

CARACTERISATION DES STOCKS ET DES DYNAMIQUES SEDIMENTAIRES DU SECTEUR ERRETEGIA-HAROTZEN COSTA (BIDART-GUETHARY)

RAPPORT TECHNIQUE



INFORMATIONS GENERALES SUR LE DOCUMENT

Contact	CASAGEC INGENIERIE 18 rue Maryse Bastié Z.A. de Maignon 64600 Anglet - FRANCE Tel : + 33 5 59 45 11 03 Web : http://www.casagec.fr
Titre du rapport	Caractérisation des stocks et des dynamiques sédimentaires du secteur Erretegia-Harotzen Costa (Bidart-Guethary) Rapport intermédiaire technique
Maître d'Ouvrage	Communauté d'Agglomération Pays Basque
Auteur(s)	Damien DAILLOUX
Responsable du projet	Damien DAILLOUX – dailloux@casagec.fr
Rapport n°	CI-CR-11-rev01

SUIVI DU DOCUMENT

Rev.	Date	Description	Rédigé par	Approuvé par
00	8/10/2018	Rapport Intermédiaire - Première version	DDX	DRY
01	29/10/2018	Rapport Intermédiaire - Deuxième version	DDX	DRY
02	08/07/2019	Version finale	DDX	DRY

TABLE DES MATIERES

1.	Introduction	5
2.	Mesures de terrain réalisées dans le cadre du projet Marea	6
2.1.	Levés photogrammétriques 3D par drone	6
2.1.1.	Contexte et objet de la mission.....	6
2.1.2.	Description du levé.....	6
2.1.3.	Protocole	7
2.1.4.	Résultats.....	8
2.2.	Levés topo-bathymétriques.....	11
2.2.1.	Contexte et objet du levé.....	11
2.2.2.	Description du levé.....	11
2.2.3.	Protocole	12
2.2.4.	Résultats.....	13
2.3.	Levés géophysiques	17
2.3.1.	Contexte et objet de la mission.....	17
2.3.2.	Description du levé.....	17
2.3.3.	Protocole	17
2.3.4.	Résultats.....	19
3.	Suivi vidéo	23
3.1.	Description du système vidéo	23
3.1.1.	Contexte et objet de la mission.....	23
3.1.2.	Présentation du système.....	23
3.1.3.	Description du matériel.....	23
3.1.4.	Installation sur site et calibration.....	24
3.2.	Technique de mesure du niveau de sable au pied des ouvrages	27
3.2.1.	Découpage de la zone d'étude.....	27
3.2.2.	Méthodologie.....	28
3.3.	Résultats	32
3.3.1.	Zone Uhabia	32
3.3.2.	Zone plage du Centre	33
4.	Bilan	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Drone DJI PHANTOM 4.....	6
Figure 2 : Exemple de résultat de fin de traitement informatique : nuage de points colorisé.....	7
Figure 3. Emprises des levés photogrammétriques du (a) 11 Novembre 2017, (b) 22 Décembre 2017, 04 Décembre 2018 (c).....	8
Figure 4. Modèles numériques de terrain pour les levés du (a) 11 Novembre 2017, (b) 22 Décembre 2017, 04 Décembre 2018 (c).....	8
Figure 5. Carte des différences altimétrique 2017-2018.	9
Figure 6. Mesure du volume de l'éboulement 1 à partir des deux levés photogrammétriques par drone : orthophoto de Novembre 2017 (a) et Décembre 2017 (b), et carte des différences altimétriques (c).	9
Figure 7. Mesure du volume de l'éboulement 2 à partir des deux levés photogrammétriques par drone : orthophoto de Novembre 2017 (a) et Décembre 2018 (b), et carte des différences altimétriques (c).	10
Figure 8. Mesure du volume du glissement de terrain à partir des deux levés photogrammétriques par drone : orthophoto de Novembre 2017 (a) et Décembre 2018 (b), et carte des différences altimétriques (c).	10
Figure 9. Vedette hydrographique TURBULENCES.....	11
Figure 10. Quad Polaris Sportsman 570.....	11
Figure 11. Emprise des levés topo-bathymétriques.....	13
Figure 12 Cartes topo-bathymétriques des levés (a) du mois d'Octobre 2017, (b) de Mars 2018, (c) d'Octobre 2018 et (d) de mars 2019.	14
Figure 13. Carte des différences altimétriques pour l'hiver 2017-2018, l'été 2018 et l'hiver 2018-2019.	15
Figure 14. Taux d'évolution (accrétion en bleu, érosion en rouge, bilan en vert) pour l'hiver 2017-2018, l'été 2018 et l'hiver 2018-2019.	16
Figure 15. Tritech Starfish 452F.	17
Figure 16. Knudsen PINGER SBP.....	17
Figure 17. Couverture de la zone de levé au sonar à balayage latéral et localisation des points de prélèvement sédimentaires.....	18
Figure 18. Emprise du levé réalisé au sondeur à sédiment le 11 Juillet 2018.....	18
Figure 19. Carte des faciès sédimentaires.	19
Figure 20. Exemple de résultats issus des analyses granulométriques.....	19
Figure 21. Exemples d'échogrammes issus du sondeur à sédiment en cours de traitement.	20
Figure 22. Carte des épaisseurs sédimentaires au mois d'octobre 2017, Mars 2018, Octobre 2018 et Mars 2019.	21
Figure 23. Epaisseur moyenne des sédiments par zone.	21
Figure 24 : Caméra dôme IP articulée.	23
Figure 25 : Schéma de fonctionnement du système vidéo. Le candélabre est présenté à titre d'exemple, l'installation sur un point haut (sommet de bâtiment ou de tour) est préférable.	24
Figure 26. Champs de vision du système vidéo utilisé pour réaliser le suivi des plages de Bidart.	25

Figure 27 : Exemples de photographies de cible servant au calcul des paramètres intrinsèques.....	25
Figure 28: Mesures des points d'amer au DGPS centimétrique permettant le calcul des paramètres extrinsèques.....	25
Figure 29. Exemple de projection photogrammétrique obtenue à partir du système vidéo installé à Bidart.	26
Figure 30. Localisation des profils de suivi au niveau de l'épi Sud de l'Uhabia (a) et de l'épi de la plage du Centre (b).....	27
Figure 31. Localisation des profils de suivi au niveau des enrochements des Embruns (a) et des enrochements de la plage du Centre (b).....	27
Figure 32. Algorithme de détection automatisée de l'ensemble des angles saillants de l'image de référence et de l'image à traiter.....	29
Figure 33. Algorithme permettant d'isoler les points remarquables communs aux deux images, et alignement de l'image à traiter sur l'image de référence.....	29
Figure 34. Présentation de la méthode de digitalisation : (a) localisation des profils de suivi et (b) exemple de digitalisation de l'épaisseur d'enrochement.....	30
Figure 35. Exemple des résultats de digitalisation de cible GPS au niveau de l'épi de la Centrale (a), et (b) zoom sur la digitalisation d'un point GPS sur le profil 5.	31
Figure 36. Résultats des évolutions topographiques au niveau du haut de la plage des Embruns et au niveau de l'épi de l'Uhabia entre Novembre 2017 et Février 2019.....	32
Figure 37. Résultats des évolutions topographiques au niveau du haut de la plage du Centre et au niveau de l'épi entre Novembre 2017 et Février 2019.....	33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Synthèse de l'analyse statistique issue des corrélations « nivellement GPS / épaisseur pixel ». (DS : déviation standard, EQM : erreur quadratique moyenne).	31
Tableau 2: Synthèse de l'ensemble des résultats	35

1. INTRODUCTION

MAREA pour « Modélisation et Aide à la décision face aux Risques côtiers en Euskal Atlantique », est un projet de recherche transfrontalier, visant à mieux comprendre les épisodes de tempêtes sur la côte basque afin de prévoir les risques de submersion marine et d'érosion côtière grâce à la mise en place d'outils d'alerte innovants.

Ainsi, les partenaires de MAREA souhaitent développer des outils de modélisation numérique et statistique à haute résolution, capables de prévoir localement l'énergie et les niveaux d'eaux atteints par les vagues extrêmes, ainsi que les volumes de sédiments déplacés par les tempêtes.

Ces nouvelles connaissances aideront à mieux coordonner les politiques publiques en matière de prévention et de gestion des risques côtiers. Elles permettront également d'optimiser la gestion de crise et le déploiement des moyens de protection. D'autre part, des ateliers de travail seront organisés dans le cadre de MAREA pour améliorer la prise en compte de la « culture du risque » au sein des politiques publiques.

Ce document constitue un rapport intermédiaire technique qui recense l'ensemble des actions réalisées par CASAGEC INGENIERIE dans le cadre du projet MAREA.

Entre 2017 et 2019 l'ensemble des actions suivantes ont été mises en œuvre :

- Mesures de terrain :
 - Levé photogrammétrique 3D par drone,
 - Levé topo-bathymétrique,
 - Levé au sonar à balayage latéral,
 - Levé au sondeur à sédiment,
- Suivi vidéo continu de la plage de l'Uhabia et de la plage du Centre.

2. MESURES DE TERRAIN REALISEES DANS LE CADRE DU PROJET MAREA

2.1. LEVES PHOTOGRAMMETRIQUES 3D PAR DRONE

2.1.1. Contexte et objet de la mission

Dans le cadre du projet MAREA, CASAGEC réalise un suivi topographique des falaises situées entre la plage d'Erretega et la plage du Centre. L'objectif de ce suivi est de mettre à disposition des mesures précises de l'évolution de la zone de falaise et ainsi de constituer une base de données permettant de mieux appréhender les problématiques liées à l'érosion de ces zones.

Au regard de la complexité du site, le choix du vecteur de levé topographique retenu est le drone photogrammétrique. Un levé au Lidar mobile aurait pu être envisagé, mais au regard des nombreuses zones non couvertes par le système (escarpement de falaise, sommet de la falaise, etc.), cette solution n'a pas été retenue.

2.1.2. Description du levé

La topographie des falaises de Bidart a été acquise par photogrammétrie aérienne. La photogrammétrie correspond à l'ensemble des techniques qui permet de déterminer la forme, les dimensions et la position dans l'espace d'un objet à partir de photographies. Le principe est fondé sur la vision humaine qui, à partir de la vision stéréoscopique fournie par les deux yeux, permet de percevoir les reliefs. Ceci peut être reproduit en prenant deux clichés de la même scène à deux endroits différents. Par extension, en prenant une multitude de photos d'un même objet, il est possible de le modéliser finement dans les trois dimensions.

Le levé photogrammétrique a été réalisé à l'aide du drone DJI PHANTOM 4 équipé d'une caméra de 12,4 millions de pixels de longueur focale f/2,8 (Figure 1).

Les missions ont été préalablement planifiées via l'application Pix4d, au travers de laquelle la trajectoire et l'altitude du drone, le recouvrement des photographies et l'orientation de la caméra ont été définis.



Figure 1 : Drone DJI PHANTOM 4.

Tous les levés ont été conduits selon le protocole suivant :

- Un vol automatique avec une orientation de la caméra verticale (90°), pointant le nadir. Le vol est réalisé à une altitude de 50 m par rapport au point de décollage, choisi à proximité du départ du levé (pour optimiser le temps de vol et l'autonomie) et au point culminant de la zone à lever (pour optimiser la portée radio de la radiocommande). Un chevauchement frontal et latéral des photos de 80 % a été sélectionné,
- Un vol manuel en deux passages avec une orientation de caméra à environ 20°. Le vol est effectué parallèlement à la face de la falaise et permet ainsi de couvrir les escarpements de la falaise.

Pour chaque vol, plusieurs points de contrôle permettant à la fois de mettre à l'échelle et de géoréférencer le nuage de points dense a été utilisé. Des cibles de couleur de 25 cm de diamètre ont été utilisées ici. La position des cibles a été mesurée lors de chaque levé à l'aide d'un récepteur GNSS NRTK Trimble R10 sur le réseau Orphéon. Cette solution offre une précision planimétrique de ± 1 cm et

altimétrique de ± 3 cm. La position altimétrique du drone est dans la même gamme d'incertitude que le récepteur GNSS. La précision finale du levé est donc de ± 3 cm horizontalement et ± 10 cm verticalement.

Les étapes de traitement informatique des images ont été réalisées à l'aide du logiciel PhotoScan (Figure 2), à savoir :

- Alignement des photos entre elles,
- Saisie des points de contrôle,
- Génération du nuage de point dense (Figure 2),
- Génération du MNT et de l'orthophotographie.



Figure 2 : Exemple de résultat de fin de traitement informatique : nuage de points colorisé.

Le traitement informatique a permis 100 % d'alignement entre les photos et la résolution du nuage de points dense est d'environ 1 point tous les 5 cm.

Les missions ont été réalisées dans le respect de la réglementation concernant la sécurité des vols par la création d'une zone d'exclusion des personnes, la réalisation des déclarations préalables auprès de la préfecture des Pyrénées Atlantiques et de la Direction Générale de l'Aviation Civile, et le respect de la vie privée des plagistes.

