

Levoy Franck, franck.levoy@unicaen.fr

RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES OUVRAGES ET AMENAGEMENTS RECENTS DE STABILISATION DU TRAIT DE COTE DU DEPARTEMENT DE LA MANCHE : COMPORTEMENT DES STRUCTURES ET CONSEQUENCES ENVIRONNEMENTALES

LEVOY Franck¹, MONFORT Olivier¹ & BONTE Yoann²

¹ CREC - Station Marine de l'Université de Caen Normandie, 54 rue du Docteur Charcot,
14530 Luc-sur-Mer, France

² ESITC-Caen, 1 rue Pierre et Marie Curie, 14610 Epron, France

RESUME : *Confronté à une reprise soutenue de l'érosion du trait de côte depuis quelques années, plusieurs collectivités locales du Département de la Manche se sont tournées vers des dispositifs de stabilisation du trait de côte encore rarement mis en œuvre sur le littoral français. Des géotubes de 25 m de longueur d'une part et des géocontainers, de plus petit gabarit (2,5 m×2 m×0,5 m) d'autre part, constitués tous les deux d'une enveloppe externe en polypropylène, ont été disposés sous forme d'épis perpendiculaires au rivage ou parallèlement à ce dernier, en pied de dune. Sur un autre site, un choix différent a été fait avec la mise en place d'une batterie de pieux en bois serrés, dressés verticalement à quelques mètres en avant du trait de côte en érosion. Le suivi topographique de l'environnement et des structures sur environ 5 années a mis en évidence une efficacité partielle de ces structures, insuffisantes pour stopper complètement l'érosion lors des tempêtes Eleanor en janvier 2018 et Ciara en février 2020. Pour les structures modulaires, en matériaux plastiques, leurs déformations sous l'effet des vagues sont apparues relativement importantes. De plus, elles sont vulnérables à des actes de vandalisme. Pour l'ouvrage en pieux de bois, si l'efficacité reste mitigée au bout de cinq années en termes de stabilisation de la plage et du trait de côte, dont l'évolution dépend également d'autres considérations locales (proximité d'autres ouvrages), sa stabilité et son intégration environnementale apparaît finalement plus satisfaisante que les aménagements précédents avec un caractère de réversibilité aussi important.*

MOTS CLEFS : ouvrages de gestion du trait de côte, expérimentations, impacts environnementaux, littoral sableux normand.

ABSTRACT (en anglais): *Faced with an increasing shoreline retreat in the recent years, several local authorities in the Département de la Manche (France) chose coastal protections rarely experimented along the French coasts. Geotubes of 25 m length and smaller geocontainers, both made with polypropylene geotextiles were deployed as a groin or alongshore close to the dune foot. Somewhere else, a different choice was made with the building of an upperforeshore permeable breakwater using vertical wooden piles. Topographical monitoring of the beaches and shoreline, but also of the engineering structures during about 5 years shows a partial efficiency of these solutions, not being able to completely*

stop the erosion during the major storms Eleanor and Ciara respectively in January 2018 and February 2020. For the two plastic-made modular structures, their movements and deformations under wave impacts appeared relatively important. They are also vulnerable to vandalism. For the wooden permeable structure alongshore-oriented, its efficiency must be confirmed, independently from effects of neighbouring structures, but its stability and environmental integration seem better than the previously mentioned geotextile structures, with such an important reversibility capability.

KEYWORDS: coastal management engineering, experiments, environmental impacts, sandy Normandy coastline.

1. INTRODUCTION

Confrontées à une érosion du trait de côte importante depuis quelques années, certaines communes de la côte ouest du Cotentin (Département de la Manche), où des biens se sont avérés menacés par la mer à court terme, ont mis en œuvre des techniques de stabilisation du trait de côte encore marginales et souvent à caractère expérimental. Il s'agit de géotubes de 25 m de longueur et de différents diamètres installés en pied de dune à Gouville-sur-Mer et transversalement au trait de côte, de geocontainers, plus petits que les géotubes, mis en œuvre à Saint-Jean-le-Thomas et enfin de pieux en bois dressés verticalement sur la haute plage à proximité du trait de côte à Blainville-sur-Mer. Ces ouvrages visent soit à stopper directement le recul du trait de côte quand ils sont localisés en pied de dune, soit à agir sur le niveau de la plage afin d'accentuer la dissipation de l'énergie des vagues par une implantation transversalement au trait de côte, soit encore à atténuer la dynamique des vagues après déferlement, dans la zone de swash en particulier, afin de réduire leur impact érosif sur les fronts de dune. Tous ces aménagements de stabilisation du rivage ont donné lieu à des suivis topographiques sur plusieurs années permettant d'apprécier leurs impacts positifs et négatifs sur l'évolution du trait de côte, de la plage voisine, mais aussi d'apprécier leurs déformations éventuelles et plus globalement leur intégration environnementale.

2. SITES D'ETUDES

Le littoral sableux de la façade ouest des côtes du Département de la Manche présente des taux d'érosion parfois importants mettant en péril des biens situés à proximité du rivage. De nombreux ouvrages de défense contre la mer ont été construits à l'issue des tempêtes des années 60 à 70, puis au milieu des années 80 et début 90, principalement des digues à talus en enrochements. Afin de mieux hiérarchiser les priorités en termes de travaux, le Conseil Départemental de la Manche a confié au Centre de Recherches en Environnement Côtier de l'Université de Caen-Normandie le suivi de l'évolution du littoral dès le début des années 90 (<http://crec.unicaen.fr/suivi50/>). Ce suivi a eu pour objectif également d'améliorer les connaissances scientifiques sur l'évolution du trait de côte et des plages sur environ 30 ans, apportant ainsi une quantité d'informations utiles pour la gestion du trait de côte et l'ingénierie littorale. Parmi les sites les plus vulnérables en raison des enjeux situés à proximité du rivage,

trois sites se distinguent du fait d'une reprise de l'activité érosive depuis 2010 avec notamment un hiver très tempétueux en 2013-2014 (Masselink et al., 2016), puis les tempêtes Eleanor en janvier 2018 et Ciara en février 2020, conjuguant des niveaux d'eau à pleine mer particulièrement élevés car en marée de vives-eaux et une agitation importante. Cette conjonction s'avère très favorable à un recul accru des traits de côte constitués de cordons dunaires sableux. Les menaces de destruction de biens et même de création de brèches dans le cordon dunaire pouvant induire des submersions des zones basses d'arrière-dune, souvent situées sous les niveaux des plus hautes mers, ont alors induit une multiplication d'opérations, souvent dans l'urgence, visant à ralentir ou stopper le recul dunaire.

Le suivi des zones d'études a été mené à la fois dans le cadre de celui de l'évolution du littoral de la Manche, mais aussi dans le cadre d'actions spécifiques locales à la demande des communes ou communautés de communes. A l'échelle du département, des mesures par LiDAR aéroporté ont pu être effectuées, à l'échelle locale la mise en œuvre de drones a permis, comme avec le LiDAR, l'obtention de données topographique X, Y et Z en coordonnées absolues de grande précision (< 10 cm, jusqu'à 5 cm).

