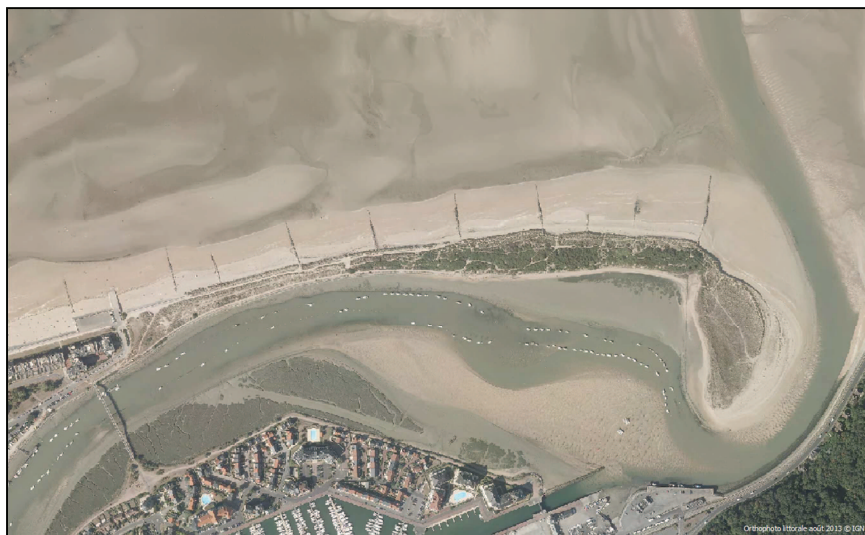


CONSEIL DÉPARTEMENTAL DU CALVADOS

PROTECTION DE LA POINTE DE CABOURG CONTRE L'ÉROSION MARINE



**Demande d'examen au cas par cas préalable à la réalisation
éventuelle d'une évaluation environnementale**

article R. 122-3 du code de l'environnement

ANNEXE 9 : ETUDE DE PROTECTION DU LITTORAL DE LA POINTE DE CABOURG

Phase 1 : analyse du site et évolution topographique récente de la zone d'étude (décembre 2016)

Phase 2 : recherche de solutions techniques pour stabiliser le trait de côte de la Pointe de Cabourg (mars 2017)

RAPPORT COMPLET



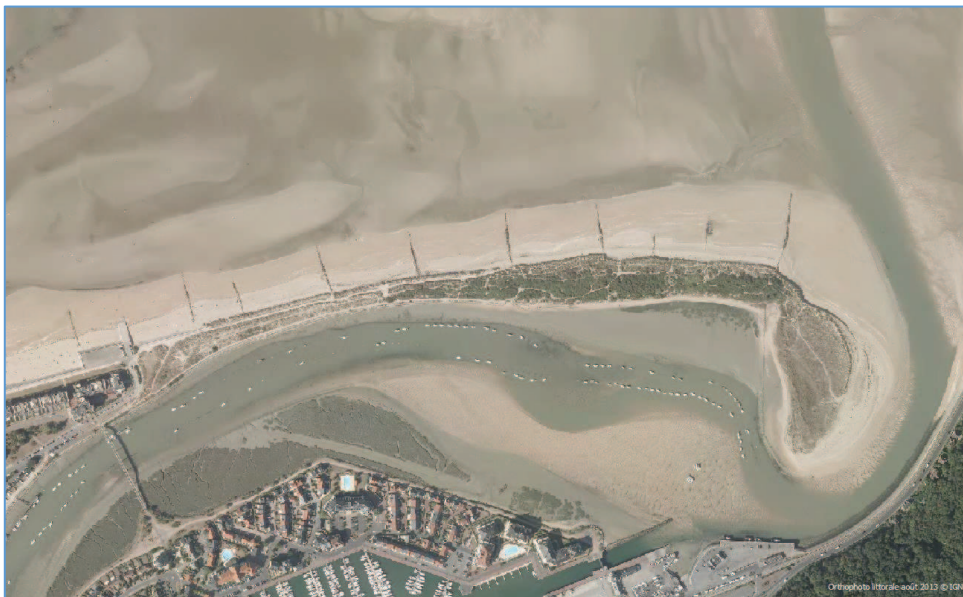
CENTRE DE RECHERCHES
EN ENVIRONNEMENT CÔTIER
STATION MARINE





CENTRE DE RECHERCHES
EN ENVIRONNEMENT CÔTIER
STATION MARINE

PROTECTION DU LITTORAL DE LA POINTE DE CABOURG



Phase 1 Analyse du site et évolution topographique récente de la zone d'étude

Décembre 2016

AUTEURS

Franck LEVOY¹, Olivier MONFORT² et Hervé BIZIEN³

¹*Professeur à l'Université de Caen-Basse-Normandie*

²*Ingénieur hydraulicien à l'Université de Caen-Basse-Normandie*

³*Consultant Environnement Littoral – LITTO Consult*

TABLE DES MATIERES

CADRE DE L'ETUDE	3
I. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET MORPHO-DYNAMIQUE	4
II. DIAGNOSTIC DU TRAIT DE CÔTE ET DES OUVRAGES – SITUATION AU 27/10/16	6
III. EVOLUTION ALTIMETRIQUE DE LA PLAGE	11
III.1. Evolution récente de l'estran au droit de la station de suivi du littoral S31	11
III.2. Evolution récente de l'estran sur le delta de marée externe : cartographie différentielle	14
III.2.a. Evolution entre octobre 2014 et juin 2015	15
III.2.b. Evolution entre juin 2015 et mars 2016	18
III.2.c. Evolution entre mars et octobre 2016	19
III.2.d. Bilan de l'évolution entre octobre 2014 et octobre 2016	21
III.2.e. Evolution entre avril 2009 et octobre 2016	24
III.3. Evolution des profils de plage en avant de la flèche sableuse : coupes topographiques	25
IV. CUBATURES	31
V. EVOLUTION DE LA LIMITE DES PLUS HAUTES MERS ASTRONOMIQUES	35
VI. SYNTHESE DES EVOLUTIONS CONSTATEES DEPUIS 2014	41

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : cartes de localisation du secteur d'étude et de la station S31 de suivi du littoral (CREC -UCBN, 2009)</i>	5
<i>Figure 2 : vue en plan des épis 1 à 4 reconstruits en 2014 (source : TPC, mars 2014)</i>	7
<i>Figure 3 : coupe en long type des épis (épi n°2) - Source : TPC, mars 2014</i>	8
<i>Figure 4 : coupe-type des quatre épis reconstruits à l'Est de la flèche sableuse de Cabourg (source : TPC, mars 2014)</i>	8
<i>Figure 5 : aperçu des protections longitudinales et des aménagements à l'enracinement de la flèche sableuse (LITTO Consult, 2016)</i>	9
<i>Figure 6 : illustrations de la morphologie du trait de côte sur la partie orientale de la flèche sableuse de Cabourg (LITTO Consult, 2016)</i>	10
<i>Figure 7 : évolution altimétrique de l'estran depuis 2011 au droit de la station de suivi S31 (source : CREC – UCBN, 2016)</i>	12
<i>Figure 8 : évolution du volume sédimentaire depuis 2001 au droit de la station S31 de Cabourg, sur la haute et la moyenne plages (source : CREC – UCBN, 2016)</i>	13
<i>Figure 9 : évolution du volume sédimentaire depuis 2001 au droit de la station S31 de Cabourg, sur la haute moyenne plage uniquement (source : CREC – UCBN, 2016)</i>	13
<i>Figure 10 : emprise des MNT et des cartes différentielles présentées dans le texte - Source : CREC – UCBN, 2016</i>	14
<i>Figure 11 : MNT issus des vols LIDAR des 10 octobre 2014 (en haut) et 3 juin 2015 (en bas) – Source : CREC – UCBN, 2016</i>	16
<i>Figure 12 : différentiel altimétrique juin 2015 – octobre 2014 – Source : CREC – UCBN, 2016</i>	17
<i>Figure 13 : MNT issu du vol LIDAR du 13 mars 2016 – Source : CREC – UCBN, 2016</i>	18
<i>Figure 14 : différentiel altimétrique mars 2016 - juin 2015 – Source : CREC – UCBN, 2016</i>	19
<i>Figure 15 : MNT issu du vol LIDAR du 3 octobre 2016 – Source : CREC – UCBN, 2016</i>	20
<i>Figure 16 : différentiel altimétrique octobre 2016 - mars 2016 – Source : CREC – UCBN, 2016</i>	21
<i>Figure 17 : MNT correspondant aux survols LIDAR d'octobre 2014 et d'octobre 2016 et différentiel altimétrique correspondant - Source : CREC – UCBN, 2016</i>	23
<i>Figure 18 : Modèle Numérique de Terrain réalisé sur la base du levé topographique de l'extrémité de la flèche de Cabourg du 27 avril 2009 (source : CREC – UCBN, 2009)</i>	24
<i>Figure 19 : localisation de l'emprise du levé topométrique de 2009 (à gauche) et différentiel altimétrique entre les MNT d'octobre 2016 et d'avril 2009 - Source : CREC – UCBN, 2016</i>	24
<i>Figure 20 : localisation des sept transects définis sur la flèche de Cabourg pour la génération des coupes topographiques - Source : CREC – UCBN, 2016</i>	26
<i>Figure 21 : évolution des profils de plage sur les transects 1 à 3 situés à l'extrémité de la Pointe de Cabourg, entre 2014 et 2016 - Source : CREC – UCBN, 2016</i>	27
<i>Figure 22 : évolution des profils de plage en avant de la flèche sableuse de Cabourg, entre 2014 et 2016 - Source : CREC – UCBN, 2016</i>	28
<i>Figure 23 : localisation des trois profils repris de l'étude CREC 2009 – Source : CREC-UCBN, 2016</i>	29
<i>Figure 24 : évolution des profils dune/plage sur les transects Q1 à Q3 situés à l'extrémité de la Pointe de Cabourg, entre avril 2009 et octobre 2016 - Source : CREC – UCBN, 2016</i>	29
<i>Figure 25 : localisation des cinq zones définies pour les cubatures – Source : CREC-UCBN, 2016</i>	31
<i>Figure 26 : évolution des superficies en érosion ou en accrétion significative (variation altimétrique > ±0,1m) entre deux vols LIDAR, sur les cinq zones de calcul (en haut) et volumes correspondants (en bas) – Source : CREC-UCBN, 2016</i>	34

<i>Figure 27 : évolution des volumes résiduels entre deux vols LIDAR sur les cinq zones de calcul – Source : CREC-UCBN, 2016</i>	<i>34</i>
<i>Figure 28 : évolution historique du trait de côte sur les périodes 2006-2009 et 1947-2009 – Source : CREC – UCBN, 2009</i>	<i>36</i>
<i>Figure 29 : évolution de l'isohypse +4,24 m RAF09 entre les trois premiers levés LIDAR et localisation des repères hectométriques utilisés sur les graphiques d'évolution du trait de côte – Source : CREC-UCBN, 2016</i>	<i>37</i>
<i>Figure 30 : déplacement de l'isohypse +4,24 m RAF09 (en haut) et écart par rapport à un trait de côte virtuel modélisé (en bas) pour la période 2014-2015 – Source : CREC-UCBN, 2016</i>	<i>38</i>
<i>Figure 31 : déplacement de l'isohypse +4,24 m RAF09 (en haut) et écart par rapport à un trait de côte virtuel modélisé (en bas) pour la période 2015-2016 – Source : CREC-UCBN, 2016</i>	<i>39</i>
<i>Figure 32 : déplacement de l'isohypse +4,24 m RAF09 (en haut) et écart par rapport à un trait de côte virtuel modélisé (en bas) pour la période mars – octobre 2016 – Source : CREC-UCBN, 2016</i>	<i>39</i>
<i>Figure 33 : bilan du déplacement résiduel de l'isohypse +4,24 m RAF09 (en haut) et écart par rapport à un trait de côte virtuel modélisé (en bas) pour la période octobre 2014 – octobre 2016 – Source : CREC-UCBN, 2016</i>	<i>40</i>

CADRE DE L'ETUDE

Le chenal d'accès à Port Guillaume et aux zones de mouillages de l'estuaire de la Dives est l'objet d'un ensablement notamment au niveau de sa passe. Cette dernière est limitée à l'Ouest par la Pointe de Cabourg. Celle-ci constitue l'extrémité d'une flèche sableuse alimentée par une dérive littorale, qui tend à progresser vers l'Est et qui réduit la section du chenal malgré la présence d'une batterie d'épis.

Soucieux de maintenir un accès sécurisé au port de Dives-sur-Mer, le Conseil Général du Calvados a confié en 2009 au Centre de Recherches en Environnements Côtiers (CREC) de l'Université de Caen, le soin d'élaborer une stratégie durable de gestion des sédiments sur ce secteur côtier.

Sur la base d'une synthèse des données existantes et d'un levé topométrique du poulier (l'extrémité recourbée de la flèche), le CREC a défini une solution à court terme, consistant à extraire un volume de sable de l'ordre de 5 000 m³ à l'extrémité de la flèche sableuse, permettant de retrouver une section et des pentes de chenal proches de celles constatées à la fin des années 1980, avant la construction de Port Guillaume.

Ayant diagnostiqué que l'état des épis n'était plus correct pour assurer un bon stockage du sable transporté par la dérive sédimentaire résultante d'Ouest en Est, avec pour conséquence un apport en sable important en direction de l'extrémité de la flèche et donc du chenal d'accès au port de Dives-sur-Mer, le CREC a également préconisé de procéder à moyen terme à un rehaussement des épis en place, et de les entretenir régulièrement.

En 2014, les quatre épis les plus orientaux ont été entièrement reconstruits à leur emplacement initial selon les préconisations du CREC. Toutefois, le dragage suggéré de 5 000 m³ n'a pas été réalisé à ce jour.

Le présent rapport constitue la première phase de cette étude. Elle a pour objet d'analyser le site dans son état actuel et son évolution topographique récente à partir de nouvelles données. Elle doit permettre de mieux comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire du site depuis la mise en place des épis en 2014 pour, au final, trouver des solutions à l'érosion qui affecte le trait de côte de l'extrémité de la pointe de Cabourg.

I. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET MORPHO-DYNAMIQUE

L'embouchure de la Dives, en partie orientale de la Baie de Seine (Manche centrale), forme un havre protégé de l'agitation marine par une flèche sableuse ancrée sur Cabourg et s'étendant selon un axe WSW-ENE (Figure 1). Cette flèche est alimentée par une dérive littorale dirigée d'Ouest en Est sous l'action des houles dominantes de secteur NW à NNW, évaluée à 50 000 m³/an (LCHF, 1986).

Une batterie d'épis, mis en place dans la première moitié du 20^{ème} siècle et par la suite régulièrement confortés, tend à freiner ce transit et favorise l'exhaussement de la haute plage en avant du cordon dunaire. Néanmoins, la flèche poursuit encore actuellement sa progression avec un poulier (l'extrémité recourbée) qui tend à se développer vers l'intérieur de l'estuaire.

Les estrans de ce secteur sont aussi soumis à une dynamique de barres sableuses, séparées par des bâches (dépressions longitudinales), qui migrent vers le rivage en générant une succession d'exhaussements et d'abaissements de profils. Les plages sont constituées de sables moyens, devenant grossiers sur les flancs des bancs et en partie supérieure de la haute plage à très grossiers dans le chenal, avec localement une forte proportion de débris coquilliers.

La flèche de Cabourg correspond à un cordon dunaire étroit, de largeur comprise entre 30 et 60 mètres, sa partie la plus étroite étant située à l'Est immédiat de la zone urbanisée de Cabourg. Ce segment le plus ténu est protégé côté mer (mais également côté estuaire) par un ouvrage longitudinal en enrochements, actuellement fortement ensablé et colonisé par une végétation psammophile de type oyats qui, localement, parvient à le recouvrir en totalité. Cinq épis s'étendent en avant de ce tronçon.

Plus à l'Est, la flèche sableuse gagne en largeur et n'est plus défendue que par quatre épis supplémentaires (dont les quatre reconstruits en 2014, absence d'ouvrage longitudinal). Cette section présente encore des séquelles d'une érosion relativement récente, sous la forme d'une microfalaise de hauteur croissante vers l'Est (atteignant 2 mètres), que les apports éoliens tendent à estomper.

A l'Est immédiat du premier épi en revanche, la microfalaise d'érosion est vive et actuellement en cours de recul. Cette érosion est vraisemblablement accentuée par le maintien d'une bache en pied de dune (dépression longitudinale), qui communique avec l'estuaire de la Dives et qui se trouve limitée au Nord par une barre sableuse qui n'est pas encore parvenue à la combler. A la périphérie du poulier, la microfalaise disparaît en quasi-totalité et la végétation pionnière colonise une banquette relativement basse.

A l'Est de l'embouchure, le transit littoral est, à l'inverse de ce qui est observé sur la flèche de Cabourg, dirigé d'Est en Ouest depuis Houlgate. L'estuaire de la Dives constitue ainsi une zone de convergence des transits sédimentaires et présente, à son débouché en Baie de Seine, un delta de marée externe relativement étendu, qui découvre à basse mer de vives-eaux sur plus de sur 1 500 mètres et se prolonge en mer sur les petits fonds.

En rive droite, côté Houlgate, la Dives estuarienne est canalisée par un perré courbe qui s'étend depuis le terre-plein de Port-Guillaume jusqu'à Houlgate, avec une orientation générale SW-NE. En estuaire externe, toujours en rive droite, un cordon d'enrochements submersible, enraciné sur ce perré au droit de la Pointe de Cabourg et orienté N-S, contraint l'écoulement de la Dives sur environ 250 mètres.

Pour plus d'informations, concernant notamment le contexte sédimentologique, la dynamique sédimentaire et l'évolution historique du littoral, le lecteur se reportera au rapport produit en 2009 par le CREC de l'Université de Caen (Etude de faisabilité pour l'amélioration de l'accessibilité au port de Dives-sur-Mer - Rapport final. 49 p. + annexes – Conseil Général du Calvados – Novembre 2009).

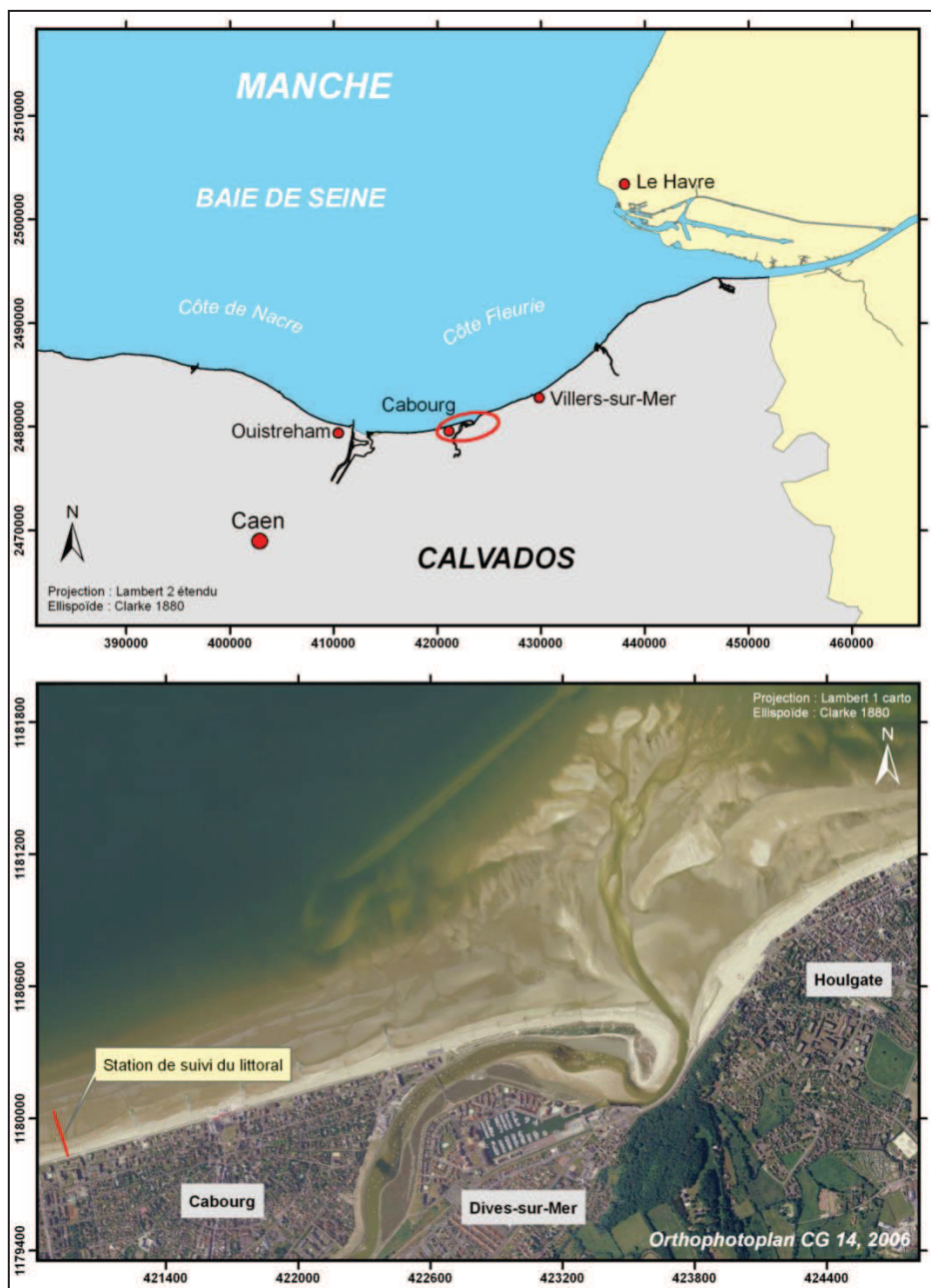


Figure 1 : cartes de localisation du secteur d'étude et de la station S31 de suivi du littoral (CREC -UCBN, 2009)

II. DIAGNOSTIC DU TRAIT DE CÔTE ET DES OUVRAGES – SITUATION AU 27/10/16

Un déplacement sur site, réalisé le 27 octobre 2016 à basse mer de marée moyenne (mer belle, absence de vent et aucun coup de vent dans les semaines précédant la visite), a permis d'actualiser le diagnostic littoral produit par le CREC – UCBN en 2009.

La reconnaissance a essentiellement porté sur l'état du trait de côte et des ouvrages de haute plage entre l'extrémité orientale de la zone urbanisée de Cabourg (« Cap Cabourg ») et l'extrémité orientale de la flèche sableuse qui s'étend en direction d'Houlgate.

Pour le diagnostic des ouvrages, la notice méthodologique du CETMEF (Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales, ancien nom du CEREMA) « Préconisations pour le recensement des ouvrages et structures de défense contre les aléas côtiers » (MEDDTL, janvier 2011, 60 p.) a été mise à profit.

En accompagnement de cette notice, le CETMEF a développé le logiciel ROSCOF (logiciel de recensement des ouvrages et structures côtières de France) et mis à disposition le manuel utilisateur pour sa mise en œuvre (MEDDTL, janvier 2011, 34 p.).

Ce logiciel permet la création de « fiches de site » dans lesquelles sont retranscrites les informations générales sur la visite, sur le site et sur le nombre d'ouvrages et d'aménagements concernés, complétées s'il y a lieu par une description sommaire du cordon dunaire.

Une fiche peut ensuite être créée par ouvrage de défense contre la mer ou autre aménagement littoral (cale d'accès, confortement dunaire, rechargement ou drainage de plage, etc...), cette dernière permettant de préciser la dénomination exacte de l'aménagement, la fonction ou la vocation principale de l'ouvrage, les matériaux constitutifs, ses dimensions, cotes altimétriques et coordonnées, son emplacement, les surfaces et volumes, son état, son orientation (longitudinale ou transversale) et son impact sur le littoral (pour les aménagements de type cale, ouvrage portuaire, bâtiment, ..., uniquement).

Pour son application à la Pointe de Cabourg, trois fiches de site ont été créées, tenant compte des enjeux, de la densité de protections mises en place et du type d'ouvrage longitudinal. Ainsi, a été créée une fiche de site distincte :

- pour l'extrémité orientale de la zone urbanisée de Cabourg, s'étendant jusqu'à l'extrémité est du perré en béton (linéaire de 175 mètres) ; à cette fiche correspond l'extrémité orientale du perré en béton, l'épi n°10 et la cale d'accès à la mer de Cabourg-est (l'épi n°9, en limite de site, a été intégré à la fiche suivante) ;
- pour la partie centrale de la flèche sableuse, section la plus étroite et la plus fragile, protégée côté mer par un cordon bas en enrochements mis en place en pied de dune (linéaire de 400 mètres) ; à cette fiche de site ont été intégrés les quatre épis n°6 à n°9 ;

- la partie orientale de la flèche sableuse défendue par les épis et dénuée de protection longitudinale (linéaire de 375 mètres), excluant l'extrémité recourbée de la flèche non protégée (le poulier) ; quatre fiches de défense contre la mer, correspondant aux épis n°1 à n°5 (intégrant donc les quatre ouvrages reconstruits en 2014) accompagnent cette fiche de site.

Sur les fiches ouvrage, pour les quatre épis reconstruits à l'est du site (épis n°1 à n°4), les dimensions et cotes indiquées sont issues des plans et coupes réalisés par l'entreprise TPC chargée de travaux (Tourlaville, 50) pour le Conseil Général du Calvados. **Les cotes indiquées sont des cotes marines (= cote terrestre IGN₆₉ + 4,08 m au port de Ouistreham).** Le logiciel ROSCOF ne permettant d'intégrer qu'un jeu de cotes (crête/pied), peu adapté aux épis de cote décroissante vers la moyenne plage, **les altitudes précisées correspondent à la tête de l'ouvrage (extrémité basse).** La cote de pied indiquée est la cote théorique du plancher des fondations (géotextile sous la couche filtre). Les quatre nouveaux épis, de longueur comprise entre 113 mètres pour l'épi n°1 et 93 mètres pour les trois suivants (Figure 2 et), sont bâtis sur le même gabarit théorique (Figure 4) :

- une **cote d'arase** variant de **+9,08 m CM** à l'enracinement à **+6, 08 m CM** en tête d'ouvrage ;
- une carapace d'**enrochements de 1 à 2 tonnes** mis en place sur une épaisseur de l'ordre de 0,8 m, reposant sur une couche-filtre 200/400 mm d'épaisseur, recouvrant un géotextile renforcé ;
- une **hauteur d'ouvrage de 2 mètres**, 2,5 mètres en intégrant les fondations ;
- une **largeur d'ouvrage de 0,5 mètre au sommet, 6,5 mètres à la base** (7,5 mètres en intégrant les fondations) ;
- une **pente des flancs et de la tête de 3H/2V** (3 unités horizontales pour deux unités verticales).

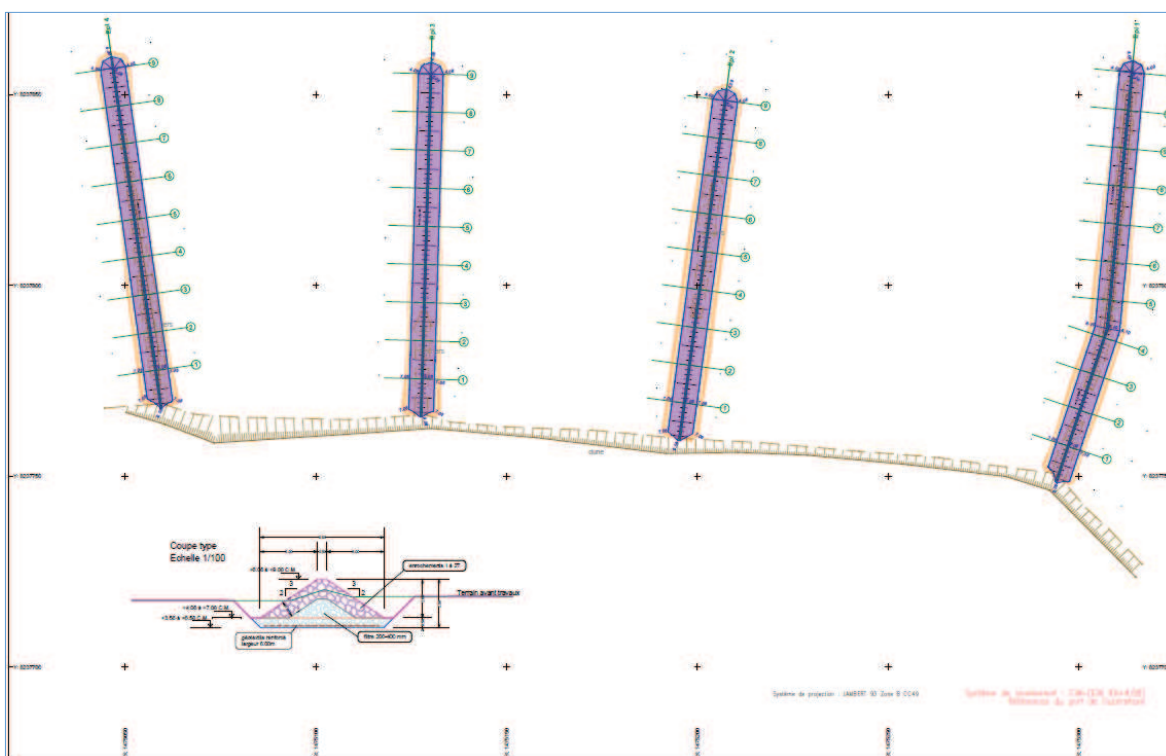


Figure 2 : vue en plan des épis 1 à 4 reconstruits en 2014 (source : TPC, mars 2014)

morpho-sédimentaires ou les préconisations suite au constat effectué ne peuvent être détaillés dans les fiches créées.

C'est pourquoi, une seconde fiche, complémentaire, a été créée. Basée sur un modèle développé par le GRESARC (CREC, Université de Caen) et utilisée lors du diagnostic réalisé par le CREC en 2009, elle permet d'apporter les informations manquantes, ainsi qu'un plan de localisation et la photographie de l'ouvrage. Ces fiches sont également placées en annexe, à la suite des fiches CETMEF.



Perré en béton entre la cale est et l'épi n°10



Cale est



Perré en béton, entre la cale est et l'épi n°9



Perré en enrochements ensablés, entre les épis n°8 et 9

Figure 5 : aperçu des protections longitudinales et des aménagements à l'enracinement de la flèche sableuse (LITTO Consult, 2016)



Perré en enrochements, entre les épis n°5 et n°6



Dune présentant des signes d'érosion, entre les épis n°5 et n°6



Morphologie de la dune entre les épis n°1 et 2



Bâche encadrée par une barre sableuse au Nord et par la dune au Sud, à l'Est immédiat de l'épi n1



Forte érosion de la dune à l'Est immédiat de l'épi n°1



Dune embryonnaire à l'extrémité orientale de la flèche sableuse

Figure 6 : illustrations de la morphologie du trait de côte sur la partie orientale de la flèche sableuse de Cabourg (LITTO Consult, 2016)

III. EVOLUTION ALTIMETRIQUE DE LA PLAGE

III.1. Evolution récente de l'estran au droit de la station de suivi du littoral S31 (ancien réseau de suivi du CG14)

La station de suivi du littoral S31 est située sur la partie occidentale du littoral de Cabourg, à environ 2 700 mètres à l'Ouest de l'embouchure de la Dives, entre la cale en béton de l'avenue de la Brèche Buhot et un épi en enrochements long de 150 mètres situé immédiatement à l'Ouest.

