



## **BERM Final Report: Bilingual Summary**



## French

L'objectif du projet binational BERM sur deux ans était d'examiner la durabilité des plages le long des rives de la Manche, sur deux régions : l'East Sussex du côté anglais et la Seine-Maritime du côté français. Ses objectifs étaient :

- d'estimer la quantité de galets de silex produite par le recul des falaises,
- d'estimer le volume des plages et ses récentes évolutions,
- d'estimer la vitesse à laquelle les galets s'érodent sous l'action marine,
- d'estimer les échanges de sable entre les petits-fonds et la plage.

Les deux équipes françaises et anglaises ont entrepris de concert les deux premiers objectifs. L'Université du Sussex a mené l'objectif trois avec assistance de l'équipe française sur le terrain. Enfin, la France a entrepris l'objectif quatre sur le littoral de Seine-Maritime et établi des méthodes pouvant être utilisées sur la côte du Sussex.

En dépit de la courte durée du projet, d'importantes avancées dans la compréhension des budgets sédimentaires ont été faites. Et, malgré l'utilisation d'informations provenant d'une grande variété de sources, de méthodes et de techniques, les deux équipes ont produit des résultats directement comparables.

### Recul des falaises et production de silex

De par leur âge, les falaises crayeuses des rives françaises et anglaises de la Manche sont similaires. En effet, elles se sont formées toutes deux entre le Turonien (Craie de Lewes) et le Campanien (Craie de Newhaven). En revanche, elles diffèrent de façon significative par leur étendue (22 km du côté anglais entre Brighton et Eastbourne et 88 km du côté français entre le Cap d'Antifer et Le Tréport) et par leur hauteur moyenne (53 m du côté anglais et 63,5 m du côté français). Elles se distinguent également par leur divers degré

## English

It was the aim of the two-year bi-national BERM project to investigate the sustainability of the beaches along the Rives Manche coast, including East Sussex on the English side and Seine-Maritime on the French. The objectives were to

- estimate the amount of flint shingle produced from cliff retreat
- estimate the existing beach volume and its recent changes
- estimate the rate at which shingle abrades under wave impact
- estimate the sand exchange between the foreshore and the beach

The first two objectives were carried out by both the French and English teams. The University of Sussex team carried out objective three with field assistance from the French team. The French team carried out objective four on the Seine-Maritime coast and have established methodologies that can be used in future on the Sussex coast.

Given the short length of the project significant advances in the understanding of beach budgets have been made. Despite using information from a wide variety of sources, collected using a range of methods and techniques, the two teams have produced results that are directly comparable.

### Cliff retreat and flint production

The chalk cliffs on the French and English side of the Channel are similar with regard to their ages ranging from Turonian (Lewes Chalk) to Campanian (Newhaven Chalk). Topographically they differ significantly in length (22km on the English side between Brighton and Eastbourne and 88km on the French between Cap d'Antifer and Le Tréport) and mean height (53m on the English side and 63.5m on the French). They also differ in their level of protection from the sea, with a much higher proportion of the

de protection à l'érosion marine, avec une proportion plus grande d'ouvrages de défense côtière sur la côte à falaises anglaise (30% des falaises crayeuses entre Brighton et Peacehaven du côté anglais sont protégées).

### *Le recul des falaises*

Des vitesses de recul de falaise ont été calculées pour des cellules de 50 m de long et ceci pour toute la longueur du littoral à falaises crayeuses, apportant l'évaluation la plus détaillée du recul des falaises sur les deux rives. Les reculs du côté anglais ont été mesurés sur une période supérieure à 120 ans par l'utilisation de la première carte topographique précise disponible (1<sup>ère</sup> édition des cartes de l'Ordnance Survey à une échelle de 1/10 560) et de données actuelles issues du Digital Landline de l'Ordnance Survey. La valeur du recul moyen pour tout le trait de côte crayeux à falaise de l'East Sussex est de 27,7 cm. Une corrélation significative entre la hauteur de la falaise et la valeur des reculs des cellules de 50 m a été trouvée, même si la hauteur de la falaise n'explique pas à elle-seule toutes les variations du recul. Les mesures de recul des falaises du côté français ont été réalisées grâce aux données existantes basées sur des photographies aériennes entre 1966 et 1995 (Haute-Normandie). De plus, des mesures prises au GPS ont été effectuées en 2000/2001. Une méthode supplémentaire a également été utilisée : 10 séries de photographies aériennes entre 1947 et 1995 à une échelle de 1/20 000 ont été analysées en relation au nombre et à la taille d'écroulements. Les résultats issus du GPS et de la photogrammétrie apportent une valeur moyenne de recul annuel pour tout le littoral de la Seine-Maritime de 20,9 cm. Ces valeurs de recul permettent de distinguer trois secteurs qui sont liés aux différents faciès crayeux affleurant à la base de la falaise : 8,8 à 13,5 cm a<sup>-1</sup> (Turonien), ~19 cm a<sup>-1</sup> (Turonien et Coniacien supérieur) et 21 à 28 cm a<sup>-1</sup> (Santonien et Campanien). Ces variations reflètent différentes teneurs en silex, avec des vitesses de recul accélérées coïncidant avec une faible teneur en silex. Les secteurs avec des vitesses lentes de recul sont aussi ceux caractérisés par des écroulements rares mais volumineux, tandis que les secteurs avec des reculs plus rapides ont une plus forte fréquence d'écroulements peu volumineux. L'analyse du recul des falaises montre une augmentation du nombre et de la fréquence des