2.1 Gouville-sur-Mer

Le site de Gouville-sur-Mer (figure 1) est constitué d'un cordon dunaire orienté NNE-SSO de faible hauteur, entièrement constitué de sables fins. Les biens en bordure du littoral sont relativement réduits, essentiellement un restaurant, un poste de secours en mer et deux campings, ainsi qu'une aire de campings-cars, l'ensemble étant relié par un réseau routier communal. Une zone submersible, située sous le niveau des pleines mers centennales, existe sur cette commune, mais est située, au plus proche, à plus de 200 m environ du trait de côte actuel. Ce site est marqué par une érosion du trait de côte historique combattue au droit des campings depuis de nombreuses années par différents dispositifs, notamment des épis en bois et des big bags disposés en pied de dune. La reprise de l'activité érosive au début des années 2010 a progressivement détruit ces aménagements de protection, nécessitant, compte-tenu des enjeux et de la vulnérabilité immédiate des biens, d'autres actions. La présence d'une cale d'accès à la mer en béton, perpendiculaire au trait de côte met en évidence l'existence d'une dérive littorale sableuse se traduisant par une relative stabilité, voire une avancée vers la mer du trait de côte sur son flanc sud à l'amont dérive et une érosion, côté Nord. Cette cale construite dans les années 60 est partiellement responsable de l'érosion du trait de côte le long de la zone où se trouve la majorité des biens menacés car elle bloque une partie de la dérive sédimentaire, ici orientée SSO-NNE. Toutefois, d'autres causes sont aussi à l'origine d'une érosion massive de la plage sur la zone considérée et donc du recul du trait de côte lors des tempêtes de vives-eaux. Pour répondre à cette nouvelle dynamique tempétueuse observée depuis quelques années, la municipalité de Gouville-sur-Mer a préalablement émis le souhait de fixer le trait de côte en recul par une digue à talus en enrochements. Ce projet ayant été refusé par les services de l'Etat compétent en la matière, une orientation plus novatrice a dû être choisie reposant sur l'installation de géotubes de la société TENCAT. Le dispositif installé est constitué d'un épi en

T (photo 1a) associant trois géotubes de 25 m de longueur et 2 m de hauteur en place positionnés perpendiculairement au trait de côte à l'extrémité de la zone à enjeux afin de capter une partie de la dérive sédimentaire et ainsi rehausser la haute plage sur un linéaire 2 à 4 fois la longueur de l'ouvrage, soit 150 à 300 m. A l'extrémité de la partie épi, une barre en géotubes légèrement refermée aux extrémités constituées de 3 géotubes d'un mètre de hauteur a été mise en place afin principalement de bloquer les départs sableux pouvant s'effectuer vers le large lors des épisodes tempétueux. L'ensemble de ces géotubes est constitué d'une première enveloppe externe de matériaux plastiques tissés, associée en interne à une seconde enveloppe constituée d'un géotextile non tissé. Chaque géotube est rempli hydrauliquement sur place par du sable de provenance locale, nécessitant une installation conséquente de pompes d'eau de mer permettant de refouler un mélange sable-eau (80-20%) dans des bouches aménagées sur la partie supérieure des géotubes. L'épi en T considéré comme expérimental a été complété par la pose d'une vingtaine de géotubes de 1,5 m de hauteur en pied de dune sur une grande partie du trait de côte vulnérable, afin de limiter le recul du front de dune (photo 1b).

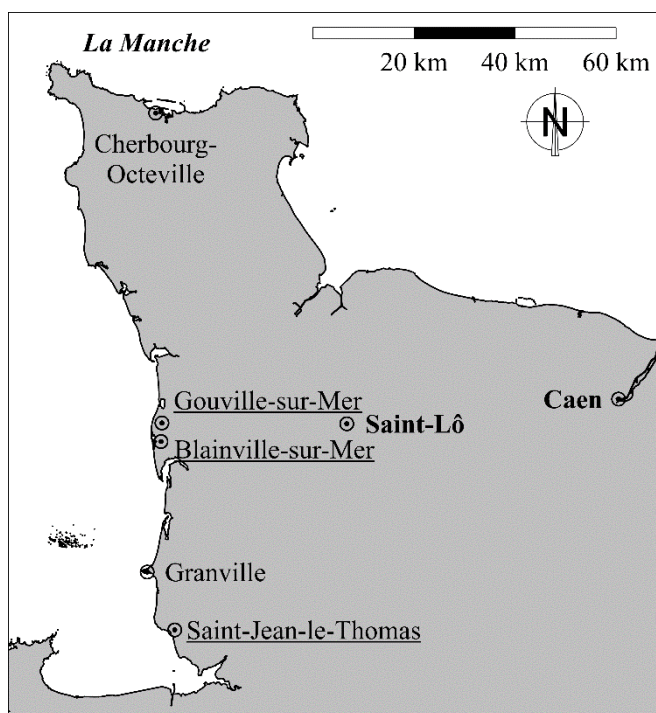


Figure 1 : Localisation des sites d'études



Photo 1 : Géotubes disposés en épi en T (a) ; posés en pied de dune (b)

2.2 *Saint-Jean-le-Thomas*

Le site de Saint-Jean-le-Thomas (figure 1) est caractérisé par une très forte érosion historique au Sud d'une digue à talus en enrochements implantée dans les années 60. Le recul y atteint plus de 2,5 m/an sur la période de janvier 1992 à octobre 2021. L'accélération du recul du trait de côte à partir de 2010 a conduit les collectivités à envisager des solutions de stabilisation du trait de côte. Compte-tenu de l'existence d'une dérive littorale Nord-Sud, un épi expérimental a été mis en place en juin 2016 au Sud d'un secteur d'environ 500 m de linéaire où la faible largeur du cordon dunaire pourrait, à terme, favoriser la formation de brèches induisant une submersion de la zone arrière littorale. L'épi implanté perpendiculairement au trait de côte, d'une longueur de 35 m, était constitué d'environ 40 géocontainers de 2,5 m de longueur, 2 m de largeur et 0,5 m de hauteur, d'une masse de 4,5 à 6 t, fabriqués et mis en œuvre par la société Espace Pur (photo 2). Composés d'une double enveloppe en geotextile plastique (polyéthylène téréphtalate ou PET et polypropylène ou PP), les modules ont été remplis de sable de carrière hydrauliquement et transportés jusqu'au site par camion. Dans un cadre environnemental marqué par la présence du Mont-Saint-Michel à quelques kilomètres, les ouvrages en enrochements ne sont pas autorisés sur ce site.



Photo 2 : Epi de Saint-Jean-le-Thomas constitué de géocontainers (avril 2017).

2.3 *Blainville-sur-Mer*

Le site de Blainville-sur-Mer (figure 1) est caractérisé par un recul de la côte modéré le long d'un cordon dunaire étroit. Il est situé à proximité immédiate d'une cale d'accès à la mer. Le dispositif de protection, initié localement, repose sur l'installation de pieux en bois de 0,3/0,4 m de diamètre en moyenne, dressés verticalement à proximité du trait de côte, espacés d'environ 80 cm à 1 m et disposés principalement en quinconce sur plusieurs rangées (photo 3). Implantés en 2017, en deux phases, sur un linéaire d'environ 450 m en avant du front de dune, l'objectif est de briser la dynamique du déferlement et de la zone de swash pour éviter un abaissement de la haute plage et stabiliser ainsi le trait de côte voisin. Ce dispositif a été étendu

à plusieurs secteurs de la côte ouest du Cotentin encore récemment comme au Sud de la commune de Agon Coutainville.

