

LE RISQUE DE SUBMERSION DE TEMPÊTE EN MANCHE ORIENTALE : ANALYSE MÉTÉO-MARINE SUR LA PÉRIODE HISTORIQUE RÉCENTE

THE STORM SURGE HAZARD IN THE EASTERN ENGLISH CHANNEL : METEO-MARINE ANALYSIS DURING THE RECENT HISTORIC PERIOD

Stéphane Costa¹, Olivier Cantat¹, Paolo Antonio Pirazzoli², Mathilde Lemaître¹,
Lison Gamas¹, Daniel Delahaye¹

1 Université de Caen Basse-Normandie, Géophen UMR-CNRS LETG 6554 ; stephane.costa@geo.unicaen.fr

2 Laboratoire de Géographie Physique « Pierre Birot » UMR-CNRS 8591 ; paolo.pirazzoli@cnrs-bellevue.fr

Abstract :

The study of the storm surges in the western English Channel, and especially along the Haute-Normandie coast, allows to define, firstly, the anemometric, barometric and level tide conditions beyond of which there is flooding, and secondly, that the frequency of these conditions didn't show a positive significant tendency during the late century. Nevertheless, some pluriannual oscillations, more or less acyclic, can be observed. These oscillations correspond more to a climatic variability, that we know under ours latitudes, than a sort of climatic variation waited by a part of the scientific community.

En raison de la concentration des activités et des populations sur la frange côtière, la prévision et la prévention du risque constituent un enjeu économique fondamental. De par son ouverture au flux d'ouest perturbés, ainsi que ses caractéristiques morphologiques et altimétriques, les côtes basses de la Manche Orientale revêtent un intérêt tout particulier pour l'analyse du risque naturel, et notamment d'inondation par la mer (Gires et Caspar, 1985 ; Caspar, 1988 ; Lamb, 1991 ; Caspar et Poullain, 1996 ; Costa, 1997 ; Héquette et Vasseur, 1998 ; Galli, Hontarrède, 2001). Cette vulnérabilité, qui a toujours affecté le secteur d'étude, devient pourtant préoccupante pour les décideurs et les populations concernés en raison d'une réitération grandissante de ces phénomènes au cours des quarante dernières années. Ce travail, réalisé dans le cadre du programme Européen « Beaches at Risk » vise à repérer, sur la période historique récente, une éventuelle évolution de la fréquence et/ou de l'intensité de ces événements météo-marins paroxysmaux, ainsi que leurs caractéristiques à des fins prévisionnelles.

1. L'analyse des chroniques de vent sur l'ensemble de la Manche : une interprétation difficile

L'analyse statistique a été effectuée à partir des séries de données de Météo-France issues des stations de mesures se trouvant en Manche (direction et force du vent, et de la pression en surface) (fig. 1).

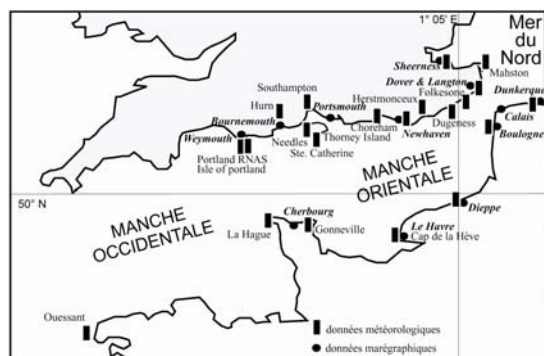


Fig. 1 : Secteur d'étude et principales stations marégraphiques et météorologiques utilisées.

Au même titre que certaines études réalisées sur d'autres parties de la Manche (Costa, 1997 ; Bouligand et Tabeaud, 1998 ; Bouligand et Pirazzoli, 1999 ; Regnaud et Lemasson, 1997 ; Pirazzoli, 2000 ; Pirazzoli et *al.*, in press), ce travail a pour objectif de mettre en évidence d'éventuelles évolutions de la fréquence ou de l'intensité de ces phénomènes météo-marins. L'analyse des données sémaphoriques fait

apparaître parfois des tendances évolutives qui peuvent être variables d'une station à l'autre, résultant de problèmes de matériel, de normalisation des sites, ou encore d'homogénéisation des séries de données. En effet, cette banque de données ne semble pas toujours pouvoir rendre compte, avec précision, et sur des pas de temps pluri-décennaux, d'éventuelles évolutions des conditions anémométriques.

2. Le recensement des événements générateurs de dommages

Ce travail a consisté à établir l'inventaire, de 1960 à 2003, des événements météo-marins ayant généré des inondations par la mer sévères. Outre la définition de la récurrence de ces aléas, ce regard sur le passé permet de déterminer :

- l'extension des inondations par la mer. Notre travail s'est porté sur les événements extrêmes du 27-28/02/1990, dont une cartographie des inondations avait été réalisée sur certains débouchés de vallées sensibles (DDE 76, 1995).

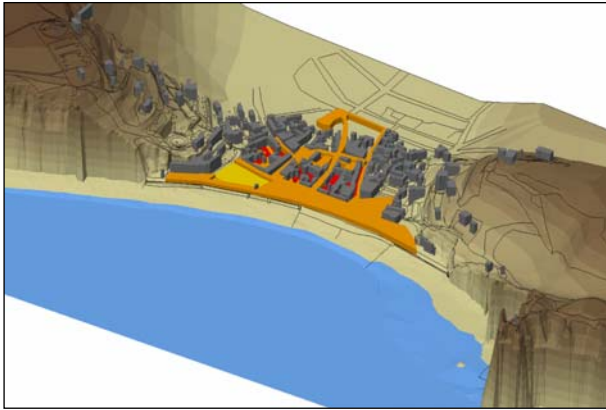


Fig. 2 : extension de la submersion de tempête du 27-28 février 1990 à Etretat (d'après DDE 76, 1995 ; Costa et Delahaye, 2004).

- les caractéristiques météorologiques (force et direction du vent) et marégraphiques (hauteur) de ces événements et, par conséquent, de contribuer à améliorer le système d'annonce des inondations de tempête pour chaque site sensible haut-normand (fig. 3).

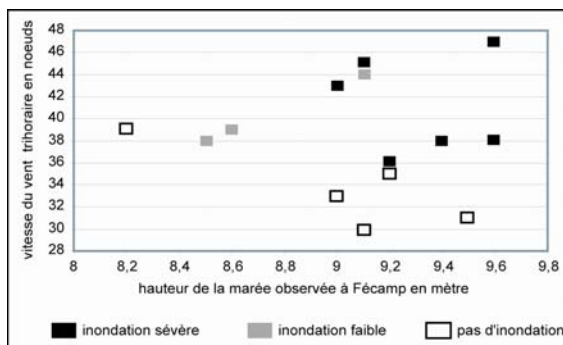


Fig. 3 : Détermination des seuils de hauteur de marée et de vitesse de vent au-delà desquels il y a risque de submersion de tempête, exemple de Fécamp/Etretat

La figure 3 montre également que pour des conditions météo-marégraphiques similaires, il a été observé des inondations par la mer sévères ou aucun débordement. Ce résultat indique qu'un troisième facteur, au moins, participe à l'apparition de submersion, à savoir, les caractéristiques morpho-sédimentaires des plages.

En raison de la fiabilité parfois limitée des séries chronologiques des vents enregistrés sur les quarante dernières années, l'inventaire des inondations par la mer a aussi été utilisé pour déterminer, à petite échelle (sur l'ensemble de la Manche et une partie de la Mer du Nord), l'aspect météorologique fondamental de ces événements générateurs de dommages. Cette analyse a été menée à partir de documents plus fiables pour ce type de démarche, à savoir, les cartes synoptiques journalières des champs de pression de surface. L'aspect fondamental correspond à un fort gradient de pression en flux de NO (≥ 20 hpa entre la Pointe du Raz et la ville de Cromer dans le Norfolk). La fréquence de cette situation météorologique ne montre pas de tendance significative sur les 107 dernières années (fig. 4). En revanche, quelques oscillations pluriannuelles, plus ou moins acycliques, s'individualisent nettement (la période 1970-1990 est remarquable à ce titre), faisant plus appel à la variabilité climatique qu'à une quelconque variation. L'importante réitération des submersions de tempête sévères observées entre 1970 et 1990 est bien évidemment liée à ces situations paroxysmales. Toutefois, à ce facteur météorologique s'est ajouté le phénomène astronomique appelé «déclinaison lunaire» (périodicité de 18,61 ans, et optimum apparu au milieu des années 1980), qui a augmenté statistiquement la chance d'observer la conjonction d'une pleine mer de vive eau et d'un fort vent d'afflux.

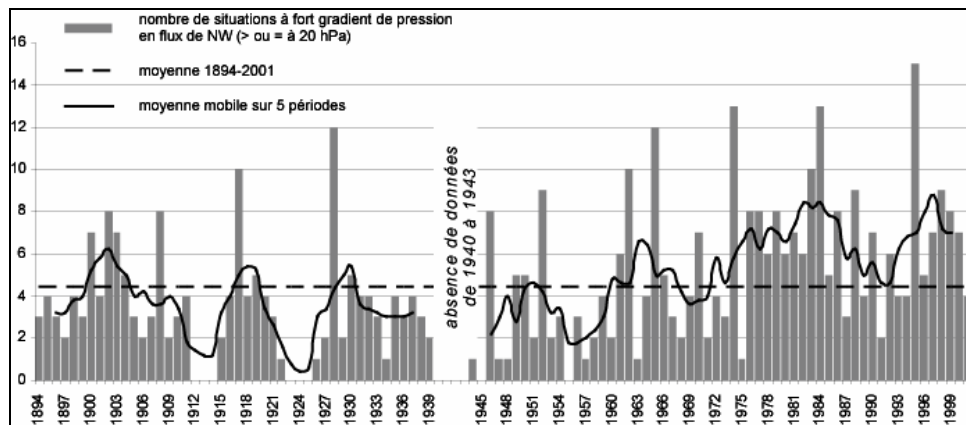


Fig. 4 : Evolution annuelle de la fréquence des situations à fort gradient de pression en flux de NO (\geq à 20 hpa) entre 1894 et 2001.

3. Relations entre les submersions de tempête et la frontologie

Il est communément admis que les submersions de tempête résultent d'une surcote (induite par un fort vent d'afflux et une faible pression barométrique), en phase avec une pleine mer de vive eau. Pour rendre compte précisément de cette conjonction, il convient d'analyser de façon dynamique, et à divers niveaux scalaires, les relations qui peuvent exister entre l'apparition des d'inondation par la mer et certains facteurs *a priori* déterminant, à savoir : (1) la position des grands centres d'action, (2) la trajectoire et la vitesse de déplacement des dépressions et (3) des perturbations, (4) la position du front froid au moment du débordement. S'agissant des trois premiers facteurs, les résultats sont sans surprise puisque lors des submersions sévères nous observons deux types de situation synoptique :

- la première correspond, pour près d'un tiers des cas, à la circulation rapide d'ouest en est, à la hauteur de la Manche, d'une jeune dépression qui s'accompagne de vents de NO, à l'arrière immédiat du minimum barométrique, donc en position de traîne.
- la seconde situation représente près des deux tiers des cas, et correspond à la pénétration en Mer du Nord d'une dépression atlantique de plus haute latitude, se dirigeant vers le Danemark ou les Pays Bas. Un resserrement des isobares en Manche axés NO-SE génère de forts vents de NO qui persistent tant que la dépression ne s'éloigne pas ou ne se comble pas.

Dans 62 % des cas de submersion, le passage du front froid (induisant pourtant une hausse importante de la pression atmosphérique, mais un renforcement du vent et un passage de l'Ouest au Nord-Ouest) s'effectue lors de la pleine mer. Pour les cas restant (38 %), il semble que se soient les conditions anémométriques antérieures (au moins 10 jours) qui expliquent l'apparition des inondations par la mer sévères. En effet, durant cette période, des vents moyens à forts ont été observés, induisant un amaigrissement des plages. Le passage successif de perturbations actives a agi de façon cumulative, abaissant le profil de plage, facilitant l'inondation par la mer à un moment où toutes les conditions atmosphériques et marégraphiques précédemment définies ne sont pas nécessairement remplies.

Conclusion

L'étude des submersions, dites de tempête, en Manche orientale, et notamment du littoral haut normand, a permis de déterminer, d'une part, les conditions anémométriques, barométriques et marégraphiques au-delà desquelles il y a débordement et, d'autre part, que la fréquence de ces conditions n'a pas connu de tendance évolutive significative au cours des cents dernières années. En revanche, quelques oscillations pluriannuelles, plus ou moins acycliques, s'individualisent nettement, faisant plus appel à la variabilité climatique, inhérente à nos latitudes, qu'à une quelconque variation. La définition des seuils anémométriques et marégraphiques au-delà desquels il y a submersion est intéressante mais elle doit être couplée à une analyse faisant appel à diverses échelles de temps (de la submersion, jusqu'à 10 jours la précédant) et d'espace (de la position des centres d'action, au suivi de la position du front froid ou de la surcote par rapport à l'onde de marée). Sans cette démarche, il est difficile de comprendre les situations durant lesquelles aucun débordement n'est observé, alors que les seuils sont atteints, ou les phasages sont réalisés. En effet, un troisième facteur, dépendant en parti des

conditions météo-marines, détermine la fréquence et l'ampleur de la submersion, à savoir le budget sédimentaire des plages.

Par ailleurs, l'analyse des surcotes en Manche orientale (induites par de forts vents d'afflux et de basses pressions) montre que ces dernières sont fréquentes et peuvent atteindre une amplitude de 2 m. Mais par chance, leur phasage avec une pleine mer de vive eau est rare, puisque depuis 1960, cette conjonction catastrophique pour les populations côtières a été observée 16 fois (et ce, pour des surcotes rarement supérieures à 1 m) alors que ces phénomènes (≥ 1 m) ont été enregistrés plus de 150 fois sur la même période.

Remerciements

Nous tenons à remercier M. Tabeaud et R. Caspar pour l'aide apportée dans le recensement des forts gradients de pression en flux de NO.

Références

- BOULIGAND R., TABEAUD M., 1998 : Cent ans de surcotes à Brest, *Met.Mar.* 180 (1998).
- BOULIGAND R., PIRAZZOLI P.A., 1999 : Les décotes et les surcotes marines à Brest. Etude statistique et évolution. *Océanologica Acta*. Vol. 22, n° 2, pp.153-166.
- CASPAR R., 1988 : Marée de tempêtes sur le littoral de Haute-Normandie, 22 janvier 1988. *Met. Mar.* 141 (1998).
- CASPAR R., POUILLAIN H., 1996 : Coup de vent de nord-est sur les côtes normandes. Etude de la situation des 19 et 20 février 1996. *Met.Mar.* 172 (1996).
- COSTA S., 1997 : *Dynamique littorale et risques naturels : L'impact des aménagements, des variations du niveau marin et des modifications climatiques entre la Baie de Seine et la Baie de Somme*. Thèse de doctorat, Université de Paris I, 376 p.
- GALLI F.L., HONTARREDE M., 2001 : Surcote et marée de tempête, *Met. Mar.* 190 (2001).
- GIRES O., CASPAR R., 1985 ; Coup de vent et marée de tempête, novembre 1984 ; *Met. Mar.* 127 (1985).
- HÉQUETTE A., VASSEUR B., 1998 : Storm surges and erosion coastal dunes between 1957 and 1988 near Dunkerque (France), Southwestern North sea. *Conf. Coastal and Estuarine Environments*, Geological Society, London, 9-10 novembre 1998, programme and abstracts.
- LAMB H., 1991 : *Historic storms of the North sea, British Isles and Northwest Europe*. Cambridge University Press, Cambridge.
- LEMASSON L., REGNAULD H., 1997 : Evolution trentenaire des vents littoraux sur le Grand Ouest français. *Norois*, 44 (175), 417-431.
- PIRAZZOLI P.A., 2000 : Surges, atmospheric pressure and wind change and flooding probability on the Atlantic coast of France. *Oceanologica Acta* 23, Vol. 23, n° 6, pp. 643-661.
- PIRAZZOLI P.A., REGNAULD H., LEMASSON L., in press : Changes in storminess and surges in western France during the last century. *Marine Geology*.

**ÉVOLUTION RÉCENTE DES SITUATIONS DE SURCOTE
SUR LES DEUX RIVES DE LA MANCHE ORIENTALE**
*RECENT EVOLUTION OF SURGE-RELATED EVENTS
IN THE EASTERN PART OF THE CHANNEL*

Paolo Antonio Pirazzoli

Laboratoire de Géographie Physique, Place Aristide Briand, 92195 Meudon cedex, France (e-mail : pirazzol@cnrs-bellevue.fr)

Recent evolution of surge-related events in the eastern part of the Channel

A statistical study of tides, surges and meteorological trends shows that surge conditions are mainly related to storms from SW in most of the Channel, and from NW near its eastern margin. The frequency of such storms does not exhibit an increasing trend. Nevertheless, a slight increase in the flooding risk is expected at Weymouth, Bournemouth, and Portsmouth, due to apparent land subsidence. In most stations, except Newhaven, the highest surges of the last decades did not occur at the time of spring high tide; the risk of occurrence of less favourable random events in the near future is of concern.

Cette étude a utilisé les mesures marégraphiques horaires disponibles pour les stations de Weymouth, Bournemouth, Portsmouth, Newhaven, Dover et Sheerness en Angleterre et de Cherbourg, Le Havre, Dieppe, Boulogne, Calais et Dunkerque en France. Les conditions météorologiques favorables aux surcotes et leurs tendances ont été déduites à partir des enregistrements des stations de Portland, Hurn, Needless Old Battery, St. Catherine's Point, Southampton, Thorney Island, Shoreham, Herstmonceux, Dover, Langdon Bay, Manston et Sheerness en Angleterre; de Gonneville-Maupertus, Cap de la Hève, Dieppe, Boulogne et Dunkerque en France (Fig. 1).

L'analyse a montré des évolutions assez variables, même pour des localités assez proches. La situation de surcote la plus générale est celle que provoquent des tempêtes de SW, qui tendent à engouffrer de l'eau océanique un peu partout dans la Manche. Les stations les plus exposées sont celles ouvertes à l'W, surtout sur la côte française. L'évolution climatique récente ne semble pas particulièrement défavorable pour ces stations, où les vents de surcote diminuent en fréquence ou en vitesse (Cherbourg, Dieppe, Boulogne), ou restent plutôt stables (Le Havre). Ici, les dangers à long terme peuvent venir plutôt d'une perte d'altitude due à une poursuite de la subsidence (Dieppe et Boulogne), surtout si elle s'accompagne de l'accélération de l'élévation eustatique prévue par les modèles climatiques. En particulier, les surcotes du Havre, situé dans une baie en forme d'entonnoir, sont particulièrement sensibles aux vents d'W.

De l'autre côté de la Manche, les ports de Weymouth, de Bournemouth et de Portsmouth sont surtout exposés aux vents méridionaux (parfois avec une composante de SE), dont les tendances d'évolution sont variables, avec des augmentations à Isle of Portland et à Thorney Island et une apparente diminution (mais sur une période beaucoup plus courte) à Needles Old Battery. Ces trois ports sont cependant affectés par une notable subsidence qui ne peut qu'accroître, à long terme, le risque d'inondation.

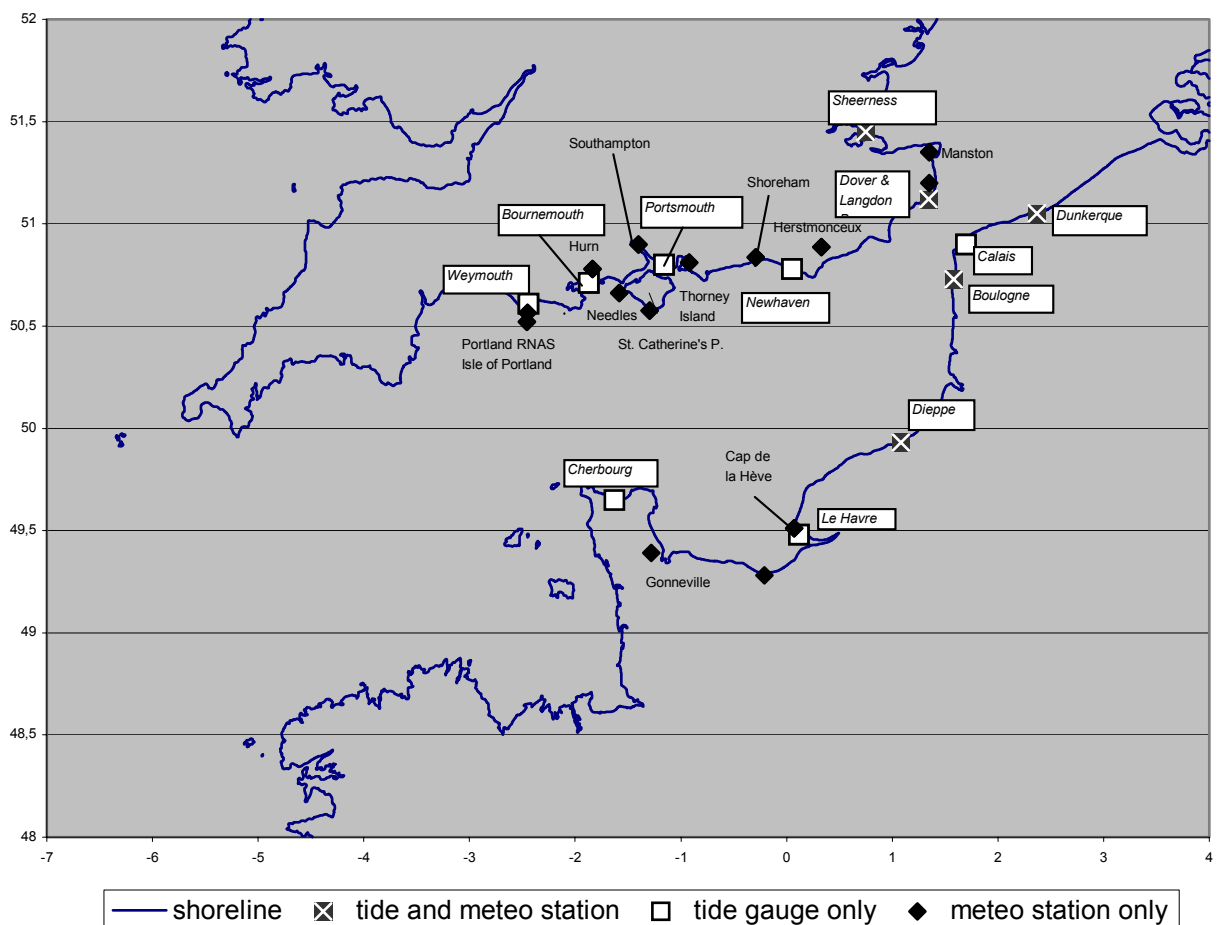
Plus à l'E, la fréquence et/ou la vitesse des vent méridionaux tendent plutôt à diminuer à Shoreham airport et à Herstmonceux, ce qui diminue les risques d'inondation littorale à Newhaven.

A l'extrémité orientale de la Manche, les vents de surcote viennent surtout de NW, non seulement à Calais, à Dunkerque et à Sheerness, ouverts à ces vents, mais également à Dover, où ils sont des vents de terre. Ceci laisse penser que ces vents tendent à engouffrer de l'eau sur l'ensemble de l'extrémité orientale de la Manche, avec des effets comparables sur

les deux rives. La fréquence ou la vitesse des vents de NW ne montrant pas de tendance à l'augmentation, le risque d'inondation n'est pas aggravé dans cette région.

Dernier élément de notre étude, l'évolution de la durée des situations cycloniques significatives n'a pu être menée à bien que dans quelques cas : cette durée tend à diminuer à Gonneville (pour Cherbourg), mais à augmenter à Southampton (pour Weymouth) et ne semble pas déterminante dans certaines stations (Portsmouth, Calais, Dunkerque). Faute

Figure 1: Plan de localisation - Location map



d'enregistrements suffisants elle n'a pas pu être déterminée pour Newhaven, Dover et Sheerness.

En conclusion, d'après les tendances récentes, les risques d'inondation littorale semblent s'accroître à moyen terme surtout à Weymouth, Bournemouth et Portsmouth (c'est à dire, paradoxalement, là où l'amplitude de la marée est la moins forte et les surcotes récentes sont les moins élevées) et accessoirement au Havre.

