

## Aperçu général

La Rédaction.

### Érosion des falaises de craie du littoral de la Manche

Ce thème a donné lieu à deux programmes successifs : ROCC et PROTECT.

Le programme **ROCC**<sup>1</sup> relève d'INTERREG II c'est-à-dire des programmes régionaux européens et il a porté sur la vulnérabilité à l'érosion des falaises côtières de craie des littoraux de Haute-Normandie et de Picardie pour la France (130 km du Havre au nord de Ault) et du Sussex Est au Royaume-Uni (40 km de l'ouest de Brighton à l'est de Beachy Head). Il a été initié mi-1998 pour 40 mois.

L'objectif principal du projet **PROTECT**<sup>2</sup> était de tester différentes méthodes pour détecter des signes précurseurs aux effondrements de falaise. À cette fin, trois sites ont été choisis respectivement en Angleterre, en France et au Danemark. Le site français était situé à Mesnil-Val dans le Pays de Caux (Haute-Normandie). Le projet a débuté en avril 2001 pour une durée de 3 ans.

Ce programme se poursuit par le projet BRGM **EVOLGÉOM**, initié en 2005 et qui a pour objectif de tester l'intérêt de la technologie des lasers terrestres pour l'étude des mouvements de terrain et plus spécifiquement des chûtes de blocs. Le site d'étude est celui de Mesnil-Val, le même qui avait été sélectionné dans PROTECT.

### Érosion côtière et changements côtiers

Lancé en 2001 avec un budget de 5 millions d'euros, le projet **EUROSION**<sup>3</sup> a concerné plus de 60 sites européens.

Les conclusions du projet, présentées dans un rapport final de projet, une base de données sous SIG et un guide de gestion du trait de côte, portent sur :

- des mesures concrètes pour améliorer la gestion côtière sur les 10 ans qui viennent ;
- la création d'une base de données européenne des zones côtières ;
- une analyse approfondie des mesures actuelles de prévention de l'érosion, englobant celles qui se sont avérées efficaces et celles qui ne l'ont pas été.

Le programme **RESPONSE**, qui relève de LIFE Environnement, a pris la suite de deux programmes lancés dans les années 90 :

- « Programme de démonstration sur la gestion intégrée des zones côtières », 1996-1999 : 35 projets de démonstration (35 sites) et 6 études thématiques.
- Programme « Changements côtiers, climat et instabilité », 1997-2000. Accent sur les techniques d'étude des paléoenvironnements et la géomorphologie, ainsi que sur les compétences de gestion.

Le programme **RESPONSE**<sup>4</sup>, 2003-2006 a été considéré comme un projet de démonstration supplémentaire. Il a notamment permis d'élaborer un Guide de bonnes pratiques (Répondre aux risques liés au changement climatique dans les zones côtières) et un Dossier de formation (Cartographie de l'évolution et des risques du littoral liés au changement climatique).

**BEACHMED** fait du programme communautaire INTERREG ; il est ciblé sur le littoral méditerranéen. Le premier programme, **BEACHMED I**, a porté sur la faisabilité de récupération de sables marins pour recharger les plages (ressources, techniques d'extraction, impact...). Le deuxième programme **BEACHMED-e (evolution)**, correspond à une opération cadre régionale à laquelle participe le Conseil général de l'Hérault.

1. Risk Of Cliff Collapse.

2. Prediction Of The Erosion of Clifed Terrains.

3. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability, [www.euroasion.org](http://www.euroasion.org)

4. Répondre aux risques liés au changement climatique dans les zones côtières.

## Le programme européen EUROSION<sup>1</sup>

La Rédaction.

### Introduction

Lancé en 2001 avec un budget de 5 millions d'euros, le projet **EUROSION** a concerné 103 régions européennes ont été concernées par le projet : Allemagne (5), Belgique (1), Chypre (1), Estonie (1), Danemark (1), Espagne (10), Finlande (5), France (12), Grèce (12), Irlande (2), Italie (15), Lettonie (1), Lituanie (1), Malte (1), Pays-Bas (5), Pologne (3), Portugal (7), Royaume-Uni (11), Slovaquie (1), Suède (8).

Les conclusions du projet sont présentées dans un rapport final de projet, une base de données sous SIG et un guide de gestion du trait de côte, tous trois officiellement mis à disposition en mai 2004. Les conclusions portent sur :

- des mesures concrètes pour améliorer la gestion côtière sur les 10 ans qui viennent ;
- la création d'une base de données européenne des zones côtières ;
- une analyse approfondie des mesures actuelles de prévention de l'érosion, englobant celles qui se sont révélées efficaces et celles qui ne l'ont pas été.

Le programme a aussi conclu que plus de 20% du littoral européen (environ 20 000 km de côtes) faisaient face à de sérieux problèmes d'érosion côtière en 2004, dont 15 100 subissant un retrait actif (y compris 2 900 bénéficiant d'une protection) et 4 700 stabilisés artificiellement. Environ 15 km<sup>2</sup> sont perdus annuellement ou sérieusement affectés. Durant la période 1999-2002, entre 250 et 300 maisons ont dû être abandonnées en Europe et 3 000 autres ont vu leur valeur de marché diminuer de 10%.

Ces chiffres ne sont rien par rapport aux risques de submersion côtière qui peuvent concerner des milliers de km<sup>2</sup> et des millions de gens. Sur les derniers 50 ans, la population vivant dans les communes côtières d'Europe a plus que doublé pour atteindre 70 millions en 2001, tandis que la valeur totale des biens situés à moins de 500 m du littoral se situerait entre 500 et 1000 milliards d'euros en 2000.

La situation a empiré au cours des dernières années en raison de l'augmentation des investissements en défense côtière (+ 934 km) et de la diminution des apports sédimentaires des rivières. Sur les 875 km nouveaux de linéaire côtier subissant une érosion en 2001 (ce qui n'était pas le cas en 1986), 63% se situent à moins de 30 km d'un front de mer protégé. La densité des 37% restant tend à être plus forte dans les zones où le niveau de la mer a monté

de plus de 20 cm dans les 100 dernières années et pourrait encore monter de 80 cm à l'horizon 2100.

Le coût des actions de remédiation est lui aussi en accroissement. En 2001, les dépenses publiques de protection ont atteint 3,2 milliards d'euros, contre 2,5 en 1986. Ces chiffres correspondent à des coûts directs de protection contre des risques immédiats et ne prennent pas en compte les coûts cachés induits par les activités humaines sur le long terme. Le « *Global Vulnerability Assessment* » propose les estimations suivantes pour la période 1990-2020 :

- nombre annuel de victimes de l'érosion et de la submersion côtières : 158 000 à l'horizon 2020 ;
- perte de zones humides côtières : 4 500 km<sup>2</sup>, soit 51% du total ; risque connexe d'eutrophisation des eaux côtières ;
- linéaire de littoral protégé par des défenses côtières supérieur à 10 000 km en 2020, sans diminution significative du linéaire côtier érodé ;
- coût de l'érosion côtière : > 120 milliards d'euros, un chiffre auquel il faut ajouter 41 milliards de coûts indirects, soit 161 milliards au total correspondant à un coût annuel de 5,4 milliards.