2.1.3. Protocole

Trois vols ont été effectués dans le cadre de cette étude :

- Levé du 21 Novembre 2017 :
 - Zone de suivi : entre le Nord de la plage d'Erretegia et le nord de la plage du Centre (Figure 3a),
 - Nombre de photos acquises : 1351 photos,
 - Nombre de cibles au sol : 48,
 - Coefficient de marée : 79 / Vent < 5kt / Hs : 1.2m / Tpic : 14s,
- Levé du 22 Décembre 2017 :
 - Zone de suivi : zone d'éboulement (Figure 3b),
 - Nombre de photos acquises : 334 photos,
 - Nombre de cibles au sol : 12,
 - Coefficient de marée : 71 / Vent < 5kt / Hs : 1.4m / Tpic : 13s,

- Levé du 04 Décembre 2018 :
 - Zone de suivi : entre le Nord de la plage d'Erretegia et le nord de la plage du Centre (Figure 3c),
 - Nombre de photos acquises : 2079 photos,
 - Nombre de cibles au sol : 46,
 - Coefficient de marée : 77 / Vent < 10kt / Hs : 2m / Tpic : 9s.

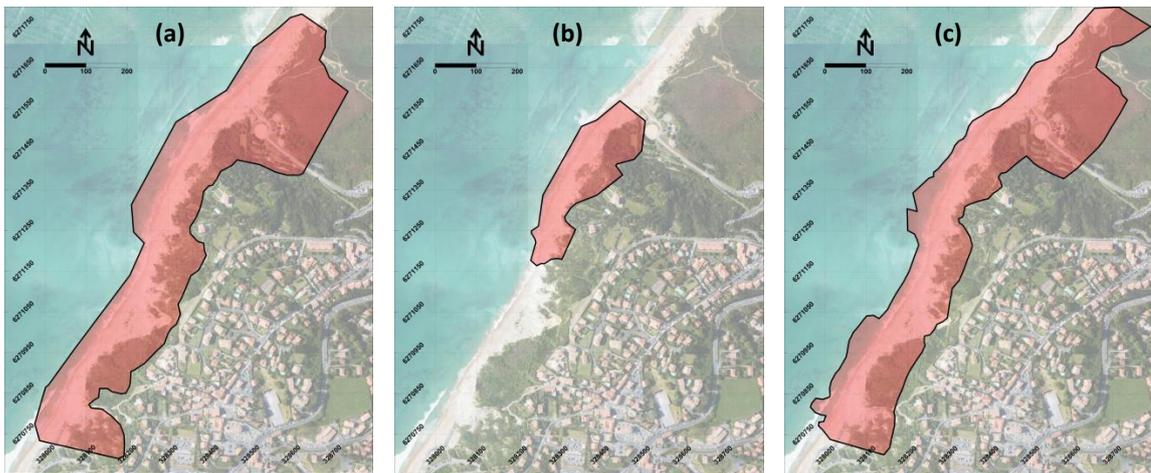


Figure 3. Emprises des levés photogrammétriques du (a) 11 Novembre 2017, (b) 22 Décembre 2017, 04 Décembre 2018 (c).

2.1.4. Résultats

Pour chacun des deux levés, les données suivantes ont été extraites et nettoyées :

- Un nuage de points colorisé dense au format XYZ-RGB-HSV (1pt/5cm),
- Une orthophotographie à 3cm/pixel.

Les nuages de points ont été utilisés pour générer des modèles numériques de terrain (MNT) afin d'appréhender les évolutions de la zone de couverture.

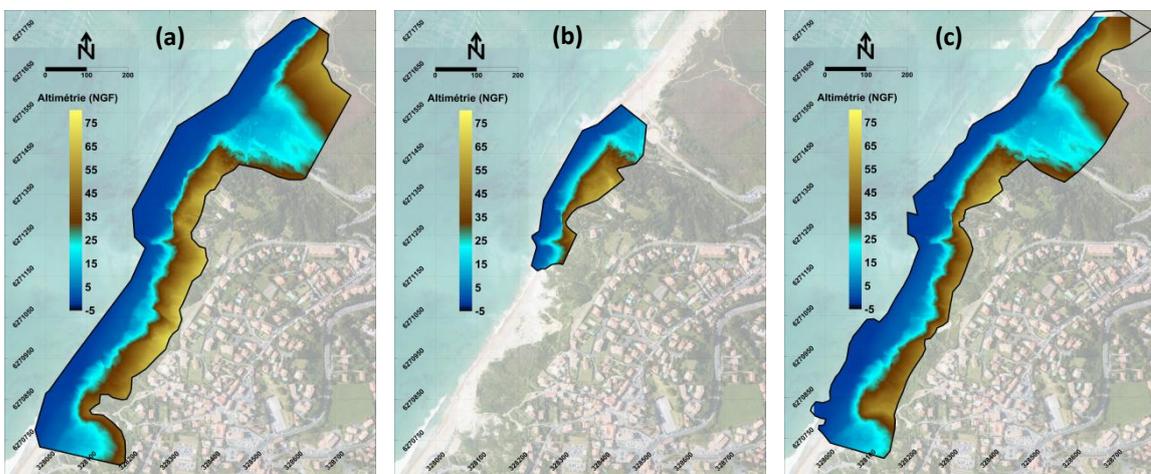


Figure 4. Modèles numériques de terrain pour les levés du (a) 11 Novembre 2017, (b) 22 Décembre 2017, 04 Décembre 2018 (c).

2.1.4.1. Eboulements de falaise

La carte des différences altimétriques obtenue à partir de la comparaison des levés de Novembre 2017 et Décembre 2018 est présentée en Figure 5.

La carte montre que sur la majorité du domaine couvert par le levé photogrammétrique, les différences altimétriques sont comprises entre 0 et ± 1 m.

Néanmoins, les différences altimétriques font apparaître deux zones d'éboulements significatifs situés au Sud de la plage d'Erretegia (éboulement 1) et au niveau de la plage de Madeleine (éboulement 2).

Dans ces zones des différences de plus de 10 m ont été enregistrées entre le levé de Novembre 2017 et Décembre 2018.

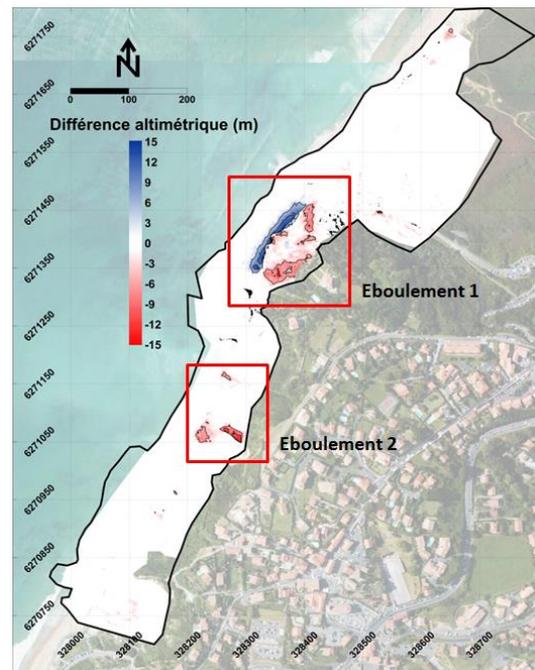


Figure 5. Carte des différences altimétriques 2017-2018.

La zone de l'éboulement 1 a fait l'objet d'un levé spécifique en date du 22 Décembre 2017 afin de mesurer précisément les volumes de remblais/déblais consécutif à l'éboulement. Les deux nuages de points ont été comparés pour estimer le volume de l'éboulement (Figure 6). Les résultats donnent des volumes de 28 000 m³ de déblais au niveau de la falaise, pour 34 500 m³ de remblais au niveau du haut de plage.



Figure 6. Mesure du volume de l'éboulement 1 à partir des deux levés photogrammétriques par drone : orthophoto de Novembre 2017 (a) et Décembre 2017 (b), et carte des différences altimétriques (c).

Les investigations réalisées au niveau de la zone d'éboulement 2 ont été réalisées à partir des levés photogrammétriques de Novembre 2017 et Décembre 2018. La Figure 7 présente les orthophotographies issues des levés drone, et l'analyse comparative des altimétries des deux levés. Deux zones de déblais sont observées : une première au Nord pour un volume de déblais de l'ordre de 1550 m³ et une seconde au Sud pour un volume de déblais de l'ordre de 10 600 m³. Les orthophotographies font apparaître les pans de falaise qui se sont effondrés et ne montrent aucune trace de cumul au niveau du haut de plage.



Figure 7. Mesure du volume de l'éboulement 2 à partir des deux levés photogrammétriques par drone : orthophoto de Novembre 2017 (a) et Décembre 2018 (b), et carte des différences altimétriques (c).

2.1.4.2. Glissement de terrain

Les levés photogrammétriques permettent en partie de suivre un glissement de terrain en extrémité Sud de la zone de suivi, au droit de la plage du centre de Bidart.

Les orthophotos permettent de constater le glissement de la pente végétalisée, du muret, de la promenade maçonnée et des enrochements de haut de plage (Figure 8 a et b).

L'analyse des différences altimétriques met en évidence un volume de remblais de l'ordre de 1650 m^3 et un volume de déblais de l'ordre de 2000 m^3 . Les enrochements et la partie maçonnée ont reculé d'environ 10 m vers le large.

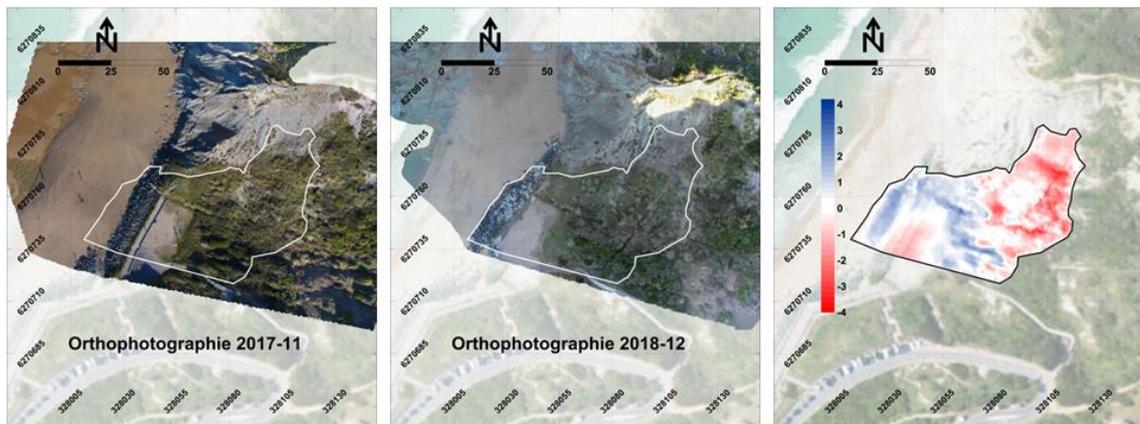


Figure 8. Mesure du volume du glissement de terrain à partir des deux levés photogrammétriques par drone : orthophoto de Novembre 2017 (a) et Décembre 2018 (b), et carte des différences altimétriques (c).

2.2. LEVES TOPO-BATHYMETRIQUES

2.2.1. Contexte et objet du levé

Dans le cadre du projet MAREA, CASAGEC réalise un suivi topo-bathymétrique des plages d'Erretega à la plage de l'Uhabia et de la zone côtière jusqu'à des fonds de l'ordre de -20m. L'objectif de ce suivi est de mettre à disposition des mesures précises de l'évolution de la zone côtière et ainsi de constituer une base de données permettant de mieux appréhender les problématiques liées aux évolutions morpho-sédimentaires.

Le choix du vecteur de levé topographique retenu est le quad équipé d'un système de géo-référencement centimétrique. Le choix du vecteur de levé bathymétrique retenu est une navette hydrographique équipée d'un sondeur mono-faisceau et d'un système de géo-référencement centimétrique.

2.2.2. Description du levé

2.2.2.1. *Moyen nautique*

CASAGEC INGENIERIE a affrété sa vedette hydrographique TURBULENCES (Figure 9) mouillée au port de plaisance du Brise-Lames à Anglet.

Ce support nautique de surface bénéficie d'une capacité d'emport adéquate, adaptée à l'armement complet des différents systèmes électroniques d'acquisition et de mesure.

Il est totalement autonome en source d'énergie. En outre, il est armé conformément à la réglementation (présence du lot de bord, matériel de communication, etc...).



Figure 9. Vedette hydrographique TURBULENCES

2.2.2.2. *Moyen terrestre*

Le support terrestre utilisé pour réaliser la topographie de l'estran est un quad de type Polaris Sportsman 570.

Le véhicule est équipé d'un support Inox pour recevoir le système de positionnement.



Figure 10. Quad Polaris Sportsman 570

2.2.2.3. *Système de positionnement*

Le positionnement centimétrique a été obtenu à partir du système Orphéon. C'est un système d'augmentation de précision GNSS permettant aux utilisateurs de se positionner dans la référence nationale (RGF93 pour le système géodésique et IGN69 pour le système altimétrique) avec une précision centimétrique en temps réel, en utilisant un seul capteur GNSS. La précision du positionnement avec Orphéon est centimétrique, comprise entre 1 et 2 centimètres en planimétrie et comprise entre 2 et 3 cm en altimétrie.

