

Document public

**Suivi de la mobilité du trait de côte de la
Martinique – Résultats de mesures de
terrain 2017- 2018 concernant les plages
du Carbet, des Salines, de Coco
l’Echelle et de onze plages soumises
aux échouages de sargasses**

Rapport final

BRGM/RP-68470-FR

Février 2019



Suivi de la mobilité du trait de côte de la Martinique – Résultats de mesures de terrain 2017- 2018 concernant les plages du Carbet, des Salines, de Coco l’Echelle et de onze plages soumises aux échouages de sargasses

Rapport final

BRGM/RP-68470-FR
Février 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2017-2018

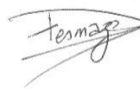
A. Nachbaur, M. Lombard et F. Longueville

Avec la collaboration de L. Nascimento, L. Guillen, G. Verbiese et M. Santini

Vérificateur :

Nom : F. Desmazes
Fonction : Littoraliste
Date : 09/01/2019

Signature :



Approbateur :

Nom : B. Vittecoq
Fonction : Directeur BRGM
Martinique
Date : 11/01/2019

Signature :

Le système de management de la qualité et de l’environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : recul du trait de côte, érosion littorale, sargasses, Coco L'échelle, le Carbet, Les Salines, Martinique.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Nachbaur A., Lombard M. et Longueville F. (2019) – Suivi de la mobilité du trait de côte de la Martinique – Résultats de mesures de terrain 2017- 2018 concernant les plages du Carbet, des Salines, de Coco l'Echelle et de onze plages soumises aux échouages de sargasses. Martinique. Rapport final. BRGM/RP-68470-FR, 83 p., 63 ill., 12 ann.

Synthèse

Le volcanisme tropical d'environ 1000 km², la Martinique présente un linéaire côtier d'environ 450 km et plus d'une centaine de plages. Or, localement l'érosion observée est importante. Face à ces phénomènes, les communes, les services de l'Etat et les gestionnaires souhaiteraient connaître les actions à mener. C'est pourquoi, la DEAL de Martinique et le BRGM ont mis en place une convention d'accompagnement à la gestion de l'érosion du littoral martiniquais. Ce rapport porte sur l'étude de :

- Trois plages particulièrement fréquentées par la population et les touristes (Carbet, Salines, Coco L'échelle) pour lesquelles l'objectif est de préciser la dynamique sédimentaire et ajuster le protocole de suivi en conséquence ;
- Onze plages sujettes aux échouages de sargasses pour lesquelles l'objectif est de chercher à apprécier leur dynamique sédimentaire puis, si possible, l'impact du ramassage sur l'évolution de ces stocks sédimentaires.

Sur ces plages, les expertises se sont appuyées sur des diagnostics visuels et des mesures de terrain réalisées par le BRGM en juillet 2017 puis au carême 2018. A cela s'ajoute un levé post-événement effectué le 20 septembre 2017 sur la plage du Carbet pour évaluer les conséquences de l'Ouragan Maria (18 septembre 2017). L'ensemble de ces mesures ont été comparées aux données topographiques et photographiques existantes pour apprécier la dynamique sédimentaire saisonnière et pluri-annuelle au moyen de plusieurs indicateurs : la position du jet de rive (limite entre la mer et le sable sec), la limite de végétation de haut de plage ou le profil topographique de la plage émergée et immergée.

Ce suivi a permis de mettre en évidence des dynamismes sédimentaires contrastées :

- la plage du Carbet présente une forte variation du stock sédimentaire émergé à toutes les échelles de temps, témoignant de la forte dynamique qui existe au sein de cette cellule sédimentaire. Grâce à cela, la capacité de retour à la normale suite à un événement exceptionnel (type cyclone Maria) est forte dans le secteur sud de la plage, sous l'action de la dérive littorale et des matériaux terrestres apportés par la rivière du Carbet. La résilience de la partie nord de la plage est moins évidente et le suivi mérite d'être poursuivi ;
- les plages des Salines sont sous l'influence marquée de la dérive littorale qui fonctionne, dans son régime habituel, du sud vers le nord. Le basculement de la dérive littorale au grés de la direction des houles permet de recharger le sud de ces plages et de limiter ainsi leur érosion naturelle mais n'est pas suffisant pour s'opposer à l'érosion à long terme sur la Grande Anse des Salines. L'érosion constatée sur cette plage depuis 1951 a une composante naturelle très probablement accentuée par la forte fréquentation du site ;
- la plage de Coco l'Echelle est apparue récemment suite aux aménagements ayant modifié le trait de côte entre la Pointe des Grives et la Pointe des Sables. Le devenir de cette plage reste incertain bien qu'une relative stabilité du stock de sable ait été mise en évidence depuis 2010. En effet, les mécanismes de résilience naturelle n'ont aucune raison d'être réunis et l'artificialisation prononcée de l'arrière plage et des littoraux adjacents limite fortement le maintien du stock.

Cette étude a confirmé l'intérêt d'un suivi continu pour les plages présentant une forte dynamique saisonnière, comme la plage du Carbet, en installant, par exemple, un appareil photographique

de type Timelapse SolarCam ou un système de suivi vidéo. Ce type d'observation doit permettre de capitaliser des données sur une durée d'observation suffisamment longue dans l'objectif d'adapter les préconisations de gestion, d'élaborer des prévisions de résilience après tempête et de construire des scénarios d'évolution à long terme tenant compte de l'effet du changement climatique. Le suivi bathymétrique s'est avéré ici très important puisqu'il permet de suivre le déplacement du stock sédimentaire favorisant la résilience de la plage subaérienne. A ces suivis réguliers, il faut pouvoir coupler le suivi des conditions hydrodynamiques et à terme, le suivi des conditions hydrauliques dans la rivière du Carbet dont le rôle déterminant a été mis en évidence ici.

Concernant la plage des Salines, le protocole de mesure actuel est adapté au suivi de la dynamique moyen et long terme de cette plage à basculement sédimentaire. Il est recommandé de poursuivre le suivi sur cette plage au moyen d'une à deux mesures par an pour mesurer l'efficacité des mesures de gestion qu'il est nécessaire de déployer en parallèle, les adapter si besoin et poursuivre la connaissance de la dynamique de ce système. Compléter ce suivi par un suivi photographique (de type Timelapse SolarCam) permettrait de suivre le basculement du stock sédimentaire qui aide la plage à se reconstituer et de replacer les mesures ponctuelles annuelles dans la dynamique en cours.

Malgré son petit linéaire (60 m), le suivi de la plage de Coco l'Echelle est intéressant d'une part pour les enjeux sociétaux de ce lieu mais également à titre expérimental comme plage témoin de l'effet de l'artificialisation du trait de côte. Le protocole de suivi mérite sans doute d'être allégé en se concentrant sur un suivi long terme des indicateurs habituels à un pas de temps annuel.

En complément des connaissances nouvelles sur le fonctionnement sédimentaire de ces plages, plusieurs indicateurs ont été renseignés afin de pouvoir évaluer l'influence des échouages et ramassages de sargasses sur la dynamique sédimentaire naturelle d'une dizaine de plages. Ce travail est à consolider par des observations régulières sur le moyen terme.

Il n'a pas été possible dans le cadre de cette étude de démontrer que le ramassage mécanisé accentuait significativement l'érosion des plages. En effet, toutes les plages concernées par le ramassage mécanisé présentent également une dynamique naturelle d'érosion à moyen et long terme. Il n'est pas possible dans cette courte période d'observation (moins d'un an et avec le protocole déployé), de distinguer l'effet du ramassage de la dynamique naturelle.

Cependant, cette étude a permis de mettre en avant plusieurs éléments qui confirmeraient que le dépôt de sargasses participe à la rétention du sable et améliore ainsi la résilience du système à cet endroit. Pour mesurer l'effet du ramassage sur la dynamique d'une plage, la plage du Diamant s'avère être un site intéressant à instrumenter car il présente à la fois une dynamique générale relativement homogène et des variabilités sédimentaires récentes qui pourraient être rattachées à l'effet d'échouages/ramassages autant bénéfiques (extrémité est) que négatifs (extrémité ouest).

Sommaire

1. Introduction	11
2. Présentation des mesures de terrain	13
2.1. MESURE DE LA DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE : PROTOCOLE IN SITU.....	13
2.1.1. Indicateurs de mobilité des plages	13
2.1.2. Protocole consolidé des mesures in situ	14
2.2. MOYENS MIS EN OEUVRE	15
2.2.1. Outils de mesures déployés.....	15
2.2.2. Suivi temps réel (« Time Lapse ») sur la plage du Diamant et celle du Carbet (hors CONVENTION).....	18
2.2.3. Suivi qualitatif de la végétation.....	20
3. Conditions hydrodynamiques sur la période de mesures (juillet 2017 – avril 2018)	21
3.1. LES VAGUES	21
3.2. LA MARÉE.....	23
4. Dynamique sédimentaire de la plage du Carbet	25
4.1. CONTEXTE	25
4.1.1. Contexte géographique.....	25
4.1.2. Cellule sédimentaire	26
4.1.3. Position des profils transversaux.....	27
4.2. ÉVOLUTION SÉDIMENTAIRE.....	28
4.2.1. Évolution multi-décennale du trait de côte.....	28
4.2.2. L'impact d'un événement exceptionnel – l'exemple de l'ouragan Maria (18/09/2017)	31
4.2.3. Evolution récente du trait de côte (entre juillet 2017 et avril 2018)	34
4.3. CONCLUSION	43
4.3.1. Enseignement sur la dynamique sédimentaire de la plage.....	43
4.3.2. Adaptation du protocole de suivi existant	43
5. Dynamique sédimentaire de la plage des Salines.....	45
5.1. CONTEXTE	45
5.1.1. Contexte géographique.....	45
5.1.2. Cellule sédimentaire	45
5.1.3. Position des profils transversaux.....	46

5.2. ÉVOLUTION SÉDIMENTAIRE	47
5.2.1.Évolution multi-décennale et décennale du trait de côte	47
5.2.2. Impact d'événements extrêmes	48
5.2.3.Évolution récente (entre juillet 2017 et avril 2018)	48
5.3. CONCLUSION.....	54
5.3.1.Enseignement sur la dynamique des plages des Salines	54
5.3.2.Recommandations et adaptation du protocole de suivi.....	54
6. Dynamique sédimentaire de la plage de Coco l'Echelle	57
6.1. CONTEXTE.....	57
6.1.1.Contexte géographique	57
6.1.2.Evolution historique du site.....	57
6.1.3.Description de la plage	61
6.2. ÉVOLUTION SÉDIMENTAIRE	61
6.2.1.Évolution annuel du trait de côte.....	61
6.3. CONCLUSION.....	65
6.3.1.Enseignement sur la dynamique des plages de Coco L'Echelle	65
6.3.2.Recommandation et adaptation du protocole de suivi.....	65
7. Suivi de la dynamique littorale de onze plages exposées aux échouages de sargasses	67
7.1. CONTEXTE.....	67
7.1.1.Les échouages de sargasses pendant la période de l'étude.....	67
7.1.2.L'impact des différentes techniques de ramassage sur la quantité de sables prélevés.....	67
7.1.3.Protocole de mesure mis en place par le BRGM	68
7.1.4.Dispositif de suivi continu à l'Anse Cafard	69
7.2. EXPLOITATION DES MESURES.....	72
7.2.1.Présentation des résultats des deux campagnes de mesures	72
7.2.2.Description de chaque plage par plusieurs indicateurs	73
7.2.3.Conclusion sur l'impact des sargasses sur la dynamique sédimentaire ..	73
7.3. CONCLUSION.....	76
7.3.1.Enseignements.....	76
7.3.2.Préconisations.....	77
8. Conclusions	79
9. Bibliographie.....	81

Liste des Illustrations

Illustration 1 : Plages étudiées dans le cadre de ce rapport	11
Illustration 2 : Indicateurs retenus pour caractériser la dynamique sédimentaire	13
Illustration 3 : Présentation des profils réalisés lors de cette campagne 2017-2018.....	14
Illustration 4 : Exemples de difficultés rencontrées pour les mesures de terrain a). la propagation des vagues est limitée par un échouage de sargasses et b). la limite de végétation est remplacée par des enrochements.	15
Illustration 5 : Présentation du DGPS © Trimble déployé sur chacune des plages et plus précisément de le récepteur de base fixe à installer avant de parcourir la plage avec le récepteur mobile	16
Illustration 6 : Dispositif mis en place par le BRGM dans le cadre de cette étude, pour mesurer la bathymétrie le long des profils de plage : antenne DGPS couplée à un échosondeur (immergé) fixée sur un bateau	16
Illustration 7 : Mesures drone réalisées par @Géoscan 3D en juillet et septembre 2017	17
Illustration 8 : Comparaison des orthophotographies obtenues grâce au levé drone sur la plage du Carbet avec l'Orthophotographie haute résolution couvrant la Martinique (IGN - Géomartinique, 2017).	18
Illustration 9 : Appareil Photo Time Lapse installé sur les hauteurs du Carbet.....	19
Illustration 10 : Appareil Photo Time Lapse installé sur la pointe surplombant la plage d'Anse Cafard (Le Diamant)	19
Illustration 11 : Exemple d'un des descriptifs qualitatifs du couvert végétal réalisé en aout 2017 en complément des mesures de terrain sur les plages du Carbet, des Salines et du Diamant.....	20
Illustration 12 : Hauteur significative, période et direction de la houle au niveau du houlographe de Fort de France entre le 01/04/2017 et le 07/06/2018. (Données extraites à partir du site Candhis)	22
Illustration 13 : Hauteur des vagues dans le canal de Sainte Lucie en septembre 2017. Extrait du Bulletin Climatique de septembre 2017 de Météo France.	23
Illustration 14 : Références Altimétriques Maritimes pour les sites de la côte ouest de Martinique. PHMA : plus hautes mers astronomiques, PMVE : pleines mers de vives eaux, PMME : pleines mers de mortes-eaux, NM : Niveau Moyen, BMME : basses mers de mortes-eaux, BMVE : basses mers de vives eaux, PBMA : Plus basses mers astronomiques (SHOM, 2017).	24
Illustration 15 : Disparition totale de la forêt littorale sur le front de mer du Carbet, entre 1951 (à gauche) et 2010 (à droite)	25
Illustration 16 : Cellule et fonctionnement hydro-sédimentaire de la plage du Carbet (extrait rapport RP-64499-FR).....	26
Illustration 17 : Position des profils topo-bathymétriques sur la plage du Carbet (Fond de carte : Scan ©IGN 2007 et encart : image satellite de géoportail©).....	27
Illustration 18 : Evolution de la limite de végétation entre 1951 et 2010 (à gauche) et 2004 et 2010 (à droite).....	28
Illustration 19 : Avancée du trait de cote de plus de 50 m à l'embouchure de la rivière du Carbet entre 1951 (à gauche) et 2010 (à droite)	29
Illustration 20 : Elargissement marqué de la plage à l'extrémité sud de la cellule associé à une avancée de la limite de végétation et au développement de l'artificialisation, entre 1951 (à gauche) et 2010 (à droite)	30

Illustration 21 : Disparition de la plage au droit de l'enrochement.....	31
Illustration 22 : Photos de la plage du Carbet prises deux jours après le passage de Maria (Lombard et Nachbaur, 2017, RP-67298-FR).....	32
Illustration 23 : Comparaison du tracé du talus d'érosion formé après l'événement MARIA avec les traits de côte relevés en juillet 2017 par DGPS (à gauche, moitié nord – à droite, moitié sud) (extrait du rapport RP-67298-FR)	33
Illustration 24 - Différence altimétrique entre le MNT drone du 22/09/2017, 4 jours après l'ouragan Maria et le MNT drone du 25/07/2017	33
Illustration 25 : Variation de la position du trait de côte entre juillet 2017 et avril 2018 sur les deux sous-cellules de la plage du Carbet.....	35
Illustration 26 : Position et suivi par imagerie vidéo de l'évolution du sud de la plage du Coin au Carbet, on observe l'avancée de la position de la limite de jet de rive avec la formation de la berme de plage indicateur d'accrétion.	36
Illustration 27 : Exemple de la dynamique du sud de la plage du Carbet. Photos SOLARCAM ©BRGM. La ligne noire représente la moyenne de la limite du jet de rive de la journée du 30/09/2017. La ligne rouge représente la limite du jet de rive pour chaque photographie, prise un jour et une heure donnés.	37
Illustration 28: Evolution du profil topo-bathymétrique C5 au nord de la plage du Carbet entre juillet 2017 et avril 2018.	39
Illustration 29: Evolution du profil topo-bathymétrique C6 à l'extrémité nord de la plage du Carbet entre juillet 2017 et avril 2018.	39
Illustration 30: Evolution du profil topo-bathymétrique C4 entre juillet 2017 et avril 2018.	40
Illustration 31: Evolution des profils C2 (en haut) et C3 (en bas) entre juillet 2017 et avril 2018.	41
Illustration 32 : Evolution du profil topo-bathymétrique C1 à l'extrémité sud de la plage du Carbet entre juillet 2017 et avril 2018.	42
Illustration 33 : Cellule et fonctionnement hydro-sédimentaire de la plage des salines (source : rapport RP-64499-FR)	45
Illustration 34: Position des profils topo-bathymétriques sur la plage des anses des Salines (Fond : Orthophotographie de 2004).....	46
Illustration 35 : Evolution de la position du trait de côte au niveau de Grande Anse et Petite Anse des Salines (Fond: Orthophotographie de 1951 (à gauche) et 2010 (à droite)).	47
Illustration 36 : Différence altimétrique entre le MNT drone de juillet 2017 et le MNT Litto 3D de 2010 (©IGN) sur la Grande Anse des Salines.....	48
Illustration 37: Evolution de la position du trait de côte au niveau de grande Anse et petite Anse des Salines (Fond: Orthophotographie de 2004).	50
Illustration 38 : Evolution du profil topo-bathymétrique S1 entre juillet 2017 et avril 2018.....	51
Illustration 39 : Evolution du profil topo-bathymétrique S2 entre juillet 2017 et avril 2018.....	51
Illustration 40 : Evolution des profils topo-bathymétriques S3 à S6 entre juillet 2017 et avril 2018.	53
Illustration 41 : Photographies obliques de la plage de Grande Anse prises le 23/08/2017	53
Illustration 42 : Localisation de la plage de Coco l'Echelle.....	57
Illustration 43 : Aménagement et évolution de la plage de Coco l'Echelle entre 1951 et 2017 ..	60
Illustration 44 : Evolution des aménagements et de la plage de Coco l'Echelle depuis 2004	61
Illustration 45 - Evolution de la position du jet de rive entre 2010 et 2017 d'après la comparaison des orthophotographies	62

Illustration 46 : Position du trait de côte "jet de rive" en 2017 et 2018 et de la limite de végétation en 2018	62
Illustration 47 : Etat de la végétation rampante en juillet 2017.....	63
Illustration 48 - Localisation des profils topographiques sur la plage de Coco l'échelle	63
Illustration 49 - Profil topographique P1, nord de la plage de Coco l'échelle. La précision altimétrique du levé Litto3D est de 30 cm ; celle du levé BRGM est de 5 cm.	64
Illustration 50 - Profil topographique P2, au sud de la plage de Coco l'échelle. La précision altimétrique du levé Litto3D est de 30 cm ; celle du levé BRGM est de 5 cm... ..	64
Illustration 51 : Localisation des plages étudiées dans le cadre de cette étude	68
Illustration 52 - Dates des campagnes de terrain.....	69
Illustration 53 : Chronologie des échouages sur l'Anse Cafard par rapport aux campagnes de mesures du BRGM	70
Illustration 54 - Petit échouage de sargasses le 05/10/2017 suivi d'un ramassage le 09/10/2017	70
Illustration 55 - Echouages massifs à l'Anse Cafard le 19/04/2018 et le 16/06/2018	71
Illustration 56 - Ramassages intensifs mécanisés (25 et 28/04/2018) suite aux échouages massifs	71
Illustration 57 - Autre type de ramassage des sargasses (11/04/2018).....	71
Illustration 58 - Ramassage manuel en cas d'échouages limités (02/10/2018)	72
Illustration 59 - Présence de sargasses à l'Anse Cafard lors des campagnes de terrain.....	72
Illustration 60 : Synthèse des indicateurs de chaque plage et des hypothèses formulées par le BRGM quant à l'impact du ramassage sur la dynamique sédimentaire.....	74
Illustration 61 - Carte-bilan des tendances de la dynamique sédimentaire de chacune des plages et avis du BRGM sur l'impact des échouages et ramassages de sargasses sur cette dynamique	75
Illustration 62 : Forte élévation du profil de plage à l'extrémité est de la plage à un endroit où l'échouage non ramassé est confirmé. La précision altimétrique du levé Litto3D est de 30 cm ; celle du levé BRGM est de 5 cm.	77
Illustration 63 : Forte élévation du profil de plage aux extrémités de la plage Anse Charpentier entre 2010 et 2017. La précision altimétrique du levé Litto3D est de 30 cm ; celle du levé BRGM est de 5 cm.....	77

Liste des annexes

Annexe 1 - Protocole de terrain relatif aux levés topographiques sur le littoral	83
Annexe 2 – Description du couvert végétal proposé pour la plage des Salines (23/08/2017)	89
Annexe 3 – Description du couvert végétal proposé pour la plage du Carbet (22/08/2017)	95
Annexe 4 – Description du couvert végétal proposé pour la plage du Diamant (22/08/2017)	101
Annexe 5 – Carte de localisation des échouages de sargasses à partir des campagnes d'observation héliportée réalisées par la DEAL entre le 19 avril au 5 septembre 2018	107

Annexe 6 - Mesures topographiques sur la plage d'Anse Charpentier entre juillet 2017 et janvier 2018.....	109
Annexe 7 - Mesures topographiques sur la plage de la Richer entre juillet 2017 et janvier 2018	115
Annexe 8 - Mesures topographiques sur la plage d'Anse à Dièque entre juillet 2017 et janvier 2018	123
Annexe 9 - Mesures topographiques sur la plage de Pointe Faula et Chez Fréfré entre juillet 2017 et janvier 2018	129
Annexe 10 - Mesures topographiques sur la plage Anse Four à Chaux et Anse Baleine (site appelé Pointe Marée) entre juillet 2017 et avril 2018	135
Annexe 11 - Mesures topographiques sur la plage d'Anse aux Bois et Anse Michel entre juillet 2017 et janvier 2018	141
Annexe 12 - Mesures topographiques sur la plage du Diamant et d'Anse Cafard entre juillet 2017 et avril 2018	149

1. Introduction

Ile volcanique tropicale d'environ 1000 km², la Martinique présente un linéaire côtier d'environ 450 km et plus d'une centaine de plages. Or, localement l'érosion observée est importante. Face à ces phénomènes, les communes, les services de l'Etat et les gestionnaires souhaiteraient connaître les actions à mener. C'est pourquoi, la DEAL de Martinique et le BRGM ont mis en place une convention d'accompagnement à la gestion de l'érosion du littoral martiniquais.

Ce rapport présente les résultats des 3e et 4e volets de cette convention. Les plages sur lesquelles portent ce rapport sont localisées sur Illustration 1. Il s'agit :

- Des plages du Carbet et des Salines en vue de préciser la dynamique sédimentaire de ces plages particulièrement fréquentées par la population et pour ajuster ensuite le protocole de suivi. Cette analyse sera développée dans les chapitres 4 et 5 ;
- De la plage de Coco L'échelle pour comprendre son fonctionnement sédimentaire et apprécier si possible la part de l'influence anthropique. Cette analyse sera développée dans le chapitre 6 ;
- De onze plages sujettes aux échouages de sargasses pour suivre leur évolution topographique en vue de chercher à apprécier leur dynamique sédimentaire puis, si possible, l'impact du ramassage sur l'évolution de ces stocks sédimentaires. Cette analyse sera développée dans le chapitre 1.

Sur ces plages, les expertises se sont appuyées sur des diagnostics visuels et des mesures de terrain (profils de plage, levé DGPS) réalisés à deux reprises en juillet 2017 puis au carême 2018. A cela s'ajoute un levé post-événement effectué le 20 septembre 2017 sur la plage du Carbet pour évaluer les conséquences de l'Ouragan Maria (18 septembre 2017).

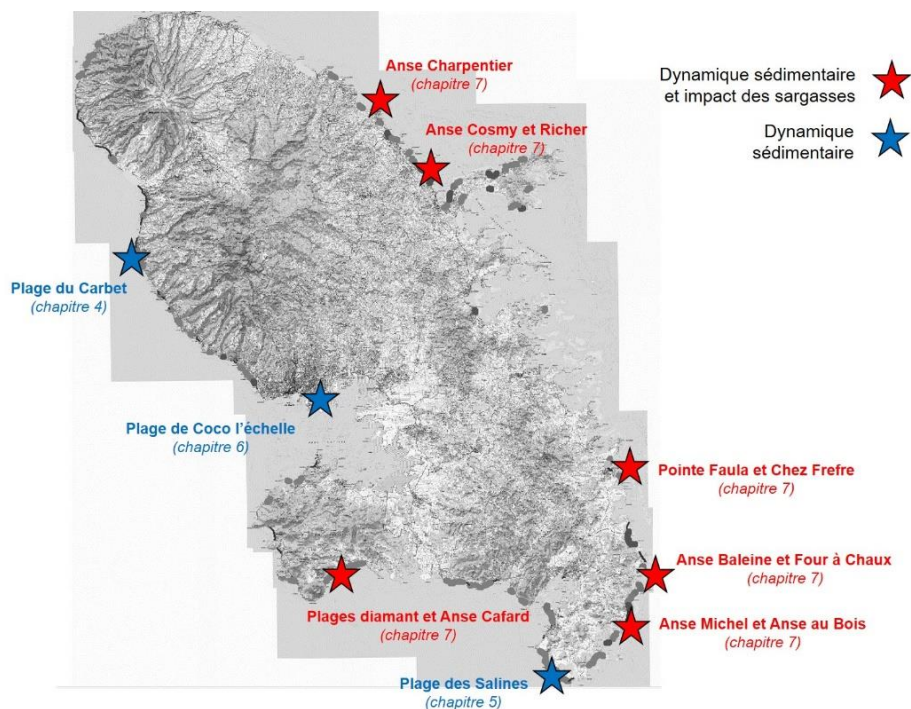


Illustration 1 : Plages étudiées dans le cadre de ce rapport

Dans la suite du rapport, on utilisera plusieurs termes pour caractériser la plage :

- **Estran** : Ou plage intertidale, partie de la plage soumise aux balancements des marées.
- Zone du **jet de rive** : partie de la plage soumise aux balancements des vagues à un instant donné. La limite supérieure du jet de rive correspond à la limite entre le sable sec et de sable mouillé par les vagues, à un instant donné.
- **Haut de plage** : Ou plage sub-aérienne, partie de la plage le plus souvent émergée, située entre la limite des hautes mers et le pied de dune ou la limite de végétation
- **Berne** : Accumulation sableuse créé par les vagues de faible énergie, située à la limite entre l'estran et le haut de plage
- **Arrière plage** : secteur sableux, éventuellement dunaire, plus ou moins végétalisés, et situé à terre, en arrière de la plage.

On distinguera également par la suite la dynamique à court terme et saisonnière (échéances journalière et mensuelle) de la dynamique à moyen et long terme (annuelle et pluri-annuelle).

2. Présentation des mesures de terrain

2.1. MESURE DE LA DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE : PROTOCOLE IN SITU

2.1.1. Indicateurs de mobilité des plages

Pour caractériser l'évolution d'une plage, il est nécessaire de suivre l'évolution spatiale et temporelle de :

- la position du trait de côte qui reflète l'évolution latérale de l'ensemble de la plage ;
- la morphologie des profils de plages émergés et immergés.

Le trait de côte

Présentés sur l'illustration 2, trois indicateurs ont été relevés sur le terrain pour caractériser le trait de côte :

- La **limite de végétation** qui délimite l'arrière plage qui n'est plus influencée par les processus marins ;
- Le **pied de talus d'érosion**, marqueur d'événement érosif particulier ;
- Le **jet de rive**, un indicateur variable dans le temps, qui peut traduire des évolutions saisonnières et/ou événementielles (tempêtes tropicales) (Mallet, 2012).
-



Illustration 2 : Indicateurs retenus pour caractériser la dynamique sédimentaire

Profils topo-bathymétriques perpendiculaires au trait de côte

Relever des profils topo-bathymétriques le long de transects perpendiculaires au trait de côte permet de caractériser la morphologie de la plage. La comparaison de ces profils à différentes dates permet de suivre l'évolution du stock sédimentaire de la plage.

Ainsi, pour chaque plage, plusieurs profils topographiques ont été mesurés, prolongés par des mesures bathymétriques en mer pour les plages du Carbet et des Salines.

Chaque plage a fait l'objet d'un certain nombre de profils allant de 2 pour les plus petites plages (Coco l'Echelle) jusqu'à 8 pour les plus longues (cf. Illustration 3). Les profils ont été positionnés dans la mesure du possible, au même endroit que ceux réalisés par l'Université des Antilles en 2016 (qui avait réalisé un profil par plage sur ces onze même plages).

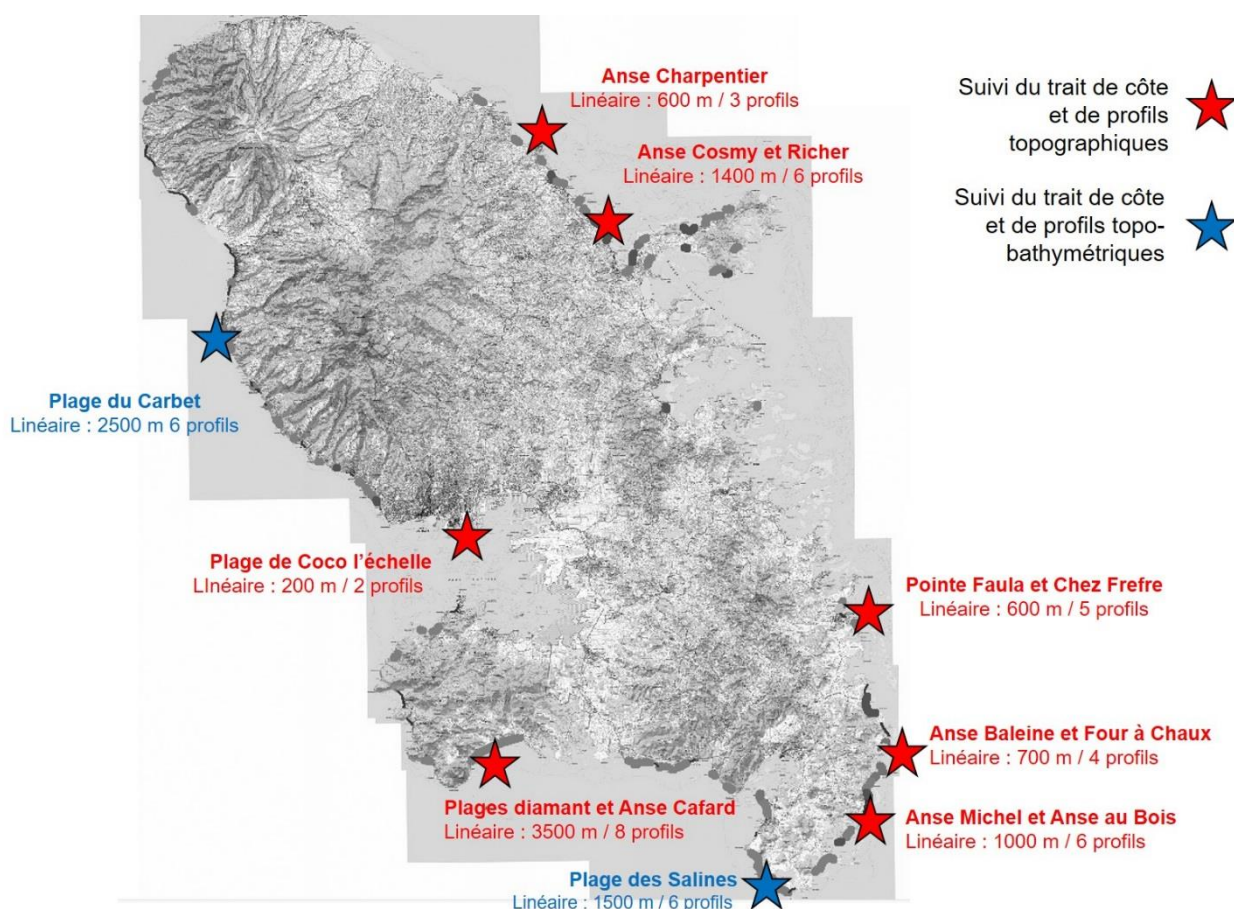


Illustration 3 : Présentation des profils réalisés lors de cette campagne 2017-2018.

2.1.2. Protocole consolidé des mesures in situ

Le protocole de mesure a été affiné dans le cadre de cette étude pour consolider la qualité des mesures de terrain et réduire au maximum la part de subjectivité des différents opérateurs. Les questionnements auxquels ont été confrontés les opérateurs sur le terrain sont par exemple le type de végétation à prendre en compte, le type de talus d'érosion, la représentativité d'un profil

topographique, le jet de rive à considérer quand la propagation des vagues est limitée par une accumulation de sargasses ou un enrochement, les conditions.... (exemple en Illustration 4).

Ce protocole est donc un document de travail qui est voué à évoluer. Il est consultable en Annexe 1.



Illustration 4 : Exemples de difficultés rencontrées pour les mesures de terrain a). la propagation des vagues est limitée par un échouage de sargasses et b). la limite de végétation est remplacée par des enrochements.

2.2. MOYENS MIS EN OEUVRE

2.2.1. Outils de mesures déployés

Levé topographique

Un levé DGPS permet de mesurer la position en x, y et z avec une précision de 2 à 5 cm, bien meilleure que celle des GPS habituels. Ce sont ces instruments qui ont été utilisés pour mesurer la position (x ; y) du trait de côte et la morphologie des profils (x ; y ; z).

Ce dispositif de mesure est portable mais nécessite la mise en place préalable d'une base fixe permettant de corriger les coordonnées mesurées instantanément (cf. Illustration 5). Ce type de mesure nécessite également un « post traitement », c'est-à-dire une correction des mesures a posteriori, sur ordinateur.

Une première campagne de mesures a été réalisée en juillet 2017 de manière à disposer d'une mesure avant la saison cyclonique 2017. La seconde campagne de mesure s'est tenue au cours du carême 2018 (janvier à avril 2018 selon les plages), ie après la saison cyclonique 2017.



Illustration 5 : Présentation du DGPS © Trimble déployé sur chacune des plages et plus précisément de le récepteur de base fixe à installer avant de parcourir la plage avec le récepteur mobile

Levé bathymétrique

Afin de suivre également le profil bathymétrique de l'avant-côte, le DGPS a été couplée à un échosondeur et installé sur un bateau qui a parcouru les profils à mesurer (cf. Illustration 6). Ces mesures ont été réalisées seulement sur les plages du Carbet et des Salines.

Ces levés visent à visualiser les évolutions morphologiques de la plage immergée en continuité des évolutions de la partie émergée. La précision de ces mesures est estimée à 15 cm¹.



Illustration 6 : Dispositif mis en place par le BRGM dans le cadre de cette étude, pour mesurer la bathymétrie le long des profils de plage : antenne DGPS couplée à un échosondeur (immergé) fixée sur un bateau

¹ Le DGPS aura la même précision qu'à terre par contre la précision de la mesure dépend également des caractéristiques du sondeur bathymétrique.

Levé de MNT par drone sur les plages du Carbet et des Salines

En complément des mesures de terrain, des levés par drone ont été réalisés sur les plages des Salines et du Carbet pour disposer d'une vue 3D sous forme de maillage de points. Ces levés ont permis la réalisation d'un Modèle Numérique de Surface (MNS) réalisé par photogrammétrie. Deux produits haute résolution ont été réalisés : une orthophotographie de la plage (résolution 1,7 cm) et un jeu de données au format .las (environ 1 point tous les 5 cm ou 400 points/m²) duquel a été reconstitué un MNT. L'illustration 8 compare le rendu des orthophotographies obtenues grâce au levé drone dans les secteurs sans végétation (résolution 2 cm) avec l'orthophotographie de l'IGN (résolution 20 cm).

Un levé post tempête a également été réalisé le 22/09/2017 sur la plage du Carbet, particulièrement impactée par la houle cyclonique de MARIA (18/09/2017). La création d'un modèle numérique de surface (MNS), avant et après l'évènement, permet de quantifier d'un point de vue surfacique et volumique les évolutions sédimentaires à l'échelle de la cellule.

Ces données ont été utilisées de manière qualitative dans le cadre de cette étude pour illustrer les évolutions spatiales des plages. Cette technique de reconstitution photogrammétrique de MNT par des levés drone restant encore nouvelle notamment en Martinique, l'exploitation quantitative mérite d'être poursuivie par des réflexions méthodologiques à conduire en parallèle.



Illustration 7 : Mesures drone réalisées par @Géoscan 3D en juillet et septembre 2017



Illustration 8 : Comparaison des orthophotographies obtenues grâce au levé drone sur la plage du Carbet avec l'Orthophotographie haute résolution couvrant la Martinique (IGN - Géomartinique, 2017).

2.2.2. Suivi temps réel (« Time Lapse ») sur la plage du Diamant et celle du Carbet (hors CONVENTION)

Par ailleurs, le BRGM a installé deux appareils photo permettant d'observer à pas de temps régulier (toutes les heures ici) la dynamique sédimentaire en complément des levés ponctuels. Il s'agit d'un dispositif de prise de vue photographique temps réel (« Time Lapse ») adaptés par l'entreprise Solarcam pour un usage de terrain comme celui-ci.

Un des appareils photos a été installé sur un gommier au sommet du morne au sud de la Plage du Carbet (cf. Illustration 9), l'autre sur un cocotier sur la pointe rocheuse au sud d'Anse Cafard sur la commune du Diamant (cf. Illustration 10). L'appareil a été installé le 29/09/2017 sur la plage du Carbet et le 28/09/2017 sur l'Anse Cafard ; ils fonctionnent depuis.