### Principaux résultats du programme EUROSION

Les principaux résultats acquis par le programme EUROSION peuvent être synthétisés comme suit :

1. Retrait côtier et perte de sédiments : l'urbanisation a fait évoluer l'érosion côtière d'un phénomène naturel à un problème anthropique.
2. Évaluation environnementale et économique : faute d'impact suffisant des procédures de l'EIA<sup>2</sup>, conformément à la directive 85/337/EEC, les coûts pour réduire l'érosion côtière ont considérablement augmenté.
3. Risque d'érosion côtière : les coûts pour réduire l'érosion côtière sont principalement supportés par les budgets nationaux ou régionaux, pas par les communes et pratiquement jamais par les propriétaires de biens. Cette situation est encore accentuée par le fait que l'évaluation du risque d'érosion côtière n'est pas prise en compte dans les processus de décision au niveau local et que l'information du public sur le risque reste faible.
4. Réduction de l'érosion côtière : sur les 100 dernières années, une connaissance limitée des processus de transport côtier des sédiments a entraîné des mesures

1. *Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability*, [www.euroSION.org](http://www.euroSION.org)

2. *Environmental Impact Assessment*.

inappropriées pour réduire l'érosion côtière. Dans certains cas, ces mesures ont pu apporter une solution locale mais elles ont accru les problèmes d'érosion côtière ailleurs, jusqu'à des dizaines de kilomètres de distance, ou ont entraîné d'autres problèmes environnementaux.

5. Malgré la disponibilité de quantités très importantes de données, il reste des trous dans l'information, notamment au niveau de la diffusion de l'information agrégée à partir des données brutes, un domaine peu pris en compte par les acteurs régionaux et locaux.

De ces résultats sont tirées plusieurs recommandations :

1. Accroître la résistance côtière en rétablissant l'équilibre sédimentaire, en offrant de l'espace aux processus côtiers et en déterminant des réservoirs sédimentaires stratégiques.
2. Surveiller, cartographier et évaluer les risques d'érosion côtière afin de les prendre en compte, ainsi que leurs coûts, dans les décisions de planification et d'investissement. Il convient de limiter la responsabilité publique, notamment par le système d'imposition, et de transférer une partie du risque aux bénéficiaires et aux investisseurs.
3. Faire en sorte que les réponses apportées pour remédier à l'érosion côtière soient responsables, en évaluant d'une pratique de solutions mises en place petit à petit à une approche planifiée selon des principes de responsabilité. Cela

signifie optimiser les coûts d'investissements par rapport aux biens soumis aux risques, accroître l'acceptabilité sociale des actions et garder des choix ouverts pour le futur.

4. Renforcer la base de connaissance sur la gestion et la planification de l'érosion côtière en tirant parti des bonnes pratiques (et des échecs). L'érosion côtière entraîne divers impacts :
  - a. perte d'espace à valeur économique ou écologique, dont les effondrements liés à la destruction de falaises ;
  - b. destruction de défenses naturelles, en général un système dunaire, par suite de tempêtes, ce qui peut entraîner l'inondation de l'arrière-pays ;
  - c. sous-cavage de défenses artificielles comme conséquence d'un sous-alimentation chronique en sédiments.

Les facteurs naturels à l'origine de l'érosion côtière englobent vents, tempêtes, courants côtiers, mouvements verticaux terrestres (dont le rebond isostatique), montée relative du niveau des mers, interactions mer-terre. Au chapitre des facteurs humains, on trouve : ingénierie côtière, occupation de l'espace, travaux de régularisation des bassins de rivière, dragages, enlèvement de végétation, extraction de gaz ou d'eau.

La liste des rapports finaux du programme EUROSION est donnée dans l'annexe ci-dessous.

## Annexe. Liste des rapports finaux du programme EUROSION

N°	Titre	Langue
1	Major findings and policy recommendations	Français
2	Maps and statistics	Anglais
3	Methodology for assessing regional indicators	Anglais
4	A guide to coastal erosion management practices in Europe: Lessons learned	Français
5.0	Guidelines for implementing local information systems dedicated to coastal erosion management. Executive summary	Français
5.1	Organisational and management aspects of coastal information	Français
5.2	Guidance document for quick hazard assessment of coastal erosion and associated flooding	Français
5.3	Guidelines for incorporating coastal erosion issues into Environment Assessment (EA) procedures	Français
5.4	Guidelines for incorporating coastal cost benefit analysis into the implementation of shoreline management measures	Français
5.5	Guidelines for implementing local information systems dedicated to coastal erosion management. Information system functionalities	Français
5.6	Data contents specifications	Anglais
5.7	Guidelines for implementing local information systems dedicated to coastal erosion management. Data architecture modelling and spatial data representation	Anglais
5.8a	Manual of procedure for setting up Local Information Systems. Vol. I: Management Procedures.	Anglais
5.8B	Manual of procedure for setting up Local Information Systems. Vol. II: Technical Specifications	Anglais
	Shoreline Management Guide (SMG)	Anglais
	Quick Start to the EUROSION Database	Anglais
	EUROSION Dataset Structure	Anglais

## Le programme européen RESPONSE<sup>1</sup> et ses résultats

La Rédaction.

### Introduction

Le projet européen LIFE Environnement/RESPONSE (2003-2006), initié à la suite du projet EUROSION<sup>2</sup>, a associé 9 établissements de 4 pays, comme indiqué ci-dessous :

#### ■ Italie :

- IRPI (Istituto di Ricerca per la Protezione Hidrogeologica), Pérouse, membre du CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche).
- Région Marche, Autorité de bassin régional, Ancône.
- Province de Pesaro et Urbino.
- Province de Macerata.

#### ■ Royaume-Uni :

- Centre for the Coastal Environment, Isle of Wight Council.
- Scarborough Borough Council.
- SCOPAC, Groupe régional côtier, Côte centre sud de l'Angleterre.

#### ■ Pologne :

- Office maritime, Gdynia.

#### ■ France :

- Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

Les études conduites dans le cadre de RESPONSE, faites sur 5 sites pilotes (Scarborough county et SE de l'Angleterre, Aquitaine, Languedoc-Roussillon en France et Région de Marche en Italie) sont synthétisées dans trois documents :

- Guide de bonnes pratiques : Répondre aux risques liés au changement climatique dans les zones côtières (84 p.).
- Dossier de formation : Cartographie de l'évolution et des risques du littoral liés au changement climatique.
- CD contenant les rapports spécifiques à chacun des sites pilotes.