2.2.2.4. Sondeur bathymétrique

CASAGEC INGENIERIE utilise un sondeur monofaisceau scientifique de grande précision de type KNUDSEN 1612. Ce sondeur fonctionne simultanément à 33 kHz et 210 kHz permettant la mesure instantanée de la profondeur à ces deux fréquences. La couche de surface est mesurée à partir de l'onde de haute fréquence, alors que l'onde de basse fréquence pénètre dans le substrat. Dans le cadre de cette étude seule l'onde haute fréquence sera utilisée.

Les variations de température et de salinité influent fortement sur la vitesse et le trajet de la propagation des ondes acoustiques en milieu sous-marin. La connaissance de la célérité en fonction de la profondeur en différents points de la zone à cartographier est importante afin de ne pas dégrader la qualité et la précision des mesures. Les variations de ces vitesses dans la colonne d'eau sont mesurées à l'aide d'une sonde multi-paramètre de type YSI-EXO2.

La récurrence des impulsions du sondeur utilisé, et donc des mesures, est de 0,1 seconde. La distance entre deux mesures consécutives le long d'un profil (ou radiale) de mesure est donc très faible. La vitesse du navire est ajustée à la densité de points souhaitée le long du profil.

L'utilisation d'un GPS RTK solidaire du navire et dont les offsets des appareils de mesure sont totalement maîtrisés conduit à un positionnement des sondes avec une précision de :

- $\sim \pm 2$ cm en X, Y,
- $\sim \pm 5$ cm en Z.

2.2.3. Protocole

Quatre levés ont été effectués dans le cadre de cette étude :

- Levé du 11 Octobre 2017 / Coefficient de marée : 73 / Vent < 5kt / Hs < 1m / Tpic : 15s
- Levé du 02 Mars 2018 / Coefficient de marée : 106 / Vent : 12kt / Hs < 1m / Tpic : 10s
- Levé du 05 Octobre 2018 / Coefficient de marée : 70 / Vent < 5kt / Hs < 1m / Tpic : 10s
- Levé du 28 Mars 2019 / Coefficient de marée : 40 / Vent 7 kt / Hs < 1m / Tpic : 10s

L'emprise du levé est identique pour chacun des levés topo-bathymétriques et est présentée en Figure 11. La zone représente une distance long-shore d'environ 2,3 km entre le Sud de la plage de l'Uhabia, et le Nord de la plage d'Erretegia, et couvre le haut de plage jusqu'aux profondeurs avoisinant les -20m. Les profils de mesure sont espacés de 50 m pour la topographie et de 100m pour la bathymétrie.

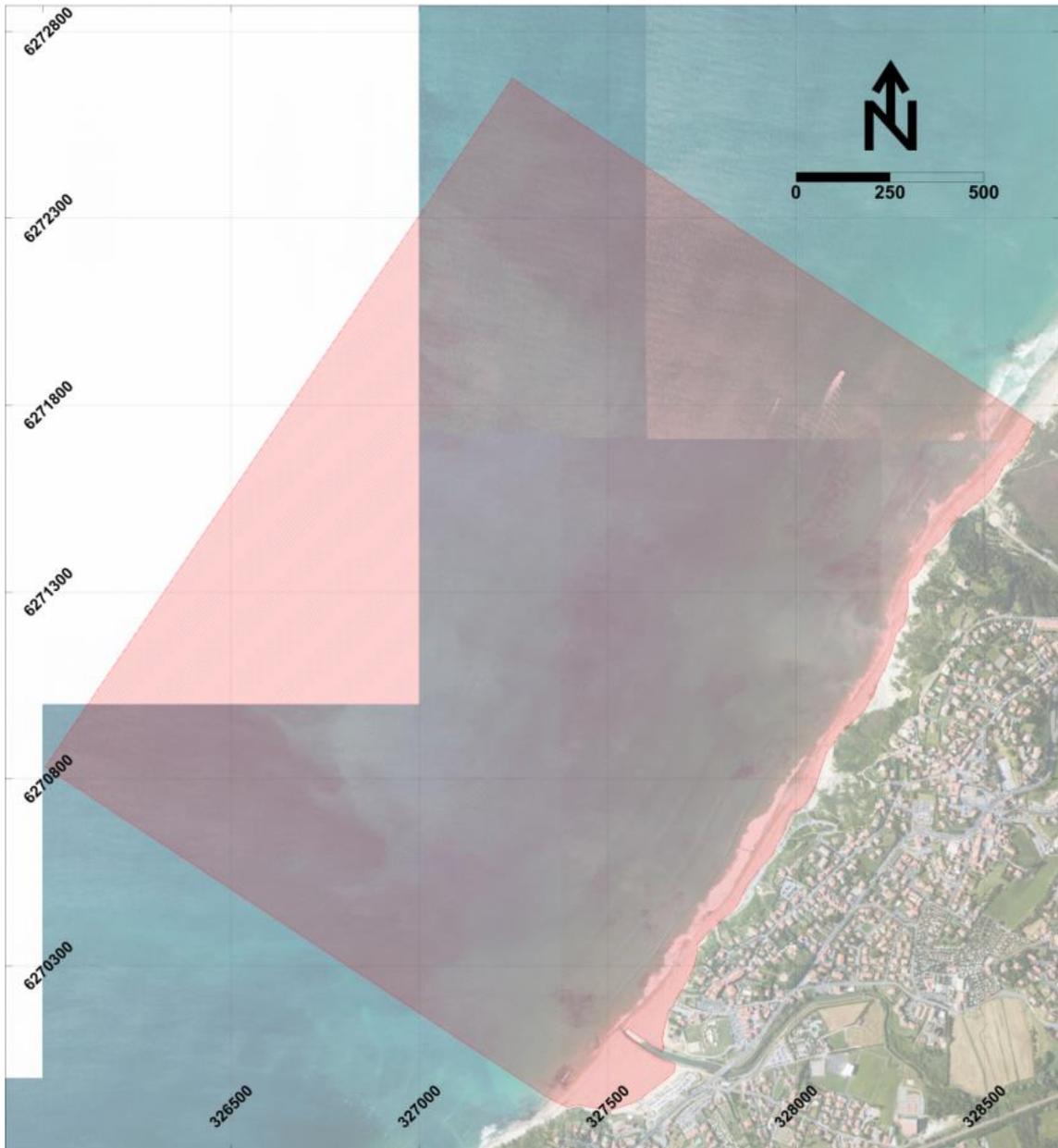


Figure 11. Emprise des levés topo-bathymétriques

2.2.4. Résultats

Pour les quatre levés, un nuage de points au format XYZ a été extrait et nettoyé. Les cartes topo-bathymétriques des quatre levés sont présentées en Figure 12.

Une analyse des taux d'évolution a été réalisée selon un découpage de 9 zones à partir des différences altimétriques mesurées au cours de l'hiver 2017-2018, l'été 2018 et l'hiver 2018-2019 (Figure 13) :

- Les zones 1 à 5 représentent des zones de faible superficie (environ 60 000 m²) localisées en zone côtière,
- Les zones 6 à 8 (300 à 400 000 m²) sont localisées dans une zone intermédiaire comprise entre la zone côtière et des profondeurs avoisinant 10 m NGF,
- La zone 9 de 1 400 000 m² représente la zone au large.

L'objectif de cette analyse étant de mesurer les épaisseurs et le stock sédimentaire, la partie Nord du domaine n'a pas été intégrée au regard du domaine couvert par le levé géophysique au sondeur à sédiment (Section 2.3.4.2.).

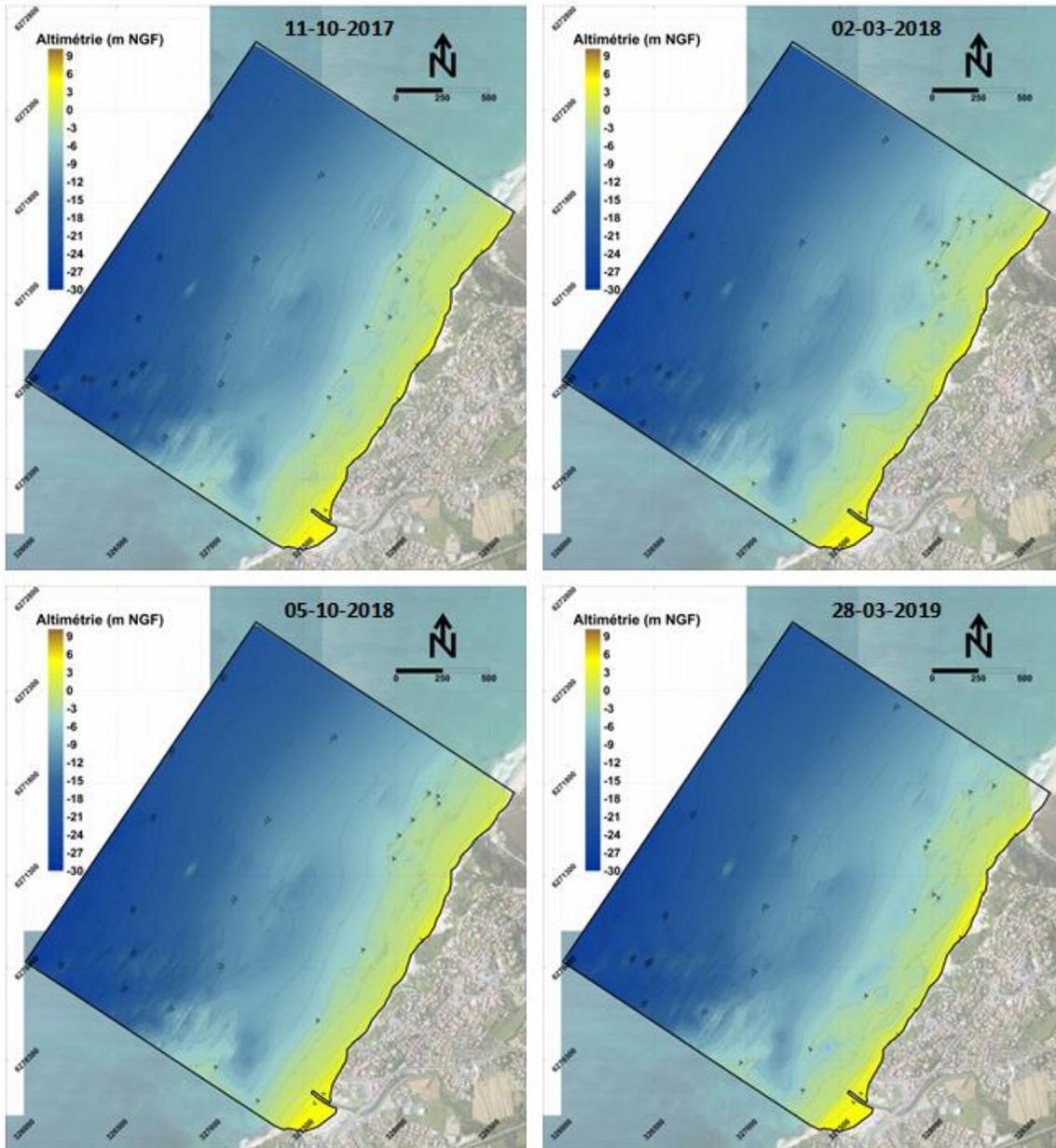


Figure 12 Cartes topo-bathymétriques des levés (a) du mois d'Octobre 2017, (b) de Mars 2018, (c) d'Octobre 2018 et (d) de mars 2019.

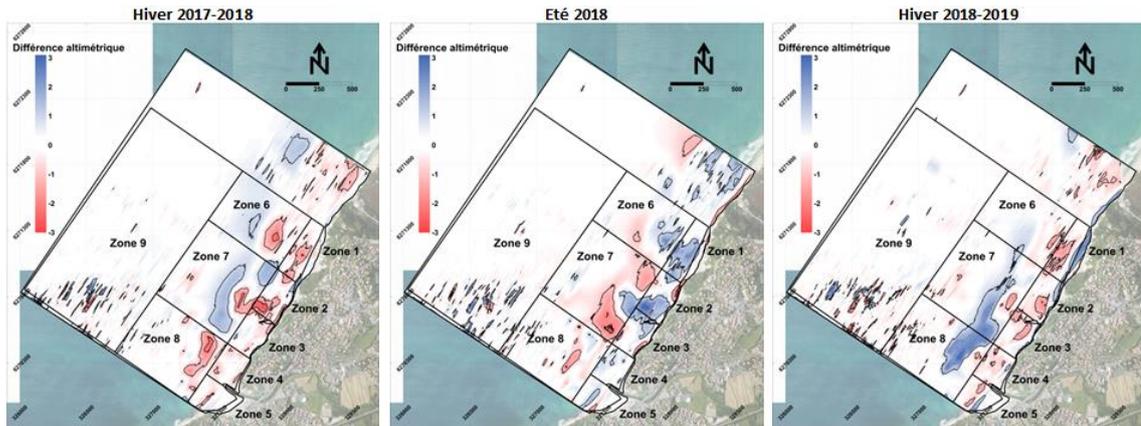


Figure 13. Carte des différences altimétriques pour l'hiver 2017-2018, l'été 2018 et l'hiver 2018-2019.