Le profil, suivi depuis 1995 par l'Université de Caen, est situé au droit d'un perré en béton incliné. L'estran à ce niveau fait l'objet de reprofilages saisonniers, visant à reconstituer une berme de haute plage à l'aide de sables remontés de la moyenne et de la basse plage.

Suivi durant les premières années par des moyens terrestres (au tachéomètre), le site fait depuis octobre 2014 l'objet de relevés LIDAR (laser aéroporté). La figure 7 présente l'évolution altimétrique du profil de plage entre septembre 2011 (avant la reconstruction des épis), octobre 2014 (année des travaux), juin 2015 et mars 2016 (respectivement 1 et 2 ans après les travaux), sur une largeur d'estran comprise entre 250 et 325 mètres.

Les profils de septembre 2011, octobre 2014 et juin 2015 sont globalement très proches, notamment sur l'extrémité supérieure du profil où la berme de haute plage se distingue clairement. Les barres et bâches de moyennes et basse plages sont sensiblement plus accentuées en juin 2015 que lors des deux précédents levés.

En mars 2016, l'amplitude des barres d'estran s'est encore amplifiée, approchant le mètre. La berme de haute plage a ici disparu, traduisant un abaissement de profil de l'ordre du mètre par rapport aux années précédentes. Cette érosion est contrebalancée par un engraissement de la partie inférieure de la haute plage (sur une longueur de profil d'environ 70 mètres), atteignant +0,6 m.

La morphologie du profil de plage est en partie liée aux agents hydrodynamiques (agitation notamment), mais également aux interventions anthropiques. Les trois premiers levés ont été réalisés en fin de printemps, fin d'été et début d'automne. Le profil naturel de plage à cette période de l'année est modifié artificiellement par les reprofilages de plage réalisés annuellement par la commune. Début mars 2016 en revanche, en fin d'hiver, l'estran n'a pas encore été terrassé et il est logique que la berme de haute plage n'apparaisse pas.

Sur la base de ces levés, aucune relation ne peut être établie à ce stade entre l'évolution du profil de plage à 2 700 mètres de l'embouchure de la Dives d'une part et la reconstruction des quatre épis sur la Pointe de Cabourg d'autre part.

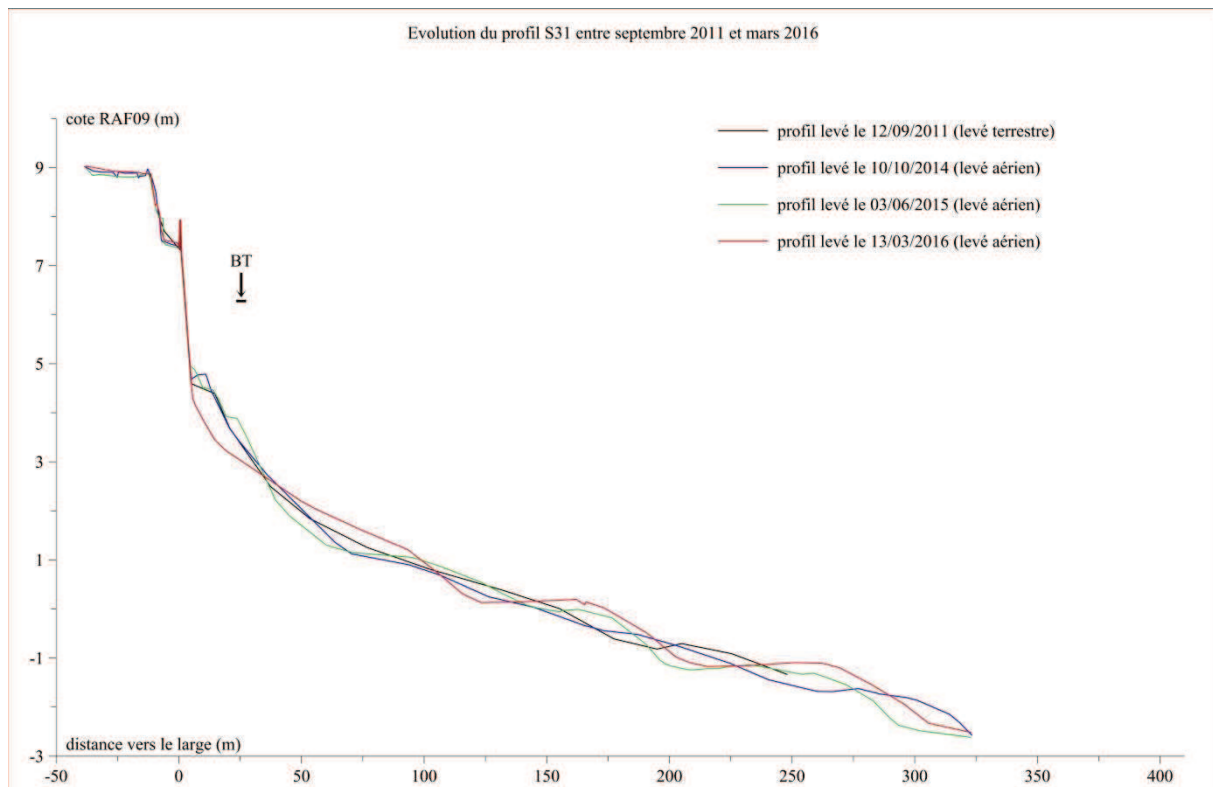


Figure 7 : évolution altimétrique de l’estrans depuis 2011 au droit de la station de suivi S31 (source : CREC – UCBN, 2016)

Les levés successifs ont permis à l’Université de Caen de réaliser des cubatures sur ce profil S31 et de suivre l’évolution du volume de sédiments sur les 200 premiers mètres d’une part, et sur la haute plage uniquement d’autre part (75 premiers mètres). Le passage de levés trisannuels à des levés annuels masque les fluctuations saisonnières observées jusqu’alors.

Intégrés sur la haute et la moyenne plages, les volumes calculés traduisent une érosion entre 2001 et 2005 ($-40 \text{ m}^3/\text{m}$), suivie d’une tendance à l’accrétion, puis à la stabilité à partir de 2011, avec cependant des fluctuations liées à la migration de barres sableuses sur le profil, voire à des mouvements sédimentaires induits par les reprofilages. La tendance à l’accrétion observée depuis 2014 n’est pas significative eu égard à l’amplitude de ces fluctuations passées. Résiduellement, l’intégralité des pertes calculées entre 2001 et 2005 a été compensée. **Le bilan sédimentaire s’avère donc stable sur 15 ans.**

Ne considérant que la haute plage, les fluctuations de volumes apparaissent plus marquées (c’est aussi le lieu pour partie des apports constituant la berme estivale mise en place par la Municipalité), mais la tendance est globalement la même que celle décrite précédemment, à savoir une érosion entre 2001 et 2005, suivie d’une lente accrétion avec d’importantes oscillations, puis une relative stabilité à partir de 2011. **La totalité des pertes constatées en début de suivi sur la haute plage a été compensée par des apports.** Sur la haute plage également, l’évolution récente (faibles pertes entre 2014 et 2016) n’est pas significative et ne peut être reliée aux aménagements réalisés à l’embouchure de la Dives.

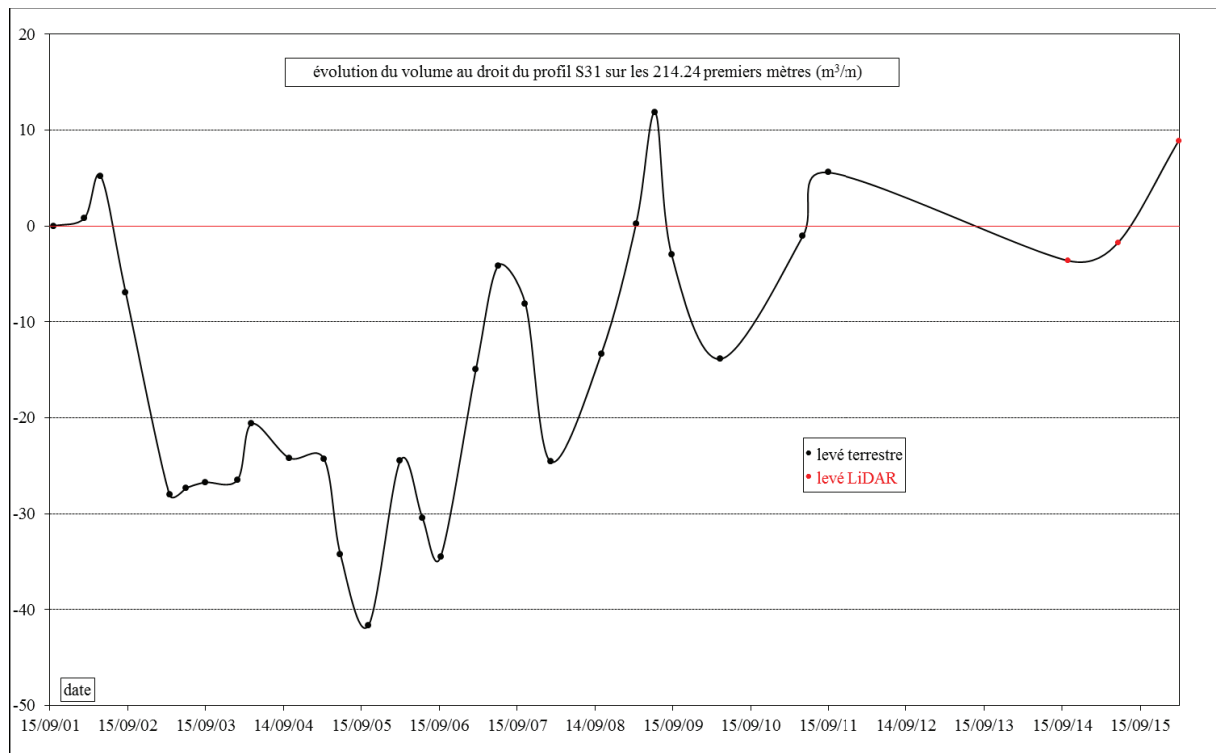


Figure 8 : évolution du volume sédimentaire depuis 2001 au droit de la station S31 de Cabourg, sur la haute et la moyenne plages (source : CREC – UCBN, 2016)

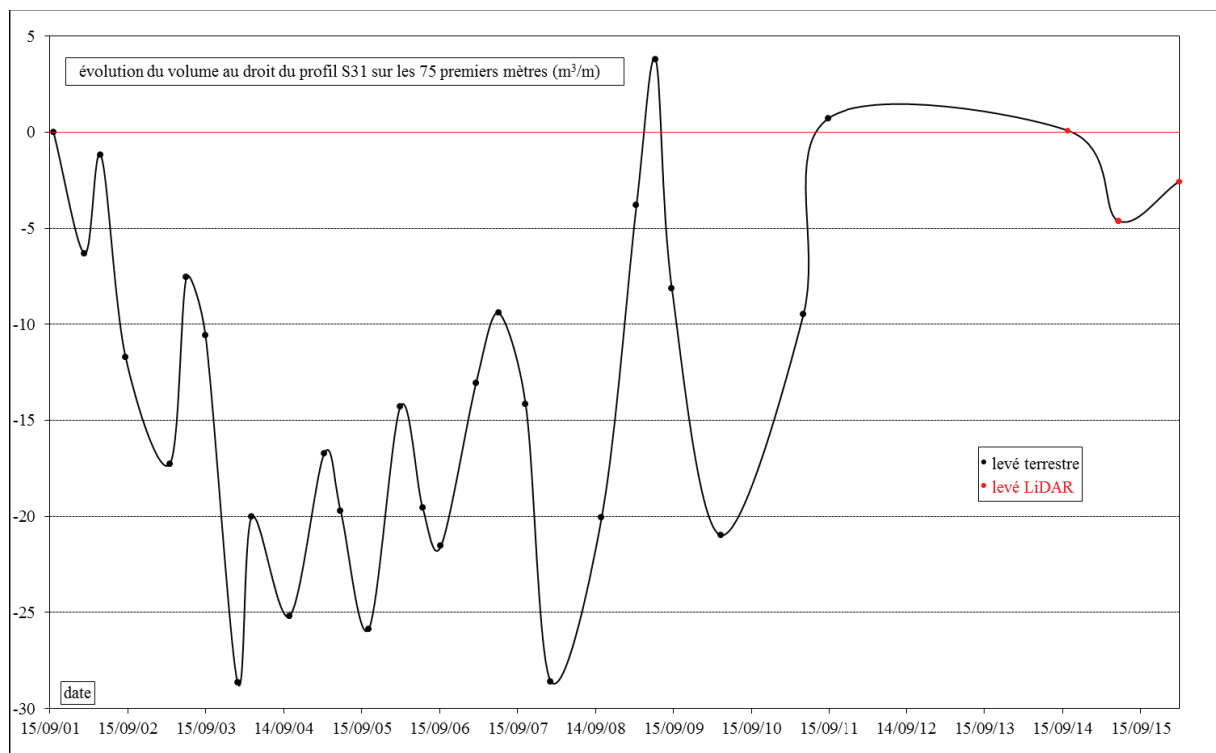


Figure 9 : évolution du volume sédimentaire depuis 2001 au droit de la station S31 de Cabourg, sur la haute moyenne plage uniquement (source : CREC – UCBN, 2016)

III.2. Evolution récente de l'estran sur le delta de marée externe : cartographie différentielle

Quatre levés LIDAR successifs ont été réalisés à marée basse par l'Université de Caen sur le secteur Cabourg-Houlgate : en octobre 2014, juin 2015, mars et octobre 2016.

Le traitement des données recueillies a permis de produire :

- des Modèles Numériques de Terrain (MNT), présentés ici en niveaux de gris ombrés (source lumineuse au NW), qui permettent de visualiser pour chaque survol, la position sur l'estran des barres sableuses, des bâches et des chenaux de ressuyage de la haute plage notamment ;
- des cartes de différentiel altimétrique entre deux levés successifs et entre deux levés extrêmes ;
- les cubatures correspondantes ;
- des coupes topographiques au droit de sept profils régulièrement répartis le long de la flèche sableuse et son poulier.

Les MNT et les cartes différentielles présentés ci-après s'étendent entre l'extrémité orientale de la zone urbanisée de Cabourg et l'extrémité occidentale de celle d'Houlgate, sur un linéaire côtier d'environ 1 800 mètres. Elles s'étendent sur la plage sur une largeur de l'ordre de 450 mètres (Figure 10).

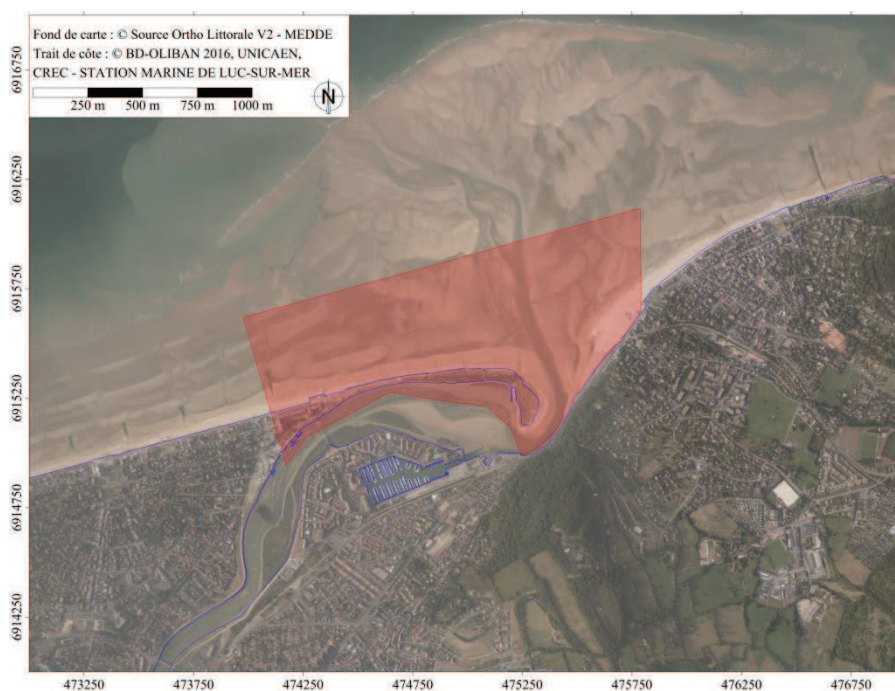


Figure 10 : emprise des MNT et des cartes différentielles présentées dans le texte - Source : CREC – UCBN, 2016

III.2.a. Evolution entre octobre 2014 et juin 2015

Les deux MNT présentés ci-dessous (Figure 11) correspondent aux situations du 10 octobre 2014 (en haut) et du 3 juin 2015 (en bas). La figure suivante (Figure 12) présente le différentiel altimétrique obtenu par comparaison des deux MNT.

Sur les deux MNT, les barres sableuses sont orientées selon un axe général WSW-ENE. Elles couvrent une grande partie de l'estran, depuis la basse plage jusqu'au trait de côte, tant à l'Ouest qu'à l'Est du chenal de la Dives. Une zone cependant, commune aux deux MNT, se distingue par sa morphologie plus monotone, notamment en juin 2015 : située sur la moitié basse de l'estran au droit de la partie centrale de la flèche sableuse de Cabourg, et couvrant un peu plus de 4 hectares, cette aire est presque totalement dépourvue de relief sédimentaire notable. Au NE de cette surface quasi-plane, apparaît en revanche en octobre 2014, l'extrémité sud d'une figure d'accumulation sédimentaire qui forme, en bordure ouest du chenal, un modelé d'amplitude plus importante que les barres sableuses alentours.

En tête des épis n^{os} 1 à 6 (épis orientaux), et particulièrement sur le MNT correspondant à la situation d'octobre 2014, le flanc sud de la barre sableuse atteignant les ouvrages apparaît relativement abrupt, traduisant l'existence d'un écoulement issu du ressuyage de la haute plage, dirigé vers l'Est et rejoignant le chenal de la Dives. Cette situation, temporaire, est de nature à favoriser la formation de cuvettes d'affouillement (peu creusées) en tête d'ouvrages. Les fondations des épis reconstruits en 2014 sont *a priori* ancrées suffisamment en profondeur pour résister à ces fluctuations de profil.

La superposition des deux MNT et la carte différentielle produite, permettent de visualiser la progression des barres sableuses selon une direction SSE. Cette progression vers le rivage s'accompagne d'une extension progressive des barres sableuses vers l'Est : plutôt cantonnées à l'Ouest sur la basse plage, elles progressent en effet vers le chenal de la Dives à leur arrivée sur la partie supérieure de la moyenne plage et sur la haute plage. Cette migration est particulièrement visible sur le MNT de 2015, sur lequel se distingue très nettement la barre sableuse en cours de franchissement de la tête de l'épi n^o1, venant repousser vers l'Est le chenal.

L'orientation du trait de côte évolue progressivement d'Ouest en Est : d'WSW-ENE en avant et à l'Est immédiat de la zone urbanisée de Cabourg (parallèle donc à l'orientation des barres sableuses), il vire progressivement W-E puis brutalement NW-SE à l'approche de l'extrémité de la flèche sableuse. Les barres sableuses atteignent ainsi la tête des épis les plus occidentaux avec une avance certaine par rapport aux épis orientaux. A l'approche du chenal de la Dives, les barres sableuses tendent également à pivoter et épouser le contour de l'extrémité de la flèche. La partie centrale de la flèche, au niveau des épis n^{os}6 et 7, apparaît ainsi comme une zone charnière, à l'Est de laquelle les casiers inter-épis seront touchés par le train de barres/bâches avec un délai par rapport à la zone ouest.

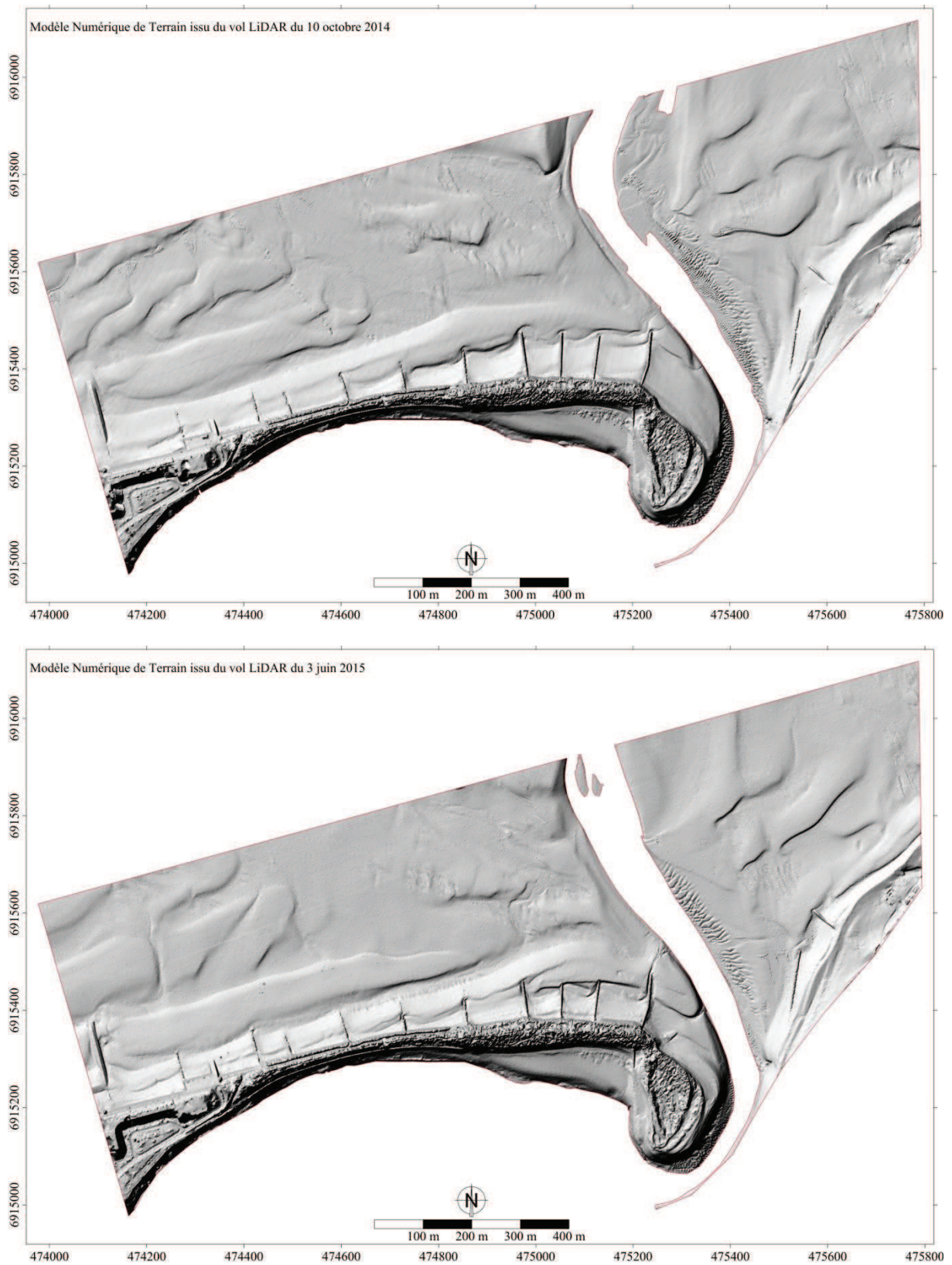


Figure 11 : MNT issus des vols LIDAR des 10 octobre 2014 (en haut) et 3 juin 2015 (en bas) – Source : CREC – UCBN, 2016

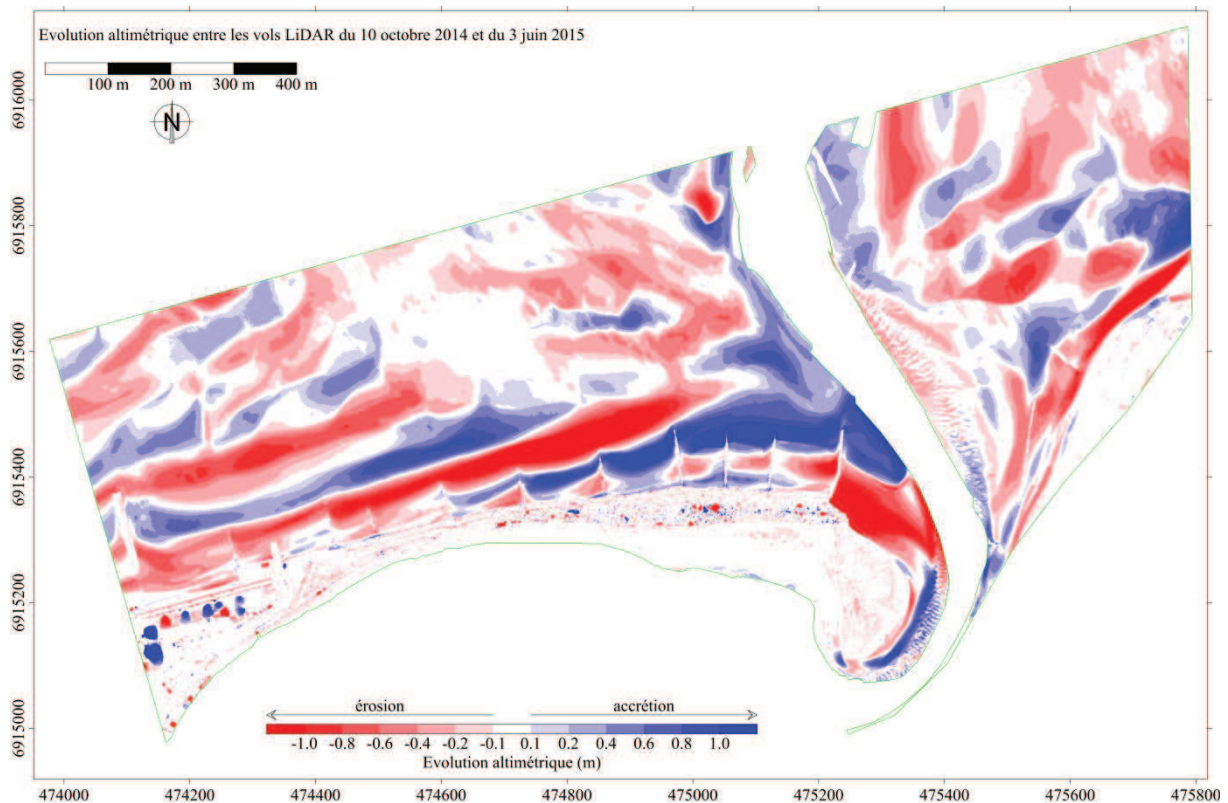


Figure 12 : différentiel altimétrique juin 2015 – octobre 2014 – Source : CREC – UCBN, 2016

La Figure 12 fait apparaître ce décalage de manière relativement nette : l'arrivée d'une bêche sur la haute plage se traduit en 2015 par un début d'érosion plus ou moins prononcée dans les casiers ouest, alors qu'une barre est en cours de franchissement de la tête des épis orientaux, se traduisant à ce niveau par un exhaussement de profil. Cette barre suit de près une première bêche qui, dans le même laps de temps, a creusé les casiers proches du chenal de la Dives et surtout l'espace compris entre ce dernier et l'épi n°1. Immédiatement au Sud, les flancs est et sud du poulier se sont en revanche engraisés. La structure sableuse observée en 2014 en bordure NW du chenal s'est quant à elle affaïssée avec une redistribution tous azimuts des sables.

Le tracé du chenal a été rectifié entre 2014 et 2015, sans doute en relation avec l'effacement partiel de cette structure de basse plage.

L'amplitude maximale des évolutions est de l'ordre du mètre. Les plus fortes fluctuations de profil s'observent sur la partie supérieure de la moyenne plage et sur la haute plage, au niveau des épis, ainsi qu'en bordure de chenal.

III.2.b. Evolution entre juin 2015 et mars 2016

Le MNT correspondant à la situation du 13 mars 2016 est présenté sur la figure suivante (Figure 13).

Le différentiel mars 2016 – juin 2015 apparaît sur la Figure 14.

Les tendances décrites précédemment se poursuivent entre 2015 et 2016, avec la migration du train de barres/bâches vers le rivage : entre 2015 et 2016, l'érosion associée à la bache de haute plage s'est généralisée à tous les casiers situés à l'Ouest de l'épi n°6. Elle commence à franchir en mars 2016 la tête des cinq épis les plus orientaux et à attaquer la partie nord des dépôts récents situés entre l'épi n°1 et le chenal. La barre sableuse qui la précède a, en mars 2016, fortement colmaté les casiers entre les épis n°1 à 4 et, côté chenal, a progressé vers le Sud le long du poulier, où elle est elle-même précédée d'une bache à l'emplacement des précédents dépôts. **La présence, sur le flanc NE du poulier, d'une dépression longitudinale étroite bordée d'un côté par le pied de dune et de l'autre par cette barre sableuse, est à noter : elle joue un rôle dans le recul accéléré de la dune constaté récemment compte-tenu des écoulements qui la caractérisent.**

Globalement, en mars 2016, par rapport à la situation de juin 2015 mais surtout d'octobre 2014, les reliefs de la partie basse de l'estran ont eu tendance à s'estomper, tant à l'Ouest qu'à l'Est du chenal.

Comme pour la période précédente, les plus fortes fluctuations altimétriques s'observent sur la partie supérieure de l'estran et en bordure de chenal. Elles atteignent un mètre d'amplitude.



Figure 13 : MNT issu du vol LIDAR du 13 mars 2016 – Source : CREC – UCBN, 2016

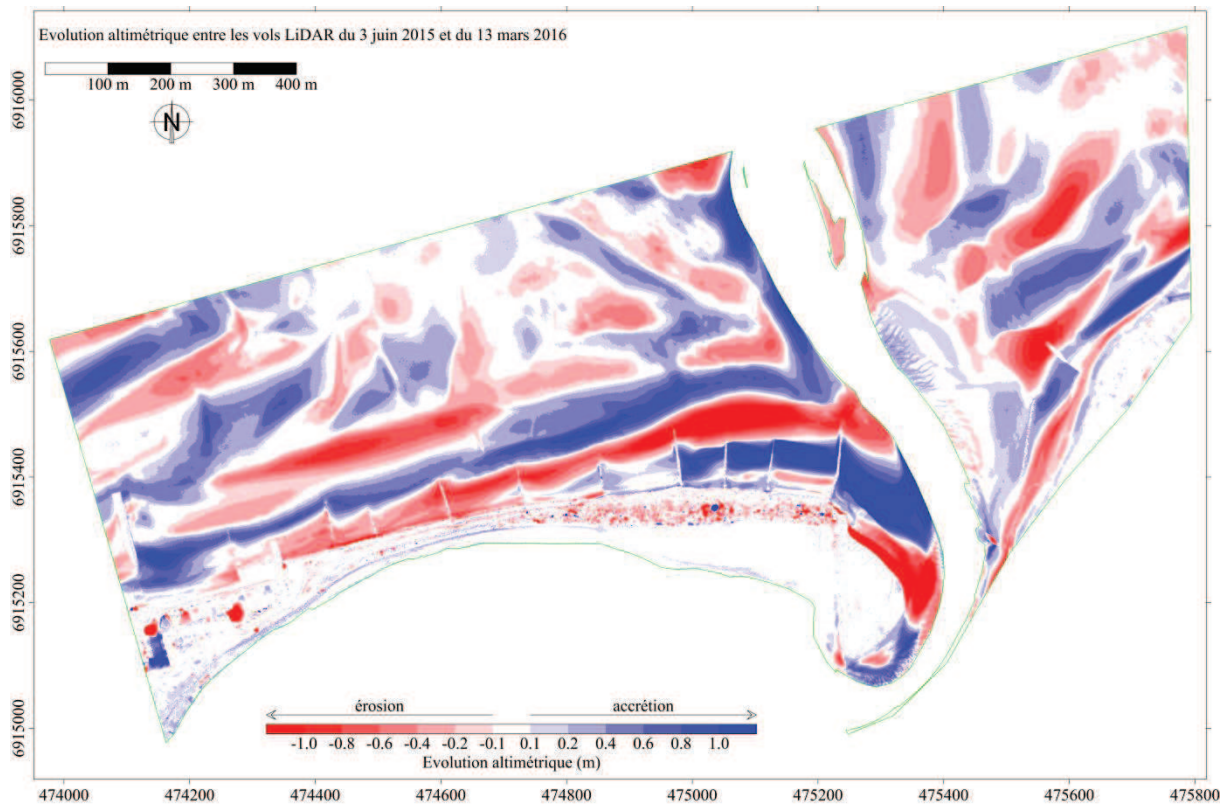


Figure 14 : différentiel altimétrique mars 2016 - juin 2015 – Source : CREC – UCBN, 2016

III.2.c. Evolution entre mars et octobre 2016

Le dernier survol LIDAR a été réalisé le 3 octobre 2016, soit environ trois semaines avant le diagnostic de terrain. La proximité des deux interventions permet de disposer de clichés au sol correspondant quasiment à la période des prises de vues aériennes (une marée de grandes vives-eaux sépare cependant les deux interventions, mais aucun coup de vent n'est à signaler sur la période).