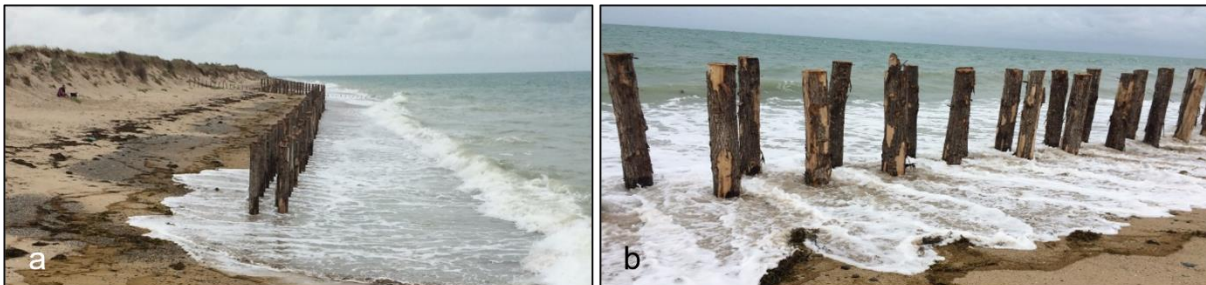


Photo 3 : Double rangée de pieux en bois en avant du trait de côte de Blainville-sur-Mer (a) interaction swash-pieux visant à réduire l'énergie des vagues sur la haute plage (b)

3. RESULTATS

3.1 Evolutions altimétriques

Les mesures topographiques réalisées à différentes dates permettent tout d'abord d'analyser les conséquences des différents ouvrages sur les évolutions altimétriques de la zone environnant le site d'implantation. Dans un second temps, elles peuvent également servir à déceler des déformations sur les ouvrages mis en place.

- *Evolution de la plage et du trait de côte autour des géotubes de Gouville-sur-Mer*

Les géotubes de la plage de Gouville-sur-Mer ont été mis en place sur une période de 3 mois et demi à la fin de l'année 2017 dans des conditions difficiles marquées par plusieurs tempêtes (Ana, Bruno, Carmen et Dylan), favorables à une érosion de la plage sur le site d'implantation. Un suivi a été effectué sur 3 ans et demi afin d'apprécier l'efficacité du dispositif (figure 2a).

Suite la construction de l'épi en T et à un rechargement en sable d'environ 10 000 m³ immédiatement au Sud de cet ouvrage afin d'anticiper son impact positif sur la plage, les évolutions apparaissent très contrastées après 40 mois de suivi. L'épi expérimental a permis de stabiliser la haute plage sur deux fois sa longueur environ, ce qui reste modeste compte-tenu de l'étalement des enjeux sur plus de 1000 mètres-linéaires. En revanche, il n'a pu empêcher le recul du trait de côte de manière efficace. Ainsi, il est possible de constater un recul de 3 à 5 m devant les campings de Gouville-sur-Mer, de 7 à 15 m immédiatement au Sud, le long de l'aire de stationnement des campings-cars et enfin de 26 à 43 m environ, immédiatement au Nord de l'épi en T le long d'un secteur dunaire sans aménagements vulnérables (figure 2b). Que ce soient l'épi en T ou les géotubes disposés en pied de dune, aucun de ces aménagements n'a réussi à contenir l'action des tempêtes durant des marées de vives-eaux. Dans le détail, malgré une nette stabilisation de la haute plage par l'épi, témoignant d'une dérive littorale Sud-Nord conforme aux prévisions, l'ouvrage a été fortement vandalisé en janvier 2019 à l'aide d'un objet tranchant. L'ouverture pratiquée sur le flanc du géotube supérieur sur une longueur de plus de 6 m n'a pas pu être réparée, laissant fuir le sable contenu dans ce module (photo 4a). Sa perte de hauteur, d'environ 1 m, n'a donc pas permis à l'épi de stocker à l'amont-dérive le volume de sable

suffisant pour réduire l'action érosive des vagues de tempêtes. Au Nord de cet ouvrage, l'effet de sous-alimentation sédimentaire a été important avec un retrait du trait de côte majoré sur un peu plus d'une centaine de mètres-linéaires vers le Nord. Les géotubes placés en pied de dune directement au Nord de l'épi en T pour limiter cette érosion ont ainsi été rapidement contournés. Il en est de même pour l'ensemble des géotubes posés en pied de dune entre la cale d'accès à la mer et les campings (photo 4b). En effet, ces géotubes ont été franchis par les vagues lors des tempêtes en vives-eaux Eleanor, puis Ciara, provoquant un recul du trait de côte significatif, même si ce dernier entre 7 et 15 m, est moins important que celui observé sur le secteur naturel au Nord de la zone d'étude (figure 2b).

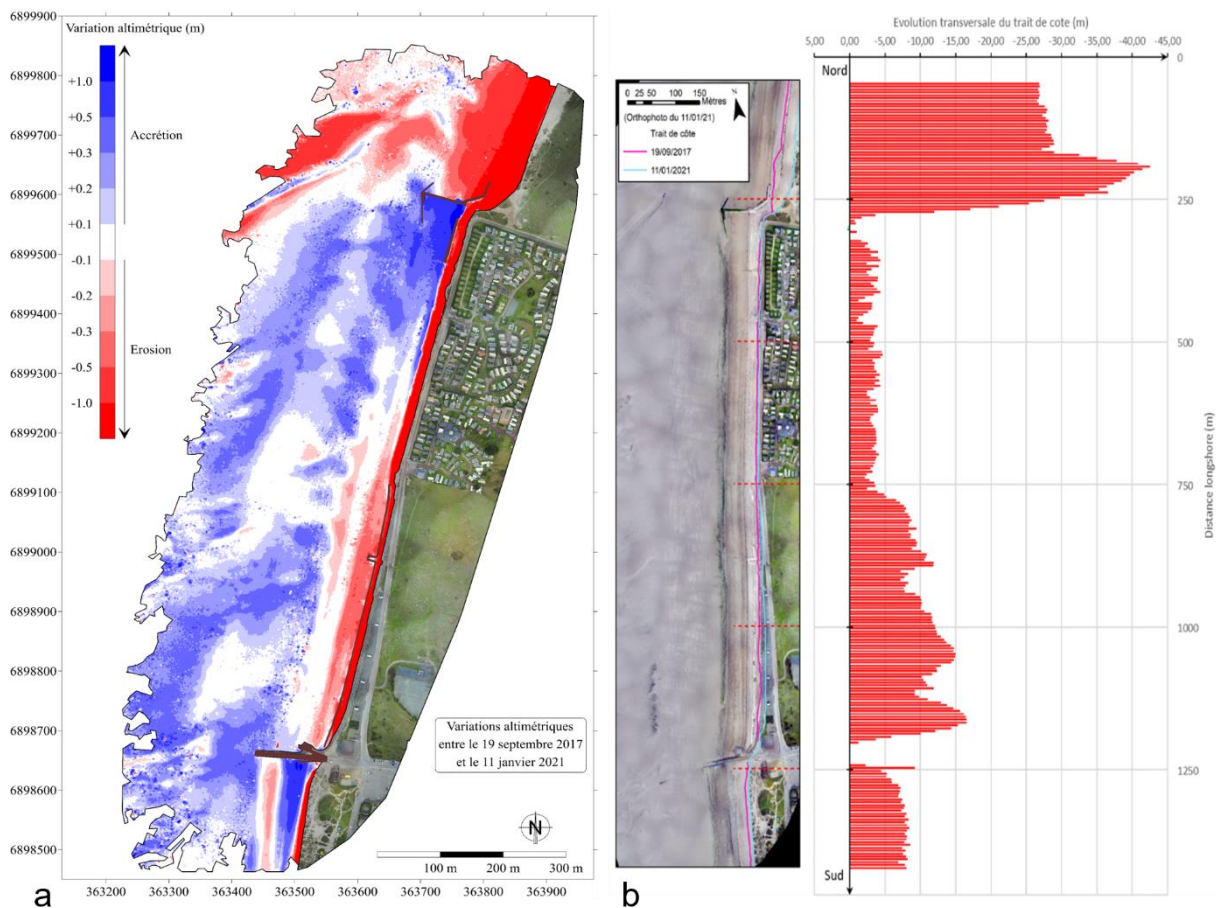


Figure 2 : Evolution altimétrique de la plage de Gouville-sur-Mer entre septembre 2017 et janvier 2021 (a) ; évolution du trait de côte sur la même période (b).