Les résultats volumétriques obtenus ont été divisé par la surface de chaque zone pour obtenir les taux d'érosion et d'accrétion ainsi que le taux bilan (Figure 14) :

- Lors des périodes hivernales 2017-2018 et 2018-2019, une érosion de la zone côtière est observée ($-0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2$). Au même moment une légère accrétion est observée en zone intermédiaire ($+0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2$) ; l'érosion en zone côtière est plus prononcée dans la zone Nord,
- Lors de la période « estivale » 2018, le fonctionnement s'inverse avec une accrétion en zone côtière ($+0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2$) pour une érosion en zone intermédiaire ; les taux d'accrétion sont graduellement plus importants du Sud vers le Nord,
- Les taux d'évolution au niveau de la zone 9 correspondant au large sont de manière générale faibles.

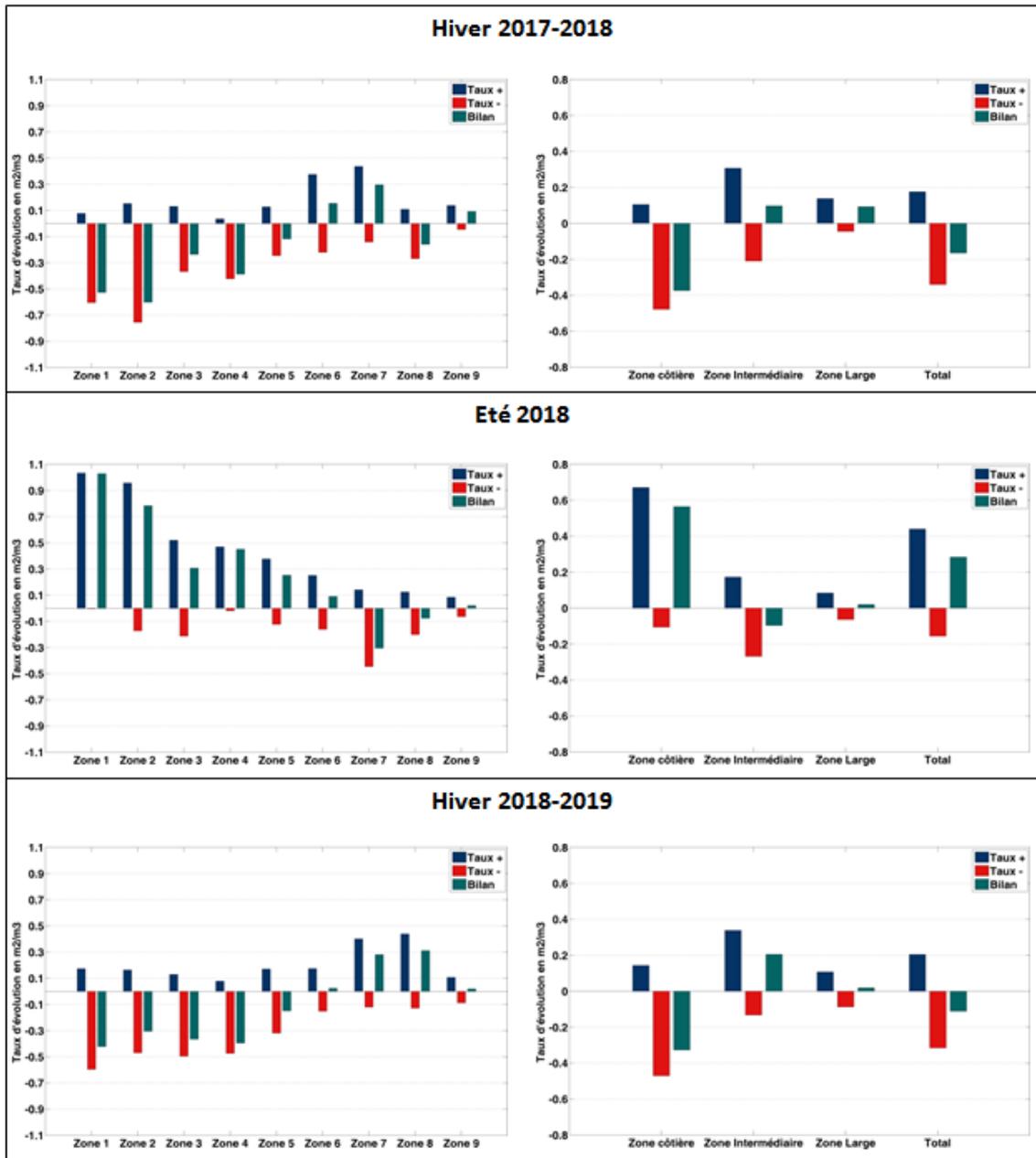


Figure 14. Taux d'évolution (accrétion en bleu, érosion en rouge, bilan en vert) pour l'hiver 2017-2018, l'été 2018 et l'hiver 2018-2019.

2.3. LEVES GEOPHYSIQUES

2.3.1. Contexte et objet de la mission

Dans le cadre du projet MAREA, CASAGEC réalise un levé géophysique de la zone côtière comprise entre la plage d'Erretega et la plage de l'Uhabia et jusqu'à des fonds de l'ordre de -20m. L'objectif de ce suivi est de mettre à disposition des mesures géophysiques de la zone côtière (faciès sédimentaire, granulométrie, position du substrat rocheux).

Les données de faciès ont été obtenues à partir d'un sonar à balayage latéral, les données de position du substrat rocheux ont été obtenues à partir d'un sondeur à sédiment, et plusieurs prélèvements de sable ont été réalisés à partir d'une benne preneuse.

2.3.2. Description du levé

2.3.2.1. Sondeur à balayage latéral

Dans le cadre de cette étude un sonar à balayage latéral Trittech Starfish 452F a été utilisé pour constituer des images acoustiques détaillées de la réflectivité des fonds marins.



Figure 15. Trittech Starfish 452F.

Outre la localisation rapide d'objets sur le fonds (épaves, ancras, pipelines...), cette technologie permet également de déterminer et de localiser des ensembles géologiques tels que des structures morpho-sédimentaires (roches, sables, granulats) mais également des ensembles biologiques tels que des habitats marins (herbiers, galets...).

2.3.2.2. Sondeur à sédiment

Le sondeur à sédiment permet d'obtenir simultanément une information précise du fond bathymétrique (onde « haute fréquence » émise à 200 kHz) et des couches de sédiments sous-jacentes (onde « basse fréquence » émise entre 3,5 et 15 kHz). Dans le cadre de cette étude un sondeur de type Knudsen Pinger a été déployé.



Figure 16. Knudsen PINGER SBP.

Les impulsions sonores émises par le sondeur à sédiment sont transmises vers le fond puis propagées à travers les couches sédimentaires. Ces impulsions sont ensuite reflétées par les différentes couches et objets. L'intensité du signal reçu dépendra du coefficient de réflexion, du coefficient d'atténuation et de la rugosité des couches limites.

2.3.3. Protocole

2.3.3.1. Sondeur à balayage latéral

La campagne a été déployée entre le 3 et le 4 Juillet 2017 (Coefficient de marée : 45 / Vent < 5kt / Hs < 1m / Tpic : 10s). La campagne a consisté à réaliser des passages parallèles à la côte de manière à couvrir la zone présentée en Figure 17 .

Parallèlement une campagne de 24 prélèvements sédimentaires a été entreprise le 4 Juillet 2017. Les sédiments ont été prélevés à partir d'une benne preneuse de type Van-Veen. Des analyses granulométriques ont permis de caractériser les fonds au niveau des points de prélèvement et ont été confrontées aux données du sondeur à sédiment pour établir une carte de faciès.

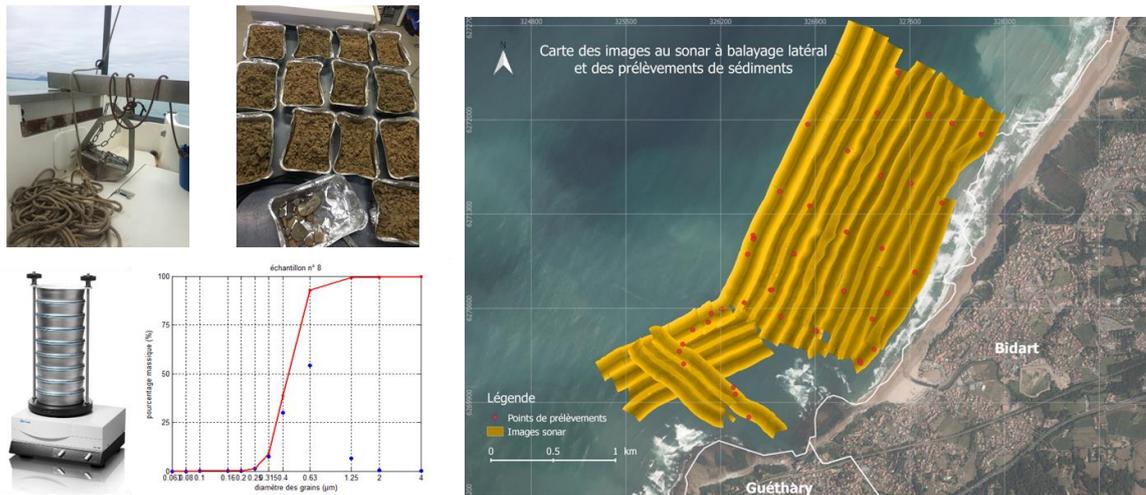


Figure 17. Couverture de la zone de levé au sonar à balayage latéral et localisation des points de prélèvement sédimentaires.

2.3.3.2. Sondeur à sédiment

Le sondeur a été déployé le 11 Juillet 2018 (Coefficient de marée : 82 / Vent < 5kt / Hs < 1m / Tpic : 12s). Le levé a consisté à réaliser des mesures le long de profils perpendiculaires à la plage espacés d'environ 100m, et sur la zone commune à la zone de levé bathymétrique (Figure 18). De plus, deux profils parallèles à la plage ont été réalisés pour recouplement des données.

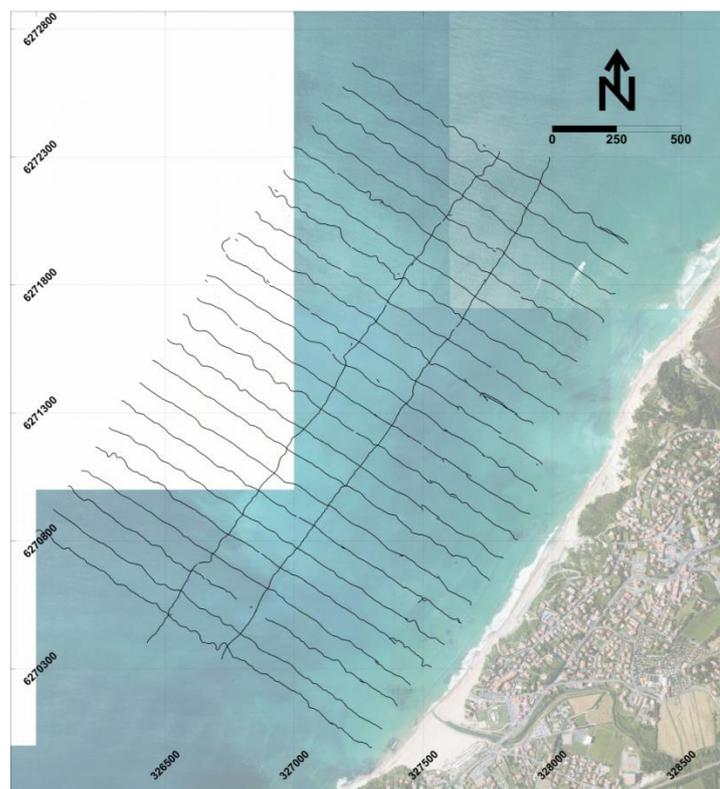


Figure 18. Emprise du levé réalisé au sondeur à sédiment le 11 Juillet 2018.

2.3.4. Résultats

2.3.4.1. Faciès sédimentaire

Dans le cadre du levé au sonar à balayage latéral, les résultats suivants ont été produits :

- Une carte des faciès de la zone d'étude,
- Des couches SHAPE des différents faciès sédimentaires,
- Des données au format EXCEL des résultats de granulométrie.