### Guide de bonnes pratiques

#### Nature et ampleur des risques côtiers

Quelques chiffres d'abord, pour fournir des repères concernant l'*érosion côtière* :

- en 2005, l'Europe a subi 648 catastrophes naturelles qui ont provoqué la mort de 336 personnes et des pertes évaluées à 16 milliards de dollars dont 4,875 milliards correspondent à des pertes assurées ;

- le coût de la protection pour les États côtiers européens entre 1990 et 2020 a été estimé à 120 milliards d'euros selon l'instance mondiale « *Global Vulnerability Assessment* », un chiffre auquel il faut rajouter 41 milliards d'euros, selon EUROSION 2004 ;
- en 2001, les dépenses publiques pour la défense côtière ont atteint environ 3,2 milliards d'euros, à comparer avec 2,5 milliards en 1986. Ce chiffre est ventilé entre les nouveaux investissements (53%), les coûts de maintenance des programmes existants de protection et de surveillance du trait de côte (38%) et les fonds pour l'achat de terrains côtiers à risque (9%) ;
- entre 1999 et 2002, 300 propriétés ont dû être abandonnées en raison d'un risque imminent d'érosion côtière et 3 000 résidences ont vu leur valeur marchande diminuer de 10%.

La gestion des risques côtiers implique d'atténuer et de surveiller les dits risques. Au cours des 100 dernières années, par exemple, 865 km d'ouvrages de protection de la côte ont été construits en Angleterre.

La *définition des risques* soulève plusieurs questions majeures : l'échelle de temps, l'origine des événements, les pertes et dommages potentiels, la façon de gérer ou de diminuer les problèmes. Pour mieux cerner ces différents sujets, on s'appuie sur les témoignages historiques, la nature des changements récents dans le trait de côte (cartes, imagerie aérienne, surveillance) et les cartographies géologique et géomorphologique. On en vient ensuite à la prise de décision, pour laquelle quatre outils de base peuvent être utilisés :

- accepter le risque et en partager les coûts (assurances, compensation...) ;
- éviter les zones vulnérables avec des mesures permettant de contrôler les nouveaux aménagements ;
- réduire l'occurrence d'événements potentiellement destructeurs, en pratiquant une gestion active du territoire ;
- assurer une protection contre ces événements par des mesures de stabilisation des terrains ou d'amélioration des constructions.

Les coûts afférents reposent principalement sur les budgets nationaux ou régionaux, rarement sur l'échelon local ou les propriétaires. D'où l'importance de mettre en place des stratégies durables.

1. Répondre aux risques liés au changement climatique dans les zones côtières.

2. Commission européenne, Direction Générale de l'Environnement.

Entre 1980 et 2000, les **mouvements de terrain** ont provoqué la mort de 535 personnes et provoqué plusieurs centaines de millions de livres de dommages. Selon McInnes *et al.* (2000), il n'y a pas que les glissements majeurs à prendre en compte, mais toutes les instabilités à court terme en lien avec les changements météorologiques. De nombreux problèmes pourraient être réduits par des programmes de gestion à long terme des glissements actifs.

La **submersion marine** résulte d'une combinaison entre l'augmentation du niveau de la mer et la submersion par les vagues. À l'échelle mondiale (base EM-DAT), entre 1998 et 2002, les inondations sont responsables de 43% de toutes les catastrophes. Une élévation d'un mètre du niveau marin et ce sont 13 millions d'habitants de 5 pays pouvant subir une submersion. La bande de vulnérabilité des côtes européennes (< 5 m d'altitude sur 10 km de profondeur) représente 9% du linéaire côtier : 85% pour les Pays-Bas, 50% pour l'Allemagne et la Roumanie, 30% pour la Pologne et 22% pour le Danemark. Au Royaume-Uni, 75% de la population vit à moins de 50 km des côtes ; le chiffre correspondant pour l'Europe est de 33% (EEA, 2005).

Les **coûts associés** à ces risques relèvent de trois catégories : économiques, sociaux et environnementaux. Les premiers englobent la remédiation et la prestation d'urgence, et la mitigation des effets des risques naturels. Ils sont de loin les plus importants en termes financiers. Dans la plupart des pays européens, c'est le gouvernement qui supporte le poids des coûts associés à la réponse d'urgence et à la remédiation. Parallèlement, se développent la culture de la prévention, la surveillance des mouvements de terrain par satellite et des actions de recherche.

En 2002, 459 **décès** dus à des risques naturels ont été enregistrés, principalement pour cause d'inondations. Selon EUROSION 2004, le nombre de victimes de l'érosion et des inondations côtières devrait atteindre 158 000 en 2020, à l'image de l'exemple de Lewes dans le Sussex. Face à cette augmentation des catastrophes (x 3 au cours des dernières décennies) liées à des changements environnementaux globaux, le domaine des risques naturels est en évolution constante auprès des **assurances** et le risque existe de pousser le secteur des assurances jusqu'à ses limites. En effet, on parle d'une facture d'assurances multipliée par 10 d'ici à 2050, ce qui rendra certains secteurs non assurables. D'où la nécessité d'une stratégie de gestion à long terme du littoral.

## Réglementation, surveillance et gestion

Sur le plan du **cadre légal et administratif** de la gestion des risques côtiers, on peut évoquer les grands textes internationaux et les directives européennes, mais

c'est bien au niveau de la mise en œuvre locale que la question doit être véritablement appréhendée, comme le montre l'exemple de l'île de Wight et la gestion du risque de mouvement de terrain qui y est développée.

Diverses **réponses** sont à la disposition des autorités côtières pour gérer ces risques :

- éviter les aménagements inadéquats dans les zones vulnérables ; cela passe par les plans d'occupation du territoire et le réaligement contrôlé du trait de côte ;
- l'utilisation de techniques d'ingénierie efficaces pour réduire la possibilité de pertes en vies humaines et en biens ;
- l'installation de systèmes de surveillance adaptés ;
- la mise en place de systèmes de défense contre les tempêtes et les inondations et des modifications au niveau des constructions.

Un arsenal de techniques est à la disposition des autorités pour **évaluer** l'évolution du littoral et le **surveiller** :

- techniques aériennes : satellites, photos, détection et télémétrie par la lumière, LIDAR<sup>2</sup>... ;
- techniques embarquées à bord de navires : bathymétrie, sonar à balayage latéral, systèmes de mesure de courants, houle et marées ;
- techniques terrestres : levés topographiques (théodolite, GPS...), suivi de l'instabilité des sols par des équipements géotechniques (extensomètres, fissuromètres, inclinomètres...), études hydrologiques (piézométrie, inclinométrie, extensométrie...).

L'application de ces techniques de suivi ne constitue pas la règle en Europe. Le Royaume-Uni, les Pays-Bas et l'Allemagne ont mis en place des programmes de suivi du littoral par LIDAR et systèmes vidéo. Ce n'est pas le cas au Portugal, en Grèce ou en France, pays où les techniques de suivi ne sont guère mises en place qu'à l'occasion de projets de recherche.

À titre d'exemple, le programme de suivi côtier du sud-est de l'Angleterre<sup>3</sup>, initié en août 2002, comprend des levés topographiques des plages, des études hydrographiques des fonds de l'avant-plage, des photos aériennes, du LIDAR, des données hydrodynamiques (houle et marées).