English cliffed coastline protected by engineering structures (the protected coastline between Brighton and Peacehaven comprises 30% of the chalk cliffs on the English side).

### *Cliff retreat*

Cliff retreat rates have been calculated for 50m long segments for the whole length of the chalk cliffs, providing the most detailed record of cliff retreat for the two coasts. Cliff retreat rates on the English side have been measured over a time span of >120 years using the first accurate topographic maps available (1<sup>st</sup> edition of the Ordnance Survey maps at a scale of 1:10560) and the present day Digital Landline data from the Ordnance Survey. The mean annual cliff retreat rate for the whole length of the East Sussex chalk cliffs is 27.7 cm. A significant correlation between cliff height and the retreat rate of the individual 50m segments has been found though cliff height alone does not explain all variations of retreat rate.

Cliff retreat measurements on the French side have utilised existing data based on air photographs for the period 1966 to 1995 (Haute-Normandie). Additionally differential GPS measurements have been made in 2000/2001. As a supplementary method 10 series of air photographs between 1947 and 1995 at a scale of 1:20,000 have been analysed qualitatively to record number and size of cliff falls. The GPS and photogrammetry results provide a mean annual retreat rate for the whole Seine-Maritime coast of 20.9 cm. The cliffs can be subdivided into three groups according their retreat rates. These are associated with the different chalks that outcrop at the base of the cliff: 8.8 to 13.5 cm a<sup>-1</sup> (Turonian), ~19cm a<sup>-1</sup> (upper Turonian and Coniacian) and 21 to 28 cm a<sup>-1</sup> (Santonian and Campanian). These variations reflect differing flint contents, with increased retreat rates coinciding with a lower flint content. The sectors with low retreat rates are also characterised by infrequent but large cliff falls, whereas the sectors with more rapid retreat rates show a high frequency of relatively minor cliff falls. Cliff fall analyses show an increase in the number and frequency of cliff falls since the 1970s following the construction of groyne and jetties and associated reductions in

écroulements depuis les années 70 qui fait suite à la construction d'épis et de jetées portuaires et à la réduction des mouvements sédimentaires. Une relation étroite entre recul et hauteur de falaises a également été trouvée. Cependant, celle-ci est plus faible que celle trouvée du côté anglais.

L'évaluation quantitative du recul des falaises avait pour but de quantifier la production de silex à la plage depuis sa source. Les cartes produites montrent également que le recul des falaises des deux côtés de la Manche se produit à une vitesse appréciable mettant à risque les ouvrages de défense côtière et les habitations dans un futur proche. Bien que des facteurs influençant le recul des falaises, telles que la hauteur de celle-ci et sa teneur en silex, aient été identifiés à grande échelle (à l'échelle des cellules de 50 m), ceux-ci n'ont pas été évalués dans ce projet. Les séries de données en France et en Angleterre ont été saisies dans le logiciel ArcView GIS afin que de futures mises à jour, telles que de plus amples analyses spatiales de facteurs influençant les reculs de falaises et la combinaison avec d'autres données côtières, puissent être faites.

#### *La teneur en silex*

La teneur en silex des falaises crayeuses françaises a déjà été évaluée dans des études antérieures. Cependant, la teneur en silex des formations résiduelles recouvrant la craie et des entonnoirs de dissolution n'a pas été estimée auparavant. Du côté anglais, la teneur en silex de la craie a été déterminée en détail pour la première fois. Mais les dépôts recouvrant la craie ont été exclus car trop fins pour contribuer de manière significative.