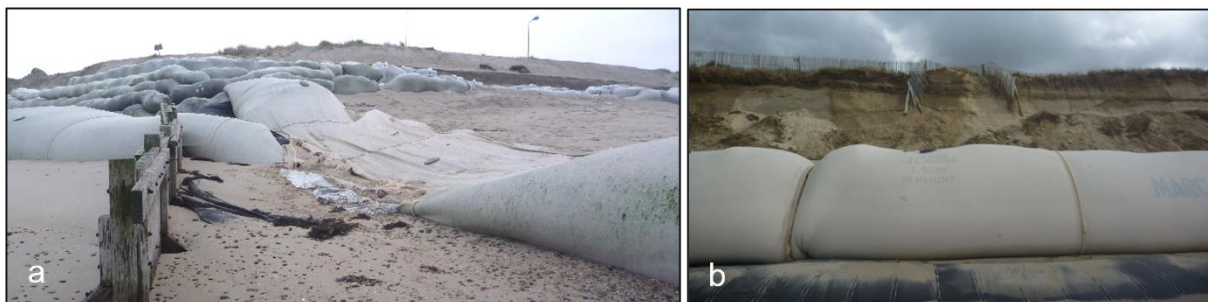


Photo 4 : dégradation d'un des géotubes de l'épi de Gouville-sur-Mer à la suite d'un acte de vandalisme (a) ; Géotubes disposés parallèlement au rivage, en pied de dune initialement, franchis par les vagues lors des tempêtes Eleanor (2018) et Ciara (2020), provoquant un recul significatif du trait de côte.

- *Comportement du littoral de Saint-Jean-le-Thomas*

Le suivi de la plage de Saint-Jean-le-Thomas a débuté en juin 2016 et des relevés ont été effectués tous les 6 mois principalement par drone aérien. Au cours d'une première période aux conditions hydrodynamiques relativement clémentes (juin 2016 - avril 2017), l'épi en géocontainers a permis de ralentir l'érosion chronique de la plage à l'amont dérive de l'ouvrage, mais très vite cet ouvrage s'est avéré insuffisant compte-tenu de l'ampleur du phénomène. Les tempêtes lors de grandes marées (Eleanor en janvier 2018 et Ciara en février 2020) ont fortement érodé la plage et son trait de côte, et ont également impacté l'ouvrage, entraînant sa dislocation partielle malgré la masse des géocontainers.

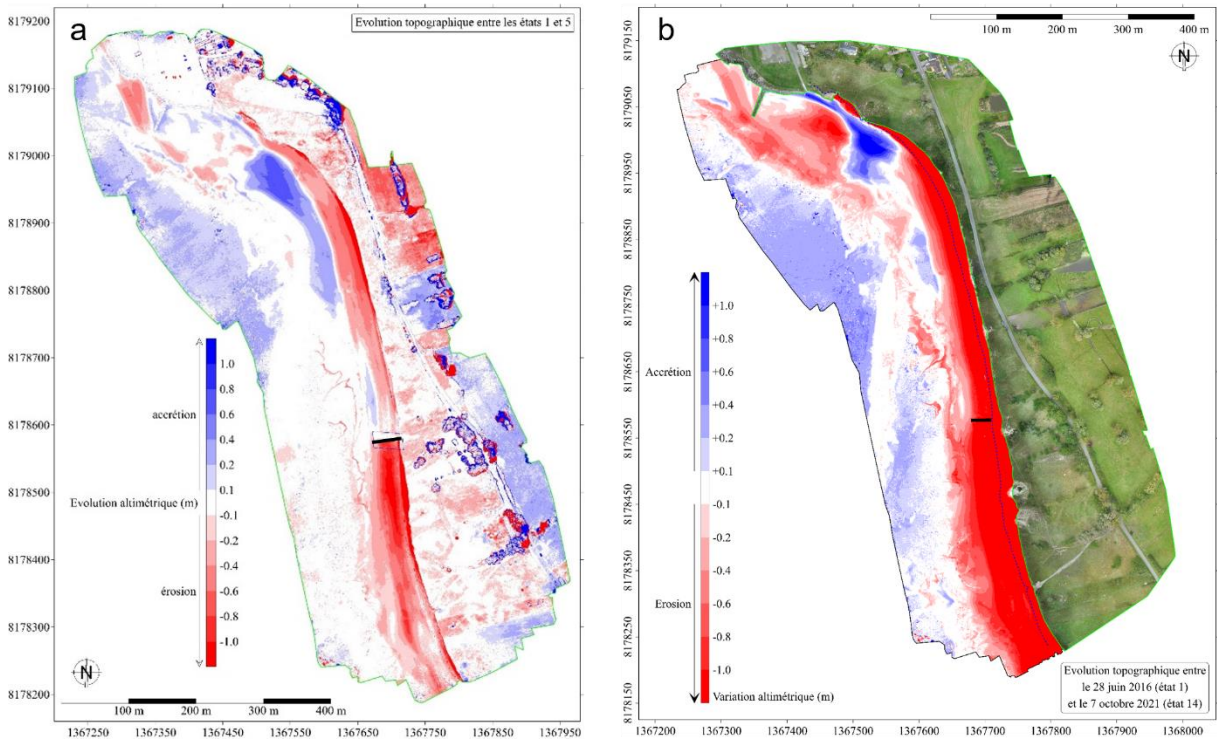


Figure 3 : Comparaison état 1 (28 juin 2016) et état 5 (28 avril 2017) (a) ; l'épi a été construit à partir du 21 juin 2016 ; Comparaison état 1 (28 juin 2016) et état 14 (7 octobre 2021) (b).

La plage au Nord de l'ouvrage s'est grandement abaissée (figures 3a et b), entraînant un recul du trait de côte sur l'ensemble de la zone. L'effet positif de l'épi a toutefois été toujours visible avec un niveau de la plage plus élevé au Nord de l'ouvrage, à l'amont-dérive sédimentaire, qu'immédiatement au Sud à l'aval-dérive. Finalement, le trait de côte a fortement été érodé au cours des 5 ans et demi de suivi avec un retrait de 17 m au Nord de l'ouvrage et de plus de 20 m au Sud (figure 4), mais l'effet sur l'évolution du trait de côte de celui-ci, malgré sa dégradation, est sensible. Son rôle cumulé sur la période de suivi de l'évolution du trait de côte reste significatif au Nord de l'ouvrage sur une distance d'environ 3 fois sa longueur. Cet impact

positif est la conséquence de son fonctionnement satisfaisant, surtout au début du suivi. Cette efficacité a ensuite commencé à se dégrader après les tempêtes de 2018 et 2020. Cet ouvrage a ainsi permis de réduire de moitié le recul du trait de côte par rapport aux zones les plus érodées situées au Nord de son implantation. Il est toutefois à l'origine d'un déficit sédimentaire côté sud, favorisant l'érosion accrue du trait de côte évoquée précédemment pour la plage au Sud de l'ouvrage.