Le MNT correspondant est présenté sur la figure suivante (Figure 15). La carte du différentiel altimétrique apparaît sur la Figure 16.



Figure 15 : MNT issu du vol LiDAR du 3 octobre 2016 – Source : CREC – UCBN, 2016

Au cours de cette dernière période, les reliefs de basse plage ont regagné sensiblement en amplitude. Le passage des trains de barres et bâches semble toujours privilégier une trajectoire passant par l’Ouest de la zone et évitant la partie centrale. La migration des structures en direction du SSE, puis de l’Est en approchant des épis, et enfin du Sud en atteignant le chenal, s’est poursuivie en 2016.

Alors qu’une barre sableuse est toujours présente en partie centrale des casiers délimités par les épis n^{os} 1 à 4, une nouvelle barre approche de la tête des épis, avec formation de chenaux évacuant les eaux de ressuyage vers le chenal de la Dives associés à des cuvettes d’affouillement peu creusées, toujours présentes lors du diagnostic terrain du 27/10.

Ces observations sont reflétées par la carte différentielle ci-dessous. Des fluctuations altimétriques toujours de l’ordre du mètre au maximum, traduisent la progression des barres en direction du rivage et une certaine mobilité du chenal de la Dives.

Le flanc oriental du poulier a quant à lui subi une forte érosion au cours de cette période d’à peine sept mois, mais l’arrivée d’une nouvelle masse sableuse par le Nord a déjà permis un début de réengraissement.

La dépression longitudinale étroite mentionnée précédemment sur le flanc NE du poulier, s’est en revanche rapprochée du pied de dune et, dans le même temps, s’est étendue jusqu’à l’enracinement de l’épi n°1. Après une période érosive entre octobre 2014 et mars 2016, une sédimentation est observée entre mars et octobre 2016. Toutefois, cette dépression où circule des eaux en provenance

du déferlement sur la barre n'est pas favorable à une élévation rapide du haut estran et constitue un facteur indéniable de l'érosion du trait de côte à l'Est de l'épi n°1.

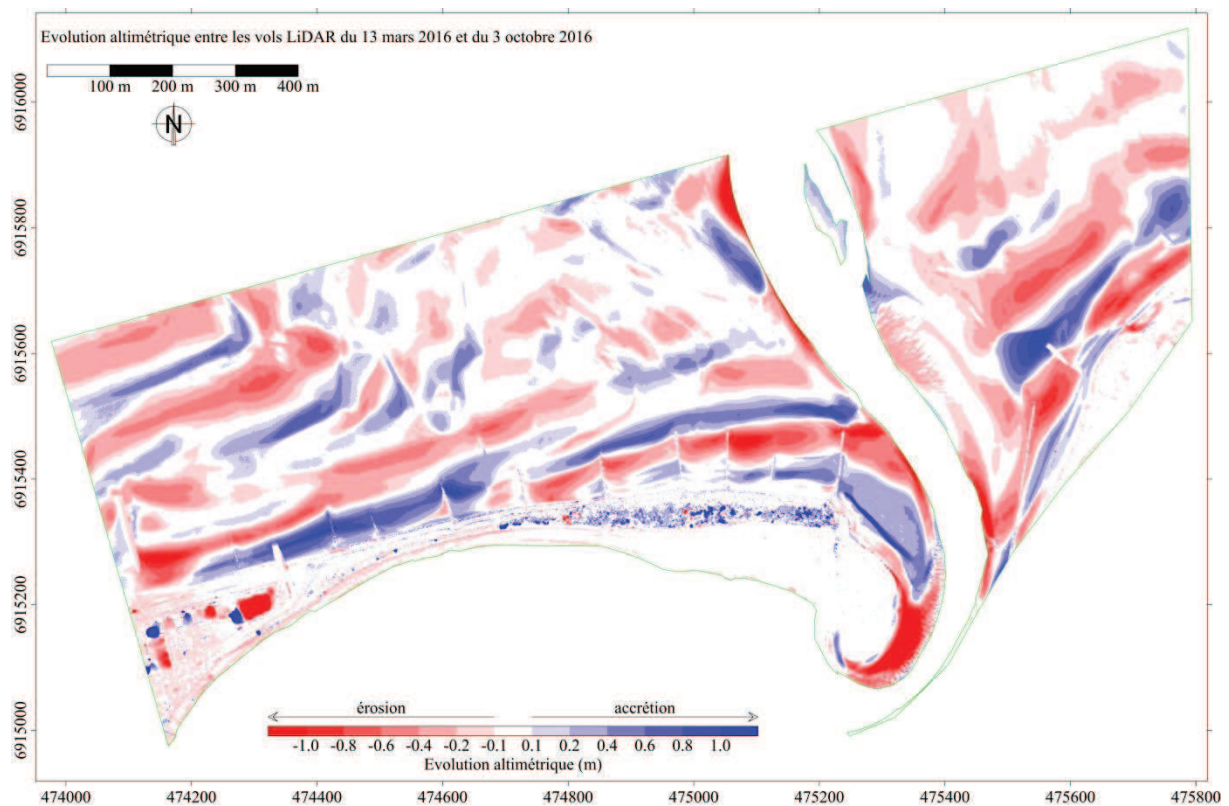


Figure 16 : différentiel altimétrique octobre 2016 - mars 2016 – Source : CREC – UCBN, 2016

III.2.d. Bilan de l'évolution entre octobre 2014 et octobre 2016

Au bilan, les **principales évolutions morphologiques** à proximité de la pointe de Cabourg, entre le 10 octobre 2014 et le 3 octobre 2016, s'observent essentiellement (Figure 17) :

- Sur la moitié inférieure de l'estran :
 - en **bordure ouest du chenal avec une** tendance à la sédimentation, hormis à la limite de la zone scannée ;
 - sur la **partie occidentale du delta** : les barres sableuses, qui laissent une empreinte longitudinale avec une érosion et une sédimentation contiguë, atteignent la Pointe de Cabourg en provenant principalement du quadrant NW (migration vers le SSE) ; entre

cette zone de transit et la bordure du chenal, une zone centrale présente à l'inverse des évolutions mineures ;

- sur la **partie orientale du delta**, plutôt caractérisée par l'érosion ;

- En partie supérieure de la moyenne plage et sur la haute plage :
 - **Sur l'ensemble du linéaire plus spécifiquement étudié** :
 - **En tête des épis n^{os} 5 et 6, en partie centrale de la flèche sableuse**, un **abaissement** de plage a été calculé sur un linéaire de près de 250 mètres ;
 - **Entre les épis n^{os} 1 à 5, ainsi qu'entre la moitié inférieure de l'épi n°1 et le chenal**, une **forte accrétion** a été constatée ;
 - Le long du poulcier, immédiatement devant le trait de côte, jusqu' **à l'extrémité de la flèche sableuse**, à l'inverse, la tendance a été à **l'érosion**.

Sur ce dernier secteur et sur la bordure ouest du chenal, les fluctuations verticales de l'altimétrie de la plage ont fréquemment dépassée 1 m.

En planimétrie, l'accélération du recul du trait de côte sur l'extrémité orientale de la flèche, à l'Est immédiat de l'épi n°1, est à signaler. Elle est à mettre en relation avec la présence en pied de dune d'une dépression longitudinale que la barre sableuse à proximité n'a pas, pour le moment, combler.

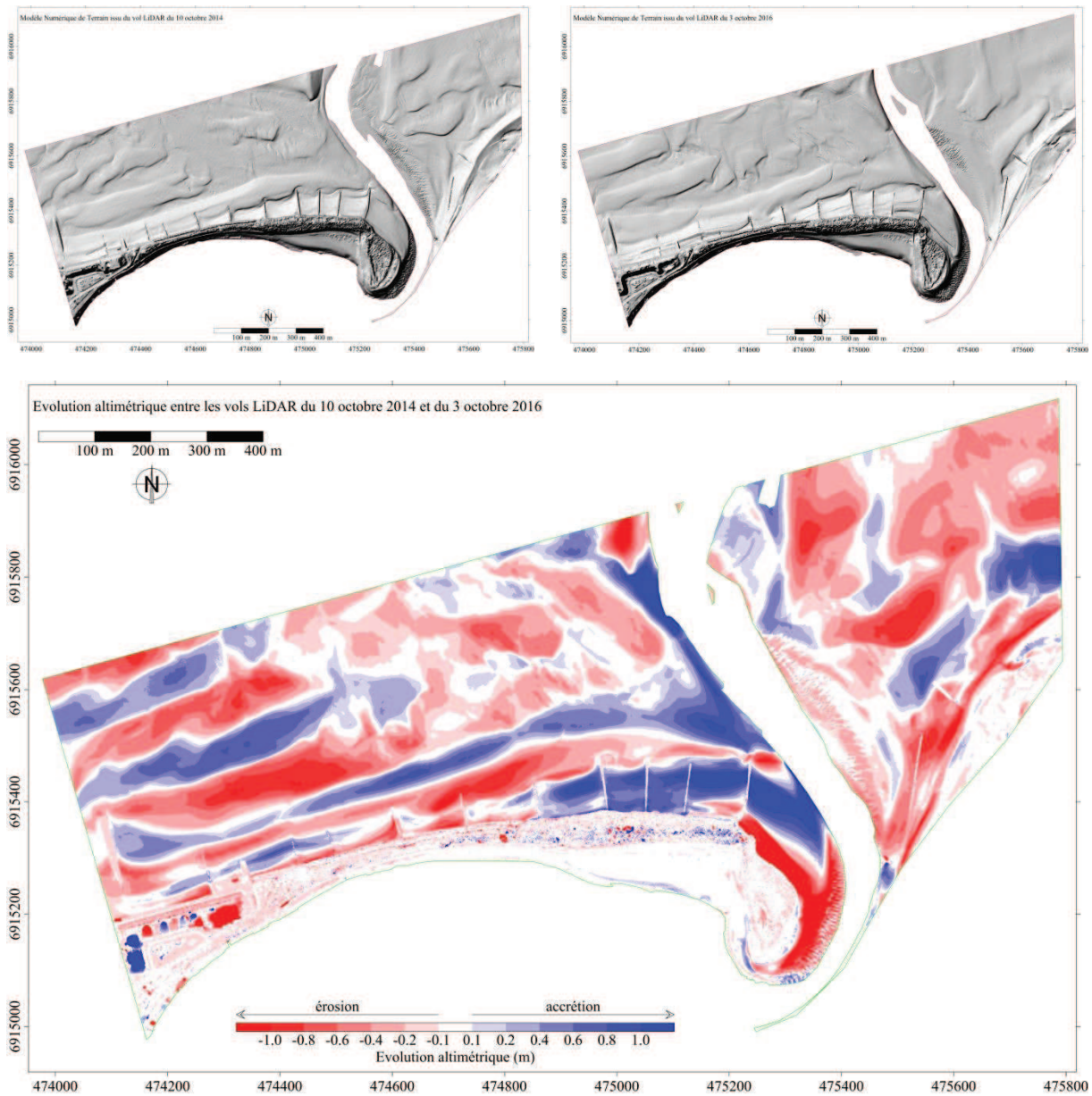


Figure 17 : MNT correspondant aux survols LiDAR d'octobre 2014 et d'octobre 2016 et différentiel altimétrique correspondant - Source : CREC – UCBN, 2016

III.2.e. Evolution entre avril 2009 et octobre 2016

Dans le cadre de la précédente étude, le CREC de l'Université de Caen avait procédé en 2009 à un levé topométrique de l'extrémité de la flèche sableuse de Cabourg (Figure 18).

Une cartographie différentielle comparant ce MNT d'avril 2009 et celui d'octobre 2016 a été produite (Figure 19).

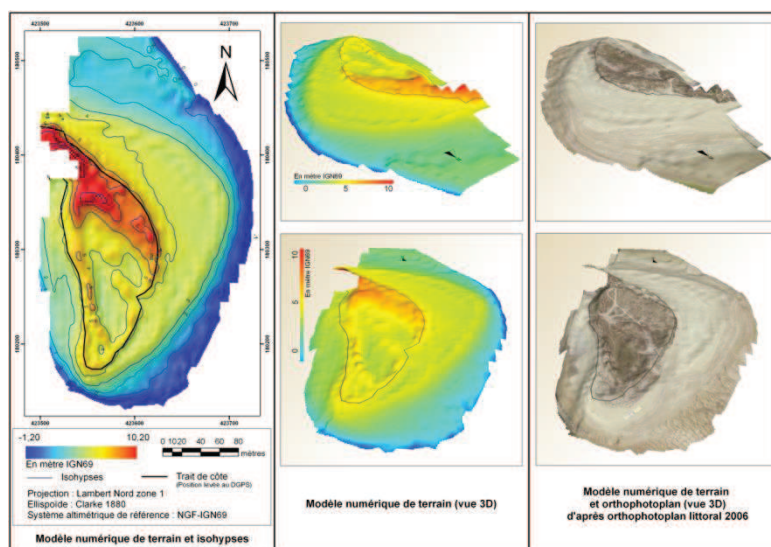


Figure 18 : Modèle Numérique de Terrain réalisé sur la base du levé topographique de l'extrémité de la flèche de Cabourg du 27 avril 2009 (source : CREC – UCBN, 2009)

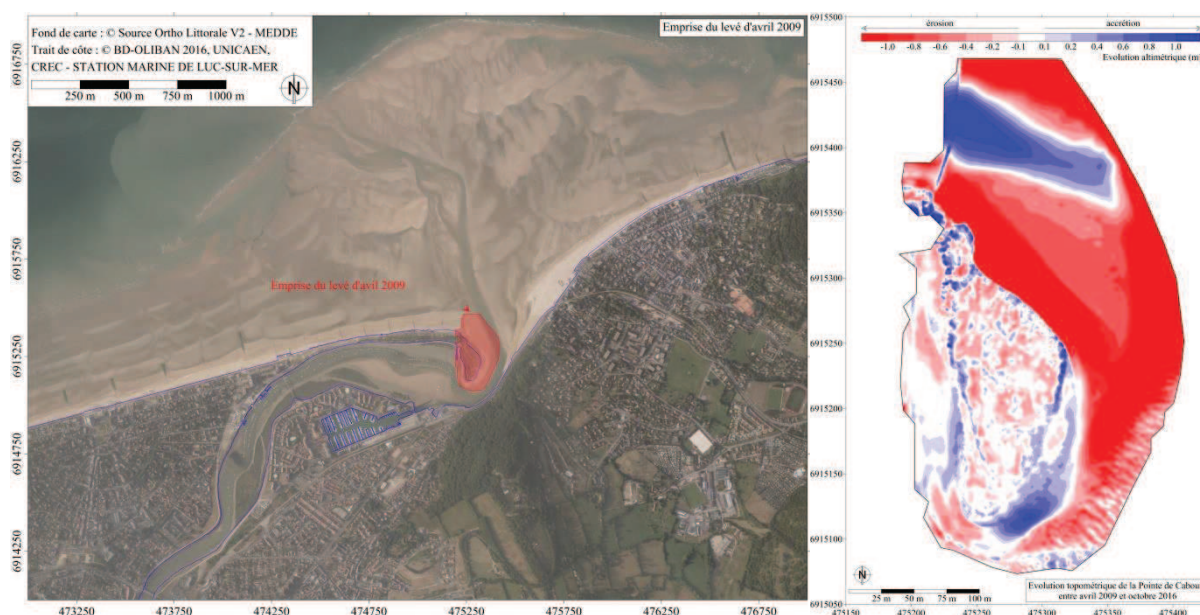


Figure 19 : localisation de l'emprise du levé topométrique de 2009 (à gauche) et différentiel altimétrique entre les MNT d'octobre 2016 et d'avril 2009 - Source : CREC – UCBN, 2016

En dehors du comblement d'une bêche localisée en 2009 au niveau du point d'inflexion de l'épi n°1, se traduisant par un exhaussement supérieur à +1 m aux abords de l'ouvrage, l'ensemble du secteur intertidal compris entre le chenal de la Dives d'un côté et l'épi et le poulie de l'autre, a connu un abaissement supérieur à -1 m. L'extrémité SE de la pointe sableuse a, quant à elle, connu un engraissement, avec le développement en partie haute d'une dune embryonnaire. En partie basse, à proximité du chenal, l'estran a inversement eu tendance à s'abaisser modérément.

Le MNT établi en 2009 faisait déjà apparaître un recul de la dune à l'Est immédiat de l'épi n°1, recul qui s'est accentué ces dernières années.

Par rapport à la situation de 2009, en dehors d'une zone particulière en accrétion, d'extension limitée, la haute plage située à l'Est de l'épi n°1 et du poulie présente en octobre 2016 un abaissement significatif, supérieur à -1 m, s'atténuant vers le Sud.

III.3. Evolution des profils de plage en avant de la flèche sableuse : coupes topographiques

Sept transects ont été définis sur l'estran en avant de la flèche sableuse de Cabourg (Figure 20) afin de visualiser l'évolution du profil de haute et de moyenne plages sur des coupes topographiques, extraites des MNT présentés ci-dessus (basés sur les données LIDAR de 2014, 2015 et 2016) :

- Profils P1, P2 et P3 à l'Est de l'épi n°1, limités par le chenal de la Dives, de longueur comprise entre 80 et 130 mètres ;
- Profil P4 entre les épis n°1 et 2 ;
- Profil P5 entre les épis n°3 et 4 ;
- Profil P6 entre les épis n°5 et 6 ;
- Profil P7 entre les épis n°7 et 8.

Les profils P1, P2 et P3 précisent l'évolution du flanc oriental du poulie, depuis son extrémité Sud jusqu'aux abords de l'épi n°1, respectivement (Figure 21).

Les deux premiers profils confirment une première phase de progradation de la flèche sur le chenal, entre 2014 et 2015, suivie d'un recul significatif et d'un abaissement de profil atteignant localement – 1,5 mètre. Cette érosion est surtout sensible sur le transect central (n°2) où elle survient entre juin 2015 et mars 2016 (et avec un décalage de quelques mois sur le profil P1, entre mars et octobre 2016).

Sur le transect le plus septentrional (n°3), l'érosion est survenue plus tôt, entre octobre 2014 et juin 2015. Entre 2015 et 2016, la dune a été érodée (abaissement de profil de l'ordre de -2,5 m à ce niveau, -1 m plus en avant) mais une barre sableuse imposante s'est développée sur la haute plage. Cette barre a progressé de 8 mètres environ entre mars et octobre 2016, en direction du pied de dune, plaquant contre ce dernier une dépression longitudinale qui favorise son érosion. **Au vu de l'évolution du profil au cours des sept derniers mois, un comblement progressif de cette bêche est possible dans les prochains mois.** Cette migration est toutefois très dépendante des conditions d'agitation et de leur conjugaison avec les marées de vives-eaux.

L'enveloppe de fluctuation des profils sur cette section atteint une amplitude de 2 à 2,2 mètres, exceptionnellement 2,5 mètres à l'emplacement de la dune érodée ou à l'approche du chenal.

Les quatre transects suivants permettent de visualiser l'évolution du profil de haute et de moyenne plages sur la zone défendue par les épis, et notamment la progression des barres sableuses en direction du rivage. Sur le linéaire des transects, compris entre 215 et 230 mètres, la régularité du décalage du complexe barre/bâche d'une année sur l'autre est assez remarquable, notamment sur les transects P4 et P5. A titre d'exemple, sur ces deux profils, en 2014, pouvait s'observer depuis le trait de côte, une alternance barre/bâche/barre successivement. En 2015, le système avait progressé et la bâche atteint l'extrémité supérieure du profil, donnant la succession décalée d'une unité bâche/barre/bâche. En mars 2016, un nouveau décalage permettait de retrouver la succession observée deux ans auparavant.

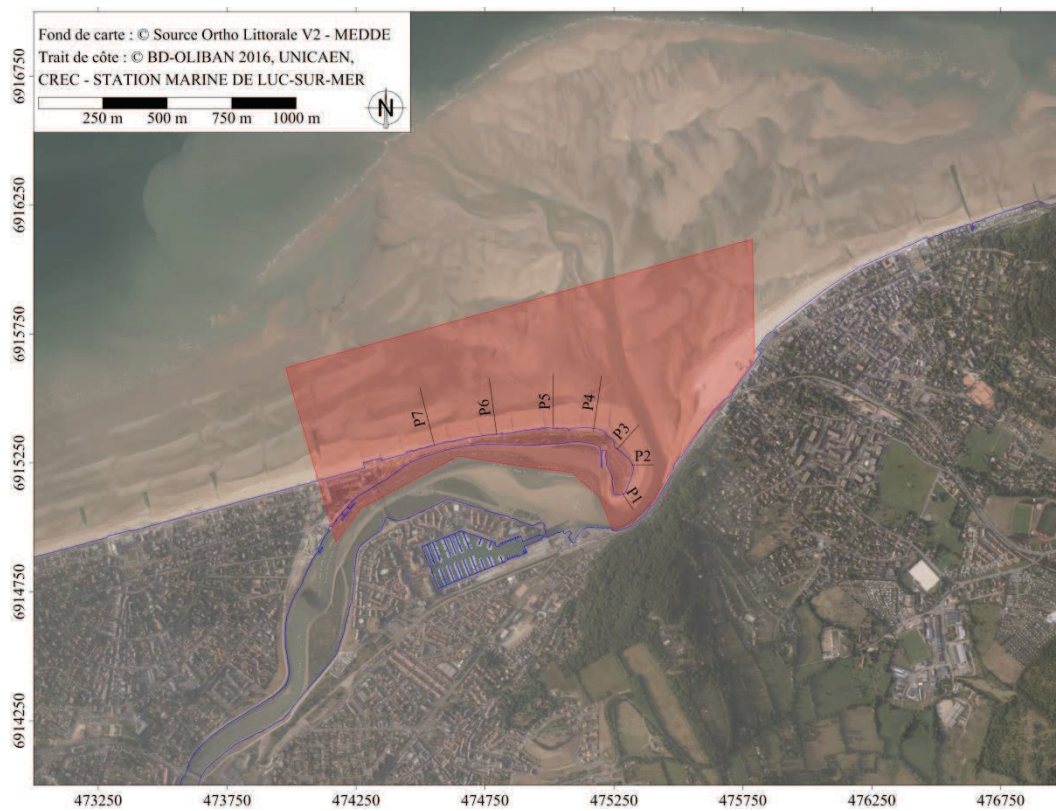


Figure 20 : localisation des sept transects définis sur la flèche de Cabourg pour la génération des coupes topographiques -
Source : CREC – UCBN, 2016

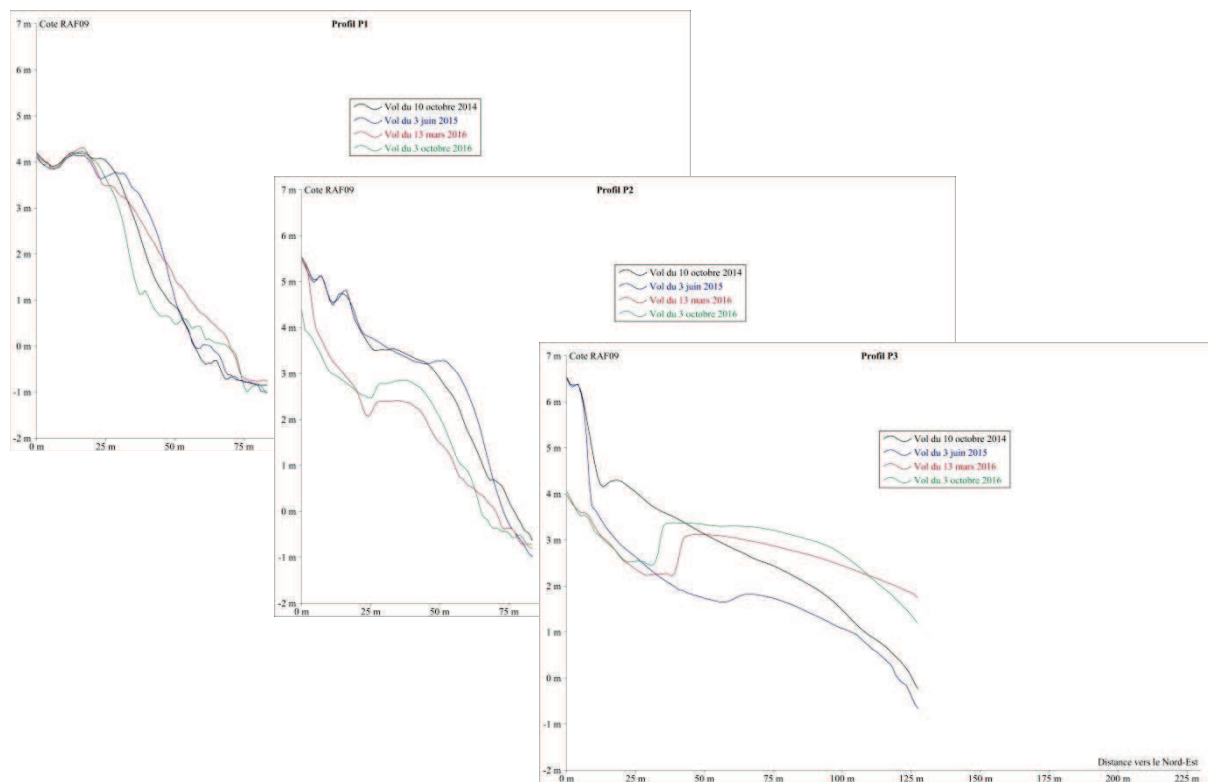


Figure 21 : évolution des profils de plage sur les transects 1 à 3 situés à l'extrémité de la Pointe de Cabourg, entre 2014 et 2016 - Source : CREC – UCBN, 2016

Le transect P7, le plus occidental, présente une succession généralement opposée à celle observée sur les deux profils précédents, traduisant une arrivée plus précoce des trains de barres.

Le transect P6, en position charnière sur la flèche sableuse, présente une succession intermédiaire, tantôt proche de celle du transect P7, tantôt comparable à celle des transects orientaux.

L'enveloppe de fluctuation des profils de haute plage est sensiblement plus faible sur le transect P7, avec 1,3 mètre sur la période considérée, que sur les trois transects situés plus à l'Est (comprise entre 1,5 et 2 mètres). Les plus fortes fluctuations ont été observées sur le transect P4.

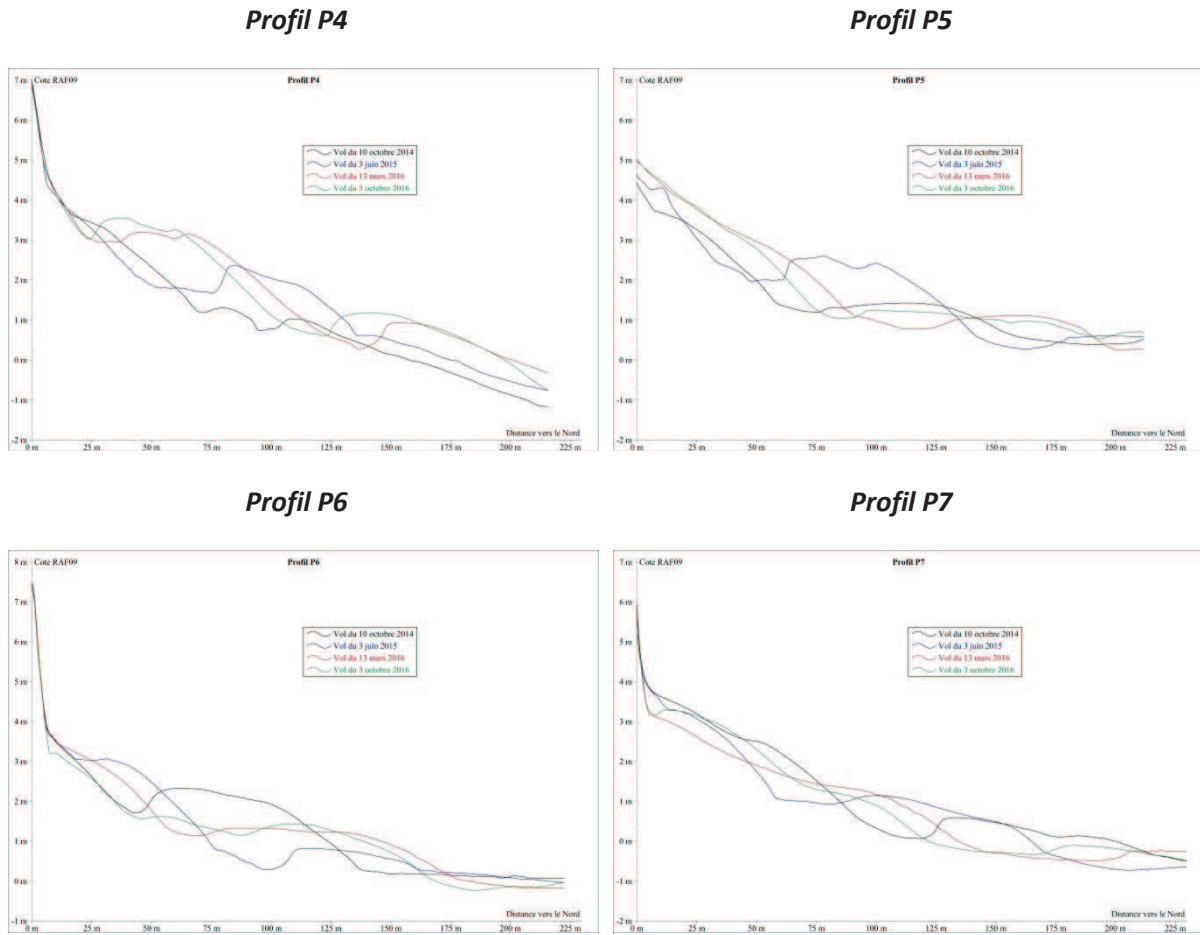


Figure 22 : évolution des profils de plage en avant de la flèche sableuse de Cabourg, entre 2014 et 2016 - Source : CREC – UCBN, 2016

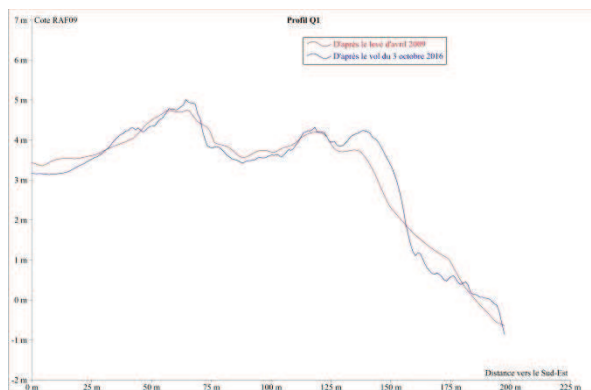
En synthèse, les **trains de barres/bâches, légèrement obliques par rapport au rivage, arrivent avec un décalage ouest-est** entre la zone urbanisée de Cabourg et l'épi n°1. Au droit de la **flèche sableuse défendue par les épis**, les **fluctuations** sont comprises entre **1,3 et 2 mètres**, et sont minimales sur la partie ouest. **Au droit de la partie recourbée vers le Sud de la flèche**, les **fluctuations de profil** sur la haute plage atteignent **2 à 2,2 mètres** entre 2014 et 2016, exceptionnellement 2,5 mètres.