## Travaux de détail

Le travail détaillé réalisé sur **cinq régions côtières d'Europe** dans le cadre du programme RESPONSE a été l'occasion de mettre en place une approche uniforme comportant :

- la collecte des informations côtières (processus,

2. Le terme LIDAR correspond à « Light Detection and Ranging » qui désigne une technologie de télédétection ou de mesure optique basée sur l'analyse des propriétés d'une lumière laser renvoyée vers son émetteur.

3. [www.channelcoast.org](http://www.channelcoast.org)

- morphologie, données climatiques historiques) ;
- l'élaboration d'une banque de données d'évènements historiques ;
- la définition d'unités littorales homogènes (unités géomorphologiques) pour l'évaluation du risque côtier, selon trois caractéristiques principales :
  - formes de relief interdépendantes contrôlant le système de réponse aux évènements extrêmes ;
  - connexion transversale et latérale des types morphologiques ;
  - changements dans une morphologie pouvant induire des modifications dans les autres.

Les cinq régions d'Europe concernées sont (Fig. 1) :

- le sud de l'Angleterre (façade Manche) ;
- le comté du North Yorkshire en Angleterre (façade mer du Nord) ;
- l'Aquitaine (façade Atlantique) ;
- le Languedoc-Roussillon (façade Méditerranée) ;
- la région des Marches (façade Adriatique).

Les informations collectées ont été illustrées par une série de **9 cartes côtières** qui peuvent être élaborées sous forme papier ou SIG selon les ressources disponibles :

1. Carte géomorphologique.
2. Types d'ouvrages de défense de la côte et pratiques de gestion.
3. Aléas côtiers historiques.
4. Atouts côtiers et population.
5. Systèmes de comportements côtiers.
6. Risques côtiers potentiels (année 2100).
7. Risque côtier potentiel (année 2100) avec deux scénarios :



Figure 1. Localisation des cinq régions d'Europe concernées par le programme RESPONSE (document RESPONSE).

- a. Scénario « Business as usual ».
  - b. Scénario « Au pire des cas ».
8. Carte résumant les aléas.
  9. Conseils en matière d'aménagement et d'urbanisation pour la côte centre-sud de l'Angleterre.

Les **cartes 1 à 4** représentent des données factuelles sur l'environnement physique et les principaux problèmes de gestion. Selon la disponibilité des données, la carte 1 peut englober les cellules sédimentaires, le transport des sédiments, l'érosion côtière, les bassins versants, la houle, etc. L'objectif est de bien comprendre les processus côtiers, en particulier les mouvements de sédiments, l'érosion et le dépôt. La carte 2 est tirée de l'étude des Marches en Italie et met l'accent sur la nature, la répartition et l'impact des défenses côtières. La carte 3 met en évidence les points chauds des aléas passés et présents. Pour la carte 4, la côte de l'Aquitaine est prise comme exemple et montre la répartition de l'habitat (taille de concentration urbaine), l'occupation du territoire et les enjeux environnementaux (zones de la directive « Habitats<sup>4</sup> » ; réserves naturelles nationales et régionales ; zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique, ZNIEFF ; marais).

Les **cartes 5 à 7** sont des cartes explicatives sur les processus et les risques côtiers. La carte 5 propose des Systèmes de comportements côtiers (SCC) ou « *coastal behaviour systems* » (CBS) adaptés à chaque tronçon de trait de côte des zones d'étude. Elle est directement liée à la carte 1. On distingue les SCC correspondant aux morphologies suivantes : falaises de roche dure, falaises de roche tendre, plaines et plages-barrières, flèches littorales, anses et deltas de marée, estuaires et rivières tidales, et terrains côtiers en pente. Pour chaque SCC, des techniques de gestion sont proposées.

Dans la carte 6, trois types d'aléas sont distingués : inondation, érosion côtière et réactivation de glissements de terrain. La classification des aléas futurs est obtenue par superposition des SCC, des défenses côtières et des évènements passés et présents (cartes 2, 3 et 5). L'exemple est pris dans la zone italienne d'étude. Le risque potentiel global est présenté dans la carte 7 avec deux scénarios. Dans le scénario « *Business as usual* », chaque SCC reçoit une note de risque, le risque érosion dérivant de la carte 6, le risque d'inondation étant évalué en s'appuyant sur la présence ou l'absence de défenses contre l'inondation et la densité de population, et le risque de mouvement de terrain en utilisant la probabilité d'un mouvement important comme mesure de l'aléa. Dans le scénario « *Au pire des cas* », on utilise la même matrice de risques relatifs en augmentant le degré d'aléa (taux d'érosion moyen, probabilité d'inondation ou de mouvement de terrain important).

4. Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages.

Les **cartes 8 et 9** ne sont adaptées qu'au Royaume-Uni (exemple de l'île de Wight et des zones limitrophes), pays où les réglementations de l'aménagement font incomber la responsabilité au promoteur. De ce fait, les collectivités locales n'ont besoin que de directives générales. L'objet de la carte 8, destinée aux décideurs, est de souligner les points chauds à risques, pour lesquels la carte 9 propose des conseils en matière d'aménagement et d'urbanisation.

Quelques exemples de gestion des risques côtiers en pratique sont présentés. Un 1<sup>er</sup> plan de gestion du littoral a été mis en place en **Angleterre** et au **Pays de Galles**, suivi d'un 2<sup>ème</sup>. Dans le centre-sud de l'Angleterre notamment, le groupe côtier régional a développé une base de données bibliographiques de plus de 8 000 références concernant la gestion du littoral sur 400 km de linéaire côtier.

Sur la **Côte d'Albâtre** (Manche, France), le recul annuel de la falaise varie de 14 à 51 cm par an selon les secteurs. Alors que la pratique antérieure depuis le XIX<sup>e</sup> siècle était de construire des défenses côtières, une des principales stratégies actuelles consiste à créer des zones de retrait foncier, une politique dont la nécessité a été acceptée par le public et les autorités locales. La sécurité des visiteurs peu précautionneux reste un problème.

L'île de **La Désirade** (Antilles françaises), qui ne fait que 11 km de long sur 3 de large, est fortement exposée aux risques de glissements de terrain, aux tremblements de terre et aux cyclones. La solution a été recherchée dans la mise en place d'un plan de prévention des risques (PPR) et la réalisation d'une étude d'aménagement et de développement pour la zone du Souffleur afin de trouver des terrains pour accueillir les familles soumises aux risques les plus élevés. Une grande attention a été portée à l'écoute des habitants et à leur formation.

À **Venise**, la combinaison de l'élévation du niveau de la mer et de la subsidence a conduit à une perte d'altitude du terrain de 23 cm depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle. La place Saint-Marc commence à être envahie par les marées de + 60 cm et est totalement inondée à + 1 m ; cet envahissement par l'eau se produit environ 250 fois par an. L'objectif des ouvrages de protection est de protéger la place même pour des marées de + 110 cm. Ces ouvrages comportent : la surélévation et le remodelage du front de mer, la restauration et la condamnation des anciens égouts qui se trouvent à la place Saint-Marc, la restauration des pavés, et la mise en place d'une couche de bentonite sous les pavés de la place afin de la rendre imperméable.