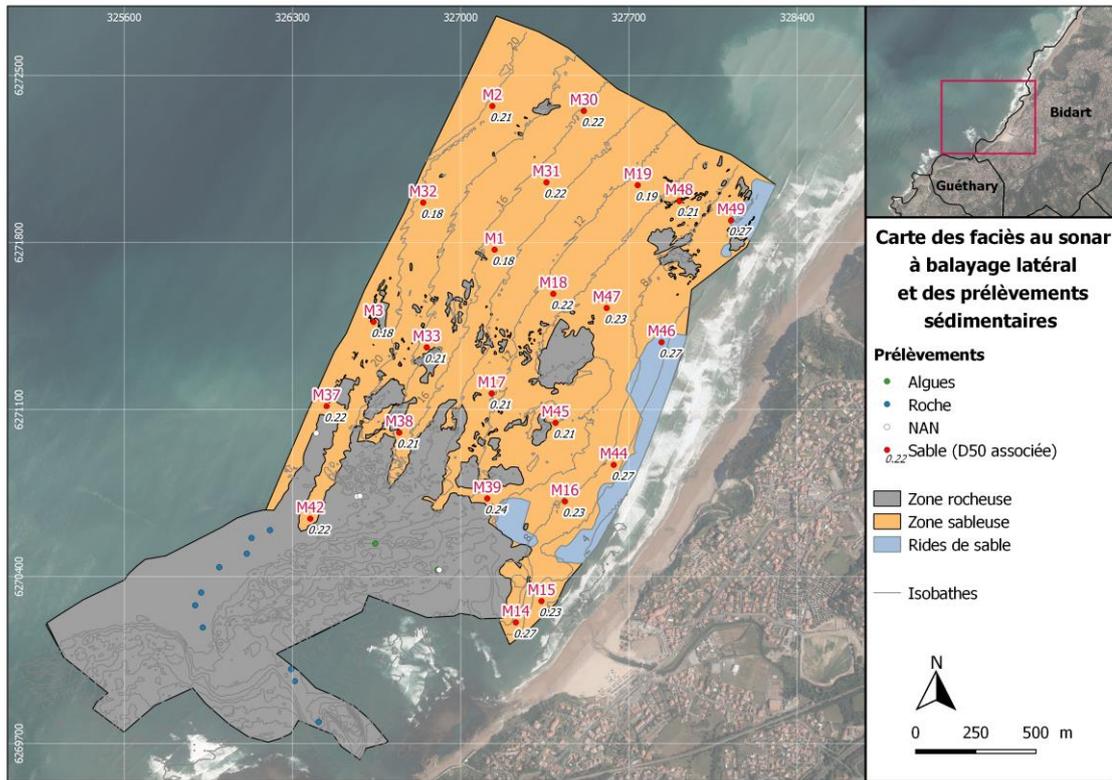


Figure 19. Carte des faciès sédimentaires.

Tamis	Fines		Sables très fins			Sables fins		Sables moyens		Sables grossiers		Granules	Cailloux
	< 0.063 mm	0.063 mm	0.08 mm	0.1 mm	0.16 mm	0.2 mm	0.25 mm	0.315 mm	0.4 mm	0.63 mm	1.25 mm	2 mm	> 4 mm
m1	0,25	0,55	1,54	22,94	45,28	23,63	2,30	1,55	1,79	0,13	0,02	0,01	0,01
m2	0,30	0,43	0,61	7,38	21,61	66,56	2,35	0,32	0,17	0,11	0,07	0,05	0,04
m3	0,54	0,80	1,45	27,14	36,58	30,48	1,20	0,43	0,49	0,46	0,25	0,13	0,06
m14	0,01	0,01	0,02	1,80	10,38	24,91	33,76	17,23	10,58	1,11	0,13	0,04	0,02
m15	0,04	0,01	0,03	3,44	18,61	51,75	20,30	4,08	1,43	0,19	0,04	0,03	0,06
m16	0,03	0,01	0,05	3,48	15,52	45,82	27,08	5,55	2,01	0,29	0,07	0,05	0,02
m17	0,19	0,35	0,75	13,39	26,84	38,07	10,60	4,03	3,12	1,85	0,52	0,22	0,08
m18	0,07	0,07	0,22	5,47	17,24	54,43	15,28	4,41	2,34	0,39	0,06	0,01	0,01
m19	0,16	0,24	0,69	21,11	38,44	35,29	2,82	0,66	0,37	0,16	0,04	0,01	0,00
m30	0,03	0,07	0,52	4,74	23,34	64,14	6,44	0,31	0,15	0,10	0,06	0,04	0,04
m31	0,20	0,25	0,46	6,70	20,15	66,92	4,48	0,53	0,22	0,07	0,02	0,00	0,01
m32	0,46	0,81	2,37	22,27	44,89	27,22	1,15	0,30	0,20	0,15	0,08	0,06	0,04
m33	0,08	0,17	0,36	5,67	23,37	65,29	4,26	0,34	0,21	0,11	0,08	0,06	0,00
m37	0,15	0,24	0,46	7,18	16,98	66,97	6,77	0,65	0,31	0,11	0,04	0,04	0,09
m38	0,16	0,19	0,36	7,34	25,65	62,88	2,51	0,45	0,22	0,09	0,06	0,05	0,04
m39	0,06	0,08	0,22	4,53	12,46	38,88	36,24	5,06	2,14	0,30	0,01	0,00	0,01
m42	0,22	0,47	0,72	10,17	19,61	42,82	11,43	5,40	6,07	2,74	0,26	0,08	0,01
m43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
m44	0,00	0,00	0,01	1,03	6,47	31,77	37,05	17,71	4,82	0,99	0,12	0,03	0,01
m45	0,05	0,05	0,11	6,97	28,19	53,56	8,94	1,52	0,52	0,06	0,01	0,00	0,01
m46	0,03	0,04	0,05	1,16	5,75	30,37	46,80	12,16	3,02	0,50	0,07	0,05	0,00
m47	0,03	0,06	0,14	3,65	17,29	54,28	22,17	1,46	0,62	0,18	0,06	0,05	0,01
m48	0,02	0,05	0,21	4,92	27,25	62,32	3,74	0,80	0,51	0,14	0,02	0,00	0,01
m49	0,06	0,07	0,14	0,52	4,12	20,66	61,14	11,37	1,35	0,37	0,07	0,07	0,06

Figure 20. Exemple de résultats issus des analyses granulométriques.

2.3.4.2. Epaisseur sédimentaire

Dans le but de détecter le plus précisément possible la position du fond rocheux de la zone d'étude, le signal de l'onde basse fréquence est traité indépendamment du signal de haute fréquence. En raison de la densité relativement forte de la couche de surface, la fréquence de l'onde basse a été établie entre 4 et 6 kHz permettant ainsi d'obtenir une information la plus nette possible de la position du fond rocheux tout en optimisant le ratio intensité/bruit (Figure 21). Néanmoins la forte densité de la couche de surface ne permet pas de détecter la position du substrat de manière automatisée. Le toit rocheux a ainsi été détecté manuellement.

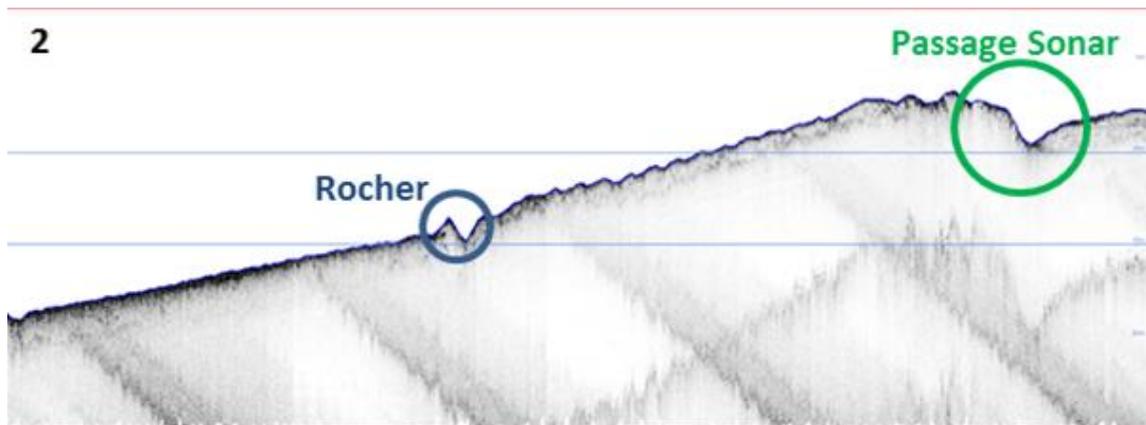
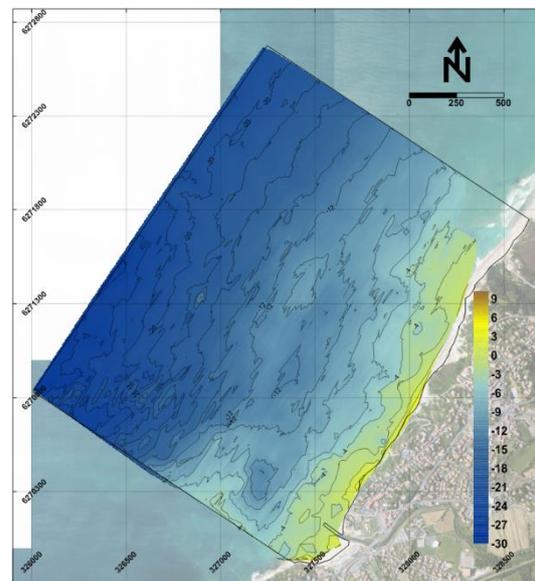


Figure 21. Exemples d'échogrammes issus du sondeur à sédiment en cours de traitement.

Une carte de la position du toit rocheux a été réalisée en combinant les données suivantes :

- La position du toit rocheux définie à partir du sondeur à sédiment pour la partie immergée ;
- Les sondages réalisés au niveau des plages ;
- La définition des platiers rocheux découverts à partir des orthophotographies et définition des altitudes à partir des LIDAR correspondants.



Ces données sont ensuite utilisées pour évaluer le stock sédimentaire présent dans chacune des zones définies en Section 2.2.4. Les cartes d'épaisseur sédimentaire ainsi que les graphiques des épaisseurs moyennes par zones sont respectivement présentés en Figure 22 et en Figure 23.

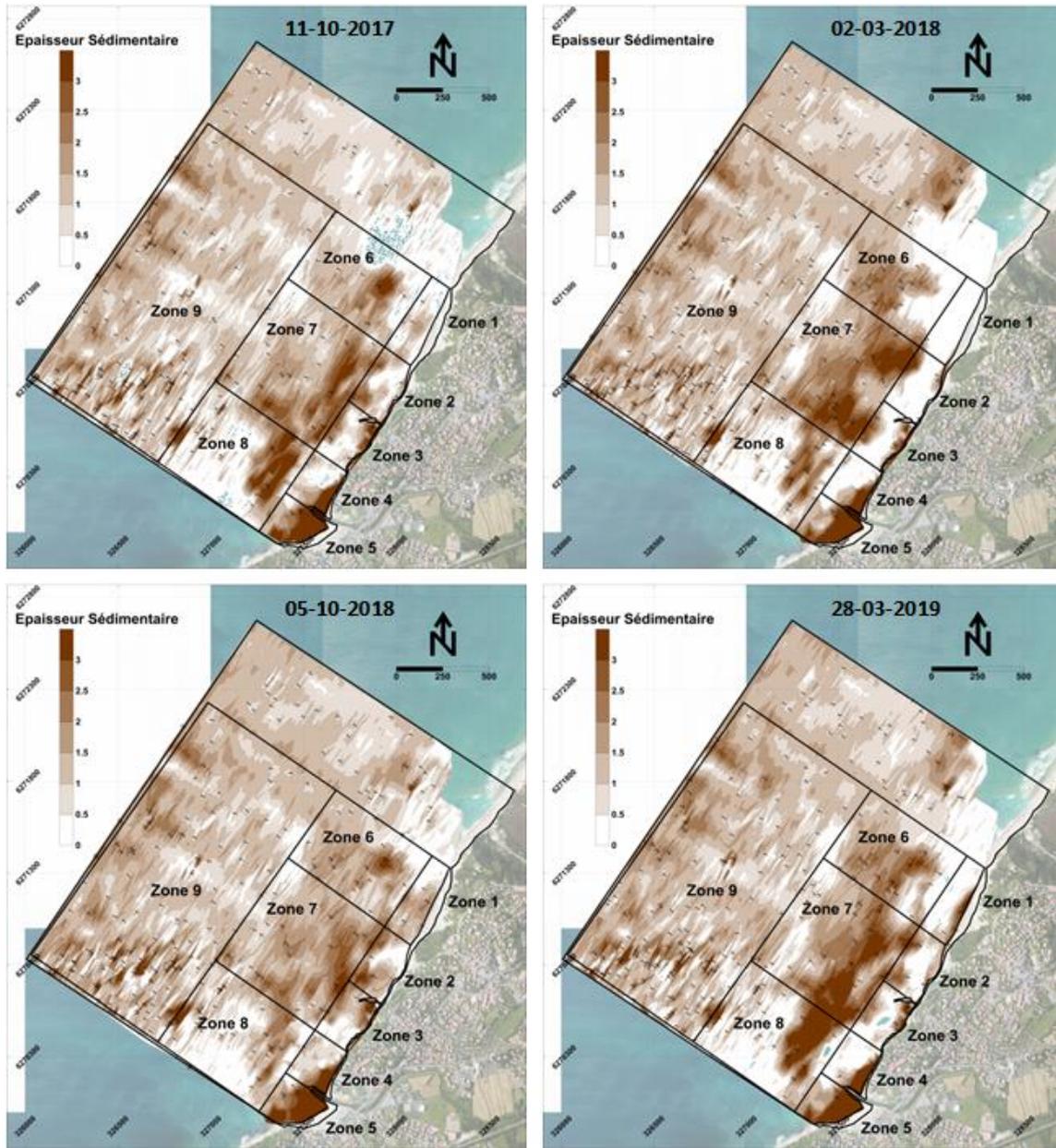


Figure 22. Carte des épaisseurs sédimentaires au mois d'octobre 2017, Mars 2018, Octobre 2018 et Mars 2019.