Trois des cinq coupes topographiques présentées dans le rapport du CREC de 2009 ont été reprises afin de présenter l'évolution de ce secteur entre avril 2009 et octobre 2016 par le biais d'une superposition de profils (profils Q1 à Q3, localisation sur la Figure 23).

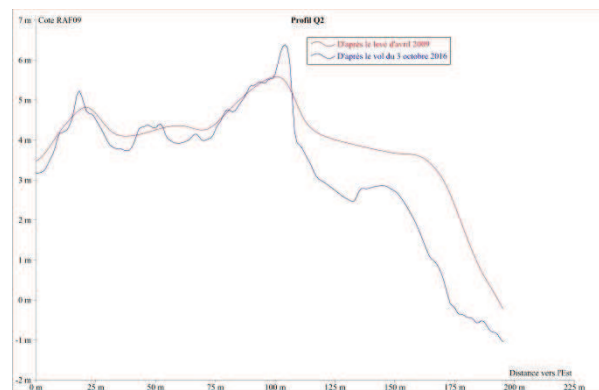


Figure 23 : localisation des trois profils repris de l'étude CREC 2009 – Source : CREC-UCBN, 2016

Profil Q1



Profil Q2



Profil Q3

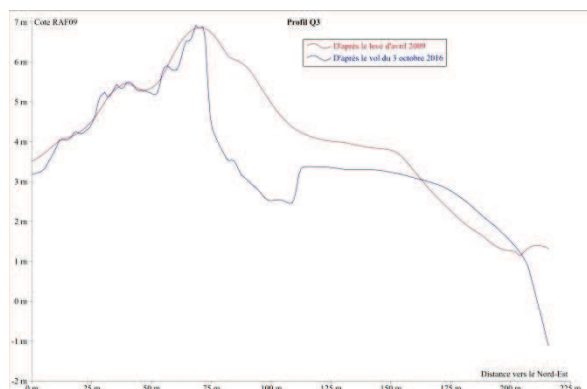


Figure 24 : évolution des profils dune/plage sur les transects Q1 à Q3 situés à l'extrémité de la Pointe de Cabourg, entre avril 2009 et octobre 2016 - Source : CREC – UCBN, 2016

Le profil Q1 le plus méridional permet de visualiser l'exhaussement (+1,1 m) et la progradation de la dune embryonnaire entre 2009 et 2016, sur une dizaine de mètres vers le SE, associés à une érosion

de la partie basse de l'estran à l'approche du chenal (-0,7 m), se traduisant par une augmentation significative des pentes (Figure 24).

En direction du Nord, la résultante 2009-2016 sur l'ensemble du profil est à l'érosion significative de la dune et de l'estran, avec un abaissement général de profil, compris entre -1,5 et -2,5 mètres sur le transect Q2, jusqu'à -2,8 mètres sur le transect Q3. L'arrivée, en 2016, d'une barre sableuse sur ce dernier a permis de limiter ce bilan négatif sur la partie inférieure du profil (Figure 24).

En synthèse, **par rapport à la situation de 2009**, année de la précédente étude CREC-UCBN sur ce secteur, le **bilan est négatif** : la **dune a reculé** et le **profil d'estran s'est fortement abaissé (jusqu'à -2,8 m)**. Seule l'**extrémité SE du poulier** a connu une **progression** et un **exhaussement** de la dune embryonnaire, mais l'érosion de la partie basse du profil se traduit par une **accentuation des pentes du chenal**.

IV. CUBATURES

Afin de préciser les volumes en jeu sur la haute plage et la moyenne plage, et leur évolution entre les quatre levés LIDAR, cinq zones de calcul ont été définies à l'Ouest de la zone urbanisée de Cabourg (Figure 25) :

- Zone 1 : haute plage à l'Ouest de l'épi n°6 ;
- Zone 2 : partie supérieure de la moyenne plage à l'Ouest de l'épi n°6 ;
- Zone 3 : haute plage à l'Est de l'épi n°6 ;
- Zone 2 : partie supérieure de la moyenne plage à l'Est de l'épi n°6 ;
- Zone 5 : estran à l'Est de l'épi n°1 et de l'extrémité recourbée de la flèche sableuse (le poulier).

La séparation au niveau de l'épi n°6 a été décidée au vu des évolutions distinctes constatées à l'Ouest et à l'Est de cette zone charnière, marquant un point d'inflexion du trait de côte. Les zone 1 (3,3 ha) et 3 (4,7 ha) s'étendent jusqu'à la tête des épis. Les zones 2 (4,8 ha) et 4 (5,4 ha) s'avancent sur la moyenne plage sur une centaine de mètres. La zone 5 (4,3 ha) s'étend jusqu'aux limites du chenal à marée basse.

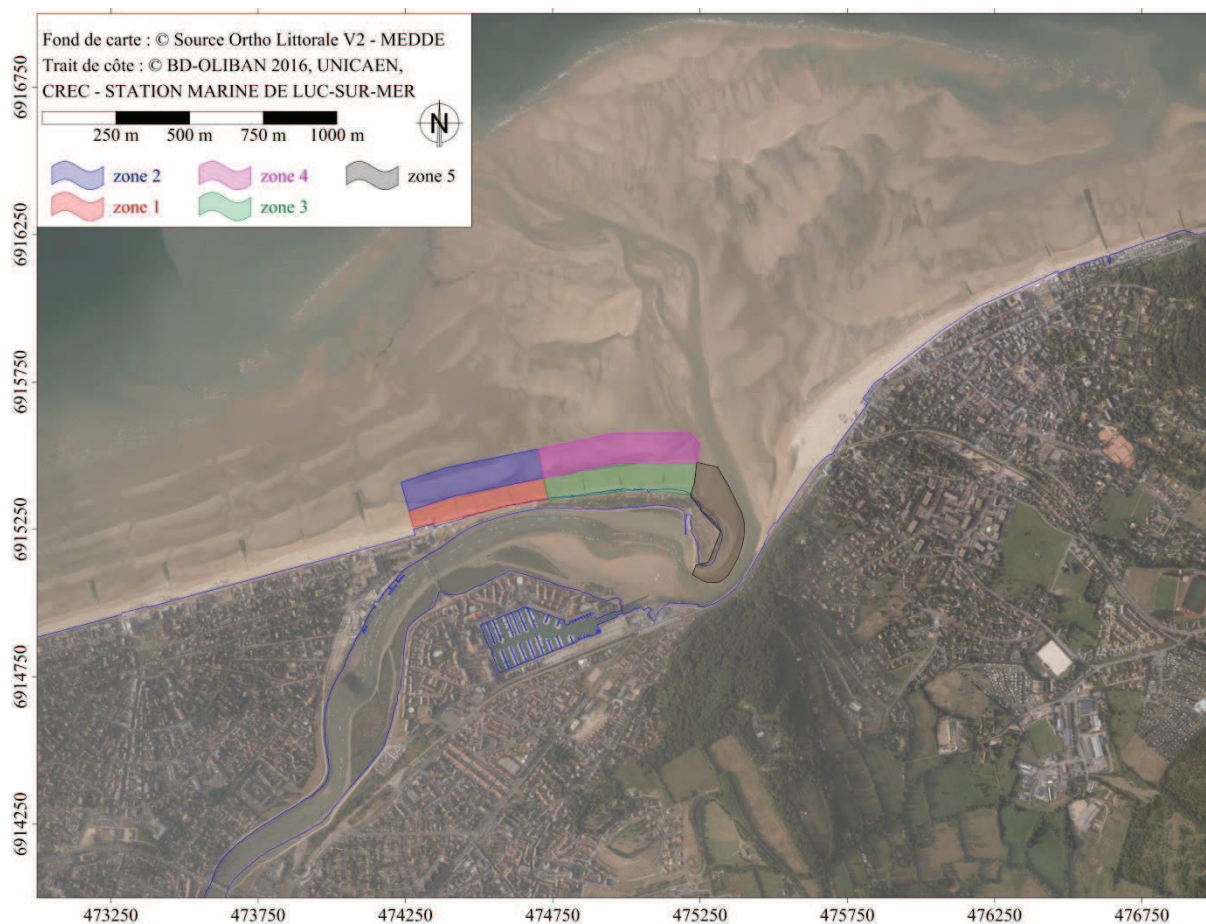


Figure 25 : localisation des cinq zone définies pour les cubatures – Source : CREC-UCBN, 2016

La Figure 26 présente, en partie supérieure, les superficies en érosion ou en accrétion significatives (dont les évolutions altimétriques sont supérieures à $\pm 0,1$ m) pour chaque zone de calcul et pour chaque période séparant deux levés LIDAR. La partie inférieure de la Figure 26 présente les volumes correspondants.

Les hautes plages des zones 1 (à l'Ouest) et 3 (à l'Est), situées de part et d'autre de la zone charnière identifiée en partie centrale de la flèche sableuse, présentent des évolutions opposées. La première a connu une part croissante (passant de minoritaire à majoritaire) des superficies en accrétion entre octobre 2014 et octobre 2016. Sur la même période, la seconde zone a présenté une évolution strictement inverse.

L'évolution antagoniste est également vérifiée entre la haute et la moyenne plage : les zones 1 et 2 ont connu des évolutions opposées, les zones 3 et 4 également mais sur les deux premières périodes uniquement. L'évolution de la part relative des superficies en érosion / en accrétion sur la zone 4 n'a en effet pas été régulière (augmentation des superficies en accrétion entre octobre 2014 et mars 2016, puis diminution en 2016), se rapprochant plus en cela de l'évolution constatée sur la zone 5 située en bordure de chenal.

Le différentiel, **entre octobre 2014 et octobre 2016**, fait ressortir une part prédominante de superficies en **érosion sur les zones 1, 2 et 5** (haute et moyenne plages occidentales et bordure du chenal de la Dives). A l'inverse, la part des superficies en **accrétion domine** résiduellement sur les **haute et moyenne plages centrales** (zones 3 et 4), **entre les épis n^{os}1 et 6**.

La part relative des volumes déposés et érodés sur chaque zone suit une tendance évolutive comparable à celle décrite ci-dessus pour les superficies (Figure 26, partie inférieure).

Les volumes résiduels calculés pour chaque zone et pour chaque période séparant deux vols sont présentés sur la Figure 27. Des évolutions opposées se retrouvent sur les hautes plages des zones 1 et 3, avec des volumes relativement proches si la différence de superficie des deux zones est prise en compte. Une **érosion de l'ordre de $-15\ 000\ m^3$** a ainsi été calculée sur la **haute plage ouest** pour la période **octobre 2014 – mars 2016**, pour une **accrétion de $+18\ 000\ m^3$ sur la haute plage est**. La dernière période s'est traduite par une inversion de tendance, respectivement $+8\ 000\ m^3$ et $-5\ 000\ m^3$. L'évolution des volumes résiduels sur les moyennes plages *ouest* et *est* est également en opposition, avec respectivement $+3\ 000$ et $-3\ 000\ m^3$ entre 2014 et 2015, puis $-13\ 000$ et $+11\ 000\ m^3$ sur les deux dernières périodes.

Résiduellement, entre octobre 2014 et octobre 2016, le bilan sédimentaire est négatif sur les haute et moyenne **plages ouest** ($-6\ 000$ et $-10\ 000\ m^3$ respectivement) et **positif** sur les haute et moyenne **plages orientales** ($+13\ 000$ et $+8\ 000\ m^3$ respectivement). Pour la zone 5, **en bordure de chenal**, malgré une accrétion résiduelle entre 2015 et 2016, le **bilan** sur la période octobre 2014 / octobre 2016 est **négatif** avec $-7\ 000\ m^3$.

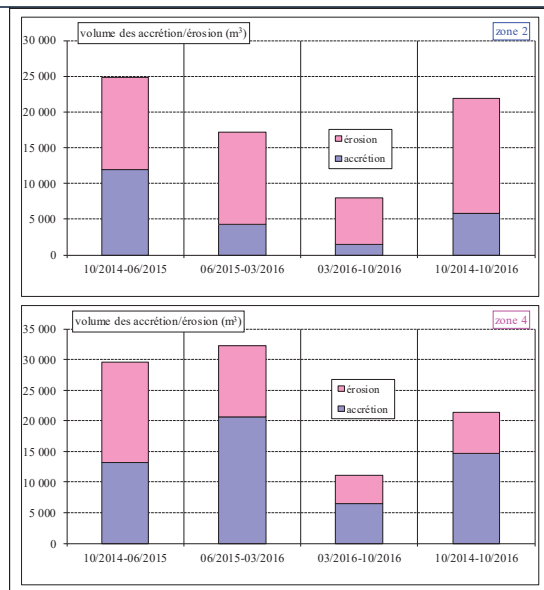
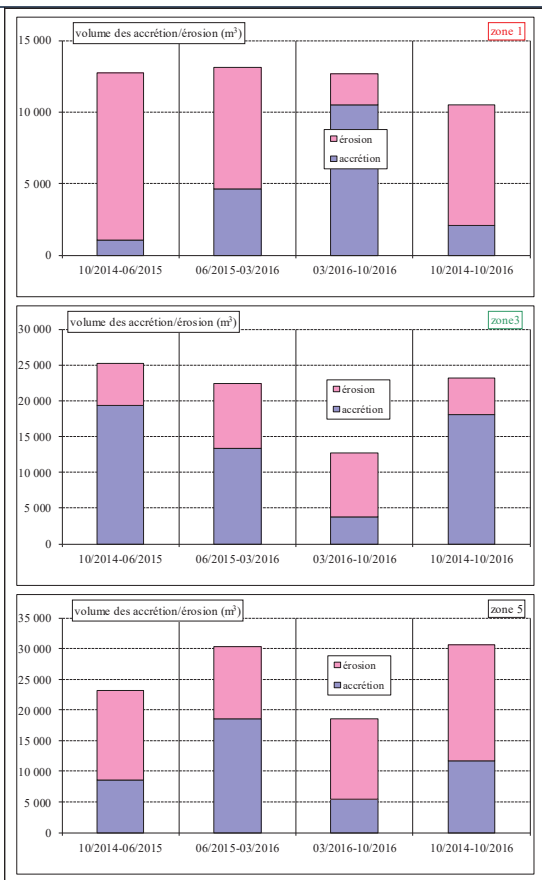
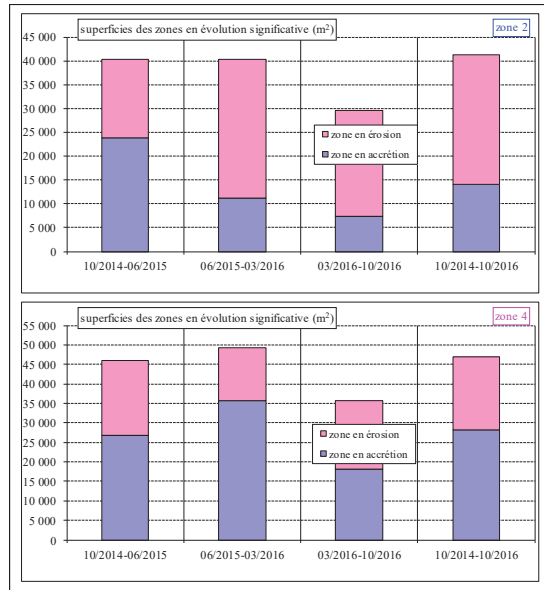
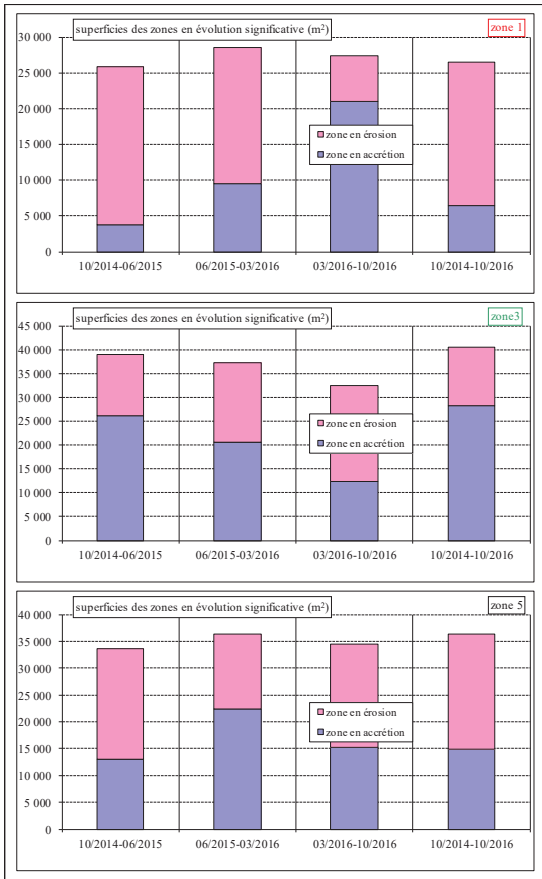


Figure 26 : évolution des superficies en érosion ou en accrétion significative (variation altimétrique > ±0,1m) entre deux vols LIDAR, sur les cinq zones de calcul (en haut) et volumes correspondants (en bas) – Source : CREC-UCBN, 2016

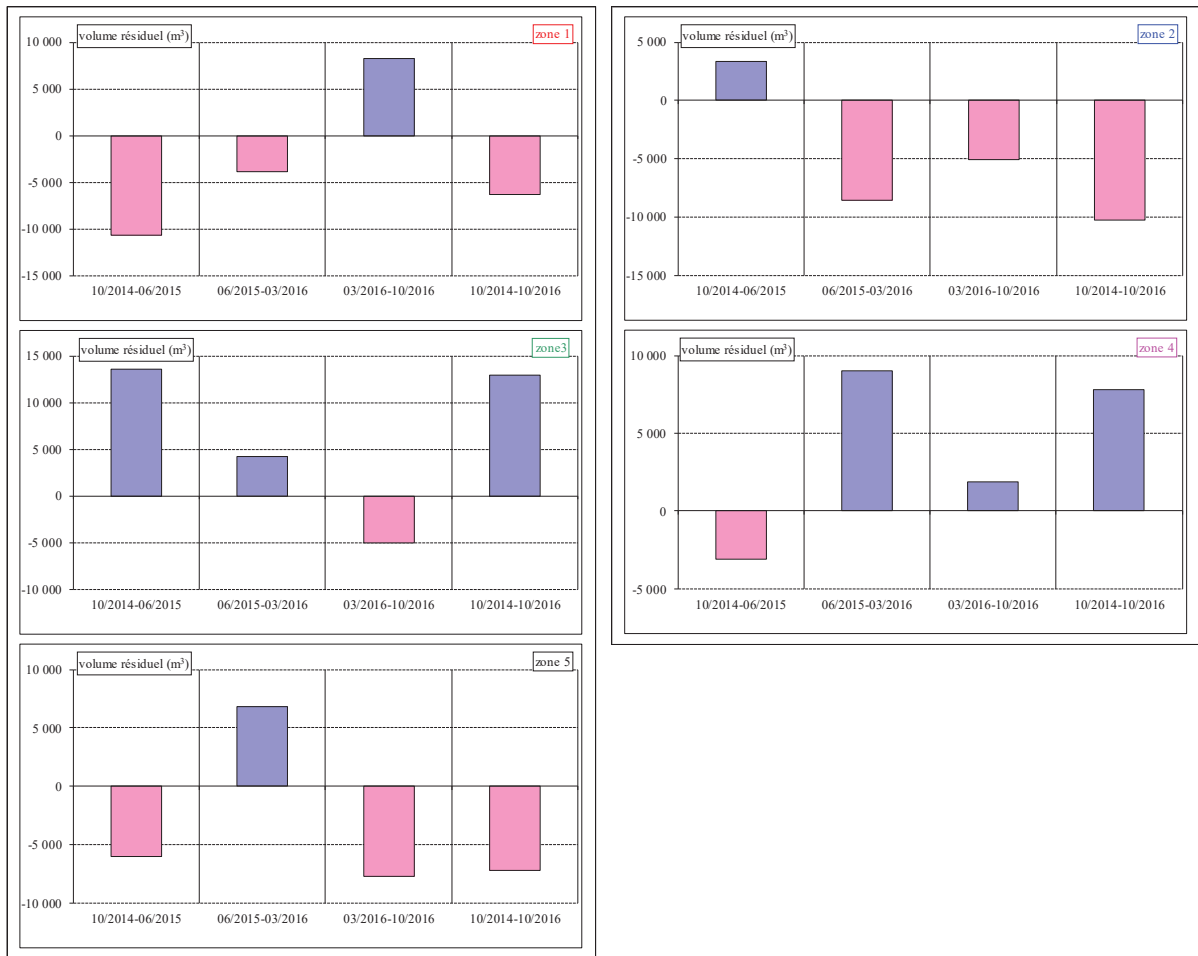


Figure 27 : évolution des volumes résiduels entre deux vols LIDAR sur les cinq zones de calcul – Source : CREC-UCBN, 2016

V. EVOLUTION DE LA LIMITE DES PLUS HAUTES MERS ASTRONOMIQUES

L'analyse de l'évolution historique du trait de côte sur la période 1947-2009 a déjà été réalisée par le CREC (Figure 28) dans le cadre de la première étude (CREC-UCBN, 2009), par digitalisation sur photographies aériennes verticales soit du sommet de la corniche dunaire (secteurs en érosion), soit d'une limite de végétation (secteurs en accrétion).

Dans le cadre de la présente étude, ce travail a été actualisé pour la période récente 2014-2016 par le biais d'une analyse de l'évolution planimétrique de l'isohypse (courbe de niveau) correspondant au niveau des plus hautes mers astronomiques (niveau de pleine mer de marées de vives-eaux exceptionnelles, en l'absence de surcote et d'agitation). Pour le port de Dives-sur-Mer, ce niveau correspond à la cote +8,83 m CM¹ (soit +4,24 m RAF09²). Cette ligne d'égale altimétrie, proche du trait de côte, a été créée à partir des données topographiques acquises lors des vols LIDAR successifs.

La Figure 29 ci-dessous présente l'évolution de l'isohypse +4,24 m RAF09 entre les trois premiers levés LIDAR et localise les repères hectométriques qui permettent de recalcr les évolutions présentées sur les Figure 30 à Figure 33 (origine des repères : limite orientale de la cale est de Cabourg).

Les Figure 30 à Figure 33 présentent d'une part l'évolution brute de l'isohypse, mesurée sur la période précisée, et d'autre part, l'évolution relative par rapport à un trait de côte virtuel lissé et centré, qui sert de référence pour apprécier la position relative de la courbe de niveau sur les deux dates.

Pour mémoire, le trait de côte compris entre les repères 0 et 100 m est constitué d'un perré incliné en béton et, entre les repères 100 et 500 m, d'un perré en enrochements fortement ensablé et recouvert par la végétation. Pour faciliter la localisation des évolutions, la distance approximative séparant les neuf épis de la cale est de Cabourg est également précisée ci-dessous :

Ouvrage	Epi 9	Epi 8	Epi 7	Epi 6	Epi 5	Epi 4	Epi 3	Epi 2	Epi 1
Distance à la cale	90 m	160 m	280 m	400 m	525 m	650 m	720 m	790 m	890 m

Le dernier repère 1 100 m ne correspond pas à l'extrémité sud de la partie terminale de la flèche, mais à un point intermédiaire situé une centaine de mètres plus au Nord. L'évolution de l'extrémité du poulier à l'intérieur de l'estuaire n'est donc pas décrite ici.

¹ CM : cote marine, référencée par rapport au zéro hydrographique des cartes marines, correspondant approximativement au niveau des plus basses mers astronomiques observé localement – Cote fournie par le SHOM, RAM2014. La différence altimétrique entre le zéro hydrographique et le zéro terrestre IGN₆₉ (ou NGF) est de 4,59 mètres pour le port de Dives/Mer (valeur approchée issue d'un modèle mathématique)

² RAF09 : modèle de géoïde permettant de dériver les élévations terrestres des hauteurs ellipsoïdales mesurées par le GPS. RAF09 et IGN₆₉ sont très proches, l'écart étant de quelques centimètres.

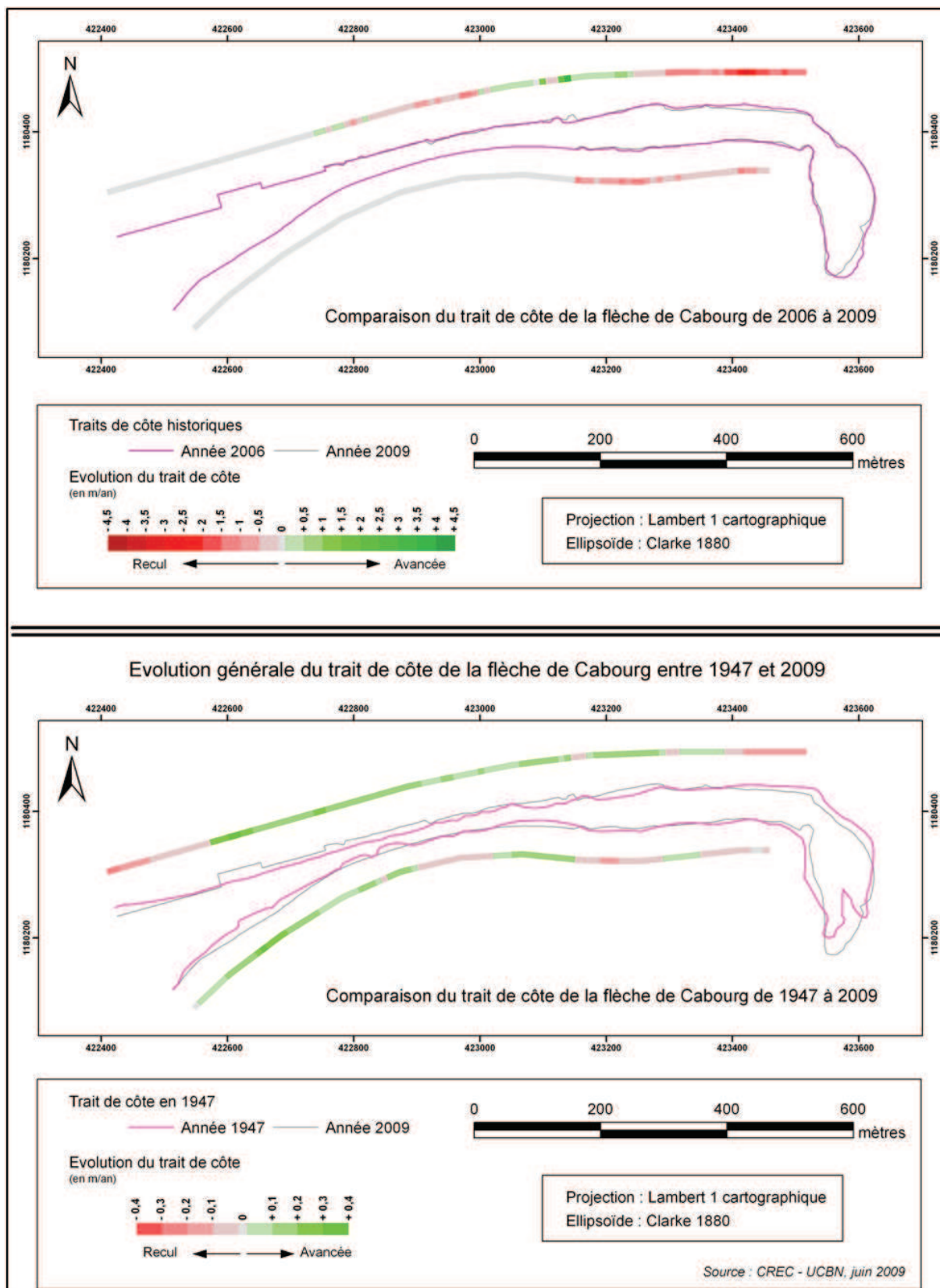


Figure 28 : évolution historique du trait de côte sur les périodes 2006-2009 et 1947-2009 – Source : CREC – UCBN, 2009

Afin d'en faciliter la lecture, le terme "isohypse +4,24 m RAF09" sera remplacé dans le texte ci-dessous par le terme CR (pour Cote de Référence).

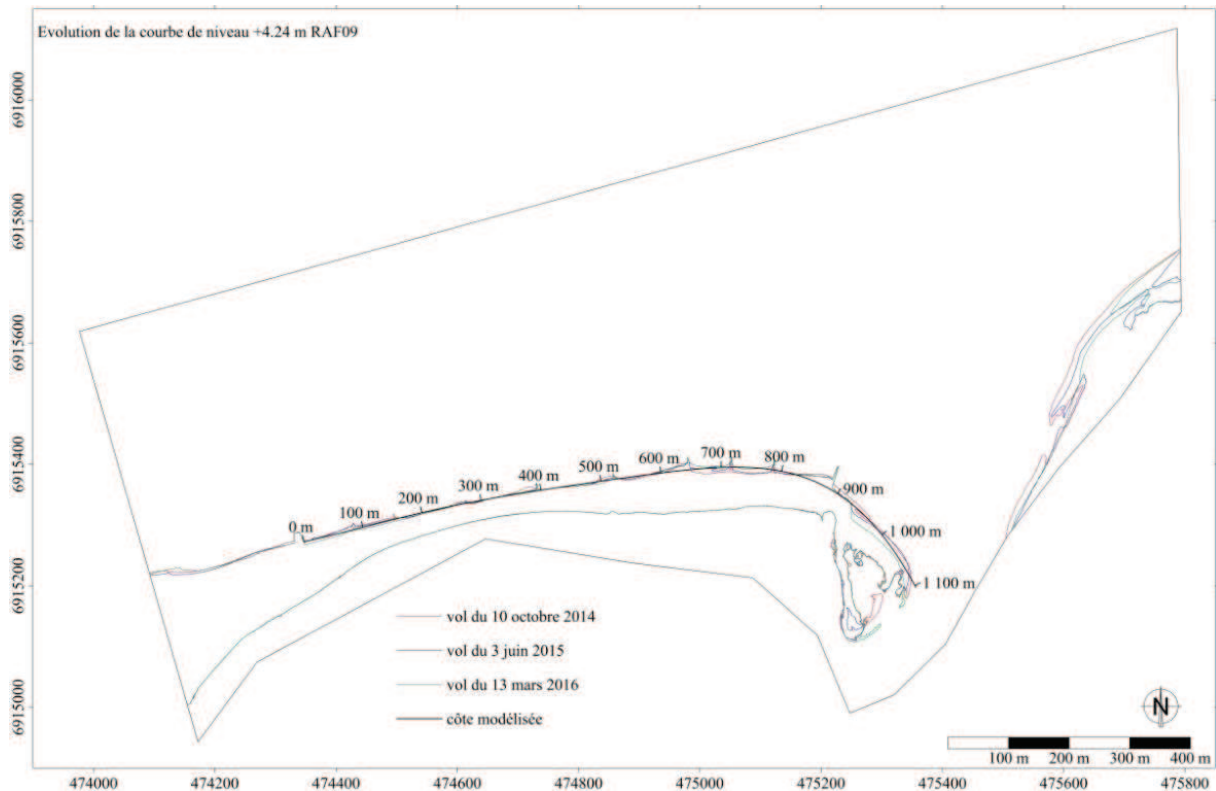


Figure 29 : évolution de l'isohypse +4,24 m RAF09 entre les trois premiers levés LIDAR et localisation des repères hectométriques utilisés sur les graphiques d'évolution du trait de côte – Source : CREC-UCBN, 2016

Entre octobre 2014 et juin 2015 (Figure 30), la CR a présenté une tendance générale à la migration vers le Nord entre les repères 525 et 790 mètres, avec une avancée généralement inférieure ou égale à +5 mètres, traduisant une tendance à l'engraissement de la partie supérieure de la haute plage malgré quelques reculs ponctuels (notamment à l'Ouest de l'épi n°4). A l'Ouest du repère 525 m (sur la partie protégée longitudinalement), la tendance s'inverse et la CR a reculé sur une distance atteignant -5 mètres au maximum, traduisant cette fois une érosion de la partie supérieure de la haute plage. Les reculs correspondent précisément aux secteurs de plage situés à l'Ouest immédiat de chaque épi n°5 à n°8. A l'Est du repère 790 mètres (épi n°2), la CR a également reculé sur -5 mètres au maximum, avec une atténuation à l'Ouest immédiat de l'épi n°1.