Les photos sont mises en ligne en direct sur un site dédié et archivées sur un serveur en parallèle.



Illustration 9 : Appareil Photo Time Lapse installé sur les hauteurs du Carbet



Illustration 10 : Appareil Photo Time Lapse installé sur la pointe surplombant la plage d'Anse Cafard (Le Diamant)

2.2.3. Suivi qualitatif de la végétation

Suite aux premières mesures réalisées en juillet 2017 et notamment au levé « drone », l'intérêt du MNT Laser Terrestre proposé initialement dans le programme technique pour la plage des Salines apparaît finalement limité pour ce diagnostic (vision localisée et trop précise). A la place, il a été convenu lors de la réunion du 07/09/2017, de compléter le dispositif de suivi par un suivi qualitatif de la végétation le long des plages étudiées.

Une analyse de la végétation pour 3 sites (plages des Salines, du Carbet et du Diamant) a été proposée (Illustration 11 et consultables en Annexe 2, Annexe 3 et Annexe 4) afin d'initier l'élaboration d'un référentiel et d'une typologie spécifiques. A terme, ce référentiel doit permettre d'améliorer très sensiblement l'indicateur du trait de côte dans le cadre d'une mise en place d'observations régulières.



Illustration 11 : Exemple d'un descriptif qualitatif du couvert végétal réalisé en août 2017 en complément des mesures de terrain sur les plages du Carbet, des Salines et du Diamant

3. Conditions hydrodynamiques sur la période de mesures (juillet 2017 – avril 2018)

3.1. LES VAGUES

Les vagues sont caractérisées par trois paramètres physiques :

- la hauteur significative, qui correspond à la moyenne des hauteurs du tiers des plus fortes vagues, donnée en mètre ;
- la période, correspondant à l'écart temporel entre deux pics de houle, donnée en seconde ;
- la direction, correspond à son secteur de provenance, donnée en degré.

Il existe principalement trois catégories de vagues qui diffèrent par leur origine et leurs caractéristiques (Nachbaur et al. 2015) :

- la mer de vent, qui est générée par des vents locaux et qui sont caractérisés par de petites hauteurs significatives (< 1 m), de courtes périodes (< 5-6 s) et souvent avec un étalement directionnel important (environ 50°) ;
- Les houles qui sont des oscillations qui se propagent en dehors de la zone où le vent souffle (zone de fetch), généré dans le cadre de la Martinique par les Alizées et qui se caractérisent par des hauteurs significatives importantes (>1 m), des périodes longues (> 7-8 s) et un étalement directionnel plutôt réduit (20° à 25°).
- La houle cyclonique, moins fréquente mais très énergétique (période supérieure à 10 sec).

Les vagues sont mesurées à l'aide de houlographes positionnés au large qui permettent de caractériser les différents états de mer. En Martinique deux houlographes sont installés : un sur la côte Caraïbe au large de Fort de France et un sur la côte Est au large de Basse Pointe. Les deux sites se trouvant sur la côte Caraïbes, les données utilisées ont été acquises par l'houllographe de Fort de France ayant une côte au fond de 55 m. Ces données sont mises à disposition sur le site internet Candhis du CEREMA (<http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>).

Sur la côte Caraïbe, en temps normal, les vagues mesurées par le houlographe sont généralement des vagues de faibles hauteurs significatives et de faibles périodes traduisant la prédominance de la mer de vent et de l'influence des vents locaux sur cette façade (Illustration 12). L'illustration 12 présente les hauteurs significatives, les périodes et la direction de la houle au niveau du houlographe de Fort de France entre le 01/04/2017 et le 07/06/2018, entre les deux campagnes de mesures.

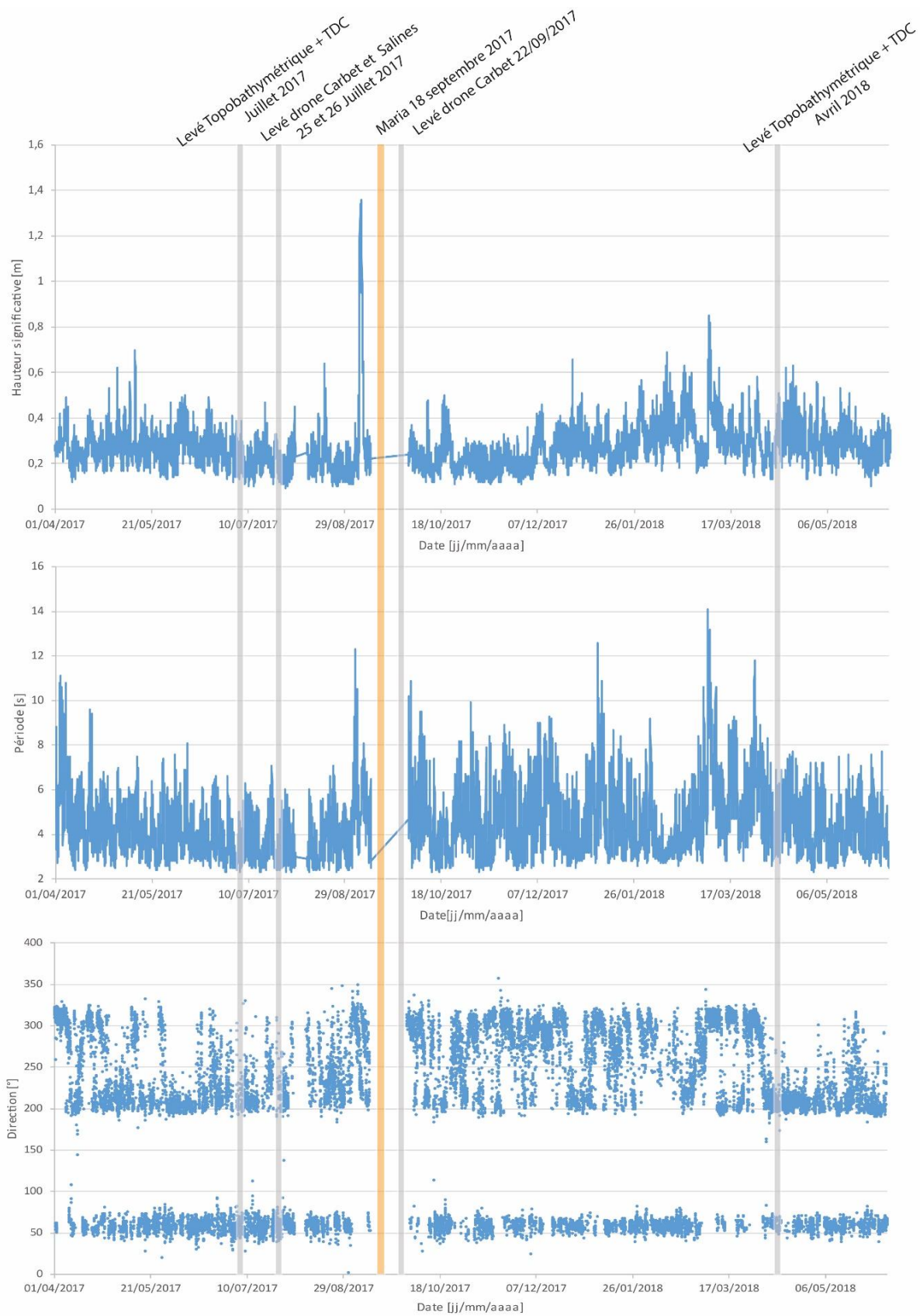


Illustration 12 : Hauteur significative, période et direction de la houle au niveau du houlographe de Fort de France entre le 01/04/2017 et le 07/06/2018. (Données extraites à partir du site Candhis²)

Cependant l'année 2017 a été marquée, courant septembre, par le passage de plusieurs cyclones successifs qui ont touché la Martinique et notamment la côte Caraïbes : Les ouragans Irma (le 5-6 septembre), José (le 7) puis Maria (le 18-19 septembre) dont les effets sont repérables sur l'illustration 13. Celui dont les effets furent le plus ressentis en Martinique fut le cyclone Maria, un cyclone majeur du plus haut niveau sur l'échelle de Saffir-Simpson (5) qui engendra des houles cycloniques pouvant atteindre des hauteurs significatives de l'ordre de 2 à 3 m avec des périodes dépassant les 8 s enregistré par le houlographe de Fort de France (Lombard et Nachbaur, 2017). D'après le bulletin climatique de Météo France, les vagues auraient atteint 7,3 m au plus haut dans le canal de Ste-Lucie et probablement 9 voire 10 m dans le canal de la Dominique, à proximité de l'œil du cyclone.

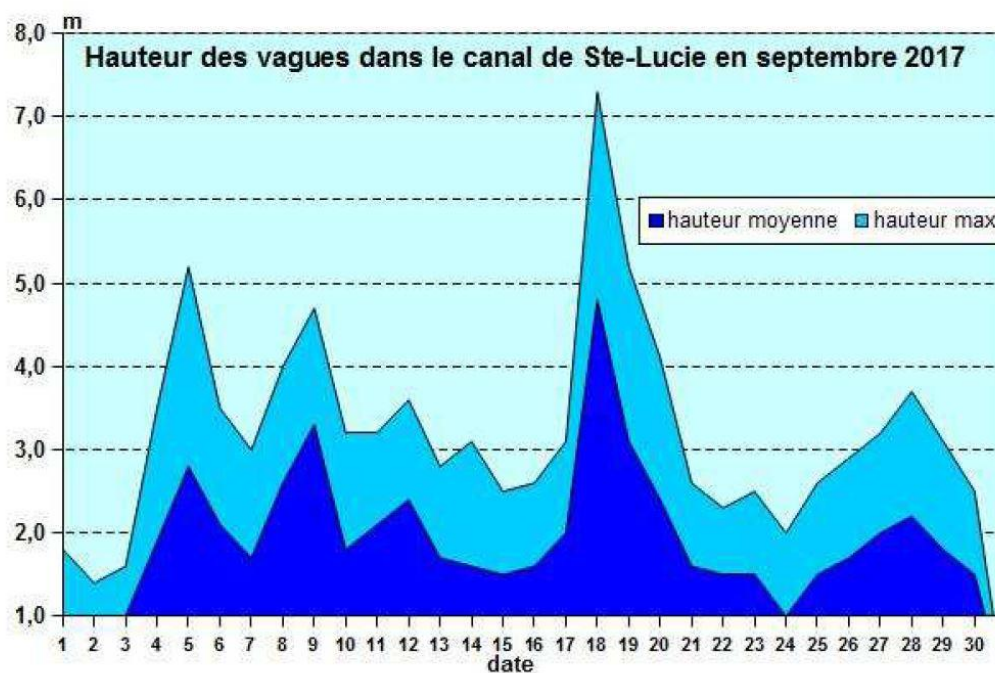


Illustration 13 : Hauteur des vagues dans le canal de Sainte Lucie en septembre 2017. Extrait du Bulletin Climatique de septembre 2017 de Météo France.

3.2. LA MARÉE

La Martinique est soumise à deux types de marées. Sur la côte Est, la marée est de type semi-diurne à inégalité diurne (il y a deux pleines mers et deux basses mers par jour avec des hauteurs d'eau différentes). Sur la côte Ouest, la marée est de type mixte (tantôt deux pleines mers et deux basses mers par jour et tantôt une pleine mer et une basse mer par jour).

Les marées en Martinique sont d'amplitude microtidale avec un marnage moyen de 45 cm (SHOM, 2016). L'amplitude des marées d'équinoxe peut atteindre 90 cm.

La Référence Altimétrique Maritime considérée ici pour la plage du Carbet est celle de Saint Pierre, et du Marin pour les Salines soit un niveau moyen par rapport au zéro hydrographique de 0,45 m au Carbet et de 0,37 m pour les Salines (Illustration 14). Le niveau moyen donne une

² CANDHIS : Centre d'Archivage National de Données de Houle In-Situ : <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>

information sur la limite eau/terre que l'on peut ensuite placer sur les courbes topo/bathy présentées par la suite.

07	Nom	Type	Lat.	Long.	Et.	Constante	PHMA	PMVE		NM		BMVE	PBMA
	Fort-de-France [Martinique] ¹	R	14 36 N	61 04 W		2011	00.98	00.80		00.70		00.55	00.36
	Côte Ouest de la Martinique												
	Le Prêcheur	S	14 48 N	61 14 W		2011	01.11			00.78			00.35
	Saint-Pierre	S	14 44 N	61 11 W			00.75			00.45			00.11
	Sainte-Luce	S	14 28 N	60 55 W			00.68			00.38			-0.01
	Le Marin	S	14 28 N	60 52 W			00.65			00.37			00.00

Nom	Repère fondamental	Organisme	Date	RF/ZH	RF/Ref	ZH/Ref	ZH/Elli	Ref
Fort-de-France [Martinique] ¹	AN-13	IGN	2014	1.475	0.944	-0.531	-38.76	IGN87
Côte Ouest de la Martinique								
Le Prêcheur	A.ab-42	IGN	2009	5.103	4.541	-0.562		IGN87
Saint-Pierre								
Sainte-Luce	AS-44	IGN	1987	1.993	1.619	-0.374		IGN87
Le Marin	AOS	IGN	1987	14.583	14.229	-0.354		IGN87

Illustration 14 : Références Altimétriques Maritimes pour les sites de la côte ouest de Martinique. PHMA : plus hautes mers astronomiques, PMVE : pleines mers de vives eaux, PMME : pleines mers de mortes-eaux, NM : Niveau Moyen, BMME : basses mers de mortes-eaux, BMVE : basses mers de vives eaux, PBMA : Plus basses mers astronomiques (SHOM, 2017).

Le niveau d'eau mesuré au niveau des marégraphes prend en compte les amplitudes de marées et également les surcotes atmosphériques liées aux dépressions.

4. Dynamique sédimentaire de la plage du Carbet

4.1. CONTEXTE

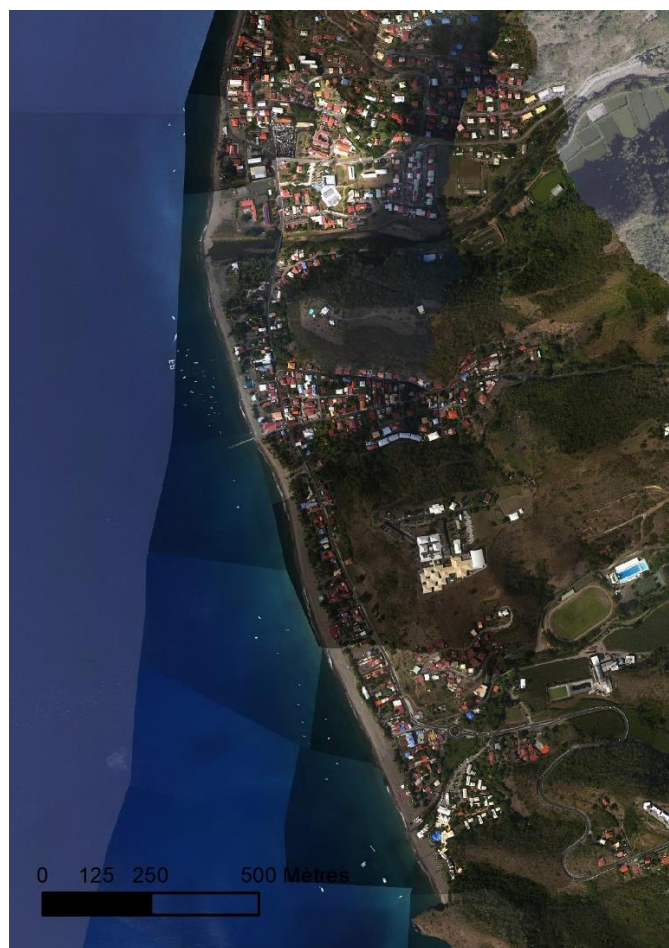
4.1.1. Contexte géographique

Longue de plus de 2 km et convexe, la plage du Carbet est majoritairement orientée nord-sud. C'est une plage dite ouverte caractérisée par un grand linéaire sableux de part et d'autre de l'embouchure de la rivière du Carbet et jusqu'aux enrochements à l'extrémité nord du bourg.

Dans les années 1950, une forêt littorale bordait toute la plage du Carbet (cf. Illustration 15). Depuis, la plage du Carbet et notamment la plage du Coin, a connu une importante urbanisation de son front de mer, jusqu'à la route.



Source : BD Ortho 1951



Source : BD Ortho 2010

Illustration 15 : Disparition totale de la forêt littorale sur le front de mer du Carbet, entre 1951 (à gauche) et 2010 (à droite)

4.1.2. Cellule sédimentaire

La plage constitue une longue cellule sédimentaire d'environ 2.4 km qui peut être séparée en deux sous-cellules de part et d'autre de l'embouchure de la rivière du Carbet (Illustration 17) :

- une plage sableuse de 300 m au nord qui se prolonge par des enrochements mis en place afin de protéger les enjeux en arrière plage ;
- une plage sableuse de 1,6 km au sud de l'embouchure appelée plage du Coin et qui est limitée au sud par une falaise rocheuse (pointe Guotony).

Au sein de cette cellule, la dérive littorale, générée par des houles provenant principalement du nord/nord-ouest, est donc majoritairement de direction nord-sud.



Illustration 16 : Cellule et fonctionnement hydro-sédimentaire de la plage du Carbet (extrait rapport RP-64499-FR)

4.1.3. Position des profils transversaux

L'illustration 17 localise les six profils transversaux espacés en moyenne d'environ 400 m qui ont été considérés dans le cadre de cette étude pour caractériser les évolutions géomorphologiques de la plage.

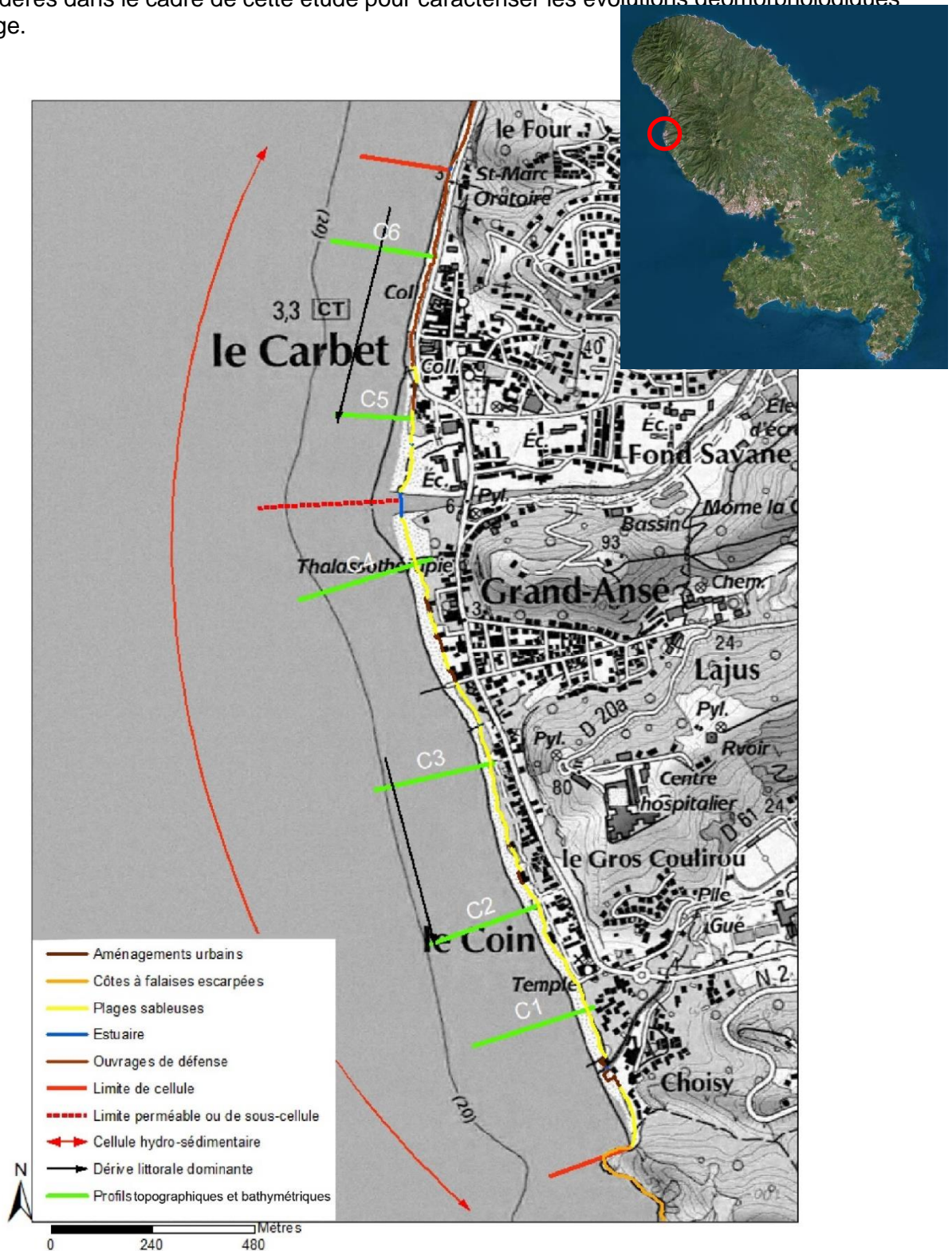


Illustration 17 : Position des profils topo-bathymétriques sur la plage du Carbet (Fond de carte : Scan ©IGN 2007 et encart : image satellite de géoportail©).

4.2. ÉVOLUTION SÉDIMENTAIRE

En complément de l'observation des photographies aériennes, plusieurs levés décrits dans le chapitre 2 ont été menés afin de suivre l'évolution de la plage :

- l'allure topographique et bathymétrique de plusieurs profils transversaux ;
- la position du trait de côte grâce à trois indicateurs.

4.2.1. Évolution multi-décennale du trait de côte

Stabilité de la limite de végétation depuis 1951 sauf aux embouchures

Hormis au niveau de l'embouchure de la rivière du Carbet, la limite de végétation le long de la plage du Carbet apparaît en équilibre entre 1951 et 2010, entre 2004 et 2010 (Illustration 18) mais également entre 2010 et 2017. Cependant, il faut noter que le couvert végétal a nettement évolué : le haut de plage était densément couvert en 1951 alors qu'il s'agit en 2010, d'un couvert épars d'arbres, sans végétation rampante, conquis par l'urbanisation, comme le montrent les Illustration 19, Illustration 20 et Illustration 21.

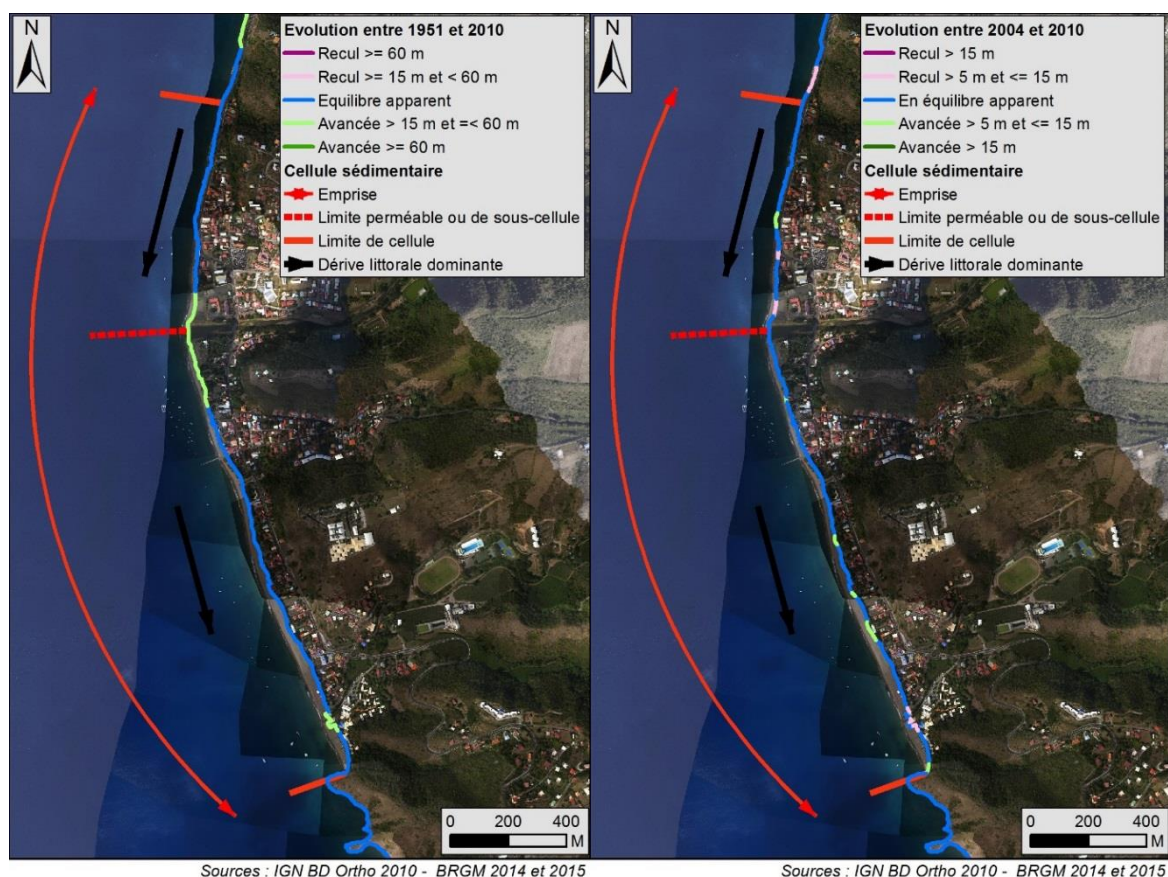


Illustration 18 : Evolution de la limite de végétation entre 1951 et 2010 (à gauche) et 2004 et 2010 (à droite).

A l'embouchure des rivières, la limite de végétation a fortement progradé vers la mer : plus de 50 m entre 1951 et 2010 à l'embouchure de la rivière du Carbet (cf. Illustration 19) et plus de 20 m à l'embouchure de la ravine Thieubert à l'extrémité sud de la plage (cf. Illustration 20).

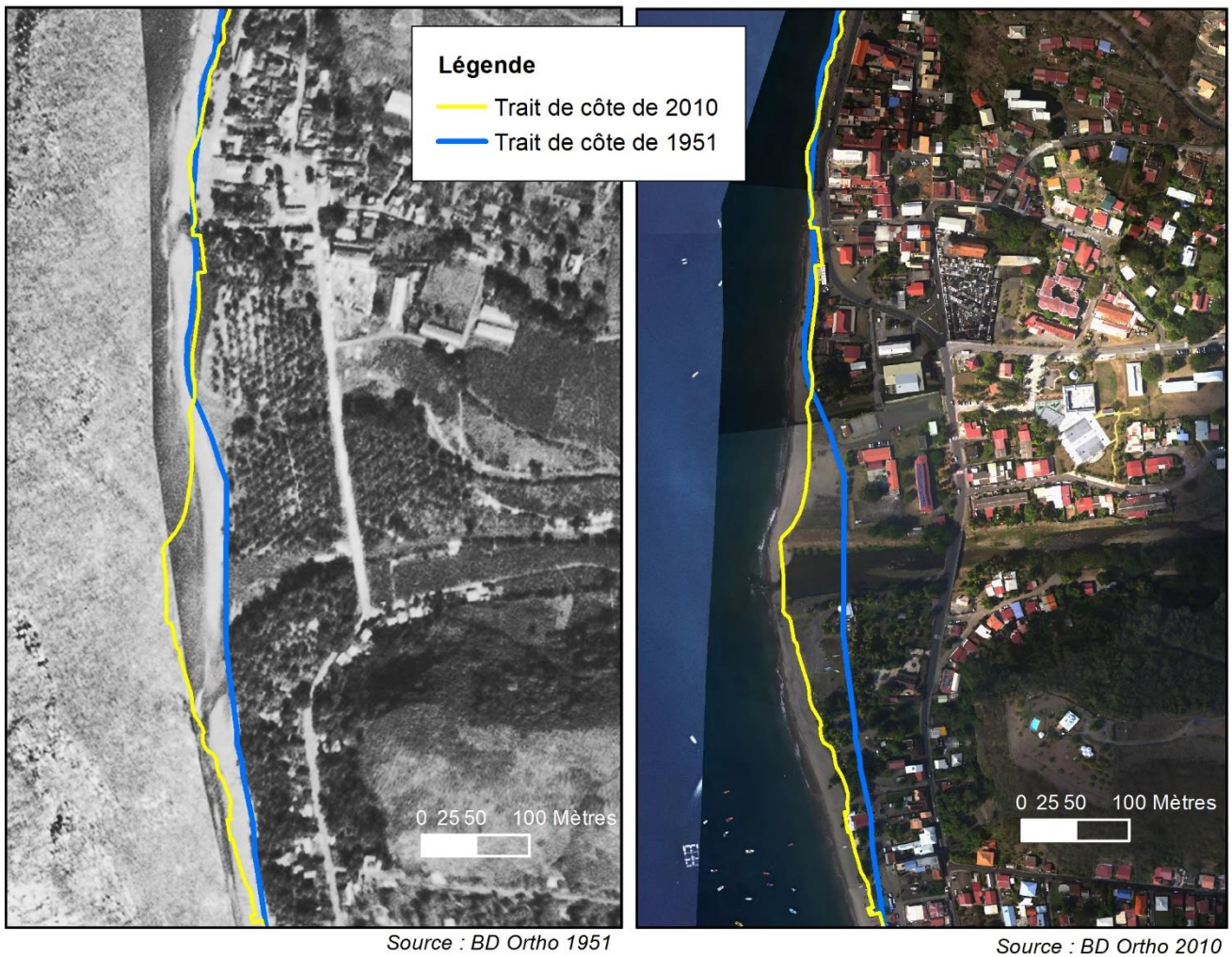


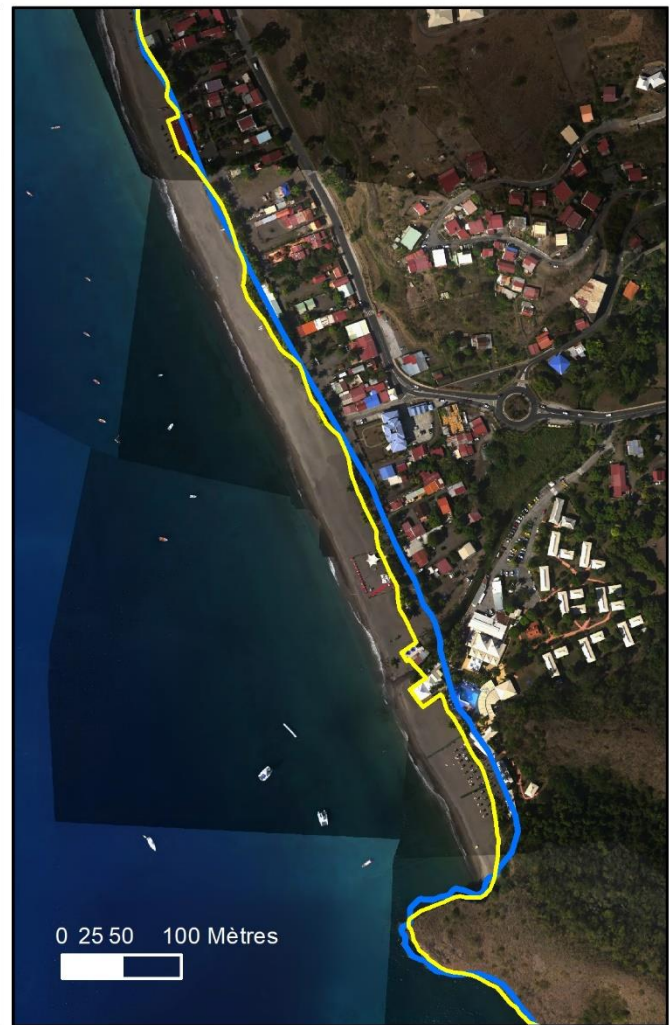
Illustration 19 : Avancée du trait de cote de plus de 50 m à l'embouchure de la rivière du Carbet entre 1951 (à gauche) et 2010 (à droite)

Forte évolution de la largeur de plage depuis 1951

Si l'indicateur de haut de plage évolue peu, la largeur de la plage a considérablement évolué depuis 1951. Elle passe de 10 à 30 m dans la partie sud de la plage (cf. Illustration 20) et à l'inverse, elle a diminué sur la partie nord de la plage (cf. Illustration 19). Remarquons notamment que la plage a totalement disparu au droit des enrochements mis en place à l'extrémité nord de la plage (cf. Illustration 21).



Source : BD Ortho 1951



Source : BD Ortho 2010

Illustration 20 : Elargissement marqué de la plage à l'extrémité sud de la cellule associé à une avancée de la limite de végétation et au développement de l'artificialisation, entre 1951 (à gauche) et 2010 (à droite)



Illustration 21 : Disparition de la plage au droit de l'enrochement

4.2.2. L'impact d'un événement exceptionnel – l'exemple de l'ouragan Maria (18/09/2017)

Le 18 septembre 2017 au soir, les houles cycloniques engendrées par l'ouragan Maria ont frappé le littoral du Carbet. D'importants dégâts matériels ont été répertoriés : déstabilisation d'ouvrages positionnés le long de la plage (affouillement, destructions partielles, ...), chutes d'arbres (cf. Illustration 22).



Illustration 22 : Photos de la plage du Carbet prises deux jours après le passage de Maria (Lombard et Nachbaur, 2017, RP-67298-FR).

Les mesures de terrain réalisées le 20 septembre par le BRGM soit deux jours après le passage de l'ouragan MARIA ont permis de préciser l'impact d'un événement exceptionnel de ce type. Les impacts se concentrent sur la partie centrale et septentrionale de la plage et se manifestent sous forme d'un talus d'érosion de 1 à 2 m de hauteur apparu sur près de 1 km. Avec la formation de ce talus, c'est surtout la limite de végétation qui a reculé. La distance entre le talus/limite végétation post-Maria et la limite de végétation de juillet 2017 atteint 10 m à certains endroits (cf. Illustration 23).

L'illustration 24 présente les variations altimétriques observées entre fin septembre et fin juillet 2017 ce qui intègre l'impact du passage des trois ouragans Irma, José et Maria sur la plage du Carbet. La plage présente un démaigrissement généralisé excepté à l'extrémité sud de la plage entre la pointe rocheuse et l'embouchure de la ravine Thieubert qui apparaît en accrétion.

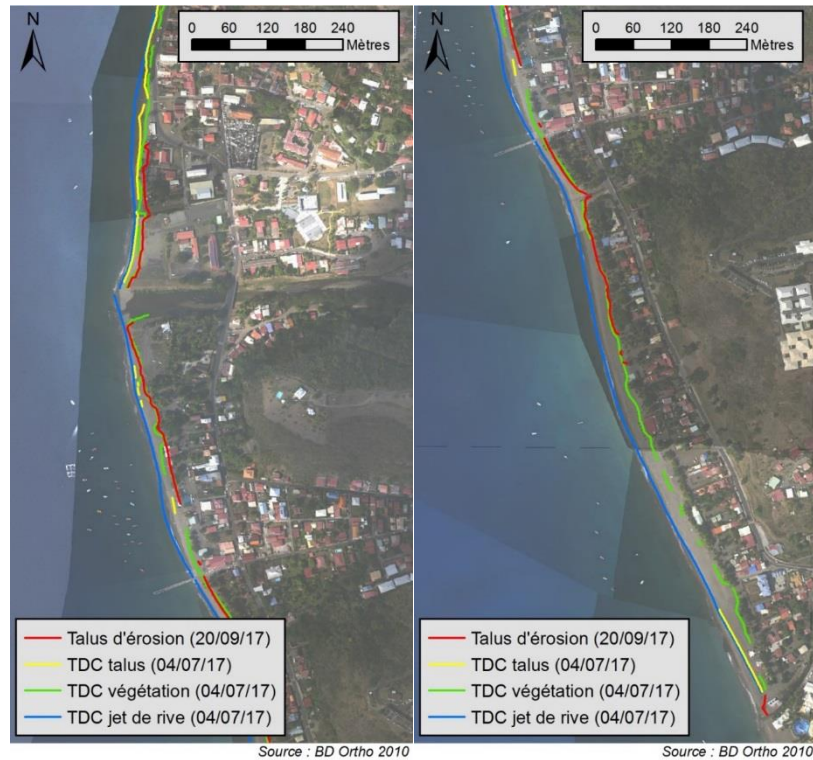


Illustration 23 : Comparaison du tracé du talus d'érosion formé après l'événement MARIA avec les traits de côte relevés en juillet 2017 par DGPS (à gauche, moitié nord – à droite, moitié sud) (extrait du rapport RP-67298-FR)

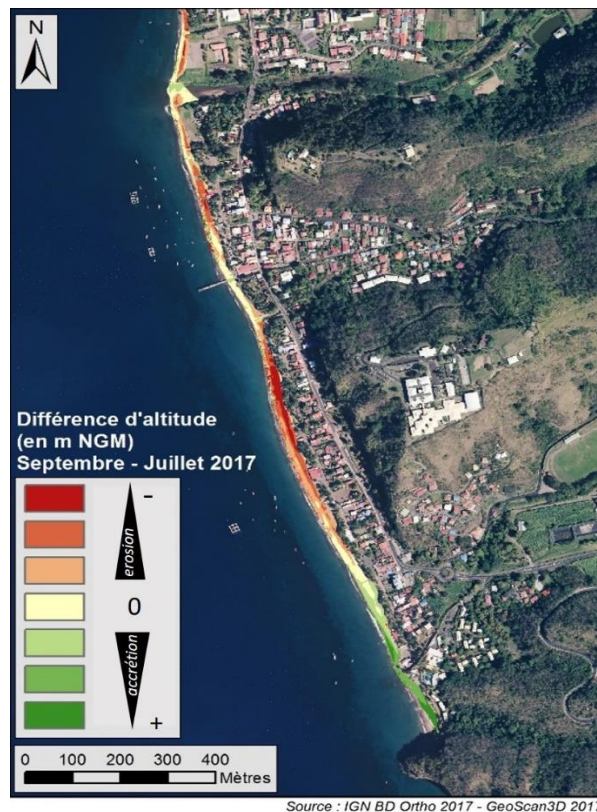


Illustration 24 - Différence altimétrique entre le MNT drone du 22/09/2017, 4 jours après l'ouragan Maria et le MNT drone du 25/07/2017

4.2.3. Evolution récente du trait de côte (entre juillet 2017 et avril 2018)

Position du trait de côte

Entre juillet 2017 et avril 2018, l'indicateur « limite de végétation » a reculé jusqu'à 10 m sur une centaine de mètres de linéaire au nord de la rivière du Carbet mais est restée stable ailleurs (cf. Illustration 25) .