Les teneurs en silex varient de façon importante entre l'Angleterre (1,5 à 4,5 %) et la France (1,1 à 11 %), ainsi cette variabilité est plus grande du côté français. Les falaises entre le Cap d'Antifer et Fécamp possèdent une forte teneur en silex, entre 6 et 11 %. Celle-ci, combinée avec de hautes falaises, apporte une source non négligeable de galets de silex. La taille des nodules de silex n'a pas été analysée, mais des observations sur les deux rivages indiquent qu'ils sont de taille plus importante du côté français, donnant ainsi de plus

shingle movement. A correlation between cliff retreat and cliff height has also been found, though it is weaker than that for the English side.

The purpose of calculating cliff retreat rates was to measure flint provision to the beaches from this source. However, the maps produced show also that cliff retreat on both sides of the Channel occurs at an appreciable rate that puts coastal structures and housing at risk of damage within the foreseeable future. Although some factors influencing the retreat rate such as cliff height and flint content have been identified on a larger scale, on the scale of individual 50m segments these factors have not been assessed as part of this project. Data sets in France and England have been generated within ArcView GIS so that future updates, such as further spatial analysis of factors influencing cliff retreat and combination with other coastal data sets, can be undertaken.

#### *Flint content*

Flint content for the French chalk coast had already been estimated in previous studies, however the flint content of sediments overlying the chalk and in the solution pipes had not been estimated before. On the English side the flint content of the chalk was determined in detail for the first time but any deposits on top of the Chalk were excluded because they were too thin to make a significant flint contribution.

Flint contents vary significantly between sections of the English (1.5 to 4.5%) and French side (1.1 to 11%) though the variability is much greater on the French side. The cliffs between Cap d'Antifer and Fécamp feature a high flint content, between 6 and 11%. This, combined with relatively high cliffs, provides a significant source of flint shingle. The size of the flint nodules have not been investigated, but observations on both coasts indicate that they are much larger on the French side, resulting in larger beach shingle pebbles

volumineux galets de plage qui souvent dépassent la taille du galet.

La production annuelle moyenne totale de silex du côté français (basée sur les mesures de recul de falaises sur une période de 1966 à 1995) atteint 28 700 m<sup>3</sup> (soit 320 m<sup>3</sup>a<sup>-1</sup>km<sup>-1</sup>). 62% de cette production provient des falaises entre le Cap d'Antifer et Saint-Valéry-en-Caux, nourrissant la dérive littorale vers l'est. Quant à la production annuelle moyenne totale de silex du côté anglais, elle atteint seulement 4 610 m<sup>3</sup> (soit 209 m<sup>3</sup>a<sup>-1</sup>km<sup>-1</sup>). Malgré de fortes valeurs de recul de falaises, la production anglaise n'est que 16 % de la production française de galets. Ceci peut être dû aux hauteurs de falaise moindres et aux faibles teneurs en silex de la craie. Enfin, la majeure partie de la production en silex du côté français provient de l'est du trait de côte étudié et la source majeure de silex du côté anglais se situe entre Cuckmere Haven et Birling Gap.

#### **Volume sédimentaire et variations récentes**

La quantification du volume sédimentaire du côté français, issue de profils terrestres, d'aérotriangulation et de levés GPS, a permis d'évaluer ces différentes méthodes. Elle a montré que les levés en profils sous-estimaient le volume sédimentaire d'environ 10 % tandis que l'aérotriangulation les surestimaient d'environ 10 %. Le levé GPS s'est avéré la méthode la plus précise et la plus fiable bien qu'il ne puisse fournir d'indications historiques. De plus, cette technique demande beaucoup de travail. Par l'utilisation des données d'aérotriangulation de 1995 couvrant la totalité du trait de côte étudié (pieds de falaise et cordons inclus) ainsi que des levés GPS de 2001 de 12 plages, les plus récentes variations de volumes de cordons ont pu être évaluées. Le volume total entre le Cap d'Antifer et Le Tréport a été évalué à 7,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Les comparaisons entre les résultats de 1995 et 2001 montrent que les cordons démunis d'ouvrages de défenses restent inchangés pendant ces 6 années. En revanche, les cordons de galets qui se sont développés contre des épis majeurs ou des jetées portuaires subissent une augmentation de volume avec l'affluence de silex transitant par la dérive littorale.

Du côté anglais, l'utilisation de données issues de profils de l'*Annual Beach Monitoring Survey* (ABMS), profils effectués à partir de photographies aériennes de 1975 à 2001, a rencontré des difficultés. En effet, ces données

that often exceed cobble size (i.e. >256mm).