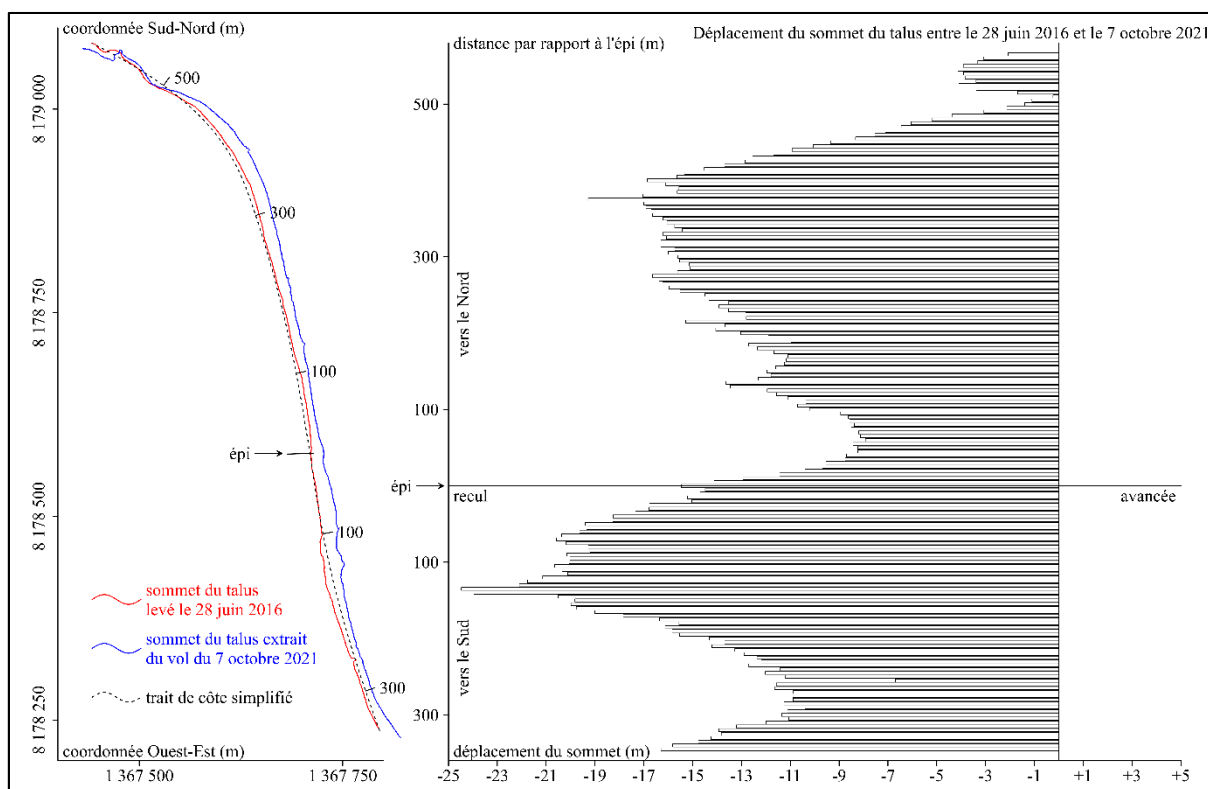


Figure 4 : Evolution du trait de côte (corniche dunaire) entre le 28 juin 2016 et le 7 octobre 2021 de part et d'autre de l'épi en géocontainers.

- Evolution de la plage et du trait de côte à Blainville-sur-Mer

La pose de pieux visant à réduire l'énergie du swash (jet de rive) et les collisions avec le front de dune lors des tempêtes en marées de vives-eaux a pour objectif de stabiliser la plage sur sa partie supérieure au contact du trait de côte. Les mesures effectuées après la tempête Eleanor (figure 5a) en janvier 2018 indiquent une médiocre efficacité du dispositif avec une nette érosion de la plage d'une part et du trait de côte d'autre part. La cale d'accès à la mer apparaît comme une discontinuité dans l'évolution de la plage avec à l'amont-dérive une accrétion de la haute plage et à l'aval une nette érosion. L'influence de la cale sur la dynamique longitudinale des sables apparaît plus importante dans le contrôle de l'élévation de la haute plage que celle des pieux à l'échelle de cet événement tempétueux.

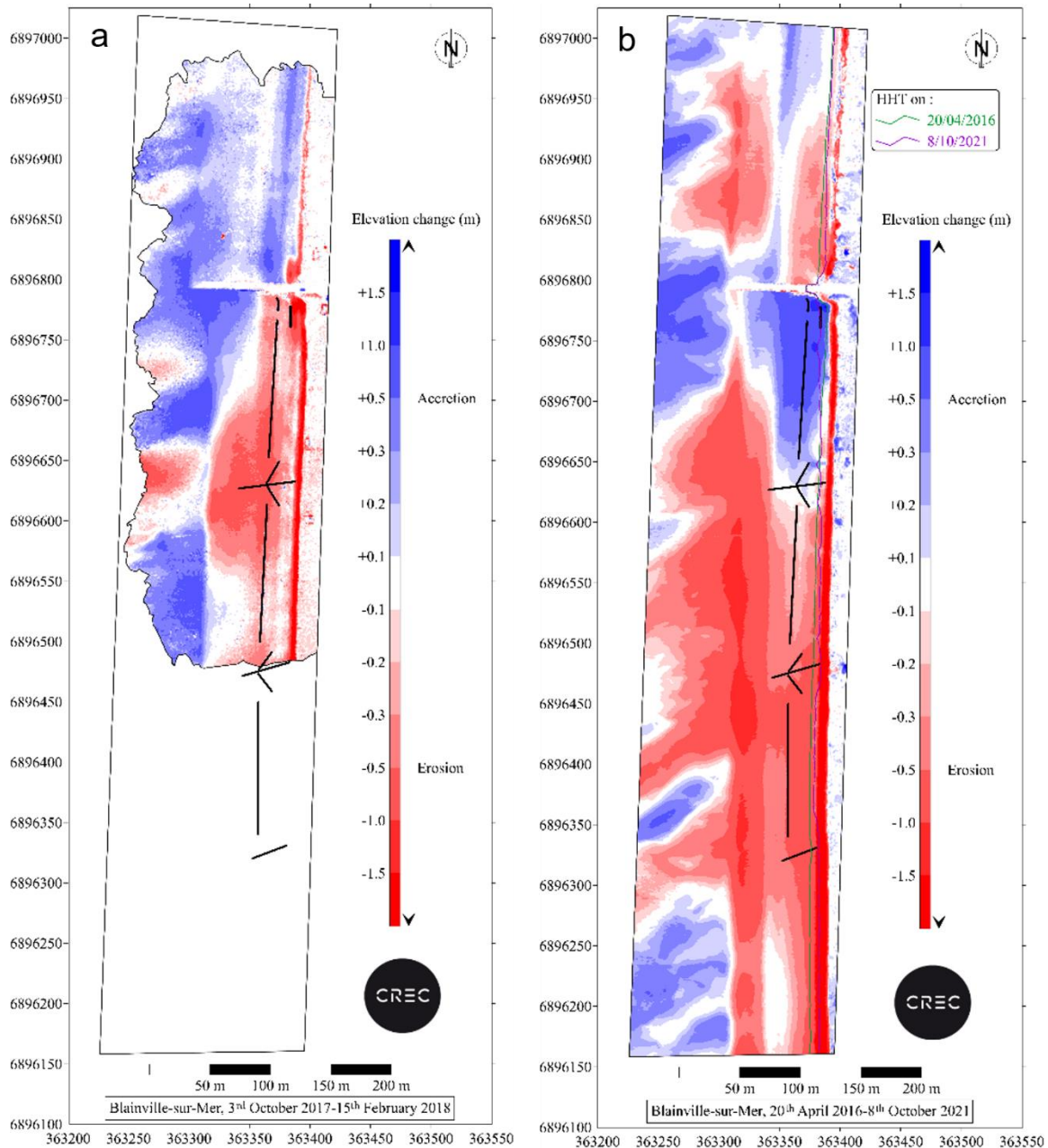


Figure 5 : Evolution altimétrique de la plage de Blainville-sur-Mer entre octobre 2017 et février 2018 faisant suite à la tempête Eleanor (janvier 2018) (a) ; Evolution altimétrique de la plage et du trait de côte entre avril 2016 et octobre 2021 (b).