L'indicateur « limite de jet de rive » présente des secteurs en recul et d'autres qui avancent vers le large (Illustration 25) :

- l'extrémité nord présente un recul de la position du jet de rive dans les terres qui atteint 10 m ;
- l'extrémité sud de la plage présente une avancée de la position du jet de rive (soit une augmentation de la largeur de plage car la limite de végétation reste stable) qui atteint 15 m ;
- la partie centrale fluctue entre avancée et recul avec un recul marqué d'environ 8 m au sud du ponton.

Le recul de la position du jet de rive de 10 m constaté entre juillet 2017 et avril 2018 sur la partie nord correspond à une zone qui avait été particulièrement impactée par l'ouragan Irma. Par contre, il est intéressant d'observer que le sud de l'embouchure qui avait également été fortement impacté par Irma ne présente plus d'érosion marquée entre juillet 2017 et avril 2018 (excepté localement).

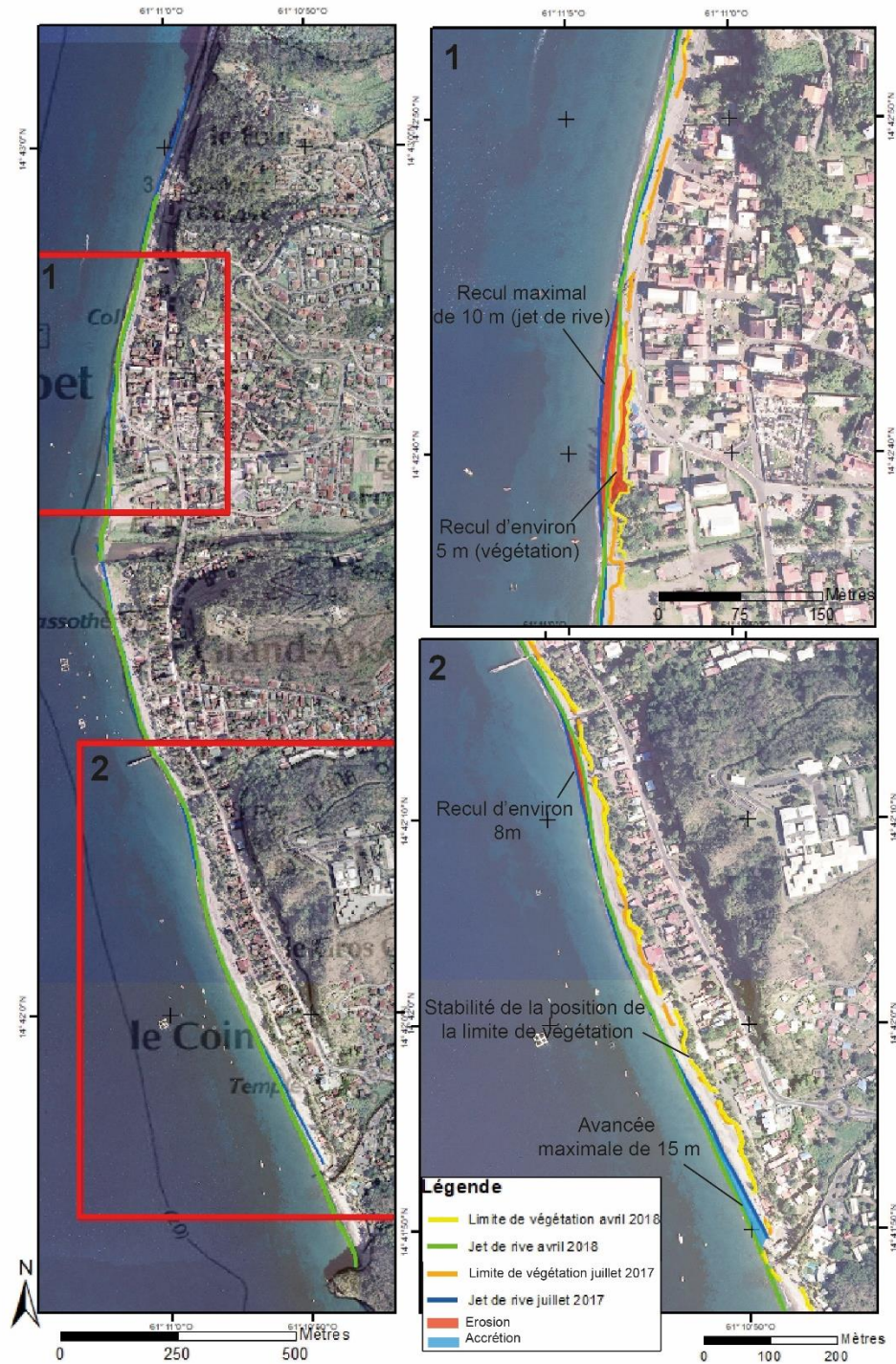


Illustration 25 : Variation de la position du trait de côte entre juillet 2017 et avril 2018 sur les deux sous-cellules de la plage du Carbet.

Le dispositif de photographie installé le 29/09/2017 sur la falaise au sud de la plage (cf. § 2.2.2) permet de suivre en continue les fluctuations de la position du trait de côte sur l'extrémité sud de la plage du Carbet principalement entre la pointe rocheuse et la ravine « Thieubert » et d'apporter un éclairage complémentaire aux mesures de terrain.

Le dispositif ayant été installé le 29/09/2017, la position du jet de rive avant Maria n'est pas connue. On observe la formation d'une berme et une avancée importante du jet de rive dès le 27/11/2017 (Illustration 26).



Illustration 26 : Position et suivi par imagerie vidéo de l'évolution du sud de la plage du Coin au Carbet, on observe l'avancée de la position de la limite de jet de rive avec la formation de la berme de plage indicateur d'accrétion.

Plus largement, cette partie de la plage (l'extrémité sud entre la falaise et l'embouchure) paraît fortement mobile et résiliente. Ainsi, il est intéressant de mentionner l'effet de la houle ayant impacté la côte Caraïbes entre le 4 et le 7 mars 2018 (vigilance jaune pour forte mer déclarée par Météo France). Cette houle a eu un effet constructif très significatif sur cette partie de la plage comme le montre la largeur de la plage constatée le 10 mars par rapport à celle du 28 février (cf. Illustration 27). Il est important de préciser que cette avancée constatée sur la partie sud, ne présume en rien ce qui a pu être observé sur la partie nord de la plage. A l'inverse, la largeur de plage a nettement diminué entre le 08 et le 28 avril sans qu'aucune vigilance n'ait été émise par Météo France (outre une vigilance orange fortes pluies et orage le 16 et 17 avril).

L'analyse fine de la succession des autres photographies qui n'est pas prévue dans le cadre de cette convention, est une perspective prometteuse.

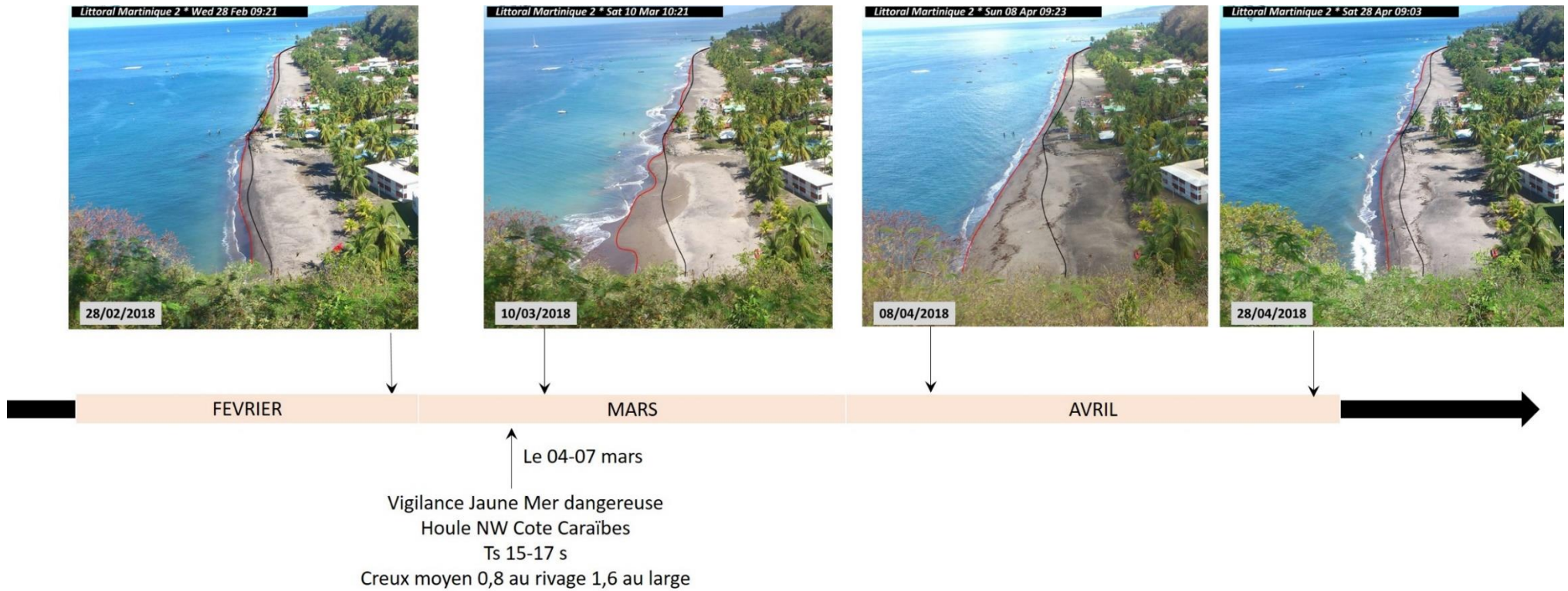


Illustration 27 : Exemple de la dynamique du sud de la plage du Carbet. Photos SOLARCAM ©BRGM. La ligne noire représente la moyenne de la limite du jet de rive de la journée du 30/09/2017. La ligne rouge représente la limite du jet de rive pour chaque photographie, prise un jour et une heure donnés.

Profils topo-bathymétriques

L'évolution des profils topographiques et bathymétriques confirme et complète les tendances observées sur la position du trait de côte.

Dans le secteur nord de l'embouchure de la rivière du Carbet, d'importants phénomènes d'érosion sont observés sur les profils topographiques caractérisant le haut de plage et la plage ; le profil C5 s'est abaissé de 60 à 80 cm et a reculé d'environ 5 m entre juillet 2017 et avril 2018 (Illustration 28).

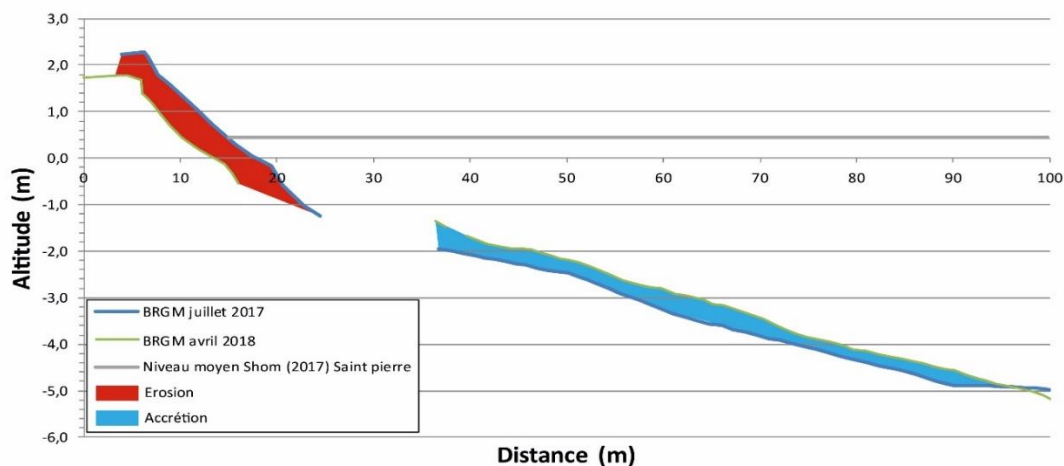


Illustration 28: Evolution du profil topo-bathymétrique C5 au nord de la plage du Carbet entre juillet 2017 et avril 2018.

Le profil C6 n'a pas connu d'évolution significative du fait de la présence des enrochements sur son haut de plage (Illustration 29).

Un point commun notable sur ces deux profils, C5 et C6, est l'accrétion généralisée du bas de plage (en moyenne élévation de 40 cm) (Illustration 29).

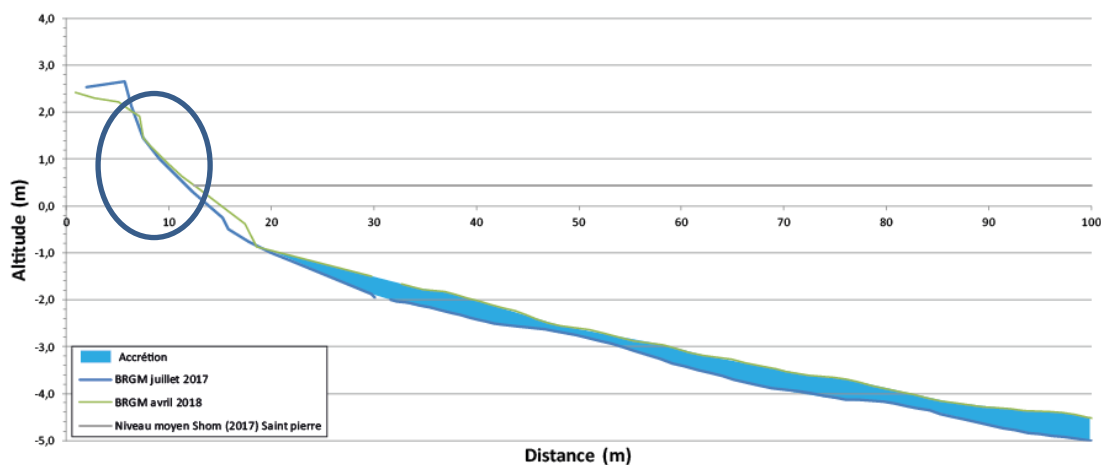


Illustration 29: Evolution du profil topo-bathymétrique C6 à l'extrémité nord de la plage du Carbet entre juillet 2017 et avril 2018.

Au sud de la rivière, le profil C4 situé à proximité de l'estuaire a connu une forte accrétion de son haut de plage (élévation de +60 cm) entre juillet 2017 et avril 2018 (Illustration 30).

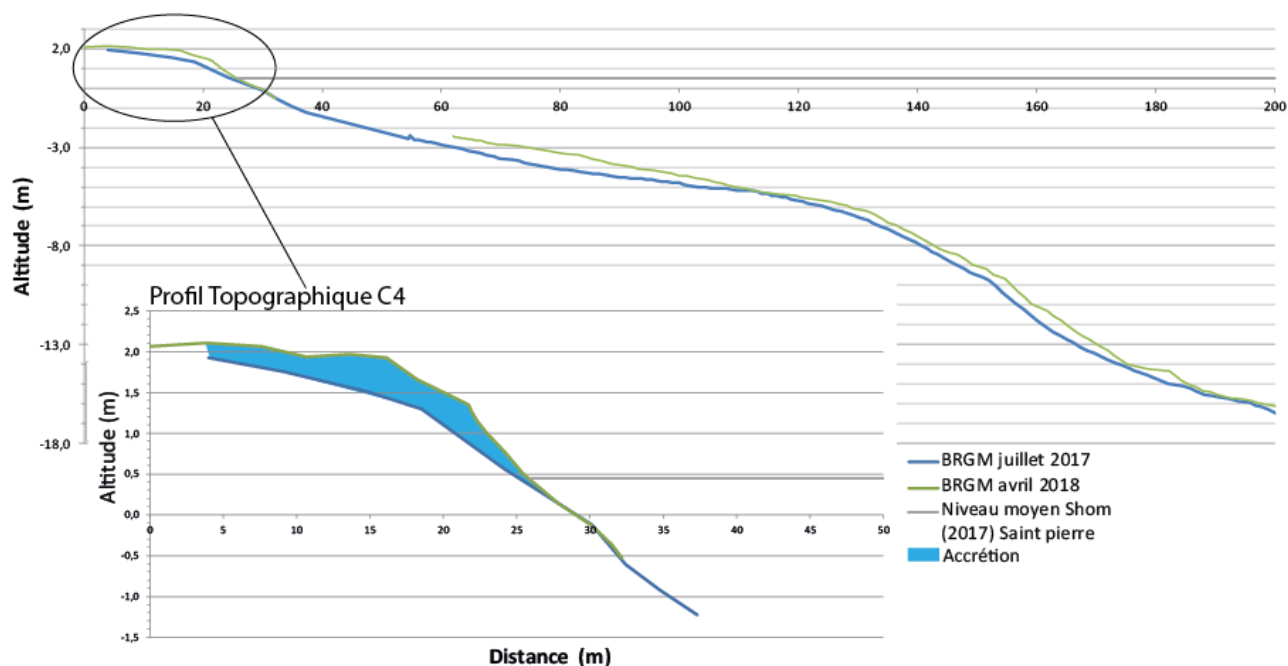


Illustration 30: Evolution du profil topo-bathymétrique C4 entre juillet 2017 et avril 2018.

Entre janvier 2018 et avril 2018, des précipitations exceptionnelles ont été enregistrées par Météo France (326 % d'excédent par rapport à la normale enregistré en février 2018 à Saint-Pierre) (Bulletin météo France, février 2018). Ces précipitations engendrent d'importantes mobilisations de sédiments qui se retrouvent charriés par les rivières jusqu'à l'embouchure et qui sont ensuite répartis par la dérive littorale sur les côtes. La forte accrétion constatée sur le profil C4 (situé à 150 m en aval dérive de l'embouchure) pourrait donc s'expliquer par ces apports terrestres.

L'évolution des profils C3 et C2, situés au sud du ponton, est caractérisée par une érosion du haut de plage (abaissement de 1 m pour le profil C3 et de 30 cm pour le profil C2) et une accrétion au niveau du proche côtier (élévation d'environ +60 cm pour les deux profils). A noter également la disparition de la berme entre juillet 2017 et avril 2018 au niveau du profil C2 (Illustration 31).

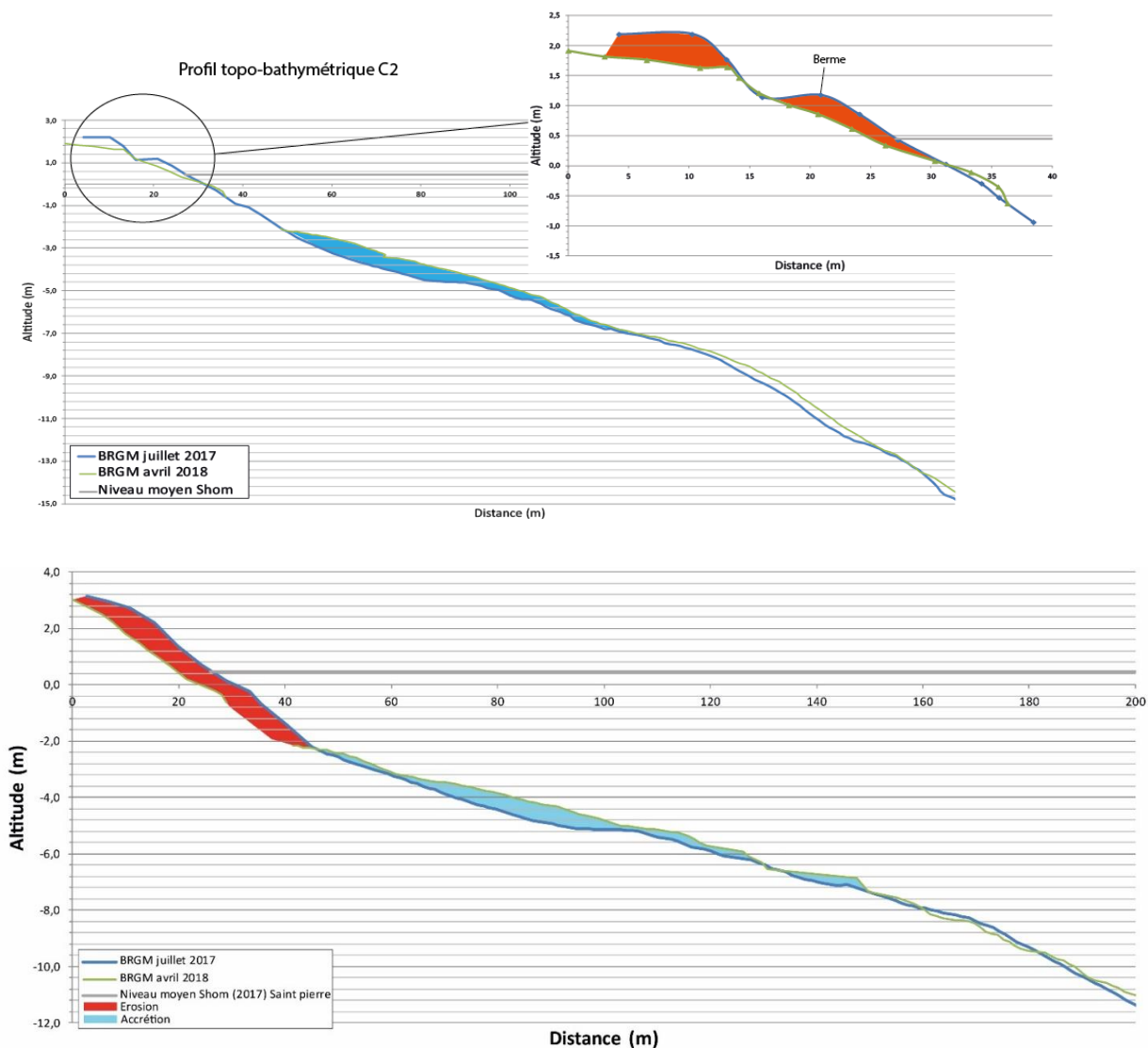


Illustration 31: Evolution des profils C2 (en haut) et C3 (en bas) entre juillet 2017 et avril 2018.

Le profil le plus au sud (profil C1) présente une évolution morphologique qui se distingue des autres. Sur la période d'étude, le haut de plage s'est légèrement érodé (environ -30cm) avec la mise en place d'un petit talus d'érosion. Le reste du profil présente une importante accrétion (+1.50 m) et la formation d'une berme. Le proche côtier est également en accrétion (Illustration 32).

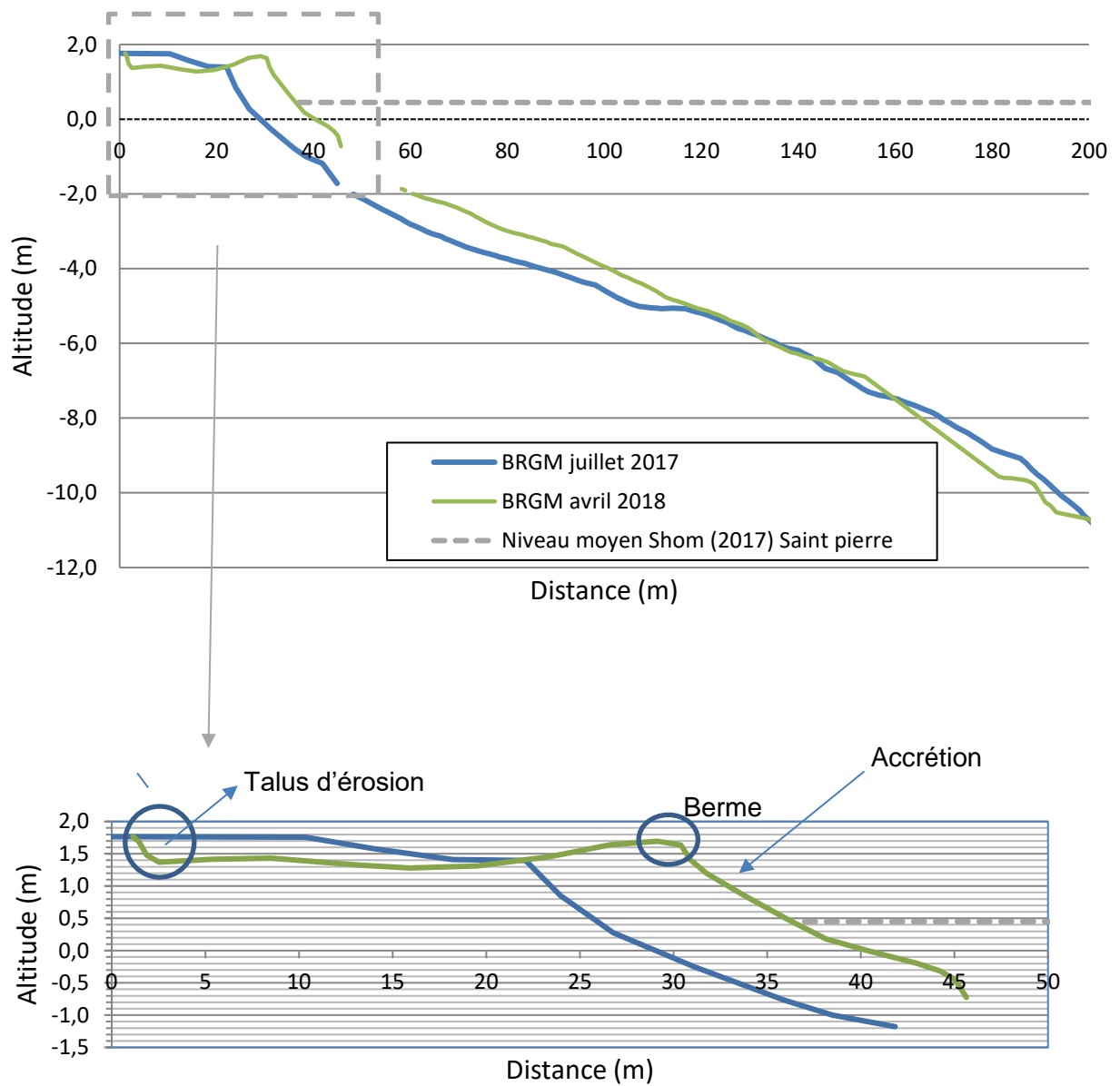


Illustration 32 : Evolution du profil topo-bathymétrique C1 à l'extrémité sud de la plage du Carbet entre juillet 2017 et avril 2018.

4.3. CONCLUSION

4.3.1. Enseignement sur la dynamique sédimentaire de la plage

L'analyse des évolutions morphologiques passées et les mesures de terrain récentes ont permis d'améliorer la compréhension de la dynamique sédimentaire de cette cellule littorale.

La limite de la végétation de la plage du Carbet, marquant la limite entre le haut de plage et le domaine continental, apparaît stable sur le long terme bien que le couvert végétal se soit raréfié depuis 1951 (il n'est plus que constitué d'arbres épars avec de rares vestiges de végétation rampante cf. Illustration 20, Illustration 21 et Illustration 22). Si la limite de végétation est relativement stable, la largeur de la plage et donc le stock sédimentaire ont considérablement évolué depuis 1951 ce qui est un signe de la forte dynamique qui existe au sein de cette cellule sédimentaire.

Au sein de cette cellule sédimentaire, le sable circule à la fois du nord vers le sud au gré de la dérive littorale (déplacement le long de la plage dit long shore) et perpendiculairement à la plage comme en témoignent les stocks de sable qui se sont accumulés dans le proche côtier en pied de profils bathymétriques (déplacement transversal dit cross shore). En résumé, le sable remobilisé aura donc tendance à alimenter le sud de la plage du Carbet. Notons que la mise en place des enrochements fixant le trait de côte à l'extrémité nord de la cellule n'a pas évité l'érosion et a entraîné la disparition de la plage à son pied, cet aménagement a probablement participé à alimenter le sud de la plage en sédiment.

Les mesures réalisées au cours de cette étude ont permis d'observer les effets d'un événement climatique exceptionnel sur le système littoral du Carbet. Les conséquences de l'Ouragan Maria (18 septembre) ont été mesurées lors d'un levé post-événement effectué le 20 septembre par le BRGM soit et du suivi de juillet 2018.

Globalement, sept mois après IRMA, il reste encore de nets marqueurs de l'impact de l'ouragan Maria dans les parties nord et centrale de la plage (cf. Illustration 25 et profils C5). L'érosion du haut de plage a provoqué la diminution du stock sableux de haut de plage et donc un déplacement de la zone de jet de rive vers la terre voire un recul de la végétation. La capacité de retour à la normale suite à un événement exceptionnel de ce type paraît plus forte au sud de l'embouchure sous l'effet constructeur des houles (non cycloniques) et des matériaux terrestres apportés par la rivière du Carbet. En effet, la forte progradation aux embouchures entre 1951 et 2010 (et l'allure du profil C4 sur l'illustration 30) a tendance à confirmer la part importante de l'apport terrestre sur la dynamique sédimentaire ce qu'il faut désormais s'attacher à confirmer.

Le suivi photographique a par ailleurs montré la très forte dynamique sédimentaire de l'extrémité sud (au sud de l'embouchure de la ravine Thieubert), la largeur de plage fluctuant fortement et rapidement au gré d'un événement que cela soit de manière destructrice ou constructive (cf. l'effet constructeur des houles de mars 2018). Le sable est bloqué contre le cap rocheux qui constitue une vraie frontière sédimentaire pour cette cellule. La poursuite du suivi à l'échelle de la cellule permettrait de quantifier les volumes potentiellement perdus vers le large et de les relier à des conditions climatiques.

4.3.2. Adaptation du protocole de suivi existant

La connaissance du fonctionnement de cette plage s'est nettement enrichie et permet de se concentrer sur la connaissance de la dynamique saisonnière en prenant en compte notamment les forçages marins et les apports terrestres. Ceci permettra à terme d'envisager

le déploiement de modèles de prévision ainsi que de préciser les scénarios d'impact du changement climatique sur une plage de ce type.

Il paraît désormais nécessaire de compléter le dispositif de suivi actuel par un suivi de la nature des sédiments le long de la plage afin de conforter l'hypothèse formulée ci-dessus.

Cette étude a confirmé l'intérêt d'un suivi continu de type photographique sur ce type de plage présentant une forte dynamique saisonnière et l'intérêt de capitaliser et exploiter des données sur une durée d'observation suffisamment longue (et si possible en automatisant les traitements).

A ce suivi photo régulier, il faut donc nécessairement pouvoir associer le suivi des conditions hydrodynamiques et à terme, le suivi des conditions hydrauliques dans la rivière du Carbet puisque son rôle déterminant a été mis en évidence ici.

La dynamique particulière de la plage du Carbet a également confirmé la nécessité de travailler sur l'indicateur « jet de rive » en complément de l'indicateur « limite de végétation », pour suivre l'évolution de la largeur de plage en complément de l'évolution de la position du trait de côte.

Ainsi, concernant la cellule sédimentaire du Carbet, il est préconisé de :

- Poursuivre le suivi photographique de l'extrémité sud de la plage pour améliorer la caractérisation du dynamisme saisonnier. De manière à comprendre cette dynamique à l'échelle de la cellule, il serait pertinent d'installer un dispositif similaire sur la partie nord, secteur en érosion récurrente où se concentrent les risques ;
- Une analyse granulométrique ainsi qu'une première identification à la loupe binoculaire sur des prélèvements superficiels sur les plages et estuaire permettraient de caractériser plus finement les sables afin de mieux caractériser l'origine des apports (marins ou fluviaux) (notamment pour le profil C4) ;
- Poursuivre les mesures annuelles topo-bathymétriques le long des profils, notamment sur la partie nord de la plage où le retour à l'équilibre n'est pas assuré. Le suivi bathymétrique s'est avéré ici très important puisqu'il permet de suivre le déplacement du sable perpendiculairement à la côte. Un bilan sédimentaire (pertes sur le haut de plage par rapport au stock immergé de bas de plage) s'avère désormais pertinent pour consolider le propos ;
- Poursuivre le suivi de l'évolution du trait de côte et notamment de la largeur de la plage, au moyen de mesures de terrain annuelles et après chaque épisode exceptionnel, des deux indicateurs « jet de rive » et « limite de végétation ».

5. Dynamique sédimentaire de la plage des Salines

5.1. CONTEXTE

5.1.1. Contexte géographique

Exposées vers le sud-ouest, la Petite Anse des Salines au nord-ouest est longue de 350 m et la Grande Anse des Salines au sud-est s'étend sur 1400 m de longueur.

Ces plages sont encadrées par des promontoires rocheux d'origine volcanique (basaltes et andésites). La Petite Anse des Salines est encadrée par la Pointe Catherine à l'ouest et la Pointe Pie à l'est. La Grande Anse des Salines est délimitée par la pointe Pie à l'ouest et la Pointe des Salines à l'est. Il n'y a pas de réseau hydrographique. Le cordon sableux délimite une lagune (Etang des Salines) et un marais maritime.

5.1.2. Cellule sédimentaire

Ces deux plages appartiennent à la même cellule sédimentaire c'est-à-dire qu'il peut exister des transferts sédimentaires d'une plage vers l'autre (Nachbaur et al., 2015). Elles sont séparées par une côte rocheuse peu escarpée (Pointe Pie) dont le prolongement en mer constitue une limite perméable (cf. Illustration 33).

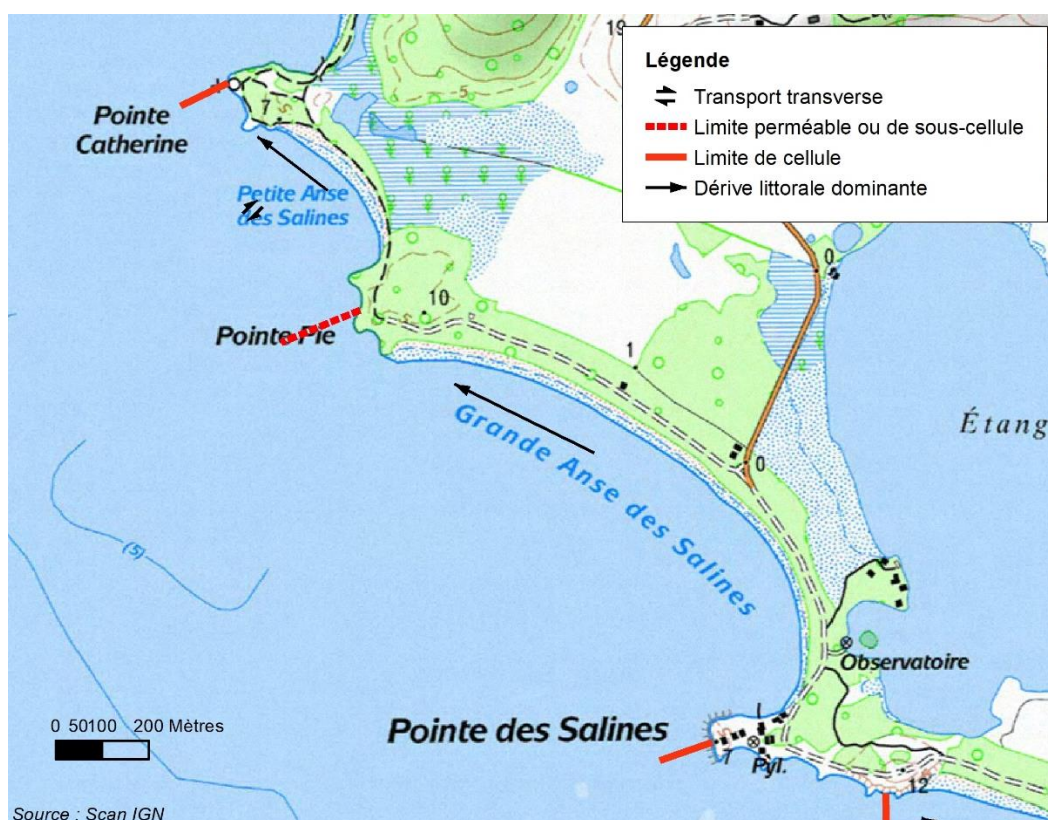


Illustration 33 : Cellule et fonctionnement hydro-sédimentaire de la plage des salines (source : rapport RP-64499-FR)

5.1.3. Position des profils transversaux

L'illustration 34 localise les six profils transversaux qui ont été réalisés.