Dans la **région des Marches** (Italie), deux instruments d'aménagement ont été mis en place : une loi régionale pour la gestion intégrée des zones côtières, suivie par un plan spécifique de gestion des problèmes liés, et un Plan d'en-

jeux hydrologiques (inondations fluviales et glissements de terrain) à l'échelle régionale, y compris les zones côtières.

## Dossier de formation : Cartographie de l'évolution et des risques du littoral liés au changement climatique

Il s'agit du 2<sup>ème</sup> document mis à disposition à la suite du programme RESPONSE. Après un rappel du projet (objectifs, partenaires, méthodologie...), le document porte principalement sur la méthodologie d'élaboration des 9 cartes présentées dans le Guide de bonnes pratiques. Une zone est prise en exemple pour chaque carte :

- Carte 1 : côte des Pyrénées-Atlantiques (Aquitaine, Biarritz à Hendaye).
- Carte 2 : région centre-sud de l'Angleterre (dont île de Wight).
- Carte 3 : région des Marches (Italie, Pesaro au sud d'Ancona).
- Carte 4 : Littoral du Languedoc-Roussillon dans la région de Sète.
- Carte 5 : Nord Yorkshire (Royaume-Uni).
- Carte 6 : Côte des Pyrénées-Atlantiques (Aquitaine, Biarritz à Hendaye).
- Carte 7 : Région des Marches (Italie, Pesaro à Ancona).
- Carte 8 : Côte sud-centrale de l'Angleterre (île de Wight et régions voisines).
- Carte 9 : Côte sud-centrale de l'Angleterre (île de Wight et régions voisines).

Toutes ces régions sont ensuite reprises sous forme d'étude de cas, présentées avec les mêmes rubriques :

- Situation.
- Portée de la zone étudiée.
- Pourquoi cette zone d'étude a-t-elle été choisie ?
- Principaux aléas naturels et enjeux dans cette zone d'étude.
- À qui incombe la gestion de ces problèmes ?
- Cartographie et investigations par : ...
- Exemples tirés de la zone étudiée.
- Pourquoi la cartographie est-elle utile ?
- Messages-clés.
- Autres documents importants pour cette zone d'étude (site internet, chapitre du cédérom RESPONSE).

## Travaux conduits sur les régions





lèlement, le nombre de points sensibles passera à 23 en Aquitaine et 39 en Languedoc-Roussillon.

Chaque point sensible a donné lieu à l'établissement d'une fiche de synthèse comportant les rubriques suivantes : Localisation, Autorités responsables, Contexte, Définition du risque, Gestion actuelle, Besoins pour la gestion future, Objectifs majeurs de l'action, Responsable de l'action, Date limite pour cette action, Pour en savoir plus, Contact.

La projection de l'évaluation des coûts en fonction du scénario retenu est un exercice délicat soumis à de nombreuses incertitudes. Des indications de coût ont néanmoins été collectées pour les deux régions étudiées concernant : la perte de territoire (coût variable selon la nature de l'occupation), la réhabilitation de processus naturels (gestion de dunes, engraissement de plage...), la construction, la maintenance ou l'amélioration de défenses lourdes, et les défenses légères.

## Bibliographie

- Commission européenne, 1999a : Leçons tirées du programme de démonstration sur la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) de la Commission européenne. Luxembourg.
- Commission européenne, 1999b : Vers une stratégie européenne de gestion intégrée des zones côtières (GIZC). Principes généraux et options des politiques. Luxembourg.
- Commission européenne, 2004 : EUROSION - Vivre avec l'érosion côtière en Europe. Résultats de l'étude EUROSION. Luxembourg.
- McInnes R.G., Jakeways J., Fairbanks H., 2006: RESPONSE - Responding to the risks from climate change. Rapport final du projet LIFE de la Commission européenne. Ventnor, Île de Wight.
- Vinchon C., Idier D., Garcin M., Balouin Y., Mallet C., Aubié S., Closset L., with the collaboration of Oliveros C., Pedreiros R. and Lenôtre N., 2006: Response of the coastline to climate change. Specific report for the RESPONSE Project, LIFE Environment Programme: Evolution of coastal risk (erosion and marine flooding) for the Aquitaine and Languedoc-Roussillon pilot regions. Final Report, BRGM RP-54718-FR, September 2006, 153 p., 27 figs., 19 tables, 9 app., 1 CD-ROM.
- Vinchon C., Aubié S., Balouin Y., Closset L., Garcin M., Idier D., Mallet C. (soumis) Ocean and Coastal management. Elsevier.

## Les Projets BEACHMED

*La Rédaction<sup>1</sup>.*

Le 1<sup>er</sup> projet BEACHMED (2002-2004) fait partie du programme communautaire INTERREG IIIB<sup>2</sup>. Il a été suivi par le projet BEACHMED-e<sup>3</sup> (2005-2008), clôturé par une conférence finale à Rome, les 30 et 31 mai 2008. Ce 2<sup>ème</sup> projet correspond à une Opération cadre régionale (OCR) entre les Régions italiennes du Latium (chef de file), d'Émilie-Romagne, de Toscane et de Ligurie, le Conseil général de l'Hérault (34), le Service maritime et de navigation du Languedoc-Roussillon, la Generalitat Catalunya (Espagne), et les Régions grecques de Macédoine de l'Est et Thrace, et de Crète. Au total, le projet a rassemblé 9 partenaires institutionnels, des régions essentiellement, et 36 partenaires scientifiques et techniques sollicités par les institutionnels (Fig. 1). Le projet est ciblé sur le littoral méditerranéen. Beachmed 1 a été doté de 2,5 millions

d'euros, Beachmed-e de 7,6 millions d'euros, la part de l'Union européenne dans les deux cas étant de 50%. Après le succès de ces 2 projets, les partenaires travaillent maintenant à une 3<sup>ème</sup> génération de projets.

### Le 1<sup>er</sup> projet

Beachmed 1 a porté sur la faisabilité de récupération de sables marins pour recharger les plages, une opération courante en Manche ou en mer du Nord (Royaume-Uni, Belgique, Pays-Bas...), pratiquée en Espagne et en Italie, mais dont la première en Méditerranée française a été conduite récemment, avec le soutien du Conseil général de l'Hérault, dans le secteur d'Aigues-Mortes. Comme il ne pouvait être question d'utiliser des ressources

1. Remerciements à Philippe Carbonnel, Conseil général de l'Hérault, pour son aide dans l'établissement de ce texte.

2. Programme Interreg III : Gestion stratégique de la défense des littoraux pour un développement soutenable des zones côtières de la Méditerranée.

3. e pour « evolution ».