Il ne faut pas oublier, cependant, que pour les séries d'enregistrements les plus courtes les tendances doivent être interprétées avec prudence. En outre, il y a eu, pendant les périodes d'observation, peu de fortes surcotes coïncidant avec des marées astronomiques élevées. Ceci est montré par le Tableau 1, où on compare, pour les 20 surcotes les plus élevées mesurées dans chaque station, le nombre de cas que l'on peut attendre statistiquement au moment de

marées astronomiques dépassant le 90^{ème} et le 95^{ème} centile et le nombre de cas qui s'est effectivement marées produit.

On peut observer (Tableau 1) qu'à l'exception d'une fois à Portsmouth et à Newhaven, aucune des 20 surcotes les plus élevées n'a coïncidé avec une marée astronomique \geq au 95^{ème} centile (alors qu'au moins un cas était attendu dans chaque station). De même le nombre des surcotes les plus élevées ayant coïncidé avec une marée astronomique \geq au 90^{ème} centile est, sauf à Newhaven, inférieur à celui attendu. Cette rareté est plutôt inquiétante, puisqu'elle est due essentiellement au hasard. On peut s'attendre, dans l'avenir, que les coïncidences de surcotes et de marées astronomiques extrêmes soient plus conformes aux attentes statistiques. Ce risque de coïncidences fortuites plus pénalisantes dans un avenir proche ne doit pas être oublié. Il contribue à éclipser les avantages que l'on peut attendre d'un éventuel changement climatique favorable, qui sera nécessairement lent.

Tableau 1. Occurrences de haut niveaux de la marée astronomique (AT) au moment de surcotes extrêmes.

Table 1. Occurrences of high levels of the astronomical tide (AT) at the time of extreme surges.

Station marégraphique	95 ^{ème} centile de AT	90 ^{ème} centile de AT	Pour les 20 surcotes enregistrées les plus élevées	
<i>Tide-gauge station</i>	<i>95th percentile of AT (cm)^a</i>	<i>90th percentile of AT (cm)^a</i>	<i>For the 20 highest recorded surges</i>	
			Nombre de cas avec AT \geq 95 ^{ème} centile (1 cas attendu)	Nombre de cas avec AT \geq 90 ^{ème} centile (2 cas attendus)
			<i>No. of occurrences with AT \geq 95th percentile (1 occurrence expected)</i>	<i>No. of occurrences with AT \geq 90th percentile (2 occurrences expected)</i>
England				
Weymouth	+213	+193	0	0
Bournemouth	+210	+199	0	0
Portsmouth	+453	+433	1	1
Newhaven	+633	+598	1	3
Dover	+635	+602	0	1
Sheerness	+536	+508	0	0
France				
Cherbourg	+605	+574	0	0
Le Havre	+768	+743	0	0
Dieppe	+861	+811	0	0
Boulogne	+839	+798	0	0
Calais	+684	+653	0	0
Dunkerque	+573	+546	0	0

^a par rapport au Zéro Hydrographique (*in relation to the Chart Datum*).

**AN IMPROVED UNDERSTANDING OF SURGE PROPAGATION
THROUGH THE SOLENT**
*VERS LA COMPRÉHENSION DE LA PROPAGATION DES HOULES DE TEMPÊTE
DANS LE SOLENT.*

RH Swift,

ABPmer, Pathfinder House, Maritime Way, Southampton SO14 3AE. RSwift@abpmer.co.uk

Résumé

Cette étude rend compte du développement d'un modèle de la houle du Solent, qui a été effectué pour améliorer la compréhension de la propagation de la houle dans la région et pour aider l'amélioration des prédictions de potentielles inondations le long de la côte. L'étude a été initiée par une revue détaillée de la littérature actuelle, accompagnée de discussions avec des autres chercheurs dans la région. Le modèle a été calibré et vérifié aux événements connus et des profils de la houle ont été développés, ce qui a servi d'améliorer la compréhension des interactions de la houle dans la région.

Summary

This study reports the development of a tide-surge model of the Solent, undertaken to enhance understanding of surge propagation in the area and to assist in enhancing the prediction of flooding potential along the coastline. The study was initialised by a detailed literature review, accompanied by wide – ranging discussions with other researchers in the area. The model was calibrated and verified against known events and surge profiles were developed, along with an enhanced understanding of tide-surge interaction in the area.

The specific objective of the study (ABPmer 2004^a) was to determine a representative surge profile between Bournemouth and Selsey Bill that could be applied to extreme tidal events in this area (i.e. 1 in 200-year through to 1 in 1000-year tidal levels). It was recognised that if differences in surge profile were significant within this area, then a number of surge profiles would have to be determined. This analysis allows more accurate assessment to be made of the nature, timing and duration of extreme events that potential could result in flooding along the coastline.

The study was one component of a larger overall project that was undertaken by ABPmer for the UK Environment Agency. The larger project also involved a review of techniques used to determine extreme return period water levels in various regions around England and Wales (ABPmer, 2003), and calculating new, and checking existing, extreme return period water level predictions at locations along the south and south-east English coastlines (ABPmer, 2004^b).

These studies proved valuable in relation to the other two parts of the overall project. Analyses of tide gauge data at sites on the English Channel show that it experiences two main types of surges: those that are generated in, or pass through, the North Sea and are transmitted southward into the English Channel through the Dover Strait; and those that are generated by depressions in the Atlantic, particularly the fast moving depressions in the western channel approaches south of Ireland that subsequently move eastward. These effects lead to a change in the growth rates of extreme water levels along the coast from Southampton to Southend, Figure 1. Having an improved understanding of physical processes occurring in the Solent allowed improved confidence to be placed in the calculations of extreme water level predictions along this stretch of coastline.

Area of Interest

The study area was defined as extending from Bournemouth in the west to Selsey Bill in the east, and encompassing the Isle of Wight, Figure 5b. Although the surge levels that occur along this stretch of coastline are not as high as those experienced along the east coast of

Britain, a number of historical events have occurred, leading to significant flooding in the area. This is because much of the area is low-lying and vulnerable to tidal flood risk. The Solent area has become well known because of its complex tidal structure, featuring double high and low waters, along with the young flood stand and is particularly pronounced during spring tides. Such tidal features are caused by oscillations in water levels within the English Channel together with shallow water effects rather than the long-held view of it being due to the position of the Isle of Wight.

The study was progressed in three main stages as follows:

Stage 1 - Initial Scoping: An initial scoping of the key issues arising from previous work relating to the assessment of surges within the Solent. It identified the purpose, benefits and limitations of these previous studies in order to inform the development of an approach that would investigate and better define the propagation of surge throughout the Solent. This stage outlined the subsequent data analysis (Stage 2) and numerical modelling (Stage 3) that was required to achieve the study objectives.

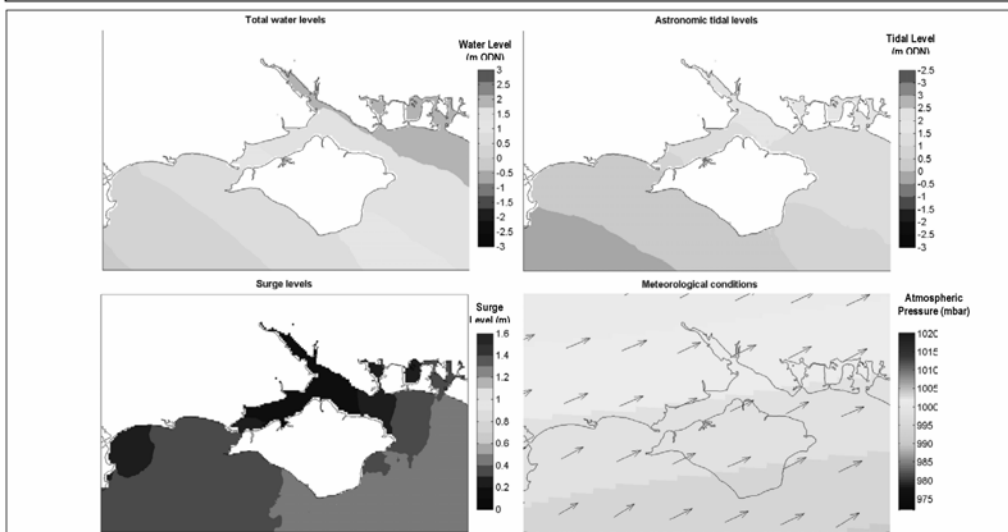
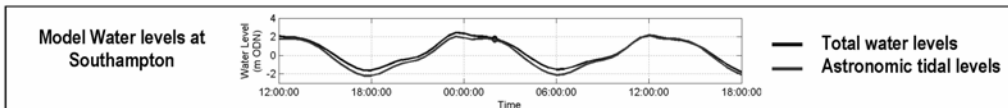
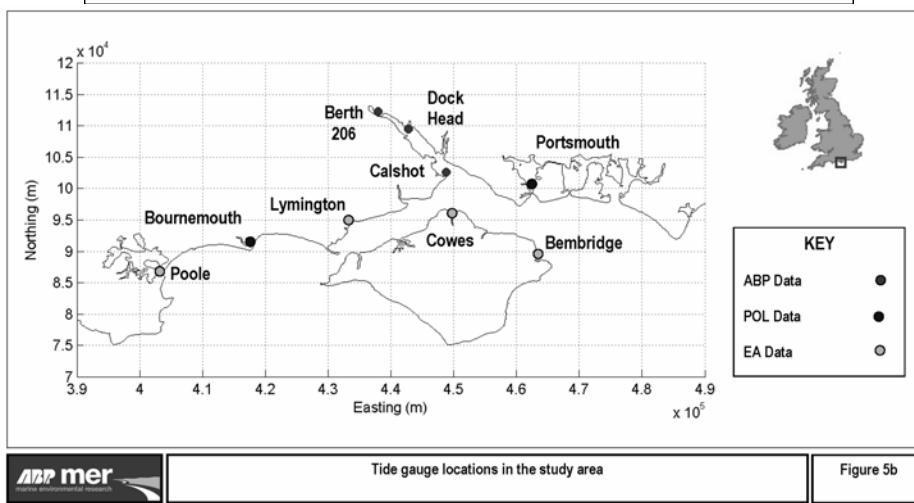
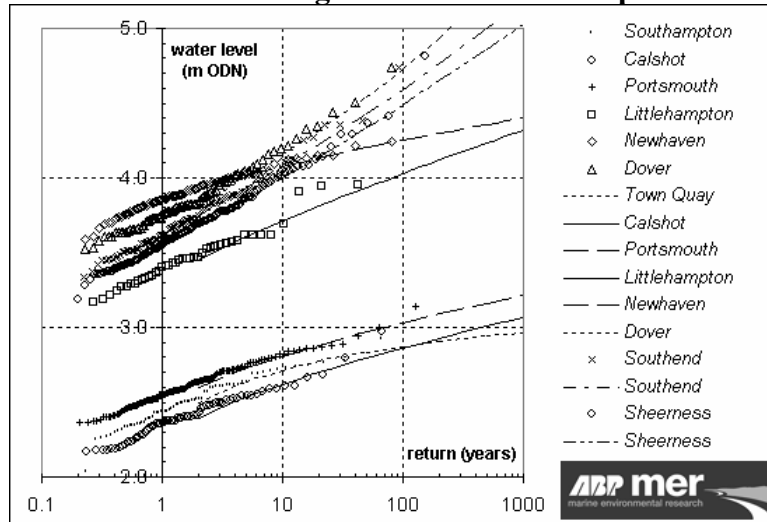
Stage 2 - Surge Definition: surge characteristics such as length, height, period and timing were clearly defined prior to the modelling stage 3. This was undertaken using a combination of: (i) data analysis; (ii) a desk-top review of existing scientific literature; and (iii) discussions with key Environment Agency staff, researchers at the Southampton Oceanography Centre (SOC), Proudman Oceanographic Laboratory (POL) and the Channel Coastal Observatory (CCO), and hydrographic surveyors at ABP Southampton.

Stage 3 - Development and Application of a Solent Model: The first part of the tide-surge model development involved calibrating the model against a specific surge event. A number of further model runs were carried out for specific events to determine how the surge propagates through the Solent. Figure E26b shows typical model results. These runs allowed the spatial extent of specific events to be assessed and enabled an investigation of tide/surge interactions.

References

- ABPmer. 2004. An improved understanding of surge propagation through The Solent. Volumes 1 and 2 – Main text and Appendices. Report R1074. For the Environment Agency, Southern Region.
- ABPmer. 2004. English Channel extreme tidal level review. Report R1085. For Peter Brett Associates acting on behalf of the Environment Agency.
- ABPmer. 2003. Extreme water levels: A regional inter-comparison. Report R1058. For the Environment Agency, Southern Region.

Figure 1 – Extreme return water level growth rates Southampton to Southend



ABP mer
marine environmental research

Conditions in the area of interest on the 13th December 2000 02:00 (Extreme water level event)

Figure E26b

**TEMPÊTES ET SURCOTES SUR LA CÔTE D'OPALE
PENDANT LA SECONDE MOITIÉ DU XX^{ÈME} SIÈCLE**
*STORM AND SURGE-RELATED EVENT IN THE CÔTE D'OPALE
DURING THE SECOND HALF OF THE XXTH CENTURY*

Sylvain Chaverot, Olivier Cohen et Arnaud Héquette

Université du Littoral Côte d'Opale ; MREID 2, 189A Avenue Maurice Schumann, 59140 Dunkerque, France.
Lab. Géomorphologie dynamique et Aménagement du Littoral sychaverot@univ-littoral.fr

Abstract

The evolution of storm surges and their main meteorological forcings (strong winds and low barometric pressure) were analysed along the northern French coast (Fig.1). Meteorological and tide gauge data revealed that storm events tended to decrease on the North Sea coast between 1956-2001. In this area, increased storm activity can nevertheless be distinguished during two periods: 1956-1962 and 1972-1977. On the Channel coast, however, no significant trend has been observed.

Avec le réchauffement climatique contemporain de l'atmosphère et de l'océan depuis la fin du XIX^{ème} siècle, les scientifiques s'attendent à une augmentation du niveau marin et une augmentation en fréquence et en intensité des phénomènes tempétueux (Wasa group, 1998 ; IPCC, 2001),). Ce scénario aurait pour conséquence d'accroître la fréquence des hauts niveaux marins pouvant engendrer une amplification des processus côtiers et une augmentation de l'érosion des côtes basses sableuses (French et al., 1995). C'est dans ce contexte que nous avons retracé l'évolution de l'intensité et de la fréquence des phénomènes tempétueux et des surcotes marines durant la deuxième partie du Xxe siècle le long de la côte d'Opale.

Le secteur d'étude se situe dans le nord de la France, dans la partie sud du Pas-de-Calais entre Manche et Mer du Nord (Fig.1). Le long de la Manche, le littoral est orienté nord-sud. Plus à l'est, bordée par la Mer du Nord, la côte est orientée ouest-sud-ouest – est-nord-est. Trois ports principaux bordent cette côte, Boulogne-sur-Mer qui fait face à la Manche, Calais et Dunkerque, situés sur la sud de la Mer du Nord. Ce littoral connaît une instabilité sédimentaire liée à une pénurie sédimentaire et à l'action de processus météo-marins et qui se traduit dans de nombreux secteurs par le recul du front de dune depuis le milieu du XIX^{ème} siècle (Battiau-Queney et al., 2003).

Les surcotes sont le résultat de la différence entre la hauteur d'eau mesurée et la hauteur d'eau prédite (Fig.2). Les principaux agents météo-marins à l'origine des surcotes sont la force et la direction du vent, et la pression atmosphérique. Les données de vent et de pression sont basées sur des observations trihoraires qui concernent la période 1956-2001 pour Dunkerque, 1965-2001 pour Boulogne-sur-Mer. Les données météorologiques trop lacunaires de la station de Calais n'ont pas pu être utilisées. Nous avons également disposé des vents maximum instantanés (fxi) entre 1960 et 2001 pour Dunkerque, et entre 1972 et 2001 pour Boulogne-sur-Mer. L'étude a été centrée sur les épisodes tempétueux durant lesquels les surcotes peuvent être importantes et donc avoir une action potentiellement érosive sur le trait de côte, à savoir l'évolution : 1) des évènements tempétueux en durée et en fréquence à partir des vents trihoraires $\geq 16 \text{ m.s}^{-1}$ et des vents fxi $\geq 28 \text{ m.s}^{-1}$; 2) des épisodes de basses pressions atmosphériques ; 3) des vents d'afflux.

Une étude de l'évolution de la fréquence des surcotes marines a également été effectuée à partir des données marégraphiques du port de Dunkerque (1956 - 2001), de Calais (1965-2002) et de Boulogne-sur-Mer (1973-2002).

Les premiers résultats montrent une tendance significative à la baisse des épisodes tempétueux à Dunkerque (Fig.3) entre 1956 et 2001. Toutefois deux périodes tempétueuses

ont été mises en évidence : 1956-1962 et 1972-1977 durant lesquelles 58% des épisodes avec des vents $\geq 16 \text{ m.s}^{-1}$ entre 1956 et 2001 ont été recensés. Ces observations sont confirmées par l'analyse de l'évolution des $f_{xi} \geq 28 \text{ m.s}^{-1}$, des vents d'afflux (Fig.4), des basses pressions atmosphériques et des fortes surcotes $\geq 100 \text{ cm}$ (Fig.5). En revanche aucune tendance significative ne se dégage pour le littoral nord-est de la Manche à partir des données de Boulogne-sur-Mer.

Références bibliographiques :

- BATTIAU-QUENEY Y., BILLET J.F., CHAVEROT S., LANOY-RATEL P. (2003) - Recent shoreline mobility and geomorphologic evolution of macrotidal sandy beach in the north of France. *Marine Geology*, 194, 31-45.
- FRENCH, J. R., SPENCER, T. & REED, D. J. (1995) Geomorphic responses to sea level rise : existing evidence future impacts. *Earth Surface Landform and processes*, 20, 1-16.
- IPCC (2001) Climate change 2001 - The scientific basis. Cambridge University Press, Royaume-Uni, 882 p.
- VAN DEN BRINK, H. W., KÖNNEN, G. P., OPSTEEGH, J. D., (2003) - *The reliability of extreme surge levels, estimated from observational records of order hundred years. Journal of Coastal Research*, 19, 376-388.
- WASA GROUP. (1998) Changing waves and storms in the Northeast Atlantic ? *Bulletin American Meteorological Society*, 79, 741-760.

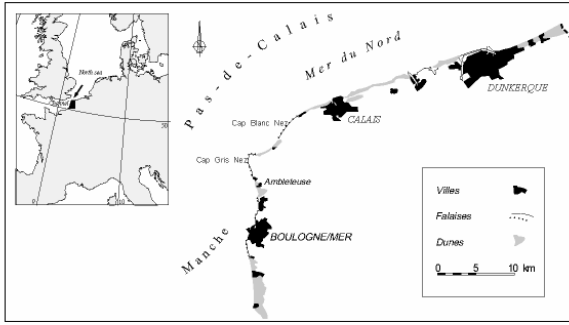


Fig.1.- Cartes de localisation

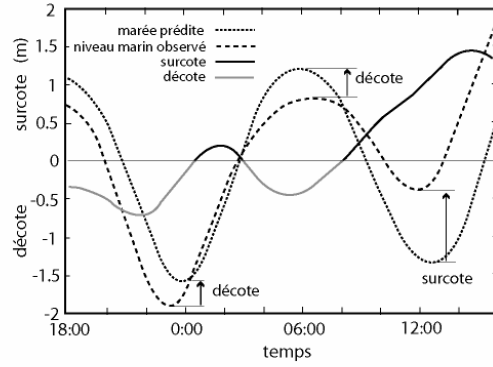


Fig.2- La surcote se produit lorsque la hauteur d'eau mesurée est supérieure à la hauteur d'eau prédite (d'après Van den Brink *et al.*, 2003)

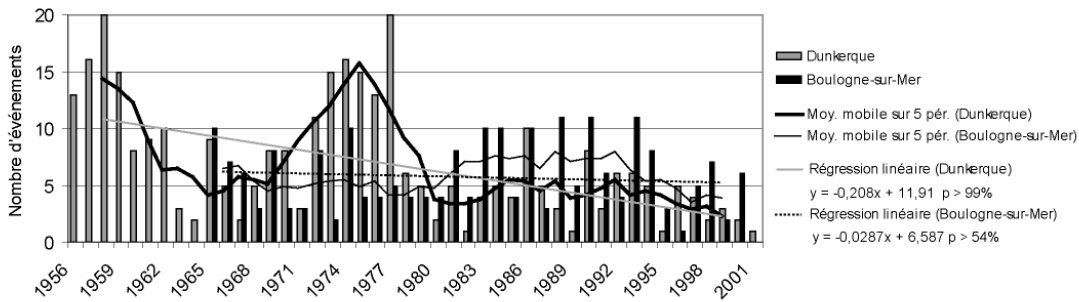


Fig.3- Nombre d'événements avec un vent trihoraire $\geq 16 \text{ m.s}^{-1}$

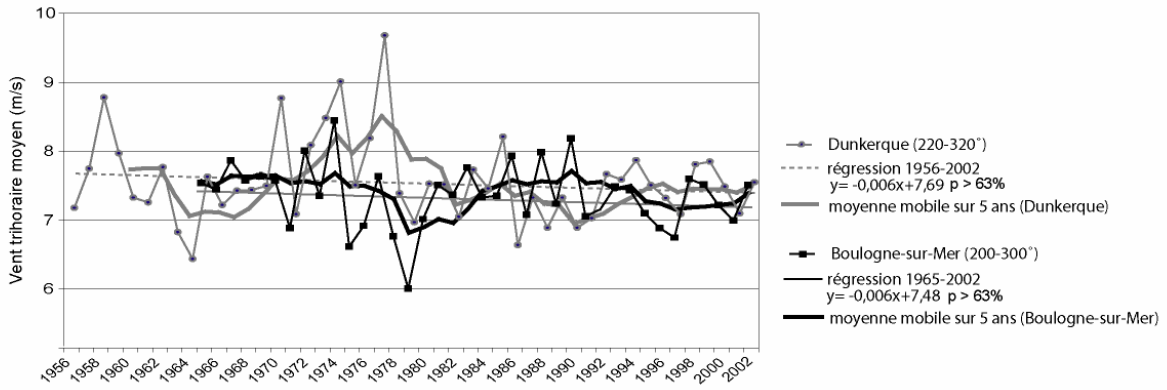


Fig.4- Evolution de la vitesse moyenne des vents d'afflux à Dunkerque et Boulogne-sur-Mer

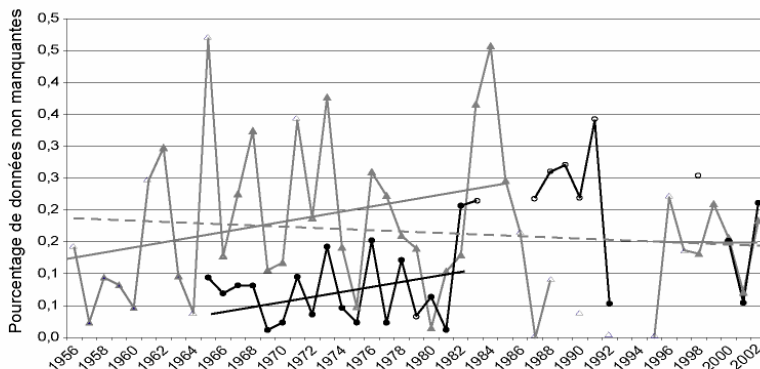


Fig.5- Evolution des surcotes $\geq 100 \text{ cm}$ à Dunkerque et Calais

LE FONCTIONNEMENT DES PLAGES DE GALETS DE HAUTE-NORMANDIE THE FUNCTIONING OF THE PEBBLE BEACH OF THE HAUTE-NORMANDY

Stéphane Costa¹, Franck Levoy², Emmanuel de Saint Léger², Olivier Monfort², Daniel Delahaye¹

¹ Université de Caen Basse-Normandie ; UMR-CNRS 6554 LETG ; Laboratoire Géophen. Esplanade de la Paix, BP 51 86 ; 14032 Caen Cedex. stephane.costa@geo.unicaen.fr

² Université de Caen Basse-Normandie ; Gresarc, Laboratoire CNRS M2C, Esplanade de la Paix, 14032 Caen Cedex. levoy@geos.unicaen.fr

Abstract :

The study of the Normandy and Picardy shingle beaches shows the presence of an important sandy fraction within the shingle spit and on the abrasion platform in the form of superficial deposit. The morpho-sedimentary study of these beaches shows cross-shore sandy transports on the lower foreshore. These transports are part of the adaptation system of the shingle beaches to the hydrodynamic conditions. They determine the potential infiltration of the shingle spit, and thus, its reflective and dissipative aspects. They also contribute in creating small sandy swash bars on the lower foreshore. Such observations are of outstanding importance for beach filling policies. Indeed, concerning the shingle spit, its nourishment with ungraded products (shingle and sand), and not with sift materials, would reduce the cost by 30% and increase its efficacy. In this paper we try to quantify the marine conditions which allow the sandy transport on the mixed pebble beach.