Overall the mean annual flint production on the French side (based on cliff retreat measurements over the period 1966 to 1995) amounts to 28,700m<sup>3</sup> (320m<sup>3</sup>a<sup>-1</sup>km<sup>-1</sup>). Of this 62% originates from the stretch between Cap d'Antifer and Saint-Valery-en-Caux, providing shingle for longshore drift towards the East. Overall flint production on the English side amounts to only 4,610m<sup>3</sup> (209m<sup>3</sup>a<sup>-1</sup>km<sup>-1</sup>) which, despite its higher cliff retreat rates is only 16% of the production on the French side. This may reflect the lower cliff heights and the lower flint content of the chalk. Whereas the majority of the flint on the French side is produced to the west of the coast investigated, the major source of flint on the English side is located between Cuckmere Haven and Birling Gap, that is towards the east.

#### **Beach volume and recent changes**

Beach volume data from terrestrial profiling, aérotriangulation and GPS survey on the French side has allowed these different methods to be evaluated. Profile surveys have been shown to underestimate beach volume by ~10% whereas aérotriangulation overestimates it by ~10%. GPS surveys were found to be most accurate and reliable though they do not provide historic records and are labour intensive. Using 1995 aérotriangulation data covering the whole coast, including cliff foot fringe beaches, and 2001 GPS surveys of 12 specific beaches the most recent beach volume changes have been assessed. The overall volume between Cap d'Antifer and Le Tréport was calculated to be 7.5x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Comparison of 1995 and 2001 data shows that beaches without any engineering structures have remained unchanged over the 6 year period. Beaches that develop against major groynes and harbour arms have increased in volume with the addition of flints from the updrift direction.

On the English side the anticipated use of profile data from the 'annual beach monitoring survey' (ABMS) that provides beach profiles from 1975 to 2001 from air-photos met with difficulties. Existing data that has been extracted from the air photos to give beach profile changes was found to be of limited use. The BERM project investigated a number of techniques that could be

existantes, extraites de photographies aériennes, se sont révélées d'utilité limitée pour estimer ces variations. Le projet BERM a donc expérimenté un certain nombre de techniques pouvant être utilisées pour extraire des données utiles. Et les résultats ont été comparés à des levés terrestres de grande précision. La durée de vie restreinte du projet a limité de plus amples collectes de données. Cependant, les observations à partir de photo-interprétation ont indiqué que, de même que du côté français, les plages venant s'appuyer en amont-dérive des ouvrages de défense ont augmenté de volume sur ces 26 dernières années. Et il est très probable que ce matériel sédimentaire soit issu du recul des falaises.

### **L'Abrasion des galets**

Des expériences de terrain et de laboratoire ont été entreprises par l'équipe anglaise. Ainsi, les rythmes d'abrasion sous conditions contrôlées pour des silex provenant des deux côtés de la Manche ont pu être établis. Contrairement aux résultats d'expériences antérieures trouvés dans la bibliographie, les silex s'érodent par abrasion à des vitesses appréciables. La nature même des expériences sur l'abrasion ne permet de faire ces essais que sur un nombre limité de types de galets. Cependant, la comparaison entre les vitesses d'abrasion de silex gris foncé de la côte anglaise et ceux gris clair d'Etretat du côté français met en évidence des différences significatives. Ces dernières indiquent que l'abrasion des galets de silex dépend en grande partie du type de galets même au sein d'un même type de roche comme le silex. Les expériences renseignent également sur l'énergie marine à la plage qui entraîne une fragilité de la surface des galets caractérisée par des « **chatter marks** ». Et il est probable que la résistance à l'abrasion de cette surface externe dépende non seulement des propriétés du silex mais aussi de l'énergie marine exercée sur une plage particulière.

Les expériences à l'abrasion menées sur le terrain ont mesuré avec succès les rythmes d'abrasion in situ de galets sur deux plages de la côte anglaise. Les lithologies autres que le silex (comme le calcaire et le quartzite) ont été utilisées pour qu'elles puissent être identifiées et extraites des cordons de galets. Plus de 700 valeurs de vitesses d'érosion ont été ainsi obtenues sous

used to extract usable data and results were compared to accurate terrestrial surveys. The limited lifespan of the project meant that more extensive data collection could not be undertaken. However, limited observations from qualitative air photo interpretation have been made indicating that, similar to the French results, beaches bound on the updrift side by engineering structures have gained in volume over the past 26 years. It is most likely that the source of this material is flint input from cliff retreat.