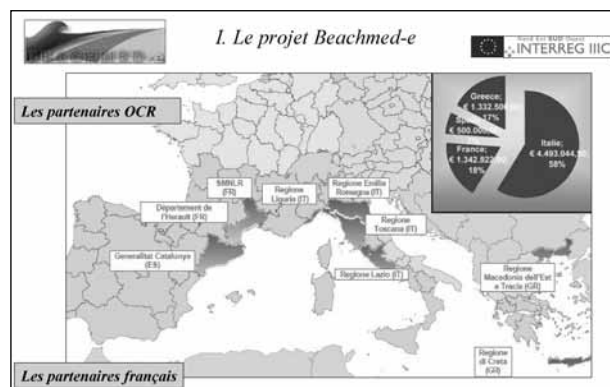


Figure 1. Répartition géographique des partenaires institutionnels (document Conseil général de l'Hérault).

terrestres, notamment de Camargue, un territoire protégé, il fallait se tourner vers des ressources sous-marines.

Une première prise de conscience sur cette question des ressources en sable était intervenue dans les années 90 mais, à l'époque, il n'avait pas été possible de mobiliser les financements nécessaires. Dans le cadre de la phase 2002-2004, les tâches entre partenaires ont été réparties comme suit :

- Espagne : impact environnemental de l'extraction sur l'environnement marin.
- Italie : détermination des vitesses d'érosion et adaptation des dragues (notamment augmentation de taille)

pour permettre des extractions compétitives à grande profondeur.

- France : méthodologie pour localiser et caractériser des gisements de sables profonds.

La ressource en sable recherchée devait avoir des caractéristiques granulométriques proches ou supérieures à celles des plages, ce qui excluait les ressources en vases, les plus abondantes à proximité du rivage. Finalement, en collaboration avec l'IFREMER, le BRGM et l'université de Perpignan, ce sont des dunes fossiles submergées par la remontée de la mer depuis la fin de l'époque glaciaire qui ont été identifiées, la contrainte étant qu'elles se situent entre 80 et 100 m de profondeur. Leur exploitation est possible à un coût raisonnable à condition d'utiliser des dragues de grosse capacité.

Ces résultats ont retenu l'intérêt des gestionnaires du littoral, soucieux d'assurer la protection et/ou la réhabilitation des plages pour des raisons économiques (urbanisation, tourisme...) et sociales dans une logique de développement durable. Pour la protection du littoral, trois approches peuvent être retenues : 1) la reconstitution de la plage par rechargement en sable, 2) la mise en place d'ouvrages de protection (épis, murs de soutènement, digues...), et 3) le recul stratégique, par exemple le déplacement vers l'intérieur des terres d'un aménagement côtier comme une route. Il est clair que les résultats

Référence <sup>1</sup>	Contenu
<b>Composante 2</b>	Projet et réalisation d'instruments techniques pour la caractérisation du phénomène érosif à l'échelle méditerranéenne et pour l'exploitation soutenable des ressources.
OPTIMAL	OPTimisation des Techniques Intégrées de Monitoring Appliquées aux Littoraux.
NAUSICAA	Caractérisation des conditions hydro-météorologiques en zone littorale et analyse des risques littoraux, du comportement des ouvrages de protection et de la dynamique des prairies de <i>Posidonia oceanica</i> .
ReSaMMé	Recherche de Sable sous-marin en Mer Méditerranée : développement de recherches de dépôts sous-marins dans la zone méditerranéenne pour la détermination des potentialités en sable utilisable pour le rechargement des plages en érosion ainsi que pour la définition et le partage des lignes guide pour les recherches futures.
EuDREP	Partage, perfectionnement et application du protocole ENV1 aux activités de dragage et de remblayage avec des sables épaves, et applications spécifiques pour l'étude de la turbidité.
<b>Composante 3</b>	Interaction entre le développement du territoire urbain et des zones morphologiquement sensibles par rapport au risque des orages et de l'érosion.
Medplan	Processus d'analyse et de gestion des zones côtières : méthodes d'évaluation des risques, de réduction des impacts et d'aménagement du territoire.
ICZM-MED	Actions concertées, outils et critères pour la mise en œuvre de la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) Méditerranéennes.
GESA	Gestion des stocks sableux interceptés par les ouvrages côtiers et fluviaux. Récupération du transport solide.
POSIDuNE	Interactions de Sable et <i>Posidonia oceanica</i> avec l'Environnement des Dunes Naturelles.
<b>Composante 4</b>	Détermination d'instruments normatifs et d'organisation pour la définition, la réglementation et la gestion de la défense des côtes par tous les sujets publics et privés impliqués.
ObsEMedi	Régulation et promotion d'un Observatoire Européen pour la défense des côtes Méditerranéennes.

Tableau 1. Les sous-projets du projet BEACHMED-e (source : site internet [www.beachmed.eu](http://www.beachmed.eu)).

1. Composante 1 : management, coordination. Composante 5 : communication, diffusion.

obtenus en phase 1 ont donné une actualité nouvelle à la première approche.

## Beachmed-evolution

Beachmed-e a été subdivisé en 3 composantes et 9 sous-projets à géométrie variable, dont 3 seulement (ReSaMMé, EuDREP et GESA) sont dans la continuité du 1<sup>er</sup> Beachmed, c'est-à-dire qu'ils portent sur la ressource en sables potentiellement utilisable pour le rechargement des plages (Tabl. 1 p. 26). La logique de cette phase est beaucoup plus opérationnelle, faisant suite à l'étude de faisabilité initiale. L'organisation du projet distingue aussi 4 phases de travail : A. État de l'art, B. Méthodologie, C. Projet pilote, D. Communication.

Le phénomène de l'érosion des côtes est accentué par une demande d'espaces côtiers de plus en plus forte et pressante, exacerbant ainsi la sensibilité de ces espaces par rapport aux régressions périodiques ou saisonnières de la ligne de rivage. Les principales actions de type actif ou passif qu'on peut entreprendre sont précisées dans le tableau 2.

Dès 2007, le Conseil général de l'Hérault a soutenu des opérations d'aménagement, qui représentent sur ce seul département 47 millions d'euros pour les années 2007-2009 (Fig. 2). La première opération de rechargement de plage, évoquée plus haut, a porté sur 1,25 million de m<sup>3</sup> de sable (D<sub>50</sub> = 250 microns), déplacé d'un secteur proche de la côte en face de Port Camargue, en prolongement sous-marin de l'Espiguette, à des profondeurs de 4 à 10 m, et étalé sur des plages situées entre 3 et 10 km

de distance (Petit et Grand Travers, Carnon, Palavas, Boucanet - Grau du Roi). Le coût des travaux s'est élevé à 10 millions d'euros, le dragage par drague aspiratrice en marche (Fig. 3) ayant duré 4 mois, de janvier à avril 2008. Il est estimé que la durée de vie du rechargement sera de 15 à 20 ans, avec entretien périodique.

## Conclusions

Les deux projets BEACHMED ont montré leur valeur d'usage sur le plan technique et scientifique dans la compréhension des processus, la recherche de solutions de protection et d'aménagement et l'analyse des impacts. Concernant les ressources en sables, les volumes identifiés se chiffrent en dizaines de millions de m<sup>3</sup> et devraient permettre de mettre en place les rechargements de plages appropriés, permettant ainsi leur reconstitution.