A une échelle pluriannuelle (figure 5b), l'évolution de la haute plage où sont implantés les pieux est contrastée longitudinalement. L'érosion domine sur l'ensemble de la zone au Sud de la cale d'accès à la mer, mais une très nette accumulation de sable est observée sur le premier tiers du dispositif de stabilisation avec les pieux, au contact de la cale d'accès à la mer. Le niveau des plus hautes mers avance vers le large à cet endroit alors que plus au Sud, il a nettement reculé entre 2016 et 2021. Cette variabilité longitudinale de l'évolution de la plage suggère à nouveau une influence de la cale à cette échelle pluriannuelle avec, par ailleurs, un possible impact positif de la batterie de pieux, mais qui reste localisé. La moindre érosion de la plage autour des pieux

sur le second tiers du dispositif témoigne de cet effet bénéfique, mais localisé, des pieux sur l'altimétrie de la plage. Il convient de souligner qu'au Nord de la cale, sur 5 années de suivi, une érosion de la haute plage est observée sur 150 m environ, longueur par ailleurs équivalente à l'accrétion constatée au Sud de la cale.

3.2 Comportements des structures

- *Evolution des géotubes de Gouville-sur-Mer*

Les géotubes de Gouville-sur-Mer, malgré leur dimension et leur masse conséquente, apparaissent relativement mobiles. Ainsi, les mesures topographiques et les données orthophotographiques montrent des déplacements significatifs, dans le sens de la pente de plage le plus souvent. La figure 6 montre un déplacement des géotubes initialement localisés en pied de dune variant entre 0,5 et presque 3 m vers l'Ouest. Ce déplacement horizontal correspond en fait au roulement des géotubes sur eux-mêmes vers la partie de la plage la plus basse située juste devant eux. Les mouvements les plus rapides sont liés au fait que la crête de certains géotubes est plus basse altimétriquement ce qui concentre le retour vers la mer des eaux de franchissement, induisant une mobilité de la structure vers le large.

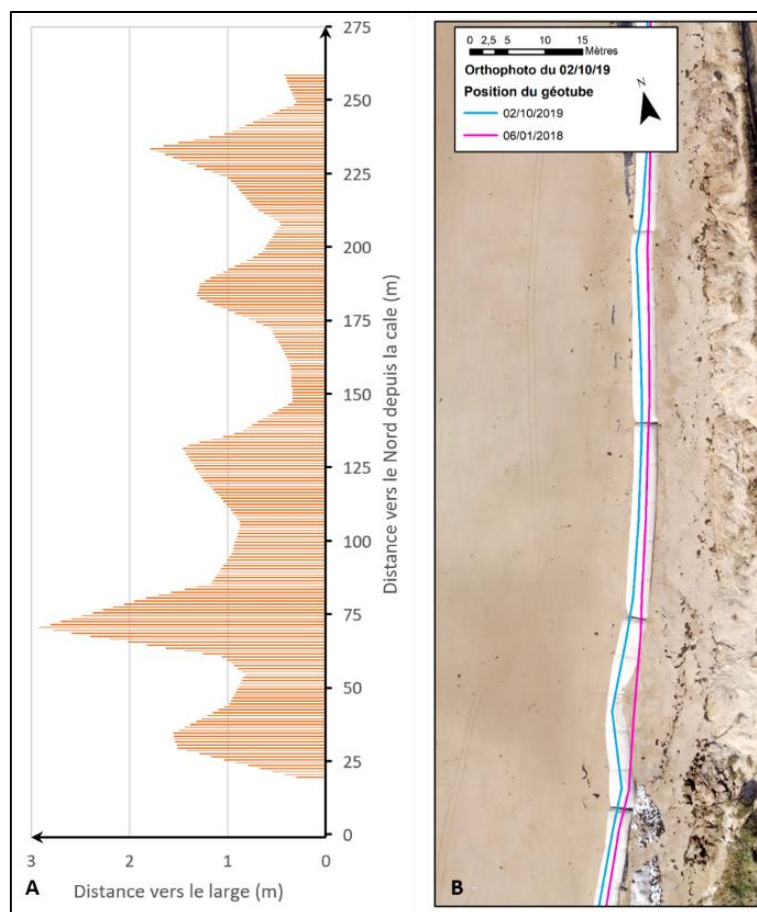


Figure 8 : Mesures du déplacement des géotubes situés au Nord de la cale d'accès à la mer (A) et visualisation des déplacements sur un tronçon de l'ouvrage proche de la cale (B).

A une échelle « macroscopique », l'action des vagues déferlantes dans un contexte de forte turbidité et d'action abrasive du sable semble pouvoir induire ponctuellement la rupture des fibres constituant les matériaux géosynthétiques des géotubes (photo 5a). Bien évidemment, si des petites ouvertures sont réparables, de plus grandes posent le problème du coût d'un amené et repli des équipements nécessaires pour remettre en place un géotube de 25 m de longueur. Mais les désordres les plus conséquents ont été observés au niveau des nappes textiles installées sous les géotubes dont le rôle est la protection anti-affouillement. Dans un contexte d'une plage très évolutive, celles-ci sont souvent apparues à l'air libre (photo 5b), témoignant d'un abaissement du niveau de la plage. Constituées d'un matériel tissé, ces nappes se sont avérées fragiles, montrant relativement souvent des trous (photo 5c), laissant fuir le sable sous-jacent, ce qui peut nuire à terme à la stabilité du géotube.

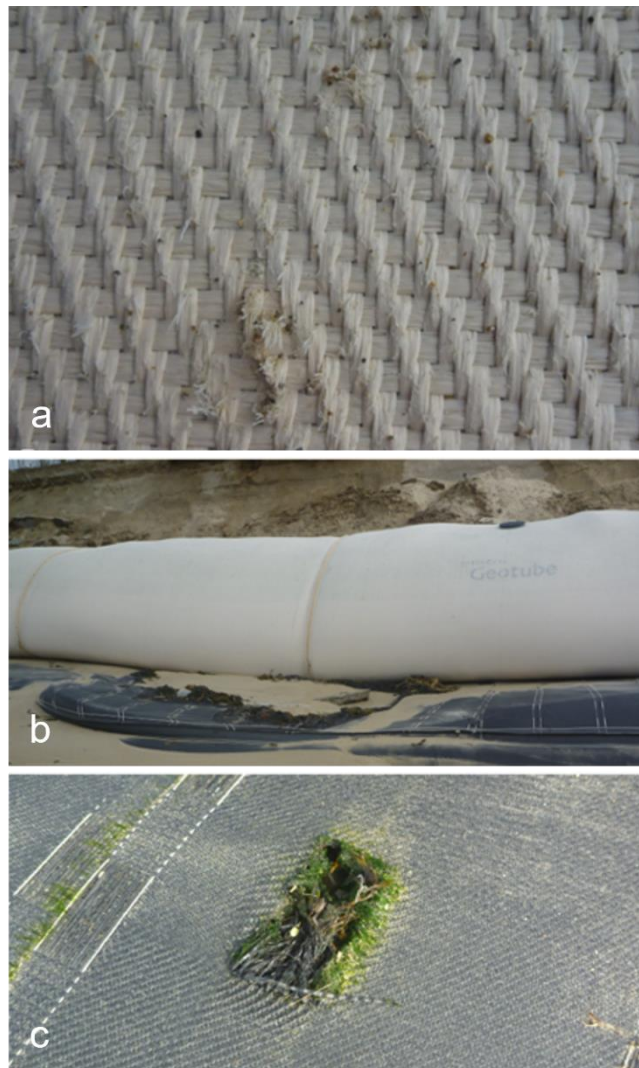


Photo 5 : zoom sur la structure tissée de l'enveloppe extérieure des géotubes laissant apparaître des ruptures de fibres (a) ; mise à l'air libre après érosion de la plage de la nappe anti-affouillement noire présente sous les géotubes (b) ; exemple de dégradation de la nappe anti-affouillement (c).