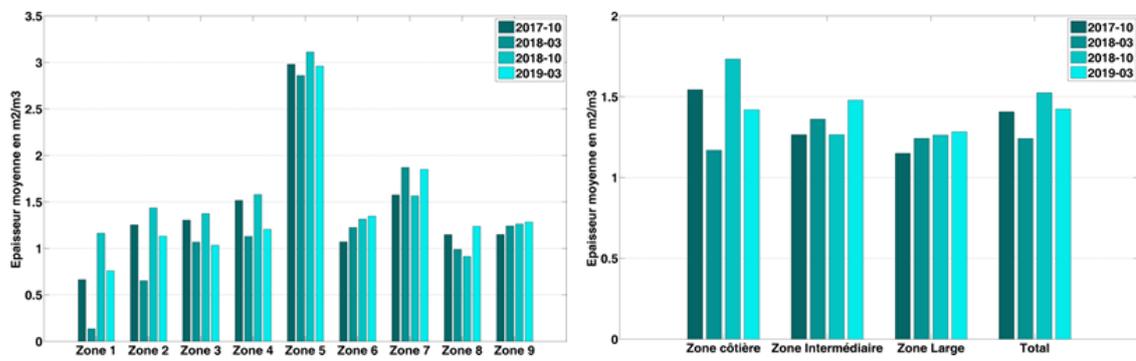


Figure 23. Epaisseur moyenne des sédiments par zone.

Sur la base des graphiques précédents il est possible de réaliser les commentaires suivants :

- Les épaisseurs moyennes de sédiments varient plus fortement en zone côtière qu'en zone intermédiaire et large,
- Les épaisseurs de sable les plus significatives sont enregistrées au Sud de la zone côtière au niveau de l'Uhabia,
- La zone où l'épaisseur de sable est la plus fluctuante se trouve au Nord de la zone côtière qui semble être fortement découverte suite à l'hiver 2017-2018,
- En zone côtière le stock est au plus fort en fin de période « estivale » et au plus faible en fin de période « hivernale »,
- En zone intermédiaire la configuration inverse est observée,
- En zone côtière les épaisseurs moyennes de sable varient entre 0,1 et 3,1 m,
- En zone intermédiaire les épaisseurs moyennes de sable varient entre 0,9 et 1,85 m,
- Au large les épaisseurs moyennes varient entre 1,15 et 1,25 m,
- Les épaisseurs ponctuelles de sédiments varient entre 0 et 4 m et cela quelles que soient les zones.

3. SUIVI VIDEO

3.1. DESCRIPTION DU SYSTEME VIDEO

3.1.1. Contexte et objet de la mission

Dans le cadre du projet MAREA, CASAGEC a mis à disposition un système de suivi vidéo des environnements côtiers. Le système permet de réaliser un suivi horaire de la zone d'étude de Bidart. Les objectifs sont multiples : suivi de l'évolution des falaises Sud du domaine, définition d'indicateurs d'état côtier (variation d'ensablement au niveau des épis et des enrochements en haut de plage), analyse diachronique de la position du trait de côte, positionnement des lasses de haute mer en période de tempête, etc.

3.1.2. Présentation du système

Le principe de la vidéo quantification appliquée au suivi des environnements côtiers est basé sur une technique de photogrammétrie qui permet de transformer une « image oblique brute » en une « image métrique plan ». Ce traitement préalable des images, repose sur une relation entre les coordonnées (u,v) de l'image et la position (x,y) correspondante dans le monde réel.

Le système permet, à partir d'images numériques, d'analyser et de quantifier les évolutions de la côte, et ainsi d'augmenter la qualité de la gestion de ces zones fortement dynamiques. Le système est principalement utilisé dans le cadre de diagnostics morfo-sédimentaires, de gestion proactive des interventions de plage, et de diagnostics houle / structure / plage.

Initialement conçu pour satisfaire des besoins principalement à vocation scientifique, le système proposé par CASAGEC INGENIERIE a récemment été refondé intégralement.

L'utilisation de caméras dôme IP articulées permet désormais de combiner une acquisition de données géo-référencées, et des séquences panoramiques affichées en temps réel sur une interface web, plus adaptées aux besoins des utilisateurs de la plage (travelling, zoom sur zone d'intérêt, etc...).



Figure 24 : Caméra dôme IP articulée.

La simplification des protocoles d'installation et de communication avec la station vidéo permettent d'optimiser le déploiement du système tout en favorisant une réponse adaptée aux problématiques locales.

3.1.3. Description du matériel

Le système vidéo est composé des éléments suivants (Figure 25) :

Sur site :

- Une caméra dôme IP rotative haute résolution (1080p). Elle permet d'effectuer un panoramique à 360°, et possède une focale variable à large gamme (3.3-120mm) favorisant la résolution du système en fonction de la distance à observer. La caméra est configurée pour enregistrer des séquences vidéo à la fréquence souhaitée (15 min, 30 min, 1h, etc.), et selon plusieurs vues définies selon les objectifs de l'étude,

- Un boîtier polyester IP66 contenant l'alimentation électrique 220 V et le routeur-modem, utilisé pour transmettre les séquences vidéo acquises et gérer à distance l'ensemble des paramètres de la caméra.

Locaux CASAGEC :

- Un serveur de stockage distant est installé dans les locaux de CASAGEC INGENIERIE. Ce serveur réalise une synchronisation L-FTP avec la caméra de façon automatisée. Ainsi, dès qu'une séquence est acquise par la caméra, le serveur la télécharge automatiquement, la stocke dans une arborescence temporaire, puis supprime la séquence sur la caméra. Si la communication internet est périodiquement défaillante, les données sont stockées sur la caméra, puis rapatriées par le serveur distant dès réapparition du flux internet,
- Une fois les séquences brutes rapatriées, le serveur extrait les informations sous forme d'image instantanée (Snapshot) et d'image moyennée (Timex), et les archive dans une base de données locale. CASAGEC INGENIERIE assure une sauvegarde redondée de l'ensemble des images acquises au cours du projet (Synology Rackstation 24To RAID 6).

Server distant :

Une fois les données extraites et redondées, les images sont envoyées vers plusieurs serveurs distants : le serveur Web qui permet d'afficher les données en temps réel sur le site web de CASAGEC INGENIERIE, et un ou plusieurs serveurs distants mis à disposition par le maître d'œuvre. Ce dernier permettra, via l'installation d'un logiciel, de traiter les images vidéo (photogrammétrie) et de gérer l'ensemble de la base de données images.

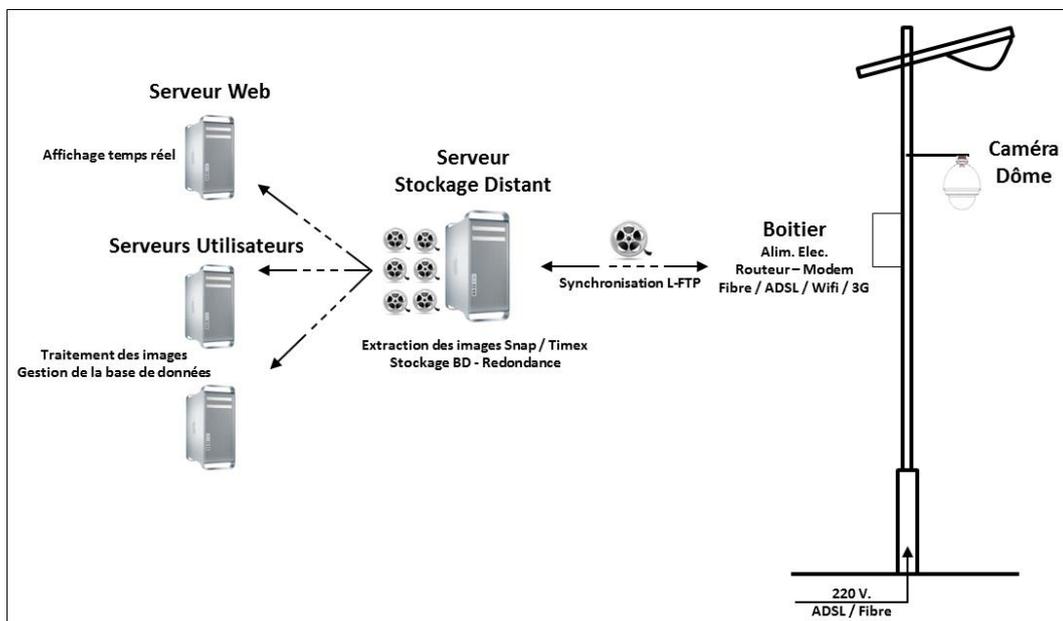


Figure 25 : Schéma de fonctionnement du système vidéo. Le candélabre est présenté à titre d'exemple, l'installation sur un point haut (sommets de bâtiment ou de tour) est préférable.

3.1.4. Installation sur site et calibration

Dans le cadre du suivi vidéo du littoral de Bidart, la station vidéo a été installée sur le bâtiment Socata le 2 Novembre 2017. Le point haut que constitue ce site permet d'observer une zone de 1,7 km au Nord et 300m au Sud du bâtiment Socata à partir de 6 vues à différents niveaux de zoom.



Figure 26. Champs de vision du système vidéo utilisé pour réaliser le suivi des plages de Bidart.

La technique de photogrammétrie permet de transformer une « image oblique brute » en une « image métrique plane ». Cette transformation repose sur une relation entre les coordonnées (u,v) de l'image et la position (x,y,z) correspondante dans le monde réel. Il est donc nécessaire d'estimer deux groupes de paramètres :

- Les paramètres intrinsèques : distorsions tangentielle et radiales engendrées par les lentilles optiques. Ces paramètres sont calculés en laboratoire à partir de plusieurs photos d'une cible dont les dimensions sont connues (Figure 27),

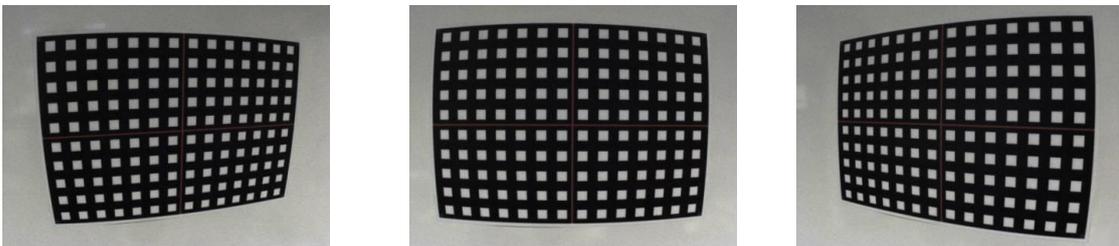


Figure 27 : Exemples de photographies de cible servant au calcul des paramètres intrinsèques.

- Les paramètres extrinsèques : position (coordonnées (x, y, z) monde réel) et angle d'orientation (azimut, inclinaison et roulis). Ces paramètres sont calculés à partir d'au moins quatre points d'amer relevés au DGPS centimétrique, et facilement identifiables sur les images du site étudié (Figure 28).



Figure 28: Mesures des points d'amer au DGPS centimétrique permettant le calcul des paramètres extrinsèques.

3.2. TECHNIQUE DE MESURE DU NIVEAU DE SABLE AU PIED DES OUVRAGES

3.2.1. Découpage de la zone d'étude

Dans le but d'évaluer les fluctuations du niveau d'ensablement au droit des ouvrages de protection de Bidart, le site d'étude a été découpé en fonction des types d'ouvrages et de leurs emplacements :

- Ouvrage de type épi (Figure 30) :
 - Epi Sud de l'Uhabia. La zone d'étude se concentre au niveau de la partie Ouest de l'ouvrage. La zone d'enracinement localisée plus à l'Est n'a pas pu être analysée en raison d'un niveau d'ensablement trop important qui recouvre l'intégralité de l'ouvrage. Au final, huit profils ont été retenus dans la zone d'étude à partir de la position 2 de la caméra,
 - Epi de la plage Centrale. La zone d'étude s'étend de l'enracinement jusqu'à la moitié de l'ouvrage. La zone plus à l'Ouest vers le musoir n'a pas pu être couverte en raison d'un niveau d'ensablement trop faible qui engendre un « mouillage » permanent du pied d'ouvrage. Au final, cinq profils ont été retenus dans la zone d'étude à partir de la position 3 de la caméra,



Figure 30. Localisation des profils de suivi au niveau de l'épi Sud de l'Uhabia (a) et de l'épi de la plage du Centre (b).

- Ouvrage de type enrochements de haut de plage :
 - Enrochements de la plage des Embruns. Sept profils d'analyse sont définis à partir de la position 2 de la caméra, entre la terrasse au Sud des Embruns et l'extrémité Nord de la passerelle bois.
 - Enrochement au droit du perré maçonné de la plage du Centre. Cinq profils d'analyse sont définis à partir de la position 3 de la caméra, du Sud au Nord du perré maçonné.