Avec les résultats qu'il a obtenus, ce programme a eu un impact essentiel sur les décideurs qui ont perçu l'intérêt de ces travaux pour le choix des options de gestion du littoral les plus appropriées. Un autre apport majeur a été la création d'un réseau de partenaires de pays méditerranéens, qui partagent les mêmes problèmes concernant la protection et la gestion du littoral et qui ont pu échanger sur leurs expériences.

La 3<sup>ème</sup> génération de projets en préparation devrait confirmer ce mouvement, peut-être en se focalisant sur des types de problèmes plus spécifiques ou des secteurs pilotes d'aménagement.

Phénomènes liés au développement	Vulnérabilité sur la bande côtière	Actions actives type	Actions passives type
Augmentation CO <sub>2</sub> dans l'atmosphère	Élévation du niveau moyen marin. Événements météorologiques marins extrêmes.	(Non considérées dans le projet).	Élévations de la bande côtière par remblaiement.
Moindre apport de sédiments de la part des cours d'eau	Érosion des littoraux. Approfondissement des fonds. Dénaturalisation des fonds côtiers.	Récupération totale ou partielle du transport solide naturel.	Récupération des littoraux perdus à travers remblaiement souple ou protégé.
Démantèlement des structures de défense naturelles	Érosion des littoraux. Dénaturalisation des fonds côtiers et du paysage littoral.	Reconstruction des zones dunaires et des prairies de phanérogames.	Protection des zones dunaires et des prairies de phanérogames.
Introduction d'infrastructures côtières	Érosion des littoraux. Dénaturalisation des fonds côtiers.	Projets consacrés aux phénomènes érosifs induits.	Défense des littoraux exposés à l'érosion à travers remblaiement souple ou protégé. Récupération du matériel sableux intercepté.

Tableau 2. Types d'actions actives et passives qui peuvent être entreprises (source : site internet [www.beachmed.eu](http://www.beachmed.eu)).

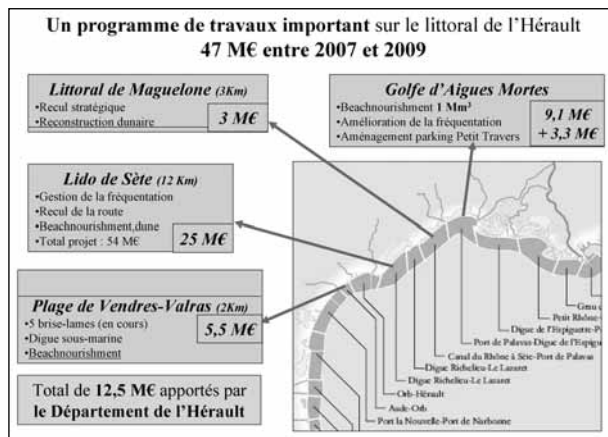


Figure 2. Planning des travaux 2007-2009 du Conseil général de l'Hérault sur le littoral (document Conseil général de l'Hérault).

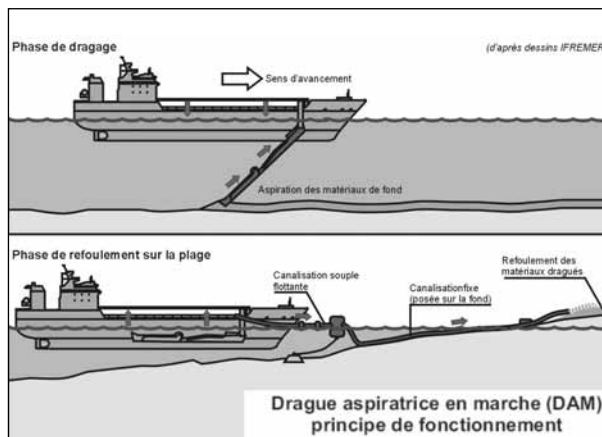


Figure 3. Fonctionnement d'une drague aspiratrice en marche (document IFREMER).

### Annexe :

## Principales phases d'échanges entre partenaires institutionnels et techniques

Numéro	Date	Lieu	Évènement
1	13-14 octobre 2005	Héraklion, Crète	1 <sup>er</sup> comité de pilotage
2	2-3 février 2006	Montpellier, Hérault	2 <sup>ème</sup> comité de pilotage et workshop
3	27-28 avril 2006	Rome	Conférence de début des activités des sous-projets
4	9-11 novembre 2006	Alexandroupouli, Macédoine - Est Thrace	Conférence conclusion phase A
5	22-24 février 2007	Bologne	Conférence conclusion de la phase B 2
6	28-30 juin 2007	Barcelone	Conférence conclusion phase B 3-4
7	25-27 octobre 2007	Gênes	Conférence d'avancement de phase C 4
8	29-30 novembre 1 <sup>er</sup> décembre 2007	Montpellier, Hérault	Conférence d'avancement de phase C 3
9	21-23 février 2008	Florence	Conférence d'avancement de phase C 2
10	30-31 mai 2008	Rome	Conférence de conclusion de l'opération

À noter que, dans le cadre du projet BEACHMED-e, le 16 octobre 2006 le Département de l'Hérault a organisé une visite pour le public du chantier de protection du littoral de Villeneuve lès Maguelone, dont l'objectif était d'expliquer la stratégie locale de protection retenue.

## Les projets européens ROCC, PROTECT et leur suite

La Rédaction<sup>1</sup>.

### Projet ROCC (Risk of Cliff Collapse)<sup>2</sup>

Ce programme, qui relève du programme INTERREG II c'est-à-dire des programmes régionaux européens, portait sur la « vulnérabilité » à l'érosion des falaises côtières de craie, qui constituent l'essentiel des littoraux de Haute-Normandie et environ 10% de ceux de Picardie pour la France (130 km du Havre au nord de Ault) et de l'East Sussex dans le Royaume-Uni (40 km de l'ouest de Brighton à l'est de Beachy Head). Ces trois régions sont regroupées dans l'espace dénommé « Interreg Rives-Manche ». Le projet ROCC a débuté mi-1998 pour une durée de 40 mois, associant le BRGM et les universités du Havre (UH) et de Brighton (UB).

Les principales productions du projet englobent :

- des cartes de vulnérabilité à l'érosion des falaises de craie ;
- une notice explicative précisant les principaux facteurs d'érosion pour chaque segment de littoral ;
- un Cédérom contenant des bases de données et des couches géables par SIG.

Ce projet a montré l'intérêt d'une caractérisation fine des très nombreux paramètres qui peuvent intervenir dans l'érosion des falaises côtières en s'appuyant sur des techniques de géologie et géophysique. L'introduction de ces paramètres dans un SIG, a permis d'élaborer divers documents, notamment des cartes de sensibilité aux écroulements.

Il a été confirmé que l'eau, s'appuyant sur les discontinuités lithologiques et structurales dans la craie, est le facteur déterminant de l'érosion et des éboulements. Par contre, le projet n'a pas permis de donner les clés de détermination des facteurs qui seraient à l'origine directe des éboulements (état des variables pré-effondrement) ni, par voie de conséquence, de poser les bases d'une politique de prévention. Mais ceci n'était pas dans ses objectifs. Ainsi, complétant en quelque sorte le projet ROCC, il a été proposé de lancer le projet PROTECT.