- *Comportement de l'épi en géocontainers du littoral de Saint-Jean-le-Thomas*

Très rapidement après sa construction, l'épi de Saint-Jean-le-Thomas a montré des points de faiblesse. Des déformations des géocontainers ont d'abord été observées, témoignant d'une mobilité du sable à l'intérieur des modules. Les geotextiles utilisés se sont avérés très fragiles avec une usure prématurée (photo 6a), des déchirures de la première enveloppe étant observées à peine un an après la pose des géocontainers. Un verdissement est également observé témoignant d'une colonisation par des algues pouvant rendre l'ouvrage glissant. Des pièces collées au niveau des bouches de remplissage ont également commencé à se décoller (photo 6b).

Les dégradations les plus importantes ont été observées à l'échelle de l'épi avec une détérioration de la structure même de l'ouvrage, à l'issue des principales tempêtes, impactant son efficacité (photo 7). Des géocontainers ont été largement déplacés, voire retournés sous la puissance des vagues déferlantes, disloquant ainsi l'ouvrage et réduisant son effet vis à vis du transit sédimentaire.



Photo 6 : usure prématurée des matériaux constituant l'enveloppe externe des géocontainers de l'épi de Saint-Jean-le-Thomas (a) ; décollement de pièces fermant les bouches de remplissage des géocontainers (b).

- *Evolution des pieux de la plage de Blainville-sur-Mer*

Les pieux en bois de la plage de Blainville-sur-Mer ont peu évolué à l'issue de la période de suivi, laissant présager d'une maintenance réduite du dispositif. Sans pouvoir réellement en valider la cause, il s'avère que certains pieux se sont penchés vers le haut de plage lors des premières tempêtes qu'ils ont eu à subir (photo 8). Bien évidemment, la longueur trop réduite d'enfouissement peut être la cause de ce désordre, mais aussi, lors des plus hautes mers, la flottabilité du bois d'une part, et les vibrations induites par l'impact des vagues d'autre part, pourraient également expliquer ces problèmes d'instabilité. Le bois lui-même, après 5 années de suivi, ne présente pas de détérioration spécifique.



Photo 7 : Vues verticales de l'épi expérimental de Saint-Jean-le-Thomas en novembre 2019 (a) à l'issue de la tempête Eleanor et octobre 2020 (b) à l'issue de la tempête Ciara.



Photo 8 : Pioux en position inclinée, résultant des actions marines sur le haut estran de Blainville-sur-Mer.

4. DISCUSSION.

4.1 Impacts positifs et négatifs

Les géotubes de Gouville-sur-Mer impactent fortement l'évolution altimétrique de la plage. L'effet d'épi est très net avec une accrétion de la plage à l'amont-dérive de la structure en T et

une forte érosion de la plage et du trait de côte au Nord, à l'aval-dérive. En d'autres termes, les géotubes agissent autant qu'un ouvrage transversal constitué d'autres matériaux (enrochements, bois...). En pied de dune, opposées frontalement aux vagues de tempêtes, leurs parois relativement lisses et proches de la verticale, en font un obstacle relativement réfléchissant. De fait, le niveau de la plage au cours des événements tempétueux s'abaisse notablement ce qui est défavorable à leur stabilité. Toutefois, cette situation ne semble pas pérenne sur le cas étudié et en période favorable, le sable peut revenir très rapidement s'accumuler entre les géotubes et la dune, et dans certains cas recouvrir les géotubes. Sur l'exemple de Gouville-sur-Mer, la pose des géotubes lors de l'hiver tempétueux fin 2017 n'a pas permis de les disposer à des cotes altimétriques suffisamment élevées. Leur franchissement lors des tempêtes en vive-eaux (Eleanor, Ciara) a été très important, ce qui a contribué à pérenniser le recul du trait de côte juste en arrière, bien que réduit de manière substantielle (environ 50% par rapport aux zones non protégées). Cela met en relief l'importance de la topographie initiale du site et des conditions d'implantation des ouvrages qui ne doivent pas être négligées pour une réussite des projets.

L'épi de Saint-Jean-le-Thomas a induit une évolution de la plage environnante et de son trait de côte conforme aux impacts attendus des ouvrages transversaux dans un contexte de dérive littorale. Sans stopper l'érosion à l'amont-dérive du fait de son intensité, il a pu la ralentir. En revanche, de la même manière qu'à Gouville-sur-Mer, il génère inévitablement un déficit sédimentaire à l'aval-dérive. Ces effets positifs n'ont toutefois pas été à la hauteur des attentes et la vulnérabilité de l'ouvrage dans les conditions tempétueuses rencontrées a mis un terme à l'expérimentation en décembre 2021. Ce qui restait de l'ouvrage à cette période a été retiré afin de restituer l'état naturel du site conformément à ce qui était prévu dans la démarche d'expérimentation.

La batterie de pieux en bois implantée sur environ 500 mètres-linéaires à Blainville-sur-Mer montre une réponse de la plage et du trait de côte contrastée longitudinalement. Il s'avère difficile de conclure sur les impacts de ce dispositif après 5 années de suivi. L'effet positif constaté se traduisant par une accumulation sédimentaire sur la haute plage pourrait résulter d'un effet local, en partie ou totalement lié à l'influence de la cale d'accès à la mer à proximité. Sur les 2/3 du linéaire traité, aucune stabilité de la plage n'est constatée, même si une moindre érosion semble se dessiner sur le second tiers du dispositif en continuité de l'accrétion plus au Nord. Si une réponse favorable du dispositif se profile, elle s'inscrirait sur une période de temps importante, de l'ordre de la décennie. Dans cet exemple, le sens du transit sédimentaire apparaît essentiel. Connue pour être normalement Nord-Sud sur la zone d'étude, il n'est pas impossible que sur la période considérée, ce dernier se soit inversé, expliquant l'évolution de la plage de part et d'autre de la cale, positive avec les pieux au Sud et négative au Nord. Dans ce cas, l'influence des pieux serait à minorer par rapport à celle de la cale.

4.2 Durabilité, réversibilité et intégration environnementale

L'utilisation de géotubes comme protection côtière sur des estrans à marée pose un certain nombre de problèmes. Sur le site de Gouville-sur-Mer, malgré un remplissage des géotubes respectant les règles de l'art, des déformations des modules, malgré leur masse considérable, ont été constatées. En pied de dune, les géotubes roulent sur eux-mêmes vers le large, de manière modérée toutefois. Il s'agit là d'un effet gravitaire, car leur réflectivité en tempête favorise un abaissement de la plage immédiatement en avant de chaque module qui est favorable à un appel au vide dans le sens de la pente. La dynamique des vagues franchissant les géotubes lors des tempêtes de vives-eaux crée un courant de retour localisé, puissant à la jonction entre deux géotubes (les extrémités arrondies des géotubes induisant un abaissement du niveau de crête) qui également contribue à l'abaissement de la plage, à la déformation des géotubes et à leur mobilité. A l'échelle « macroscopique », l'usure des matériaux tissés subissant le déferlement des vagues mélangées au sable est parfois visible. Cette abrasion pourrait être préjudiciable à court et à moyen terme, elle permet la libération de matières plastiques dans le milieu marin, ce qui n'est évidemment pas souhaitable. Les dimensions de ces géotubes en font des ouvrages peu réversibles et peu interchangeable à moindre frais. Leur vulnérabilité au vandalisme apparaît importante et les réparations d'une enveloppe déchirée est impossible pour des ouvertures importantes, ce qui contribue à vider de manière conséquente le géotube.