Figure 31. Localisation des profils de suivi au niveau des enrochements des Embruns (a) et des enrochements de la plage du Centre (b).

3.2.2. Méthodologie

La technique d'estimation de la fluctuation du niveau d'ensablement au pied des ouvrages consiste à :

- Phase 1 : Isoler les images de marée basse pour un niveau d'eau inférieur à 1,5 m CM. Les images de meilleure qualité sont retenues afin d'obtenir au minimum une série de 4 images par mois,
- Phase 2 : Correction des mouvements de la caméra. Bien que la caméra soit fixe, les images montrent des variations de position qui peuvent être causées par des vents importants ou la dilatation du pied de la caméra. Même si ces mouvements sont faibles, ils doivent être corrigés particulièrement pour les positions possédant un fort niveau de zoom,
- Phase 3 : Définir les positions des différents profils de suivi situés sur l'ensemble des zones de suivi, et digitaliser le sommet et le pied de l'enrochement pour chaque profil et chaque image retenus afin d'obtenir une hauteur d'ouvrage en pixel,
- Phase 4 : Calibrer les données par une campagne in-situ permettant d'obtenir la relation entre la taille des pixels au niveau des profils et le nivellement réel.

Les phases 2 à 4 font l'objet d'explications plus détaillées dans les paragraphes suivants.

3.2.2.1. Correction des mouvements de la caméra

Pour corriger les mouvements observés de la caméra, un algorithme de stabilisation a été développé à partir d'une technique PFM (Point Feature Matching). L'algorithme permet de réaliser de façon automatisée les étapes suivantes :

- Etape 1 : Récupération de l'image dite de « référence » : cette image correspond à l'image acquise au cours de la calibration extrinsèque (Section 3.1.4),
- Etape 2 : Récupération de la liste des images utilisées pour le traitement de l'information,
- Etape 3 (Figure 32) : Un algorithme détecte automatiquement l'ensemble des angles saillants de l'image de référence, et de l'image à traiter (Detect Fast Feature). Cette opération permet de récupérer un grand nombre de points pour chacune des images.
- Etape 4 (Figure 33) : Les points remarquables communs aux deux images sont isolés et utilisés pour estimer les valeurs de translation et de rotation entre les deux images. Les points communs sont beaucoup moins nombreux que ceux obtenus lors de la phase 3 de l'algorithme, et il faut obtenir un minimum de 4 points de correspondance pour que l'algorithme fonctionne correctement. La translation et la rotation ainsi obtenues sont ensuite appliquées à l'ensemble de l'image à traiter pour alignement.
- L'image ainsi réalignée est finalement sauvegardée sous format PNG et peut ensuite être traitée.

L'algorithme a été testé sur un grand nombre d'images, il montre de bons résultats et est peu coûteux en temps de calcul (moins de 10 secondes par image). Environ 85 % des images traitées ont abouti à un alignement qualitatif des images. Les échecs sont principalement rencontrés lors des jours de vents extrêmes. En effet, l'action du vent peut engendrer un décalage conséquent des images et engendre une diminution de la netteté significative qui ne permet pas à l'algorithme de détecter de façon optimale les points remarquables communs aux deux images.

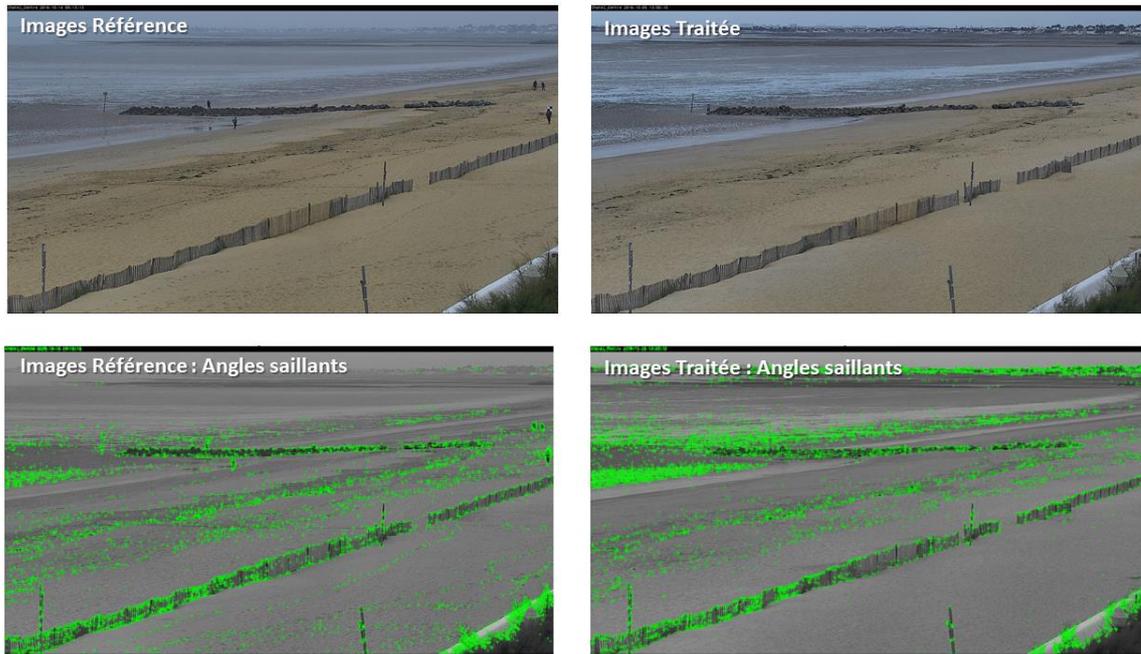


Figure 32. Algorithme de détection automatisée de l'ensemble des angles saillants de l'image de référence et de l'image à traiter.

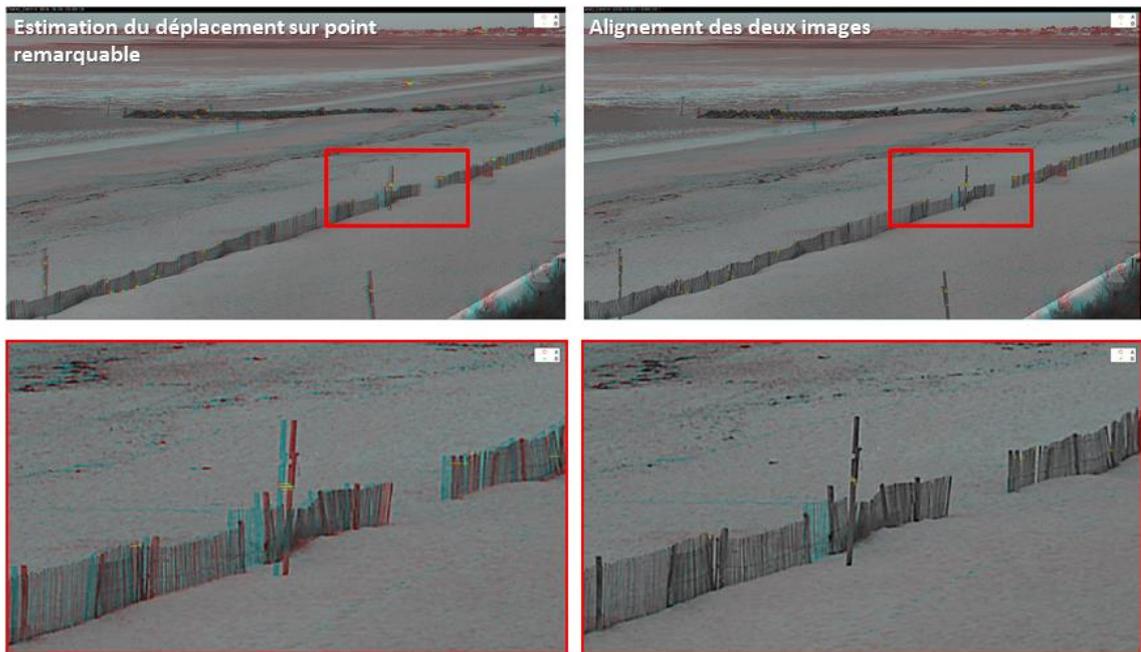


Figure 33. Algorithme permettant d'isoler les points remarquables communs aux deux images, et alignement de l'image à traiter sur l'image de référence.

3.2.2.2. Positionnement des profils de suivi et digitalisation

Les positions des profils présentés précédemment sont définies dans l'algorithme en fonction de la nature de l'ouvrage et de la zone de suivi. Ainsi pour chaque zone étudiée, l'image corrigée des mouvements de la caméra est importée et le profil est positionné pour faciliter la digitalisation.

- Une première étape de l'algorithme consiste à digitaliser l'ensemble des sommets des ouvrages à partir de la première image retenue. Les coordonnées image des sommets (u_{top}, v_{top}) sont ensuite stockées pour traitement ultérieur. Cette phase du traitement n'est réalisée qu'une fois.
- La seconde étape consiste à digitaliser l'interface sable/ouvrage pour chaque image retenue et chaque profil préalablement défini. Les coordonnées image des pieds d'ouvrage (u_{bot}, v_{bot}) sont ensuite stockées pour traitement ultérieur.
- Une dernière étape consiste à calculer l'épaisseur de l'ouvrage résultante en pixel.

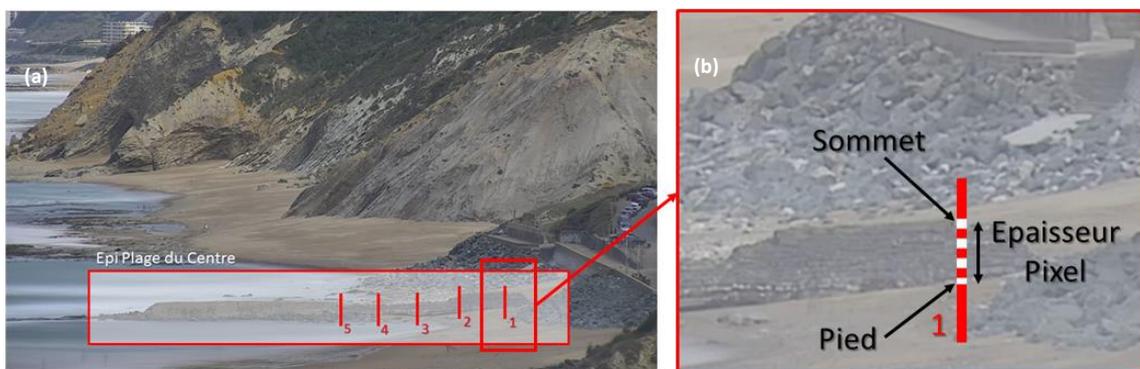


Figure 34. Présentation de la méthode de digitalisation : (a) localisation des profils de suivi et (b) exemple de digitalisation de l'épaisseur d'enrochement.

3.2.2.3. Calibration in-situ

Dans le but d'obtenir la relation entre la taille des pixels au niveau des profils et le nivellement réel, une campagne de mesure in-situ a été déployée au cours du mois de Juillet 2018. La technique a consisté à lever plusieurs points au GPS centimétrique monté d'une cible pour chacun des profils retenus. Simultanément, pour chaque mesure GPS une photo a été acquise depuis la caméra afin de digitaliser la position de la cible (Figure 35).

Ainsi, une analyse de corrélation a pu être réalisée pour chacun des profils en comparant les distances pixel issues de la digitalisation des cibles et les altimétries issues de la mesure GPS.

Les ouvrages de type épi sont situés horizontalement au champ de vision des deux positions de caméra utilisées pour le suivi. Les profils de suivi des épis ont donc pu être regroupés pour établir les relations linéaires. En revanche les ouvrages de type enrochements de haut de plage sont situés sur un axe oblique au champ de vision de la caméra. Les profils de suivi ont donc été regroupés en fonction de l'angle du profil et des zones de suivi.

L'ensemble des résultats issus des corrélations sont synthétisés dans le Tableau 1.



Figure 35. Exemple des résultats de digitalisation de cible GPS au niveau de l'épi de la Centrale (a), et (b) zoom sur la digitalisation d'un point GPS sur le profil 5.

Tableau 1. Synthèse de l'analyse statistique issue des corrélations « nivellement GPS / épaisseur pixel ». (DS : déviation standard, EQM : erreur quadratique moyenne).

	Pr #	Nb Ind	Reg. Lineaire	R ²	BIAIS	DS	EQM
Epi Uhabia	1 à 8	21	$y=0.04x$	0.90	-0.003	0.087	0.007
Epi Centrale	1 à 5	15	$y=0.05x$	0.89	0.024	0.196	0.036
Enrochement Embrun - 1	1	3	$y=0.05x$	0.97	0.002	0.072	0.003
Enrochement Embrun - 2	2 à 4	9	$y=0.06x$	0.98	0.008	0.129	0.015
Enrochement Embrun - 3	5 à 7	9	$y=0.075x$	0.88	-0.021	0.181	0.029
Enrochement Centre - 1	1 à 2	6	$y=0.05x$	0.99	0.004	0.125	0.013
Enrochement Centre - 2	3 à 5	9	$y=0.06x$	0.98	0.021	0.209	0.039

L'emprunte verticale d'un pixel correspond à une hauteur de 4 à 7,5 cm en fonction des profils étudiés. Les corrélations entre les données GPS et les données issues de la digitalisation des images montrent de bons résultats, avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0,9 et des erreurs quadratiques moyennes inférieures à 4 mm. La technique permet donc de mesurer l'altimétrie du niveau de sable au droit des ouvrages avec une précision de l'ordre de 20 cm.