### Projet PROTECT (PRediction Of The Erosion of Cliffed Terrains)<sup>3</sup>

L'érosion côtière et le recul du trait de côte affectent de nombreuses régions côtières en Europe, notamment les littoraux rocheux, ce qui pose de vrais problèmes de

sécurité, de planification de l'occupation du sol et de gestion. Actuellement, la prédiction des effondrements de falaises continentales est essentiellement réalisée à l'aide d'extensomètres et d'inclinomètres qui peuvent détecter les mouvements de blocs localement. Un des objectifs principaux du projet est donc de développer des outils de surveillance à plus grande échelle pour prédire les effondrements de falaises côtières.

Le projet a débuté en avril 2001 pour une durée de 3 ans, associant plusieurs partenaires français<sup>4</sup> ainsi que des partenaires du Royaume-Uni, du Danemark, d'Italie et de Pologne. L'objectif était de tester différentes méthodes pour détecter des signes précurseurs aux effondrements de falaise :

- variations de résistivité apparente azimutale pour surveiller l'ouverture des fractures ;
- suivi topographique des déformations du massif ;
- surveillance microsismique pour détecter l'émission acoustique produite par les mouvements précurseurs d'un effondrement.

Pour tester ces différentes méthodes, un site a été choisi dans chacun des trois principaux pays partenaires : Royaume-Uni (Angleterre), France et Danemark. Le site français était situé à Mesnil-Val dans le Pays de Caux (Haute-Normandie), une région où le trait de côte recule d'environ 50 cm/an. Après identification, les zones les plus instables ont été instrumentées (géophones, extensomètres, humitubs, cellules de pression, station météorologique). Un effondrement de 4 000 m<sup>3</sup> survenu le 23 juin 2002 vers 20 heures a pu être détecté 17 heures avant par microsismique. Le nombre et l'énergie des événements dépassaient de plusieurs décades le niveau de bruit. La comparaison des résultats obtenus avec les différents capteurs pour corrélérer les événements observés, associée à des tests de laboratoire, a permis de sélectionner les capteurs les plus adaptés à la surveillance des falaises côtières crayeuses.

### Projet EVOLGÉOM

Ce projet, initié en 2005 et qui vient à la suite des deux précédents, est mené par le BRGM seul. Il a pour objectif de tester l'intérêt de la technologie des lasers terrestres pour l'étude des mouvements de terrain et plus spécifiquement des chutes de blocs. Le site d'étude est celui de Mesnil-Val, le même qui avait été sélectionné dans PROTECT (Photo 1).

1. Remerciements à Jean-Christophe Gourry et Thomas Dewez (BRGM) pour leur aide dans l'élaboration de ce texte.

2. Voir "Géologues" n° 135 pages 162-165 pour les détails.

3. Idem note 2.

4. Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), Direction départementale de l'équipement (DDE) 76.



Photo 1. La falaise de Criel-sur-Mer (cliché Thomas Dewez).

Concrètement, tous les 6 mois depuis fin 2005, une campagne de mesures a été conduite sur une semaine environ, à partir de 8 stations de mesures installées face à la falaise à marée basse. La falaise fait environ 50 m de hauteur moyenne (jusqu'à 75 m maximum) et 700 m de long. Les mesures permettent d'établir un modèle numérique de terrain à maille très fine (5 cm) et donc, d'une campagne à l'autre, de reconstituer l'évolution. À la date de septembre 2008, 6 campagnes avaient été réalisées encadrant 3 hivers et 2 étés (décembre 2005, mars et août 2006, mars et septembre 2007, avril 2008).

Les résultats montrent qu'avec cette méthode on détecte des éboulements de volume très variable (0,7 litre à 70 000 m<sup>3</sup>) et que le seuil de détection est une variation de 3 cm environ. Les données recueillies permettent d'établir une courbe d'aléa probabiliste (fréquence d'un éboulement de volume donné) dont l'allure s'avère très similaire à celles obtenues pour des chutes de blocs en contexte granitique ou calcaire. Ce qui diffère, ce sont les deux composantes de la courbe, la fréquence d'une chute et son volume.

Le nombre de campagnes est encore insuffisant pour certifier les résultats et le projet devrait être clos en 2009. D'ores et déjà, en dehors de la détermination de l'aléa probabiliste déjà évoquée, on sait que l'on peut apporter des réponses aux décideurs en termes de fréquence d'un éboulement de volume donné. On sait également qu'on peut diminuer le pas de temps de mesure tout en obtenant des résultats corrects, et que cela est préférable à un agrandissement de la maille de mesure, que l'on considère aussi bien le temps de mesure que celui de traitement des données.

Il faut également retenir que les résultats (fréquence de chute de blocs d'un volume donné) sont spécifiques au site de mesure et ne sont pas transposables sur un autre.

## Conclusion

La suite de ces études est recherchée dans l'intercomparaison des résultats entre les trois projets et la prise en compte de l'élévation du niveau de la mer comme facteur contraignant sur le rythme des éboulements. D'ailleurs, face à ces problèmes d'éboulements de falaise, on voit bien que la stratégie de protection retenue varie d'une commune à l'autre, certaines privilégiant de renforcer les ouvrages de défense (digues, épis...), d'autres préférant considérer que les développements doivent se faire largement en arrière de la falaise. Face à ces choix extrêmes, les programmes de recherche présentés ci-dessus permettront peut-être de proposer des solutions plus nuancées.

## Pour en savoir plus

- Amitrano D., Grasso J.R., Senfaute G., 2005: Seismic precursory patterns before a cliff collapse and critical point phenomena. *Geophysical Research Letters*, 32, L08314, 5 p.
- Coll, 2002: Projet Roc « Risk of Cliff Collapse ». Rapport de synthèse. Rapport BRGM 51381.  
+ Rapports annexes et Annexes. Ce sont tous des documents publics.
- Busby J.-P. Ed., 2004 : PROTECT « PRediction Of The Erosion of Clifed Terrains », contract « EVK3-CT-2000-00029 », Final Report, Eds J.P. Busby, BGS, Keyworth, UK, June 2004.
- Dewez T., Rohmer J., Closset L., 2007 : Laser survey and mechanical modeling of chalky sea cliff collapse in Normandy, France. *In: Landslides and climate change*. McInnes R., Jakaways J., Fairbank H., Mathie E. eds. Taylor & Francis, 281-288.
- Dewez T., *et al.* (sous presse) : Quantification de l'évolution des côtes sableuses et rocheuses par photogrammétrie et lasergrammétrie. À paraître dans *La Houille blanche*.
- Mortimore R. N., Duperret A., 2004 : Coastal Cliff Instability. *Geol. Soc. London*, 173 p.
- Senfaute G., Amitrano D., Lenhard F., Morel J., 2005 : Étude en laboratoire par méthodes acoustiques de l'endommagement des roches de craie et corrélation avec des résultats *in situ*. *Revue Française de Géotechnique*, 110, 9-18.