Ces plages de galets ne se distinguent pas seulement par la taille des grains qui les compose, mais également, par leurs réponses morpho-sédimentaires aux conditions hydrodynamiques. Définies comme étant morphologiquement réfléchissantes (Short et Wright, 1984 ; Dolique, 1998 ; Short, 1999), ces plages sont également dominées par des vagues dont le déferlement en volute n'induit pas de zone de swash importante en raison de la porosité et de la perméabilité de leur surface graveleuse (Carter, 1988 ; Carter et Orford, 1993 ; Orford et al., 2001). Par ailleurs, les vitesses d'adaptation morphologiques de ces dernières sont généralement plus lentes que celles des plages sableuses (Carter et Orford, 1984 ; Orford et al., 1991 ; 2002). Toutefois, leurs réactions adaptatives peuvent être fortement modifiées par la présence d'ouvrages de défense contre la mer, comme les perrés, sur lesquels se réfléchissent les vagues de tempête (Carter, 1988 ; Costa, 1997 ; Morel, 1997 ; Orford et al., 2001). L'importance de ces adaptations morphologiques induites par l'anthropisation, et la crise sédimentaire actuelle favorisent la submersion des cordons littoraux, et par conséquent, le risque d'inondation par la mer des côtes basses urbanisées. Les plages de galets macrotidales, dites composites (Jennings & Shulmeister, 2002) du littoral haut-normand n'échappent pas à ce constat. La gestion cohérente du risque de submersion de tempête passe donc par la connaissance, d'une part, de l'évolution du volume des plages de galets (Fig. 1), et d'autre part, de leur fonctionnement morphodynamique.

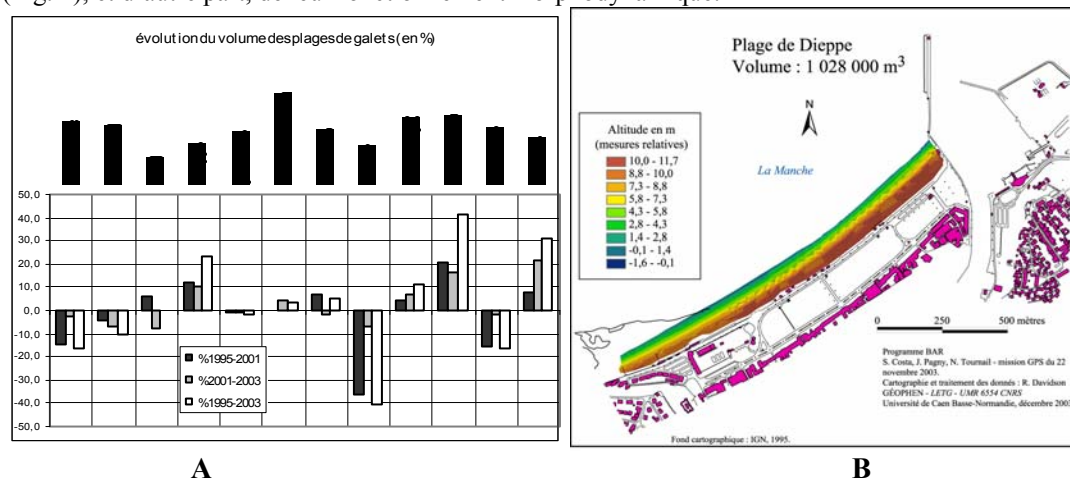


Figure 1 : Evolution du volume des plages de galets entre 1995 et 2003 (A) et modèle numérique de terrain de la plage de Dieppe (B) (Acquisition, D. GPS, Nov. 2003)

La grande majorité des travaux scientifiques sur le fonctionnement morpho-sédimentaire des plages de galets n'ont envisagé ces formes d'accumulation que sous l'angle de la mobilité des éléments constitutifs principaux, à savoir, la classe granulométrique dite des cailloutis (> 2 cm). En effet, les travaux réalisés spécifiquement sur la fraction sableuse des cordons de galets sont rares (Kirk, 1980 ; Carter et al., 1984 ; Shulmeister et Kirk, 1993), alors qu'elle constitue sur le littoral normano-picard, parfois à plus de 50%, la structure interne de ces accumulations graveleuses (LCHF, 1974 ; Costa, 1997 ; 1999 ; Morel, 1997 ; Dolique, 1998).

Contrairement aux sables se trouvant sur le platier, ceux de la structure interne des cordons sont assez mal classés (indice So entre 1,67 et 1,92), hétérogènes, et surtout, contiennent 15 à 20 % d'éclats siliceux provenant de l'attrition des galets. Le fait de retrouver ces esquilles de silex sur le bas estran en période de forte agitation marine suggère l'existence d'échanges sableux transversaux depuis le cordon vers l'estran sableux. Après les épisodes météo-marins paroxysmaux, le redressement général du profil de plage s'accompagne d'un recouvrement du cordon par une importante fraction sableuse qui percolera rapidement.

Ces échanges sableux semblent faire partie du système d'adaptation des plages de galets aux conditions hydrodynamiques (Costa, 1997). En effet, ils peuvent déterminer le potentiel d'infiltration du cordon et donc son aspect réfléchitif et dissipatif, mais également contribuer à la formation de petites barres sableuses de déferlement en bas estran.

Ces observations revêtent un intérêt tout particulier dans le cadre de politique de rechargement de plage. En effet, pour les cordons de galets, l'alimentation en tout-venant (galets et sables), et non en matériaux criblés, réduirait de 30% le coût de cette technique et en accentuerait l'efficacité.

Toutefois, ces premiers résultats morpho-sédimentaires nécessitaient des travaux complémentaires, notamment par l'implantation de traceurs fluorescents et la mesure des agents hydrodynamiques, visant à confirmer ces observations et à aboutir à une quantification des volumes sableux mis en jeu, du sens du transport, et des conditions d'agitation qui en sont responsables. Ce travail a été initié lors du programme « Pérennité des plages de galets de l'espace Rives-Manche (BERM, Costa & Delahaye, 2002) » et approfondie au cours du programme « Beaches At Risk (BAR) ».

Mesures hydrodynamiques et quantification des transports sédimentaires sur la plage de Sainte-Marguerite-Sur-Mer

C'est dans ce cadre que se situe l'intervention du GRESARC avec :

- l'étude des caractéristiques de l'agitation (hauteurs, périodes, directions), et des fluctuations du niveau du plan d'eau au moyen d'un courantomètre électromagnétique, muni d'un capteur de pression de type S4DW (InterOcean systems, inc.).
- la caractérisation des échanges sédimentaires entre l'estran sableux et le cordon de galets, lors d'événements hydro-météorologiques de forte intensité, au moyen d'injections de traceurs fluorescents en parallèle de la mesure des conditions hydrodynamiques.
- la quantification de l'évolution morphologique de la plage. Un levé topographique du profil de plage a été réalisé à chaque intervention sur le site.

La plage de Sainte-Marguerite-sur-Mer (Seine-Maritime), a été retenue comme site test. Elle se caractérise par la présence, sur sa partie supérieure, d'un cordon de galets qui s'étend sur une largeur de 60 mètres environ à partir de l'ouvrage longitudinal de protection qui borde la plage (sommet non atteint par les houles), et d'un estran sableux de près de 300 m à son pied.

Synthèse sur les mesures réalisées

Les transports solides (entre septembre 2003 et mars 2004) ont été décomposés en deux composantes, l'une perpendiculaire à la direction du trait de côte et l'autre parallèle à cette direction (Tableau 1). La composante cross-shore est positive pour les transports sédimentaires dirigés vers la haute plage, tandis qu'une composante longshore positive correspond à un déplacement des sédiments vers l'Est-Nord-Est.

- Pour 8 des 9 points de traceurs pour lesquels l'évaluation des transports sédimentaires a été possible, la composante cross-shore du déplacement des sables est dirigée vers la partie supérieure de l'estran et le cordon de galets. Le seul cas pour lequel le transport solide est dirigé vers la basse plage correspond à l'injection TF10 (tableau 1). Cependant, en raison des conditions d'agitation, le taux de récupération du traceur pour cette expérience n'était que de 2 %. Par conséquent, les caractéristiques du transport évaluées sur ces bases sont vraisemblablement peu représentatives du débit solide réel.

- La direction des transports parallèles au trait de côte est directement liée au secteur de provenance de l'agitation. La composante longitudinale est positive (transports dirigés vers l'Est-Nord-Est) en présence d'une agitation de secteur Ouest à Nord-Nord-Ouest (points TF4 et TF8).

- La composante longitudinale des transports sédimentaires est dominante pour des conditions d'agitation modérée et avec une asymétrie peu marquée (points TF11, TF12, TF13 et, dans une moindre mesure, points TF5 et TF6). La composante perpendiculaire au trait de côte devient dominante en période de forte agitation et induit des courants orbitaux cross-shore intenses et asymétriques (points TF8, TF10, TF4).

point	dates (coeff. marées)	D / Z ⁽¹⁾ (m) / (m)	intensité Q (kg/m.marée)	Qc ⁽²⁾ (kg/m.marée)	Ql ⁽³⁾ (kg/m.marée)	Rc ⁽⁴⁾ (-)	Rl ⁽⁵⁾ (-)
TF1	23-24 septembre 2003 (65/73)	86 / -0.67	56	54	-17	0.91	0.09

TF4	6-7 octobre 2003 (60/66)	81 / -0.52	113	107	38	0.89	0.11
TF5	24-25 novembre 2003 (104/105/104)	134 / -1.43	223	157	-159	0.49	0.51
TF6	24-25 novembre 2003 (104/105/104)	86 / -0.72	75	51	-56	0.45	0.55
TF8	12-13 janvier 2004 (70)	91 / -0.83	955	805	514	0.71	0.29
TF10	13 janvier 2004 (67)	92 / -0.82	620	-606	-128	0.96	0.04
TF11	23 février 2004 (95)	104 / -1.10	1 076	415	-992	0.15	0.85
TF12	23 février 2004 (95)	134 / -1.41	509	68	-504	0.02	0.98
TF13	24 mars 2004 (87)	122 / -1.26	341	113	-321	0.11	0.89

(¹) D : distance du point d'immersion par rapport au pied de digue, Z : cote relative ;
(²) Qc : composante du transport solide perpendiculaire au trait de côte, positive onshore ;
(³) Ql : composante du transport solide parallèle au trait de côte, positive vers l'Est-Nord-Est ;
(⁴) $Rc=(Qc/Q)^2$: contribution du transport perpendiculaire au trait de côte ;
(⁵) $RI=(Ql/Q)^2$: contribution du transport parallèle au trait de côte.

Tableau 1 : caractéristiques des transports sédimentaires entre le 23 septembre 2003 et le 24 mars 2004

Du point de vue de l'évolution morphologique, le cordon de galets se présente comme étant la partie du profil de plage la plus active. Les fluctuations du niveau observées ont atteint près de 1,4 mètres et dépassent 0,5 m sur une largeur de plus de 50 mètres. Les fluctuations du niveau de la plage sableuse, sont plus faibles, en général inférieures à 0,3 m. Elles s'amplifient cependant en direction de la basse plage pour atteindre 0,7 mètre à environ 200 mètres du pied de l'ouvrage longitudinal de protection témoignant d'une dynamique active des sédiments à cette cote altimétrique.

Entre mars 2003 et 2004, la partie inférieure du cordon de galets ainsi que la partie supérieure de la plage sableuse sont en phase d'engraissement (0,2 m au maximum). Par ailleurs, le cordon de galets s'est élevé plus rapidement (0,6 mètre). Un abaissement de la partie inférieure de la plage sableuse est observé entre les levés de mars 2003 et mars 2004. Il tend à s'amplifier en direction de la basse plage pour atteindre 0,3 m à environ 200 m du pied de la digue. Le cordon de galets a également subi une érosion sur cette période dans sa partie supérieure et sur une largeur de 15 mètres environ. L'abaissement de niveau atteint 0,8 m au maximum.

Les déplacements entre mars 2003 et mars 2004 de la limite inférieure du cordon de galets sont décrits sur la figure 2. Une migration de la limite inférieure du cordon de galets en direction de la basse plage peut être observée particulièrement entre septembre 2003 et mars 2004.

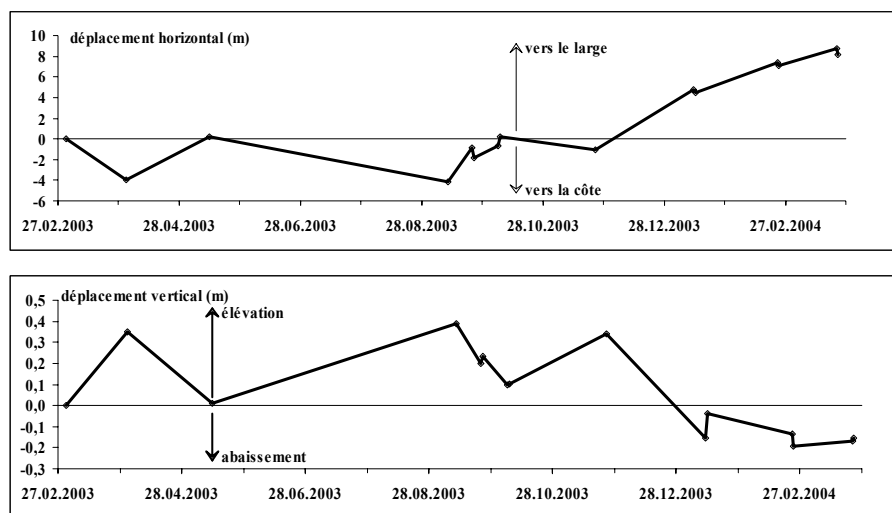


Figure 2 : Déplacement horizontal et vertical de la limite inférieure du cordon de galets entre mars 2003 et 2004

Conclusions

Les modifications morphologiques du cordon de galets sous l'effet du forçage météo-marin ont été mises en évidence, avec notamment, un déplacement horizontal de la limite inférieure du cordon de galets vers le large qui peut être mis en parallèle de l'abaissement du profil à ce niveau. Les mesures du transport sédimentaire ont également permis de montrer un déplacement du sable de la basse plage vers le cordon de galets lorsque l'agitation est suffisante, et du cordon vers le bas de plage en période de forte houle (esquilles de silex retrouvées en bas d'estran). L'importance des mouvements sédimentaires sableux a donc été démontrée. Cependant, il reste

à confirmer les modalités de ces échanges d'un domaine à l'autre (de l'estran sableux au cordon de galets) qui peuvent influencer le volume, et l'aspect dissipatif ou réfléchissant des plages graveleuses. Ce travail est fondamental puisque dans le cadre d'une politique de rechargement de plage, il pourrait justifier le choix de matériaux tout-venant moins onéreux.

BIBLIOGRAPHIE

- Carter, R.W.G.** 1988. *Coastal Environments*. Academic Press, London.
- Carter, R.W.G., Johnston, T.W. and Orford, J.D.**, 1984. Stream outlets through mixed sand and gravel coastal barriers : exemples from southeast Ireland. *Zeitschrift für Geomorphologie, NF*, **28** : 427-442.
- Carter, R.W.G., and Orford, J.D.**, 1984. Coarse clastic barrier beaches : a discussion of the distinctive dynamic and morphosedimentary characteristics. *Marine Geology*, **60** : 377-389.
- Carter, R.W.G. and Orford, J.D.**, 1993. The morphodynamics of coarse clastic beaches and barriers : a short- and long-term perspective. *Journal of Coastal Research*, **15** : 158-179.
- Costa S.**, 1997. *Dynamique littorale et risques naturels : L'impact des aménagements, des variations du niveau marin et des modifications climatiques entre la Baie de Seine et la Baie de Somme*. Thèse de doctorat, Université de Paris I, 376 p.
- Costa S.**, 1999. Sédimentologie des plages de galets des côtes françaises de la Manche : application à la défense contre la mer. *Revue de géographie de Lyon*. Vol. 74 1/99, pp. 35-43.
- Costa S. Delahaye D.**, 2002. « Beach Erosion of the Rives Manche. (Pérennité des plages de galets de l'Espace Rives-Manche-BERM) »; Programme Européen de Recherche Interreg II. Rapport Final. DIREN Haute-Normandie. 90 p.
- Dolique F.** 1998 - Dynamique morpho-sédimentaire et aménagements induits au sud de la Baie de Somme. *Thèse de doctorat*, Université du Littoral, Dunkerque, 417 p.
- Jennings R., Shulmeister J.** 2002. A field based classification scheme for gravel beaches. *Marine Geology*, **186** : 211-228.
- Kirk, R.M.** 1980. Mixed sand and gravel beaches : morphology, process and sediments. *Progress in Physical Geography*, **4** : 189-210.
- L.C.H.F.** 1974. Protection de la côte des Bas-Champs. Rapport général, 43 p.
- Morel V.** 1997. *De la géomorphologie à la gestion des accumulations de galets littoraux du bassin de la Manche et de ses abords : études de cas (Bretagne, Haute-Normandie, Picardie, Sud Angleterre) et réflexions générales*. Thèse de Géographie, Université de Brest, 286 p. + annexes.
- Orford, J.D., Carter, R.W.G., Jennings, S.C.**, 1991. Coarse clastic barrier environments : evolution and implications for Quaternary sea level interpretations. *Quaternary International*, **9** : 87-104.
- Orford, J.D., Jennings, S.C., Forbes, D.L.**, 2001. Origin, development, reworking and breakdown of gravel-dominated coastal barriers in Atlantic Canada : future scenarios for the British coast. In : J.R. Packham (Editor), *British Shingles*. Otley, Westbury, pp. 23-55.
- Orford J.D. Forbes D.L., Jennings S.C.** 2002. Organisational controls, typologies and time scale of paraglacial gravel-dominated coastal systems. *Geomorphology*, **48** : 51-85.
- Short, A.D.** (Editor), 1999a. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley & Sons, Chichester, 379 pp.
- Shulmeister, J., Kirk, R.M.**, 1993. Evolution of a mixed sand and gravel barrier system in north Canterbury, New Zealand, during Holocene sea-level rise and still-stand. *Sedimentary Geology*, **87** : 215-235

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE SUR LA POROSITÉ DES PLAGES DE GALETS DE HAUTE-NORMANDIE *FIRST STUDY ABOUT THE PEBBLE BEACH POROSITY OF THE HAUTE-NORMANDY COAST*

Emmanuel de Saint Léger¹, Stéphane Costa², Franck Levoy¹, Olivier Monfort¹, Daniel Delahaye²

1 Université de Caen Basse-Normandie ; Gresarc, Laboratoire CNRS M2C, Esplanade de la Paix, 14032 Caen Cedex. levoy@geos.unicaen.fr

2 Université de Caen Basse-Normandie ; UMR-CNRS 6554 LETG ; Laboratoire Géophen. Esplanade de la Paix, BP 51 86 ; 14032 Caen Cedex. stephane.costa@geo.unicaen.fr

INTRODUCTION

Le programme INTERREG III englobe une thématique liée à la **détermination de la relation de causes à effets entre le forçage météo-marin et l'évolution morpho-sédimentaire des plages**. Elle repose sur la caractérisation des agents hydrodynamiques (agitation, niveaux du plan d'eau, ...), des échanges sédimentaires et l'évolution du profil de plage qui en découle.

C'est dans ce cadre que se situe l'intervention du GRESARC qui a pour objectif la **mesure de la perméabilité du cordon de galets**. La finalité est de préciser l'influence des caractéristiques granulométriques de surface et subsurface des cordons de galets sur l'évolution du profil de la plage dans des conditions variées. L'étude de la perméabilité doit être intégrée comme un facteur déterminant de la dissipation l'agitation sur les plages de galets modulant donc les dépôts sédimentaires.

La plage de Sainte-Marguerite-sur-Mer (Seine-Maritime) a été retenue comme site expérimental. Elle se caractérise par la présence, sur sa partie supérieure, d'un **cordons de galets** qui s'étend sur une largeur de 60 mètres environ à partir de l'ouvrage longitudinal de protection qui borde la plage.

Face aux contraintes importantes liées aux caractéristiques physiques du site (présence d'une couche parfois très épaisse de galets sur la haute plage), le dispositif expérimental a été développé pour des **essais en laboratoire**. Ce choix technique implique une démarche différente de l'expérimentation de terrain et présente certains inconvénients qui sont discutés au cours de l'étude.

PROTOCOLE DE MESURES

L'échantillon est placé dans un perméamètre dimensionné et construit spécifiquement pour ces essais. Il est ensuite mis en charge et l'expérience consiste à mesurer le **volume d'eau qui traverse l'échantillon placé dans l'éprouvette en fonction du temps** (*i.e.* le débit Q).



Photographie 1 : stratigraphie des sédiments de la haute plage reconstituée à l'intérieur du perméamètre

Le coefficient de perméabilité K peut être calculé grâce à l'équation : $K = \frac{QL}{Sh}$ tirée de la **loi de Darcy** (Darcy, 1856), où h est le gradient hydraulique, L la hauteur de l'échantillon et S la section du cylindre contenant cet échantillon.

RÉSULTATS DES EXPÉRIMENTATIONS

En dehors des premiers essais de calibrage du matériel, **33 tests** ont été effectués avec des configurations différentes afin de déterminer la **perméabilité des différentes stratigraphies observées in situ**. Les sédiments utilisés pour les tests de perméabilité ont été prélevés sur la haute plage de Sainte-Marguerite lors des déplacements sur le site.

Composit° échantillon	Charge h (cm)	K
15 cm de sédiment à matrice sableuse	88,5	0,0424
		0,0401
		0,0422
		0,0527
		0,0490
		0,0481
		0,0436
	0,0427	
	60	0,0425
21 cm de sédiment à matrice sableuse	88,5	0,0388
		0,0280
		0,0278
		0,0304
		0,0239
	0,0220	
	60	0,0223
25 cm de sédiment à matrice sableuse	88,5	0,0210
		0,0540
		0,0514
		60
	60	0,0406

Des échantillonnages réguliers ont permis de mettre en évidence la présence systématique de trois populations distinctes :

- des **galets**, petits à grossiers ($D_{50} \sim 54$ mm) ;
- des **écailles de silex** de la taille de graviers ou de sables grossiers ($D_{50} \sim 1,5$ mm) ;
- et un sédiment hétérogène à **matrice sablo-graveleuse** ($D_{50} \sim 1,1$ mm).

Les résultats obtenus au cours des mesures (tableaux 1 et 2) ont permis de définir un intervalle de valeur pour le coefficient de perméabilité de la matrice à dominante sableuse du cordon de galets.

tableaux 1 et 2 : résultats des tests de perméabilité réalisés sur les échantillons prélevés à Sainte-Marguerite

Composit° échantillon	Charge h (cm)	K	
30 cm de sédiment à matrice sableuse	88,5	0,0368	
		0,0355	
		60	0,0354
10 cm de graviers sur 15 cm de sédiment à matrice sableuse	88,5	0,0332	
		0,0767	
		0,0774	
		60	0,0840
10 cm de galets sur 10 cm de graviers sur 15 cm de sédiment à matrice sableuse	88,5	0,0866	
		0,1118	
		0,1108	
		60	0,1160
		60	0,1191

Les mesures du coefficient de perméabilité K , réalisées sur plusieurs jours mais avec le même échantillon, donnent des résultats compris entre $2,1 \cdot 10^{-2}$ et $5,4 \cdot 10^{-2}$. **La perméabilité k du sédiment à matrice sableuse peut donc être estimée entre $2,4 \cdot 10^{-9}$ et $6,5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$.**

Les mesures réalisées sur l'échantillon issu du stock sablo-graveleux avec une charge constante moins élevée (60 cm) ont toujours conduit à un coefficient de perméabilité inférieur à celui calculé pour une charge de 88,5 cm. A l'inverse, lorsque cette matrice est recouverte de sédiments plus grossiers, le coefficient de perméabilité augmente pour une charge plus faible.

Une plus grande homogénéité des résultats est constatée pour des essais successifs très rapprochés dans le temps sur un même échantillon (même nature et même épaisseur) et pour une charge identique.

L'augmentation de perméabilité due aux sédiments grossiers est particulièrement significative. Les tests réalisés sur les trois couches superposées donnent des résultats qui évoluent proportionnellement à l'épaisseur

totale des sédiments dans le tube car l'influence des sédiments grossiers sur les débits est faible (la perméabilité est d'autant plus grande que les couches de sédiments grossiers sont épaisses).