Entre juin 2015 et mars 2016 (Figure 31), la partie protégée à l'Est immédiat de la zone urbanisée de Cabourg (repères 0 à 200 mètres) a cette fois connu un recul significatif de la CR, de -5 m en moyenne, correspondant à une érosion de la haute plage en pied d'ouvrage. Entre les repères 200 et 650 mètres (épi n°4), les évolutions de la CR sont mineures, mais correspondent toujours à la proximité immédiate des épis (n°s 4 à 7 en l'occurrence). Elles s'accroissent et se densifient en revanche plus à l'Est, avec une progression de la CR sur +5 à +10 mètres (accrétion) entre l'épi n°4 et l'épi n°2, inférieure à +5 mètres entre l'épi n°2 et l'épi n°1. A l'Est de l'épi n°1, la CR a reculé de -10 à -15 m, traduisant une accentuation de l'érosion.

Entre mars et octobre 2016 (Figure 32), les évolutions sont mineures. Cette différence avec les deux périodes précédentes peut s'expliquer par la durée (période de 7 mois contre 8 et 9 mois pour les deux

précédentes), mais surtout par le fait qu'elle ne couvre pas la période hivernale, contrairement aux deux premières. Quoiqu'il en soit, le secteur précédemment érodé devant l'ouvrage longitudinal se ré-engraisse progressivement, le reste de la zone enrochée évoluant très peu. Entre les repères 500 et 800 mètres (épis n^{os} 5 à 2), la CR a progressé modérément sur moins de +5 mètres (accrétion). Seule l'extrémité de la zone aux abords du repère 1 100 m a présenté un recul de la CR croissant vers le Sud, atteignant -5 m.

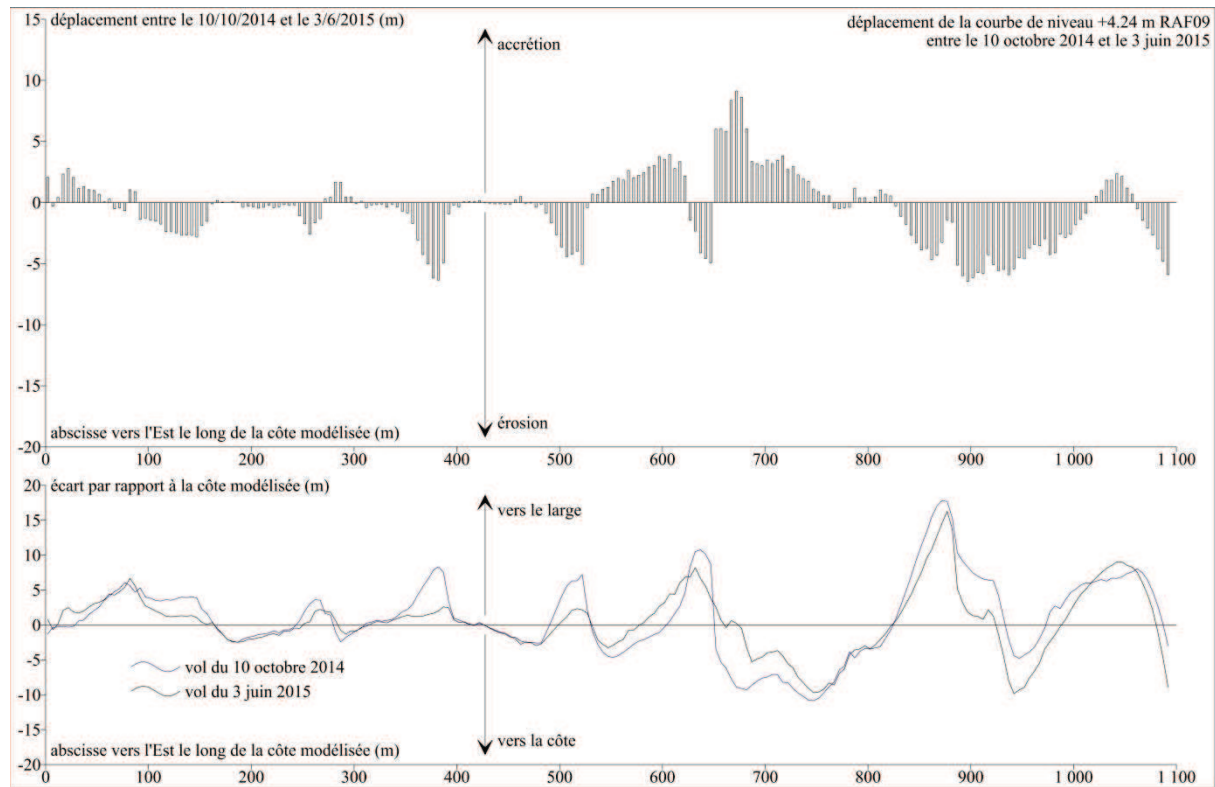


Figure 30 : déplacement de l'isohypse +4,24 m RAF09 (en haut) et écart par rapport à un trait de côte virtuel modélisé (en bas) pour la période 2014-2015 – Source : CREC-UCBN, 2016

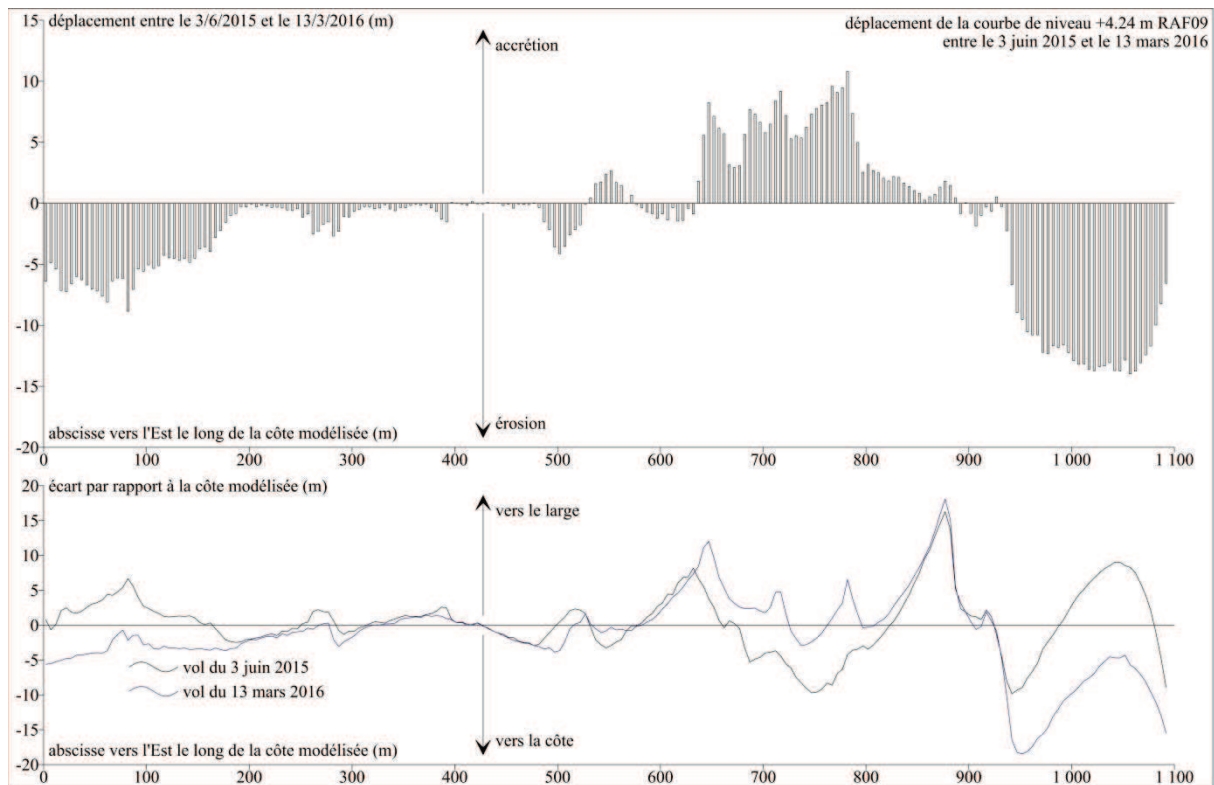


Figure 31 : déplacement de l'isohypse +4,24 m RAF09 (en haut) et écart par rapport à un trait de côte virtuel modélisé (en bas) pour la période 2015-2016 – Source : CREC-UCBN, 2016

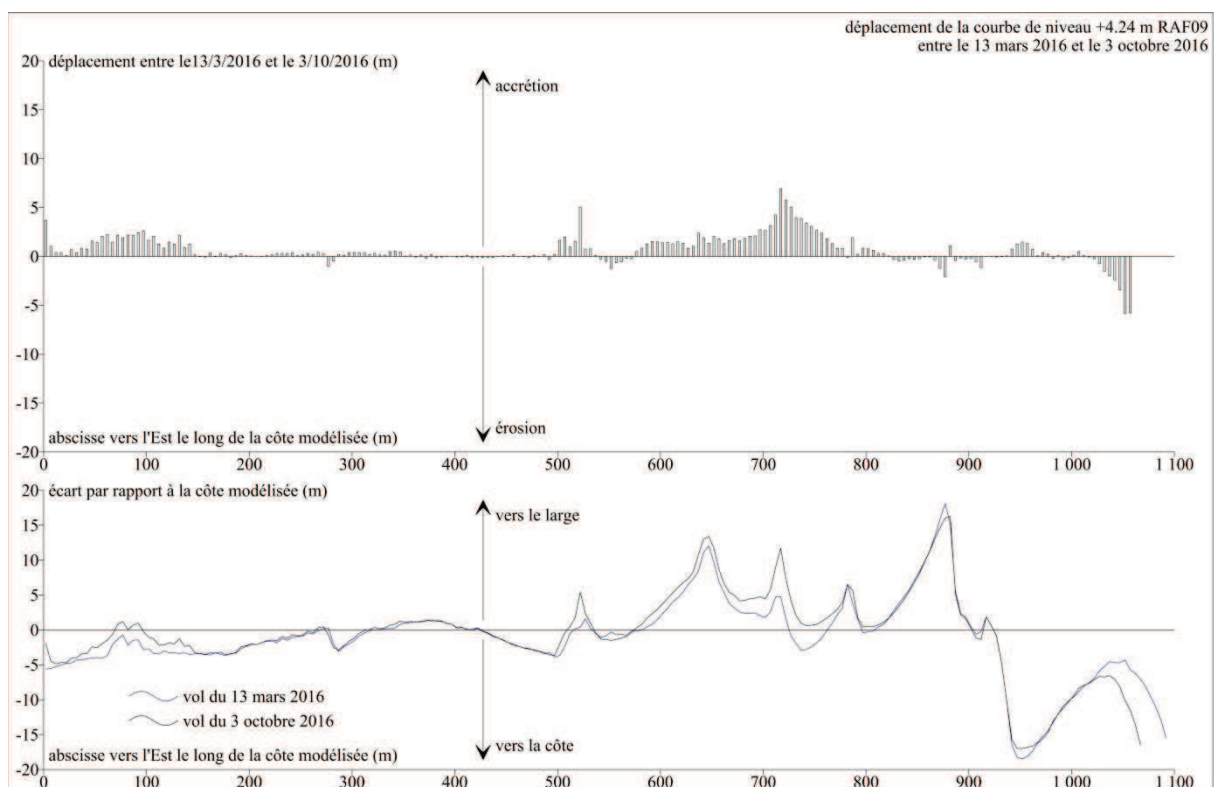


Figure 32 : déplacement de l'isohypse +4,24 m RAF09 (en haut) et écart par rapport à un trait de côte virtuel modélisé (en bas) pour la période mars – octobre 2016 – Source : CREC-UCBN, 2016

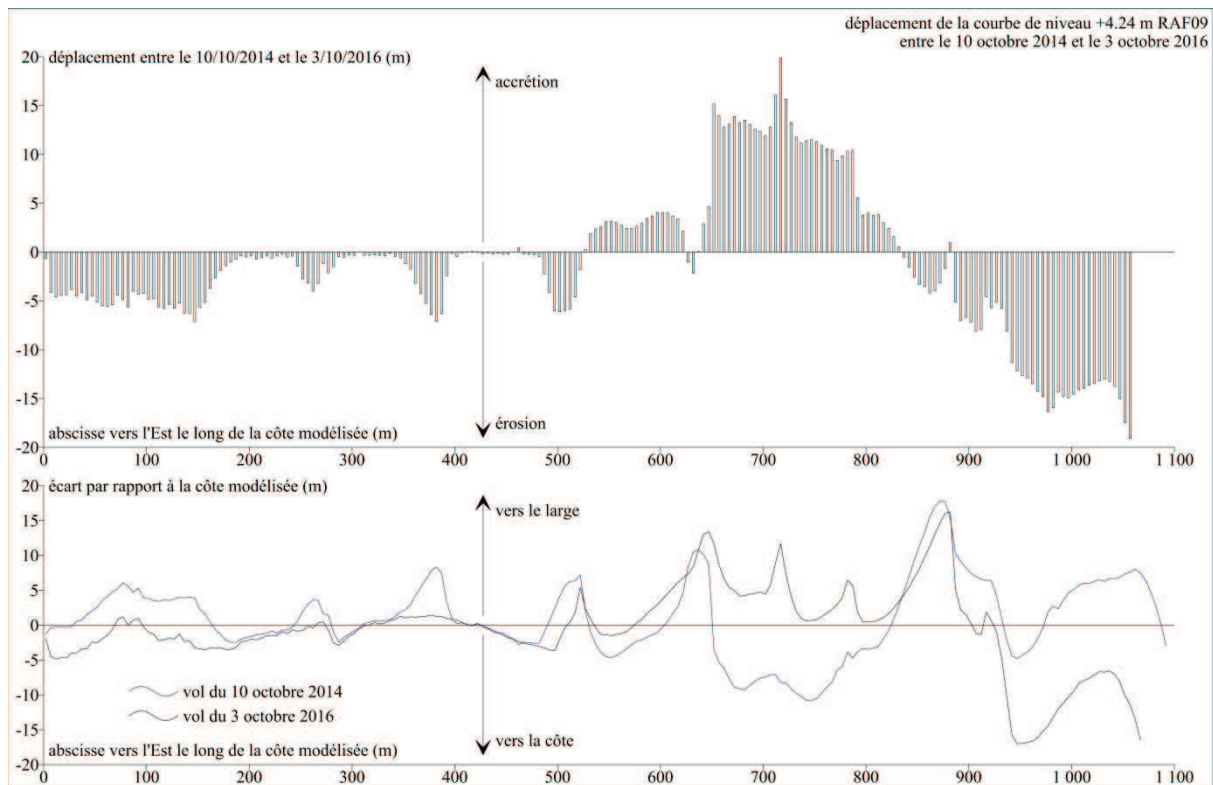


Figure 33 : bilan du déplacement résiduel de l'isohypse +4,24 m RAF09 (en haut) et écart par rapport à un trait de côte virtuel modélisé (en bas) pour la période octobre 2014 – octobre 2016 – Source : CREC-UCBN, 2016

Au **bilan**, pour la **période octobre 2014-2016**, l'isohypse +4,24 m RAF09 a **reculé** sur l'ensemble du secteur défendu par une **protection longitudinale**, avec des reculs **accentués** devant le **perré en béton**, ainsi qu'à l'**Ouest immédiat des épis n°5, 6, 7 et 8**, traduisant une **érosion** de la partie supérieure de la haute plage.

Devant la zone naturelle non protégée par le cordon d'enrochements, **quatre zones** se distinguent :

- **entre les épis n°4 et 5**, avec une progression modérée de la CR, entre +2 et +4 mètres (**accrétion mineure en pied de dune**) ;
- **entre les épis n°2 et 4**, avec une forte progression de la CR (+10 à +15 m, **accrétion importante en pied de dune**) ;
- **entre les épis n°1 et 2**, avec une avancée modérée sur la partie Ouest du casier et un recul modéré sur sa partie orientale (**évolutions modérées** inférieures à ±5 m) ;
- **à l'Est de l'épi n°1**, avec des reculs de la CR croissants vers le SE, atteignant -10 à -15 m, voire -20 m à l'extrémité de la zone étudiée, traduisant une **importante érosion en pied de dune**.

VI. SYNTHÈSE DES ÉVOLUTIONS CONSTATÉES DEPUIS 2014

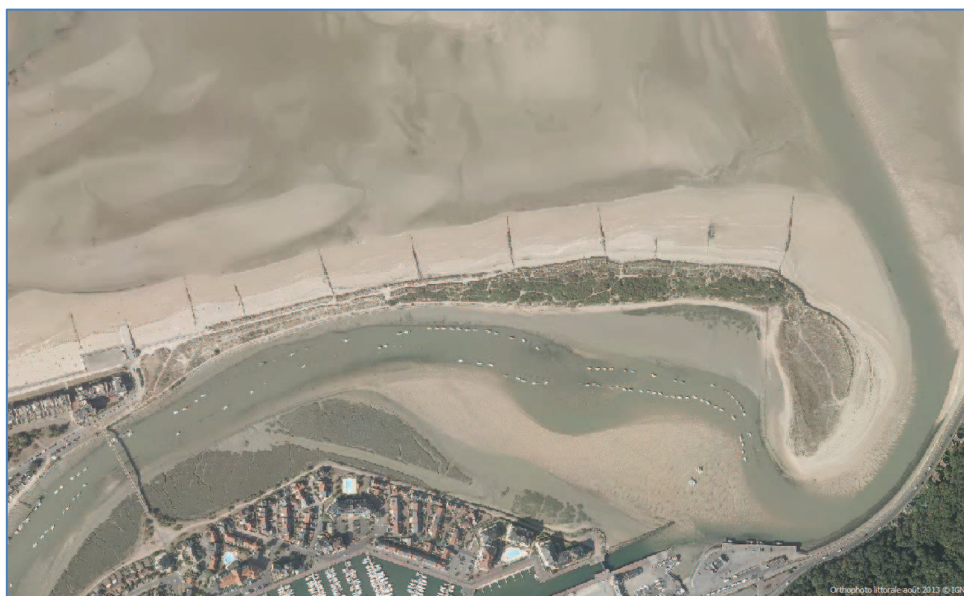
A l'issue de cette phase d'étude qui a pu profiter de données topographiques exceptionnelles issues des activités de recherche du CREC sur ce secteur du littoral du Calvados, il est possible de réaliser plusieurs constats importants dans le cadre de la problématique de l'érosion constatée de la Pointe de Cabourg et de la protection qui pourrait être envisagée :

- Le secteur de **côte étudié** est globalement **bien alimenté en sédiments** sableux. La migration de **barres sableuses** aux dimensions significatives en témoigne sur la période 2014-2016. Ces apports constituent une richesse en matériaux indéniable qui, bien gérée, doit permettre de stabiliser le trait de côte.
- Malgré ces apports provenant du NNO, conformes à la direction des vagues dominantes sur le site, des **secteurs en érosion subsistent localement** et montrent même une aggravation du phénomène. C'est le cas du trait de côte constitué d'un cordon dunaire à **l'extrémité de la pointe de Cabourg**, à l'Est immédiatement de l'épi n°1, mais aussi de la **plate-forme sédimentaire dans son prolongement**, en bordure du chenal de la Dives.
- Ces **évolutions** constituent une réponse aux **ouvrages réalisés anciennement** : perré en béton à l'Ouest, puis digue à talus en enrochements **et plus récemment** avec la batterie d'**épis** reconstruits en **2014** sur l'Est de la zone étudiée. Le perré lisse en béton, très réfléchissant à l'action des vagues de tempête en marées de vives-eaux, ne peut permettre une sédimentation conséquente résiduelle à son pied. Il en va de même, mais dans une moindre mesure, pour la digue en enrochements, malgré la présence d'épis (épisodes n°5 à n°9). Par contre, le **secteur de côte non protégé frontalement, avec des épis reconstruits, est une zone en accrétion**, où le trait de côte se stabilise progressivement, notamment grâce aux apports sableux provenant de la migration des barres qui atteignent, sur ce secteur, la plus haute partie de l'estran. L'effet de la réalisation des **nouveaux épis en 2014** apparaît donc **très positif** sur ce secteur de côte.
- Ces travaux ont eu d'**autres impacts plus à l'Est**, l'un positif et l'autre négatif. La batterie d'épis reconfigurée en 2014, jouant pleinement son rôle de piège à sédiments, à limiter le transport sédimentaire vers l'Est. Par conséquent, à l'Est de l'épi n°1, il est donc logique de constater une **érosion accrue du trait de côte**. Cette zone possède une haute plage qui est sous-alimentée en sable ce qui provoque son abaissement et de manière induite favorise un recul rapide du cordon dunaire malgré l'arrivée d'une barre de sable bien visible sur les relevés Lidar de 2016. Le second impact, qui est positif, est une **réduction des apports sableux dans le chenal lui-même**. L'étude de 2009 avait préconisé une extraction de 5000 m³ de sédiments afin de retrouver une configuration des lieux de la fin des années 80. Finalement, le déficit sédimentaire induit par la construction de **la nouvelle batterie d'épis a évité une extraction de matériaux en bordure du chenal** d'un ordre de grandeur qui apparaît équivalent à ce qui été envisagé lors de l'étude de 2009.
- **L'érosion importante de l'extrémité de la Pointe de Cabourg**, dans un contexte néanmoins favorable d'apports sédimentaires potentiels **peut être fortement atténuée, voire stoppée**. Cela consistera à **rendre inactif la bêche de vidange** des eaux du déferlement à proximité de l'épi n°1 afin de **fixer les sables qui peuvent arriver à la fois selon un axe longitudinal, mais également transversal** au trait de côte.



CENTRE DE RECHERCHES
EN ENVIRONNEMENT CÔTIER
STATION MARINE

PROTECTION DU LITTORAL DE LA POINTE DE CABOURG



Phase 1

Analyse du site et évolution topographique récente de la zone d'étude

ANNEXES :

Fiches sites et fiches ouvrages, modèles CEREMA et GRESARC UCBN

Décembre 2016

AUTEURS

Franck LEVOY¹, Olivier MONFORT² et Hervé BIZIEN³

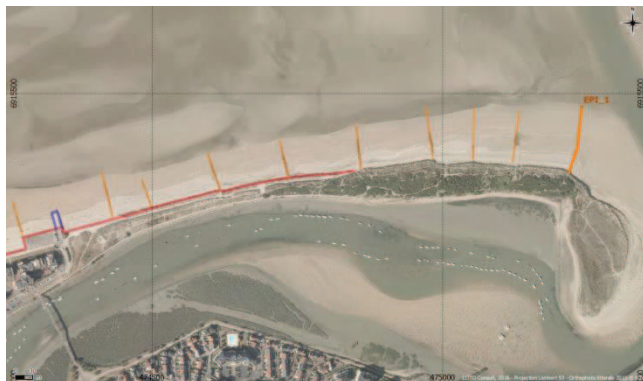
¹Professeur à l'Université de Caen-Basse-Normandie

²Ingénieur hydraulicien à l'Université de Caen-Basse-Normandie

³Consultant Environnement Littoral – LITTO Consult

Ouvrage : Epi n°1

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : sur la Pointe de Cabourg, en avant de la flèche sableuse, à 890 m à l'Est de la cale

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : ouvrage récent (2014), construit à l'emplacement d'un épi fortement ensablé

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Récente

Année : 2014

Rénovation : Non (pas depuis 2014)

Famille : Ouvrage transversal

L : 113 m

penne / fruit :

Type : Epi

l : 6,5 m (base)

h : 2 m

Matériaux : Blocs d'enrochements naturels

Cote d'arase : 9,08 à 6,08 m CM

Type de dispositif de défense : fait partie d'une batterie de 9 épis protégeant la flèche sableuse

Observations : Epi courbe

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 70 sur 100

Fonctionnalité : Ø

Observations :

Affouillement / Contournement : 3 sur 5

Observations : flanc W plus ensablé. Bâche localisée en tête d'ouvrage, pas d'affouillement s. str.

Etat des matériaux : 4 sur 5

Observations : ouvrage récent en bon état général mais le fort recul du trait de côte à l'Est immédiat de son enracinement peut se traduire par un déchaussement des blocs d'enrochements

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 4 sur 5

Enjeux : flèche sableuse, havre, Port Guillaume

Fréquentation : Saisonnière forte

Observations : en arrière de l'épi, la flèche sableuse, large d'une cinquantaine de mètres à ce niveau, abrite le havre de la Dives et ses deux lignes de mouillages et, en arrière, Port Guillaume.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : -1 sur 5

Observations : l'impact de l'ouvrage sur le casier ouest est positif. L'épi limite effectivement l'ensablement du chenal de la Dives, mais un fort recul du trait de côte apparaît à l'enracinement.

PRECONISATIONS :

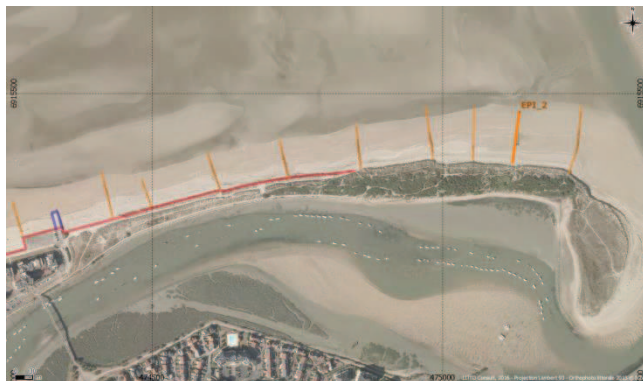
Solution proposée : étude de solutions

Suivi : inspections très fréquentes

Observations : le risque de contournement de l'ouvrage à son enracinement est réel si le recul du trait de côte se poursuit à ce rythme. Bâche en tête d'ouvrage avec écoulement Ouest-Est

Ouvrage : Epi n°2

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : sur la Pointe de Cabourg, en avant de la flèche sableuse, à 790 m à l'Est de la cale

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : ouvrage récent (2014), construit à l'emplacement d'un épi de 22 m plus court, dont la moitié supérieure était en bois, et la moitié inférieure confortée par des enrochements

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Récente

Année : 2014

Rénovation : Non (pas depuis 2014)

Famille : Ouvrage transversal

L : 93 m

penne / fruit :

Type : Epi

l : 6,5 m (base)

h : 2 m

Matériaux : Blocs d'enrochements naturels

Cote d'arase : 9,08 à 6,08 m CM

Type de dispositif de défense : fait partie d'une batterie de 9 épis protégeant la flèche sableuse

Observations : Epi droit

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 90 sur 100

Fonctionnalité : Ø

Observations :

Affouillement / Contournement : 4 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 5 sur 5

Observations : ouvrage récent en bon état général sur sa partie aérienne. Son fort ensablement ne permet pas d'en vérifier l'état à sa base

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 4 sur 5

Enjeux : flèche sableuse, havre, Port Guillaume

Fréquentation : Saisonnière forte

Observations : en arrière de l'épi, la flèche sableuse, large d'une cinquantaine de mètres à ce niveau, abrite le havre de la Dives et ses deux lignes de mouillages et, en arrière, Port Guillaume.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 5 sur 5

Observations : l'ensablement actuel de l'ouvrage est lié à la présence d'une barre sableuse sur la haute plage, mais il semble néanmoins avoir favorisé son engraissement et stabilisé le trait de côte

PRECONISATIONS :

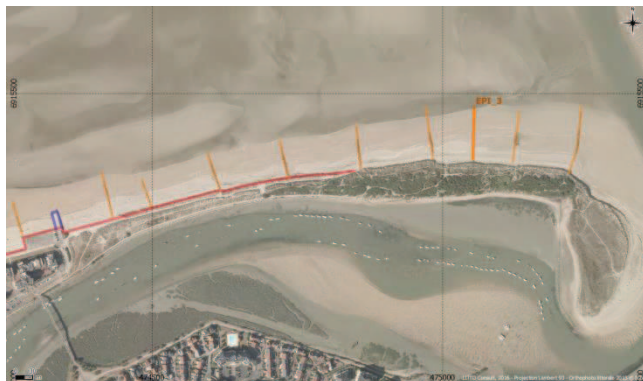
Solution proposée : -

Suivi : inspections régulières

Observations : dans ce contexte dynamique d'embouchure fluviale, le site peut connaître des évolutions brutales. Une inspection saisonnière et après tempête est recommandée.