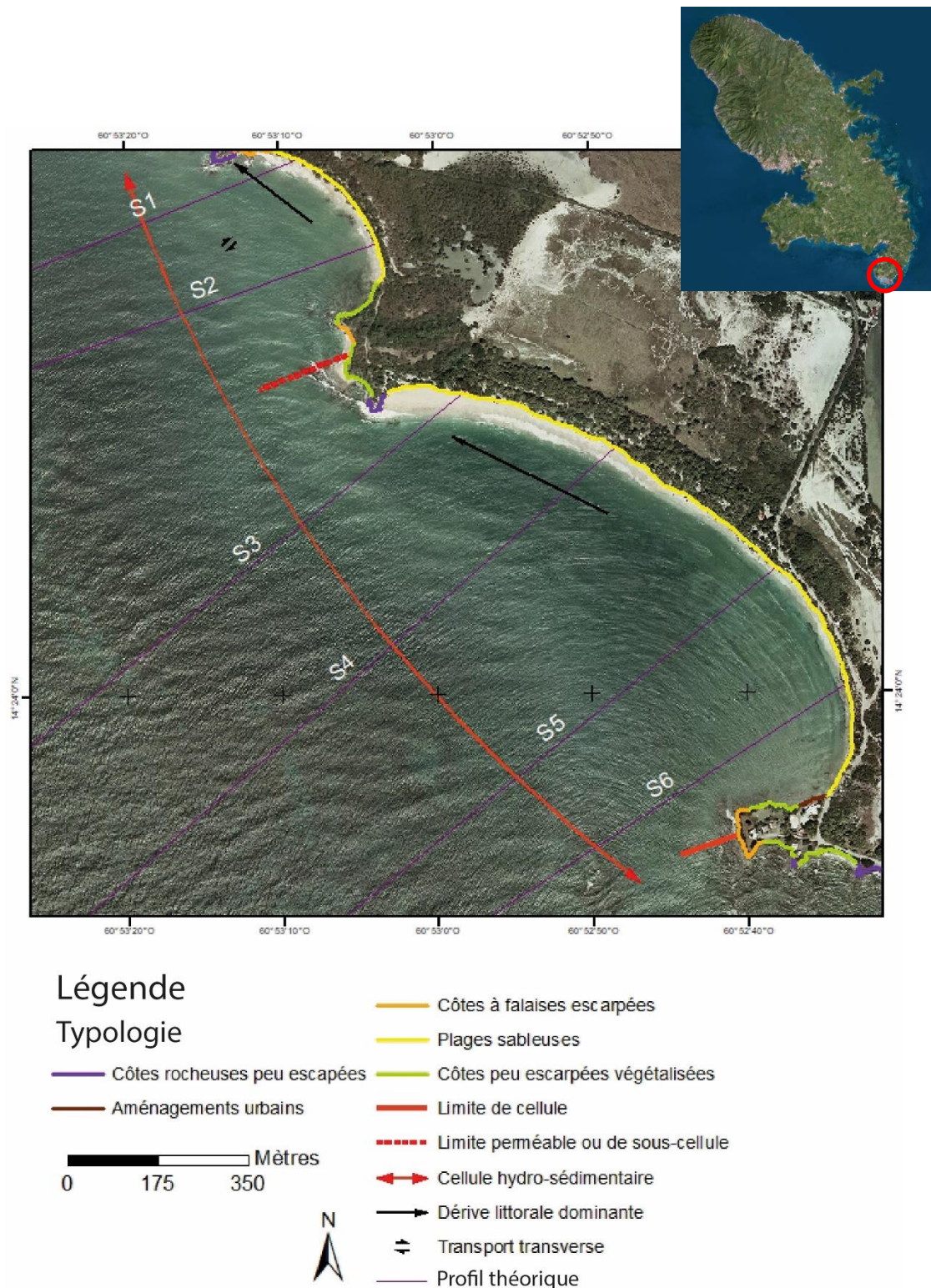


Illustration 34: Position des profils topo-bathymétriques sur la plage des anses des Salines (Fond : Orthophotographie de 2004)

5.2. ÉVOLUTION SÉDIMENTAIRE

En complément de l'observation des photographies aériennes, plusieurs types de mesures décrits dans le chapitre 2 ont été menés afin de suivre l'évolution de la plage :

- la topographie et la bathymétries de plusieurs profils transversaux ;
- la position du trait de côte grâce à trois indicateurs.

5.2.1. Évolution multi-décennale et décennale du trait de côte

La limite de végétation de la Grande Anse des Salines est en recul entre 1951 et 2010 (entre 15 et 20 m) et stable entre 2004 et 2010 tandis que celle de la Petite Anse des Salines est en équilibre apparent quelles que soient les fenêtres d'observation (cf. Illustration 35).

La Grande Saline présente une largeur de plage particulièrement réduite au sud-est et qui augmente progressivement jusqu'à atteindre 30 m environ à l'extrémité nord-ouest (voire 45 m sur la photo de 2004). A l'extrémité sud, la bande sableuse varie entre 6 et 9 m sur les différentes photos.

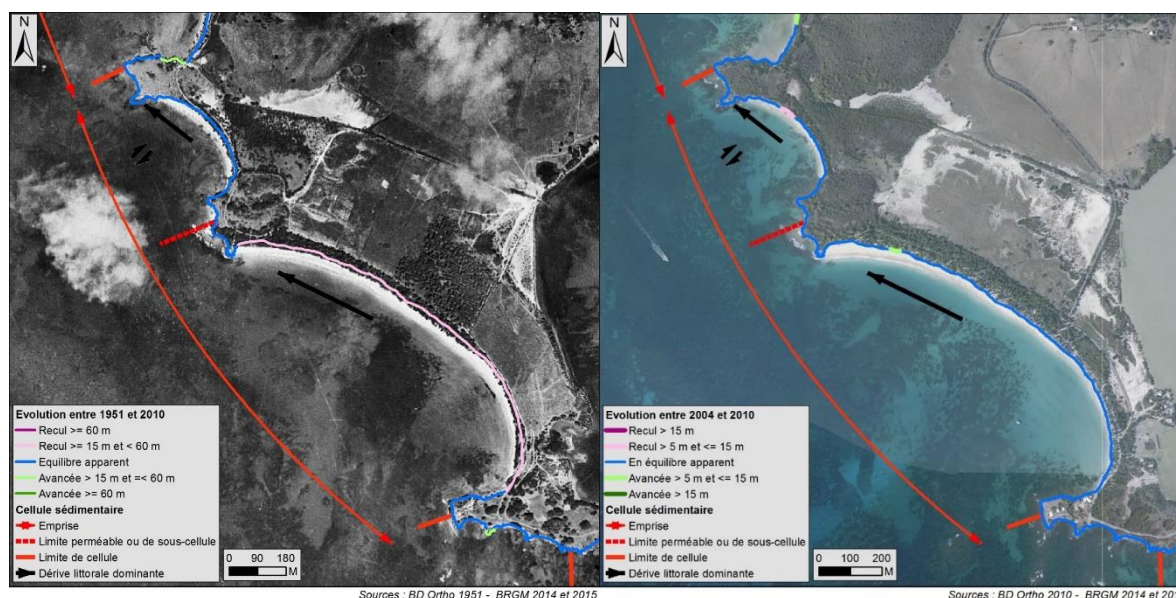


Illustration 35 : Evolution de la position du trait de côte au niveau de Grande Anse et Petite Anse des Salines (Fond: Orthophotographie de 1951 (à gauche) et 2010 (à droite)).

La surface occupée par la forêt littorale s'est agrandie entre 1951 et 2017 : la largeur de la bande forestière d'arrière plage a doublé pour passer de 40 m en 1951 à 85 m en 2017. En revanche, entre 2004 et 2010, on constate une diminution de la densité de la végétation du haut de plage.

La dynamique constatée sur le long terme entre 1951 et 2010 est également celle observée entre 2010 et 2017, c'est-à-dire un démaigrissement de la partie sud de la plage au profit de la partie nord (cf. Illustration 36). Cependant, remarquons que cette image (Illustration 36) intègre probablement de nombreux basculements intermédiaires et ne permet pas d'en isoler un seul.

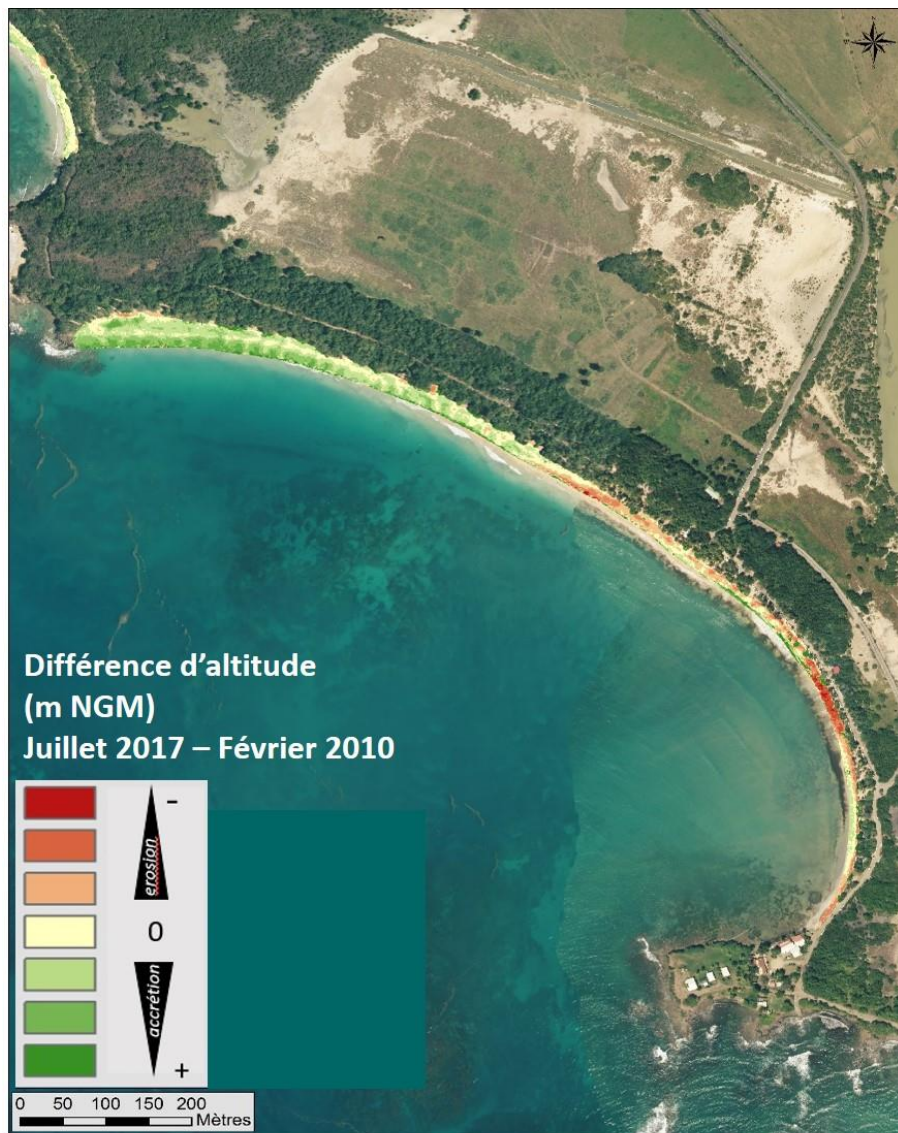


Illustration 36 : Différence altimétrique entre le MNT drone de juillet 2017 et le MNT Litto 3D de 2010 (©IGN) sur la Grande Anse des Salines

5.2.2. Impact d'événements extrêmes

Le cyclone DEAN a entraîné un recul localisé au Nord-Ouest de la plage en 2007 (Barras et Koller, 2010) et un rechargement de la partie sud-est après le passage d'OMAR (2008).

Il n'y a pas eu de campagnes de terrain sur cette plage après le cyclone Maria en septembre 2017 mais l'ONF décrit une « érosion importante » de la Petite Anse des Salines (ONF, 2017).

5.2.3. Évolution récente (entre juillet 2017 et avril 2018)

Position du trait de côte

Les deux anses ont suivi un comportement similaire en terme de variation du trait de côte. L'indicateur limite de végétation est resté stable sur toute la cellule entre juillet 2017 et avril 2018 excepté quelques variations très ponctuelles causées par des chutes d'arbres ou par une disparition localisée de la végétation basse (piétinement). La relative stabilité de cet

indicateur permet de supposer que les houles cycloniques de l'ouragan Maria ont fait peu de dégâts sur cette plage (cependant, il n'y a pas eu d'observation post-tempête sur cette plage dans le cadre de cette étude).

Quant à l'indicateur de limite de jet de rive, il a connu une variation spatiale sur les deux anses avec un recul à l'extrémité nord-ouest et une avancée à l'extrémité opposée (Illustration 37).

Ce type d'observation est caractéristique d'un basculement du stock sédimentaire de la plage causée par un changement d'orientation des houles incidentes morphogènes, peut-être lors des épisodes énergétiques de septembre 2017.

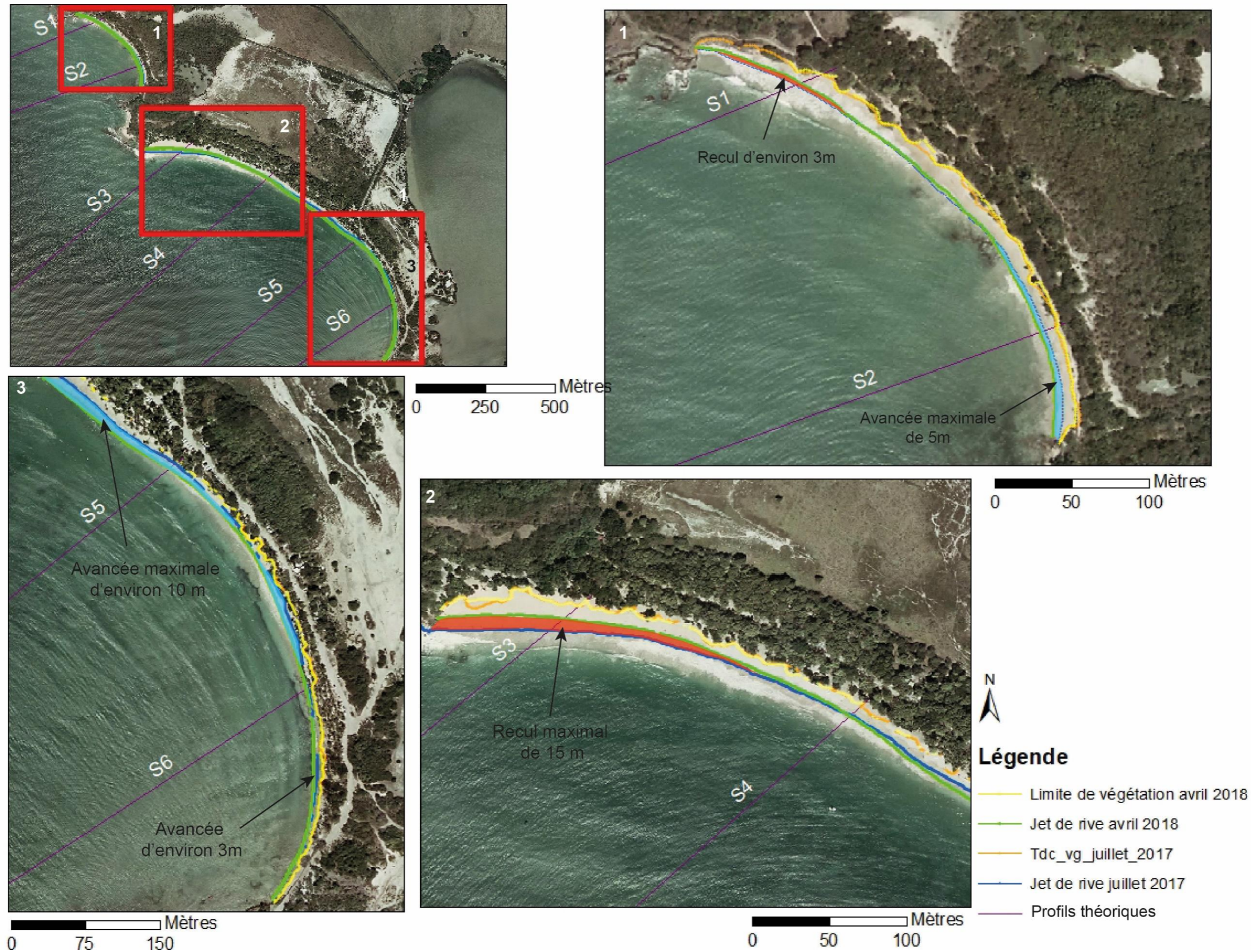


Illustration 37: Evolution de la position du trait de côte au niveau de grande Anse et petite Anse des Salines (Fond: Orthophotographie de 2004).

Evolutions récentes des profils topo-bathymétriques

Le basculement du stock sédimentaire s'observe également sur les profils topo-bathymétriques et notamment sur le haut de plage (stock émergé). Quant à la partie immergée, on constate une forte similitude des deux profils bathymétriques qui nécessite de conduire, par la suite, une analyse plus fine en repérant notamment les points durs (rocher) pour caler les profils en altimétrie.

Le profil S1, situé à l'extrémité nord-ouest de la Petite anse des Salines, présente une érosion de 30 cm au milieu du profil, entre juillet 2017 et avril 2018 (cf. Illustration 38).

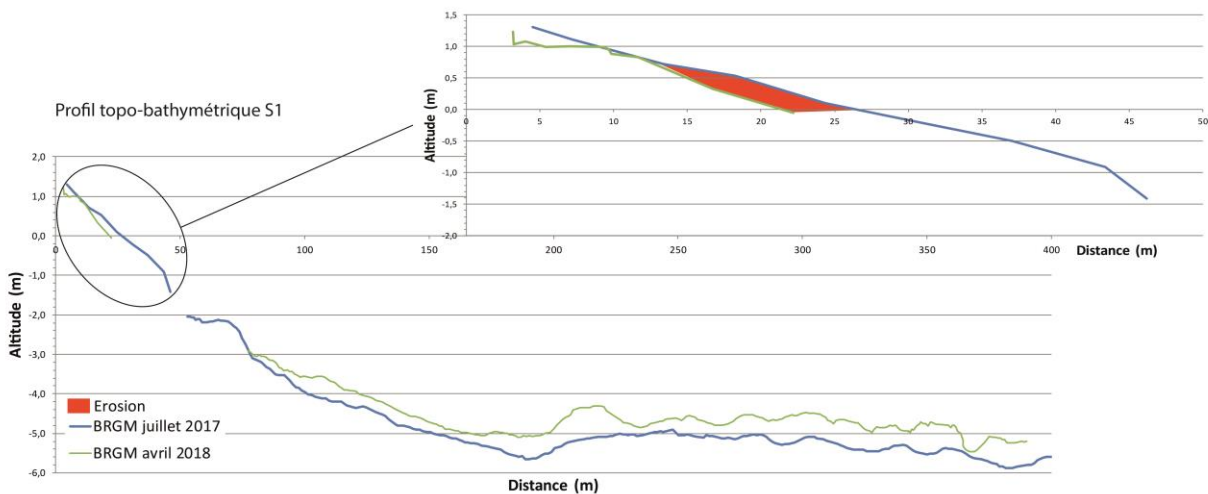


Illustration 38 : Evolution du profil topo-bathymétrique S1 entre juillet 2017 et avril 2018.

Le profil S2 présente un gain homogène en sédiment sur tout le profil, avec une accrétion de + 20 cm (Illustration 39).

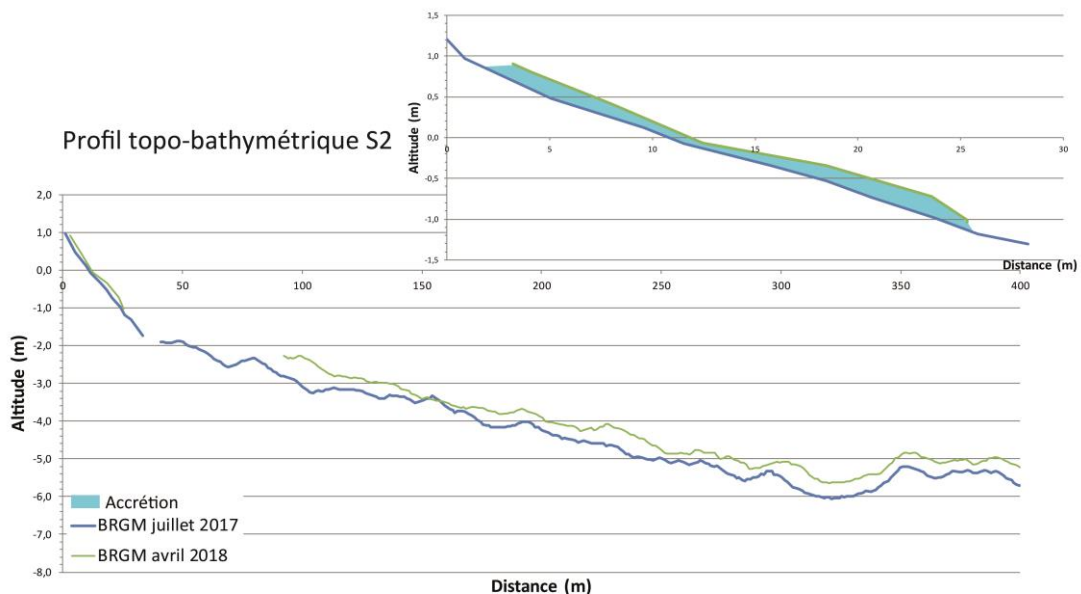
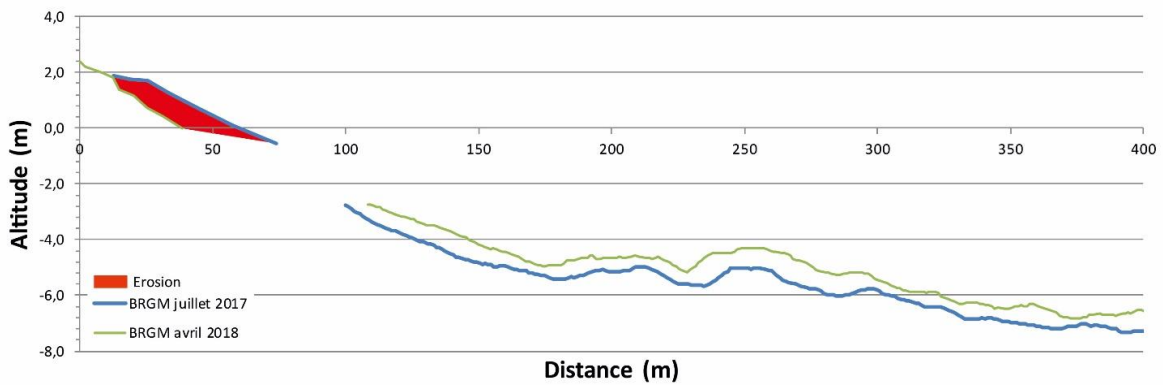


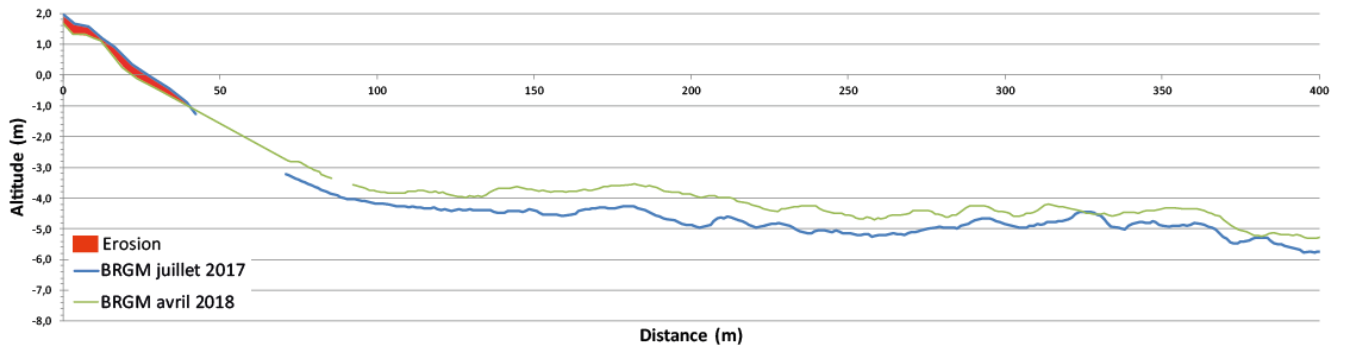
Illustration 39 : Evolution du profil topo-bathymétrique S2 entre juillet 2017 et avril 2018.

La Grande Anse suit la même tendance de basculement du nord-ouest vers le sud-est, avec de l'érosion significative sur les profils les plus à l'ouest (S3 et S4), quantifiée à - 1 m pour S3 et - 0,4 m pour S4 et une accréation sur les deux profils à l'est (S5 et S6), + 0,50 m pour S5 et + 0, 20 m pour S6 (Illustration 40).

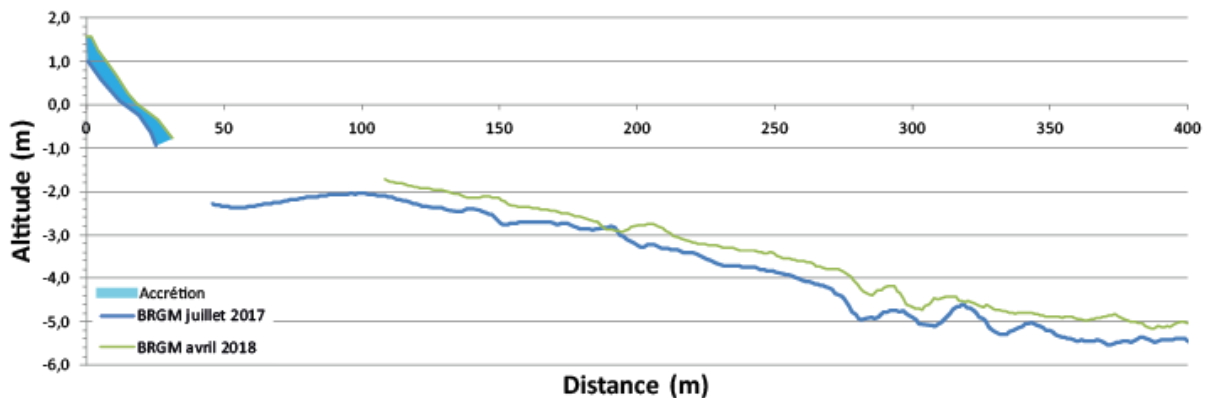
Profil topo-bathymétrique S3



Profil topo-bathymétrique S4



Profil topo-bathymétrique S5



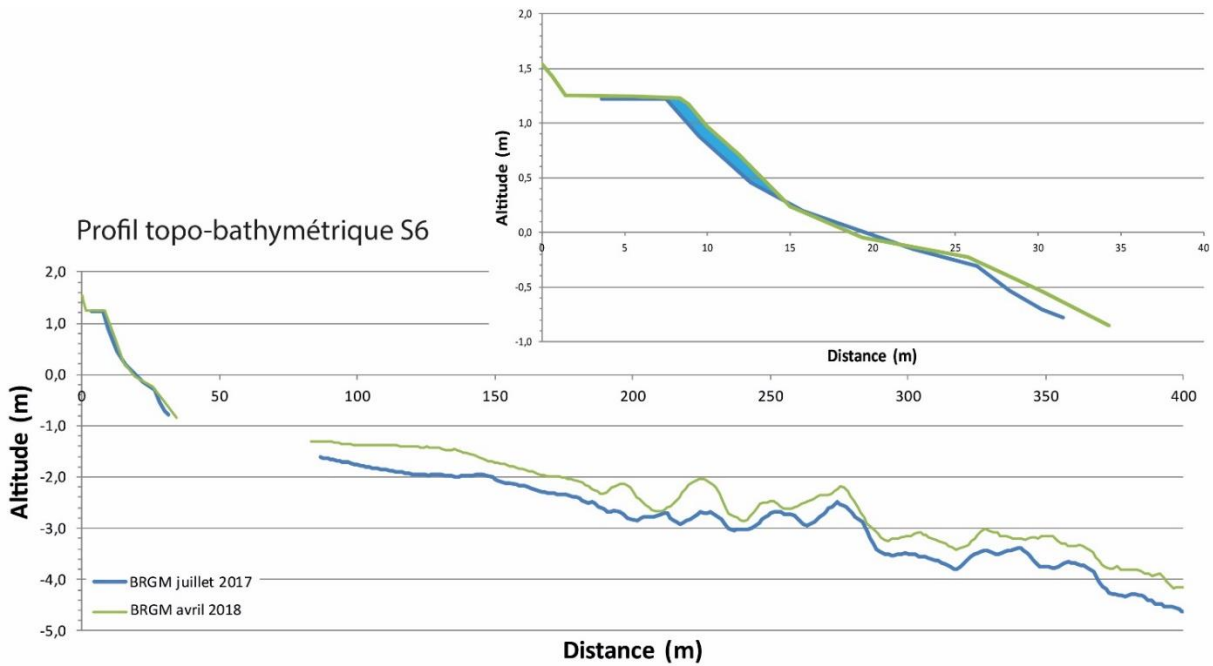


Illustration 40 : Evolution des profils topo-bathymétriques S3 à S6 entre juillet 2017 et avril 2018.

Observations de terrain

Les observations de terrain ont également permis de mettre en évidence ce basculement de la plage avec l'affleurement du beachrock à l'extrémité ouest et la formation d'une berme (indicateur d'accrétion) à l'extrémité est (Illustration 41).



Illustration 41 : Photographies obliques de la plage de Grande Anse prises le 23/08/2017

5.3. CONCLUSION

L'analyse des évolutions morphologiques passées et les mesures de terrain récentes ont permis d'améliorer la compréhension de la dynamique sédimentaire de cette cellule sédimentaire.

5.3.1. Enseignement sur la dynamique des plages des Salines

Ces plages ne sont alimentées par aucune rivière ; elles bénéficient essentiellement d'apports marins.

La dynamique des plages des Salines est sous l'influence marquée de la dérive littorale qui fonctionne, dans son régime habituel, du sud vers le nord sous l'influence des houles atlantiques qui parviennent à contourner la Pointe des Salines (De La Torre et Nachbaur, 2016). Cette dynamique se manifeste sur le terrain par l'asymétrie du corps sédimentaire (plage plus large au nord qu'au sud).

Sur la période de mesure, on constate cependant un basculement du stock sédimentaire correspondant à une inversion de l'orientation de la dérive littorale certainement générée par un fort événement énergétique engendrant une houle de direction ouest/nord-ouest (hypothèse qu'il faudrait confirmer par des données hydrodynamiques).

Ces inversions de la dérive littorale permettent de recharger le sud de la plage et de limiter ainsi son érosion naturelle. En effet, la limite de la végétation de la plage de la Grande Anse des Salines apparaît en recul sur le long terme de 15 à 20 m tandis que celle de la Petite Anse des Salines est en équilibre apparent quelles que soient les fenêtres d'observation. Cette érosion constatée depuis 1951 a une composante naturelle très probablement accentuée par la forte fréquentation du site réduisant la capacité de rétention du sable en haut de plage (stationnement des véhicules, piétinement de la végétation de haut de plage, ...). Non affectée par les actions humaines, la plage de Petite Anse est un bon témoin.

5.3.2. Recommandations et adaptation du protocole de suivi

Vu le recul de la végétation constatée depuis 1951 et la pression anthropique exercée sur la plage, la priorité consiste à mettre en place des mesures de gestion dont quelques-unes sont évoquées par De La Torre et Nachbaur (2016). La mise en place de ces mesures ne doit pas être choisie au détriment d'un dispositif de suivi qui garde tout son intérêt pour mesurer l'efficacité des mesures, les adapter et poursuivre la connaissance du système.

Le protocole de mesure actuel est globalement adapté au suivi de la dynamique moyen et long terme d'une plage à basculement sédimentaire de ce type, suivi pour lequel les deux indicateurs « limite de végétation » et « jet de rive » sont nécessaires. Plusieurs recommandations permettraient de renforcer les enseignements :

- Compléter ce suivi par un suivi photographique (de type Timelapse SolarCam) pour suivre l'inversion de la dérive littorale et le basculement du stock sédimentaire ;
- Poursuivre les mesures annuelles topo-bathymétrique le long des profils en réduisant la longueur des profils et le suivi multi-décennal du trait de côte au moyen d'une à deux mesures par an, à période fixée. Il est nécessaire de coupler ces mesures par l'identification de points de contrôle (rocher). Le suivi continu permettrait de replacer ces mesures ponctuelles dans la dynamique en cours ;

- Conduire des relevés post-cycloniques ;
- Initier un suivi annuel de l'évolution de la nature du couvert végétal et notamment de la végétation basse à l'aide des premiers éléments de référence établis dans le cadre de cette étude ;
- Pour vérifier l'influence anthropique mais également à titre pédagogique, il serait pertinent de chercher à préciser l'allure de la plage avant 1951 au moyen d'images d'archives.

6. Dynamique sédimentaire de la plage de Coco l'Échelle

La plage de Coco l'Échelle présente la particularité d'être une « nouvelle » plage, liés aux aménagements anthropiques, entre la Pointe des Grives et la Pointe des Sables. L'objectif de cette analyse est donc de comprendre son fonctionnement sédimentaire et d'apprécier l'influence anthropique.

6.1. CONTEXTE

6.1.1. Contexte géographique

La plage de Coco l'Échelle est située à la pointe des Grives, en bordure est de l'aménagement portuaire (cf. Illustration 42). Cette plage est donc encadrée par des aménagements anthropiques.

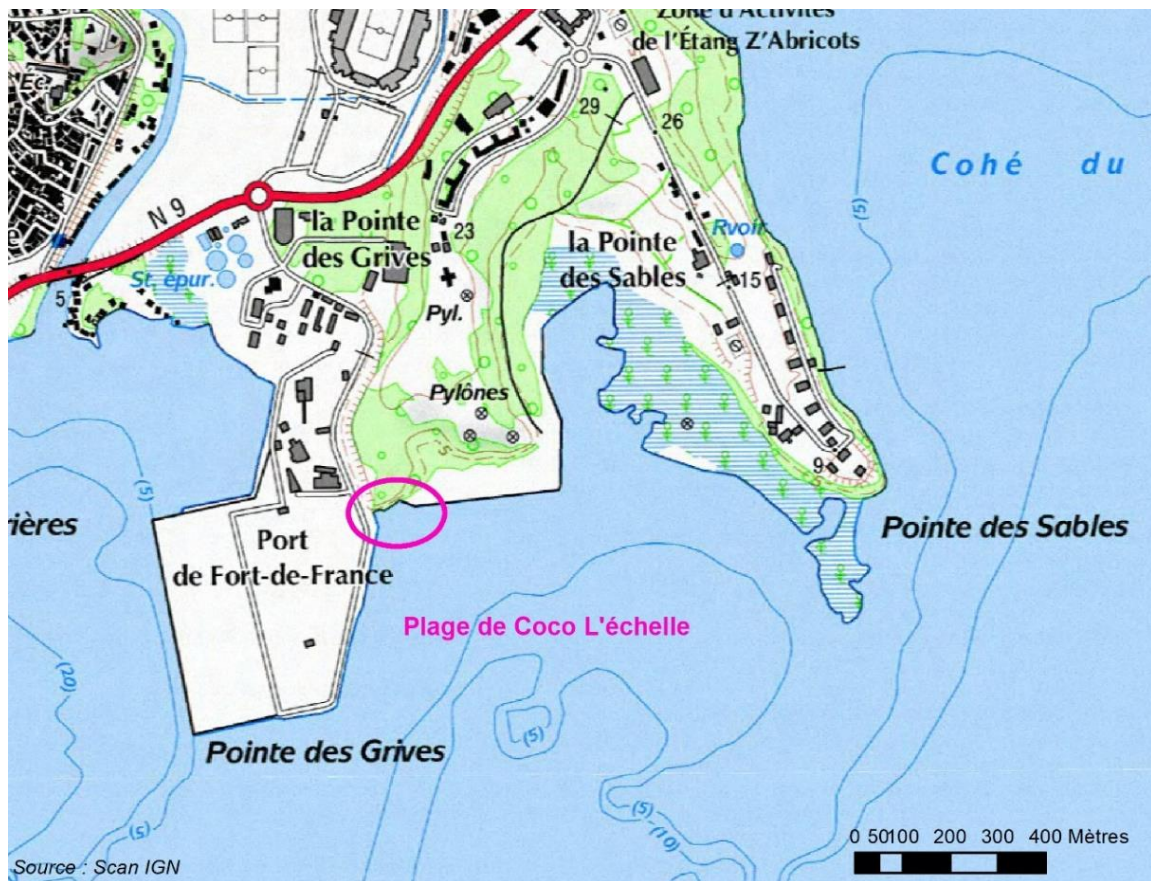


Illustration 42 : Localisation de la plage de Coco l'Échelle

6.1.2. Evolution historique du site

L'illustration 43 synthétise l'évolution morphologique et sédimentaire du secteur entre 1951 et 2017. En effet, cette portion du littoral a été fortement remodelée par l'homme pour des aménagements d'ampleur.

On peut évoquer :

- la poldérisation pour l'installation du port de commerce la Pointe des Grives sur une surface d'environ 19 ha ;
- la mise en place d'enrochements qui fixent le trait de côte de part et d'autre de la plage, entre 2000 et 2004 ;
- le dragage de la mangrove de la Pointe des Sables entre 2000 et 2004 et notamment, la disparition de l'ancienne flèche sableuse qui barrait l'accès de la lagune initiale pour la mise en place du port de plaisance de l'Etang Z'abricots (inauguré en novembre 2014) ;
- en 2004, un dépôt sableux « rectangulaire » déposé contre le quai du port de commerce et qui s'estompe progressivement ;
- le petit épi transversal mis en place en 2014 à l'est de la plage ;
- l'extension du terre-plein du port de commerce entre 2015 et 2017 (3 ha environ).

Dès 2000, les sédiments commencent à s'accumuler à l'endroit de la plage actuelle, à la faveur du piège sédimentaire formé par l'aménagement portuaire. Après l'artificialisation de la côte et le creusement de la lagune en 2004 (port de plaisance de l'Etang Z'abricots), on note la disparition totale du cordon sédimentaire qui bordait la mangrove et qu'on observait nettement en 2000.