Des tests de perméabilité sur les sédiments grossiers uniquement (écailles de silex- graviers et galets) ont également été réalisés. Il a été impossible d'obtenir des débits suffisants pour saturer ces matériaux en eau dans le perméamètre utilisé. Pour les galets notamment, la perméabilité est nettement supérieure à celle de l'échantillon à matrice sableuse et le débit entrant lors de la mesure doit donc augmenter proportionnellement.

INTERPRÉTATION

Les principales différences entre la perméabilité des sédiments in situ et celle qui peut être mesurée en laboratoire concernent la **compaction** et l'**arrangement des grains**, la **teneur en eau** des sédiments, la **pente de la surface expérimentale** et l'**épaisseur des sédiments concernés par l'infiltration** notamment. Tous ces facteurs influencent la perméabilité de surface de la haute plage. Ils sont difficiles à reproduire en laboratoire et seule une expérimentation de terrain serait susceptible d'intégrer l'ensemble de ces paramètres dans des conditions satisfaisantes. Toutefois, le protocole mis en place permet d'obtenir des **valeurs comparables entre elles** et donc d'évaluer la **perméabilité relative de la haute plage significative**.

Au cours des tests une variabilité de la perméabilité d'un même échantillon a été mise en évidence. Par exemple, pour un même échantillon de matrice sablo-graveleuse de 15 cm d'épaisseur, le coefficient de perméabilité peut varier entre 0,527 et 0,388. Les écarts entre les mesures peuvent être notamment liés à :

- **une différence de l'arrangement du sédiment** qui modifie la porosité efficace ;
- **l'utilisation de la loi de Darcy** qui est à priori mal adaptée puisqu'elle s'applique en théorie à des milieux homogènes avec un écoulement laminaire ;
- **une teneur en eau** différente de l'échantillon entre deux mesures;
- **l'erreur humaine** dans la mesure ;
- **la variation d'épaisseur du sédiment** à l'intérieur du cylindre.

CONCLUSIONS

Les tests de perméabilité réalisés en laboratoire ont nécessité plusieurs aménagements afin d'**adapter le matériel et les techniques de mesures aux sédiments** présents sur la haute-plage de Sainte-Marguerite. Les outils développés et le protocole mis en place ont permis de réaliser des mesures de la "**perméabilité de surface**" pour différentes stratigraphies du cordon de galets reproduites **en laboratoire**. Toutefois, de nombreux paramètres ne peuvent pas être pris en compte lors d'une telle reconstitution et les résultats obtenus ne doivent pas être considérés comme strictement représentatifs des valeurs qui pourraient être mesurées in situ. **L'évaluation de la perméabilité** des matériaux étudiés reste donc **qualitative et relative**. A l'avenir, de nouveaux tests pourraient être réalisés afin de comprendre les phénomènes qui influencent la variabilité des résultats obtenus jusqu'ici. L'impact de la compaction, de la teneur en eau, de la pression (charge variable)... pourrait ainsi être étudié afin de **favoriser une meilleure répétitivité des mesures et d'augmenter la précision des tests** de perméabilité. Des tests plus complets en **canal à houle** peuvent être envisagés mais, à terme, l'étude de la perméabilité de la haute-plage devrait s'orienter vers un **dispositif expérimental de terrain** afin de prendre en compte l'ensemble des phénomènes qui déterminent l'infiltration du jet de rive.

**LA PROGRESSION DES CROCHETS DE GALETS
AU NORD DE CAYEUX-SUR-MER (SOMME, FRANCE)**

***THE PEBBLE SPITS PROGRESS IN THE NORTH
OF CAYEUX-SUR-MER (SOMME, FRANCE)***

Julia Bastide¹, Franck Dolique², Edward Anthony¹,

1- Université du Littoral Côte d'Opale, Laboratoire GéoDal EA 35 99, 189a Avenue Robert Schuman 59 140 Dunkerque, bastidestide@aol.com

2- Université Reims Champagne Ardenne, chercheur associé au GéoDal, 189a Avenue Robert Schuman 59 140 Dunkerque, franck.dolique@univ-reims.fr

Abstract

The coast of “Bas-champs de Cayeux” (Picardy, France), is composed of pebble spits, variable heights (3 to 12 meters), located in top of a sandy broad beach. This very mobile sedimentary system present successive accumulations of morphologies, made up of pebbles-sands sedimentary mixtures whose interactions remain insufficiently described. The Cayeux spit forms a coastal barrier with lagunar formations behind, in a final zone of pebble drift. This spit undergoes a constant erosion of its proximal part following breaks of the natural transit (harbour piers, cross-shore structures) and taking away of the resource to meet industrial needs. The potential transit, estimated between 20.000 and 30.000 m³/year is now about 2000 m³. Replenishments, carried out starting from external stocks or coming from the distal section still in actual accumulation, allow to limit this retreat phenomenon by rigidification. Within the framework of the “Beach At Risk” program, it seems interesting to characterize and quantify the pebbles displacements rates, in particular from regular replenishment zones, in order to be able to optimize the replenishment policies.

Key words: gravel barrier spit, sediment dynamics, Picardy, France.

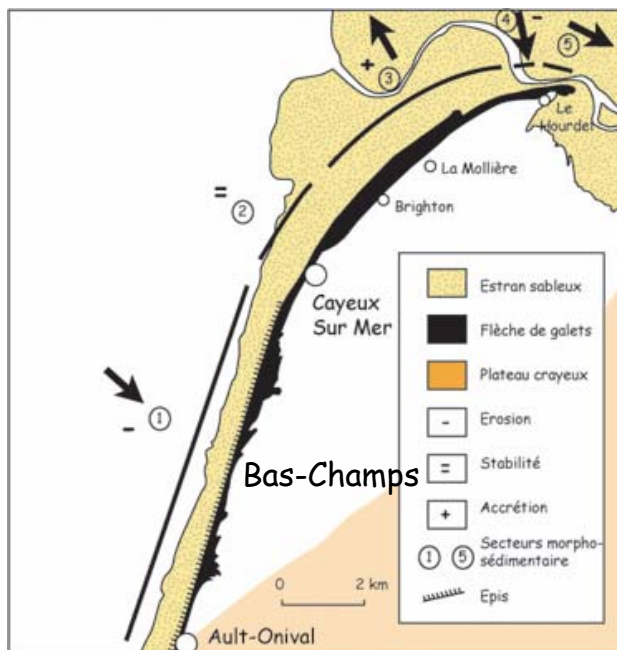
Le littoral des Bas-Champs de Cayeux (Picardie, France), est composé de cordons de galets, de hauteurs variables (3 à 12 mètres), situés en sommet d'un estran large essentiellement sableux. Ce système sédimentaire très mobile présente des morphologies d'accumulations successives composées de mélanges sédimentaires galets-sables dont les interactions restent insuffisamment décrites. La flèche à pointe libre de Cayeux forme une barrière littorale avec une formation lagunaire ou ancienne lagune en arrière, dans une zone terminale de dérive des galets. Ce cordon subit une érosion constante de sa partie proximale suite à des ruptures du transit naturel (jetées portuaires, épis) et des prélèvements de la ressource pour répondre à des besoins industriels. Le transit potentiel, estimé entre 20 000 et 30 000 m³ par an par des travaux antérieurs est maintenant de l'ordre de 2 000 m³. Des rechargements, réalisés à partir de stocks externes ou en provenance de la section distale encore en cours d'accumulation, permettent de limiter ce phénomène de recul en ré-engraissant la plage et en la rigidifiant.

Dans le cadre du programme BAR, il semble intéressant de caractériser et quantifier les rythmes de déplacement des galets, notamment à partir de suivis réguliers effectués sur des sections encore libres, afin de pouvoir optimiser par la suite les politiques de rechargement.

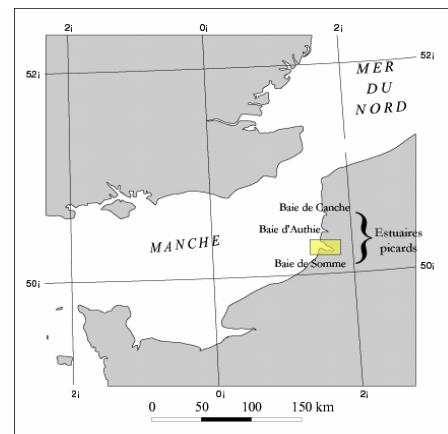
L'aménagement déjà ancien des Bas-Champs picard a suscité de nombreux travaux de recherches, de documents écrits et cartographiques qui tendent à définir les évolutions morphosédimentaires générales des cordons de galets du littoral picard au cours du XX^{ème} siècle. Ces données, couplées à plusieurs séries de photographies aériennes de l'IGN datant de 1947 à 2002, mettent en évidence la progression des cordons de galets en rive sud de la Baie de Somme. A une échelle temporelle plus courte, notre travail de terrain s'appuie sur des relevés topographiques, des analyses granulométriques, des mesures de courants et de houle

acquis à l'aide de courantomètres électromagnétiques S4 à capteurs de pression. Les profils topographiques sont essentiellement réalisés sur les secteurs de rechargements en galets et au niveau de la flèche à pointe libre. Ceux-ci sont réalisés à l'aide d'une station électronique totale de type Leica T307. Des MNT (Modèle Numérique de Terrain) sont régulièrement établis sur les derniers crochets de la pointe libre afin de mettre en évidence les volumes de galets en transit.

Depuis le mois de décembre 2004, en collaboration avec l'Université de Sussex (Angleterre), Monsieur Uwe Dornbusch et le GéoDal organisent des travaux de recherches communs qui tendent à mettre en évidence les capacités de la houle à transporter les galets sur les plages de Cayeux (soumises à un risque fort de submersion) par l'intermédiaire de suivis de traçages et estimations de la profondeur de remaniement.



Localisation des secteurs de recherches



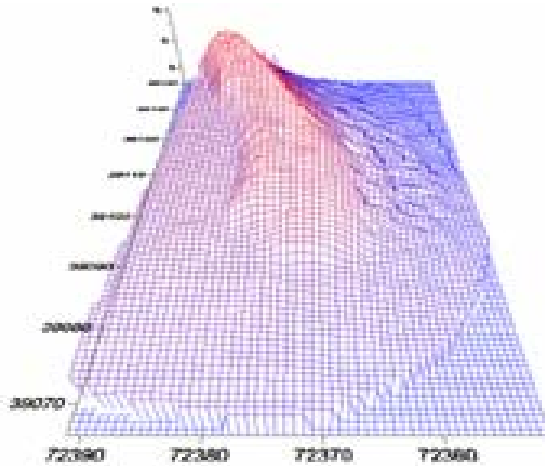
Les apports naturels, pour compenser le stockage des galets dans les casiers, restent insuffisants et la sécurité de Cayeux dépend des rechargements effectués ponctuellement sur le site en érosion. Ces rechargements sont extraits sur le cordon vif, dans une zone en accumulation. Aujourd'hui ceux-ci sont estimés à plus de 30 000 m³/an par les industriels, aux dépens de la progression de la flèche libre. Ces quantités sont proportionnelles à l'évolution des modèles numériques de terrain.

Entre juillet et décembre 2003, le site d'extraction a été fortement utilisé afin de se prévenir des submersions à Cayeux. Durant cette période, les épisodes de tempêtes ont été très faibles (sauf le 25/12/04), ainsi la migration des galets n'a pas pu se mettre en place dans des conditions de transit modal.

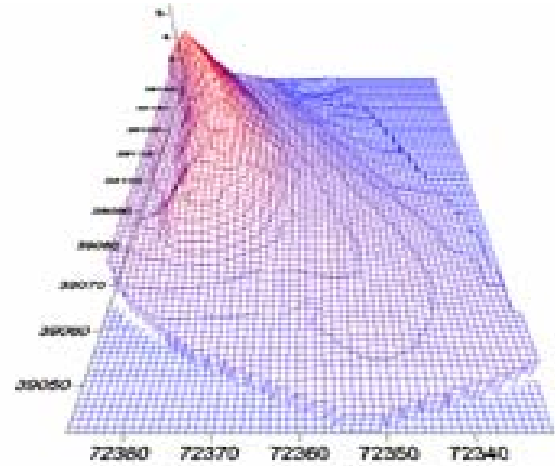
Le cordon de galets n'a pratiquement pas progressé et nous avons essentiellement observé un exhaussement de la plate forme sableuse et un remaniement des galets du dernier crochet. Dès 2004, les conditions de tempêtes ont été plus importantes et répétitives. Elles ont favorisé la migration des galets, issus des rechargements mais aussi celle du transit naturel, vers la flèche à pointe libre. C'est pourquoi nous observons la formation de plusieurs crochets successifs, correspondant aux impulsions du forçage météo combinés aux courants. Entre juillet et décembre 2004, nous avons eu la formation de deux crochets issus de phénomènes tempétueux de cet été et de cet hiver. La conjonction de facteurs naturels et artificiels (rechargement) contribue à la progression des crochets, en direction du port du Hourdel.

Depuis le mois de juillet 2004 et jusque décembre, plus de 1 500 m³ ont été redistribués en galets et sable sur ce secteur.

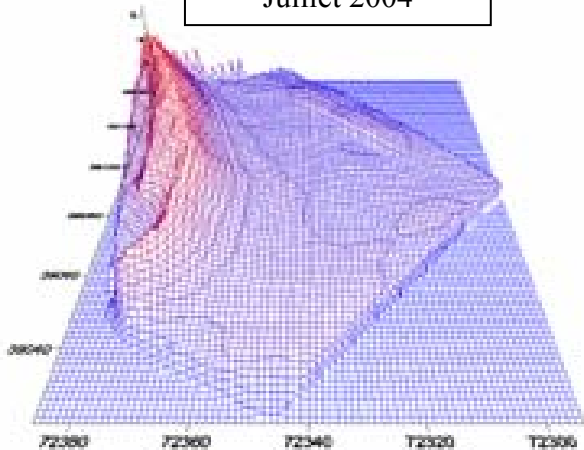
Juillet 2003



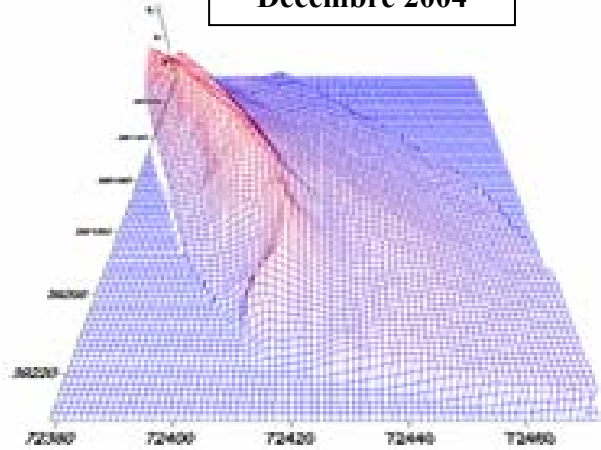
Décembre 2003



Juillet 2004



Décembre 2004



des superficies gagnées et des hauteurs des dépôts déduites des levés topographiques, les volumes des dépôts ont été évalués à plus de 2,8 millions de m³ entre 1939 et 1996. Actuellement, et d'après les travaux de recherches en lien avec le programme BAR, la progression de l'extrémité du cordon mobilise des apports de plus de 16 000 m³/an. Cependant, un recul au droit des zones de prélèvements de la Mollière est à noter. L'extrémité de la flèche continue à progresser.

Les expériences du mois de décembre 2004 avec traceurs en galets de résine à cœur métallique à Cayeux ont montré que les transports :

- n'étaient pas continus dans le temps, mais se faisait essentiellement quand la hauteur des vagues atteignant le cordon était supérieure à 1 m,
- s'effectuaient dans sa partie supérieure du cordon (50 %) dans une couche mobile de remaniement de 0,20 à 0,80 m d'épaisseur.

Le bilan sédimentaire de la flèche de galets est actuellement équilibré grâce à des rechargements réguliers en galets. Cet équilibre reste néanmoins fragile puisqu'il dépend aussi des conditions naturelles. A l'avenir, pour maintenir la progression des crochets, il faut

optimiser la politique de laisser faire la nature en limitant les extractions de granulats. Maintenir les volumes, s'est apporé plus de 10 000 m³/an au lieu des 3 000 m³/an actuel.

Bibliographie

- BEAUCHESNE, P., COURTOIS, G., 1967. Etude du mouvement des galets le long de la Côte des Bas-Champs de la Somme, utilisation de traceurs radioactifs. *Cahiers Océanographiques*, 19, 613-625.
- BRIQUET, A., 1930. *Le littoral du nord de la France et son évolution géomorphologique*. Armand Colin, Paris 438 p. + 41 p. annexe.
- CARTER, R.W.G., ORFORD, J.D., 1993. The morphodynamics of coarse elastic beaches and barriers: a short – and long-term perspective. *Journal of Coastal Research*, Special Issue, 15, 158-179.
- DALLERY, A., 1955. *Les rivages de la Somme, autrefois, aujourd'hui, demain*. Mémoire de la société d'émulation historique et littéraire d'Abbeville tome 9, éd A et J Picard, Paris. 307p.
- DOLIQUE, F., 1998. *Dynamique morphosédimentaire et aménagements induits du littoral Picard au Sud de la baie de Somme*. Thèse, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, France, 417 p.
- DOLIQUE, F., 1998. Conflits d'usage et gestion d'un littoral anthropisé : les Bas-Champs de Cayeux (Somme). *Larus*, 7, 23-26.
- DOLIQUE, F., ANTHONY, E.J., 1998. The gravel barrier of Cayeux-sur-Mer, Picardy, France : a summary of recent morphosedimentary changes. *Journal de Recherche Océanographique*, 23, 157- 162/
- DOLIQUE, F., ANTHONY, E.J., 1999. influence à moyen terme (10-100 ans) d'un estran sableux macrotidal sur la stabilité d'un cordon de galets : la flèche de cayeux (Picardie, France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, 23-38 p.
- ORFORD, J.D., CARTER, R.W.G., 1995. Identification of mesoscale forcing of a coastal gravel-dominated barrier. *Marine Geology*, 126, 201-212.
- ORFORD, J.D., CARTER, R.W.G., JENNINGS, S.C., 1996. Control domains and morphological phases in gravel-dominated coastal barrier of Nova Scotia. *Journal of Coastal Research*, 12, 589-604.
- REGRAIN, R., 1970. *Le littoral des Bas-Champs, au Sud de la Somme*. CRDP, Amiens, 27p.
- SOGREAH, 1995. Littoral des Bas-Champs : avant projet sommaire de la solution retenue. Rapport, Direction Départementale de L'Equipement de la Somme, Abbeville, France, 65 p.
- SOGREAH, 1995. *Etude sédimentologique de la Baie de Somme. Synthèse des données naturelles*. Rapport, Direction Départementale de L'Equipement de la Somme, Abbeville, France, 65 p.
- SOGREAH, 1997. *Conclusions de l'expérimentation sur le modèle réduit de l'ensablement de la Baie de Somme*. Prévisions à moyen terme et propositions d'aménagement. Rapport, Direction Départementale de L'Equipement de la Somme, Abbeville, France, 129 p.

SEDIMENTARY COMPOSITION OF BEACHES AND SHORT TERM SURFACE SEDIMENT CHANGES.

COMPOSITION SÉDIMENTAIRE DES PLAGES ET CHANGEMENTS DE SURFACE À COURT TERME

Uwe. Dornbusch & Tamsin. Watt, J. Curoy, D. A. Robinson, C. Moses, R.B.G Williams

Department of Geography, University of Sussex, Brighton BN1 9QJ, UK; u.dornbusch@sussex.ac.uk,
tew21@sussex.ac.uk

Résumé

L'échantillonnage du sédiment et l'analyse de la taille des grains ont été effectués dans la région BAR d'une manière de vue d'ensemble aussi bien que sur des plages différentes en détail minutieux. L'échantillonnage détaillé a consisté de prendre des échantillons de matériaux de plage aux profondeurs différents dans la plage afin de fournir un aperçu détaillé des matériaux qui, par moyen d'un processus de tri, forment les matériaux visible en surface. Des relevés de la composition de la taille de matériel de plage ont été effectués en même temps que les relevés topographiques. Un système de code pour les sédiments de plage montre des changements significatifs entre relevés non seulement en topographie de plage mais aussi de matériel en surface. Les deux sont liés aux conditions des vagues et il est probable qu'ils s'influencent.

Summary

Sediment sampling and grain size analysis has been performed covering both the BAR area in overview and individual beaches in great detail. The detailed sampling involved sampling beach material from different depths in the beach to provide a detailed insight into the materials from which sorting processes shape the visible surface material.

Surveys of beach material size composition are carried out in combination with topographic surveys. Using a coding system for the beach sediment comparison between surveys show significant changes not only in beach topography but also in surface material. Both are linked to wave conditions and are likely to influence each other.

One factor that influences beach behaviour in response to waves and tides is the sediment composition. While the top layer interacts directly with the waves, influencing friction between beach and wave and thus energy dissipation, the beach core influences the permeability and water level of the beach. Therefore BAR needs to investigate:

- how beaches are composed with depth
- how beach composition varies within the BAR area
- how surface sediment cover changes in response to waves and tides

The beach at Pevensey Bay has been excavated on three occasions at different sites (fig 1). It was found that D_{50} and fines content (material $<2\text{mm}$) vary significantly in layers down the beach and that these layers have some lateral stability. D_{50} variations range from 3 to 32mm and sand content varies between 12 and 40%. However, the surface layer quite often does not contain any sand and is therefore not representative of the beach at depth. One peculiarity was found on sites with recharge material, where laterally consistent sand layers of 20-30cm thickness were found at up to 2m below the surface. These are artefacts from the recharge process during which a sandy fringe layer develops when the material is pumped on shore. This layer is later buried during re-profiling.

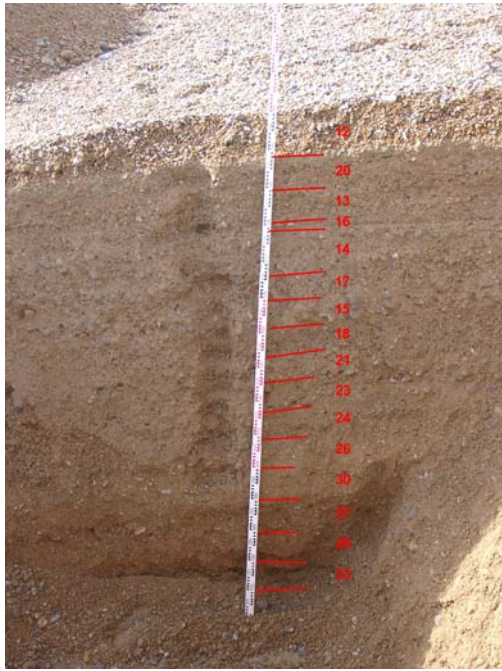


Fig 1: 3m section through beach at Pevensey showing sampling locations

Following these findings, a method for sampling the bulk sediment properties of beaches was developed that involved only probing the beach subsurface rather than collecting material from the surface or carrying out large scale excavations. 105 samples have been collected from 39 transects in East Sussex and Kent. The grain size measurement have provided comparable data covering a large area (fig 2), however, wave conditions prior to the sampling seem to have created special conditions that make have produced significantly smaller values for the D_{50} compared to more detailed investigations. Grains size was larger in beaches under cliffs than in shingle ridges. Together with the grain sizes, shingle colour was recorded in relation to grain size to gather information about the sources of the beach material showing a relationship between size and colour. Again, beaches under cliffs had a higher percentage of grey than brown / pale flints indicating relatively recent contribution from cliff falls.