Ouvrage : Epi n°3

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : sur la Pointe de Cabourg, en avant de la flèche sableuse, à 720 m à l'Est de la cale

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : ouvrage récent (2014), construit à l'emplacement d'un épi de 65 m plus court, ouvrage alors en bois conforté par des enrochements

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Récente

Année : 2014

Rénovation : Non (pas depuis 2014)

Famille : Ouvrage transversal

L : 93 m

penne / fruit :

Type : Epi

l : 6,5 m (base)

h : 2 m

Matériaux : Blocs d'enrochements naturels

Cote d'arase : 9,08 à 6,08 m CM

Type de dispositif de défense : fait partie d'une batterie de 9 épis protégeant la flèche sableuse

Observations : Epi droit

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 80 sur 100

Fonctionnalité : Ø

Observations :

Affouillement / Contournement : 3 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 4 sur 5

Observations : ouvrage récent en bon état général sur sa partie aérienne. Son fort ensablement ne permet pas d'en vérifier l'état à sa base

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 4 sur 5

Enjeux : flèche sableuse, havre, Port Guillaume

Fréquentation : Saisonnière forte

Observations : en arrière de l'épi, la flèche sableuse, large d'une cinquantaine de mètres à ce niveau, abrite le havre de la Dives et ses deux lignes de mouillages et, en arrière, Port Guillaume.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 5 sur 5

Observations : l'ensablement actuel de l'ouvrage est lié à la présence d'une barre sableuse sur la haute plage, mais il semble néanmoins avoir favorisé son engraissement et stabilisé le trait de côte

PRECONISATIONS :

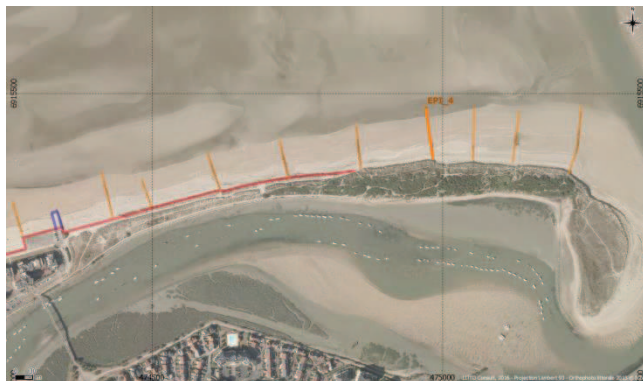
Solution proposée : -

Suivi : inspections régulières

Observations : dans ce contexte dynamique d'embouchure fluviale, le site peut connaître des évolutions brutales. Une inspection saisonnière et après tempête est recommandée.

Ouvrage : Epi n°4

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : sur la Pointe de Cabourg, en avant de la flèche sableuse, à 650 m à l'Est de la cale

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : ouvrage récent (2014), construit à l'emplacement d'un épi de 22 m plus court, ouvrage alors en enrochements ensablés sur sa partie inférieure

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Récente

Année : 2014

Rénovation : Non (pas depuis 2014)

Famille : Ouvrage transversal

L : 93 m

penne / fruit :

Type : Epi

l : 6,5 m (base)

h : 2 m

Matériaux : Blocs d'enrochements naturels

Cote d'arase : 9,08 à 6,08 m CM

Type de dispositif de défense : fait partie d'une batterie de 9 épis protégeant la flèche sableuse

Observations : Epi droit

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 70 sur 100

Fonctionnalité : Ø

Observations :

Affouillement / Contournement : 3 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 4 sur 5

Observations : ouvrage récent en bon état général. Rares blocs déplacés, sans conséquences sur sa stabilité. Ensablement moins important que les deux épis situés plus à l'Est.

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 4 sur 5

Enjeux : flèche sableuse, havre, Port Guillaume

Fréquentation : Saisonnière forte

Observations : en arrière de l'épi, la flèche sableuse, large d'une soixantaine de mètres à ce niveau, abrite le havre de la Dives et ses deux lignes de mouillages et, en arrière, Port Guillaume.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 3 sur 5

Observations : ensablement de la partie supérieure de l'ouvrage. Trait de côté stabilisé et dune reconstituée. Cuvette peu profonde en tête d'ouvrage, plus liée à la présence temporaire d'une bêche

PRECONISATIONS :

Solution proposée : -

Suivi : inspections régulières

Observations : dans ce contexte dynamique d'embouchure fluviale, le site peut connaître des évolutions brutales. Une inspection saisonnière et après tempête est recommandée.

Ouvrage : Epi n°5

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : sur la Pointe de Cabourg, en avant de la flèche sableuse, à 525 m à l'Est de la cale

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : ouvrage ancien, blocs d'enrochements mis en place pour conforter un ancien ouvrage en bois dont quelques vestiges restent visibles

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Ancienne (bois)

Année : ?

Rénovation : Régulière (enrochements)

Famille : Ouvrage transversal

L : 73 m (mesuré)

penne / fruit : ?

Type : Epi

I : ?

h : ?

Matériaux : Blocs d'enrochements naturels / bois

Cote d'arase : ?

Type de dispositif de défense : fait partie d'une batterie de 9 épis protégeant la flèche sableuse

Observations : Epi droit

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 40 sur 100

Fonctionnalité : Ø

Observations :

Affouillement / Contournement : 3 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 3 sur 5

Observations : ouvrage ancien en bois, conforté par des blocs hétérogènes, pour certains déplacés.

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 4 sur 5

Enjeux : flèche sableuse, havre, Port Guillaume

Fréquentation : Saisonnière forte

Observations : en arrière de l'épi, la flèche sableuse, large d'une cinquantaine de mètres à ce niveau, abrite le havre de la Dives et ses deux lignes de mouillages et, en arrière, Port Guillaume.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 2 sur 5

Observations : Epi relativement poreux, moyennement ensablé. Signes d'érosion sur le versant marin de la dune, à l'Est immédiat, pas forcément liés à la présence de l'ouvrage.

PRECONISATIONS :

Solution proposée : Etude d'une rénovation

Suivi : inspections régulières

Observations : l'épi est relativement poreux, peu efficace et inesthétique (blocs hétérogènes, en taille et en nature, blocs béton, blocs déplacés). Etude des solutions de confortement à prévoir.

Ouvrage : Epi n°6

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : sur la Pointe de Cabourg, en avant de la flèche sableuse, à 400 m à l'Est de la cale

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : ouvrage ancien, blocs d'enrochements mis en place pour conforter un ancien ouvrage en bois aujourd'hui ensablé

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Ancienne (bois)

Année : ?

Rénovation : Régulière (enrochements)

Famille : Ouvrage transversal

L : 64 m (mesurés)

penne / fruit : ?

Type : Epi

I : ?

h : ?

Matériaux : Blocs d'enrochements naturels / bois

Cote d'arase : ?

Type de dispositif de défense : fait partie d'une batterie de 9 épis protégeant la flèche sableuse

Observations : Epi droit en avant d'un ouvrage longitudinal (perré incliné en enrochements)

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 30 sur 100

Fonctionnalité : Ø

Observations :

Affouillement / Contournement : 3 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 2 sur 5

Observations : ouvrage ancien en bois (ensablé), conforté par des matériaux hétérogènes, empilement désordonné de roches et béton, blocs éboulés et pierres dispersées.

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 4 sur 5

Enjeux : flèche sableuse, havre, Port Guillaume

Fréquentation : Saisonnière forte

Observations : en arrière de l'épi, la flèche sableuse, large d'une trentaine de mètres à ce niveau, abrite le havre de la Dives et ses deux lignes de mouillages et, en arrière, Port Guillaume.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 2 sur 5

Observations : Epi poreux, moyennement ensablé.

PRECONISATIONS :

Solution proposée : Etude d'une rénovation

Suivi : inspections régulières

Observations : l'épi est très poreux, peu efficace et inesthétique (blocs hétérogènes, en taille et en nature, roche et béton, blocs déplacés). Etude des solutions de confortement à prévoir.

Ouvrage : Epi n°7

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : sur la Pointe de Cabourg, en avant de la flèche sableuse, à 280 m à l'Est de la cale

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : ouvrage ancien, blocs d'enrochements mis en place pour conforter un ancien ouvrage en bois aujourd'hui ensablé

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Ancienne (bois)

Année : ?

Rénovation : Régulière (enrochements)

Famille : Ouvrage transversal

L : 64 m (mesurés)

penne / fruit : ?

Type : Epi

I : ?

h : ?

Matériaux : Blocs d'enrochements naturels / bois

Cote d'arase : ?

Type de dispositif de défense : fait partie d'une batterie de 9 épis protégeant la flèche sableuse

Observations : Epi droit en avant d'un ouvrage longitudinal (perré incliné en enrochements)

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 60 sur 100

Fonctionnalité : Ø

Observations :

Affouillement / Contournement : 4 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 3 sur 5

Observations : ouvrage ancien en bois (ensablé), conforté par des blocs d'enrochement.

L'ensablement de l'épi au niveau de deux barres sableuses rend difficile l'appréciation de son état.

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 4 sur 5

Enjeux : flèche sableuse, havre, Port Guillaume

Fréquentation : Saisonnière forte

Observations : en arrière de l'épi, la flèche sableuse, large d'un peu moins de trente mètres à ce niveau, abrite le havre de la Dives et ses deux lignes de mouillages et, en arrière, Port Guillaume.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 2 sur 5

Observations : Epi poreux, efficacité limitée, ensablement lié à la présence de deux barres sableuses sur la haute plage.

PRECONISATIONS :

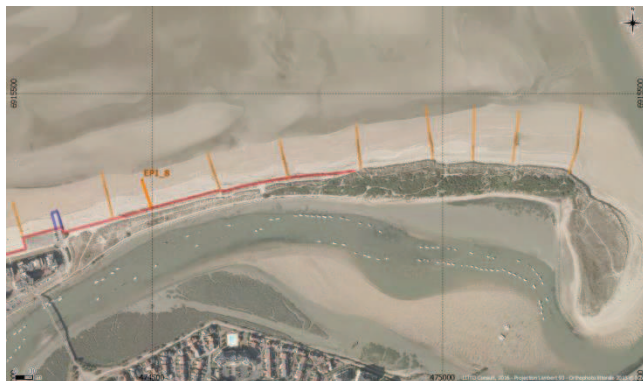
Solution proposée : Etude d'une rénovation

Suivi : inspections régulières

Observations : l'épi est poreux, peu efficace et irrégulier

Ouvrage : Epi n°8

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : sur la Pointe de Cabourg, en avant de la flèche sableuse, à 160 m à l'Est de la cale

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : ouvrage court, fortement ensablé

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Ancienne

Année : ?

Rénovation : ?

Famille : Ouvrage transversal

L : 47 m (mesurés)

penne / fruit : ?

Type : Epi

I : ?

h : ?

Matériaux : Blocs d'enrochements naturels

Cote d'arase : ?

Type de dispositif de défense : fait partie d'une batterie de 9 épis protégeant la flèche sableuse

Observations : Epi droit en avant d'un ouvrage longitudinal relativement ensablé (perré incliné en enrochements)

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 60 sur 100

Fonctionnalité : Ø

Observations :

Affouillement / Contournement : 4 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 3 sur 5

Observations : L'ensablement de l'épi rend difficile l'appréciation de son état.

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 4 sur 5

Enjeux : flèche sableuse, havre, Port Guillaume

Fréquentation : Saisonnière forte

Observations : en arrière de l'épi, la flèche sableuse, large d'une trentaine de mètres à ce niveau, abrite le havre de la Dives et ses deux lignes de mouillages et, en arrière, Port Guillaume.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 2 sur 5

Observations : Epi poreux, fortement ensablé, efficacité limitée.

PRECONISATIONS :

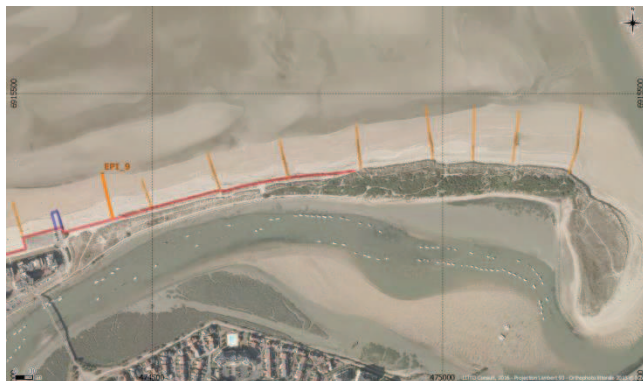
Solution proposée : Etude d'une rénovation

Suivi : inspections régulières

Observations : l'épi est poreux, peu efficace et ensablé

Ouvrage : Epi n°9

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : sur la Pointe de Cabourg, en avant de la flèche sableuse, à 90 m à l'Est de la cale

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : épi poreux constitué d'un empilement désordonné de blocs divers

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Ancienne

Année : ?

Rénovation : ?

Famille : Ouvrage transversal

L : 76 m (mesurés)

penne / fruit : ?

Type : Epi

I : ?

h : ?

Matériaux : enrochements naturels et béton

Cote d'arase : ?

Type de dispositif de défense : fait partie d'une batterie de 9 épis protégeant la flèche sableuse

Observations : Epi droit en avant d'un perré incliné en béton

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 50 sur 100

Fonctionnalité : Ø

Observations :

Affouillement / Contournement : 4 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 2 sur 5

Observations : L'ouvrage est constitué de blocs d'enrochement naturel et de blocs de béton de récupération. Poreux et inesthétique.

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 4 sur 5

Enjeux : flèche sableuse, havre, Port Guillaume

Fréquentation : Saisonnière forte

Observations : en arrière de l'épi, la flèche sableuse, large d'une trentaine de mètres à ce niveau, abrite le havre de la Dives et ses deux lignes de mouillages et, en arrière, Port Guillaume.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 2 sur 5

Observations : Epi poreux, efficacité limitée.

PRECONISATIONS :

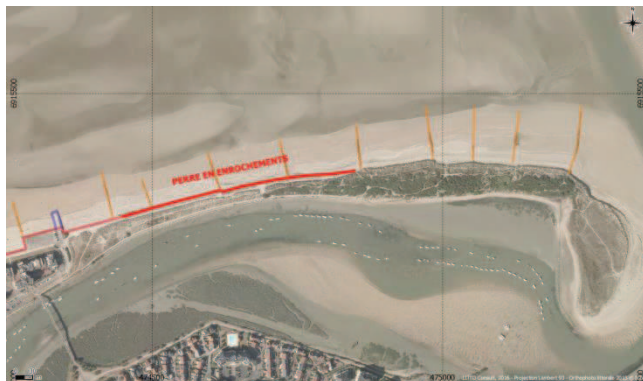
Solution proposée : Etude d'une rénovation

Suivi : inspections régulières

Observations : l'épi est poreux, peu efficace et ensablé sur sa partie supérieure

Ouvrage : Perré incliné en enrochements

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : sur la Pointe de Cabourg, sur le versant marin de la flèche sableuse

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : cordon d'enrochements mis en place dans le prolongement du perré incliné en béton de « Cap Cabourg », sur la partie la plus étroite de la flèche sableuse

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Récente

Année : 1980

Rénovation : ?

Famille : Ouvrage longitudinal

L : 400 m

penne / fruit : oui

Type : Perré incliné en enrochements

I : ?

h : ?

Matériaux : enrochements naturels

Cote d'arase : ?

Type de dispositif de défense : associé à quatre épis aménagés sur la haute plage

Observations : Ouvrage relativement bas, localement très ensablé et recouvert par une végétation dunaire

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 80 sur 100

Fonctionnalité : Ø

Observations :

Affouillement / Contournement : 4 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 4 sur 5

Observations : L'ouvrage est globalement en bon état. Un éboulement et un confortement au niveau d'une brèche sont visibles. Son ensablement ne permet pas de vérifier son état sur tout le linéaire.

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 4 sur 5

Enjeux : flèche sableuse, havre, Port Guillaume

Fréquentation : Saisonnière forte

Observations : en arrière de l'ouvrage, la flèche sableuse, large d'une trentaine de mètres à ce niveau, abrite le havre de la Dives et ses deux lignes de mouillages et, en arrière, Port Guillaume.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 4 sur 5

Observations : fixe efficacement le trait de côte sur la partie la plus étroite de la flèche sableuse, le niveau de la haute plage en pied d'ouvrage est élevé.

PRECONISATIONS :

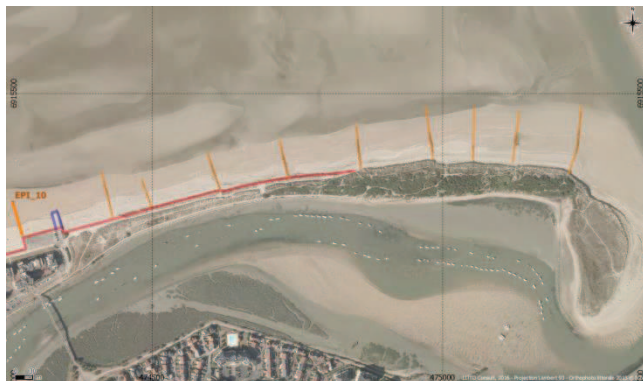
Solution proposée : -

Suivi : inspections régulières

Observations : ouvrage en bon état général

Ouvrage : Epi n°10

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : en avant de la zone urbanisée de Cabourg-est, à 60 m à l'Ouest de la cale

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : épi court, poreux et fortement ensablé

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Ancienne

Année : ?

Rénovation : ?

Famille : Ouvrage transversal

L : 57 m (mesurés)

penne / fruit : ?

Type : Epi

I : ?

h : ?

Matériaux : enrochements naturels

Cote d'arase : ?

Type de dispositif de défense : dernier de la batterie d'une douzaine d'épis en avant du perré béton

Observations : Epi droit en avant d'un perré incliné en béton

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 50 sur 100

Fonctionnalité : Ø

Observations :

Affouillement / Contournement : 4 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 3 sur 5

Observations : L'ouvrage est constitué de blocs d'enrochement naturel, ensablés. Cet ensablement ne permet pas d'apprécier l'état de l'épi plus en profondeur.

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 5 sur 5

Enjeux : zone urbanisée de Cap-Cabourg

Fréquentation : forte

Observations : complexe immobilier situé en arrière du trait de côte et fréquentation accentuée par la présence de la digue-promenade et celle de la cale d'accès à la mer

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 2 sur 5

Observations : Epi poreux, efficacité limitée.

PRECONISATIONS :

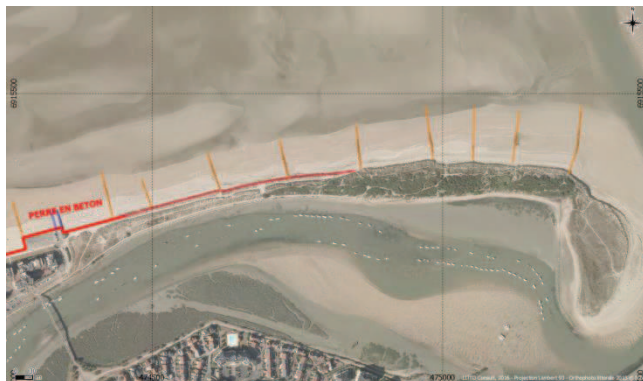
Solution proposée : Etude d'une rénovation

Suivi : inspections régulières

Observations : l'épi est poreux, peu efficace et ensablé

Ouvrage : Perré incliné en béton

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : en avant de la zone urbanisée de Cabourg-est

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : perré incliné en béton s'étendant en avant de la zone urbanisée de Cabourg-est, sur environ 2 900 m jusqu'à l'enracinement de la flèche sableuse (100 m après la cale)

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Récente

Année : 1970 et 1980

Rénovation : ?

Famille : Ouvrage longitudinal

L : 2 900 m

penne / fruit : oui

Type : Perré incliné

I : ?

h : ?

Matériaux : béton

Cote d'arase : ?

Type de dispositif de défense : associé à une douzaine d'épis aménagés sur la haute plage

Observations : Ouvrage très fréquenté, niveau de haute plage correct en pied de perré

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 80 sur 100

Fonctionnalité : 5 sur 5

Observations :

Affouillement / Contournement : 3 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 4 sur 5

Observations : L'ouvrage est globalement en bon état sur cette extrémité orientale. Seule une fissuration horizontale peut se suivre sur son extrémité est, à l'enracinement de la flèche sableuse

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 5 sur 5

Enjeux : zone urbanisée de Cap-Cabourg

Fréquentation : forte

Observations : complexe immobilier situé en arrière du trait de côte et fréquentation accentuée par la présence de la promenade en tête de perré et celle de la cale d'accès à la mer.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 4 sur 5

Observations : fixe efficacement le trait de côte en avant de la zone urbanisée, le niveau de la haute plage en pied d'ouvrage est élevé.

PRECONISATIONS :

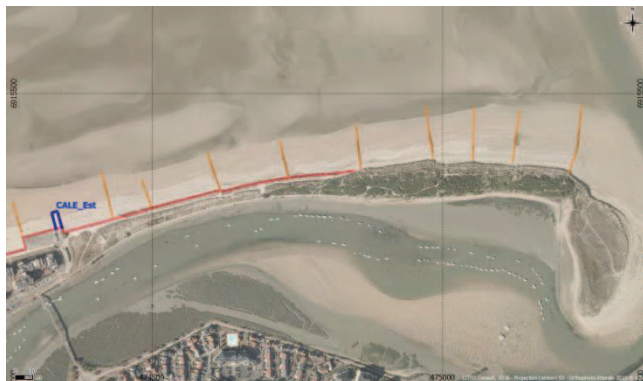
Solution proposée : -

Suivi : inspections régulières

Observations : ouvrage en bon état général. La position de sa cote d'arase par rapport aux niveaux de référence définis dans les PPRL doit être vérifiée compte tenu des enjeux.

Ouvrage : Cale d'accès à la mer

Visité le : 27/10/2016



INFORMATIONS GENERALES SUR L'OUVRAGE :

Commune : CABOURG

Localisation : à l'extrémité orientale de la zone urbanisée de Cabourg-est

Gestionnaire : Mairie de Cabourg

Observations générales : cale ensablée, partie aérienne relativement limitée lors de la visite (une trentaine de mètres). Ouvrage très fréquenté.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

Mise en place : Récente

Année : 1970

Rénovation : ?

Famille : ouvrage transversal

L : ?

penne / fruit : oui

Type : cale d'accès

I : ?

h : ?

Matériaux : béton

Cote d'arase : ?

Type de dispositif de défense :

Observations : cale en béton relativement peu pentue, à flancs inclinés.

INDICE D'ETAT DE L'OUVRAGE :

Indice d'état : 70 sur 100

Fonctionnalité : 4 sur 5

Observations :

Affouillement / Contournement : 3 sur 5

Observations :

Etat des matériaux : 3 sur 5

Observations : L'ouvrage est globalement en bon état. Quelques fissures et éclats sont cependant à signaler.

EVALUATION DES ENJEUX :

Coefficient d'enjeux : 5 sur 5

Enjeux : zone urbanisée de Cap-Cabourg

Fréquentation : forte

Observations : complexe immobilier situé en arrière du trait de côte et fréquentation accentuée par la présence de la promenade en tête de perré et celle de la cale d'accès à la mer.

IMPACTS DE L'OUVRAGE :

Impact : 4 sur 5

Observations : le niveau de haute plage de part et d'autre de la cale variait peu en octobre 2016, mais en tant qu'ouvrage imperméable élevé, il est susceptible d'intercepter le transit sédimentaire

PRECONISATIONS :

Solution proposée : -

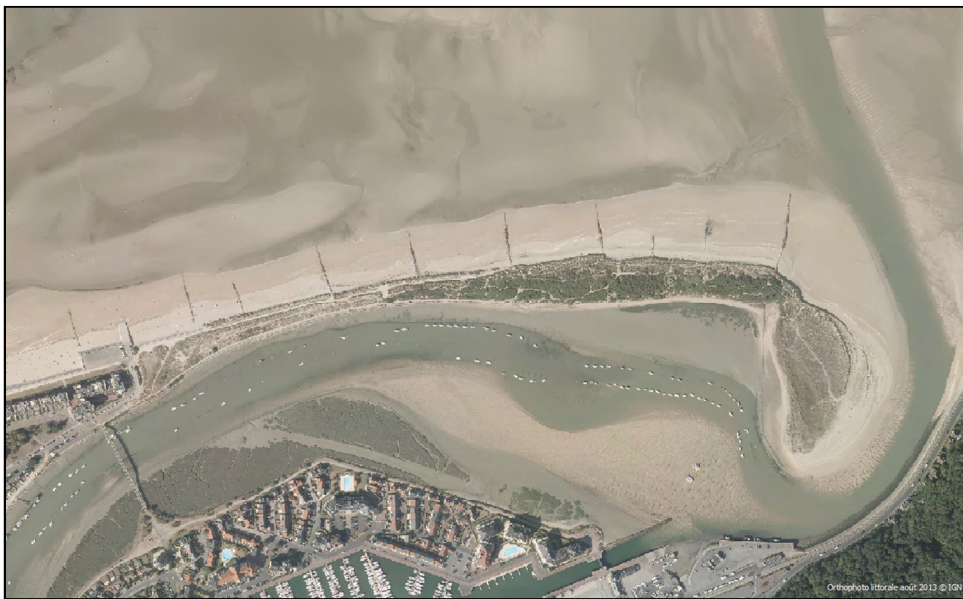
Suivi : inspections régulières

Observations : ouvrage en bon état général. L'évolution de la fissuration et des parties dégradées doit cependant être surveillée.



CENTRE DE RECHERCHES
EN ENVIRONNEMENT CÔTIER
STATION MARINE

PROTECTION DU LITTORAL DE LA POINTE DE CABOURG



Phase 2

Recherche de solutions techniques pour stabiliser le trait de côte de la Pointe de Cabourg

Mars 2017

AUTEURS

Franck LEVOY¹, Olivier MONFORT² et Hervé BIZIEN³

¹Professeur à l'Université de Caen- Normandie

²Ingénieur hydraulicien à l'Université de Caen- Normandie

³Consultant Environnement Littoral – LITTO Consult

TABLES DES MATIERES

Contenu

CADRE DE L'ETUDE	5
I. RAPPELS : SYNTHESE DES EVOLUTIONS RECENTES CONSTATEES	6
II. DEFINITION DU PRINCIPE D'INTERVENTION	7
II.1. Prise en compte du fonctionnement hydro-sédimentaire du site pour la définition des aménagements de protection	7
II.2. Principe d'intervention	10
III. DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE	12
III.1. Ouvrage en enrochements	15
III.2. Variante en tubes géotextiles	17
IV. POSSIBILITE DE COUPLAGE AVEC UN PROCEDE INNOVANT : S-ABLE	19
V. CONCLUSIONS	22

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : orientation des principaux mouvements sédimentaires aux abords de la flèche de Cabourg (fond : MNT issu du vol LIDAR du 3 octobre 2016 – Source : CREC – UCN, 2016) -----</i>	<i>8</i>
<i>Figure 2 : illustration du recul du trait de côte à l'Est de l'épi n°1, entre août 2013 (orthophotographie littorale V2 ©MEDDE) et octobre 2016 (levé GPS) – LITTO Consult, 2017 -----</i>	<i>10</i>
<i>Figure 3 : localisation générale de l'ouvrage préconisé à l'extrémité de la flèche de Cabourg (fond : MNT issu du vol LiDAR du 3 octobre 2016 – Source : M2C – UCN, 2016) -----</i>	<i>11</i>
<i>Figure 4 : localisation de l'ouvrage préconisé (en rouge) et position du trait de côte levé au GPS en octobre 2016 (LITTO Consult) – Fond : orthophotographie littorale V2, cliché août 2013 (©MEDDE) -----</i>	<i>12</i>
<i>Figure 5 : localisation de l'épi préconisé sur la carte du différentiel altimétrique avril 2009 / octobre 2016 (CREC, 2017) -----</i>	<i>13</i>
<i>Figure 6 : localisation de l'épi préconisé sur la carte du différentiel altimétrique octobre 2014 / octobre 2016 (à g.) et sur le MNT issu du vol LiDAR du 3 octobre 2016 (à d.) – Source : M2C – UCN, 2017-----</i>	<i>13</i>
<i>Figure 7 : profil en long de l'ouvrage préconisé et positionnement par rapport aux profils de plage d'avril 2009 et d'octobre 2016 (CREC, 2017) -----</i>	<i>14</i>
<i>Figure 8 : coupe transversale de l'épi préconisé à la Pointe de Cabourg, variante en enrochements (CREC / LITTOCONSULT, 2017)-----</i>	<i>15</i>
<i>Figure 9 : coupe longitudinale de l'épi, variante en enrochements (CREC / LITTOCONSULT, 2017)-----</i>	<i>15</i>
<i>Figure 10 : aperçu de l'épi n°1 en enrochements (vu vers le Nord en haut à g., vers le Sud en bas à g., vers le NNE à d.) - LITTO Consult, 2016-----</i>	<i>16</i>
<i>Figure 11 : aperçu de la variété des structures géotextiles existantes-----</i>	<i>18</i>
<i>Figure 12 : représentation du procédé S-ABLE (source : S-ABLE)-----</i>	<i>19</i>
<i>Figure 13 : photographie du procédé S-ABLE mis en œuvre en bordure de chenal estuarien (source : S-ABLE)---</i>	<i>19</i>
<i>Figure 14 : autres vues du procédé S-ABLE mis en œuvre en milieu intertidal, en bordure de chenal, à marée basse à g. et marée montante à d. (source : S-ABLE) -----</i>	<i>20</i>
<i>Figure 15 : modélisation en canal à houle du procédé S-ABLE (O. BOUCHER et al., CEREMA, 2014)-----</i>	<i>20</i>
<i>Figure 16 : résultats d'une expérimentation du S-ABLE dans le cadre d'une stabilisation de chenal estuarien (le Boivre, Saint-Brévin-les-Pins - source : CEREMA)-----</i>	<i>21</i>
<i>Figure 17 : synthèse des solutions techniques étudiées -----</i>	<i>23</i>

CADRE DE L'ETUDE

Le chenal d'accès à Port Guillaume et aux zones de mouillages de l'estuaire de la Dives est l'objet d'un important ensablement sur l'ensemble de son linéaire et plus particulièrement au niveau de la passe d'entrée du havre de la Dives. Cette dernière est limitée à l'Ouest par l'extrémité d'une flèche sableuse alimentée par une dérive littorale significative (la Pointe de Cabourg), qui tend à progresser vers l'Est et à réduire la section du chenal, malgré la présence d'une batterie d'épis pour la plupart anciens, sur la haute plage.

Soucieux de maintenir un accès sécurisé au port de Dives-sur-Mer, le Conseil Général du Calvados a confié en 2009 au Centre de Recherches en Environnements Côtiers (CREC) de l'Université de Caen, le soin d'élaborer une stratégie durable de gestion des sédiments sur ce secteur côtier.

Sur la base d'une synthèse des données existantes et d'un levé topométrique du poulier (l'extrémité recourbée de la flèche), le CREC a défini une solution à court terme, consistant à extraire un volume de sable de l'ordre de 5 000 m³ à l'extrémité de la flèche sableuse, permettant de retrouver une section et des pentes de chenal proches de celles constatées à la fin des années 1980, avant la construction de Port Guillaume.

Ayant diagnostiqué un mauvais état général et un ensablement des neuf épis situés au droit de la flèche sableuse, le CREC a procédé, dans une seconde phase d'étude, à une modélisation des transports sédimentaires et à l'évaluation de l'impact des ouvrages de défense contre la mer existants. Dans ses conclusions, le CREC préconisait de procéder à moyen terme à un rehaussement des épis en place, et de les entretenir régulièrement.

Au printemps 2014, les quatre épis les plus orientaux ont été entièrement reconstruits à leur emplacement initial et sensiblement rallongés. Le dragage de 5 000 m³ préconisé à court terme n'a en revanche pas été réalisé à ce jour.

Trente mois après les travaux, le Conseil Départemental du Calvados a chargé le CREC de l'Université de Caen et LITTO Consult d'étudier l'impact morpho-sédimentaire des nouveaux aménagements.

Le présent document constitue le rapport 2 de l'étude dédié aux aménagements à réaliser pour stabiliser le trait de côte de la Pointe de Cabourg. Il fait suite à une première phase d'étude remise en décembre 2016, consacrée à l'analyse de l'évolution du site sur la base d'une interprétation de données topographiques récemment acquises.

