des diaclases, des failles, une altération pénétrative, des cavités karstiques, etc.

Ces paramètres favorisent une activité mouvement de terrain, principalement de type « glissement banc sur banc » (ou glissement plan) et de façon plus localisée l'occurrence de glissements rotationnels au sein des niveaux meubles de couverture. L'intensité et la récurrence des instabilités, qui concernent des enjeux bâtis et la RD912, sont ainsi liées à différents facteurs de prédisposition et/ou de déclenchement, d'origine continentale et océanique, plus ou moins prégnants.



Fig1. Secteur Corniche de Socoa

Pour les facteurs de risque intrinsèques au massif rocheux, on recense notamment de façon prégnante la lithologie de la falaise, à savoir la présence de flyschs sains et/ou d'une couverture altérée +/- épaisse ainsi que les caractéristiques structurales de la falaise : rôle des discontinuités (orientation, densité, etc.) sur l'intensité de l'activité.

Pour les facteurs extrinsèques, on recense en particulier :

- l'influence de la pluviométrie sur les mouvements à travers : 1) les circulations superficielles (érosion ou ravinement selon les faciès lithologiques), et 2) les circulations souterraines au sein du complexe « flyschs sains / flyschs altérés » ;
- l'impact de l'océan sur les mécanismes de déstabilisation : influence en termes d'impact direct sur la partie inférieure de falaise (érosion, déblaiement des matériaux éboulés) et d'impact indirect (influence potentielle du niveau marin sur les circulations d'eau au sein des flyschs).

Le secteur de la Falaise de la Corniche (Bidart – Fig. 2) se développe sur un linéaire de l'ordre 500 m. Il présente des falaises parmi les plus hautes de la côte basque, comprises entre 50 et 70 m de hauteur, pour une déclivité s'étagant entre 40° et près de 90°. Les versants sont constitués par les marno-calcaires et marnes de Bidart (Crétacé sup.), surmontés par une couverture d'alluvions anciennes (sables et galets) d'épaisseur variable (de quelques mètres à près de 20 m). Le substratum marneux se caractérise par une épaisseur d'altération variable. Ce contexte géomorphologique favorise le développement à la fois d'éboulements et de glissements de terrain (Fig 3) de type rotationnels (glissements superficiels récurrents dans les alluvions et glissements plus profonds au sein des horizons du Crétacé ; favorisant eux-mêmes les glissements de couverture). Cette activité a nécessité le recul d'une voirie communale il y a quelques années.



Fig. 2 Secteur Falaise de la Corniche (Bidart)



Fig 3. Mouvements de terrain récents affectant le secteur de la Falaise de la Corniche (Bidart)

Les glissements de Bidart, très actifs, bénéficient d'un suivi à dire d'expert et d'une analyse géomorphologique récente qui ont permis de les caractériser. L'habitat étant proche, il est nécessaire d'avoir un réseau de surveillance efficace et léger du fait de la configuration géomorphologique et topographique. Le système doit également pouvoir fonctionner pour toutes les conditions météorologiques du site. Ainsi, il est prévu de déployer un réseau de surveillance local des déplacements de surface de certains glissements de terrain par radiofréquence (RFID). L'avantage du système est d'offrir une réelle alternative à un système GPS pour un coût plus faible et un réseau de surveillance dense et continu peu sensible aux variations climatiques. Les précisions obtenues sont de l'ordre du cm. Le système a été testé en conditions montagneuses extrêmes avec succès (LeBreton et al., 2019).

4.2.2. Cerema

L'enjeu du travail proposé dans le cadre de ce projet par le Cerema est de comprendre les mécanismes pouvant conduire à la déstabilisation d'une masse rocheuse dans un milieu soumis à une influence maritime forte et dans le contexte du changement climatique. On se concentrera sur la compétition des phénomènes (eau chargée en sel et eau météorique dans le couplage hydromécanique des fractures), et forçage climatique. Une phase d'analyse en laboratoire des roches étudiées sera nécessaire afin de caractériser les comportements mécaniques des massifs rocheux et les impacts des processus d'altération sur les paramètres constitutifs, en particulier de l'impact de l'eau salée. Des simulations numériques de déstabilisation gravitaire des falaises seront ensuite effectuées, en se basant sur des sites réels dont les données seront fournies par les partenaires de Riskcoast, et ce, dans un double objectif : 1) comparer les résultats des modèles numériques aux données d'évolution des falaises pour déterminer dans quelles mesures la prise en compte des seuls processus d'altération (évolution des propriétés mécaniques) permettent de comprendre et de prédire l'évolution géomorphologique des falaises. Si les résultats ne sont pas concluants, des modèles numériques plus complexes prenant en compte les couplages hydrodynamiques seront développés ; 2) le deuxième objectif sera d'estimer, à partir des résultats obtenus, l'évolution des paramètres constitutifs lorsque les falaises seront soumises à des phénomènes plus intenses (pluies extrêmes en particulier) pour proposer des modèles prédictifs de l'évolution géomorphologique des falaises dans des contextes plus agressifs.

4.2. Mise en œuvre des exercices de gestion de crise

Le Cerema assisté du BRGM est en charge de la tâche 5, c'est-à-dire de la mise en place des deux exercices de crise.

La réalisation d'un exercice de crise sur table nécessite de mobiliser (en salle) les différents acteurs de la gestion de crise (pouvoir publics, services d'urgence, etc) : ce sont les *joueurs*. Les animateurs (Cerema et BRGM) sont en charge d'élaborer un scénario réaliste (par exemple le blocage d'une route suite à un glissement de terrain) et de fournir différents éléments au fur et à mesure de la mise en place des interventions. Enfin, des observateurs sont chargés d'analyser les réponses des uns et des autres pour en tirer un retour d'expérience. Plus les scénarios sont réalistes, c'est-à-dire, plus les animateurs ont une connaissance fine du terrain et les acteurs réellement impliqués, plus l'exercice sur table sera profitable.

Les deux sites ne sont, à ce jour, pas encore complètement identifiés. Il est très probable que le site français retenu se situe sur le littoral basque (département des Pyrénées-Atlantiques), entre Bidart et Hendaye compte-tenu des connaissances antérieures et travaux en cours menés sur le site et de l'implication des collectivités territoriales en matière de gestion des risques côtiers. Le site espagnol, en revanche, reste à identifier, en fonction de l'implication que les autorités locales souhaiteront mettre. Une partie des six premiers mois du projet sera consacrée à identifier les bons partenaires locaux prêts à s'impliquer pour cet exercice : des contacts existent avec l'île de Majorque et la région de Motril (Andalousie).

5. Conclusions

Le projet Riskcoast débute et prévoit de travailler sur la gestion complète de la chaîne du risque : d'une meilleure connaissance de l'aléa par le développement d'outils spécifiques jusqu'à la résilience des territoires, en portant des solutions innovantes, mieux adaptées aux contraintes locales, en passant par la gestion de crise et la réalisation de deux exercices sur table, point d'orgue du projet. Le Cerema et le BRGM, acteurs majeurs français dans le domaine des risques interviennent ensemble, de manière complémentaire et coordonnée.

6. Remerciements



Riskcoast est financé par des fonds européens pour le développement régional, dans le cadre du programme Interreg V-B SudOE 2019-2022.

7. Références bibliographiques

- LeBreton et al., 2019. Landslide Displacement Monitoring using Passive Radio-Frequency Identification Tags. Geophysical Research Abstracts Vol. 21, EGU2019-8957, 2019 EGU General Assembly 2019
- Riskcoast : appel à projet déposé dans le cadre de la candidature au programme Interreg V-B SudOE 2019-2022