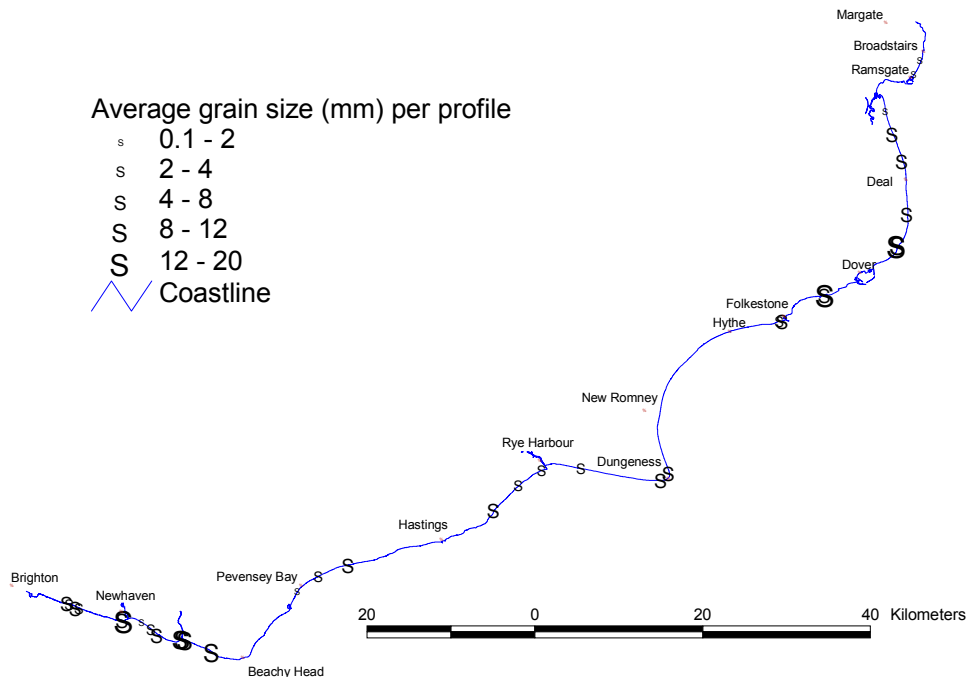


Fig 2: Change in grain size (D_{50}) for beaches in East Sussex and Kent surveyed in August 2004.

Beach profile surveys are used in combination with surface surveys of material size composition, developed to observe cross-shore sediment sorting, and movement of beach material in response to specific wave conditions. Repeat surveys are used to calculate surface and volume changes between surveys and to build surface maps that demonstrate sediment

sorting. Unique values are applied to different material sizes and as such the changes occurring in sediment movement across the beach face can be traced. This research allows for a greater understanding of the response of mixed shingle beaches and the processes involved in material transport, in particular the selective cross-shore transport that occurs due to size variations is demonstrated (fig 3).

No maintenance site 23rd to 24th June 2004

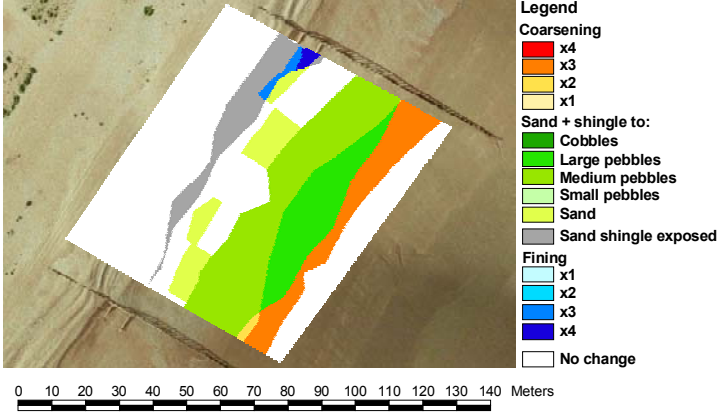


Fig. 3: Changes in surface sediment size between 23rd to the 24th June. Maximum offshore wave heights of 5.7m were recorded from the Pevensey wave buoy. The beach demonstrates a fining of material at the beach crest, with exposure of the sand/shingle matrix, and a coarsening of material across the foreshore. In general coarsening was caused by exposed sand and shingle being replaced (covered) with larger sized sediments.

Different patterns of surface material coverage can be related to particular wave conditions and topography. Storm conditions for example lead to a flattening of the beach and a more uniform cover of gravel on the beach surface.

CHANGING BEACH TOPOGRAPHY AND LONGSHORE TRANSPORT.

CHANGEMENT TOPOGRAPHIQUE DES PLAGES ET TRANSPORT LONGITUDINAL

Uwe Dornbusch & J. Curoy, T. Watt, C. Moses, R.B.G Williams, D. A. Robinson

Department of Geography, University of Sussex, Brighton BN1 9QJ, UK; u.dornbusch@sussex.ac.uk, jc77@sussex.ac.uk

Résumé

Des relevés topographiques détaillés des plages à galets permettent de modéliser des variations altimétriques à partir desquels un transport longshore peut être calculé. Celui-ci peut également être déterminé en mesurant le mouvement de galets artificiels servant de traceurs. Les volumes mensuels transportés, sous des conditions de houles modérées, atteignent 800 m^3 ; ceux-ci peuvent doubler sous des conditions de houles rigoureuses.

De nouvelles expériences utilisant des traceurs naturels ont été mises en places partir d'octobre 2004 afin de quantifier le transport longshore. La position des galets retrouvés à chaque relevé permet de déterminer un mouvement moyen. Ces résultats sont couplés aux informations de direction et de hauteur des houles au large de chaque site et pour le cas de Birling Gap, couplés également à des données topographiques.

Summary

Detailed monthly topographic surveys of shingle beaches make it possible to monitor changes in levels from which rates of longshore transport can be calculated. In addition, longshore transport can be calculated measuring the rate of movement of tracer pebbles. Monthly transport rates under moderate wave conditions reach up to 800 m^3 with transport under severe conditions about double this rate.

New experiments using natural tracers have been conducted in October 2004 in order to quantify longshore transport. Re-finding pebble location makes able to assess an average movement. These results are associated with wave's direction and high collected offshore near each sites. In Birling Gap case, topographic data are associated as well.

There exists great uncertainty about historic and present day rate of longshore transport movement along the BAR coast. Historic values can be obtained from map comparisons and aerial photography, but the time interval is too long to infer actual transport rates or the conditions under which they occurred. Formulas used to estimate longshore transport are poorly tested with field data and therefore are of limited use. The data collected by BAR will provide field data on longshore transport that can also be used to calibrate and improve present data longshore transport models.

From topographic maps it was calculated that between the 1870s and 1920s longshore transport between Brighton and Newhaven occurred at a rate of $\sim 5,000 \text{ m}^3$ years.

Topographic beach surveys using GPS and surface interpolation using ArcView allows to confidently identify level changes between surveys exceeding $\pm 5 \text{ cm}$ as true changes in surface elevation. In closed beach systems where material is only redistributed following changes in the wave approach, this method allows for the calculation of longshore transport rates. BAR carries out these surveys on beaches at Saltdean, Telscombe, Newhaven, Cuckmere Haven, Birling Gap and Pevensy.

Fig 1 shows the net volume change for 50m long sections on three beaches at Telscombe between October and November 2004. During that period high waves approached in an angle that lead to westward transport of material on all three sections of the beach. The maximum transport occurred in cell 7 through which 1700 m^3 were transported (1300 m^3 from cell 8 plus the loss of 400 m^3 from the cell itself). The difference in magnitude of transport between the three beaches is due to different amounts of beach material available for transport. The net annual transport is significantly less than the $5,000 \text{ m}^3$ mentioned above which might be due to

limited beach material ready for movement or in a more equal distribution of transport in both easterly and westerly directions.

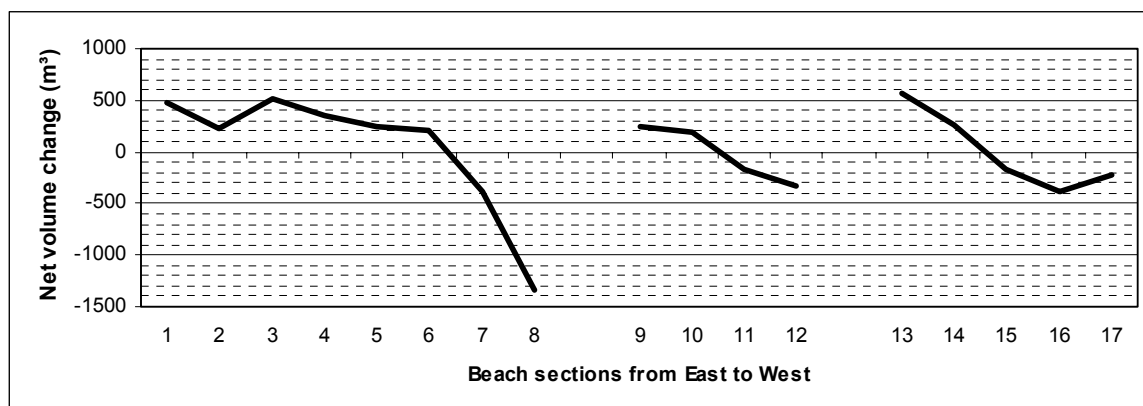


Fig 1: Net volume changes for 50m sections on three beaches at Telscombe between October and November 2004.

The longshore movement leads to patterns of higher and lower beach levels than average for the surveyed beaches which even after one year, show some seasonality but only further surveys will allow to determine these pattern with greater reliability.

While the beach surface change method works well in closed or on updrift restricted beaches, it is limited on open beaches where longshore transport occurs often without surface elevation change. On these beaches tracer experiments are the only method to gather field data on rates of longshore transport. Apart from tracer studies carried out using artificial resin tracers that can be recovered from below the surface, the following experiment is ongoing.

Résumé long

De nouvelles expériences visant à déterminer le transport longshore le long de la côte de Sussex et Kent ont été entreprises à partir d'octobre 2004. Trois sites clés ont été investis: Birling Gap (Sussex), St Margaret et Deal (Kent). Trois cents galets ont été déployés selon un transect cross-shore en bout de chacune des plages, supposant un transport générale longshore vers l'est pour la côte sud et vers le nord pour la côte nord-est. Ces expériences, plutôt que d'utiliser des galets artificiels, se sont tournées vers l'utilisation de galets naturels calcaires de granulométrie comprise entre 60 et 100 mm. Ces galets devraient se comporter et se déplacer de la même façon que les galets autochtones de même granulométrie, contrairement aux galets artificiels avec lesquels des calibrations sont nécessaires. Seul le site de Birling Gap, qui est une baie, couple des données topographiques avec la position des galets allochtones. Ces relevés topographiques s'effectuent avec une périodicité de quinze jours et la position des galets est recueillie mensuellement; échelle très vite réduite à la semaine en ce qui concerne le site de Birling Gap. Les données de houles (hauteur et direction) ont été recueillies et corrélées pour les périodes concernées. Les résultats recueillis à Birling Gap sont représentés sur la fig 2. Contrairement, au transport longshore attendu: vers l'est en corrélation avec les vents dominants, les premiers résultats obtenus entre le 07 octobre et le 22 novembre décrivent un mouvement résiduel vers l'ouest, allant de 0 à 190 m.

A la suite de ces observations, il a été décidé de marquer chacun des galets retrouvés afin de pouvoir les identifier de manière sûre à chaque relevé et ainsi d'observer le mouvement réel de chacun d'eux. Les résultats suivant cette période semblent décrire cette fois-ci un inversement du sens du transport (75 m du point d'injection vers l'est), en corrélation avec les données de vent général. En effet, entre le 22 novembre et le 6 décembre, les galets s'organisent selon deux gros panaches à l'est de la zone d'injection.

Birlinging Gap

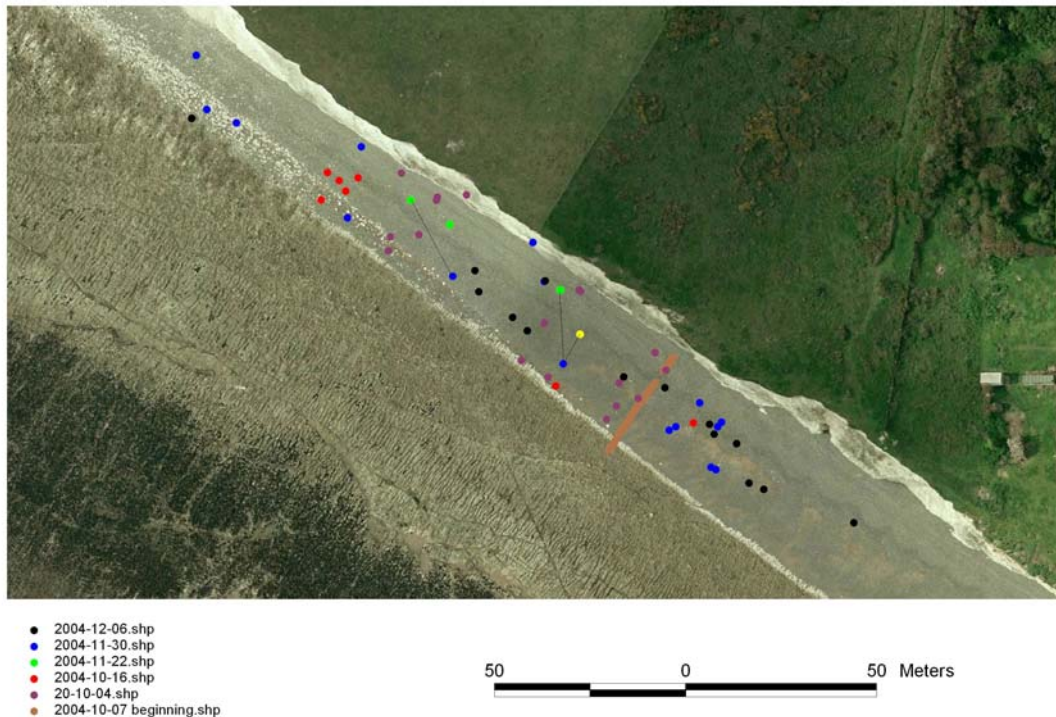


Fig 2: Location of deployment line of cobbles and location of find positions at different dates.

Les données d'orientation et hauteur des houles au cours de la période d'observation décrivent de larges variations. Les houles moyennes sont dirigées vers l'ouest (+75 à +115 degrés en moyenne par rapport à la côte) avec des hauteurs variant entre 0.5 à 3 m maximum. Certaines périodes plus courtes sont caractérisées par des orientations beaucoup plus amoindries voire même inverses. La période comprise entre le 08 et le 13 octobre présentait une orientation des houles de -20 degrés (dirigées vers l'est) avec des hauteurs de houles de 1.5 m en moyenne.

Ainsi, ces deux types de données sont complémentaires. Le transport vers l'ouest observé en début d'expérience s'explique tout simplement par la présence de houles dirigées dans la même direction jusqu'au 13 octobre. Les résultats suivant cette période correspondent également aux données de houles qui cette fois se dirigent vers l'est.

Le taux de retrouvaille des galets marqués, qui est encore récent, ne permet pas de confirmer de manière sûre le déplacement précis des galets, cependant il est assez facile de corréler une fois de plus les données collectées. Ainsi, les galets marqués retrouvés entre le 22 et 30 novembre se sont déplacés sur une vingtaine de mètres vers le bas de la plage en direction de l'est en condition de houles orientées à +115 degrés.

Les premiers résultats de cette expérience semblent tout à fait adapter à l'observation du transport longshore dans un environnement de baie. Il faut cependant utiliser des traceurs de même granulométrie que le matériel de la plage pour avoir des résultats interprétables.

**COMPLÉXITÉ DU COMPORTEMENT MORPHODYNAMIQUE D'UNE PLAGE À
BARRES INTERTIDALES SOUS DES CONDITIONS DE FORTE AGITATION :
(Plage de Dunkerque-est, France).
COMPLEXITY OF MORPHODYNAMIC BEHAVIOUR OF A MACROTIDAL BEACH
WITH BARRED INTERTIDAL UNDER STORM CONDITIONS :
(Plage of Dunkerque-est, France)**

Béatrice Reichmüth & Edward J. Anthony

Laboratoire GéoDAL EA 3599, Université du Littoral Côte d'Opale. MREI 2, 189a Avenue Maurice Schumann, 59 140 Dunkerque, France. anthony@univ-littoral.fr ; b.reichmuth@univ-littoral.fr

Abstract: The objective is to characterize the complexity of short-term morphodynamic behaviour of a macrotidal beach with barred intertidal topography from a field data that included several experimental measurements (Reichmüth, 2002). It emerges that the short-term morphological mobility of the bars shows a strong longshore and cross-shore complexity during very high energy conditions.

1. Introduction

La morphologie de la plage de Dunkerque-Est présente un estran de sables fins à moyens, large de 300 à 600 m où l'on observe une alternance de barres et de bâches parallèles ou sub-parallèles à la côte, caractéristique des plages avec un marnage macrotidal, un gradient de plage doux et un *fetch* assez court (King et Williams, 1949).

L'évolution de la morphologie de ces plages est conditionnée par la houle, les courants et les agents météorologiques (Sipka, 1998 ; Reichmüth et Anthony, 2002 ; Stépanian, 2002 ; Van Houwelingen et Masselink, 2002 ; Reichmüth 2003a et b). Cependant, cette évolution morphologique montre une certaine complexité face à des épisodes de fortes agitations. Afin de mieux comprendre ces mécanismes, une campagne de terrain a été réalisée en novembre 2001, durant laquelle des mesures de courantométrie (2 S4 ADW sur le bas et le milieu de plage) et de levés topographiques (trois modèles numériques de terrain réalisés en début, milieu et fin de campagne) ont été effectués dans une zone d'étude située en aval de la batterie de Leffrinckoucke (Fig. 1).

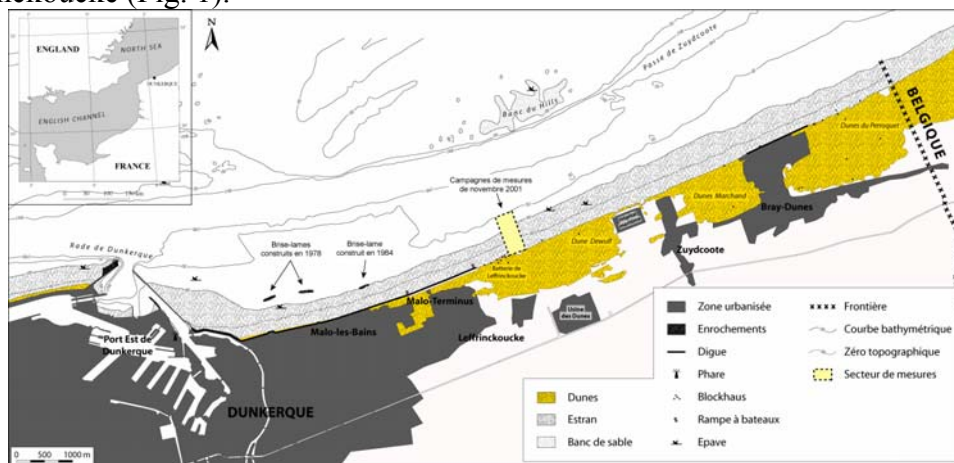


Figure 1 : Localisation du site expérimental

2. Résultats

2.1 Conditions météorologiques

La vitesse du vent varie entre 1 et 17 m.s⁻¹ (Fig. 2a et b), et 42 % des vitesses sont comprises entre 3 et 7 m.s⁻¹. Cependant, on peut observer deux coups de vent : (1) entre le 12 et le 15/11 avec des vitesses atteignant 17 m.s⁻¹ et une direction de NNE qui devient E ; (2) entre le 21 et le 23/11, avec des vitesses plus faibles atteignant 13 m.s⁻¹ avec une direction qui est au départ E et qui devient S au cours de ce coup de vent.

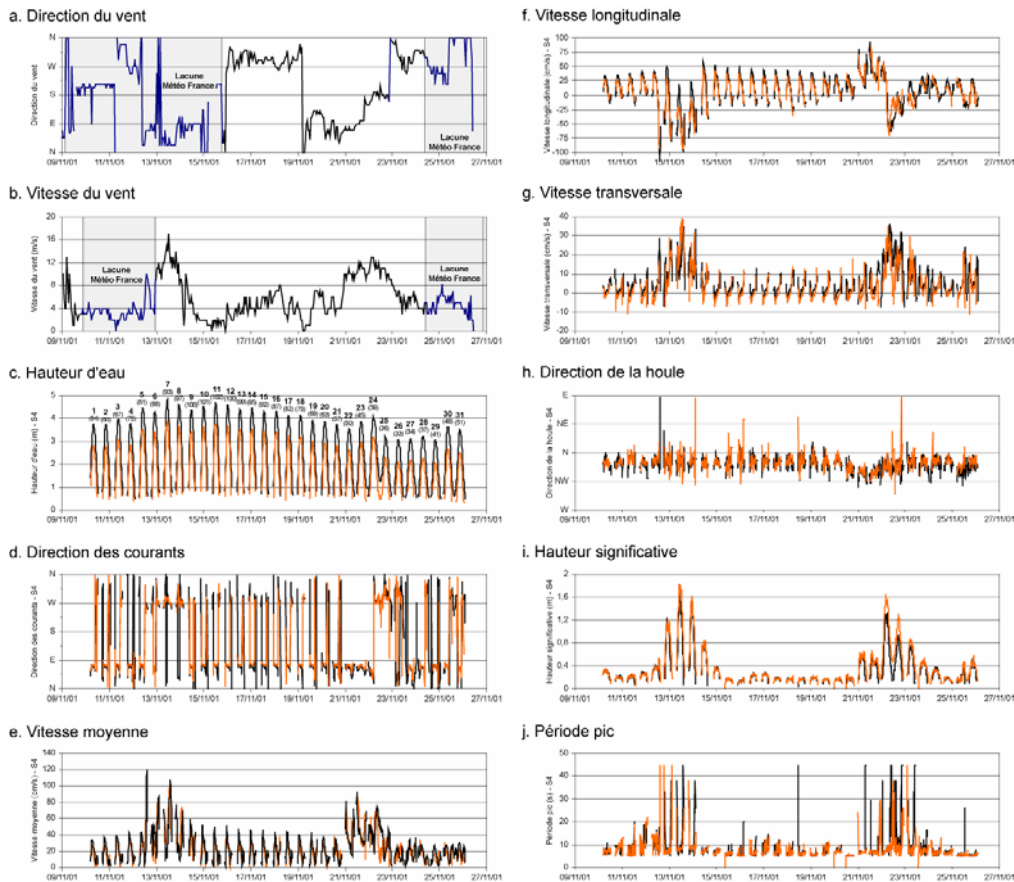


Figure 2 : Synthèse des conditions hydrodynamiques et vents associés lors de la campagne de novembre 2001.

2.2 Conditions hydrodynamiques

Au cours de cette campagne, on peut distinguer cinq phases successives (Fig. 2 - c à i) :

- (1) Les phases 1 (de la marée 1 à 4), 3 (de la marée 10 à 21) et 5 (de la marée 26 à 31) peuvent être regroupées. Elles présentent des conditions modales de faible agitation.
- (2) La phase 2 (de la marée 5 à 9) : des coups de vent variables au départ deviennent NE, avec des vitesses élevées allant jusqu'à 17 m.s^{-1} . Le flot est très court en bas de plage et inexistant en milieu de plage. Les vitesses longitudinales sont élevées, dépassant 100 cm.s^{-1} en direction de Dunkerque, tandis que les vitesses transversales sont uniquement dirigées vers le large, atteignant 40 cm.s^{-1} au maximum. Les hauteurs significatives augmentent de façon proportionnelle à l'intensité du vent, atteignant 1,8 m au moment du maximum de vent.
- (3) La phase 4 (de la marée 22 à 25) : une phase avec des vitesses élevées (moins que dans la phase 2) pouvant atteindre 90 cm.s^{-1} pour la composante longitudinale et 35 cm.s^{-1} pour la composante transversale, dirigée vers le large. Comme pour la phase (2), les hauteurs significatives de la houle deviennent plus importantes avec un maximum de 1,6 m.

2.3 Evolution morphologique

L'évolution morphologique 3D permet de s'apercevoir de la complexité des changements (Fig. 3). Entre le 11 et le 19/11, on observe de l'accrétion sur le haut de plage dans le secteur dunaire, et de l'érosion au niveau de la Batterie de Leffrinckoucke. La barre 1, dans les parties Est et centrale du MNT, devient donc plus marquée mais également plus étroite. Dans l'extrême partie Ouest du MNT, le comportement est inversé : la barre tend à s'aplatir à ce niveau, avec de l'érosion au sommet et de l'accrétion de part et d'autre. Dans la partie basse de la plage, les variations d'altitude sont beaucoup moins nettes avec, cependant, de l'accrétion sur le sommet et le flanc externe des barres et de l'érosion sur les flancs internes, indiquant un faible déplacement du système barre/bâche vers le large.