I. RAPPELS : SYNTHÈSE DES ÉVOLUTIONS RECENTES CONSTATEES

A l'issue de la phase 1 de cette étude qui a pu profiter de données topographiques issues des activités de recherche du CREC, il est possible de réaliser plusieurs constats importants dans le cadre de la problématique de l'érosion constatée de la Pointe de Cabourg et **de la protection** qui pourrait être envisagée :

- Le secteur de **côte étudié** est globalement **bien alimenté en sédiments** sableux. La migration de **barres sableuses** aux dimensions significatives en témoigne sur la période 2014-2016. Ces apports constituent une richesse en matériaux indéniable qui, bien gérée, doit permettre de stabiliser le trait de côte.

- Malgré ces apports provenant du NNO, conformes à la direction des vagues dominantes sur le site, des **secteurs en érosion subsistent localement** et montrent même une aggravation du phénomène. C'est le cas du trait de côte constitué d'un cordon dunaire à **l'extrémité de la Pointe de Cabourg**, à l'Est immédiatement de l'épi n°1, mais aussi de la **plate-forme sédimentaire dans son prolongement**, en bordure du chenal de la Dives.

- Ces **évolutions** constituent une réponse aux **ouvrages réalisés anciennement** : perré en béton à l'Ouest, puis digue à talus en enrochements **et plus récemment** la batterie d'épis reconstruits en **2014** sur l'Est de la zone étudiée. Le perré lisse en béton, très réfléchissant à l'action des vagues de tempête en marées de vives-eaux, ne peut permettre une sédimentation conséquente résiduelle à son pied. Il en va de même, mais dans une moindre mesure, pour la digue en enrochements, malgré la présence d'épis (épis n°5 à n°9). Par contre, le **secteur de côte non protégé frontalement, avec des épis reconstruits, est une zone en accrétion**, où le trait de côte se stabilise progressivement, notamment grâce aux apports sableux provenant de la migration des barres qui atteignent, sur ce secteur, la plus haute partie de l'estran. L'effet de la réalisation des **nouveaux épis en 2014** apparaît donc **très positif** sur ce secteur de côte.

- Ces travaux ont eu d'**autres impacts plus à l'Est**, l'un positif et l'autre négatif. La batterie d'épis reconfigurée en 2014, jouant pleinement son rôle de piège à sédiments, tend à limiter le transport sédimentaire vers l'Est. Par conséquent, à l'Est de l'épi n°1, il est donc logique de constater une **érosion accrue du trait de côte**. Cette zone possède une haute plage qui est sous-alimentée en sable ce qui provoque son abaissement et de manière induite favorise un recul rapide du cordon dunaire malgré l'arrivée d'une barre de sable bien visible sur les relevés LiDAR de 2016. Le second impact, qui est positif, est une **réduction des apports sableux dans le chenal lui-même**. L'étude de 2009 avait préconisé une extraction de 5000 m³ de sédiments afin de retrouver une configuration des lieux de la fin des années 80. Finalement, le déficit sédimentaire induit par la construction de **la nouvelle batterie d'épis a évité une extraction de matériaux en bordure du chenal** d'un ordre de grandeur qui apparaît équivalent à ce qui était envisagé lors de l'étude de 2009.

- **L'érosion importante de l'extrémité de la Pointe de Cabourg**, dans un contexte néanmoins favorable d'apports sédimentaires potentiels **peut être fortement atténuée, voire stoppée**. Cela consistera à **rendre inactive la bêche de vidange** des eaux du déferlement à proximité de l'épi n°1 afin de **fixer les sables qui peuvent arriver à la fois selon un axe longitudinal, mais également transversal** au trait de côte.

II. DEFINITION DU PRINCIPE D'INTERVENTION

II.1. Prise en compte du fonctionnement hydro-sédimentaire du site pour la définition des aménagements de protection

La première phase de l'étude a permis de préciser les principaux aspects du **schéma de fonctionnement hydro-sédimentaire** de la plage et de la flèche sableuse de Cabourg, sur la base notamment d'une superposition de données acquises par le LiDAR de l'Université de Caen dans le cadre du plateau technique CIRCLE du laboratoire M2C, entre octobre 2014 et octobre 2016.

L'impact morpho-sédimentaire des ouvrages récents (les quatre épis les plus orientaux, rehaussés et rallongés en 2014) ou plus anciens (les cinq épis occidentaux, les perrés en enrochements et en béton, ...), a également pu être apprécié par le biais de cette méthode.

Les caractéristiques suivantes ont été soulignées :

- l'estran en avant de la Pointe de Cabourg est le siège de **transits sédimentaires sableux significatifs** ;
- le déplacement des sédiments se produit sous la forme de **barres sableuses qui migrent sur la moyenne plage en direction du littoral** (direction SSE). Ces mouvements sédimentaires s'observent essentiellement **à l'Ouest** d'une ligne orientée SE-NW passant à proximité de l'épi n°6 (mais également sur la partie orientale du delta de jusant, côté Houlgate, voir Figure 1) ;
- toujours sur la **moyenne plage**, entre cette ligne SE-NW et les abords du chenal de la Dives, les structures sableuses sont moins marquées ;
- **à l'approche de la haute plage** en revanche, **une composante ouest-est** apparaît distinctement dans ces déplacements sédimentaires, les barres sableuses tendant à s'étendre progressivement vers l'Est, c'est-à-dire **vers le chenal de la Dives** qu'elles finissent par rejoindre en suivant la courbure de la Pointe de Cabourg ;
- le **chenal fluvial et sa bordure ouest** notamment sont, quant à eux, également le siège de **mouvements sédimentaires importants** sur l'ensemble de son tracé. La direction des déplacements fluctue au gré du cycle de marée, avec un transit résiduel vraisemblablement dirigé vers l'intérieur de l'estuaire : les structures sableuses progressent vers le Sud en suivant le contour du poulier (l'extrémité recourbée de la pointe sableuse).

Le schéma de circulation sédimentaire est synthétisé sur la figure suivante (Figure 1).

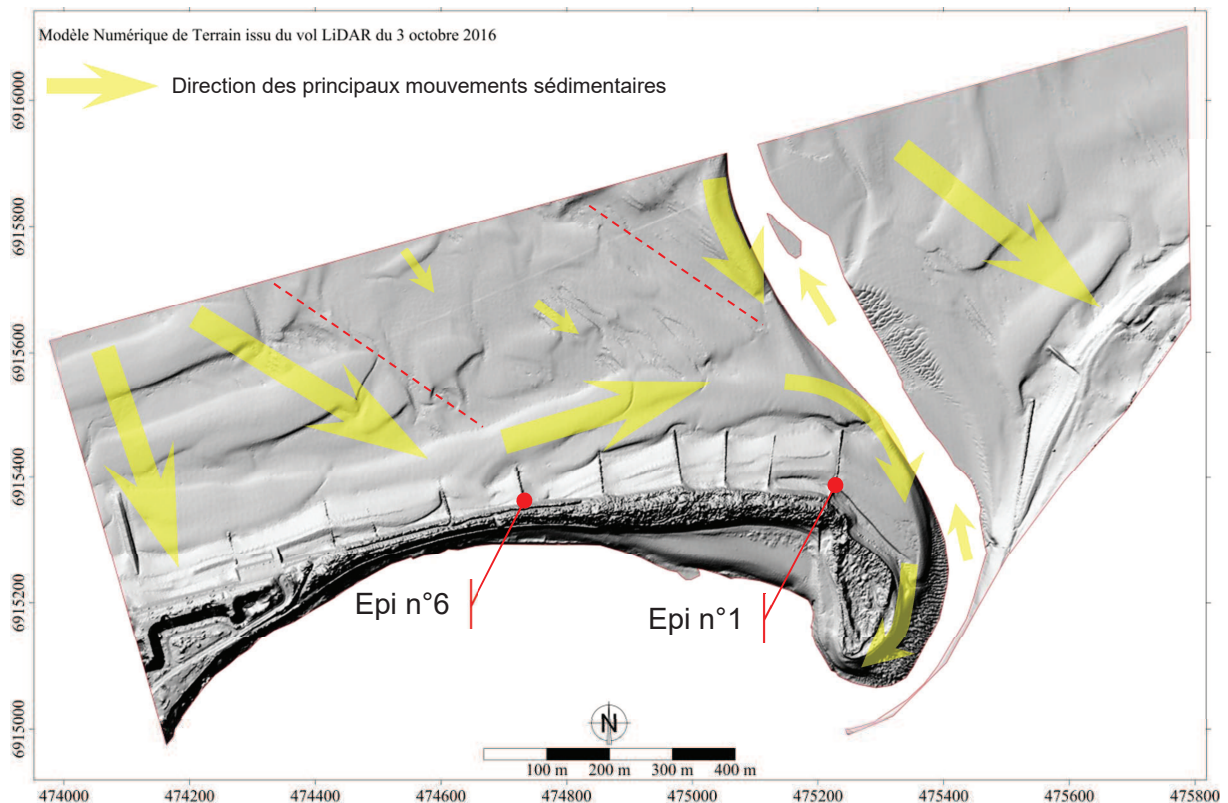


Figure 1 : orientation des principaux mouvements sédimentaires aux abords de la flèche de Cabourg (fond : MNT issu du vol LIDAR du 3 octobre 2016 – Source : CREC – UCN, 2016)

La comparaison des données topographique acquises au LiDAR ou au D-GPS par le CREC, a également permis de préciser les **évolutions altimétriques** suivantes :

- la cartographie différentielle **2009-2016** a fait apparaître un **abaissement significatif de la haute plage à l'Est de l'épi n°1, ainsi qu'à la périphérie du poulier**, tendant à prouver l'efficacité de l'intervention réalisée en 2014 sur les quatre épis orientaux, en terme de ralentissement du colmatage du chenal de la Dives ;
- la superposition des données LiDAR de **2014 et 2016** tend cependant à indiquer un **récent engraissement à l'Est immédiat de l'épi n°1** ; cet apport sédimentaire semble lié au franchissement de la tête de l'épi terminal par une barre sableuse, sans doute accentué par les déplacements sédimentaires constatés en bordure de chenal ;
- une **dépression longitudinale étroite**, correspondant à une bêche de vidange des eaux de déferlement, **persiste cependant en pied de dune** et s'est étendue vers l'Ouest, au point d'atteindre l'épi n°1 ;
- plus au Sud en revanche, à la **périphérie de l'extrémité recourbée de la pointe, le déficit sédimentaire n'a pas été comblé**. Seule l'extrémité SE du poulier s'est exhaussée et a progressé à l'intérieur de l'estuaire avec accentuation des pentes du chenal, confirmant le maintien partiel des apports sédimentaires.

Les cubatures réalisées sur la haute plage et la partie supérieure de la moyenne plage (sur une centaine de mètres de largeur chacune) ont révélé, pour la période **2014-2016**, un **bilan sédimentaire** :

- **négatif à l'Ouest de l'épi n°6** (-16 000 m³ sur 8,1 ha), **ainsi qu'à l'Est de l'épi n°1 et du poulrier** (-7 000 m³ sur 4,3 ha), correspondant à un abaissement moyen des deux « casiers » de l'ordre de -20 cm ;
- **positif au centre (entre les épis n°1 et n°6)**, avec +21 000 m³ sur 10,1 ha, correspondant à un exhaussement moyen de l'ordre de +20 cm également, mais avec cette fois une nette distinction entre la moyenne plage (+15 cm) et la haute plage (+27 cm).

La première phase de l'étude a enfin mis en exergue **l'amplitude croissante d'Ouest en Est** (en direction du chenal de la Dives) **des fluctuations altimétriques** de la haute plage et de la partie supérieure de la moyenne plage. En considérant cette fois non plus les casiers entiers, mais uniquement les **secteurs en accretion ou en érosion significative** (évolutions > +0,1 m et inférieures à -0,1 m), délimités sur la carte différentielle [octobre 2014/octobre 2016], les calculs révèlent des **valeurs d'évolution moyenne** de **±40 cm à l'Ouest de l'épi n°6**, **±55 cm entre les épis n°1 et n°6** et **±85 cm à l'Est de l'épi n°1 et du poulrier**.

En **périphérie de poulrier**, l'abaissement de profil a pu atteindre **-2,2 mètres** entre 2014 et 2016, et jusqu'à **-2,8 mètres** entre 2009 et 2016 à l'emplacement de la dune érodée.

En **conclusion**, la **flèche sableuse** de Cabourg est **correctement alimentée** en sédiment par les trains de barres sableuses qui se déplacent en direction du littoral. Sur la **partie occidentale**, protégée par des ouvrages longitudinaux, les épis sont relativement inefficaces et **la haute plage** a présenté une **tendance à l'érosion** sur la période récente. Plus à l'Est, la **reconstruction des ouvrages** en 2014 a **favorisé l'exhaussement de la haute plage et la stabilisation du trait de côte entre les épis n°1 à 4**. **A l'Est de l'épi n°1** en revanche, **et à la périphérie du poulrier**, en lien avec ces nouveaux aménagements, **la plage et la dune se sont significativement érodées**, les pertes avoisinant -7 000 m³ pour la période 2014-2016 (cubage proche du volume d'extraction préconisé en 2009 par le CREC), et **le trait de côte a fortement reculé** (Figure 2). Le **transit sédimentaire** n'est cependant **pas totalement interrompu** par les nouveaux ouvrages, **les barres sableuses contournant la tête de l'épi n°1**, participant à l'extension du poulrier vers le Sud.

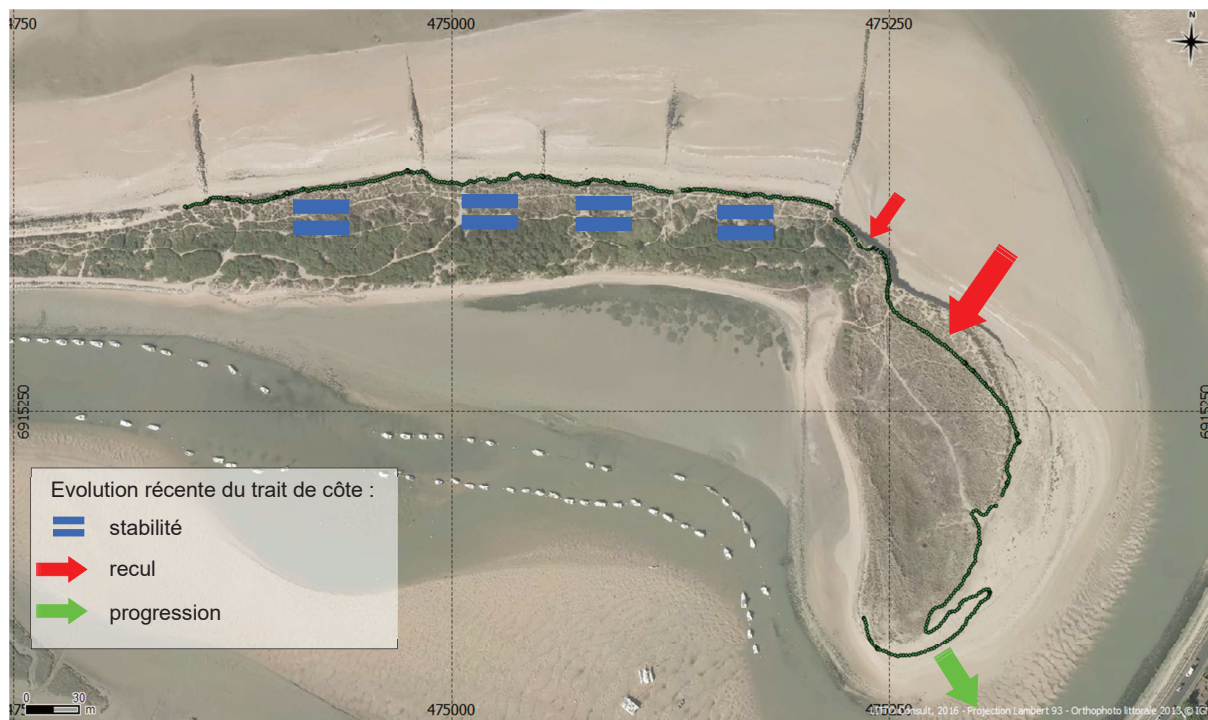


Figure 2 : illustration du recul du trait de côte à l'Est de l'épi n°1, entre août 2013 (orthophotographie littorale V2 © MEDDE) et octobre 2016 (levé GPS) – LITTO Consult, 2017

II.2. Principe d'intervention

Le recul du trait de côte à l'Est de l'épi n°1 est directement lié à la présence des aménagements littoraux situés plus à l'Ouest, et notamment à celle des épis n°1 à 4 reconfigurés en 2014. Ces derniers ont partiellement capté le sédiment impliqué dans le transit littoral de haute plage, réduisant d'autant l'alimentation en sables de la zone située en aval-transit (à l'Est de l'épi n°1).

Le confortement des ouvrages a eu un effet bénéfique entre les épis n°1 et 4, se traduisant par un exhaussement du haut estran et une stabilisation du trait de côte. L'effet opposé a en revanche été constaté à l'Est de l'épi n°1, avec un fort abaissement de la plage notamment en périphérie du poulier et un important recul du cordon dunaire, essentiellement dus à cette sous-alimentation en sables. Le recul du trait de côte est accentué par le maintien en pied de dune d'une bâche de vidange des eaux de déferlement, que ne parvient pas à combler la barre sableuse qui arrive du Nord.

L'intervention préconisée consiste donc à capter les transports sableux de haute plage orientés Ouest-Est, mais également en provenance du Nord-Ouest, qui contournent la tête de l'épi n°1 (sous la forme de barres sableuses s'incurvant à l'approche du chenal) et le franchissent notamment lors des phases tempétueuses de Nord-Ouest. En l'état actuel, ces sables se déversent dans le chenal où ils sont repris par les forts courants de flot, participant pour partie à la croissance du poulier et du delta de marée à l'intérieur de l'estuaire et contribuant également au jusant à alimenter le delta externe vers le Nord. **L'objectif de l'aménagement projeté est de favoriser la sédimentation sur la plage érodée, et notamment le colmatage de la dépression persistant en pied de dune, afin de**

réduire les hauteurs d'eau en pied de dune ce qui diminuera la hauteur et l'énergie des vagues permettant de stabiliser le cordon dunaire et le trait de côte.

Il est donc nécessaire de prévoir un ouvrage globalement transversal par rapport à l'orientation des transports sédimentaires, enraciné sur la Pointe de Cabourg à l'extrémité orientale de la dune en érosion, et s'étendant jusqu'au chenal de la Dives à marée basse. D'orientation générale SSW-NNE, sa cote d'arase devra permettre de retrouver, après accrétion, un niveau de plage équivalent ou légèrement supérieur à celui existant avant reconfiguration des quatre épis orientaux (connu grâce au levé D-GPS réalisé en 2009 par le CREC), afin de favoriser la stabilisation du trait de côte (Figure 3).

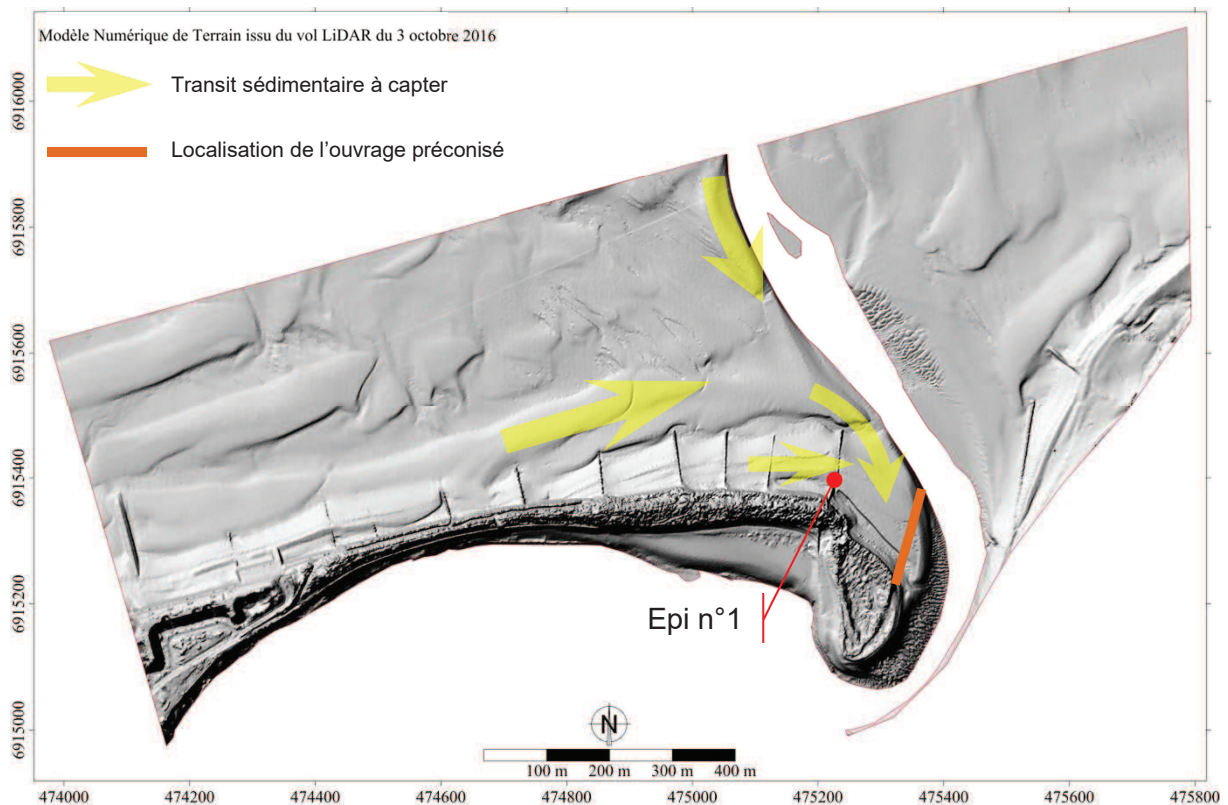


Figure 3 : localisation générale de l'ouvrage préconisé à l'extrémité de la flèche de Cabourg (fond : MNT issu du vol LiDAR du 3 octobre 2016 – Source : M2C – UCN, 2016)

III. DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE

L'ouvrage préconisé est un **épi de 130 m de longueur**. Il sera composé de **deux tronçons** (Figure 4 à Figure 6):

- un tronçon proximal de **80 mètres**, subhorizontal, ancré dans la dune et orienté SW-NE. Sa cote d'arase doit atteindre le niveau des plus hautes mers astronomiques, soit +4,24 m IGN69 (+8,8 m CM environ) ;
- un tronçon distal, long de **50 mètres**, orienté SSW-NNE, plongeant selon une pente de 25(H)/1(V) avec une extrémité basse arasée à la cote de +6,8 m CM environ en bordure du chenal de la Dives. Ce second tronçon est globalement parallèle à la digue submersible en partie ensablée sur la rive droite du cours terminal de la Dives.

L'ouvrage sera ancré dans la dune à 160 mètres environ au SE de l'épi n°1, au niveau du point d'inflexion qui marque la limite entre, au Nord-Ouest, la partie du poulcier en recul (versant NE) et, au Sud, le versant oriental, stable ou en cours de progradation (Figure 6).

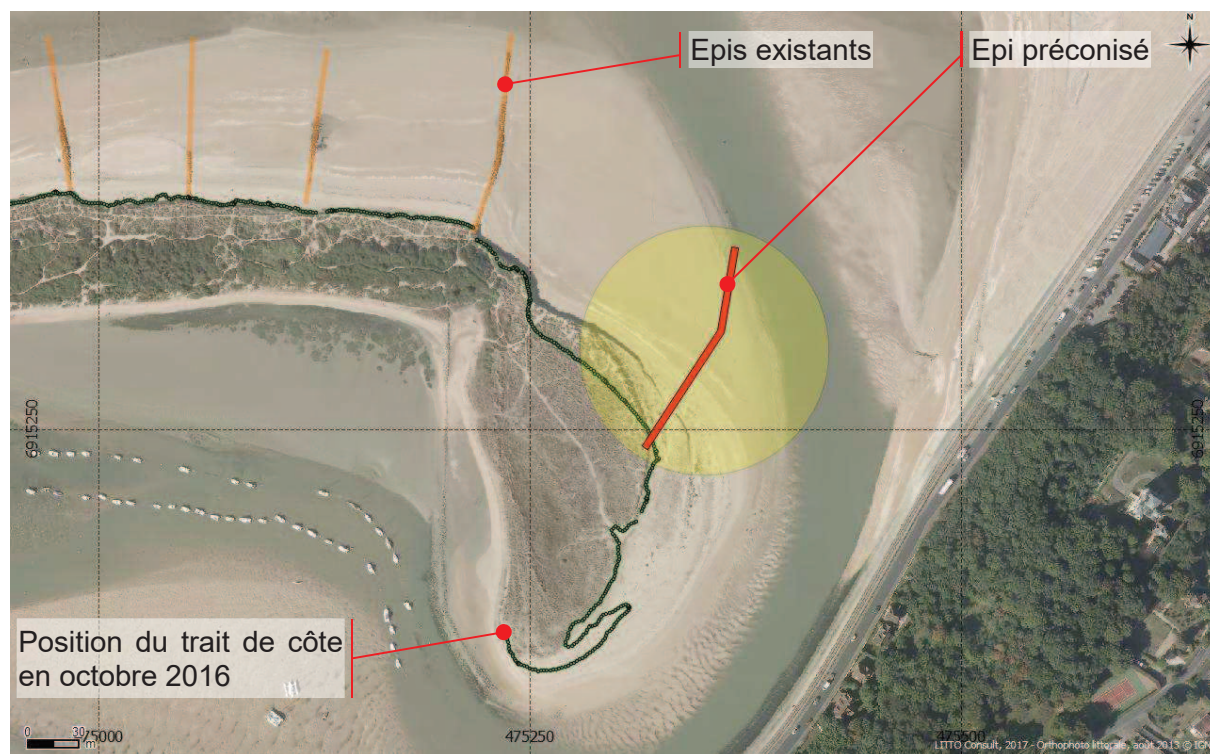


Figure 4 : localisation de l'ouvrage préconisé (en rouge) et position du trait de côte levé au GPS en octobre 2016 (LITTO Consult) – Fond : orthophotographie littorale V2, cliché août 2013 (©MEDDE)

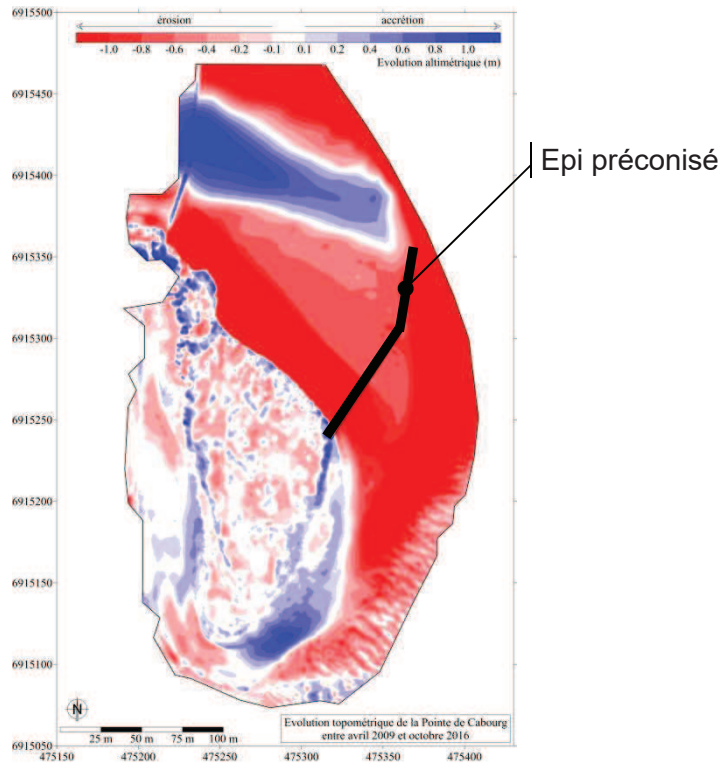


Figure 5 : localisation de l'épi préconisé sur la carte du différentiel altimétrique avril 2009 / octobre 2016 (CREC, 2017)

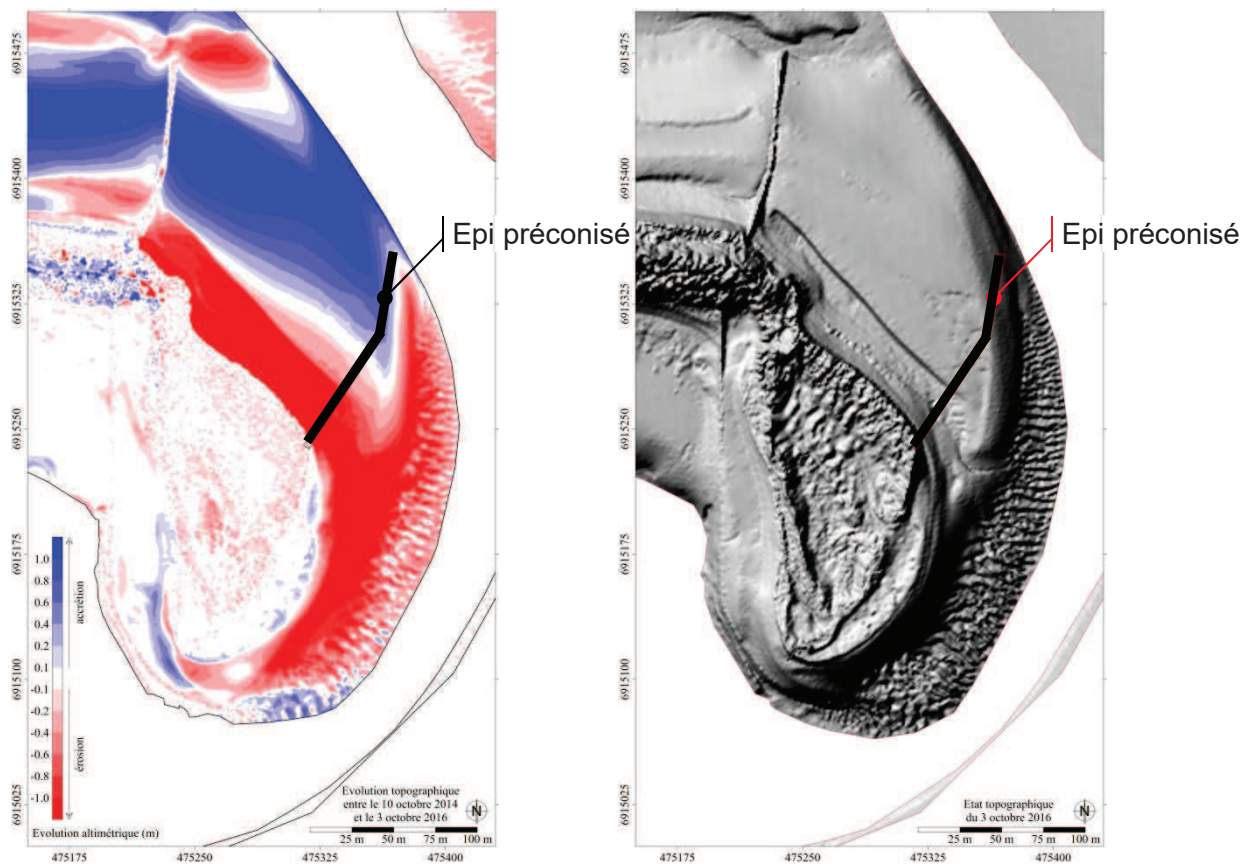


Figure 6 : localisation de l'épi préconisé sur la carte du différentiel altimétrique octobre 2014 / octobre 2016 (à g.) et sur le MNT issu du vol LiDAR du 3 octobre 2016 (à d.) – Source : M2C – UCN, 2017

La hauteur de l'ouvrage sera de deux mètres, sa base devant se situer à un mètre en moyenne sous le profil de plage d'octobre 2016, son sommet légèrement au-dessus du niveau du terrain naturel observé en 2009 (Figure 7). **Un état des lieux de la topographie sera à réaliser juste avant la construction de l'ouvrage compte-tenu de son caractère très évolutif pour caler définitivement les cotes d'arase par rapport au terrain naturel.**

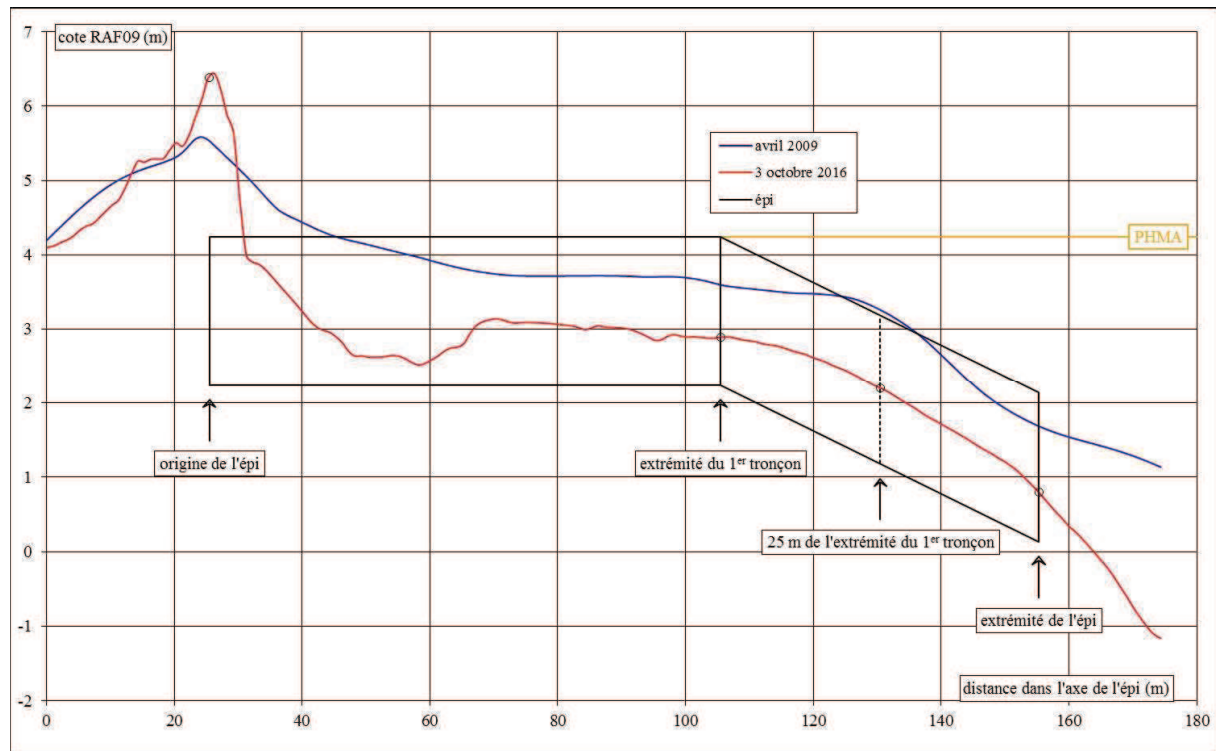


Figure 7 : profil en long de l'ouvrage préconisé et positionnement par rapport aux profils de plage d'avril 2009 et d'octobre 2016 (CREC, 2017)

L'ouvrage sera implanté en rive convexe (rive gauche du chenal de la Dives, qui tend à s'étendre vers l'Est). Les risques d'érosion et de déchaussement en pied oriental de l'ouvrage sont donc limités. Une attention particulière devra en revanche être apportée en tête d'ouvrage, en bordure du chenal de la Dives susceptible de fluctuer, que ce soit en termes de profondeur des fondations, ou de masse et d'agencement des blocs. Plus basse, cette partie de l'épi sera exposée à l'agitation, mais le large delta de marée très dissipatif atténue la puissance des vagues de tempêtes incidentes. Cette partie de l'épi sera par ailleurs disposée parallèlement au chenal assurant, côté Est, un frottement à l'écoulement au remplissage comme à la vidange de l'estuaire, devant limiter les effets d'affouillement.