L'utilisation de géocontainers pour élaborer des épis est chose courante dans certains pays comme en Australie où la société Géofabrics met en œuvre ce type de géocontainers depuis plus de 20 ans, que ce soit sous la forme d'épis ou d'ouvrages longitudinaux de haut de plage de type digue à talus. La durabilité des matériaux a été éprouvée sur de nombreux sites étrangers. En France, l'absence de savoir-faire avec ce type de matériaux n'a pas permis d'obtenir des résultats satisfaisants. La durée de vie de l'ouvrage a été particulièrement courte du fait d'une part de l'usure des géocontainers dans le contexte agressif du déferlement des vagues, mais aussi d'autre part d'une masse des modules manifestement pas en adéquation avec les conditions de mer sur le site. Sur ce point la littérature souligne l'importance de différents points pour une bonne tenue des géocontainers constituant l'ouvrage. Ainsi, le taux de remplissage est un élément-clé (Recio et Oumeraci, 2007, 2009 ; Oumeraci et Regio, 2010). Si des espaces vides subsistent après remplissage ou si les conditions de manutention dans la phase de transport ou d'installation de l'ouvrage aboutissent après fermeture à une déformation des géotextiles augmentant le volume des géocontainers, une mobilité du sable à l'intérieur des géocontainers sera favorable à leur instabilité. Si par ailleurs, les tissus sont fragiles, la détérioration de l'ouvrage devient inévitable.

Malgré son caractère modulaire intéressant, permettant de modifier la géométrie de l'ouvrage au cours du temps, ce qui peut constituer un atout pour un épi qui pourrait être allongé ou raccourci, surélevé, voire surbaissé, auquel s'ajoute sa réversibilité totale, car l'ouvrage peut être enlevé facilement, le savoir-faire dans la conception des matériaux utilisés pour les géocontainers et leur mise en place sont des phases d'une grande importance à ne pas négliger

pour garantir une durabilité correcte à ce type d'ouvrages. Conditions qui n'ont pas été obtenues pour le site de Saint-Jean-le-Thomas.

Après 5 années d'expérimentation, la batterie de pieux de Blainville-sur-Mer reste pratiquement intacte, témoignant d'une bonne tenue à la mer. Lors de la première année toutefois, et sous l'effet de la tempête Eleanor, certains pieux se sont inclinés malgré leur profondeur d'enfouissement. Ce genre de désordre apparaît modéré les pieux pouvant être facilement remis en place à l'aide d'une pelle mécanique. Sur le plan environnemental, le bois semble peu se dégrader et seule l'écorce superficielle a disparu sur certains pieux. Le bois étant un élément naturel, sa dispersion le cas échéant en mer sera sans véritable dommage. La réversibilité du dispositif est par ailleurs très bonne et aisée si la solution ne convient plus. Les évolutions altimétriques induites par de tels dispositifs pourraient être relativement réduites et insuffisantes pour ralentir fortement, voire stopper le recul du trait de côte. La poursuite et l'extension du suivi sur d'autres sites s'avèrent nécessaires pour apprécier ce dernier point.

5. CONCLUSIONS

Les ouvrages réalisés en 2016 et 2017 pour stopper l'érosion du trait de côte accentuée depuis quelques années sur la côte ouest du Cotentin sont d'un type encore peu connu en termes d'impacts sur l'environnement hydro-sédimentaire et sur leur stabilité intrinsèque. Les géotubes de 25 m de longueur assemblés sous forme d'épis ou de protections de pied de dune d'une part et des géocontainers d'environ 2,5 m³, disposés également transversalement au rivage ont ainsi été utilisés pour réduire l'érosion du trait de côte, indirectement en favorisant l'élévation de la plage ou directement, en opposition frontale aux vagues. L'utilisation d'une batterie de pieux en bois dressés verticalement en avant du trait de côte est également à catégoriser dans les ouvrages actifs, comme les épis, car agissant sur l'atténuation de l'énergie des vagues au rivage pour favoriser la sédimentation en avant du trait de côte.

Tous ces ouvrages ont eu à subir des conditions tempétueuses intenses, notamment les tempêtes Eleanor en janvier 2018, puis Ciara en février 2020. Si les structures en épis ont permis de favoriser une élévation de la plage à l'amont-dérive sur une longueur de 2 à 3 fois celle de l'ouvrage, ce qui s'avère conforme aux attentes, aucune n'a eu l'efficacité attendue en matière de stabilisation du trait de côte dans ces conditions tempétueuses qui étaient conjuguées à des marées de vives-eaux. Le recul des fronts de dune n'a pu, dans le meilleur des cas, qu'être atténué. Plusieurs causes peuvent expliquer ces résultats. Pour Gouville-sur-Mer, une implantation des ouvrages lors d'une période hivernale très tempétueuse sur une topographie de plage très basse a été défavorable, favorisant par la suite un franchissement plus aisé des vagues de tempêtes au-dessus des géotubes. A cela s'ajoute, une mobilité de ces modules, pourtant de masse importante, qui abaisse leur crête. Leur vulnérabilité au vandalisme a également été un facteur qui a modifié l'altimétrie de certains géotubes, faisant décroître inmanquablement les performances du dispositif. A Saint-Jean-le-Thomas, les géocontainers ont, dès le début, montré la présence de poches d'air témoignant d'un remplissage peu satisfaisant ou d'une déformation des géotextiles lors du transport et/ou de leur mise en place

qui a contribué à leur instabilité et à la détérioration globale de l'épi. Par ailleurs, l'utilisation de matériaux plastiques comme enveloppe externe de ces différents modules n'apparaît pas satisfaisante car subissant une abrasion importante dans un contexte de vagues déferlantes chargées en sable, voire en galets. Finalement, ces ouvrages nous apparaissent plus destinés à une utilisation sous-marine qu'intertidale où ils s'avèrent très vulnérables. Les structures constituées de pieux en bois présentent une intégration environnementale bien meilleure, une modularité et réversibilité équivalente, voire plus aisée que les ouvrages en géotextile synthétique, un coût moindre en investissement et en mise en œuvre, mais leur efficacité après plus de 5 années de suivi reste à prouver car les évolutions positives de la plage constatées sont bruitées par la présence d'ouvrages voisins agissant également sur l'altimétrie de l'estran. Une poursuite de suivis multi-sites s'avère nécessaire pour conclure sur l'efficacité à moyen terme de ces structures en bois.

6. REMERCIEMENTS

La commune de Gouville-sur-Mer et la communauté d'agglomération Mont-Saint-Michel-Normandie sont remerciées pour le financement des suivis topographiques engagés lors des travaux de gestion du trait de côte. Merci également au service Mer et Littoral de la DDTM de la Manche pour son soutien pour la réalisation de ces actions de suivi.

7. REFERENCES

- Masselink G., Scott T., Poate T., Russell P., Davidson M., Conley D. 2016. The extreme 2013/2014 winter storms: Hydrodynamic forcing and coastal response along the southwest coast of England. *Earth Surf. Process. Landf.* 41, 378-391.
- Oumeraci H., Recio J. 2010. Geotextile Sand Containers for shore protection, Invited Chapter in Handbook of Coastal and Ocean Engineering, World Scientific Publishing, Singapore, 553-600.
- Recio J., Oumeraci H. 2007. Effect of Deformations on the Hydraulic Stability of Coastal Structures made of Geotextile Sand Containers, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 25, No. 4-5, 2007, 278-292.
- Recio J., Oumeraci H. 2009. Processes affecting the hydraulic stability of coastal revetments made of geotextile sand containers. *Coastal Engineering* 56 (3), 260-284.