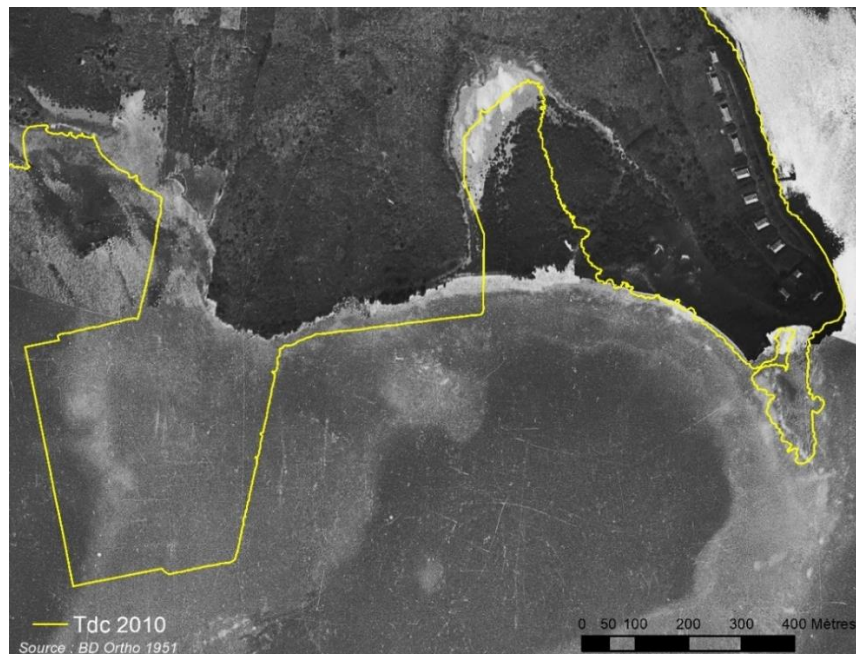






Illustration 43 : Aménagement et évolution de la plage de Coco l'Echelle entre 1951 et 2017

6.1.3. Description de la plage

En 2017, cette plage mesure une dizaine de mètres de largeur sur sa partie centrale et s'étend sur 60 m de long. L'illustration 44 confirme que les aménagements anthropiques et notamment les cordons d'enrochement piègent les sédiments et contrôlent donc la mobilité de cette plage.

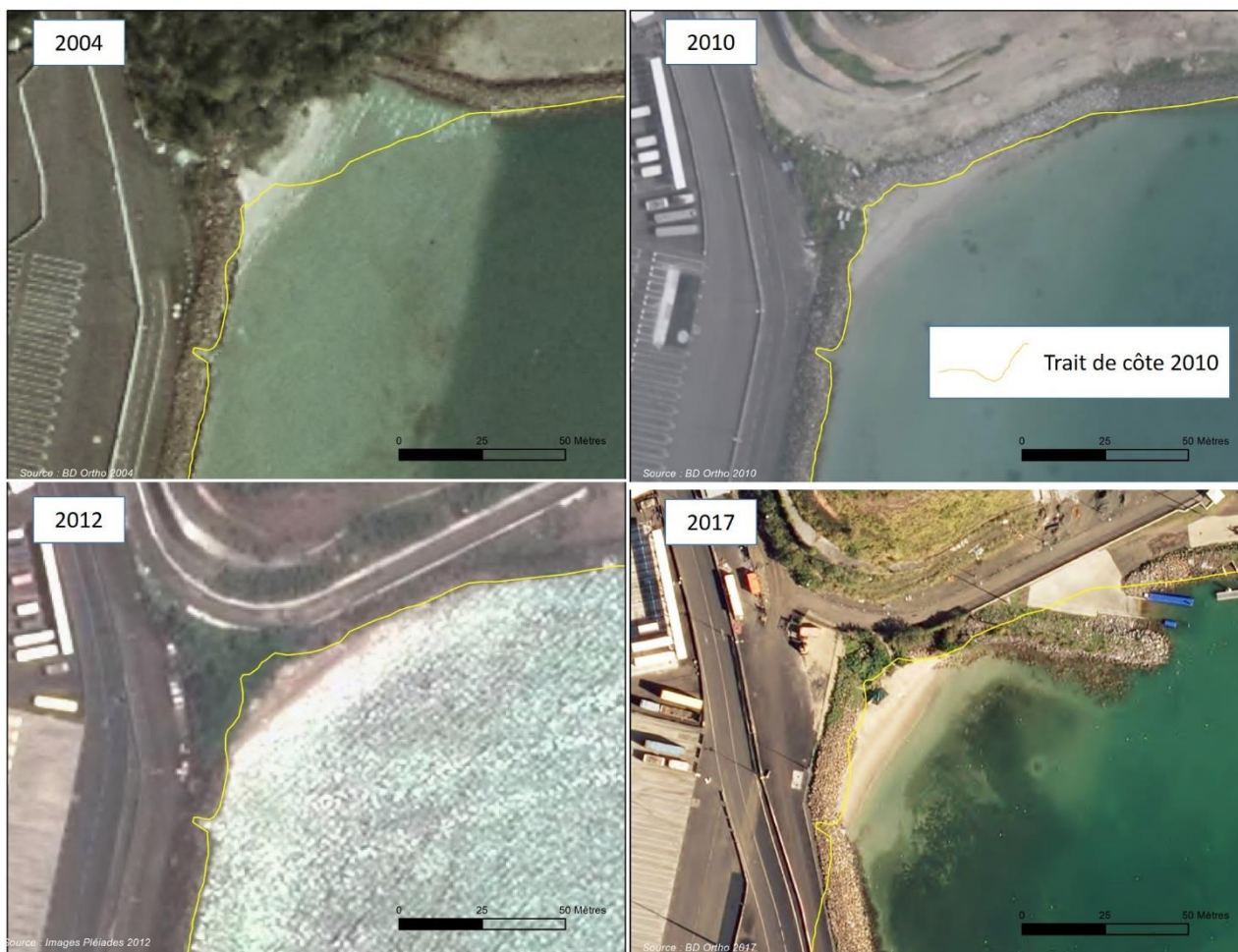


Illustration 44 : Evolution des aménagements et de la plage de Coco l'Echelle depuis 2004

6.2. ÉVOLUTION SÉDIMENTAIRE

En complément de l'observation des photographies aériennes, plusieurs levés décrits dans le chapitre 2 ont été menés afin de suivre l'évolution de la plage :

- l'allure topographique de plusieurs profils transversaux ;
- la position du trait de côte grâce à trois indicateurs.

6.2.1. Évolution annuel du trait de côte

Position du trait de côte

Entre 2010 et 2017, la limite du jet de rive bascule légèrement pour atteindre 6 m au maximum au extrémité de la plage (cf. Illustration 45).



Source : IGN BD Ortho 2010

Source : IGN BD Ortho 2017

Illustration 45 - Evolution de la position du jet de rive entre 2010 et 2017 d'après la comparaison des orthophotographies

Entre les deux campagnes de terrain du 10/08/2017 et 11/04/2018, un léger basculement sédimentaire est également observé sur la position du jet de rive (cf. Illustration 46) ; il a atteint un maximum de 2 à 3 m, à l'extrémité nord de la plage.

On observe également une avancée de 2 m de la végétation rampante en une année, entre janvier-mars 2017 (date de l'Ortho HR 2017) et avril 2018 (cf. Illustration 46 et Illustration 47).



Source : IGN BD Ortho 2017

Illustration 46 : Position du trait de côte "jet de rive" en 2017 et 2018 et de la limite de végétation en 2018



Illustration 47 : Etat de la végétation rampante en juillet 2017

Evolutions des profils topo-bathymétriques

Deux profils topographiques transversaux à la plage ont été réalisés au cours des deux campagnes de terrain (cf. Illustration 48).



Illustration 48 - Localisation des profils topographiques sur la plage de Coco l'échelle

Le profil P1 réalisé au nord de la plage (cf. Illustration 49) présente une perte sédimentaire limitée entre 2010 et 2017 (jusqu'à 50 cm) suivie d'un léger engraissement (d'environ 20 cm) entre 2017 et 2018. L'engraissement observé en 2018 est corrélé avec l'avancée du trait de côte « jet de rive » observée par ailleurs.

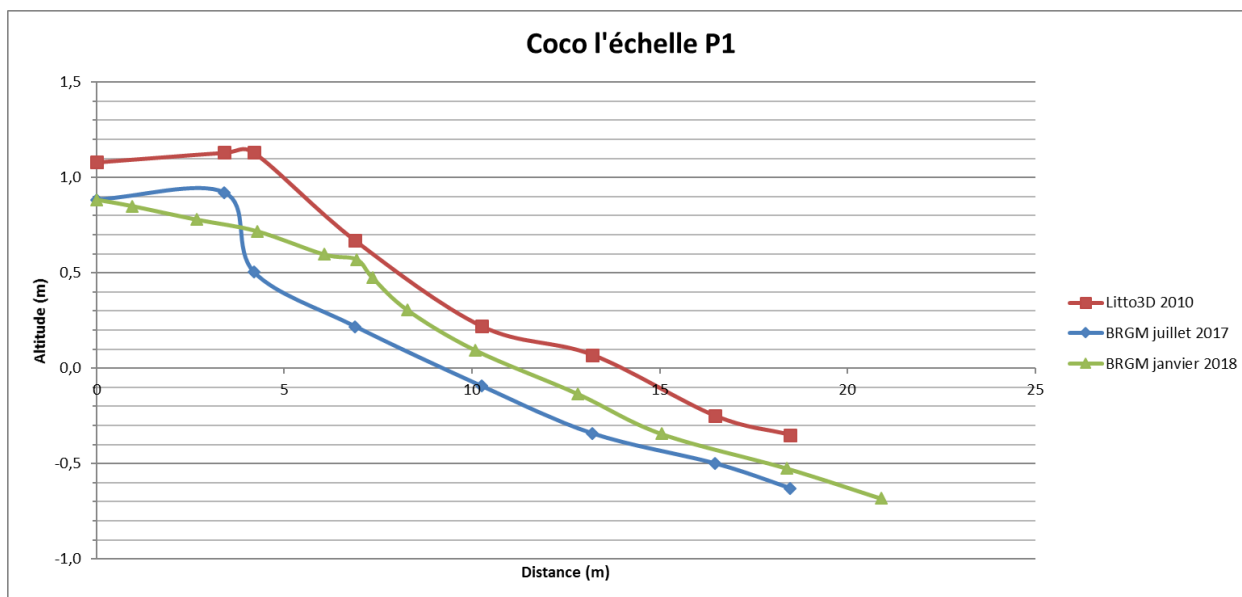


Illustration 49 - Profil topographique P1, nord de la plage de Coco l'échelle. La précision altimétrique du levé Litto3D est de 30 cm ; celle du levé BRGM est de 5 cm.

Le profil P2 réalisé au sud de la plage (cf. Illustration 50) présente des variations plus limitées qui atteignent 20 cm entre 2010 et 2017 ; le profil n'a pas évolué entre 2017 et 2018.

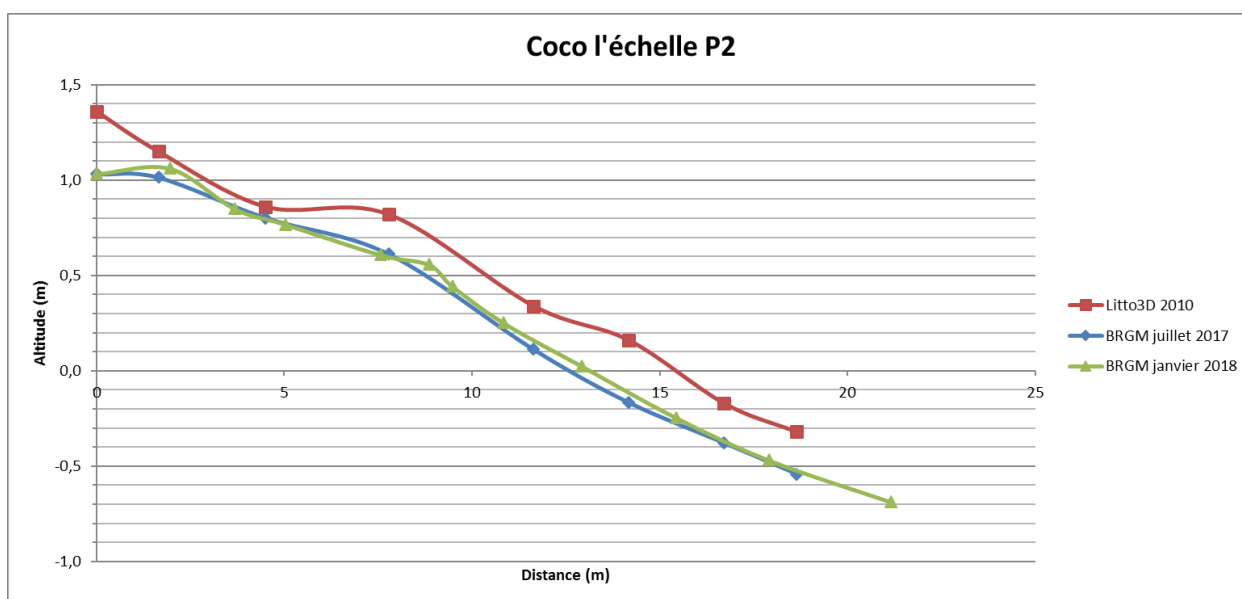


Illustration 50 - Profil topographique P2, au sud de la plage de Coco l'échelle. La précision altimétrique du levé Litto3D est de 30 cm ; celle du levé BRGM est de 5 cm.

6.3. CONCLUSION

6.3.1. Enseignement sur la dynamique des plages de Coco L'Echelle

Cette plage « anthropique » se rapproche d'une plage de poche indépendante des littoraux adjacents. Cependant, sa mise en place est la conséquence de nombreuses modifications sédimentaires dont il est difficile ici de reconstituer l'historique avec précision.

Bien qu'une relative stabilité du stock de sable ait été mise en évidence depuis 2010, le devenir de cette plage reste incertain. En effet, les mécanismes de résilience naturelle n'ont aucune raison d'être réunis sur cette plage anthropique (arrière plage limitée, disponibilité des sédiments sur l'avant cote, nature des fonds marins...) ; l'artificialisation prononcée de l'arrière plage et des littoraux adjacents limite fortement le maintien du stock.

La végétation rampante participe à stabiliser ce stock sédimentaire. Cependant, la très forte anthropisation de l'arrière plage ne permettra pas à la végétation de s'étendre latéralement et côté terre.

6.3.2. Recommandation et adaptation du protocole de suivi

Le suivi d'une telle plage est intéressant d'une part pour les usages locaux de baignade puisque la pérennité de la plage n'est pas garantie mais également, à titre expérimental, comme plage témoin de l'effet de l'artificialisation du trait de côte.

Vu l'artificialisation de cette portion côtière, le protocole de suivi mérite sans doute d'être allégé en se concentrant sur un suivi long terme. Il s'agirait donc de suivre les indicateurs habituels à un pas de temps annuel pour apprécier la vitesse d'avancée (voire de recul) de cette plage.

Pour cette raison, une étude du stock sédimentaire à l'échelle de la cellule entière permettrait de comprendre les échanges sédimentaires et de les mettre en relation avec les différentes phases de travaux. Il serait intéressant de comparer la quantité de sédiment présent dans la cellule en 1951 à la situation d'aujourd'hui ou le sédiment se concentre sur ce petit linéaire.

7. Suivi de la dynamique littorale de onze plages exposées aux échouages de sargasses

L'objectif est de suivre l'évolution topographique de plages impactées par les échouages de sargasses pour chercher à apprécier leur dynamique sédimentaire puis, si possible, l'impact du ramassage sur l'évolution de ces stocks sédimentaires.

7.1. CONTEXTE

7.1.1. Les échouages de sargasses pendant la période de l'étude

Seuls de petits échouages de sargasses se sont produits au cours de l'année 2017. Des échouages massifs se sont produits à partir de décembre 2017 sur la façade littorale atlantique de la Martinique, et plus particulièrement à partir d'avril 2018.

La DEAL réalise des cartes pour la Préfecture suite à chaque échouage massif. Les cartes suivantes, issues d'observations hélicoptérées, ont été communiquées par la DEAL :

- Carte de suivi des échouages de sargasses du 23/06/2017 ;
- Carte de suivi des échouages massifs du 19/04/2018 (1^{er} survol hélicoptéré de l'année 2018) ;
- Carte de suivi des échouages massifs du 25/04/2018 ;
- Carte de cumul des échouages de sargasses synthétisant les observations issues des 17 survols hélicoptérés effectués du 19 avril au 5 septembre 2018 (cf Annexe 5).

7.1.2. L'impact des différentes techniques de ramassage sur la quantité de sables prélevés

Parmi les sites faisant l'objet d'échouage de sargasses, vu les impacts sanitaires que ces algues entraînent sur les riverains, certains font l'objet d'un ramassage qui peut être soit mécanisé soit manuel.

Sur les sites les moins accessibles et les plus petits, des brigades vertes sont mises en place pour effectuer un ramassage manuel à l'aide de râpeaux, de fourches et de brouettes (Josso, 2016). Ainsi, l'association CAID est intervenue de cette manière pour Cap Nord sur la plupart des communes de la côte Atlantique.

Là où l'accessibilité le permet et où les enjeux le nécessitent, le ramassage est mécanisé. Il peut s'agir d'engins type barber, utilisé lors de petits échouages en faisant du raking, Il ne récolte que peu de sable cependant il est peu efficace sur de gros volumes de sargasses (Josso, 2016). En cas d'échouages plus importants interviennent des engins de type tractopelle et pelle long bras. Néanmoins, malgré leur efficacité contre les sargasses, les quantités de sable prélevées sont importantes et la compaction du sable par le passage des engins sur la plage est dommageable pour les nids de tortues Luths et Vertes (selon l'ONCFS).

7.1.3. Protocole de mesure mis en place par le BRGM

Les 11 plages suivies sont représentées sur l'illustration 51. Il s'agit des plages déjà suivies par l'Université des Antilles en 2016 soit : Anse Charpentier (Le Marigot-Sainte Marie), Anse Richer (Sainte-Marie), Anse à Dièque (Trinité), Pointe Faula et Fréfré (Le Vauclin), Anse Four à Chaux et Anse Baleine près du Cap Macré (Le Marin), Anse Michel et Anse au Bois (Sainte-Anne), Dizac et Anse Cafard (Le Diamant).

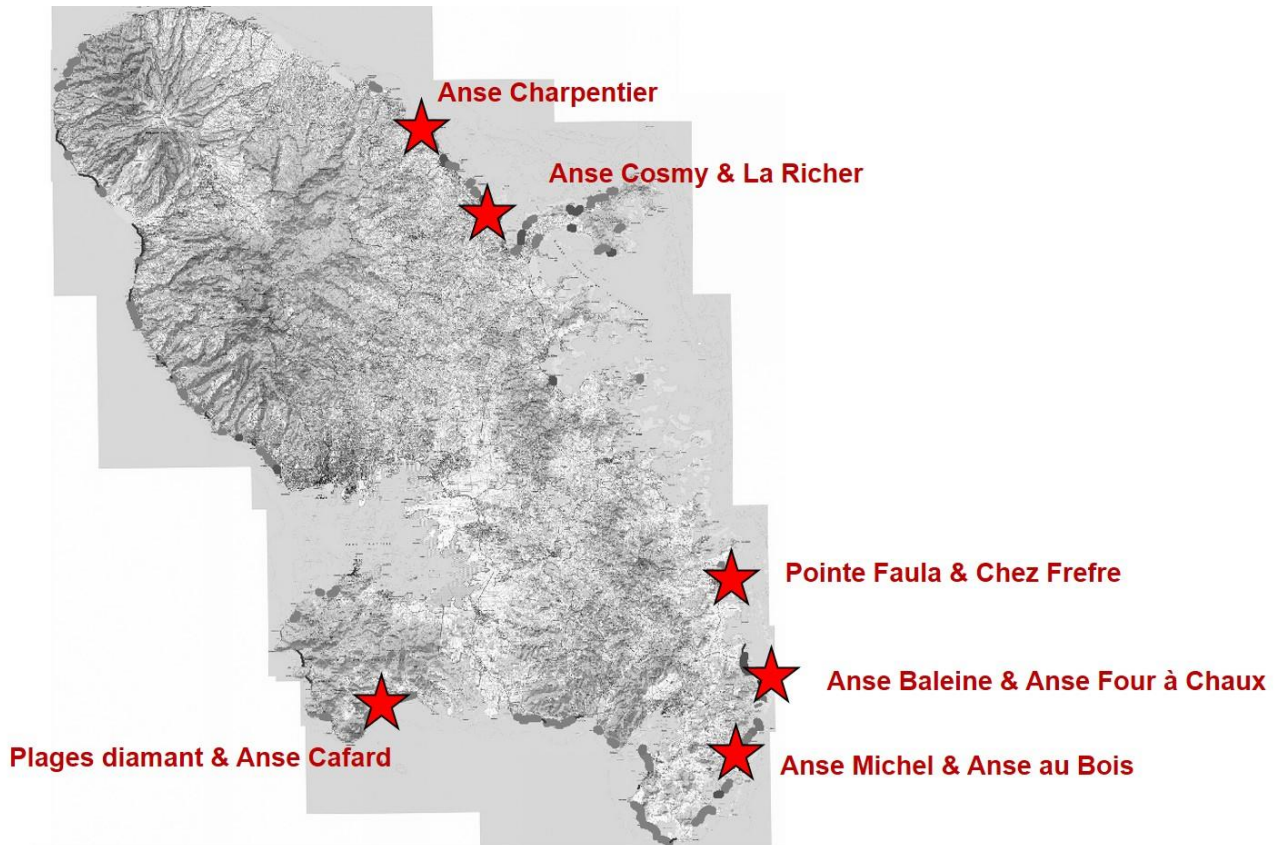


Illustration 51 : Localisation des plages étudiées dans le cadre de cette étude

Le protocole de mesures est décrit au § 2.1. Il s'agit d'un relevé du trait de côte (au moyen de 3 indicateurs) et d'un suivi de l'évolution de profils topographiques au moyen de deux campagnes de mesures. Les septicités prises en compte liées à la présence de sargasses sont détaillées dans l'Annexe 1³.

Le tableau ci-dessous (cf. Illustration 52) présente les dates des campagnes de terrain pour chaque plage. La première campagne de terrain s'est déroulée en juillet 2017 ; la seconde s'est déroulée fin janvier pour une partie des plages et mi-avril pour l'autre partie.

³ Ainsi, en cas de présence de sargasses sur les profils, l'opérateur recherche le niveau altimétrique du sable sous le dépôt de sargasses.

Plage	Date 1 ^{ère} campagne de terrain	Date 2 ^{nde} campagne de terrain
Anse Charpentier, Anse Richer et Anse à Dièque	18/07/2017	30/01/2018
Pointe Faula et Fréfré	05/07/2017	26/01/2018
Anse Four à Chaux et Anse Baleine	05/07/2017	13/04/2018
Anse au Bois et Anse Michel	12/07/2017	29/01/2018
Le Diamant et Anse Cafard	17/07/2017	11/04/2018

Illustration 52 - Dates des campagnes de terrain

7.1.4. Dispositif de suivi continu à l'Anse Cafard

Un appareil photographique « time lapse » (©SolarCam) a été mis en place, à titre expérimental, sur le site de l'Anse Cafard. Installé fin septembre 2017, on dispose ainsi d'une année de suivi photographique de cette plage à raison d'une photo par heure chaque jour.

Ce suivi a permis de mettre en évidence les périodes d'échouage suivantes synthétisées sur l'illustration 53 :

- Le 05/10/2017, le 12/10/2017, le 28/10/2017 et le 15/11/2017 ont eu lieu de petits échouages de sargasses, le plus souvent suivis de ramassages mécanisés légers (cf. Illustration 54).
- Le 09/03/2018 est enregistré le premier échouage massif à l'Anse Cafard.
- Les échouages massifs suivants ont eu lieu aux dates suivantes : le 18/04/2018, le 27/05/2018, le 16/06/2018 (cf. Illustration 55). Des échouages massifs et réguliers ont eu lieu entre le 01/07 et le 25/07/2018. Un dernier échouage plus limité s'est produit entre le 26 et le 31/08/2018. Ces échouages massifs ont été suivis de ramassages mécanisés à l'aide de pelles à long bras (cf. Illustration 56). Un autre type d'engin de ramassage a été observé (cf. Illustration 57).
- Des échouages très limités ont eu lieu au mois de septembre 2018 et ont fait l'objet de ramassages manuels le 02/10/2018 (cf. Illustration 58).

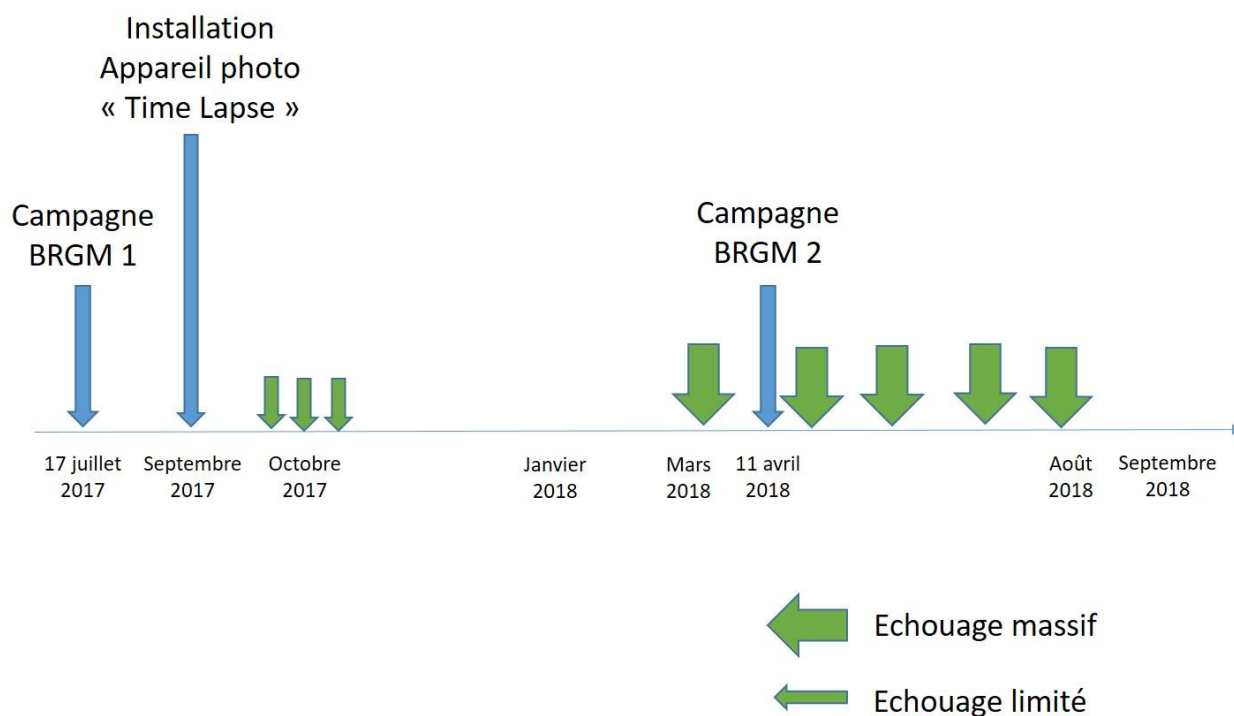


Illustration 53 : Chronologie des échouages sur l'Anse Cafard par rapport aux campagnes de mesures du BRGM

Ainsi, quelques échouages d'ampleur limitée se sont produits au cours des mois d'octobre et de novembre 2017 et de nombreux échouages massifs ont eu lieu entre mars et août 2018 à l'Anse Cafard.

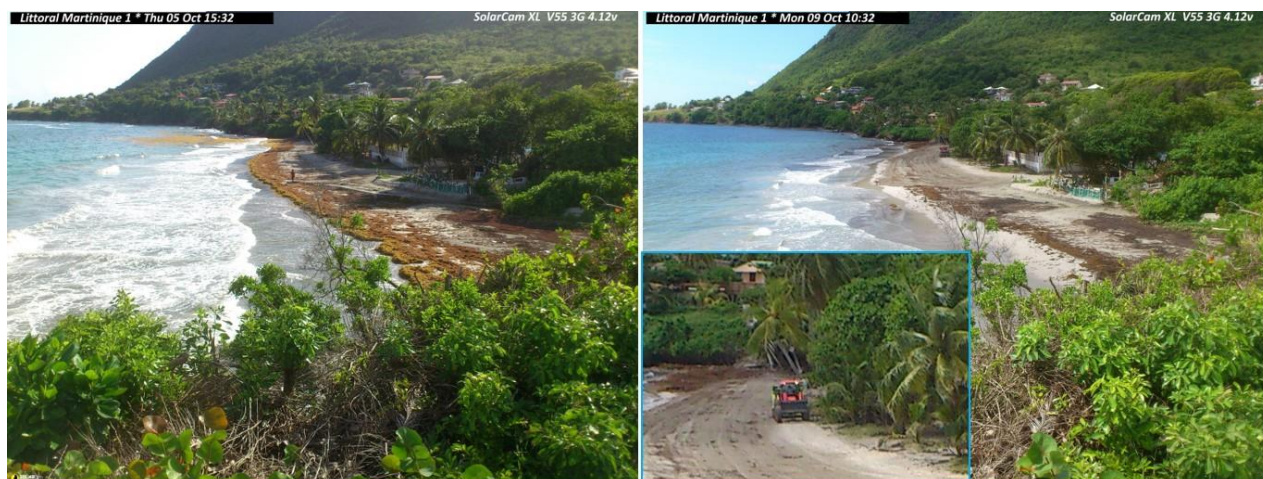


Illustration 54 - Petit échouage de sargasses le 05/10/2017 suivi d'un ramassage le 09/10/2017



Illustration 55 - Echouages massifs à l'Anse Cafard le 19/04/2018 et le 16/06/2018



Illustration 56 - Ramassages intensifs mécanisés (25 et 28/04/2018) suite aux échouages massifs



Illustration 57 - Autre type de ramassage des sargasses (11/04/2018)



Illustration 58 - Ramassage manuel en cas d'échouages limités (02/10/2018)

Les relevés topographiques sur l'Anse Cafard ont eu lieu aux dates suivantes : le 17/07/2017 en fin d'après-midi et le 11/04/2018 en fin de matinée (avant le ramassage observé sur l'illustration 57). Lors des deux journées de terrain, des sargasses étaient échouées au niveau du jet de rive (cf. Illustration 59).



Illustration 59 - Présence de sargasses à l'Anse Cafard lors des campagnes de terrain

7.2. EXPLOITATION DES MESURES

7.2.1. Présentation des résultats des deux campagnes de mesures

Les Annexes 2 à 8 présentent les résultats des campagnes de terrain pour chacune des plages et plus précisément :

- La localisation des profils topographiques sur chaque plage ;
- La comparaison des profils topographiques en 2010 (données issues du MNT Litto3D de l'IGN), 2016 (mesures topographiques de l'Université des Antilles-Guyane), 2017 et 2018 ;
- La position de la limite de végétation en 2017,
- La position du jet de rive en 2017 et 2018,
- La position du talus d'érosion, lorsqu'il était présent.

7.2.2. Description de chaque plage par plusieurs indicateurs

L'illustration 61 dresse un bilan de la tendance observée de la dynamique sédimentaire sur les 11 plages étudiées et de l'impact supposé des échouages et ramassages de sargasses sur l'évolution sédimentaire de ces plages.

De manière à estimer si les échouages et ramassages auraient pu influencer la dynamique sédimentaire d'une plage sur la période de mesures (2017-2018), il est nécessaire de connaître et de tenir compte de la dynamique « normale » de chaque plage. Plusieurs paramètres ont donc été renseignés afin de pouvoir évaluer cette influence.

Indicateur « Dynamique sédimentaire »

La dynamique sédimentaire des plages est appréciée au moyen de trois indicateurs correspondant à trois échelles de temps. Chaque indicateur est estimé de manière qualitative à partir des observations passées :

- La dynamique sédimentaire à long terme est estimée à partir de l'évolution de la limite de végétation entre 1951 et 2010 (d'après photographies aériennes) ;
- La dynamique sédimentaire à moyen terme est estimée à partir de :
 - a) l'évolution de la limite de végétation observée entre 2010 et 2017 (d'après les photographies aériennes) ;
 - b) l'évolution altimétrique des profils de plage entre 2010 (©Litto3D) et 2017 (BRGM) ;
- La dynamique sédimentaire à court terme est estimée à partir de :
 - a) l'évolution de la limite de végétation entre juillet 2017 et janvier/avril 2018 (d'après les levés DGPS du BRGM) ;
 - b) l'évolution altimétrique des profils de plage entre juillet 2017 et janvier/avril 2018 ;
 - c) la présence ou non d'un talus d'érosion, sa localisation et son étendue sur la plage en 2017 et 2018.

Chacun de ces indicateurs peut donner lieu à quatre qualificatifs : érosion, équilibre, couplage érosion/accrétion ou accrétion. Le qualificatif « couplage érosion/accrétion » est utilisé pour une plage où une partie tend à s'engraisser au détriment de l'autre qui tend à s'éroder.

Indicateur « Influence des sargasses » (sur la période 2017/2018)

La quantité cumulée de sargasses échouées sur chaque plage a été évaluée à partir des cartes d'observations hélicoptérées de la DEAL et des observations ponctuelles de terrain.

L'existence d'opérations de ramassage mécanisé ou non a été estimée à partir des informations dont disposaient la DEAL et l'ADEME corroborées par les observations de terrain.

7.2.3. Conclusion sur l'impact des sargasses sur la dynamique sédimentaire

La mise en regard des indicateurs précédents a permis d'estimer si les échouages et ramassages auraient pu avoir influencé la dynamique sédimentaire de certaines plages sur la période de mesures.

Les Illustration 60 et Illustration 61 synthétisent les indicateurs caractérisant les plages étudiées et les hypothèses qu'il est possible de formuler.

Plage	Echouages et dépôts de sargasses		Tendance dynamique sédimentaire à long terme (1951-2010)	Tendance dynamique sédimentaire à moyen terme (2010-2017)	Tendance dynamique sédimentaire sur la période de mesures (2017-2018)	Impact sargasses	
	Présence	Ramassage				Ø : Nul ? : Inconnu + : Potentiellement positif	
Anse Charpentier	Modérée	Aucun	Recul de la végétation de 20 m sur 60 ans	Accrétion (Avancée de la végétation rampante + Profil émergé en accrétion (au maximum +1 m)	Recul du talus en 2018. Présent tout le long de la plage. Végétation en équilibre (sauf à l'embouchure)	Ø	Nul sur la période de mesure (2017-2018). Possiblement bénéfique sur la période d'échouage précédente (< 2017).
Anse Richer	Forte	Mécanisé	Erosion à l'ouest (20 m) et accrétion à l'est (25 m)	Poursuite de la tendance : couplage érosion/accrétion	Poursuite de la tendance : couplage érosion/accrétion	Ø	Nul
Anse à Dièque	Faible	?	Equilibre voire légère tendance à l'avancée de la végétation (< 10 m)	Equilibre sur la partie nord, érosion du profil P2 émergé partie sud (-20 cm). Végétation stable	Au nord : équilibre. Au sud : accrétion du profil P1 émergé	?	Impact négatif du ramassage lors des premiers échouages de 2015 ?
Pointe Faula	Très forte	Mécanisé	Recul sur la partie nord (20 m) et sur la partie sud (25 m)	Recul généralisé et notamment de la partie nord (abaissement du profil P1 de -1,5 m)	Erosion sur la partie nord (5 m de recul du talus), équilibre voire avancée sur le reste	?	pas de conclusion possible. Cf rapport BRGM/RP-68186-FR pour les recommandations de gestion.
Chez Fréfé	Très forte	Aucun	Equilibre voire recul de la végétation (10 m)	Accrétion (avancée de la végétation de 10-20 m + élévation du profil > 1,5 m)	Accrétion (avancée de la végétation notamment)	+	Bénéfique
Anse Four à Chaux	Faible	Aucun	Recul de la végétation de 20 jusqu'à 50 m en 60 ans	Equilibre (voire légère avancée de la limite de végétation (5 m)	Equilibre (voire léger recul de la végétation au niveau de la pointe sableuse (3 m)	Ø	Nul voire bénéfique (puisque la tendance au recul est stoppé)?
Anse Baleine	Faible	Aucun	Equilibre	Avancée générale de la limite de végétation (de 3 à 10 m) et légère élévation du profil P4 (+50 à 80 cm)	Equilibre de la végétation mais abaissement du profil P4 (-1 m)	Ø	Nul sur la période de mesure (2017-2018). Possiblement bénéfique sur la période d'échouage précédente (< 2017) ?
Anse au bois/Anse Esprit	Très forte	Aucun	Recul de la partie nord (-25 m) et équilibre de la partie sud	Abaissement de tous les profils (jusqu'à 1 m pour P3). Avancée généralisée de 5 m de la végétation	Equilibre globale des profils. Recul de la végétation de 3 m dans la partie centrale (au niveau de P2). Elévation de 40 cm de la partie émergée du profil P3.	Ø	Réduction de la vitesse d'érosion entre 2017 et 2018 lié aux sargasses? Elévation de profil P3 localisé à l'endroit d'accumulation de sargasses.
Anse Michel	Forte	Mécanisé	Erosion au centre (-15 à -30 m) et accrétion aux deux extrémités (+15 m)	Avancée de la végétation rampante dans la zone sud (20 m). Abaissement du profil nord et central P4 et P5 (-1 m au max)	Equilibre	?	pas de conclusion possible vu la forte variabilité de la dynamique au sein de la plage
Le Diamant	Forte	Mécanisé	Equilibre voire recul de la végétation (15 m maximum sur 60 ans)	Plutôt recul de la végétation sur la partie ouest (de P1 à P3) et légère avancée coté est (entre P5 à P6). Le reste en équilibre	Globalement en équilibre mais localement, recul de la végétation notamment entre P3 et P4 associé à un abaissement significatif des profils P2 et P3 (50 cm). Forte élévation du profil P6 à l'extrémité est de la plage (=60 cm)	+	Accentuation de l'érosion naturelle par les ramassages ? Exception : extrémité Est dont l'accrétion pourrait directement être liée à l'accumulation de sargasses (non ramassées à cet endroit d'après observation de terrain)
Anse Caffard	Très forte	Mécanisé	Recul de la végétation de 15-20 m sur 60 ans	Forte abaissement du profil de plage P1. Equilibre de la limite de végétation	Equilibre. Forme irrégulière des profils en 2018 (Remaniement par les engins de ramassage des sargasses ?)	?	Accentuation de l'érosion naturelle par les ramassages ?