III.1. Ouvrage en enrochements

L'épi préconisé pourra être un ouvrage en enrochements, la carapace constituée de blocs de 1,5 à 3 tonnes présentant alors une largeur de 1 m en crête et 7 m à la base (Figure 8 et Figure 9). Les flancs présenteront une pente de 3/2 (3 unités horizontales pour 2 verticales).

Les blocs d'enrochements reposeront sur une couche filtre constituée de blocs 100 / 300 kg constituant une semelle épaisse de 50 cm et large de 9 mètres. Cette semelle formera au cœur de l'ouvrage un noyau plus épais, de 1 m de hauteur, sur une largeur de 2 m à la base et 0,5 m au sommet. Les fondations reposeront sur un géotextile renforcé débordant de l'emprise de la carapace de l'ouvrage.

La pente en tête d'ouvrage sera de 2/1.

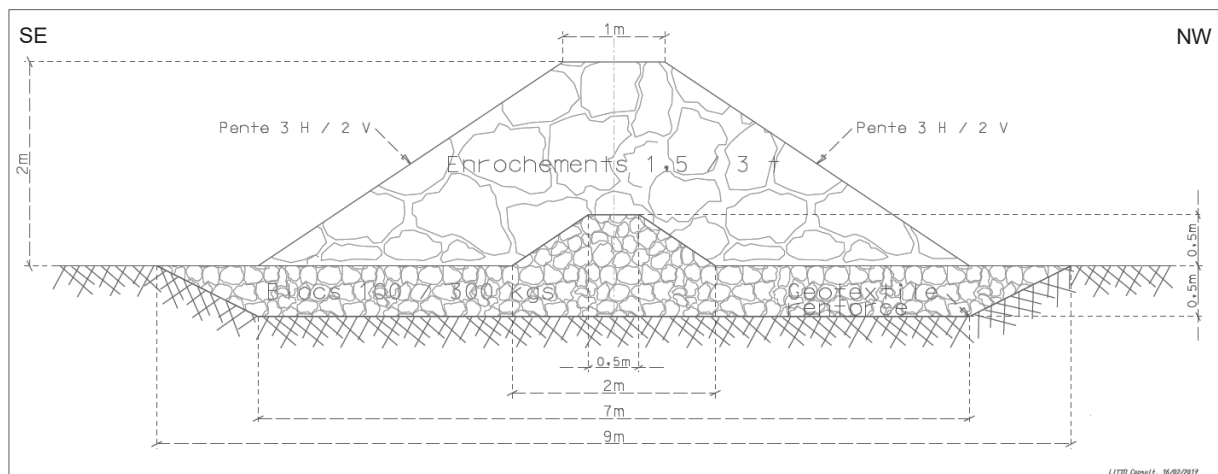


Figure 8 : coupe transversale de l'épi préconisé à la Pointe de Cabourg, variante en enrochements (CREC / LITTOCONSULT, 2017)

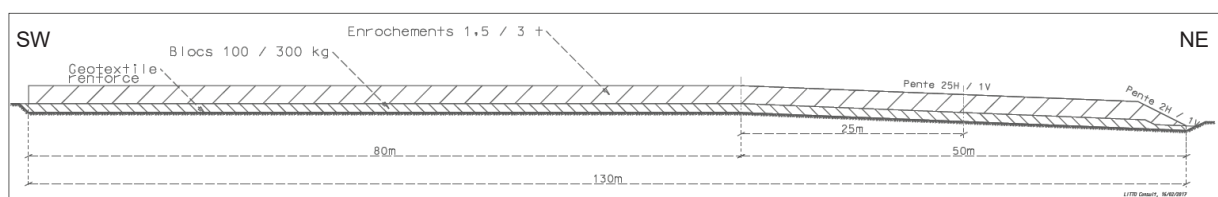


Figure 9 : coupe longitudinale de l'épi, variante en enrochements (CREC / LITTOCONSULT, 2017)

Les épis en enrochements offrent plusieurs avantages par rapport aux matériaux alternatifs envisageables (moellons maçonnés, béton, palplanches, pieux de bois, etc.). De par la présence des cavités inter-blocs, ils présentent notamment une relative porosité par rapport à un ouvrage plein, mais qui reste modérée par rapport à un ouvrage ajouré (comme un ouvrage en pieux de bois disposés en quinconce par exemple).

Cet aspect est important en terme d'atténuation de l'énergie des vagues qui atteignent l'ouvrage. Le noyau interne limitera le transit des sables à travers l'épi, ainsi que les écoulements traversiers intra-

ouvrages. Les épis en enrochements sont donc moins réfléchissants que des ouvrages pleins, *a fortiori* verticaux, comme des palplanches.

L'emprise au sol, la géométrie et la masse de l'ouvrage préconisé permettront également de mieux résister face à la pression exercée par les sables progressivement accumulés sur son flanc occidental, qui pourrait dans le contexte coucher un ouvrage vertical (bardage en bois entre pieux battus par exemple) ou repousser vers le chenal des gabions sous-dimensionnés.

Enfin, le prix de revient d'un ouvrage en enrochements reste relativement bas par rapport aux autres ouvrages lourds de défense contre la mer.

Du point de vue des impacts morpho-sédimentaires, les épis en enrochements présentent les mêmes inconvénients que ceux rencontrés par tout ouvrage transversal implanté en haute plage caractérisée par une dérive littorale prédominante : en fonction de leur dimensionnement, ils peuvent entraîner une érosion de la plage et un recul du trait de côte en aval-dérive, la création de courants d'arrachement à l'origine d'affouillements en tête d'ouvrage, pouvant menacer leur stabilité, etc. L'impact paysager de ce type d'épi est également plus marqué que celui rencontré avec des ouvrages plus étroits, notamment lorsqu'ils sont implantés en « batteries », ou que celui des ouvrages en géotextile par exemple. Les clichés suivants (Figure 10) permettent de se rendre compte de l'impact paysager d'un ouvrage en enrochements à la Pointe de Cabourg (photographies de l'épi n°1 implanté en 2014, de longueur et d'emprise proches de celles de l'épi préconisé).

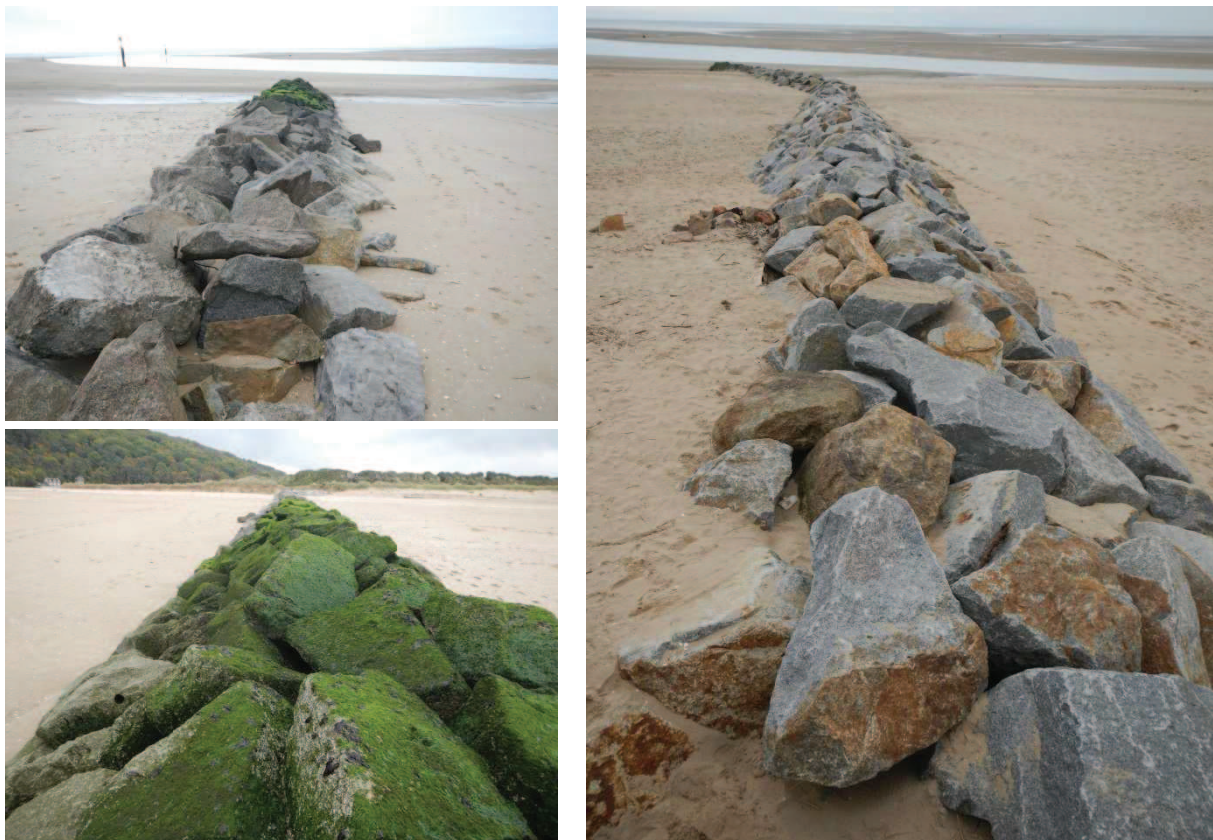


Figure 10 : aperçu de l'épi n°1 en enrochements (vu vers le Nord en haut à g., vers le Sud en bas à g., vers le NNE à d.) - LITTO Consult, 2016

Le coût d'un ouvrage de ce type est compris entre 130 et 200 k€ HT, soit environ 1000 à 1540 € HT au mètre linéaire. La durée du chantier est de l'ordre de 1 mois.

III.2. Variante en tubes géotextiles

Des structures en géotextile pourront remplacer les enrochements, à condition d'être correctement dimensionnées pour d'une part atteindre l'objectif détaillé ci-dessus et d'autre part, résister aux conditions hydrodynamiques locales (agitation extérieure et courants dans le chenal de la Dives).

Il s'agit dans ce cas de géoconteneurs, constitués de fibres polyester ou polypropylène tissées, généralement bi- ou tri- couches, résistants (au poinçonnement, à l'abrasion marine, aux UV, aux hydrocarbures, ...) et se présentant sous la forme de tubes. Les structures tubulaires sont obtenues par couture bord à bord de lés géotextiles de largeurs variables. Il en existe différents modèles, de différentes tailles (en termes de longueur et de diamètre), plus ou moins modulables.

Les ouvrages en géotextile peuvent être constitués d'un seul tube (ou de plusieurs segments alignés) ou d'un empilement pyramidal de plusieurs tubes (trois en général), permettant d'atteindre des hauteurs plus importantes. Les tubes sont le plus souvent associés à un tapis anti-affouillement, de largeur et de profondeur d'ancrage adaptées au contexte hydro-sédimentaire.

Les structures sont généralement injectées hydrauliquement à l'aide d'une pompe, par un mélange d'eau et de sables le plus souvent prélevés sur place, introduit par des cheminées d'admission régulièrement réparties en sommet de tube. L'eau en surplus est évacuée par ces mêmes cheminées, mais également à travers la membrane géotextile, perméable. Les coutures doivent à ce titre être capables de résister aux pressions internes, mais également aux déformations que subira l'ouvrage au cours de sa vie.

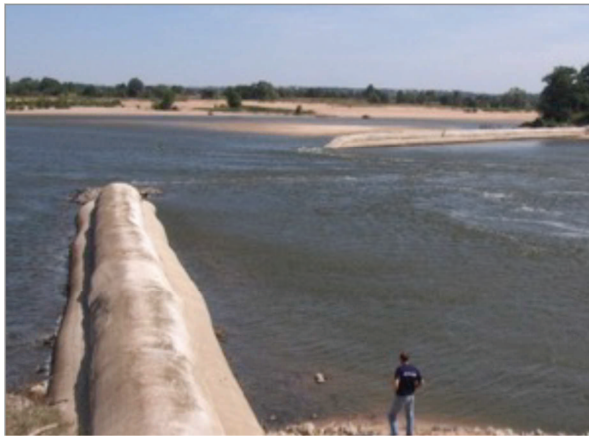
Le guide du MEDDTL (« La gestion du trait de côte », 2010), reconnaît six rôles à ces structures en géotextile : « conteneur, renforcement, séparateur, protecteur, filtrage et drainage ». Elles présentent l'avantage d'interagir plus doucement avec les éléments naturels que ne le ferait un ouvrage en dur (enrochements ou béton par exemple), réduisant les risques d'affouillement à la base de l'ouvrage. Autres avantages reconnus à ces structures géotextiles : la rapidité de mise en œuvre, une meilleure intégration paysagère que les ouvrages « en dur », une adaptation au terrain naturel et à ses déformations, une facilité de déplacement ou de destruction en cas de besoin (réversibilité).

Malgré les progrès récents en terme de résistance, ces structures géotextiles restent relativement fragiles face au vandalisme notamment, ou à une éventration accidentelle (par une hélice pour la partie immergée des ouvrages, par exemple). Toutefois, ils sont réparables aisément, mais demandent de fait une surveillance accrue.

Les clichés suivants (Figure 11) illustrent différents modèles de structures géotextiles mises en œuvre dans des environnements variés, en tant qu'ouvrage longitudinal ou transversal par rapport au trait de côte.



<http://www.tencate.com/>

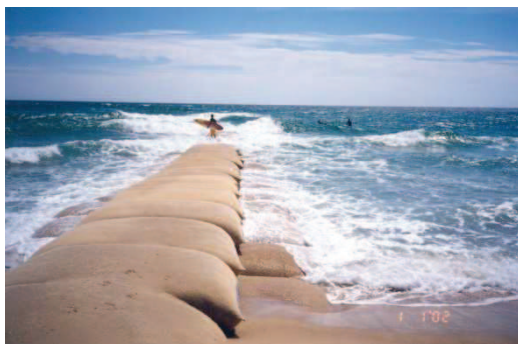


<http://www.stabiplate.com/>



<http://ptgsi.com/>

<http://ecocoast.com/>



<http://www.elcorock.com/>

<https://www.maccaferri.com/>

Figure 11 : aperçu de la variété des structures géotextiles existantes

La gamme de prix de ces ouvrages posés, en géotextile, est très large, allant selon les fournisseurs, de 120 k€ pour des géotubes monoblocs à 600 k€ HT pour une structure pyramidale pour le gabarit préconisé (2 m de hauteur). Les durées d'installation sont également très variables, allant de 3 à 16 semaines.

IV. POSSIBILITE DE COUPLAGE AVEC UN PROCEDE INNOVANT : S-ABLE

Une solution innovante de piégeage des sables du transit sédimentaire pourrait être expérimentée sur une partie du second tronçon de l'ouvrage à mettre en place.

Le procédé S-ABLE, inventé par Dominique MICHON, est constitué d'un ensemble de filets assemblés en une structure tridimensionnelle en « V inversé », qui a pour but de générer de la turbulence dans les écoulements, afin de les amortir et favoriser ainsi la sédimentation (figures 12, 13 et 14). La base des filets est fixée au fond par un ensemble de chaînes et d'ancres ; des flotteurs régulièrement répartis au sommet de la structure tridimensionnelle assurent la levée du dispositif à marée montante et maintiennent une tension par le haut lorsqu'il est totalement submergé.

Le procédé présente l'avantage d'être facilement modulable, repositionnable et extractible.



Figure 12 : représentation du procédé S-ABLE (source : S-ABLE)



Figure 13 : photographie du procédé S-ABLE mis en œuvre en bordure de chenal estuarien (source : S-ABLE)



Figure 14 : autres vues du procédé S-ABLE mis en œuvre en milieu intertidal, en bordure de chenal, à marée basse à g. et marée montante à d. (source : S-ABLE)

L'impact hydro-sédimentaire du procédé a déjà fait l'objet d'une modélisation physique en canal à houle au LNHE (Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement d'EDF, Figure 15), sous le contrôle du CEREMA (Centre d'études et d'Expertises sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement) : Olivier BOUCHER *et al.* - Étude en modèle réduit de l'impact de filets 3D sur la dynamique hydro-sédimentaire en zone côtière (XIII^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Dunkerque, 2014, Editions Paralia CFL).

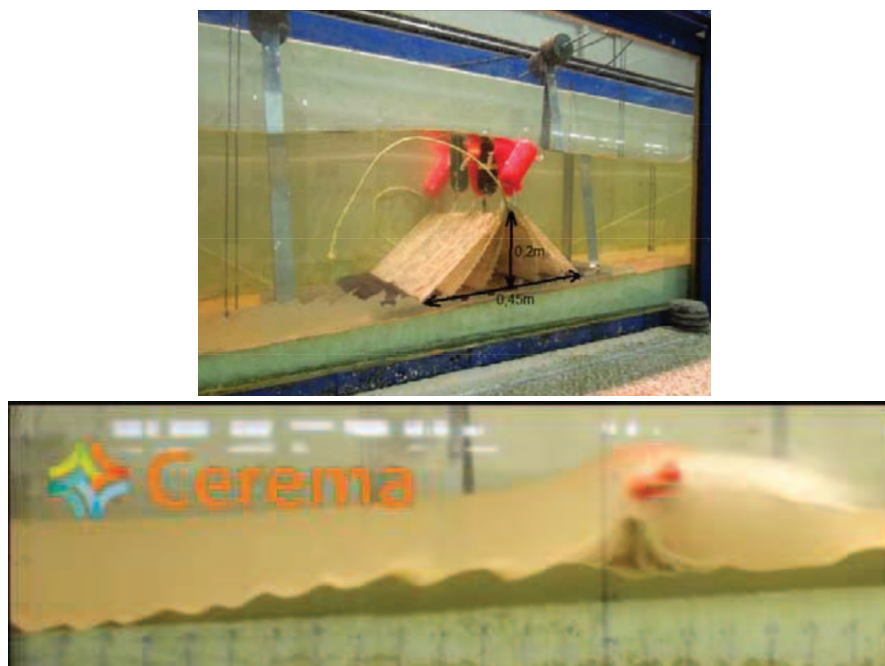


Figure 15 : modélisation en canal à houle du procédé S-ABLE (O. BOUCHER *et al.*, CEREMA, 2014)

Cette modélisation a permis d'observer la formation d'une barre artificielle d'amplitude limitée au niveau des filets, qui jouent le rôle de décanteur de sable (Figure 16). Le dispositif permet de constituer un stock sédimentaire à proximité de la côte, propice à l'amortissement de la houle et à l'engraissement des plages lors des périodes d'accalmie.

Sur la Pointe de Cabourg, **ce dispositif pourrait être testé, à titre expérimental, à l'extrémité de l'épi** sur une **longueur de 25 m**, en continuité de l'ouvrage en enrochements ou en géotextile mis en

place. La longueur de l'épi serait alors être limitée à 105 mètres à la place des 130 mètres préconisés, avec une extrémité basse arasée à la cote de +7,8 m CM environ à la place de +6,8 m CM, le procédé S-ABLE venant en remplacement des 25 derniers mètres.

L'intérêt de la mise en place de ce dispositif à l'extrémité basse de l'épi serait d'une part de maintenir un profil élevé en tête d'ouvrage en favorisant la sédimentation et, d'autre part, de limiter les fluctuations du tracé du chenal de la Dives.

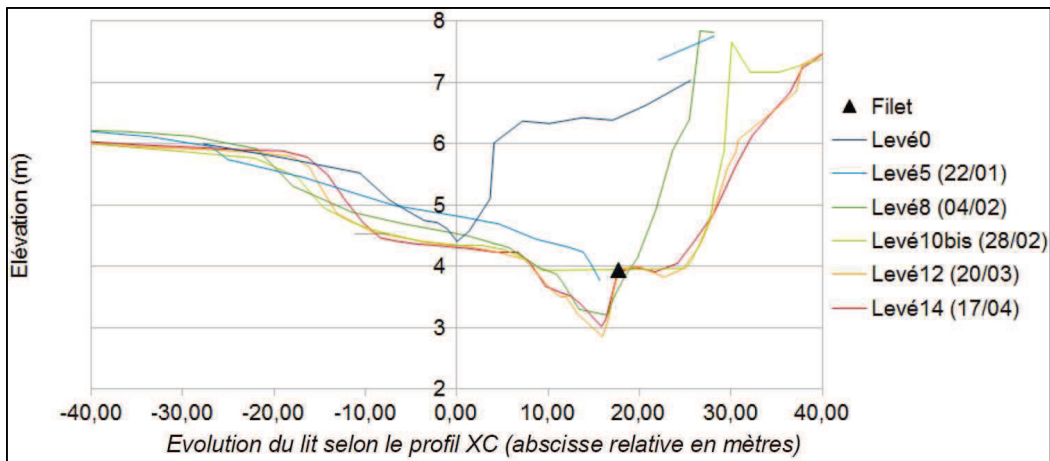
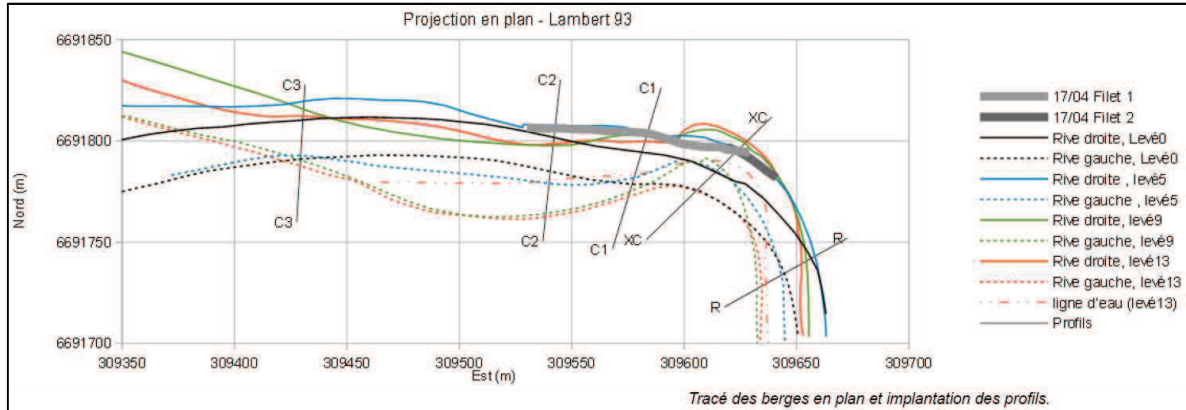


Figure 16 : résultats d'une expérimentation du S-ABLE dans le cadre d'une stabilisation de chenal estuarien (le Boivre, Saint-Brévin-les-Pins - source : CEREMA)

A noter le **faible retour d'expérience autour de ce procédé novateur**. Toutefois deux installations sur des berges de chenaux à Saint-Brévin les Pins et en baie d'Authie ont été réalisées. Sur le site de Saint-Brévin, le maire de la commune juge l'expérimentation très satisfaisante (article dans le journal « La voix du Nord » du 15 novembre 2014).

Le coût d'un dispositif de ce type pour une longueur de 25-30 m est estimé à 30 k€ HT. Les travaux se dérouleraient sur 7 à 12 jours et sont fonction des conditions météorologiques.

V. CONCLUSIONS

La Figure 17 présente une synthèse des différents ouvrages et combinaisons d'ouvrages étudiés. Globalement, **l'efficacité des dispositifs proposés** vis-à-vis du transport sédimentaire, de l'élargissement de la haute plage et de la **stabilisation du trait de côte sera quasiment identique pour les différentes variantes retenues**. Toutes les solutions, correctement dimensionnées, doivent permettre d'atteindre l'objectif initialement fixé, à savoir stopper le recul du front de dune à l'extrémité de la Pointe de Cabourg. Les dispositifs intégrant des **géomatériaux** apparaissent **plus fragiles** et demandent une surveillance. Par contre, ce sont les ouvrages généralement les **moins coûteux en investissement initial** avec toutefois de grandes disparités de prix selon les fournisseurs; ils sont également aisément **réversibles et mieux intégrés à l'environnement**. **L'ouvrage en enrochements naturels** est bien sûr, **peu fragile**, présente un **impact visuel fort et apparait difficilement réversible**, notamment à cause de l'évacuation des matériaux, nécessairement coûteuse. En termes de prix, cette dernière solution est un peu **plus onéreuse** qu'une solution de base en géoconteneurs. Le **procédé S-Able** pourrait être associé soit à une solution en enrochements, soit en matériaux géocomposites, mais sur une longueur limitée de 25-30 m à l'extrémité de l'ouvrage. Cette installation serait à considérer à titre **expérimental** compte-tenu du faible retour d'expérience sur ce procédé innovant.

Durabilité de l'ouvrage et intégration environnementale sont donc deux aspects à prendre en compte, en complément des coûts d'investissement et de fonctionnement induits, pour choisir la solution à mettre en œuvre.

Figure 17 : synthèse des solutions techniques étudiées

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Type d'ouvrages	Epi en enrochements	Epis en géomatériaux	Epi en enrochement et terminaison procédé S-ABLE (25 m)	Epi en géomatériaux et terminaison procédé S-ABLE (25 m)
Impact sur le transport sédimentaire	positif	positif	Positif pour le tronçon en enrochements et expérimental pour le tronçon S-ABLE	Positif pour le tronçon en géomatériaux et expérimental pour le tronçon S-ABLE
Elargissement de la haute plage et stabilisation du trait de côte	positif	positif	Positif pour le tronçon en enrochement et expérimental pour le tronçon S-ABLE	Positif pour le tronçon en géomatériaux et expérimental pour le tronçon S-ABLE
Fragilité de la solution	Peu fragile	Sensible au vandalisme, hélices bateaux, ...	Peu fragile	Sensible au vandalisme, hélices bateaux,... pour le tronçon en géomatériaux
Réversibilité du dispositif	Peu réversible	réversible	Peu réversible pour le tronçon en enrochements ; adaptable pour le tronçon S-ABLE	Réversible et adaptable pour le tronçon S-ABLE
Entretien de l'ouvrage	Pas ou peu d'entretien	Surveillance et réparations si nécessaire	Pas ou peu d'entretien sur la partie en enrochements	Surveillance et réparations si nécessaire sur le tronçon en géomatériaux
Impact visuel	fort	Moyen (géomatériaux couleur sable)	Fort pour le tronçon en enrochements et moyen pour le tronçon S-ABLE	Moyen (géomatériaux couleur sable) et moyen pour le tronçon S-ABLE
Sécurité des usagers - Hygiène	Moyen (risque de chute sur les blocs) - Piégeage de macro-déchets	Peu de risques de blessures	Moyen (risque de chute sur les blocs et risques liés au filet pour les baigneurs) - Piégeage de macro-déchets	Moyen (risques liés au filet pour les baigneurs)
Ressources naturelles utilisées (eaux de surface, sous-sol)	Utilise les ressources naturelles du sous-sol (3 000 à 3 500 t de matériaux de carrière)	Prélèvement d'eau estuarienne, restituée au milieu; utilisation de 1000 m3 de sables pris sur place pour remplir les géotubes	Utilise les ressources naturelles du sous-sol (2500 à 2700 t de matériaux de carrière)	Prélèvement d'eau estuarienne, restituée au milieu; utilisation de 800 m3 de sables pris sur place pour remplir les géotubes
Fourchette de coût (HT)	130 à 200 k€	120 à 600 k€	135 à 160 k€	130 à 545 k€