### **Shingle abrasion**

Both laboratory and field abrasion experiments have been carried out by the English team. Laboratory abrasion rates have been established for flints from both sides of the Channel. Contrary to previous experiments reported in the literature, flint has been found to abrade at an appreciable rate. The nature of the abrasion experiments allowed only a limited number of pebble types to be tested. However, comparison between the abrasion rates of dark grey flints from the English side with light grey flints from Etretat on the French coast showed significant differences indicating that flint shingle abrasion depends very much on the shingle type even within one rock type such as flint. The experiments also indicate that wave energy on the beach creates a brittle surface layer characterised by chatter marks and it is likely that the resistance of this surface layer to abrasion will depend on the flint properties as well as the wave energy on a specific beach.

Field abrasion experiments have successfully measured in situ abrasion rates of pebbles on two beaches on the English side. Lithologies other than flint (exotics, limestone and quartzite) were used so that they could be identified and retrieved from the flint shingle beaches. More than 700 field abrasion rates have been obtained under different wave conditions. Laboratory

différentes conditions météo-marines. Par la suite, des expériences à l'abrasion en laboratoire ont été effectuées pour estimer les vitesses d'abrasion in situ de galets de silex du cordon en exposant à des conditions de terrain des silex issus du cordon et d'autres types galets. Par ces expériences, une valeur moyenne annuelle de perte de poids pour un galet moyen dans la zone de déferlement a été calculée comme étant d'environ 2 %. Ceci confirme les résultats des expériences à l'abrasion menées en laboratoire indiquant que le silex s'érode de façon significative sous l'attaque marine sur les plages de la Manche.

#### **Echanges sableux entre la plate-forme littorale (bas estran) et le cordon de galets**

Les échanges sableux entre plate-forme littorale et cordon ont été une des préoccupations de l'équipe française. Ce phénomène d'apparition et de disparition de sable à la surface des cordons de galets après des changements de conditions marines a également été observé du côté anglais. Ici, cependant, il est vu principalement comme une réorganisation de la structure interne des cordons de galets parce que le sable se trouve seulement localement et en très petite quantité sur la surface de la plate-forme. Il est, par conséquent, peu probable qu'il y ait un échange de sable entre la plate-forme et le cordon. La possibilité d'échanges sableux dans les deux directions est importante en relation avec la recharge anticipée des cordons.

Le matériel de recharge contient souvent une grande quantité de sable qui, s'il y a un échange depuis le cordon à la plate-forme, peut réduire le volume du cordon rechargé peu de temps après son emplacement. Cependant, le transfert de sable du cordon de galets vers la plate-forme pendant des événements de tempête augmente la faculté d'adaptation des profils à différentes conditions météo-marines. Des expériences ont été menées en utilisant du sable coloré comme traceur pour mesurer les transports sédimentaires, en même temps qu'étaient enregistrés des paramètres de vagues et marées. A défaut de conditions de tempêtes du côté français en 2001, seulement deux expériences de contrôle sous des conditions hydrodynamiques faibles ont été entreprises. Sous de telles conditions, le transport est très faible et essentiellement parallèle au rivage.

abrasion experiments using beach flint and the exotic pebbles exposed to beach conditions have been employed subsequently to estimate the in situ abrasion rate of local flint pebbles on the beach. From these experiments a mean annual weight loss for an average flint pebble in the surf-zone loss in the order of 2% has been calculated. This supports the laboratory abrasion experiments indicating that flint does abrade significantly under wave attack on the Channel beaches.

#### **Sand exchange between the shore platform (bas estran) and the shingle beach**

Although sand exchange has been of most concern to the French team, the phenomenon of sand appearing and disappearing on the surface of the shingle beaches after changes in wave conditions has also been observed on the English side. Here however, it is seen mainly as a reorganisation of the internal structure of the shingle beaches because sand is only to be found locally and in very small amounts on the surface of the shore platforms. It is therefore unlikely that there is a substantial exchange of sand between the shore platform and the shingle beach. The possibility of sand exchanges in either direction is of importance in relation to anticipated beach recharge.

Recharge material often contains large amounts of sand that, if there is an exchange from the shingle beach to the shore platform, may reduce the volume of the recharged beach shortly after emplacement. However, transfer of sand from the shingle beach onto the shore platform during storms increases the adaptability of beach profiles to different wave conditions. Experiments were carried out using coloured sand as a tracer to measure sand transport while at the same time recording wave and tide parameters. Due to a lack of storm condition of the French side in 2001 only two control experiments under weak wave conditions could be carried out. Under weak waves transport is very small and essentially shore-parallel.