Illustration 60 : Synthèse des indicateurs de chaque plage et des hypothèses formulées par le BRGM quant à l'impact du ramassage sur la dynamique sédimentaire

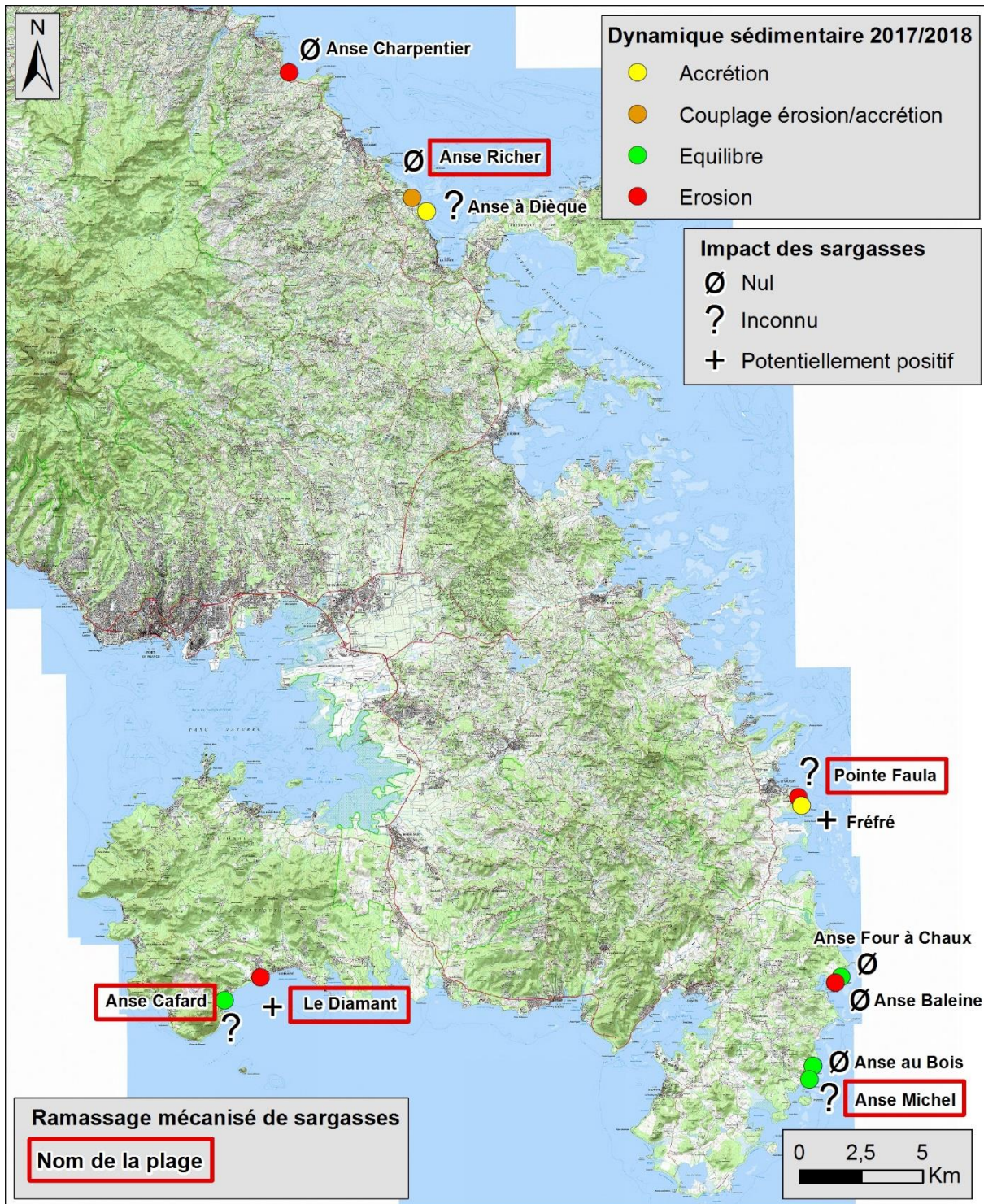


Illustration 61 - Carte-bilan des tendance de la dynamique sédimentaire de chacune des plages et avis du BRGM sur l'impact des échouages et ramassages de sargasses sur cette dynamique

7.3. CONCLUSION

7.3.1. Enseignements

Vu l'absence de précision dont on dispose sur la localisation des échouages et des ramassages de sargasses au sein d'une plage et vu que les évolutions temporelles et spatiales sont souvent variables au sein d'une plage, il a été, la plupart du temps, difficile de conclure. Formuler davantage d'enseignements nécessitent *a minima* de connaître le fonctionnement de la plage en l'état naturel et sinon, des études menées sur plus long terme à une échelle plus fine et prenant en compte les variabilités d'échouages et de ramassages propres à chaque cellule sédimentaire. Les difficultés d'interprétation de ces mesures avaient été discutées dès la réunion de lancement de septembre 2017.

Ainsi, il n'a pas été possible dans le cadre de cette étude de démontrer que le ramassage mécanisé accentuait significativement l'érosion des plages. En effet, toutes les plages concernées par le ramassage automatique (Pointe Faula, La Richer, Le Diamant, Anse Cafard, Anse Michel) présentent une dynamique naturelle à l'érosion sur le long terme. Ceci ne permet pas d'évaluer la part du ramassage mécanisé dans la dynamique érosive de ces plages.

En revanche, cette étude a permis d'étayer une hypothèse importante : le dépôt de sargasses participe à la rétention du sable et améliore ainsi la résilience du système à cet endroit.

En effet, certaines portions de plages sur lesquelles il y a eu accumulation de sargasses non ramassées, présentent, entre les deux mesures 2017/2018, une dynamique qui se distingue de leur dynamique naturelle et qui, de ce fait, pourrait confirmer le rôle bénéfique de l'accumulation de sargasses :

- l'extrémité Est de la plage du Diamant qui présente une élévation marquée du profil de plage P6 (+ 60 cm cf. Illustration 62) à un endroit où le ramassage n'a pas été réalisé d'après les observations de terrain ;
- la plage d'Anse Fréfré qui présente une forte tendance à l'avancée (entre 10 et 15 m entre 2014 et 2017), avancée qui s'est poursuivie entre 2017 et 2018 (cf. étude détaillée dans le rapport RP-68186-FR, Balouin et al., 2018) ;
- l'Anse Charpentier qui présente une dynamique d'accrétion entre 2010 et 2017 sur les trois profils (élévation de + 1 m et avancée de la végétation rampante) ;
- La plage d'Anse Four à Chaux qui apparaît en équilibre entre 2010 et 2017 puis entre 2017 et 2018 alors qu'elle présente une dynamique érosive marquée depuis 1951 ;
- La plage d'Anse aux Bois qui apparaît en équilibre entre 2017 et 2018 (profil P1 et P2), présente une élévation du profil de plage à l'endroit où l'accumulation de sargasses est maximale (constat de terrain) alors qu'elle présentait une dynamique érosive depuis 1951.

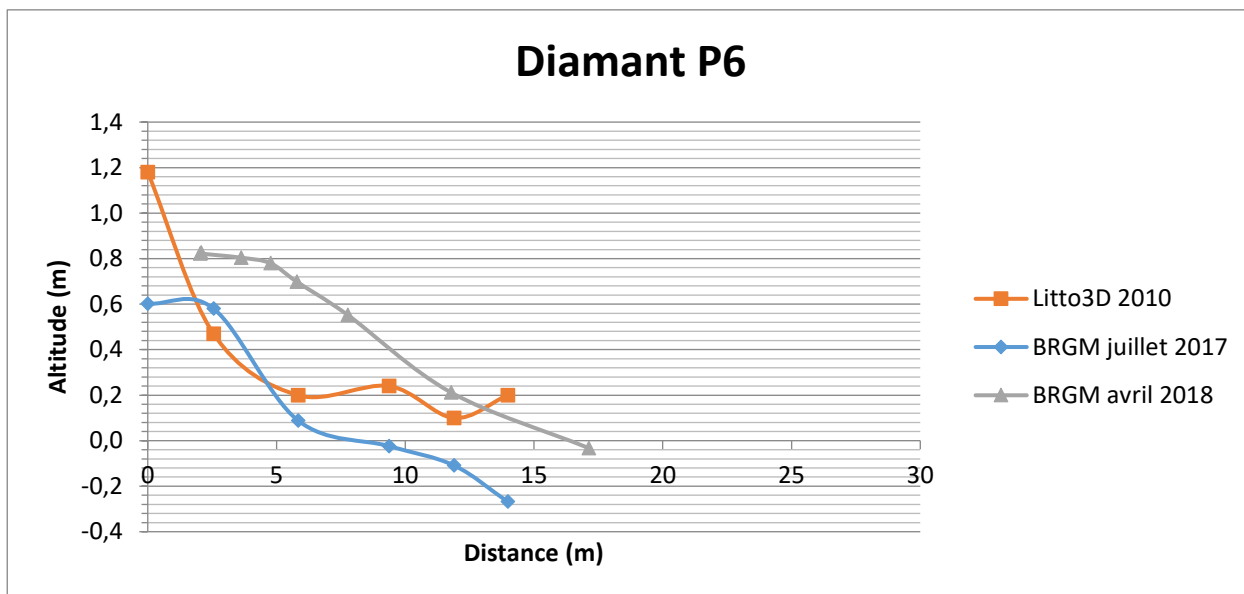


Illustration 62 : Forte élévation du profil de plage à l'extrémité est de la plage à un endroit où l'échouage non ramassé est confirmé. La précision altimétrique du levé Litto3D est de 30 cm ; celle du levé BRGM est de 5 cm.

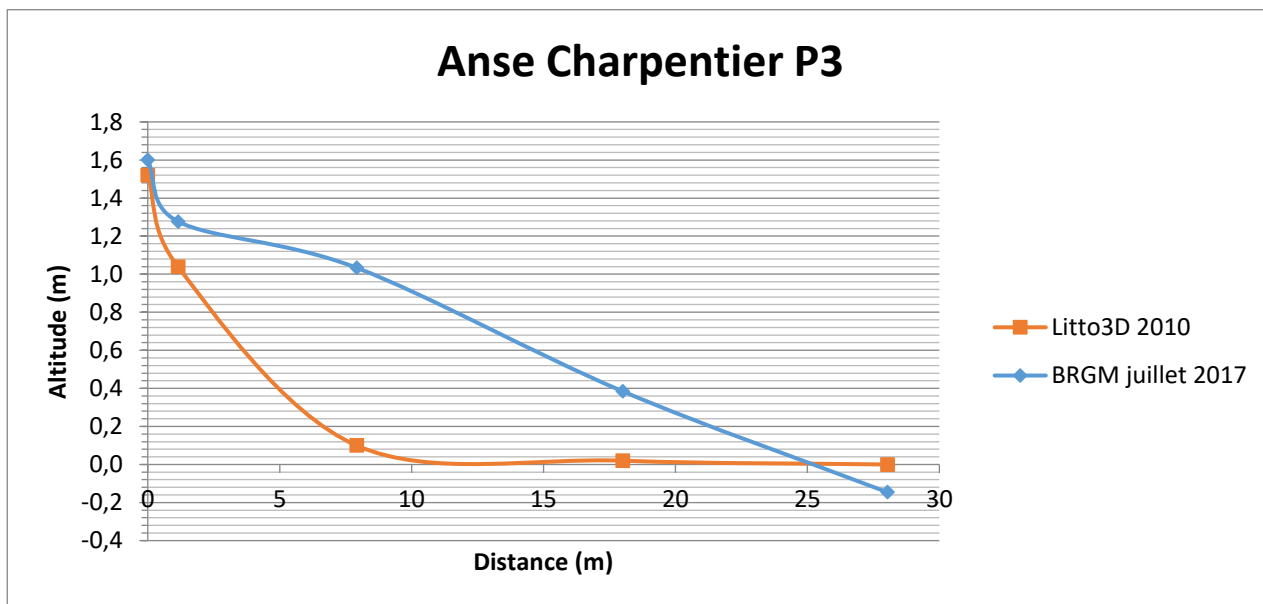


Illustration 63 : Forte élévation du profil de plage aux extrémités de la plage Anse Charpentier entre 2010 et 2017. La précision altimétrique du levé Litto3D est de 30 cm ; celle du levé BRGM est de 5 cm.

7.3.2. Préconisations

Le protocole proposé est limité par l'absence de visualisation et de connaissance sur les échouages. La mise en place (dans le cadre du projet) d'un appareil photo « time lapse » a confirmé l'intérêt de ce type de dispositif pour le suivi des sargasses. La mise en place d'un réseau de suivi de ce type permettra 1) d'ajuster les campagnes de terrain aux échouages réels et 2) de mieux apprécier la variabilité des échouages et des ramassages le long d'une plage.

Le suivi des profils s'est avéré très instructif et pertinent pour suivre la dynamique sédimentaire saisonnière plus que la position du jet de rive qui est très dépendante de la surcote atmosphérique et de l'agitation de la mer lors de la mesure.

A l'aide du réseau de suivi en cours d'installation par ailleurs, il serait très intéressant :

- de poursuivre ces mesures à un pas de temps régulier ;
- d'améliorer la résolution des données en précisant la position des échouages et des ramassages au sein d'une plage.

Pour mesurer l'effet du ramassage sur la dynamique d'une plage, la plage du Diamant s'avère être un site intéressant car il présente à la fois une dynamique générale relativement homogène et des variabilités sédimentaires récentes qui pourraient être rattachés à l'effet d'échouages/ramassages autant bénéfiques (extrémité est) que négatifs (extrémité ouest).

Par ailleurs, à terme, sur les plages sans enjeu humain, il pourrait être intéressant de préconiser une gestion adaptée qui tiennent compte du rôle bénéfique des sargasses pour lutter contre l'érosion.

8. Conclusions

L'initiation d'un réseau de suivi a permis d'améliorer la connaissance de la dynamique sédimentaire des sites étudiés et notamment celle de la plage du Carbet. Pérenniser ces acquisitions dans le temps est nécessaire pour asseoir les expertises naturalistes et être en mesure, in fine, d'adapter les préconisations pour la gestion / aménagement des sites, d'élaborer des prévisions de résilience après tempête et à long terme, des scénarios d'évolution intégrant l'effet du changement climatique.

Grâce à cette première année de mesure, le protocole de mesure initial a été amélioré et adapté à la dynamique sédimentaire de chaque plage. Ce protocole est désormais robuste et déployable pour conduire des observations régulières pérennes nécessaires à la gestion du trait de côte (cf. Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte).

Plusieurs enseignements ont été tirés de cette année de mesure :

- La dynamique sédimentaire de la plage du Carbet est, plus que les autres (Salines, Coco L'échelle), sous l'effet d'une dynamique saisonnière en lien avec les apports terrestres apportés par les rivières. Sur ce type de plage, 1) l'indicateur « jet de rive » est indispensable en complément de l'indicateur « limite de végétation » et 2) un dispositif de photographie TimeLapse apporte un éclairage complémentaire également nécessaire. A terme, il serait intéressant d'identifier les plages martiniquaises qui fonctionnent comme celle du Carbet ;
- Sur l'ensemble des plages, un suivi qualitatif du couvert végétal à partir d'un référentiel dédié (à définir en collaboration avec l'ONF par exemple), permettrait de mieux apprécier le rôle de la végétation dans la résilience des plages après tempête et d'améliorer très sensiblement l'indicateur du trait de côte local ;
- Le suivi des profils s'est avéré un moyen robuste pour suivre les échanges sédimentaires latéraux et longitudinaux. Concernant la position du jet de rive, dépendante du niveau de la mer et de l'agitation de la mer lors de la mesure, le protocole de mesures mérite d'être affiné (conditions de marée, condition de houle, étude paramétrique selon la pente de la plage) ;
- La limite de végétation s'est avérée difficile à repérer avec exactitude sur le terrain au DGPS (notamment à cause de l'effet de la canopée et des déports plurimétriques qui en découlent) ; pour la suite, il est suggéré de limiter les mesures à la végétation rampante, particulièrement dynamique et représentative de l'érosion à court et moyen terme pour réduire les incertitudes sur la qualité et l'interprétation des mesures.

La création d'un modèle numérique de surface (MNS) par levé drone est prometteuse. Cette technique de reconstitution photogrammétrique restant encore nouvelle notamment en Martinique, l'exploitation quantitative mérite d'être précisée par des réflexions méthodologiques à conduire en parallèle.

Des suivis morphologiques couplés aux informations d'échouage de sargasses ont été initiés sur 11 plages du littoral martiniquais. S'il n'a pas été possible dans le cadre de cette étude (basée sur deux campagnes de mesures à 6 mois d'intervalle) de prouver que le ramassage mécanisé accentuait significativement l'érosion des plages, il est ressorti que le dépôt de sargasses pouvait, sur certains sites, participer à la rétention du sable voire entraîner une avancée du trait de côte. Pour mesurer l'effet du ramassage sur la dynamique d'une plage, la plage du Diamant s'avère être un site intéressant à instrumenter car il présente à la fois une dynamique générale relativement homogène et des variabilités sédimentaires récentes qui pourraient être rattachés à l'effet d'échouages/ramassages autant bénéfiques (extrémité est) que négatifs (extrémité ouest).

9. Bibliographie

Barras AV., Koller M.M. (2010) – État du littoral de la Martinique un an après le cyclone DEAN (17 août 2007) et suite à l'épisode de houle cyclonique OMAR (16 octobre 2008). Rapport BRGM/RP-57555-FR 61 p., 48 illustrations, 4 annexes hors-rapport.

Balouin, Y., Nachbaur, A. et Lombard, M. (2018) – Expertise et recommandations pour gérer l'érosion des plages de la Pointe Faula, l'Anse Figuier et Grande Anse d'Arlet. Rapport final. BRGM/RP-68186-FR, 73 p., 59 ill., 2 ann.

Créocéan (2013). Projet d'extension du terminal de la pointe des Grives. Etude de courantologie et transport sédimentaire. Dossier 1_12247_1. Mars 2013.

De la Torre Y. et Nachbaur A. (2016) – Erosion des plages de Martinique : propositions de suivi et premiers éléments de gestion sur 4 plages à enjeux. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-66322-FR p. 33 ill. 37 p.

Josso Q (2016). Les échouages de macro-algues et les impacts sur les milieux littoraux. Mémoire de stage présenté le 5 septembre 2016. Encadrement par l'Université de Bretagne Sud (M. Sedrati) et l'Université des Antilles (F. Dolique).

Mallet C., Michot A. (2012). Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte – Rapport BRGM RP-60616-FR

Météo France (2018). Bulletin Climatologique mensuelle de février 2018 de Martinique.

Lombard M, Nachbaur A. (2017) – Inventaire des impacts occasionnés par la houle cyclonique associée à l'ouragan MARIA (18 septembre 2017) sur la côte Nord-Caraïbe de la Martinique. Rapport final. BRGM/RP-67298-FR, 51 p., 65 ill. 10 ann.

Nachbaur A., Balouin Y., Nicolae Lerma A., Douris L., Pedreros R. (2015) – Définition des cellules sédimentaires du littoral martiniquais. Rapport final. BRGM/RP-64499-FR, 95 p., 46 ill., 2 ann., CD.

Nachbaur A., Paulineau M., Le Roy M. (2014). Evolution multidéennale (1951 – 2010) et déennale (2004 – 2010) du trait de côte de la Martinique. Rapport final. BRGM/RP-63238-FR, 95 p., 66 ill., 2 ann.

ONF (2017). Bilan des plages post-Maria en Martinique. Note rédigée avec le réseau Tortues Marines Martinique.

Short, A.D., and Masselink, G. (1999). Embayed and structurally controlled beaches. *Marine Geology*, 346:153-164.

Annexe 1 - Protocole de terrain relatif aux levés topographiques sur le littoral

Le protocole de mesure suivant a été mis en place pour la deuxième campagne de terrain. Il a pu être enrichi grâce au retour d'expérience de la première campagne de terrain.

Il répond à plusieurs interrogations soulevées lors des relevés de la première campagne et notamment :

- Comment prendre en compte la présence des sargasses ?
- Comment prendre en compte les aménagements anthropiques ?
- Comment différencier les faciès de végétation rencontrés ?

Indicateur Haut de Plage :

Des indicateurs sont choisis et indiqués dans le carnet de terrain lors des relevés pour différencier les cas suivants :

- 1) Végétation dense
 - a. Cocotiers seuls sans autre type de végétation en arrière
 - b. Cocotiers constituant la limite de canopée, devant la végétation arborée
 - c. Pas de cocotiers (ou seulement isolés)
 - i. Végétation arborée
 - ii. Végétation rampante
 - iii. Végétation herbacée
- 2) Limite anthropique (mur, enrochements)



1)a. Cocotiers seuls



1)b. Cocotiers formant la limite de canopée



1)c/i. Végétation arborée



1)c/ii. Végétation rampante



1)c/iii. Végétation herbacée



2) Limite anthropique

Trait de côte jet de rive :

La position du jet de rive est déterminée comme la position située au milieu entre la zone de balancement des vagues (mouillé) et la limite d'humectation du sable (« sable mouillé »).

En cas d'échouage ou de dépôt de sargasses ou en cas d'aménagements anthropiques sur une plage, la position du jet de rive est affectée. Des indicateurs sont alors choisis et indiqués dans le carnet de terrain lors des relevés pour différencier les cas suivants :

- 1) Présence de sargasses
 - a. Pas de blocage du jet de rive mais limite d'humectation du sable non visible
 - b. Blocage du jet de rive par les sargasses échouées
- 2) Limitation du jet de rive par des enrochements ou autres aménagements anthropiques
- 3) Limitation du jet de rive par la végétation et/ou le haut de plage



1)a. Limite d'humectation du sable bloquée par les sargasses



1)b. Blocage du jet de rive par les algues



2) Limite d'humectation du sable bloquée par les enrochements



3) Limites du jet de rive et de la végétation confondues

Limite du talus d'érosion :

La limite du talus d'érosion n'est relevée que lorsqu'il s'agit réellement d'un talus formé par l'érosion. Les talus formés par le dépôt d'algues et de sargasses mélangées à du sable ne sont pas relevés.

La hauteur du talus d'érosion est précisée lors des relevées dans le carnet de terrain.

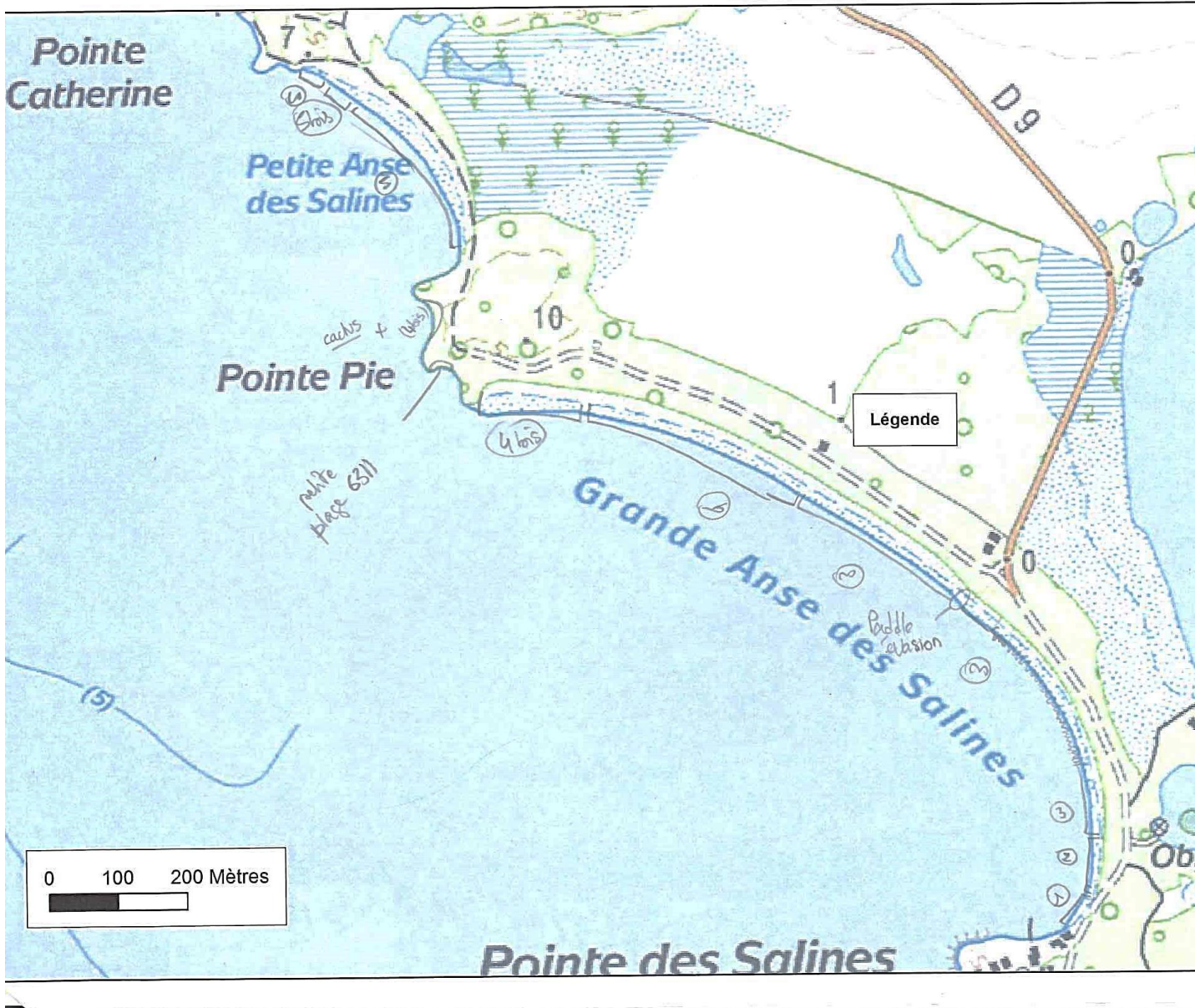
Profils topographiques :

Un profil topographique est réalisé en suivant une ligne perpendiculaire au rivage, depuis le haut de plage jusqu'à la limite en mer (le profil s'arrête lorsque l'opérateur ne peut plus manipuler en toute sécurité). Il s'agit de mesures ponctuelles, faites avec précision (arrêt plusieurs secondes, en maintenant la perche parfaitement verticale à l'aide du niveau à bulle), tout le long du transect, plus ou moins espacées en fonction des variations topographiques de la plage. Plus la topographie sera linéaire, plus les mesures seront espacées. A l'inverse, plus la topographie de la plage au niveau du profil sera marquée (talus), plus les mesures seront rapprochées.

En cas de présence de sargasses sur la plage, il s'agit de retirer à l'endroit de la mesure ponctuelle le dépôt de sargasses jusqu'au sable pour prendre la mesure topométrique au niveau de la plage et non du dépôt de sargasses. La hauteur du dépôt de sargasses est également mesurée et notée.

En cas de traversée d'herbier marin par le profil topographique, un indicateur est également prévu pour préciser la présence d'herbier sur le profil tracé dans le carnet de terrain.

Annexe 2 – Description du couvert végétal proposé pour la plage des Salines (23/08/2017)

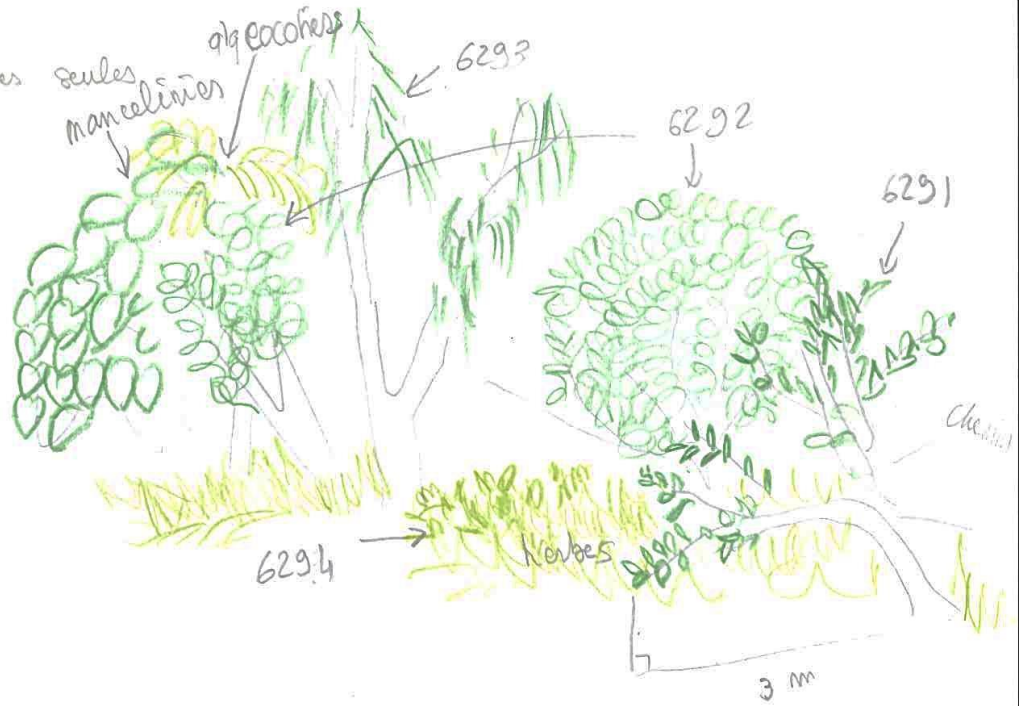


Plage des Salines 23/08/2017
sud → Nd

- ① herbes + patates
- ② 6289/90/93

+ autres
atomes

6296
6297



DSCN6290





DSCN6298



④ 6307/08
arbres variés
& abondants que ②
seulement quelques cocotiers

absence de palmiers



④ bis similaire à ④ avec présence de palmiers (herbes/palme)
6309

vue d'ensemble Salines 6310

petite plage 6311

2nd de // 6314 → 4 bis + cactus 6315

DSCN6308



Pêche Anse des Salines 23/08/2017

vue d'ensemble 6316

⑤ 6317/22

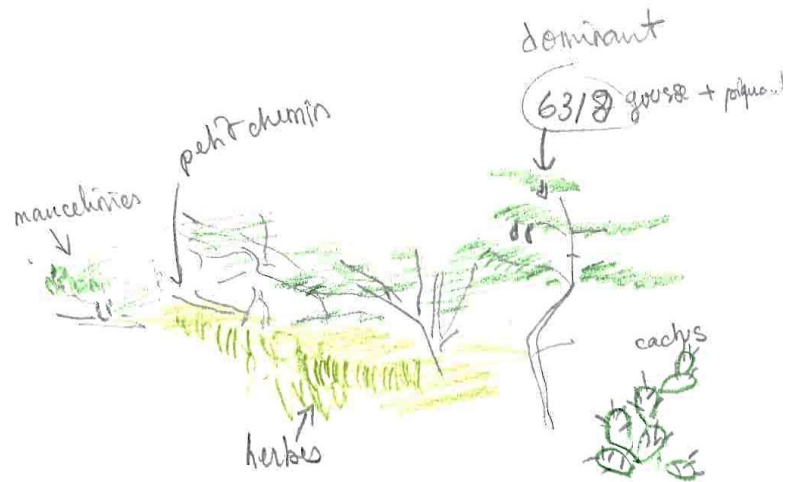
arbustes/
arbores/variés :

6319 ("framboise")

6320 ("petit plômé")

6321

6323



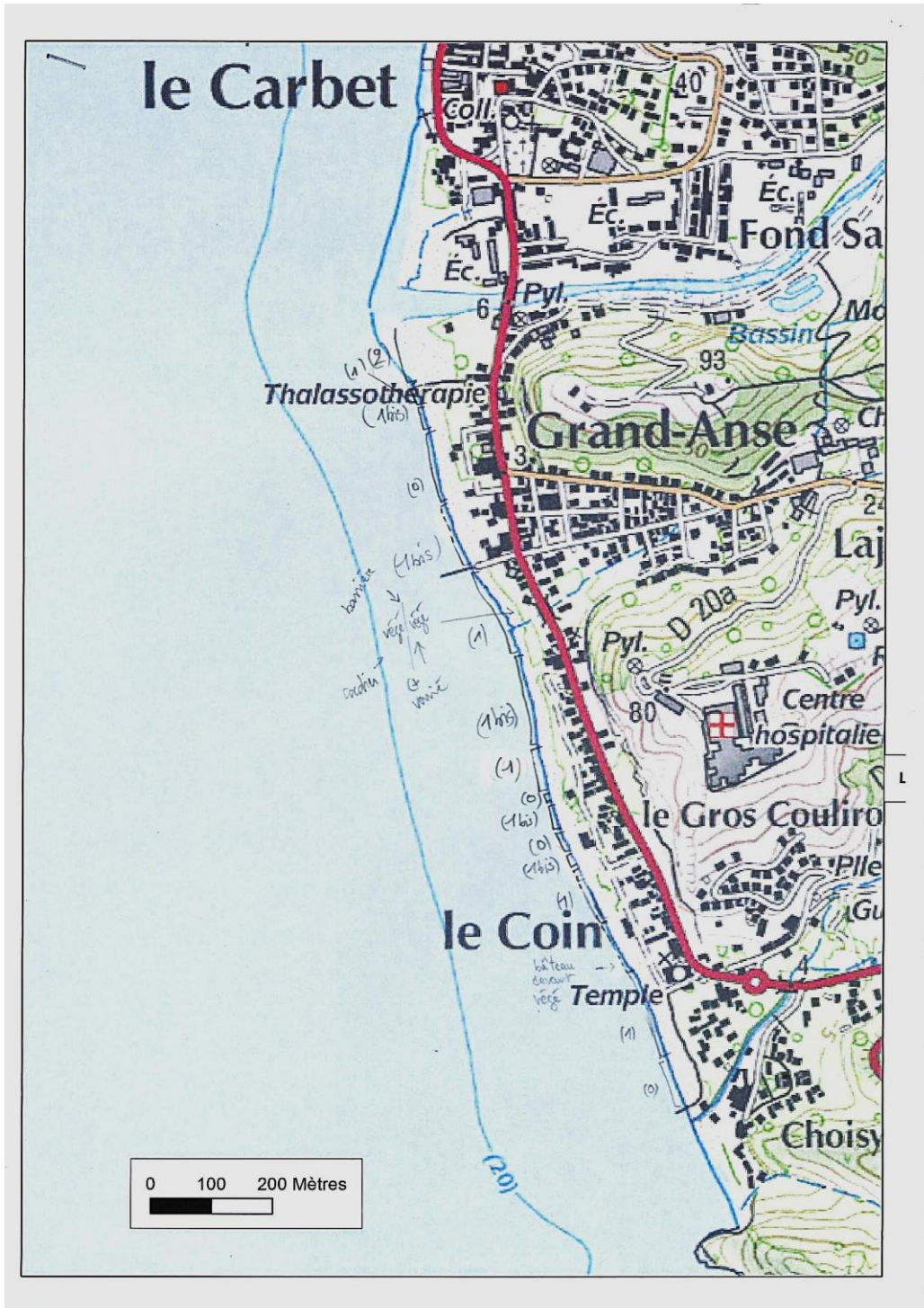
⚠ se poser la question de l'exposition vent/collée

⑤ bis similaire à ⑤ avec bcp ⊖ d'herbes
6324

DSCN6317



Annexe 3 – Description du couvert végétal proposé pour la plage du Carbet (22/08/2017)



Plage du Coin 22/08/2017
Sud → Nord

6267 → restaurants (⊙: pas de végétat°)

info terrain: pierres présente sous le sable jusqu'au petit bonhomme
↳ m ⊕ qu'au pelican beach

(1)

majo cocotiers

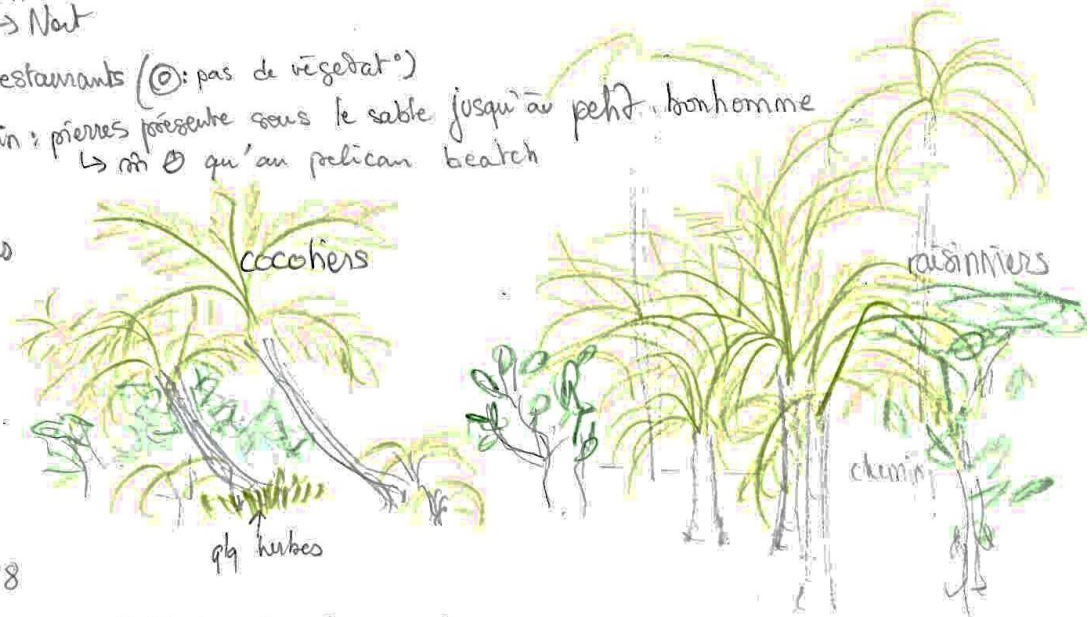


photo 6268

batéau devant vég° 6269 / 6270 (en ---)