3.3. RESULTATS

Le suivi est réalisé à partir d'environ 4 images par mois entre Novembre 2017 et Février 2019, soit environ 50 images par ouvrage (épi ou enrochement).

3.3.1. Zone Uhabia

Les résultats obtenus au niveau du haut de la plage des Embruns et au niveau de l'épi de l'Uhabia sont présentés en Figure 36.

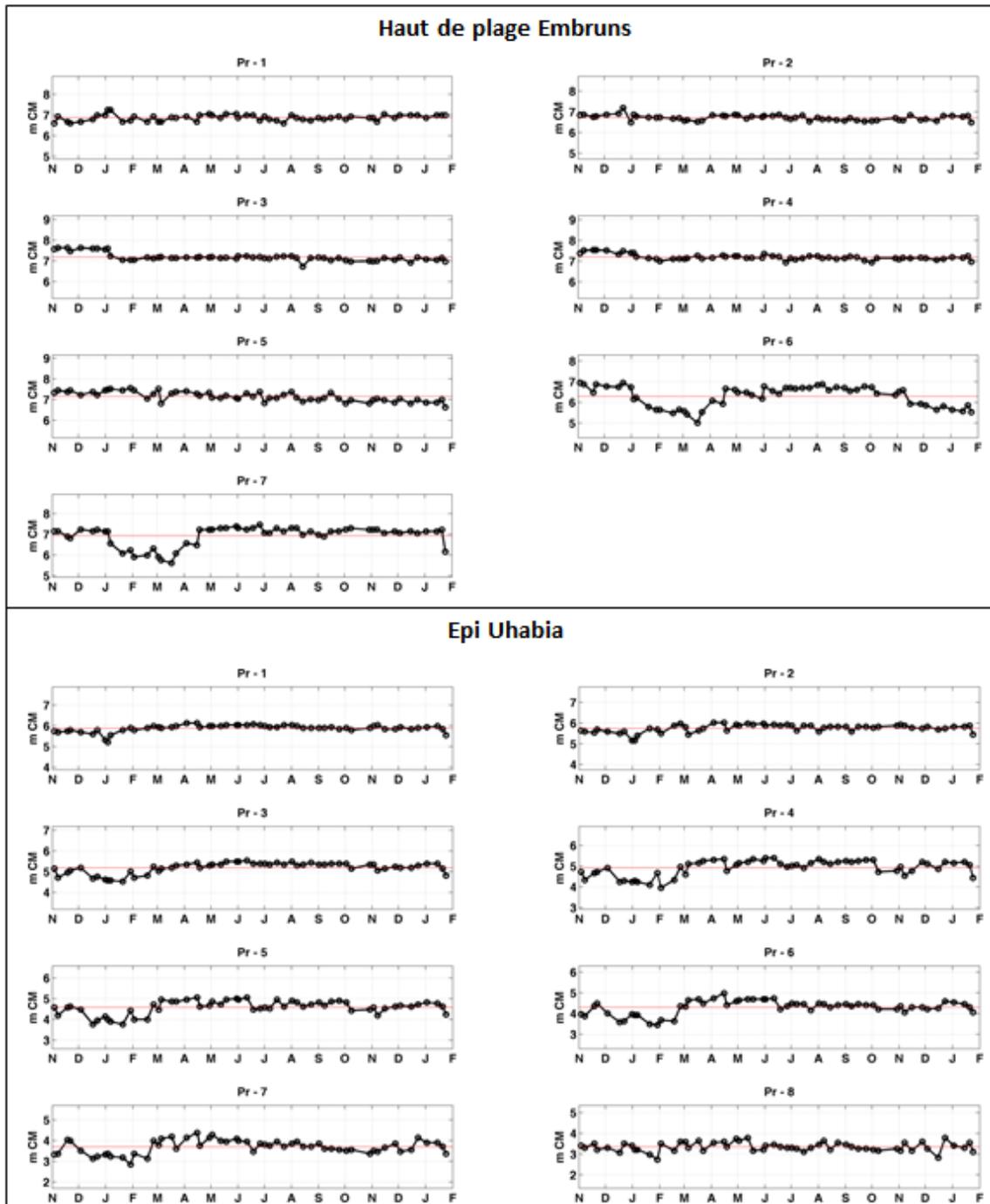


Figure 36. Résultats des évolutions topographiques au niveau du haut de la plage des Embruns et au niveau de l'épi de l'Uhabia entre Novembre 2017 et Février 2019.

L'évolution des niveaux sédimentaires font apparaître :

- Une stabilité des niveaux de sables en haut de plage entre les profils 1 à 5 sur l'intégralité de la période de suivi,
- Une perte significative de sables en haut de plage en partie Nord (profils 6 et 7) entre Janvier et Avril 2018. Cette perte généralisée d'environ 1m d'épaisseur est rééquilibrée à partir du mois de Mai 2018, et aucune variation significative n'est enregistrée ensuite.
- Une stabilité des niveaux de sables sur la face Sud de l'épi de l'Uhabia entre les profils 1 à 3 (zone proche enracinement) sur l'intégralité de la période de suivi,
- Des fluctuations plus significatives à partir du profil 4 au niveau de l'épi, particulièrement entre les mois de Décembre 2017 et Mars 2018, soit environ 1 mois avant les fluctuations observées en partie Sud du haut de la plage des Embruns.

3.3.2. Zone plage du Centre

Les résultats obtenus au niveau du haut de la plage du Centre de Bidart et au niveau de l'épi sont présentés en Figure 37.

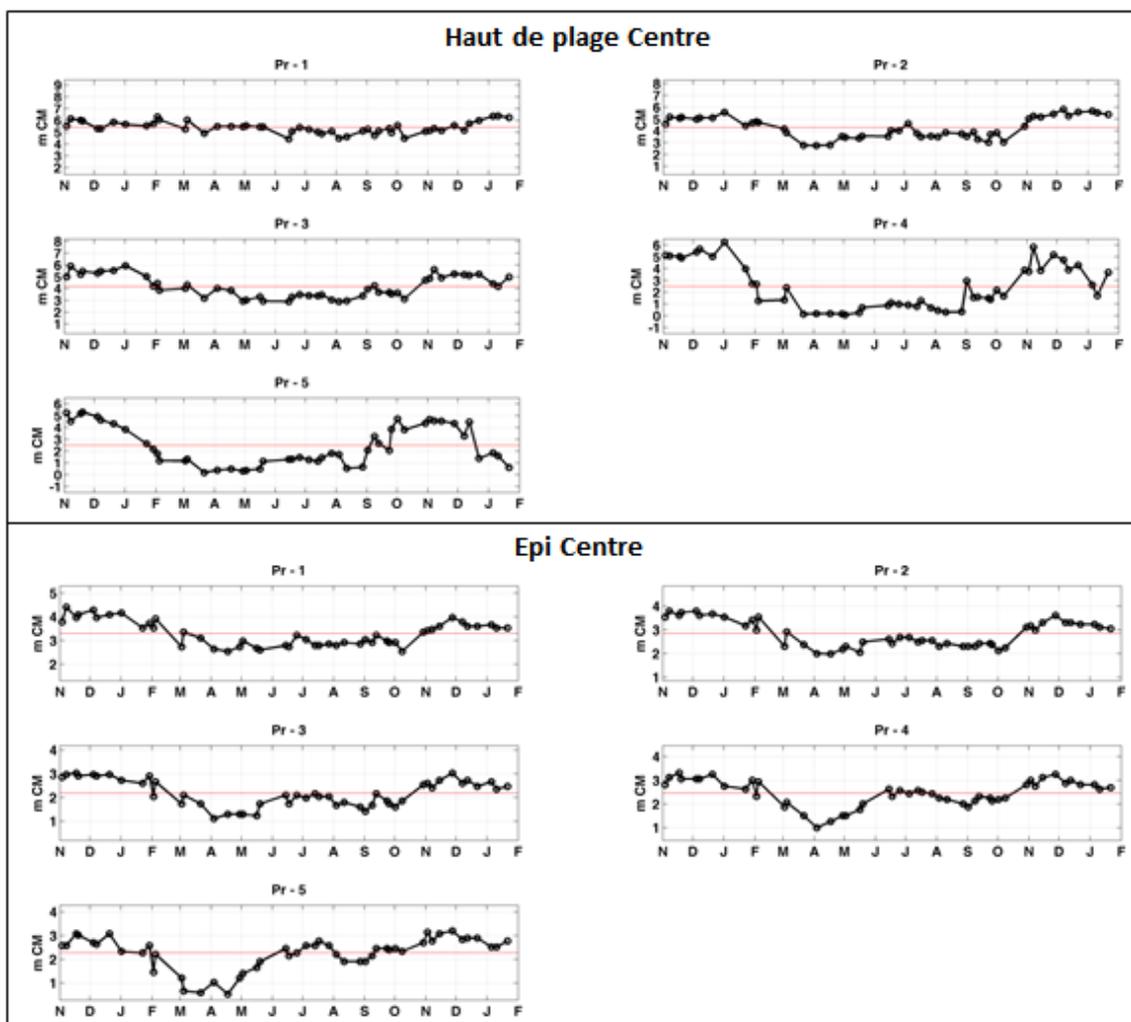


Figure 37. Résultats des évolutions topographiques au niveau du haut de la plage du Centre et au niveau de l'épi entre Novembre 2017 et Février 2019.

L'évolution des niveaux sédimentaires font apparaître :

- Des fluctuations nettement plus significatives au niveau du secteur de la plage du Centre qu'au niveau du secteur Uhabia,
- Au niveau des enrochements du haut de plage, les fluctuations sont comprises entre 1m et 1,5m au Sud de la zone (profils 1 à 3), alors qu'elles peuvent atteindre 3,5m à 4m en partie Nord (profils 4 et 5). En zone Nord, les niveaux de sables sont faibles (0mCM) entre Février et Septembre 2018.
- Au niveau de l'épi central, les fluctuations de niveau de sable augmentent de l'enracinement de l'épi vers son musoir. De l'ordre de 1m à 1,5m aux profils 1 à 3, elles atteignent environ 2m aux profils 4 et 5. Les niveaux les plus bas sont atteints autours du mois d'Avril 2018.

4. BILAN

Le tableau suivant permet de synthétiser l'ensemble des résultats mis à disposition par CASAGEC INGENIERIE dans le cadre du projet. L'ensemble des données sont stockées sous format horodaté dans une base de données intuitive et chaque fichier est accompagné d'un fichier Excel de métadonnées.

Tableau 2: Synthèse de l'ensemble des résultats

Type de levé	date	Type de données	Format	Traitement	Nom Fichier = Nom Meta Donnée
Drone	21/11/2017	XYZ	ASCII-TXT	oui	2017-11-21_XYZ-RGB-HSV_Drone_Falaise_L93_NGF
		Orthophoto	TIFF	oui	2017-11-21_Ortho_Drone_Falaise_L93_NGF_0.03m
	22/12/2017	XYZ	ASCII-TXT	oui	2017-12-22_XYZ-RGB-HSV_Drone_Falaise_L93_NGF
		Orthophoto	TIFF	oui	2017-12-22_Ortho_Drone_Falaise_L93_NGF_0.03m
	04/12/2018	XYZ	ASCII-TXT	oui	2018-12-04_XYZ-RGB-HSV_Drone_Falaise_L93_NGF
		Orthophoto	TIFF	oui	2018-12-04_Ortho_Drone_Falaise_L93_NGF_0.03m
Topo-Bathy	11/10/2017	XYZ	ASCII-TXT	oui	2017-10-11_XYZ_BathyTopo_Bidart_L93_NGF
	02/03/2018	XYZ	ASCII-TXT	oui	2018-03-02_XYZ_BathyTopo_Bidart_L93_NGF
	05/10/2018	XYZ	ASCII-TXT	oui	2018-10-05_XYZ_BathyTopo_Bidart_L93_NGF
	28/03/2019	XYZ	ASCII-TXT	oui	2019-03-28_XYZ_BathyTopo_Bidart_L93_NGF
SBL	04/07/2017	Carte Faciès	PDF	oui	2017-07-04_Carte_Facies_Bidart
		Couches Faciès Pr. Granulo	SHP	oui	2017-07-04_Couche_Facies_Bidart_L93_RidesSables
					2017-07-04_Couche_Facies_Bidart_L93_Roches
					2017-07-04_Couche_Facies_Bidart_L93_Sables
		Granulométrie	XLS	oui	2017-07-04_Pr_Granulo_Bidart_L93
SAS	11/07/2018	XYZ - Fd Rocheux	ASCII-TXT	oui	2018-07-11_XYZ_ToitRocheux_Bidart_L93_NGF
Vidéo	2017/11 - 2019-02	Images			
		XYZ	ASCII-TXT	oui	