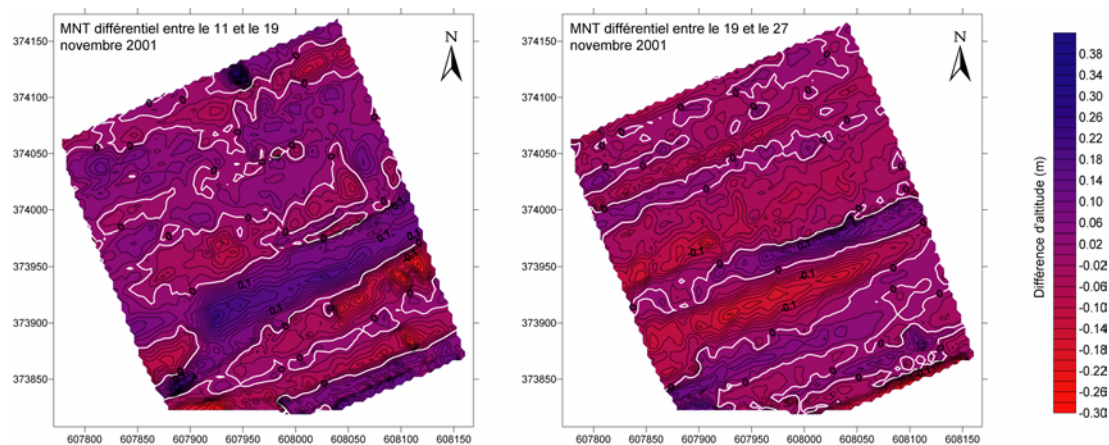


Figure 3 : MNT différentiels – campagne de novembre 2001

Entre le 19 et le 27/11, on observe une érosion du haut de plage et un léger comblement de la première bêche rendant la rupture haut de plage/bêche beaucoup moins marquée. Les variations d'altitude les plus marquées sont encore localisées au niveau de la première barre avec un déplacement vers le large. Dans la partie basse de la plage, les variations d'altitude sont, de nouveau, très faibles avec de l'érosion dans les bèches et de la stabilité, voire de l'accrétion, au sommet et sur le flanc externe des barres, rendant la morphologie légèrement plus marquée.

3. Discussion et conclusions

Cette campagne fait ressortir une morphologie peu accentuée, reflet déjà d'un remodelage de la plage par des tempêtes d'automne, notamment une tempête majeure à peine une semaine avant l'expérience (du 6 au 10/11, avec des vents d'W à NW et des vitesses de vent élevées, atteignant un maximum 19 m.s^{-1} et dépassant 8 m.s^{-1} pendant environ 50h).

Les enregistrements hydrodynamiques font ressortir 5 phases qui se reflètent assez bien dans l'évolution morphologique des profils. Sur le plan temporel, on remarque que les phases marquées par un forçage météorologique important se soldent par des changements morphologiques significatifs. De plus, cette campagne a pu mettre en avant une différence transversale et longitudinale d'adaptation morphologique en fonction des secteurs, certains présentant des variations plus marquées que d'autres.

4. Références

- KING, C.A.M. et WILLIAMS, H.J., 1949. Formation and movement of sand bars by wave action. *Geographical Journal*, 113, 70-85.
- REICHMÜTH, B. et ANTHONY, E.J., 2002. The Variability of Ridge and Runnel Beach Morphology: Examples from Northern France. Communication présentée au International Coastal Symposium (ICS). Mars 2002, Templepatrick, Northern Ireland.
- REICHMÜTH, B., 2003a. Influence du vent sur les courants en domaine macrotidal : exemple de la plage de Leffrinckoucke, Nord-Pas-de-Calais, France. Communication présentée au XXX^{ème} Colloque de l'Union des Océanographes de France (UOF). Septembre 2003, Marseille.
- REICHMÜTH, B., 2003b. Contribution à la connaissance de la morphodynamique des plages à barres intertidales : exemple de la Côte d'Opale, Nord de la France. Thèse de Doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 248 p.
- SIPKA, V., 1998. Les plages macrotidales du Nord-Pas-de-Calais : contexte environnemental et caractérisation morphodynamique. Thèse de doctorat, Université du Littoral - Côte d'Opale.
- STEPANIAN, A., 2002. Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres : Omaha Beach (Normandie). Thèse de doctorat, Université de Caen.
- VAN HOUWELINGEN, S. et MASSELINK, G., 2002. Seasonal variability in the ridge and runnel morphology of the North Lincolnshire Coast. In: ICS 2002 Proceedings. *Journal of Coastal Research* SI 36, A1-A42.

DYNAMIQUE D'UNE PLAGE À BARRES ET À BACHES SOUS DES CONDITIONS DE FORTE AGITATION : DUNE D'AMONT, BAIE DE WISSANT, Pas-De-Calais, France.

MACROTIDAL BEACH WITH BARRED INTERTIDAL DYNAMIC UNDER STORM CONDITION : DUNE D'AMONT, BAIE DE WISSANT, Pas-De-Calais, France.

Mouncef SEDRATI & Edward J. ANTHONY

Laboratoire de « Géomorphologie Dynamique et Aménagement des Littoraux » EA 3599 ; MREI 2, 189a avenue Maurice Schumann, 59140 Dunkerque, France. mouncef.sedrati@univ-littoral.fr

Abstract : The morphology and hydrodynamics of the macrotidal beach of Dune d'Amont, Wissant bay, northern France, were surveyed during storm conditions in order to assess cross-shore and the longshore intertidal bar (ridge) mobility. During the experiment a strong longshore migration pattern shown by the bar-trough systems was responsible for longshore variations in cross-shore profile volumes.

Les caractéristiques morphologiques et hydrodynamiques de la plage macrotidale de la Dune d'Amont (orientée SW/NE), baie de Wissant, ont été suivies durant des conditions de forte agitation du 14 au 28 janvier 2004 (Tab.1) pour évaluer la mobilité longitudinale et transversale des barres intertidales qui caractérisent cette plage (Sedrati et *al.*, 2004 ; Sedrati et Anthony, 2005).

Tab. 1. Coups de vents enregistrés durant l'expérience (Sedrati and Anthony, 2005)
Storm characteristics recorded during the experiment

Date of Storm events	Wind direction	Average wind speed (m.s ⁻¹)
16-01-2004	WSW	14
16/17-01-2004	WNW	13
17/18-01-2004	NNE	12
18/19-01-2004	WNW	10,5

L'estran macrotidal de la plage de la Dune d'Amont est caractérisé par une alternance de trois à quatre systèmes de barre et bêche (Fig. 1). Ces systèmes de barre et bêche sont délimités et inter-coupés par des chenaux de drainage, perpendiculaires ou obliques au trait de côte.



Fig. 1. Photographie représentant les systèmes de barre et bèches à la plage de la Dune d'Amont
Photography showing the ridge and runnel systems in Dune d'Amont beach

Face au *Dover Strait*, cette plage est sujette à une marée de type semi-diurne dominée par la composante M_2 (12.4 heures), le marnage est toujours supérieur à 4 mètres et atteint 7,2 mètres en marée de vives-eaux. La houle dominante est d'une période courte (période moyenne comprise entre 5 et 7 secondes), elle provient essentiellement de l'ouest et de l'ouest-sud-ouest. Les courants de marées sont alternatifs de directions nord-est pour le flot et sud-ouest pour le jusant. La différence entre les vitesses des courants de flot et de jusant enregistrées est d'environ 52 % en marée de fort coefficient en faveur du courant du flot (vitesse moyenne du flot = 50 cm.s^{-1} ; vitesse moyenne du jusant = 24 cm.s^{-1}) (Sedrati, 2002). Les courants longitudinaux et transversaux relatifs à l'orientation du trait de côte de cette plage, montrent la dominance complète des courants longitudinaux qui accompagnent le flot et le jusant (Sedrati, 2002 ; Sedrati et al., 2003). Cette attitude standard, des houles, marées et courants induits sur ce site lors des conditions météorologiques modales, reste très sensible au moindre forçage météorologique exercé par les vents assez fréquents sur ce littoral.

Lors de cette campagne de mesures, les changements morphologiques sur les profils de plage ont été concentrés dans la partie supérieure de la moyenne plage située entre le PMME et le NM. Ces changements correspondent à des faibles séquences d'érosion-accrétion au niveau des flancs interne et externe de la première barre. L'analyse des résultats du suivi topographique a montré que les sédiments qui se déplacent au niveau des bâches sous forme de *mesoformes*, jouent un rôle significatif dans le conditionnement morphologique des profils transversaux de cette plage. Les résultats ont également montré que entre deux coups de vents, les séquences d'érosion-accrétion présentaient des intensités différentes d'un profil transversal à l'autre. Cet aspect a été confirmé par le calcul des changements volumétrique par mètre linéaire par profil pour l'ensemble des profils de ce suivi.

Les courants mesurés sur cette plage durant cette période de forte agitation ont subi un forçage météorologique remarquable. Les valeurs mesurées ont atteint 2 à 3 fois celles enregistrées en conditions modales (Tab.2). Ainsi, la plage de la Dune d'Amont a complètement été dominée par les courants longitudinaux.

Tab. 2. Mesures hydrodynamiques durant la campagne de terrain (Sedrati and Anthony, 2005)
Hydrodynamics mesurments recorded during the experiment

Date of storm events	Max mean current velocity (cm.s^{-1})	Max longshore current velocity (cm.s^{-1})	Max cross-shore current velocity (cm.s^{-1})	Average wave height (m)
16/17-01-2004	150	148	24	1.5
17/18-01-2004	157	156	15	1
18/19-01-2004	117	117	24	0.7

Les courants longitudinaux associés à ces différents coups de vents latéraux présentent une parfaite corrélation avec la distribution spatiale des changements volumétriques des profils transversaux (Fig. 2).

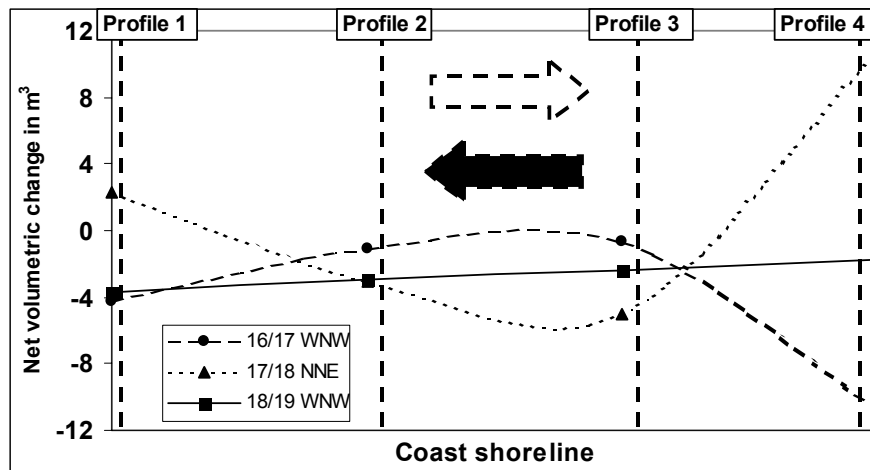


Fig.2. Mise en relation entre la distribution spatiale des changements volumétriques par profils transversaux et la direction des courants longitudinaux durant les coups de vents; les flèches blanche et noire présentent respectivement la direction des courants longitudinaux pour les coups de vents du WNW et NNE. Relationship between the spatial distribution of cross-shore profile volumetric change and longshore current patterns during a storm; the white and black arrows are longshore currents patterns associated respectively with WNW and NNE winds (Sedrati and Anthony, 2005).

La migration longitudinale de ce système à barres et à bâches, dû essentiellement à l'effet des courants longitudinaux a été responsable de la variation longitudinale des volumes des profils transversaux de plage. Ceci montre clairement que les courants longitudinaux peuvent être considérés comme un élément essentiel de la morphodynamique des systèmes de plages à barres et à bâches sujettes à une grande influence des marées et une abondance de vents latéraux (Anthony et al., 2004 ; Anthony et al., 2005; Sedrati et al., 2004 ; Sedrati et Anthony, 2005).

Références

- Anthony, E.J., Levoy, F., Monfort, O.** (2004) Morphodynamics of intertidal bars on a megatidal beach, Merlimont, Northern France. *Mar. Geol.*, **208**, 73-100.
- Anthony, E.J., Levoy, F., Monfort, O. and Degryse-Kulkarni, C.** (2005) Short-term intertidal bar mobility on a ridge and runnel beach, Merlimont, northern France. *Earth Surface Processes and Landforms*
- Sedrati, M.** (2002) Analyse des courants tidaux sur un estran macrotidal : Baie de Wissant, Pas-de-Calais, Nord de la France. Mémoire de DEA, ULCO, Dunkerque, Vol I 51p + Vol II annexes.
- Sedrati, M., Cohen, O. et Anthony, E.J.** (2003) Interaction entre le régime des courants tidaux et la variation de la distribution longitudinale des sables sur un estran macrotidal : Baie de Wissant, Pas-de-Calais, Nord, France. Communication présentée au XXX^{ème} colloque de l'Union des Océanographes de France - Marseille (France), septembre 2003.
- Sedrati, M., Anthony, E.J. and Cohen, O.** (2004) Morphology and hydrodynamics of ridge and runnel beach under storm conditions, Dune d'Amont, Wissant Bay, Northern France. CD of Abstracts. 23rd IAS Meeting of Sedimentology (International Association of Sedimentologists), Coimbra (Portugal), 15-17 septembre 2004.
- Sedrati, M. and Anthony, E.J.** (2005) The role of longshore currents in intertidal bar mobility on a macrotidal beach under high-energy wave conditions, Dune d'Amont, Wissant Bay, Northern France. Communication à présenter au 5th International Conference on Coastal Dynamics 2005. April 2005, Barcelona, Spain.

REPONSE MORPHODYNAMIQUE D'UNE PLAGE "ARTIFICIELLE" AUX FORÇAGES METEO-MARINS EN MILIEU MACROTIDAL, Port ouest de Dunkerque.

MORPHODYNAMIC RESPONSE OF AN ARTIFICIAL BEACH TO ATMOSPHERIC AND OCEANOGRAPHIC FORCINGS IN A MACROTIDAL ENVIRONMENT, (Western harbour of Dunkerque)

Jimmy Bertier ⁽¹⁾ & Arnaud Héquette ⁽²⁾

Laboratoire (GeoDAL) MREID 2, Université du Littoral-Côte d'Opal ; 189A Avenue Maurice Schumann 59140 Dunkerque, France (1) Tel : 03-28-23-76-22 (2) Tel: 03-28-23-76-24
e-mail : jimmy.bertier@univ-littoral.fr e-mail: arnaud.hequette@univ-littoral.fr

Abstract : Current measurements and beach surveys (beach profiles and Digital Elevation Models) were carried out on the Clipon Beach, Western Harbour of Dunkerque, an artificial beach, which has undergone erosion for several years. Our data shows the significant influence of wind forcing on circulation and sediment transport in the intertidal zone. During fair-weather conditions, the net residual currents and sediment transport are directed eastward due to the flood-dominated current asymmetry that characterizes the coastal zone of the southern North Sea. During a westerly wind event, however, wind forcing was responsible for a significant increase in flood current velocity and impeded ebb currents, which were forced to flow eastward, thus favoring sediment transport in the same direction. The proximity of a pier seems to induce a vortex at its extremity, responsible for sediment by-passing. This sediment is subsequently transferred eastward along the beach, which is characterized by a negative sediment budget.

La plage du Clipon, Port Ouest de Dunkerque (Figure 1), est une plage "artificielle" macrotidale (6,5 mètres en marée de vive-eau) adossée à des infrastructures portuaires et au large de laquelle de nombreux bancs sableux peu profonds provoquent une forte réfraction des vagues et une diminution de leur énergie. Cette plage connaît dans sa partie est une érosion qui se traduit, depuis plusieurs années par un abaissement du niveau de l'estran et de l'avant-plage (Bertier, 2003), ainsi que par un recul du trait de côte qui peut atteindre plus de 10 mètres au cours d'une seule tempête. Le but de cette étude est de mieux comprendre les effets des forçages météo-marins sur l'hydrodynamique et la morphodynamique de cette plage. Deux campagnes topométriques et courantométriques ont été réalisées en mars 2003 et mars 2004 au cours desquelles l'évolution morphologique de la plage a été suivie sous des conditions météorologiques différentes.

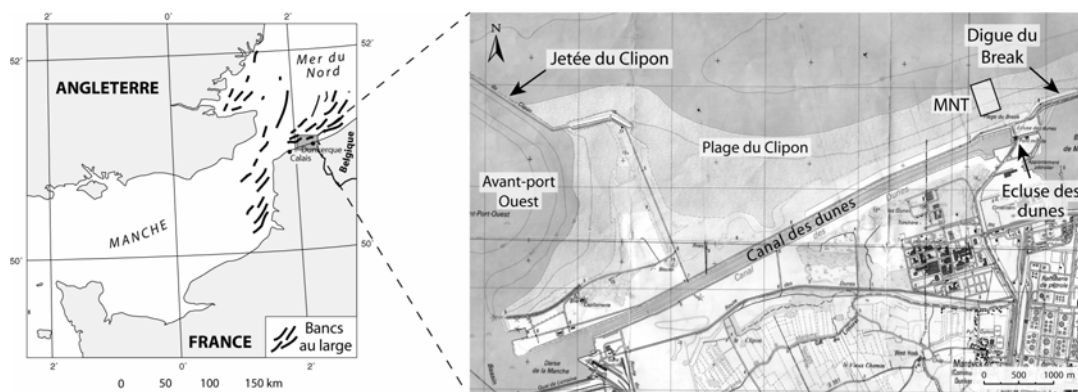


Figure 1 : Localisation de la plage du Clipon.

Lors de conditions modales de faible agitation par les vagues, les courants de marée montrent une très forte dissymétrie sur l'estran, le courant de flot, dirigé vers l'est, agissant plus longtemps que le courant de jusant (Figure 2.A) et atteignant des vitesses plus élevées que

celui-ci (Figure 2.B). Cette prédominance des courants de flot par rapport aux courants de jusant correspond à la circulation résiduelle qui règne dans la zone côtière le long de la rive sud de la Mer du Nord et qui est responsable d'un transit sédimentaire régional dirigé vers l'est (Vicaire, 1991).

Cette circulation peut cependant être modifiée sous l'effet des vents qui peuvent fortement affecter les courants dans les faibles tranches d'eau qui caractérisent la zone intertidale, comme ce fut le cas lors d'un coup de vent de secteur ouest en mars 2003, par exemple, lors duquel les vents ont atteint une vitesse de 14 m/s (Figure 3). Lors de cet événement, les courants étaient essentiellement dirigés vers l'ENE (Figure 4.A), et ce même pendant le jusant, montrant là l'influence majeure du vent ayant empêché la renverse des courants de marée. Ces vents d'ouest à sud-ouest ont également fortement renforcé l'intensité des courants de flot dont les vitesses le long de la plage ont atteint 30 à 40 cm/s, ou plus, pendant cet événement (Figure 4.B), ce qui est largement supérieur aux vitesses de l'ordre de 10 à 15 cm/s qui caractérisaient les courants de flot en période de temps calme (Figure 2.B). Une telle augmentation des vitesses de courant sous l'effet des vents de secteur ouest, dominants dans la région, ne peut que favoriser la mise en mouvement et le transport vers l'est des sédiments de l'estran.

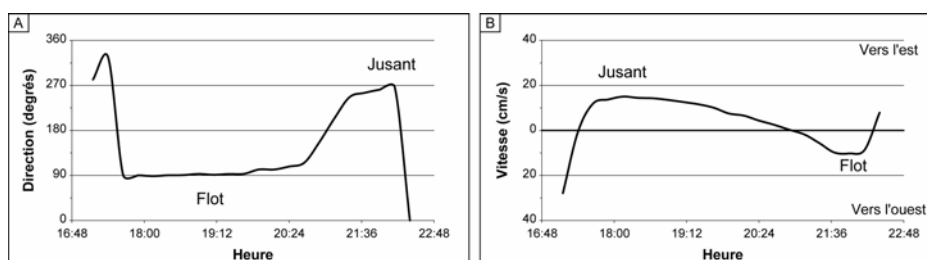


Figure 2 : Direction (A) et composante longitudinale (B) des courants de marées par temps calme le 26 mars 2004.

Cette circulation peut cependant être modifiée sous l'effet des vents qui peuvent fortement affecter les courants dans les faibles tranches d'eau qui caractérisent la zone intertidale, comme ce fut le cas lors d'un coup de vent de secteur ouest en mars 2003, par exemple, lors duquel les vents ont atteint une vitesse de 14 m/s (Figure 3). Lors de cet événement, les courants étaient essentiellement dirigés vers l'ENE (Figure 4.A), et ce même pendant le jusant, montrant là l'influence majeure du vent ayant empêché la renverse des courants de marée. Ces vents d'ouest à sud-ouest ont également fortement renforcé l'intensité des courants de flot dont les vitesses le long de la plage ont atteint 30 à 40 cm/s, ou plus, pendant cet événement (Figure 4.B), ce qui est largement supérieur aux vitesses de l'ordre de 10 à 15 cm/s qui caractérisaient les courants de flot en période de temps calme (Figure 2.B). Une telle augmentation des vitesses de courant sous l'effet des vents de secteur ouest, dominants dans la région, ne peut que favoriser la mise en mouvement et le transport vers l'est des sédiments de l'estran.

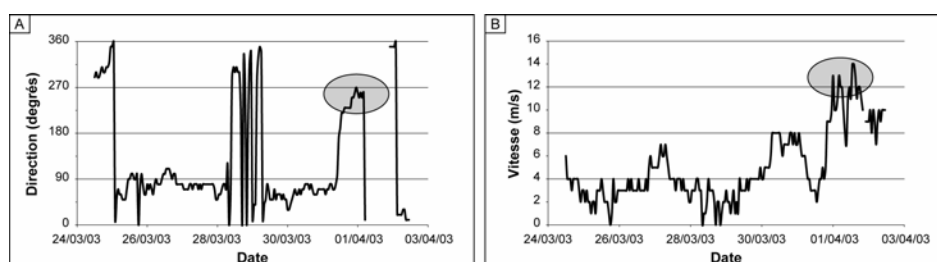


Figure 3 : Direction (A) et vitesse des vents (B) au cours de la campagne de mars 2003. La zone ombrée représente le fort coup de vent d'ouest.

Les levés topographiques réalisés sur l'estran (profils topographiques et Modèles Numériques de Terrain, Figure 1) ont permis de mettre en évidence un abaissement sensible de l'estran et un recul de plusieurs mètres du trait de côte lors de cet événement météo-marin. Le sable de la plage ne semble pas être transporté vers le large, mais transite vraisemblablement vers l'est comme le suggèrent des levés topographiques situés plus à l'est, au niveau desquels une accumulation de sédiments a pu être mesurée. La plage du Clipon, située en aval dérive d'une jetée portuaire, présente une morphologie qui peut paraître paradoxale dans un contexte de transit sédimentaire général dirigé vers l'est. La partie ouest de la plage forme une large plate-forme sableuse (Figure 1) qui résulte d'une accumulation sédimentaire bien que cette zone soit située à l'abri de la jetée qui capte une partie du sédiment en transit vers l'est. Plus à l'est, la plage est plus étroite et est caractérisée par une érosion qui menace de plus en plus les infrastructures à l'arrière de la plage (notamment la station d'atterrage du gazoduc de la Mer du Nord). Il est vraisemblable que le contournement des courants à l'extrémité de la jetée engendre un effet vortex responsable d'un apport de sédiments à l'arrière de cet obstacle, ce phénomène ayant déjà été observé à l'endroit d'autres ouvrages portuaires de ce type (e.g., Costa et Davidson, 2004).

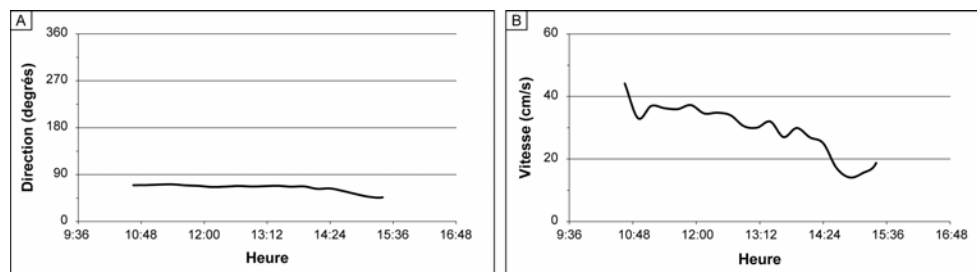


Figure 4 : Direction (A) et composante longitudinale (B) des courants de marée lors d'un coup de vent d'ouest le 1^{er} avril 2004.

Des enregistrements courantométriques obtenus à proximité de la jetée tendent également à confirmer cette hypothèse. Il semble toutefois que cette zone soit caractérisée par un dépôt temporaire et un transit vers l'est (by-passing) du sédiment, car les levés topographiques réalisés dans ce secteur de la plage montrent une stabilité du niveau de l'estran. Les sédiments seraient donc transportés vers l'est tout le long de la plage, et ce tout particulièrement lors des épisodes de fort vent de secteur ouest. Il est possible que les forts vents de nord-est, autre direction dominante dans la région de Dunkerque, favorisent un transport de sédiments vers l'ouest qui viendraient alors s'accumuler contre la jetée, mais d'autres campagnes de mesures *lors de telles conditions sont nécessaires avant de pouvoir arriver à un modèle complet de la circulation et de la dynamique morpho-sédimentaire de cette plage.*

Références bibliographiques.