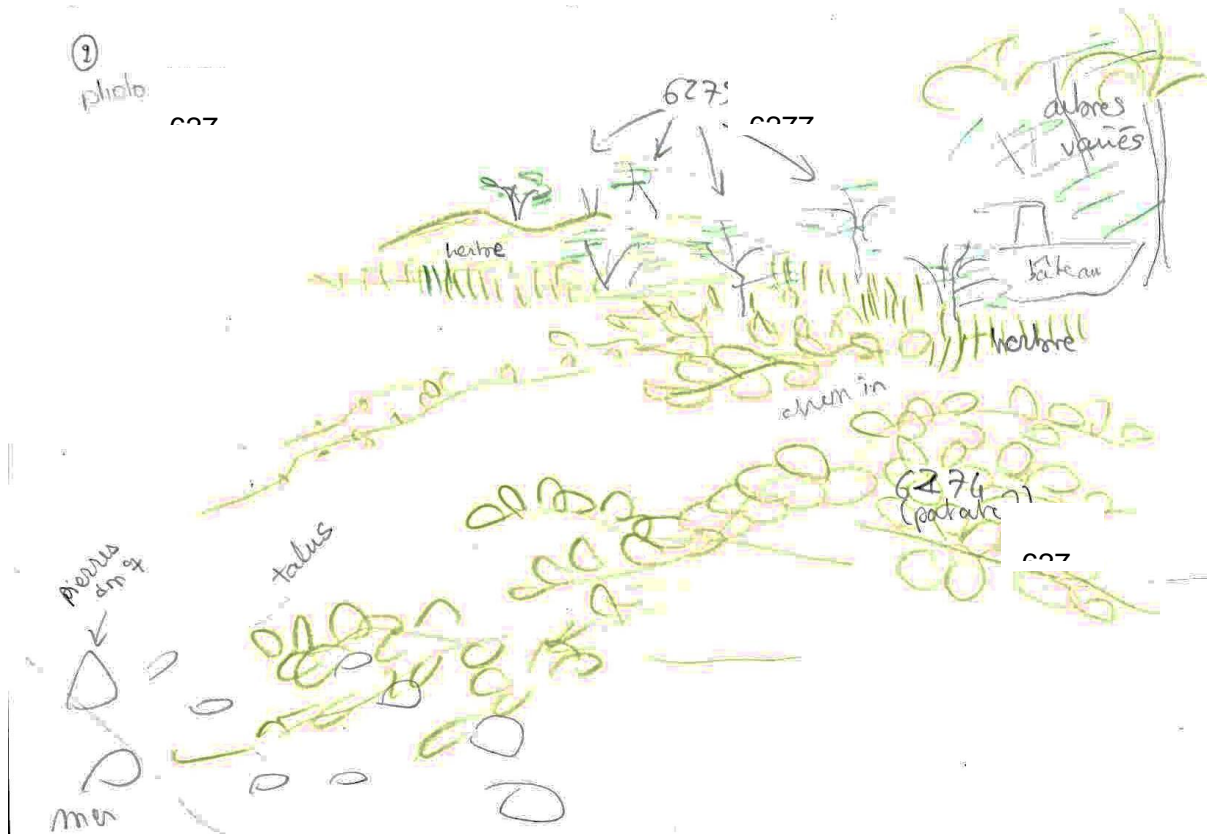
(1bis) similaire à (1) avec des raisiniers ⊕ abondants/⊕ durs
6271 / 74

(1) 6272

Panoramique vidéo Nd → Sud

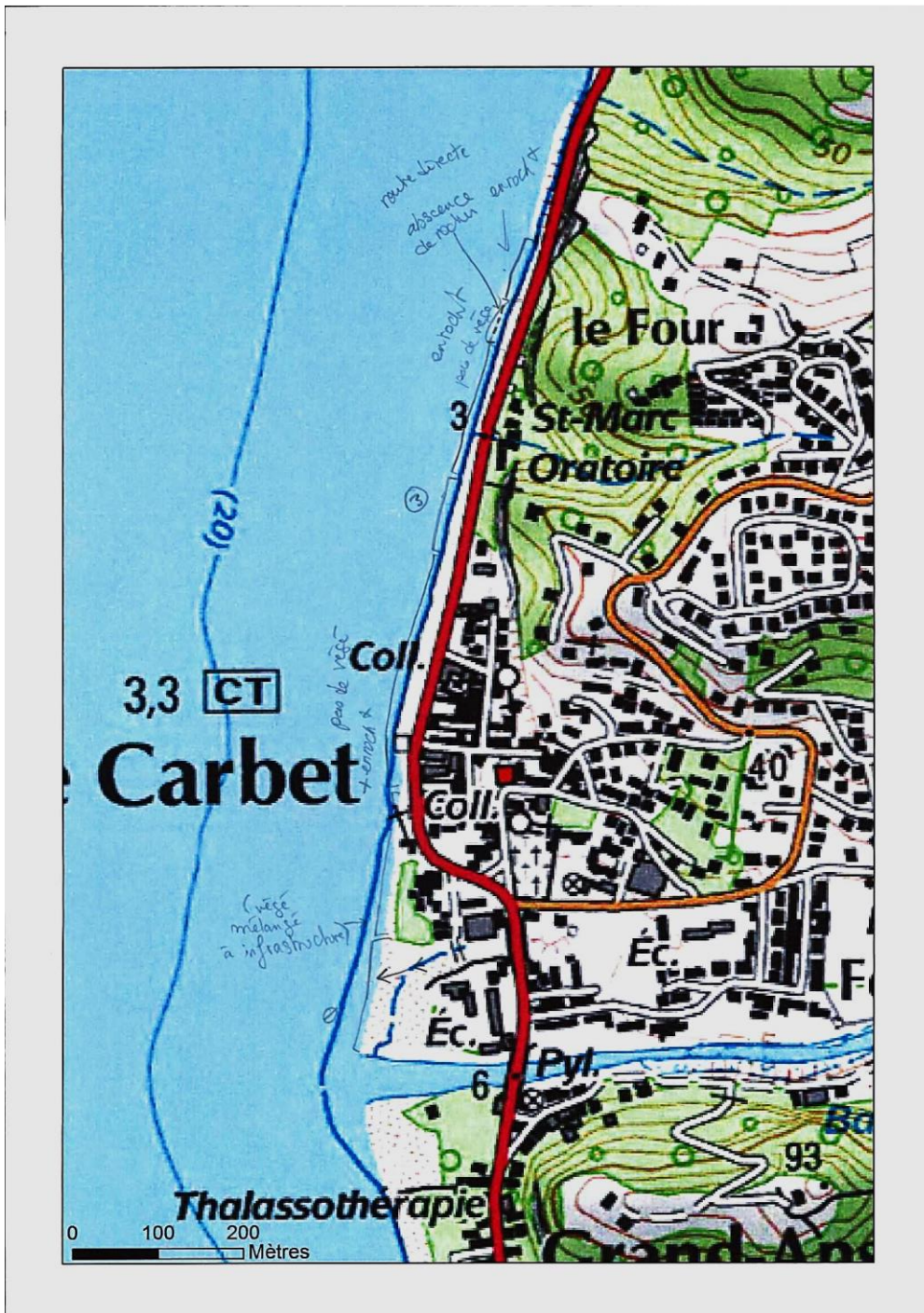
DSCN6268





DSCN6275





Plage du Carbet 22/08/2017

Sud → Nord

végé mixte à infrastructure (pêcheurs?) → 6279/80
+ palmiers

enrochement 6281/82/83

③ 6286 6285

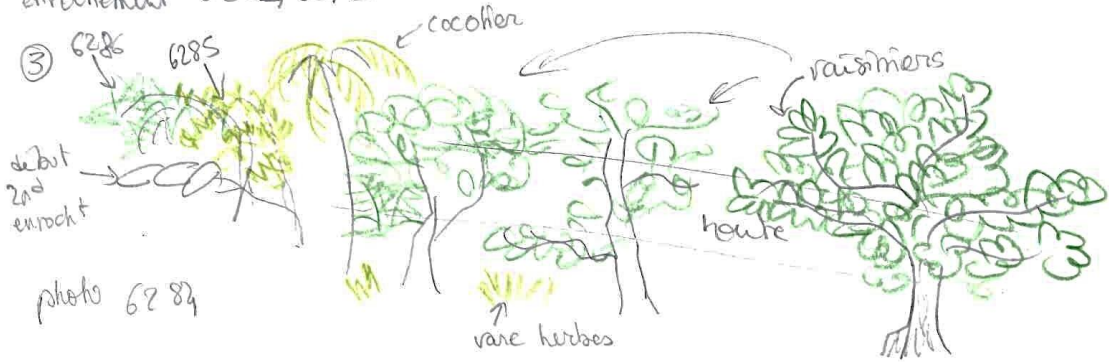
début
2nd
enroch +

photo 6284

2nd enroch +

6287

6289 → sans rochers!



DSCN6284



Annexe 4 – Description du couvert végétal proposé pour la plage du Diamant (22/08/2017)

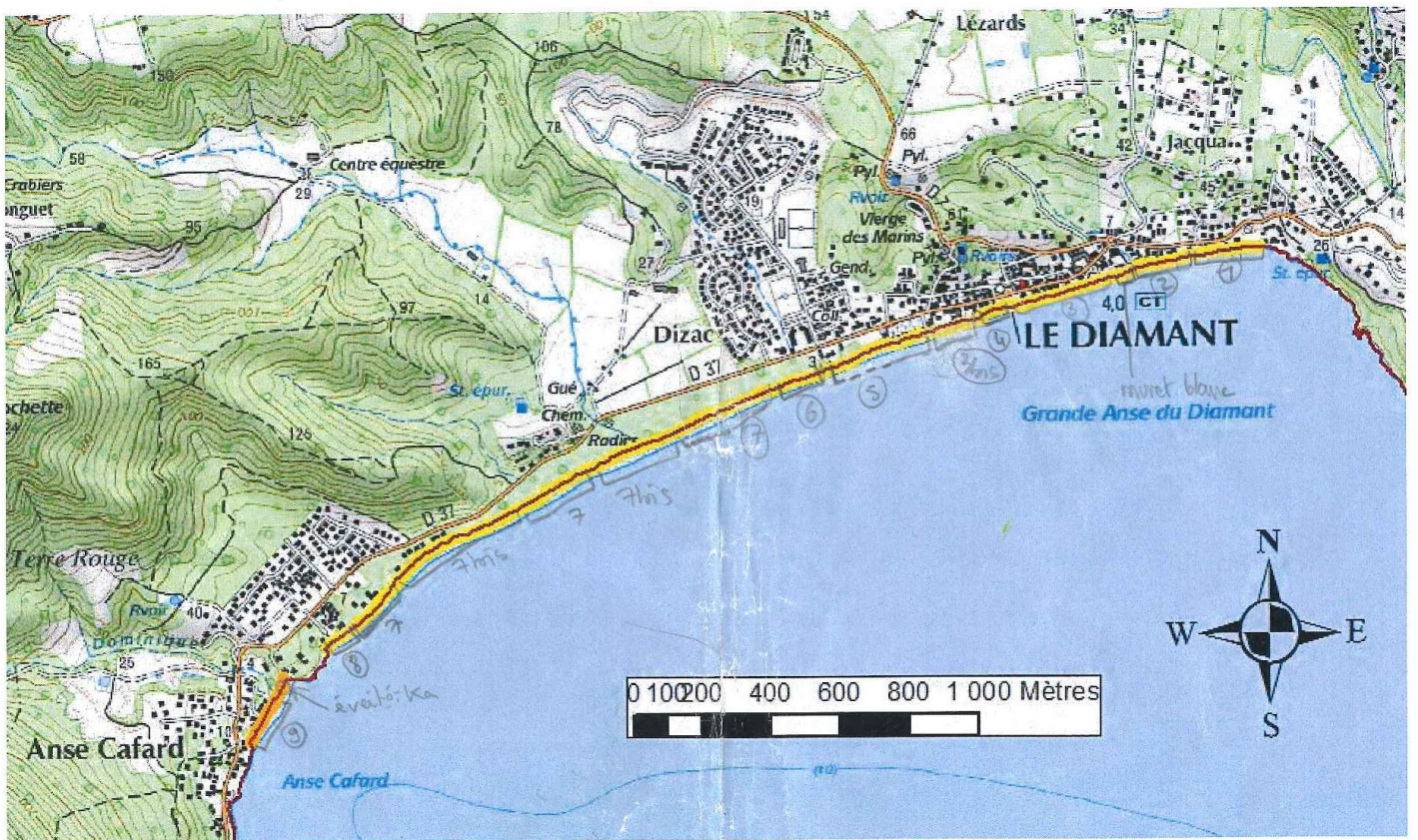




photo 1512
entour. 1513



photo 1514

muret blanc 1515

1516-17 → travaux nettoyage → enlève une partie de végétat° pionnière
 attire les rats ← (mais prend branche de cocotier)

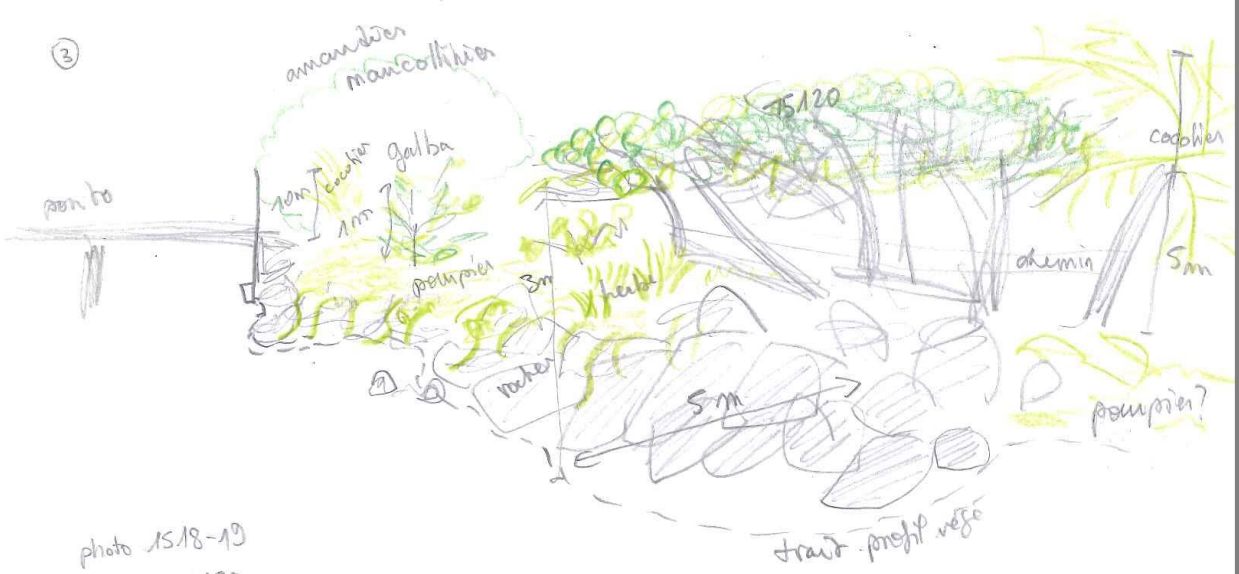


photo 1518-19
 arbre 15220
 pronomes 1521-22

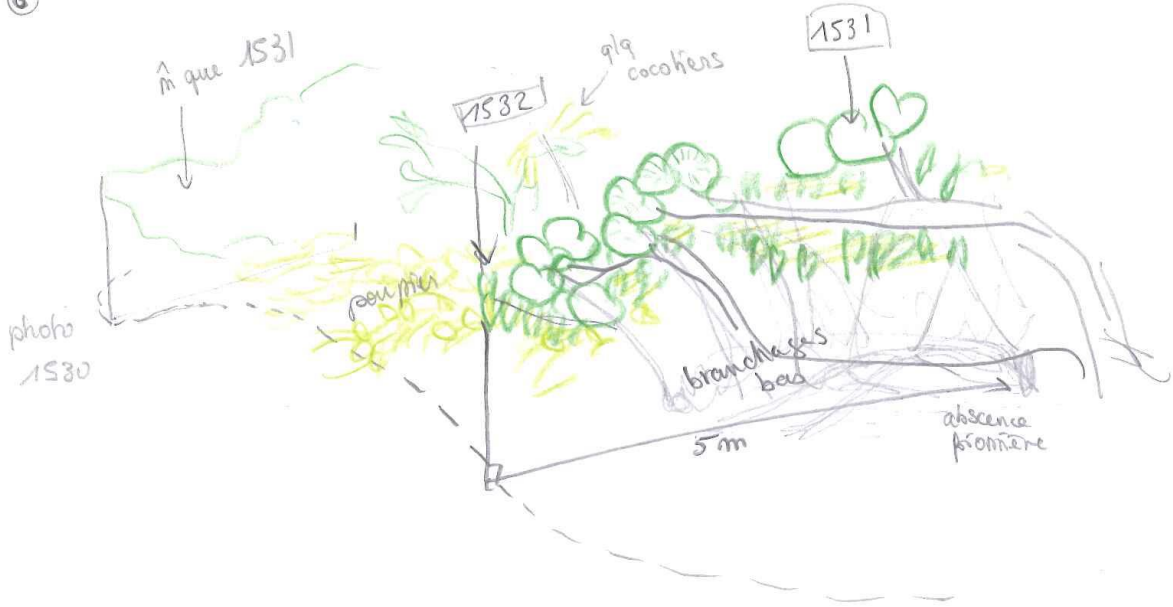
④ → pas de difficulté → limite pronomie pompier nette 1523
 ③bis similaire au ③ 1524

(1525-26 27 touristique)



photo 1528
 a/entour 1529 --- pointilles
 ↳ autres pas tjs pronomes

6



7



7bis

↳ similaire à 7 avec un peu ⊕ de pionnière 1536-37

8



Eveilô: Ka 1577



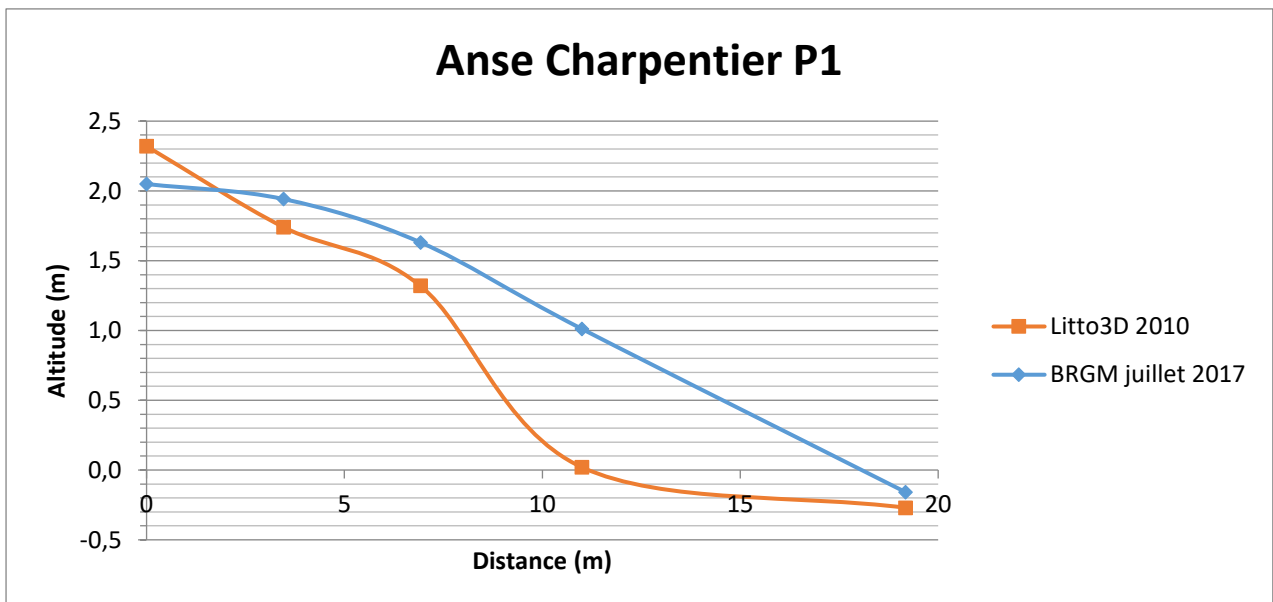
Annexe 5 – Carte de localisation des échouage de sargasses à partir des campagnes d’observation hélicoptérée réalisé par la DEAL entre le 19 avril au 5 septembre 2018

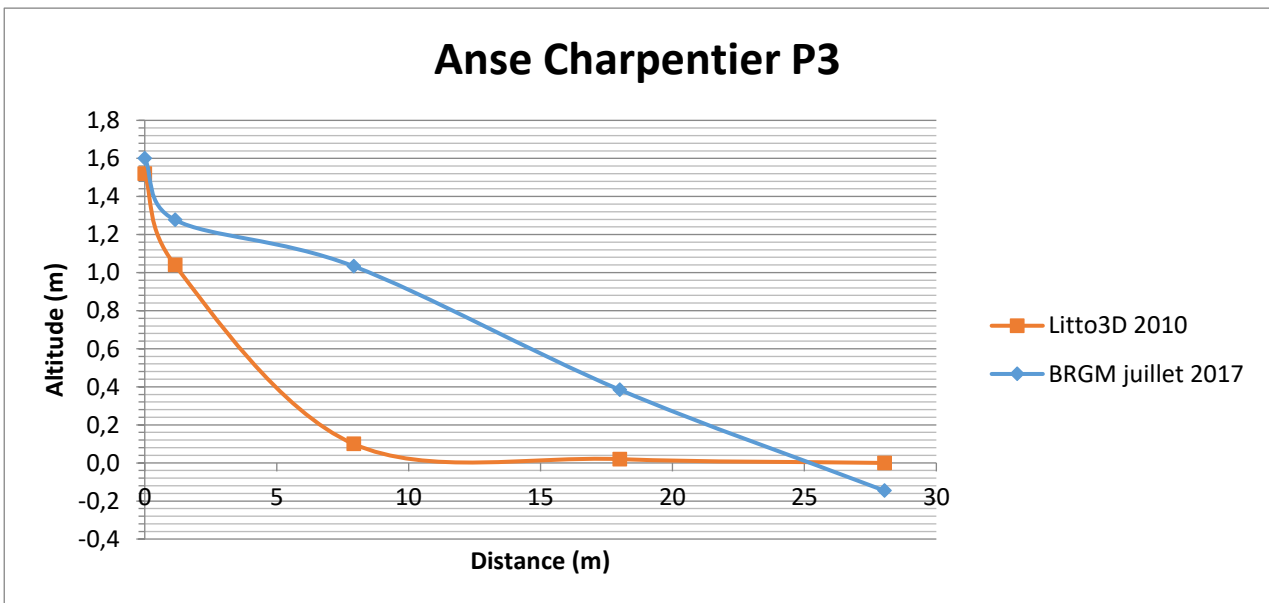
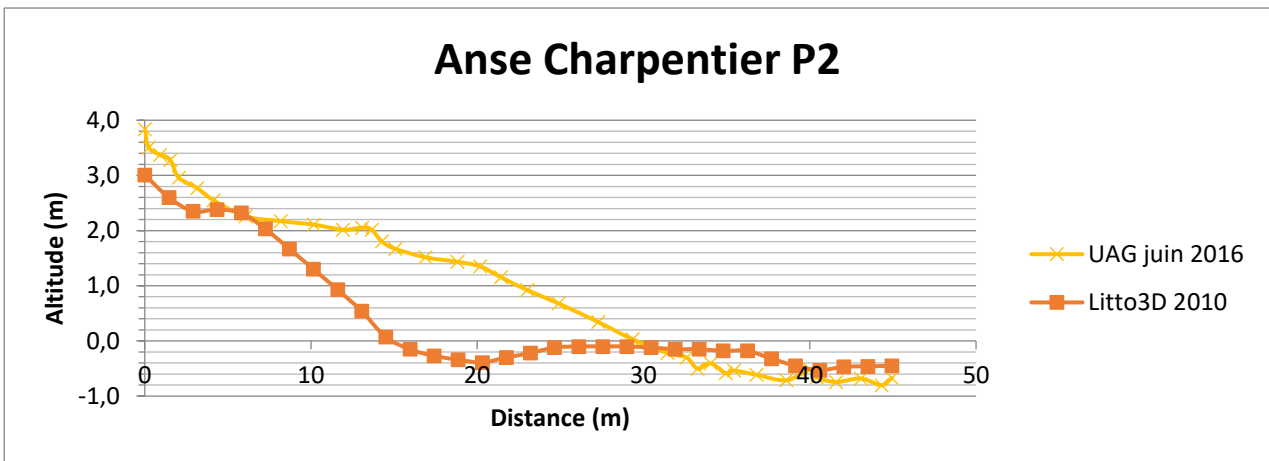
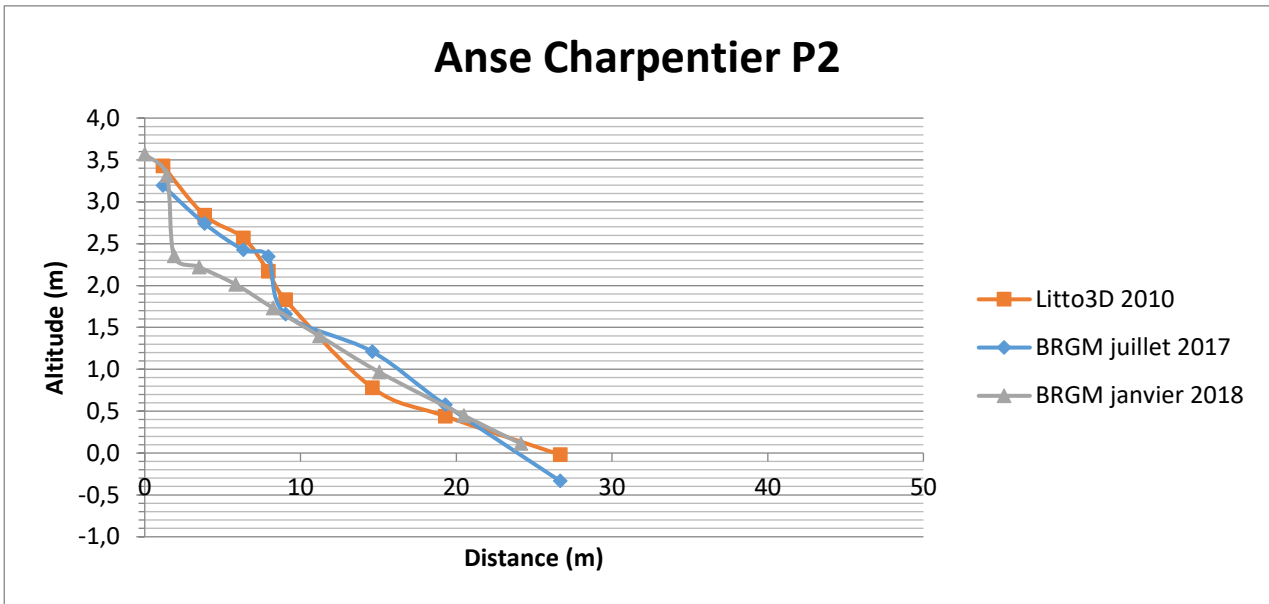
Annexe 6 - Mesures topographiques sur la plage d'Anse Charpentier entre juillet 2017 et janvier 2018





Source : IGN BD Ortho 2017





Annexe 7 - Mesures topographiques sur la plage de la Richer entre juillet 2017 et janvier 2018



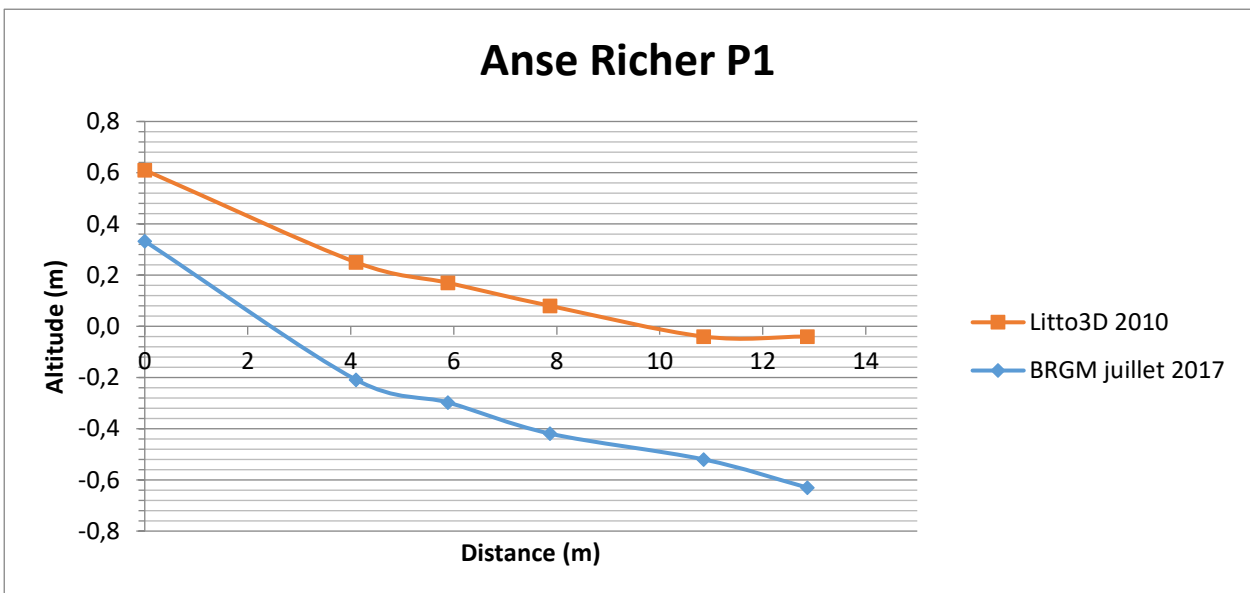
Source : IGN BD Ortho 2017



Source : IGN BD Ortho 2017

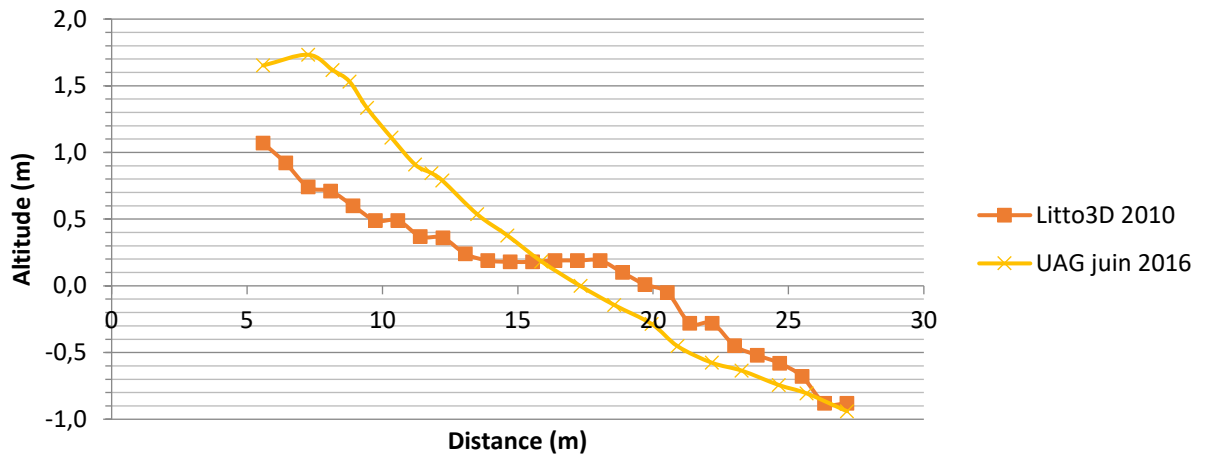


Source : IGN BD Ortho 2017

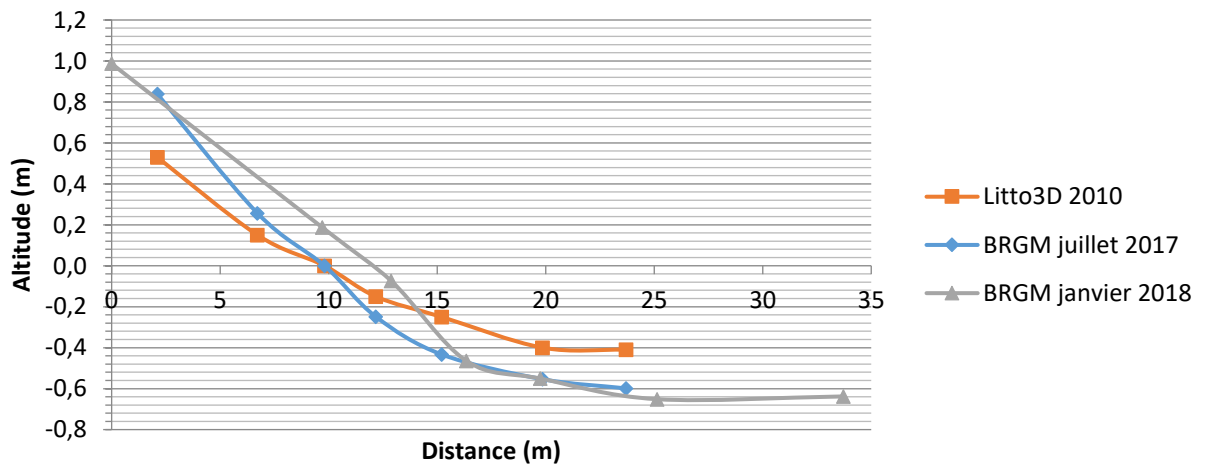


Début du profil

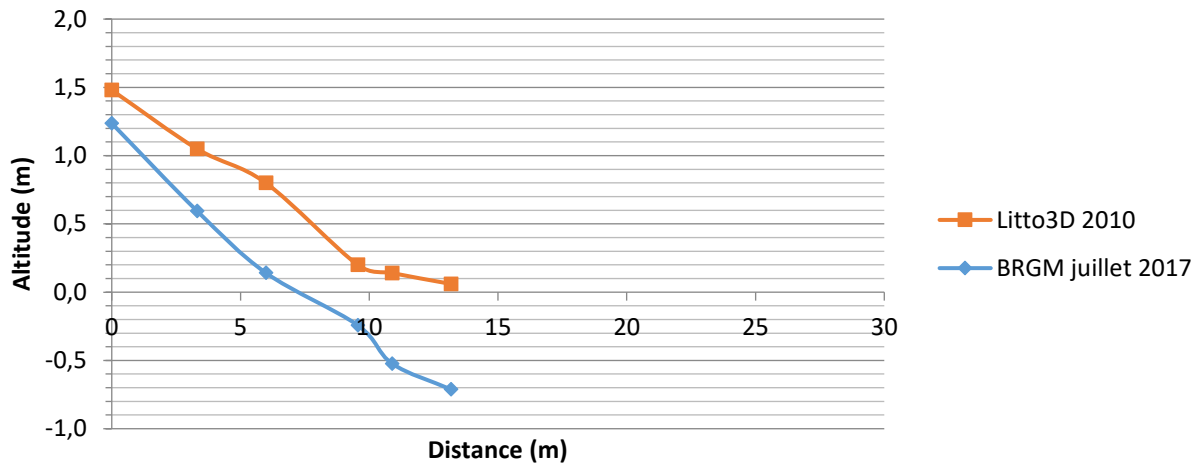
Anse Richer P2



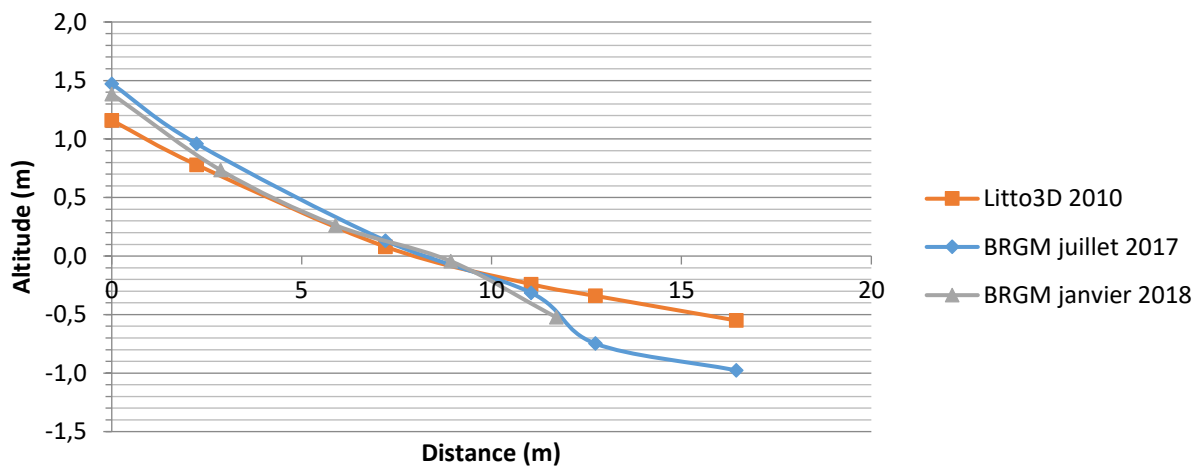
Anse Richer P3

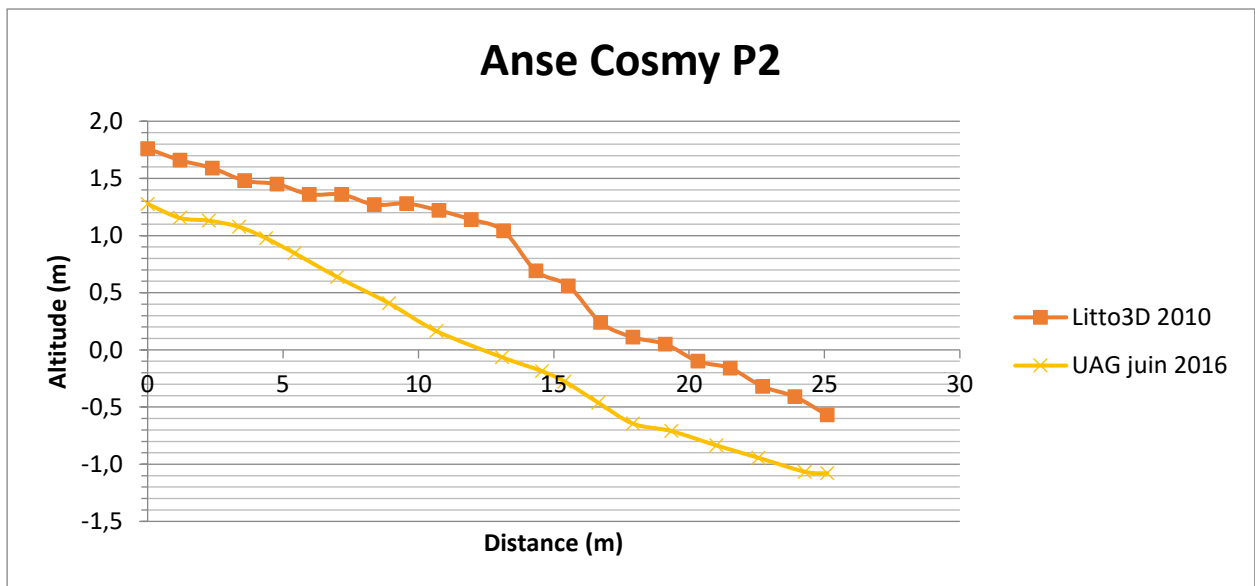
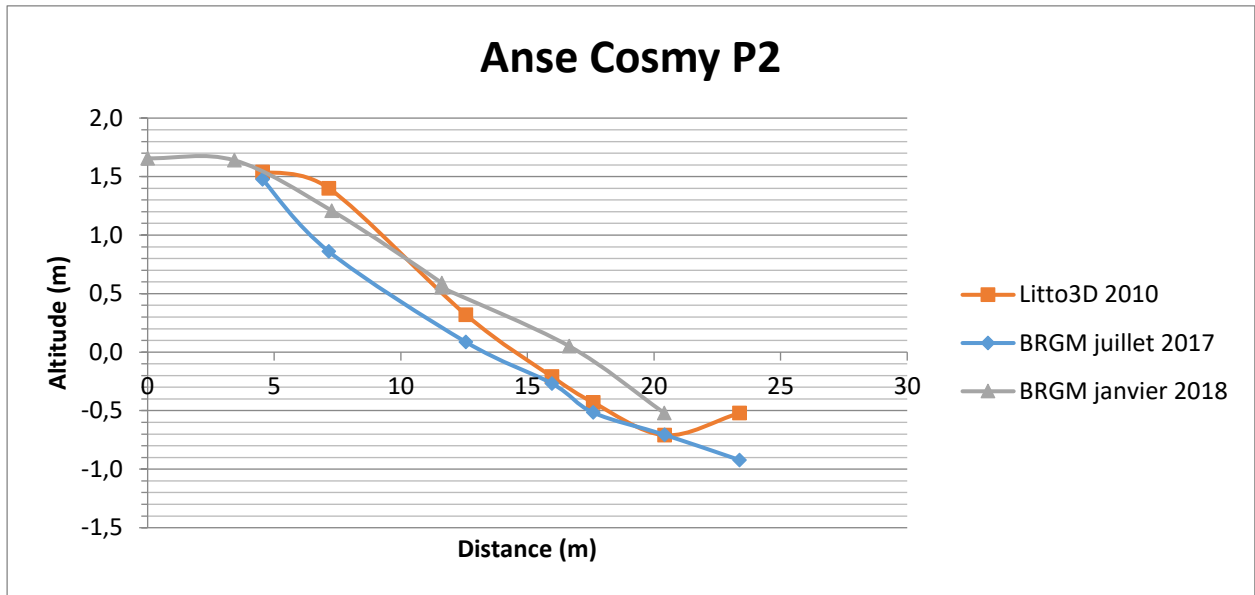