- BERTIER, J., 2003. Etude de la circulation hydrodynamique et de son influence sur la morphologie de l'estran d'une plage macrotidale : la plage du Clipon (Nord-Pas-de-Calais). *Mémoire de D.E.A. « Dynamique des milieux naturels et anthropisés, passés et actuels », Université du Littoral Côte d'Opale de Dunkerque, 110p.*
- COSTA, S., DAVIDSON, R. 2004. *Ouvrages transversaux portuaires et impacts hydro-sédimentaires: le cas du port de Dieppe (Haute-Normandie).* Bulletin de l'Association de Géographes Français, (3), 321-333.
- VICAIRE, O., 1991. Dynamique hydro-sédimentaire en mer du Nord méridionale (du Cap Blanc-Nez à la frontière belge). *Thèse de doctorat en océanologie, Université des Sciences et Techniques de Lille-Flandres-Artois, 270p.*

TECHNIQUES FOR ASSESSING SHINGLE COMMUNITIES

TECHNIQUES POUR L'ÉTUDE DE LA RÉPARTITION DES COMMUNAUTÉS DANS LES CORDONS DE GALETS

Kate. R. Cole¹, A. I. Tait¹, B. J. Yates² and T. J. Younghusband¹

¹ East Sussex County Council, Transport & Environment, County Hall, St Anne's Crescent, Lewes, East Sussex BN7 1UE

² Rye Harbour Nature Reserve, 2 Watch Cottages, Nook Beach, Winchelsea, East Sussex TN36 4LU

Abstract

Vegetated shingle is an internationally important habitat whose distribution is globally restricted, and largely limited to north west Europe, Japan and New Zealand (UK Biodiversity Group, 1999). However, it is well represented in the BAR Region, particularly on the English side of the eastern Channel coasts. Despite its significant ecological importance, existing recording evaluation systems for the habitat are poor. For example, in the UK, the National Vegetation Classification System (NVC) (Rodwell, 1991), used by the statutory conservation bodies in their selection of sites for national and international designation, only characterises two strandline communities (typical of sand or fine shingle substrates) and one vegetation assemblage from coastal shingle (Rodwell, 2000). Surveys of vegetated shingle within the Region are limited and generally restricted to surveys specific to developments or planning applications (e.g. Ryland, 1999, 2000 & 2001). As such no coherent baseline data exists by which to assess the vegetated shingle resource and its relative biodiversity value. The aim of this study was therefore to undertake a pilot baseline survey of the main areas of vegetated shingle in East Sussex using a simple, repeatable technique and to assess their relative biodiversity value.

Forty four sites were surveyed, covering more than 60 hectares (Figure 1). For each site, a list of vascular plants present was compiled and relative abundance was recorded. Where possible, sites were matched to four community classifications; shingle community (Sneddon & Randall, 1993), broad shingle community (Williams & Cooke, 1993), NVC (Rodwell, 2000) and Habitats Directive Annex I habitat (92/43/EEC; European Commission, 2003). *Crambe maritima* Sea Kale and *Glaucium flavum* Yellow Horned-poppy, characteristic species of pioneer shingle communities (Williams & Cooke, 1993) were recorded from approximately half of the sites surveyed. Twenty one of the 44 sites surveyed showed at least some similarities to pre-defined shingle communities. Those that did not were generally sites that had been subject to extensive disturbance by e.g. coastal defence, development or recreational pressure. *Teucrium scorodonia* Wood Sage, a species that has been recognised as indicative of ancient shingle ridges on Dungeness (Ferry *et al*, 1990) was recorded from five sites, four of which were located on some of the few remaining areas of natural shingle from the Crumbles, Eastbourne, possibly indicating its former environmental interest prior to development. Previous techniques for ranking relative quality (Williams & Cooke, 1993) were found to be unsuitable for this study. However, an alternative technique was trialled and will be further developed during later phases of the BAR project.

Many of the sites surveyed are outside designated areas and therefore receive no direct form of protection. The baseline data collected during this survey provides a useful tool for assessing the relative biodiversity value of shingle on the East Sussex coast. Lessons learnt during this survey will be extended to the rest of the BAR Region during subsequent phases of the Project.

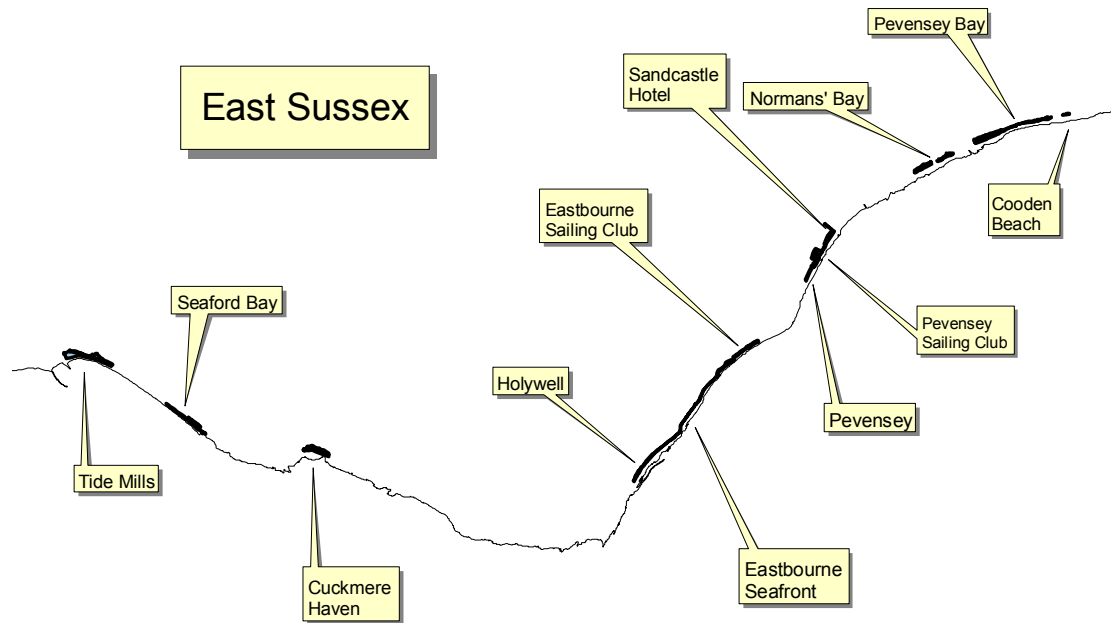


Figure 1. Location of survey sites within East Sussex.

References

- European Commission DG Environment. 2003. *Interpretation Manual of European Union Habitats: version EUR 25*. Brussels, European Commission. 129 pp.
- European Community. 1992. *Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna & flora*. Brussels, Office for Official Publications of the European Communities.
- Ferry, B., Lodge, N. and Waters, S. 1990. *Dungeness: a vegetation survey of a shingle beach*. Nature Conservancy Council Research Report No. 26. Nature Conservancy Council, Peterborough. 96 pp.
- Rodwell, J. S. (Ed). 1991. *British Plant Communities. Volume 1. Woodlands and Scrub*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Rodwell, J. S. (Ed). 2000. *British Plant Communities. Volume 5. Maritime Communities and Vegetation of Open Habitats*. Cambridge University Press, Cambridge. 512 pp.
- Ryland, K. 1999. *Environmental Monitoring Work for the Pevensey Sea Defence Scheme*. Dolphin Ecological Surveys. Unpublished report.
- Ryland, K. 2000. *Environmental Monitoring Work for the Pevensey Sea Defence Scheme*. Dolphin Ecological Surveys. Unpublished report.
- Ryland 2001. *Environmental Monitoring Work for the Pevensey Sea Defence Scheme*. Dolphin Ecological Surveys. Unpublished report.
- Sneddon, P. & R. E. Randall. 1993. *Coastal Vegetated Shingle Structures of Great Britain: main report*. Peterborough, Joint Nature Conservation Committee. 61 pp.
- UK Biodiversity Group. 1999. *Tranche 2 Action Plans. Volume 5: maritime species and habitats*. Peterborough, UK Biodiversity Group/English Nature.
- Williams P. R. & Cooke R. J. 1993. *Vegetated Shingle Survey of the Sussex Coast*. English Nature, South East Region, Wye. 49 pp.

**EFFECTS OF HUMAN DISTURBANCE
ON THE VEGETATED SHINGLE HABITAT**
***EFFETS DES PERTURBATIONS ANTHROPIQUES SUR L'HABITAT
DES CORDONS DE GALETS VEGETALISES***

Elinor Low, University of Sussex.

Résumé

Au Havre de Cuckmere Est (Seven Sisters Country Park, East Sussex), une portion centrale de la plage a été clôturée afin de protéger la végétation de piétinement. La diversité, fréquence et couverture des espèces de plantes dans des quadrats, qui eux ont été sélectionnés d'une manière aléatoire dans et dehors la région clôturée, ont été relevées en août 2004. Des mesures identiques seront enregistrées en août 2005 afin de observer les changements dans la couverture végétale et pour évaluer si la prévention d'accès est un moyen utile de rétablir la végétation sur les plages de galets. Une attention toute particulière a été prêtée à la survie des jeunes plantes.

Summary

At Cuckmere Haven East (Seven Sisters Country Park, East Sussex) a central region of the beach was fenced off to protect the vegetation from trampling. The diversity, frequency and cover of plant species present in randomly selected quadrats within the fenced off area and in a similar region of adjacent unfenced beach were measured in August 2004. Identical measurements will be taken in August 2005 to look for any change in the vegetation cover to see if protecting an area from human access is a useful way of promoting vegetation restoration on a shingle beach. Special attention is paid to the survival of young plants.

Presentation Overview

The vegetated shingle habitat is a rare resource and as such is listed in Annex 1 of the EU Habitats Directive (CD92/43/EEC). Vegetation occurs on shingle beaches where there is suitable supply of available water, presence of a fine matrix in the shingle that will retain moisture and a threshold level of disturbance of the shingle by constructive and destructive wave movement (Scott, 1963; Fuller, 1987; Davy, Willis & Beerling, 2001). However where these conditions appear to exist there is not always a plentiful supply of vegetated shingle - coastal management, development and trampling all playing a role. The latter is extremely important as the dense population of south eastern England corresponds to high visitor numbers and therefore high recreational pressure to popular coastal areas.

The Seven Sisters chalk cliffs in East Sussex particularly attract thousands of tourists every week during the summer months. One of the most popular and pleasant ways to access this area of the coast is through Seven Sisters Country Park. The shingle beach in the park is heavily visited by tourists and school parties. The beach is divided into two parts (West and East) either side of the artificially guided Cuckmere river mouth. Cuckmere Haven East shingle beach possesses associated shingle flora, most notably *Crambe maritima* and *Glaucium flavum*. However there are distinctly trampled 'paths' where the vegetation cover seems to be restricted to small areas of grass turf and plants less sensitive to trampling such as *Plantago spp.* (Liddle, 1975).

An experiment was set out in August 2004 to investigate whether fencing off an area of beach would promote vegetation restoration. It was not possible to study all vegetation landward from the driftline as the public requires access to walk along the beach. The fenced off area therefore consisted of a trapezium shaped area protruding towards the driftline as far as possible without greatly obstructing public access (fig 1). The fenced off region was divided into top beach, back slope and back flat areas, the western adjacent unfenced area was divided in the same way. Six randomly selected 1m² quadrats were located in each area in both fenced off and unfenced regions (n tot = 36). In each quadrat the number of species occurring,

percentage cover and frequency, and maximum height were recorded. In addition to these, six further quadrats, in both the fenced off and unfenced regions (n tot =12) containing a high number of *G.flavum* plantlings were also selected to look at young plant survival in the protected and unprotected area. A high resolution digital photo was taken of each quadrat and the four points of the quadrat marked using GPS. The fenced off area was also marked using GPS.

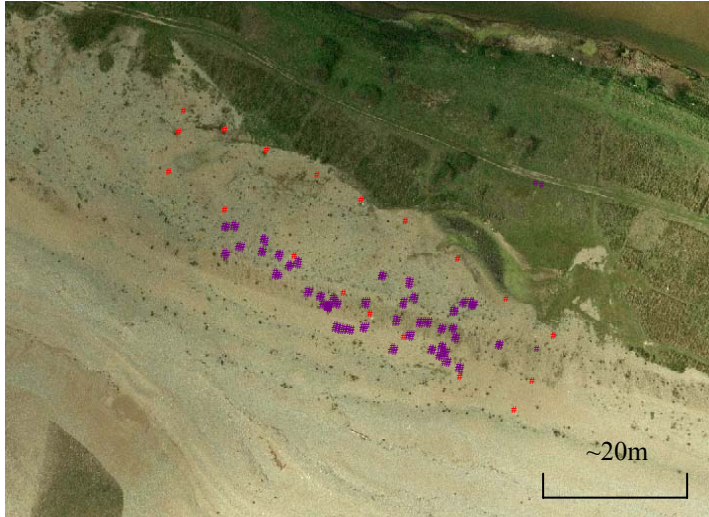


Figure 1 Aerial photo of Cuckmere Haven East with GPS points. Red circles show location of fence posts, purple circles denote quadrat location. Vegetation may be seen as green mottled areas on shingle beach substrate.

Each photo was geo-referenced using marked GPS points and inserted into an aerial photo of the beach area to clearly show its exact location on the beach. For each quadrat the area of every *C. maritima* and *G. flavum* plant was calculated by making each plant a polygon using ArcView software.

The diversity and abundance data combined with the polygon data for August 2004 will be compared to identical measurements for each quadrat in August 2005. These data will then be used to identify whether the vegetation in the fenced off area will have increased in abundance. The species present and their frequency within each quadrat will be studied to see if particular species do better in protected areas.

References

- Davy, A.J., Willis, A.J. & Beerling, D.J. (2001). The Plant Environment: Aspects of Ecophysiology of Shingle Species. *Ecology and Geomorphology of Coastal Shingle*. Eds Packham, J.R, Randall, R.E., Barnes, R.S.K. & A. Neal. Westbury Academic and Scientific Publishing, Otley, U.K.
- Fuller, R.M. (1987). Vegetation Establishment on Shingle Beaches. *Journal of Ecology* 75(4):1077-1089.
- Liddle, M.J. (1975). A Selective Review of the Ecological Effects of Human Trampling on Natural Ecosystems. *Biological Conservation* 7:17-36
- Scott, G.A.M. (1963). The Ecology of Shingle Beach Plants. *Journal of Ecology* 51(3):517-527.

POSTER

CHALK CLIFF RETREAT ALONG THE EASTERN CHANNEL AND POSSIBLE CONTROLS

U. Dornbusch¹, S. Costa², D. A. Robinson¹, R.B.G Williams¹, C. Moses¹

¹ Department of Geography, University of Sussex, Brighton BN1 9QJ, UK. u.dornbusch@sussex.ac.uk

² Université de Caen Basse-Normandie, Géophen UMR-CNRS LETG 6554 ; stephane.costa@geo.unicaen.fr

Résumé

Les taux d'érosion pour les côtes françaises et anglaises ont été calculés et montrent des variations significatives ; retraite de 0 m jusqu'à 0.7 m pendant une période de 124 ans. Les modes de retraite dans East Sussex (fréquents mais d'une ampleur faible) sont différents de ceux de Kent (moins fréquents mais d'une ampleur plus grande), celui de la côte française se trouve entre les deux. Les variations en taux de retraite des falaises ne peut pas s'expliquer par des variations en hauteur des falaises, largeur de plate-forme, aspect de falaises ou largeur de plage. Si toutes les données sont prises en compte la corrélation entre ces facteurs et le taux de retraite des falaises est faible. Si les sous-ensembles sont employés ces corrélations peuvent être de directions différentes.

Summary

Cliff erosion rates for the French and English side have been calculated and show significant variations reaching from more than 0.7m per year to no retreat over more than 124 years. Modes of retreat are different between East Sussex (high frequency – low magnitude) and Kent (low-frequency – high magnitude) with French coast falling in between.

Variations in cliff retreat rate cannot be explained by variations in cliff height, platform width, cliff aspect or beach width. Correlation between these factors and cliff retreat rate is poor if all data is considered and can be in different directions if data subsets are used.

Studies of cliff retreat have been carried out several times in the past on both sides of the Channel. However, none of these studies has either covered the whole coastline or used a method that removes the bias that is introduced by making manual measurements at discrete points. Using GIS the area of retreat can be mapped and retreat rates calculated on the basis of areas lost. On the French side the measurements cover the period 1966 to 1995 using photogrammetry data, on the English side they cover the period 1870s to 2001 using historic maps and photogrammetry data. Due to the different periods of data coverage comparisons between the French the English side in relation to different rates of retreat are problematic but general differences are likely to be shown in these two sets of data.

Rates of cliff retreat show significant variations, the most pronounced being the much lower retreat rates in Kent (average = 0.07m) compared to East Sussex (average = 0.27m). Along the Kent cliffs significant proportions do not show any retreat at all which supports findings in May & Heeps (1985). These areas become even larger, when the accuracy of the retreat rates are taken into account which means that all rates < 0.04m/year could be the result of the combined map and air photo errors. A similar situation exists east of the Belle Tout along Beachy Head in East Sussex. The highest rates in excess of 0.7m are found in the Birling Gap area of East Sussex. From cliff fall remains on the shore platform in the 2001 orthophotos and the retreat rates it appears as if cliff retreat along the East Sussex frontage occurs as high frequency-low magnitude events whereas on the Kent coast as low frequency-high magnitude events. The frequency in those places that do not show retreat is therefore >125 years.

Retreat rates on the French side show high fluctuations over short distances and the overall average annual rate of retreat is 0.16m. Some spatial variation of the averages for different

sections of coast can be observed, for example a higher average of 0.26m for the section Veules le Roses to Pourville. The high fluctuations over short distances seem to indicate that the frequency of cliff falls is close to or longer than the observation period and thus may fall in between the frequency-magnitude pattern for East Sussex and Kent.

Variations in the rate of cliff retreat could be attributed to a number of factors on a theoretical basis. For example higher cliffs produce large amounts of debris for each length of retreat than lower cliffs. Consequently, the time to remove the debris from the foot of the cliff would be longer for higher cliffs and therefore the cliff would be protected from wave action for a longer period of time which would lead to a reduction in the retreat rate. Correlation between cliff height and retreat rate are poor (fig 1) and can change in direction for smaller sections of the coast.

	Correlation	N
All UK	-0.17	663
Brighton - Newhaven	0.37	138
Cuckmere Haven - Eastbourne	-0.40	199
Dover - Kingsdown	-0.01	124
All France	-0.09	419*
Antifer - Fécamp	0.13	79
Fécamp – St Pierre en Port	-0.02	49
Veules les Roses - Pourville	0.23	71

Fig 1: Correlation coefficients for the relationship between retreat rate and cliff height for different stretches of coastline. Negative correlations indicate that higher cliffs relate to lower retreat rates while positive correlations indicate that higher cliffs relate to higher retreat rates.
 * Although erosion rates are available for 50m intervals cliff height was averaged for 200m sections forming the basis for the correlation.

Similar results are obtained for the relationship between rate of cliff retreat and platform width (fig 2), cliff aspect and beach width.

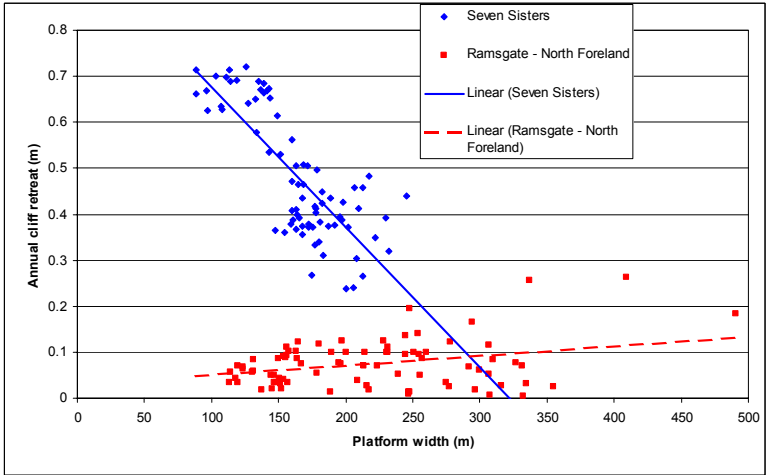


Fig 2: Graphic correlation between shore platform width and cliff retreat rate for the Seven Sisters and Ramsgate – North Foreland showing individual points and linear regression lines.

The correlation with beach width has the problem that beach width changes over time and that the relationship is unlikely to be linear. It is more likely that from a certain beach width on, the cliff is protected from marine action and thus less likely to retreat. However, cliffs that are

protected from marine action can still retreat until they have reached a stable angle and therefore the relationship is likely to be more complex.

Other factors that should influence the rate of cliff retreat, like the geology of the cliff toe and the height of the cliff toe have not yet been investigated but it is planned to carry out the necessary surveys in the second phase of BAR.

References:

May, V. & C. Heeps 1985 - The nature and rates of change on chalk coastlines *Zeitschrift für Geomorphology, Supplement 57*: 81-94.

THE INVASION OF *HIPPOPHAE RHAMNOIDES* L. AT CAMBER SANDS, EAST SUSSEX

F.M. Gillespie, R.B.G. Williams & C. Moses

University of Sussex, Geography, Chichester Building, BN1 9QJ, UK. F.M.Gillespie@sussex.ac.uk

Résumé

Camber Sands, un petit superficie de habitat de dunes de sable qui se trouve en East Sussex, est le seul endroit où on peut trouver cet habitat dans la province. La préservation du site et de sa biodiversité est donc très importante. Camber présente plusieurs problèmes d'aménagement car ils combine une sur-utilisation comme lieu de récréation, de l'érosion et accumulation et une invasion par *Hippophae rhamnoides*. *Hippophae rhamnoides* est devenu une espèce problématique dans plusieurs cordons de dunes en Grande Bretagne et son enlèvement est une mesure de préservation populaire. L'enlèvement de cette espèce a récemment été effectué à Camber mais la probabilité de l'établissement d'un habitat de dune grise aux endroits dégagés doit encore être évalué.

Summary

Camber Sands is a small area of sand dune habitat situated in East Sussex and is the only representation of this habitat within the county. The conservation of the site and its' biodiversity is therefore very important. Camber hosts a number of management issues including recreational overload, rapid accretion and erosion and invasion from *Hippophae rhamnoides*, to name but a few. *Hippophae rhamnoides* has become a problem species on many dune systems in Britain and its clearance has become a popular conservation measure. Clearance has recently been undertaken at Camber but the feasibility of the establishment of a typical "grey dune" habitat on the cleared sites needs to be assessed.



Fig 1 : The eastern side of the dunes at Camber. Source : [http 1](http://1).

Sand dunes are classified under Annex I of the EC Habitats Directive and as such are usually assigned conservation status ([http 1](http://1)). In the UK there is a Habitat Action Plan for coastal dunes to try and maintain the optimum diversity of dune species. This is very important in East Sussex where the extent of sand dune habitat is restricted to one small site called Camber Sands. This site comprises of a roughly wedge-shaped dune area which extends about 2 miles East of the mouth of the River Rother near the county borders of East Sussex and Kent. The western end of the dunes is largely stabilised and managed as a golf course by Rye Golf Club. The eastern end of the dunes is mostly dominated by an unstable yellow dune habitat and is owned by East Sussex County Council (see Figure 1.). Most of the dunes lie within the boundaries of the Camber Sands and Rye Saltings SSSI. The remainder of the dunes situated to the east of the system has been designated as a Site of Nature Conservation Importance (SNCI) so that the entire dune area is afforded some conservation protection.

Despite being small, Camber presents a multiplicity of management problems. The dunes are bounded on the north-side by the village of Camber and their position provides essential flood

defences for the village. However, as dunes are a naturally dynamic system prone to migration and because the dunes at Camber are accreting, the residents of Camber village often find their roads and gardens bombarded with wind-blown sand. Sand erosion at Camber is not helped by the intensity of recreational visitors to Camber in the summer months. It is not uncommon for up to 20,000 people to visit Camber on any one day in summer ([http 2.](#)). As there is little control of where the public are allowed to go within the dune system, this results in the trampling of the dune vegetation which is essential for dune stabilisation. Destruction of the vegetation allows the sand that was previously bound by roots to become mobile again, therefore increasing erosion on the dunes.



Fig 2: A stand of *Hippophae rhamnoides* at Camber Sands. Source : Environment Agency ABMS Survey, 2001.

Attempts at dune stabilisation have occurred several times at Camber in the past. A major restoration and reseeded operation occurred in 1967 after a large extent of Camber's vegetation cover had been wiped out by the use of the dunes as an army training ground during World War II and further subsequent degradation by increased recreational use. Prior to this, the large-scale planting of *Hippophae rhamnoides* (sea-buckthorn) was carried out by Kent River Authority in 1951 to stabilise an area to the east of the golf course (Firth, 1971). *Hippophae rhamnoides* has proven to be a very successful dune stabilising species and, as such, has been introduced to many dune systems throughout Europe. However, the species became a problem in many dune systems in Britain after the 1950s when an outbreak of Myxamatoxis desiccated rabbit populations (Rooney, 1998). *Hippophae rhamnoides* has become very invasive on dunes and spreads rapidly throughout dune systems. Where it grows it forms thick stands which block out the sunlight so that very few species can

grow under its canopy. Naturally this results in a decline in species richness in dune habitats, especially where calcareous dunes support rich and diverse grassland communities. At Camber the sea buckthorn has invaded an area of fixed dune which could potentially support a grey dune habitat which is considered to be a priority habitat by the EC Habitats Directive (see Fig 2.). The advance of the sea buckthorn has also resulted in population outbreaks of the Brown tail moth whose hairs are irritating to the skin and can cause severe reactions if inhaled by asthmatics ([http 2.](#)).

Over the last ten years *Hippophae rhamnoides* clearance operations have occurred in dune areas all over Britain in an attempt to restore original sand dunes communities. Such clearance is currently being undertaken at Camber. In winter 2001 a stand of about 1.5 Ha of sea buckthorn was cleared from the dunes using chainsaws and burning of the cleared biomass. However, due to the lack of any further treatment of the stumps, the sea buckthorn quickly regenerated. More recently, from 2003-2004, certain stands of the sea buckthorn have been

cleared again and in places have been experimentally treated with an herbicide. The success of this treatment is still to be assessed.

Another symptom of invasion by sea buckthorn is nitrogen enrichment of the soil due to the nitrogen-fixing bacteria which are harboured in nodules on the roots of the shrub (Stewart & Pearson, 1967). In certain areas at Camber, this had happened to such an extent that subsequent invasion of elder had occurred and the process of seral succession was well underway. Where the sea buckthorn and elder have been cleared, invasion by nitrogen loving ruderals has been rife making it more unlikely that a natural grey dune habitat will establish itself in these areas. Investigation of the feasibility of grey dune establishment after sea buckthorn clearance at Camber would be useful to assess the success of the clearance techniques employed and to suggest where further management might be needed. For this purpose careful monitoring of the cleared communities should be undertaken along with investigations into the sand dune seed bank and the effects of nitrogen enrichment by *Hippophae rhamnoides*.

References:

Firth, F.M, (1971), The Dune Complex at Camber Sands, Sussex: A study of the interrelation of its Geomorphology and Vegetation with reference to the environment as a whole, including the time factor. PhD thesis, University of Sussex.

http 1 - JNCC website (2004), <http://www.jncc.gov.uk/>

http 2 - Rye Bay Countryside Office website. Camber Sands Dune System Management Plan For Land Owned By ESCC 1998-2001, <http://www.ryebay.demon.co.uk/cambersands.html>

Rooney, P., (1998), A thorny problem, *Enact*, 6 (1) pp12-13.

Stewart, W.D.P. & Pearson, M.C., (1967), Nodulation and Nitrogen-Fixation by *Hippophae rhamnoides* L. in the field, *Plant and Soil* XXVI, no.2, pp348-360.

SHINGLE BEACH PLANT RESPONSE TO EFFECTS OF PROJECTED CLIMATIC DISTURBANCE

Elinor Low, University of Sussex.

Résumé

Des plantes des plages à galets devront s'adapter aux changements de l'environnement si l'habitat va continuer à exister sous des scénarios projetés de changement de climat. Avec des augmentations de niveau de mer et de fréquence de tempêtes, il y aura une augmentation d'enterrement des plantes par conséquent des mouvements de galets vers l'intérieur. Des diminutions de pluie prévues en Europe pendant les mois d'été suggèrent que des plantes capables de développer avec un minimum d'humidité seront celles qui survivront ce stress additionnel d'un manque d'eau. Deux expériences indépendantes ont été établies afin de rechercher les effets d'enterrement et de différents régimes d'alimentation en eau sur des jeunes plantes des espèces trouvées dans l'habitat des galets végétalisées.

Summary

Coastal shingle beach plants will need to adapt to environmental change if the habitat is to survive and continue to exist under projected climate change scenarios. With projected increases in sea-level and storminess, plants will experience burial due to a landward movement of beach material. Predicted decreases in rainfall during summer months in Europe will mean that plants able to grow and develop with least water input are most likely to survive the additional water stress. Two experiments were set up to independently investigate the effects of burial and different watering regimes on the survival of young plants of species found in the vegetated shingle habitat.

Presentation Overview

Climate change will have a major influence on the shape and erosion of coastal regions. Shingle beach plants will need to adapt to environmental change if the habitat is to survive and continue to exist. With projected increases in sea-level and storminess (IPCC, 2001) plants will experience burial due to a landward movement of beach material. The shingle habitat is dynamic and pebble displacement occurs on a tidal basis however with regard to climatic influence on the shingle habitat in the future, the whole habitat may be affected by greater shingle mobility on a more regular basis. The species that are most resistant to burial will be those most likely to be able to adapt to the changing beach topography. The coastal shingle habitat also has poor water holding capabilities that lead to rapid percolation of precipitation water (Salisbury, 1952, as cited by Gagné & Houle, 2002). However, in addition to the existing physiological stresses of a well drained habitat, predicted decreases in rainfall during summer months in Europe (IPCC, 2001) (the primary growth period of plants) will mean that plants able to grow and develop with least water input are most likely to survive the additional water stress.

The following experimental studies on young plants (hereafter referred to as plantlings) of different shingle beach species aims to demonstrate the plantlings' resistance (or lack of) to the effects of burial and different watering regimes. Plantlings have been studied because their survival and recruitment ensures the health and renewal of the habitat. They are also likely to be most sensitive to environmental change as their root systems are less developed than adult plants and are therefore less likely to be able to buffer plants through stressful periods. All the species used (*Crambe maritima*, *Glaucium flavum*, *Rumex crispus*, *Solanum dulcamara*, *Atriplex glabriuscula* and *Centranthus ruber*) are those whose wild seed may easily be

collected from local beaches and are important components of the vegetated shingle habitat in East Sussex.

Burial was standardised and calculated as percentage of plant height covered (plant covered to tallest leaf = 100 % burial depth). Burial depths were chosen to investigate the difference between partial burial (0 – 75 %) where there are still parts of the plant that may photosynthesise and full burial (100, 200 & 1000 %) where light availability will be minimal (100, 200 %) to absent (1000 %). The hypothesis states that plants with part of the plant structure still receiving light will be able to recover from burial whereas those entirely buried are less likely to survive. Ten plantlings of *Crambe maritima*, *Rumex crispus*, *Solanum dulcamara* and *Glaucium flavum* were employed for each treatment. For the different watering regime ten plantlings of *Crambe maritima*, *Rumex crispus*, *Solanum dulcamara* and *Centranthus ruber* (an invasive) were subjected either to watering everyday, every 2nd day, every 3rd day every 5th day, every 10th day or once only at the beginning of the experiment. At the end of each experiment plants were removed from the shingle substrate and sorted into above and below ground parts. Plant material was dried at 65 °C for 72 hours (after Franks & Peterson, 2003) and then weighed. Total biomass and root/shoot ratios were plotted against treatment to look for any patterns in species' response to the different treatments.

The results revealed that the species regarded as likely to best cope with the environmental disturbance were not those species that were typical 'shingle adapted plants' i.e. *G. flavum* and *C. maritima*. *R. crispus* showed the greatest root/shoot ratio for both experiments, showing greater investment in root biomass overall. *A. glabriuscula* showed poor ability to cope with deeper burial (fig. 1b treatments 3-5), even though it is a species associated with the driftline - the most mobile part of the beach with which terrestrial vegetation is associated. Increased frequency of burial of young plants associated with the shingle habitat appears to be a threat to species diversity. For the watering experiment, root/shoot ratio (fig 1 c) was lowest for treatment 5 (watering every 10th day) however with regard to total biomass (fig 1 d) all plants also produced greatest biomass during this treatment. This indicates that above ground growth proliferated during this treatment. Projected decreases in rainfall may therefore not be of great disturbance to shingle plants as there appears to be preadaptation of these species to drier climate conditions. In addition mean total biomass (fig 1 d) for the invasive species, *C. ruber*, included in the experiment, was lowest for all the species. This could have benefits for the reduction of the invasion of this plant species in the shingle habitat in the future.

References

- Franks, S.J. & Peterson, C.J. (2003). Burial disturbance leads to facilitation among coastal dune plants. *Plant Ecology* 168:13-21.
- Gagné, J-M. & Houle, G. (2002). Factors responsible for *Honckenya peploides* (Caryophyllaceae) and *Leymus mollis* (Poaceae) spatial segregation on subarctic coastal dunes. *American Journal of Botany* 89(3):479-485.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001). Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability.

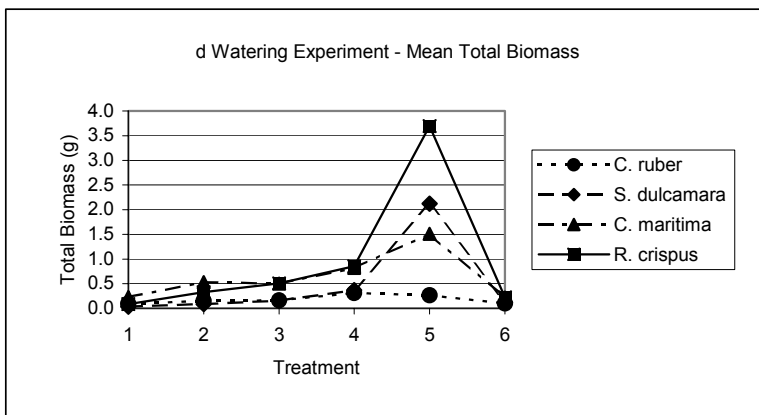
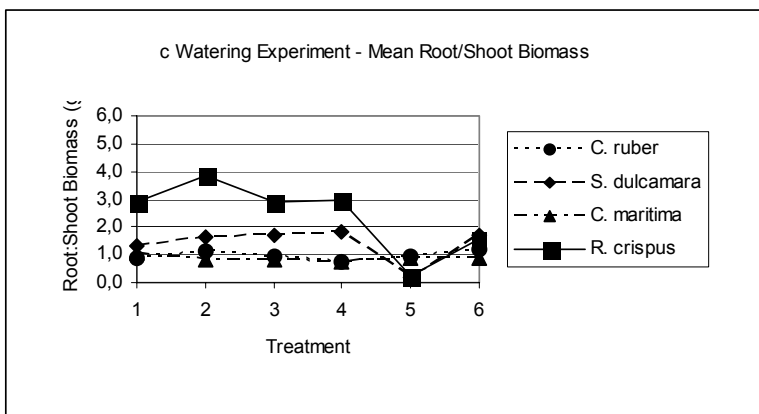
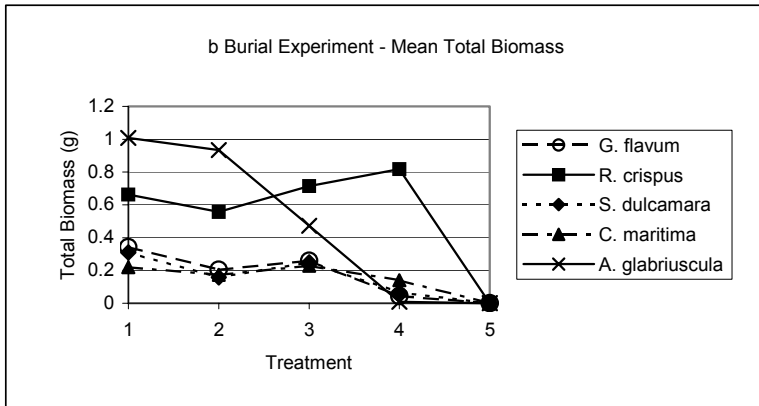
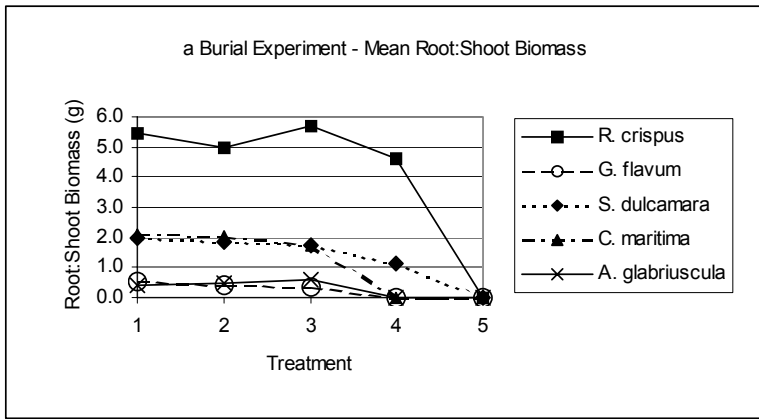


Figure 1 (a) mean root:shoot biomass and (b) mean total biomass for each species and treatment in burial experiment (some species yielded no viable results for treatment 5). (c) mean root:shoot biomass and (d) mean total biomass for each species and treatment in watering experiment. Note different scales on total biomass graphs between experiments.

LABORATORY ABRASION OF FLINT SHINGLE AND SHINGLE MIXES

U. Dornbusch, J. Curoy, R.B.G Williams, D. A. Robinson, C. Moses

Department of Geography, University of Sussex, Brighton BN1 9QJ, UK. u.dornbusch@sussex.ac.uk

Résumé

Le point sur la plage où un échantillon est recueilli/pris aussi bien que la saison pendant laquelle l'échantillon est enlevé de la plage n'ont qu'une faible influence sur le taux d'abrasion des galets de silex au laboratoire. Les variations de la forme des galets n'expliquent pas les grandes variations du taux d'abrasion des galets différents dans chaque échantillon. Au laboratoire, les silex marron / clairs provenant du matériel de rechargement, qui sont de taille et forme similaires aux flints noirs provenant des plages de la région BAR, érodent au même taux. Ajoutant du sable ou graviers aux silex grises dans les expériences du laboratoire réduit le taux d'abrasion des galets par 50%.

Summary

Sample location on a beach as well as season during which samples were taken from the beach appear to have a small influence on the laboratory abrasion of flint shingle.

Variations in pebble shape do not explain at all the large variations in the abrasion rate of individual pebbles within each sample.

Under laboratory conditions, brown / pale flints from recharge material of comparable size and shape to black flint from BAR beaches abrades at the same rate.

Adding sand or gravel to grey flint shingle in laboratory abrasion experiments reduces the abrasion rate of the shingle significantly by up to 50%.

21 samples of round grey flint from the beaches at Criel, Telscombe and Newhaven were tumbled using a standardised procedure. The samples included three different grain sizes (expressed in weight these include 150-250g, 250-350g and 350-450g) and for samples from each location the rate of abrasion increased with the increase in size (fig 1). Differences between Criel, Telscombe and Newhaven were small but differences were found in relation to the position on the beach from which the samples were taken.

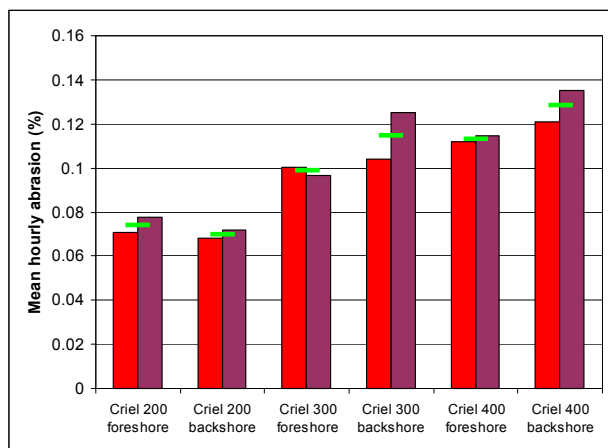


Fig 1: Comparison of the abrasion rate for the first 2.5 hour tumbling interval of the A and B sample (columns) and the average of the two barrels (green bars) for samples from Criel collected in September 2003.

The data from Criel (fig 1) shows mean hourly abrasion rates for the first 2.5 hour tumbling interval for samples of three different sizes taken from the active shore face and the backshore area. For the sizes 300 and 400 the back shore samples abrade at a higher rate but this relationship does not hold true for the size class 200.

The main finding was that for abrasion experiments involving shingle mixes, the shingle should always come from the same location on the beach

Within each sample the abrasion rate of individual pebbles varies significantly (fig 2). To investigate the factors that might be responsible for this variation the pebble axis have been measured for 227 pebbles from the Criel backshore samples of the size 300 and 400.

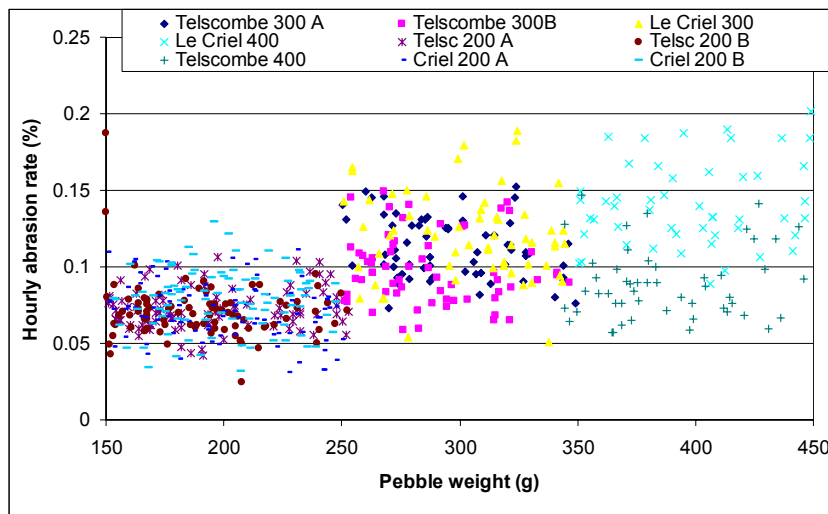


Fig. 2: Example of abrasion rates of individual pebbles from the same sample plotted against the individual pebble weights showing the wide spread or individual abrasion rates

Multiple correlation between abrasion rates, pebble weight, individual axis and shape parameters based on axis ratios (eg Krumbein) have found a significant relationship only with weight. Given that all pebbles were well rounded the reason for the large variation in individual abrasion rates for pebbles from the same sample must lie in the chemical composition of each flint.

In a different set of experiments, mostly brown and pale flints from material freshly dredged from an area offshore of Hastings were tumbled to the same standard as the grey flints from the beaches. No significant difference was found in the rate of abrasion of these recharge flints, however, the range of the average of the four recharge samples has been slightly higher than for the grey flints which might be due to the more varied flint composition (variation in the amount of grey, pale and brown flints).

To assess the influence of sand and gravel on the abrasion rate of flint shingle experiments were carried out where part of the flint shingle was replaced with sand (0.5 to 2mm, fig 3) or gravel (4-8mm, fig 4).

Fig 3 shows that adding 20% sand leads to a 50% reduction in the abrasion rate. A similar reduction is achieved by adding 30% gravel. Adding only 20% gravel reduces the abrasion rate only by 30% (fig 4).

The reduction of the abrasion rate by adding smaller particles could be due to either a 'ball-bearing' effect of the smaller particles or by actually restricting the movement of the pebbles by forming a matrix between them. This could only be clarified by taking observations of the inside of the barrels during tumbling.

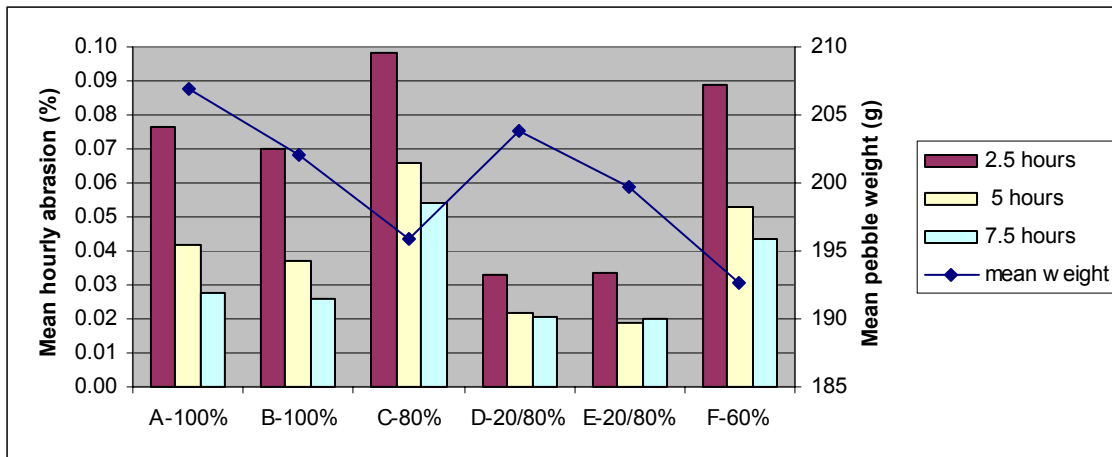


Fig 3: Mean hourly abrasion rates and average sample weights for grey flints from Newhaven. Labels on the x-axis reflect the composition of the sample with 100% indicating that all the sample was flint, 80% and 60% that 80 and 60% of the sample were flint and 20/80 that 80% were flint shingle and 20% was sand (0.5 –2mm)

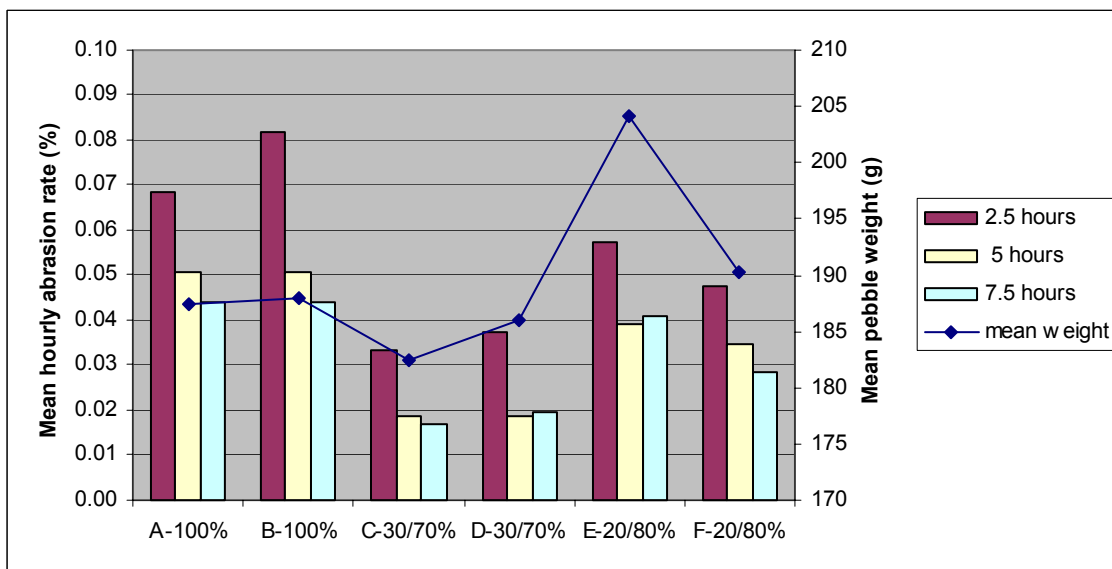


Fig 4: Mean hourly abrasion rates and average sample weights shingle and shingle / gravel mixes. Labels on the x-axis reflect the composition of the sample with 100% indicating that all the sample was flint, 30/70 that 70% were flint shingle and 30% was gravel and 20/80 that 80% were flint shingle and 20% war gravel

The results could indicate, that abrasion on the field is significantly lower than using flint only in the laboratory. However, surface material on beaches usually has a low sand content and is generally well sorted. As it is the surface material that undergoes movement and thus abrasion rather than the more fines rich beach core material, the reductions found in the laboratory cannot be transferred directly into reductions of the abrasion rate in the field.