Anse Richer P4



Anse Cosmy P1



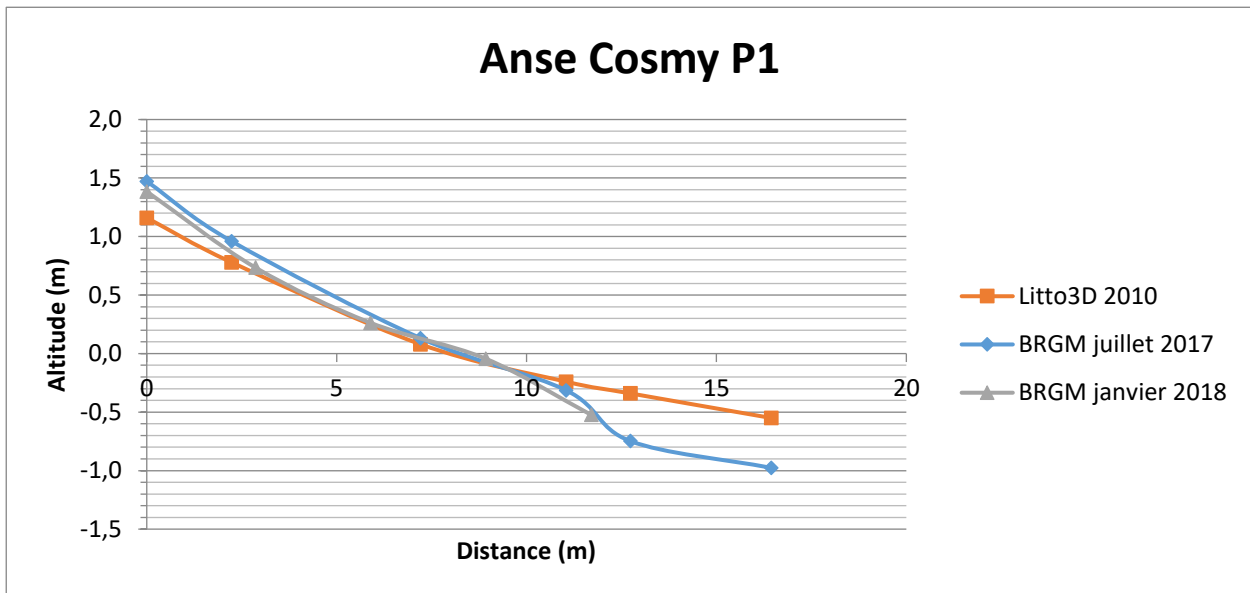


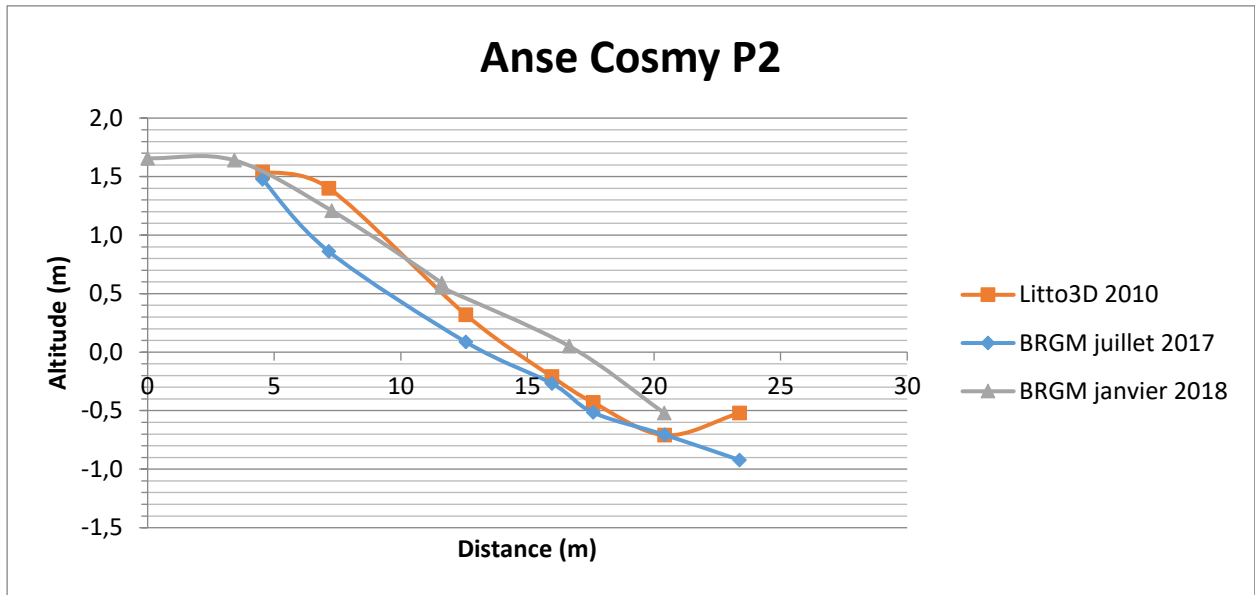
Annexe 8 - Mesures topographiques sur la plage d'Anse à Dièque entre juillet 2017 et janvier 2018



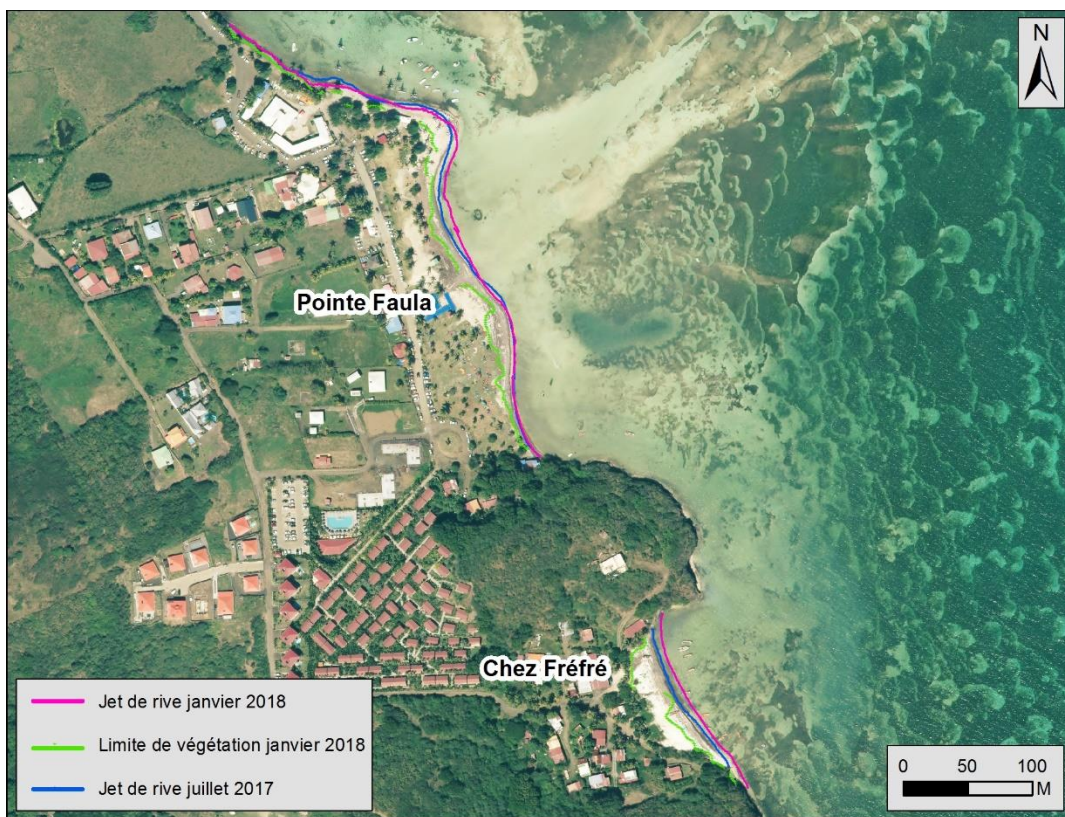


Source : IGN BD Ortho 2017



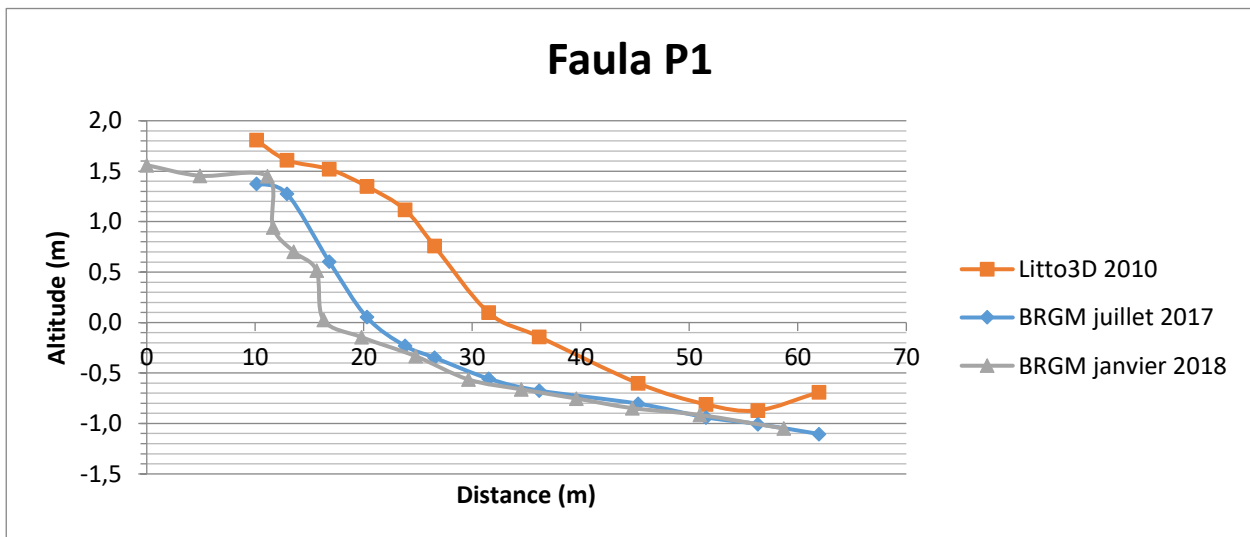


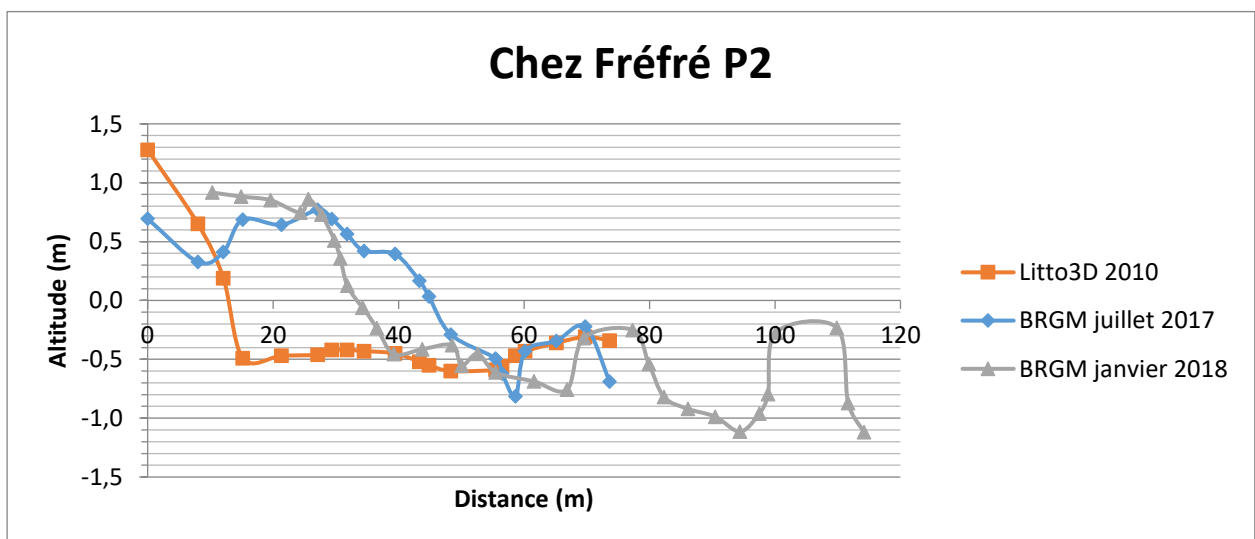
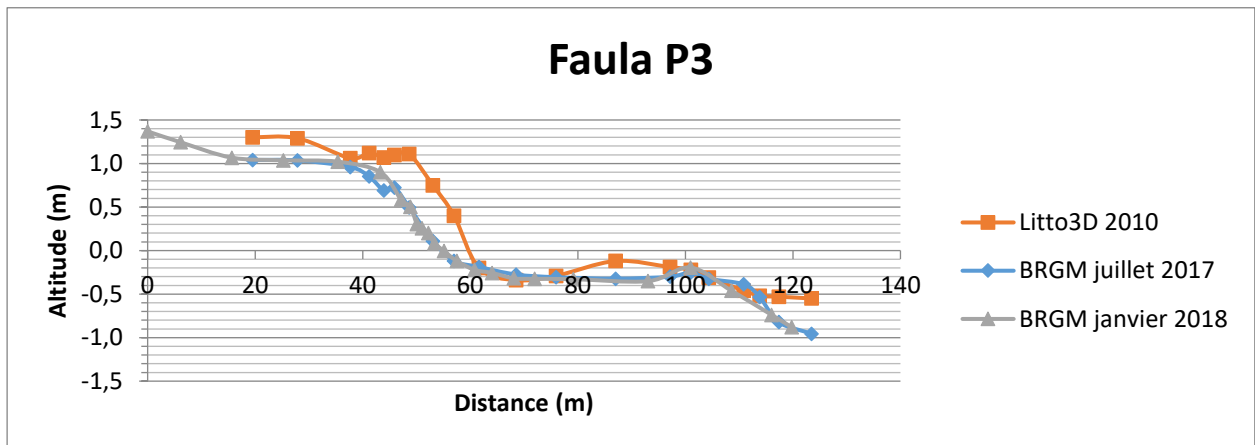
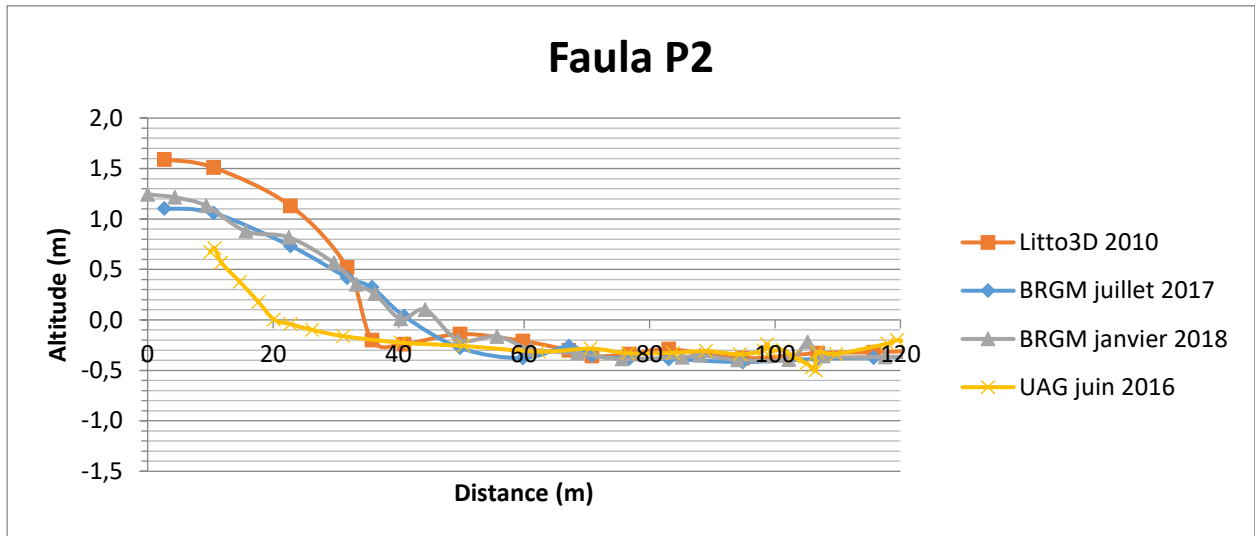
Annexe 9 - Mesures topographiques sur la plage de Pointe Faula et Chez Fréfré entre juillet 2017 et janvier 2018





Source : IGN BD Ortho 2017

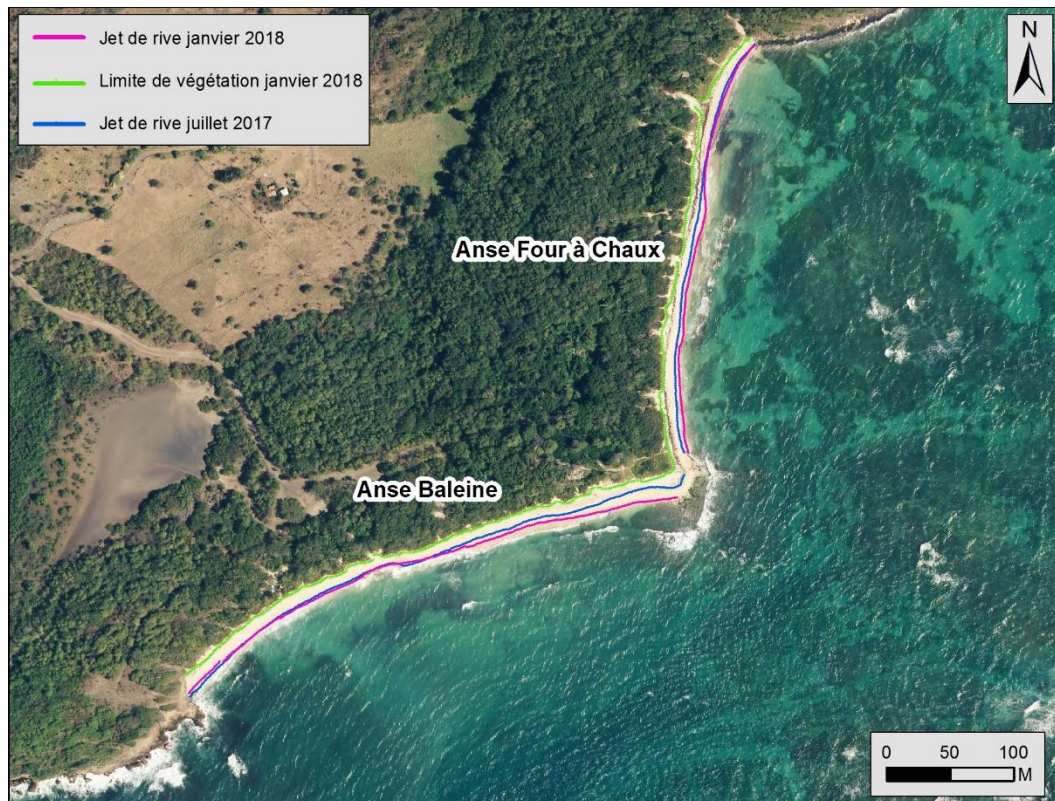




Annexe 10 - Mesures topographiques sur la plage Anse Four à Chaux et Anse Baleine (site appelé Pointe Marée) entre juillet 2017 et avril 2018



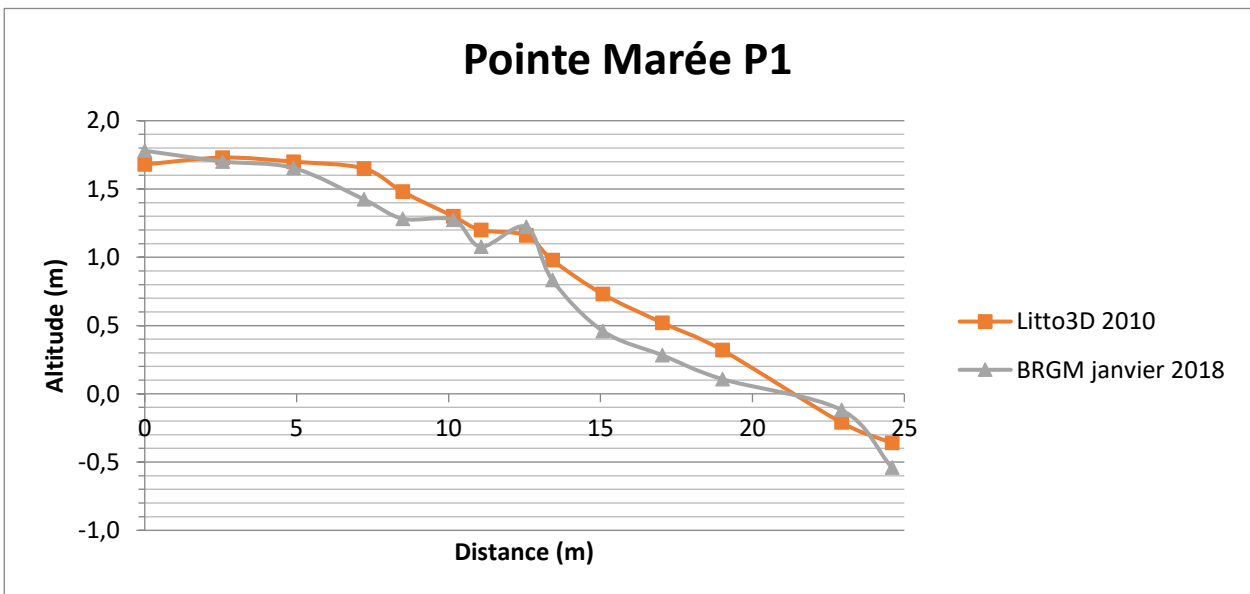
Source : IGN BD Ortho 2017

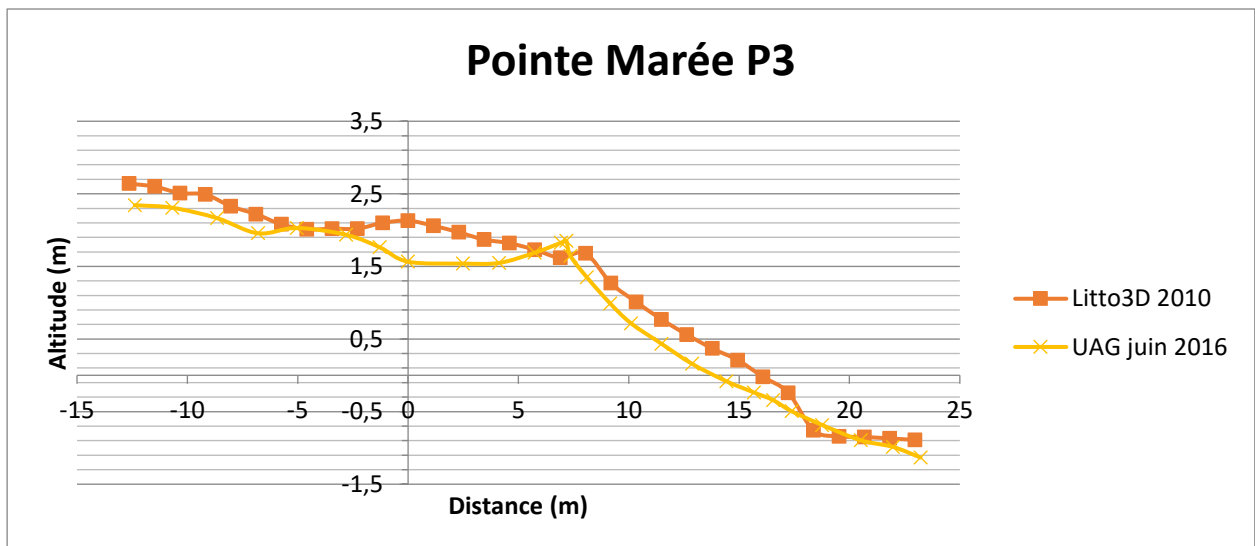
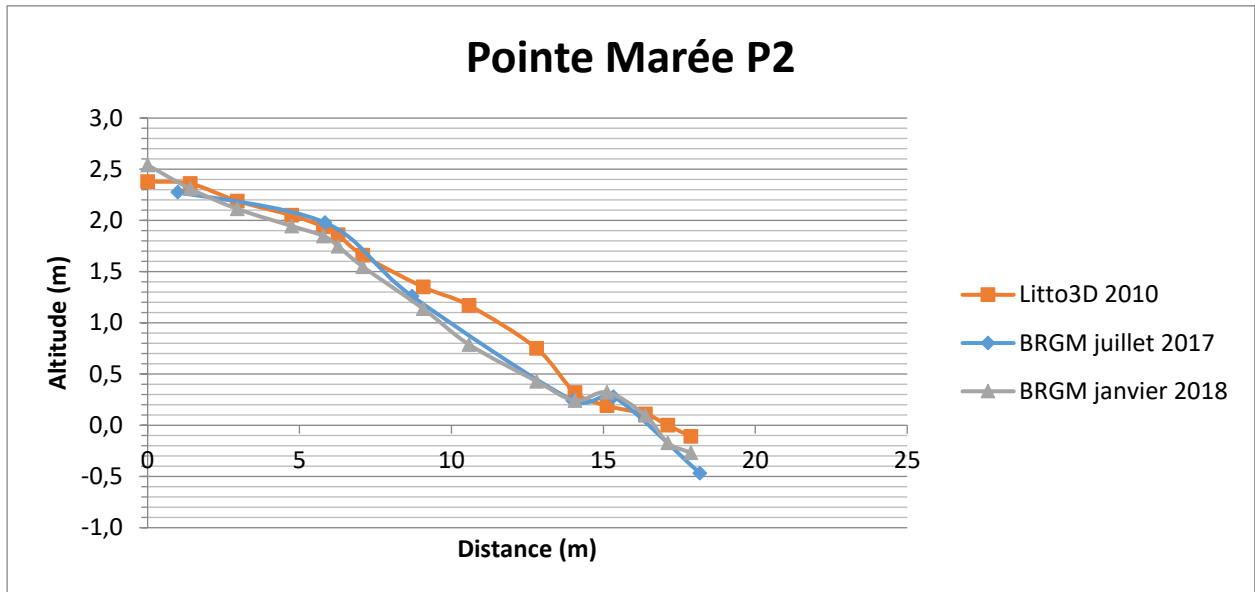


Source : IGN BD Ortho 2017

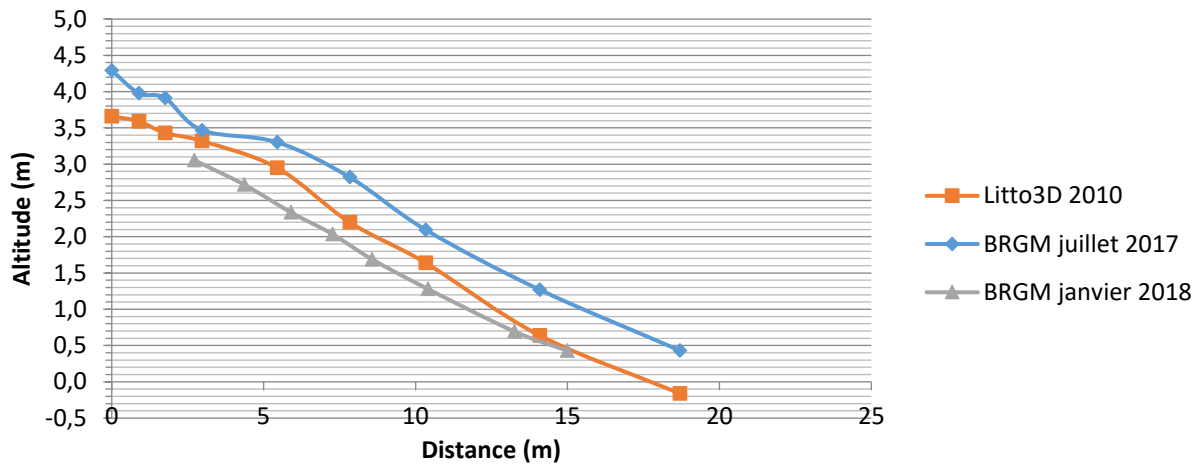


Source : IGN BD Ortho 2017





Pointe Marée P4



Annexe 11 - Mesures topographiques sur la plage d'Anse aux Bois et Anse Michel entre juillet 2017 et janvier 2018



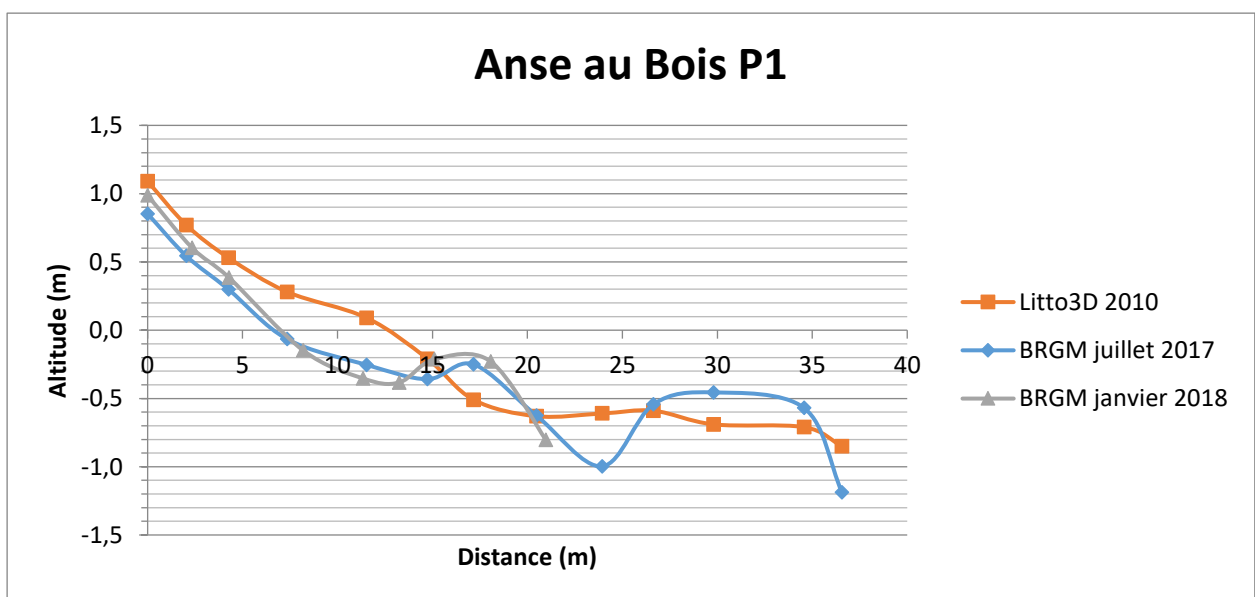
Source : IGN BD Ortho 2017



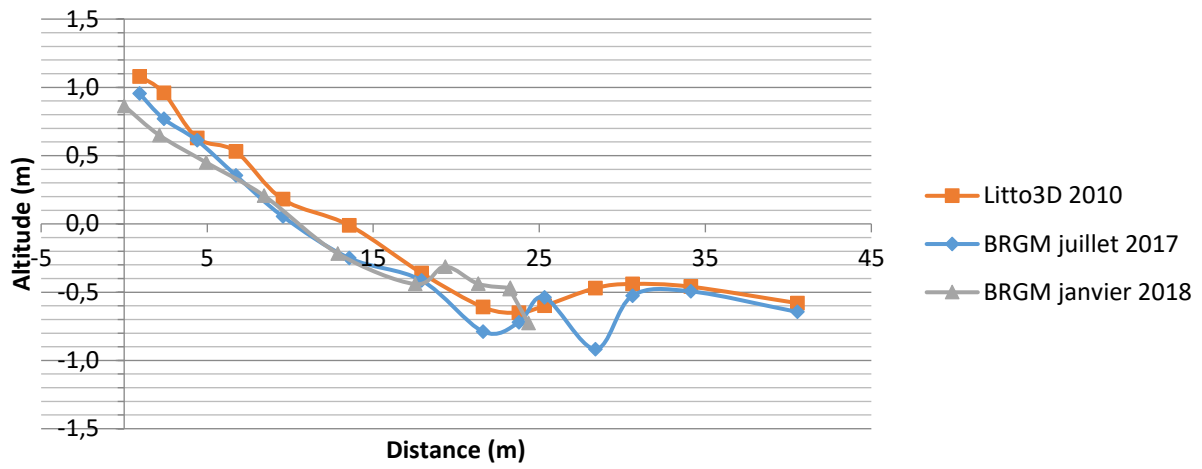
Source : IGN BD Ortho 2017



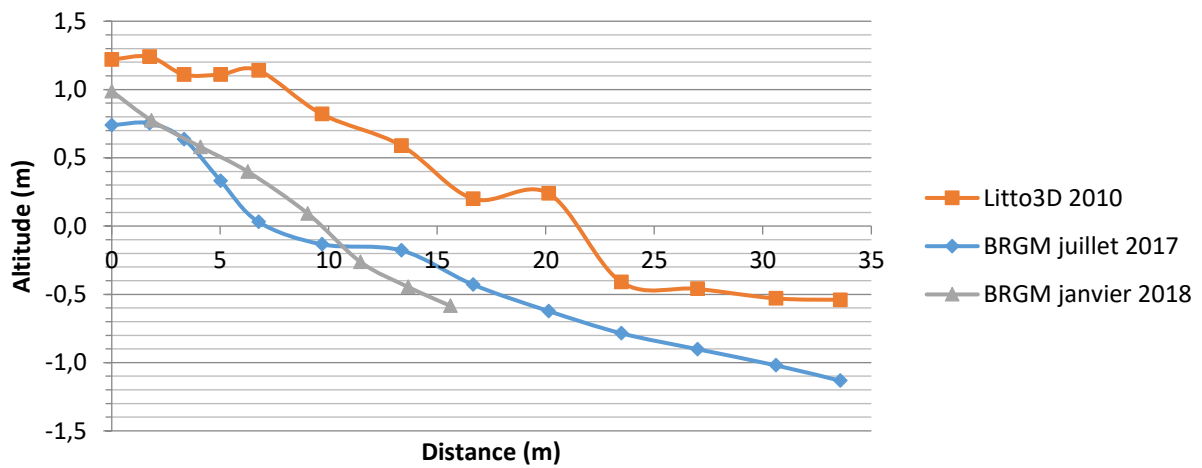
Source : IGN BD Ortho 2017

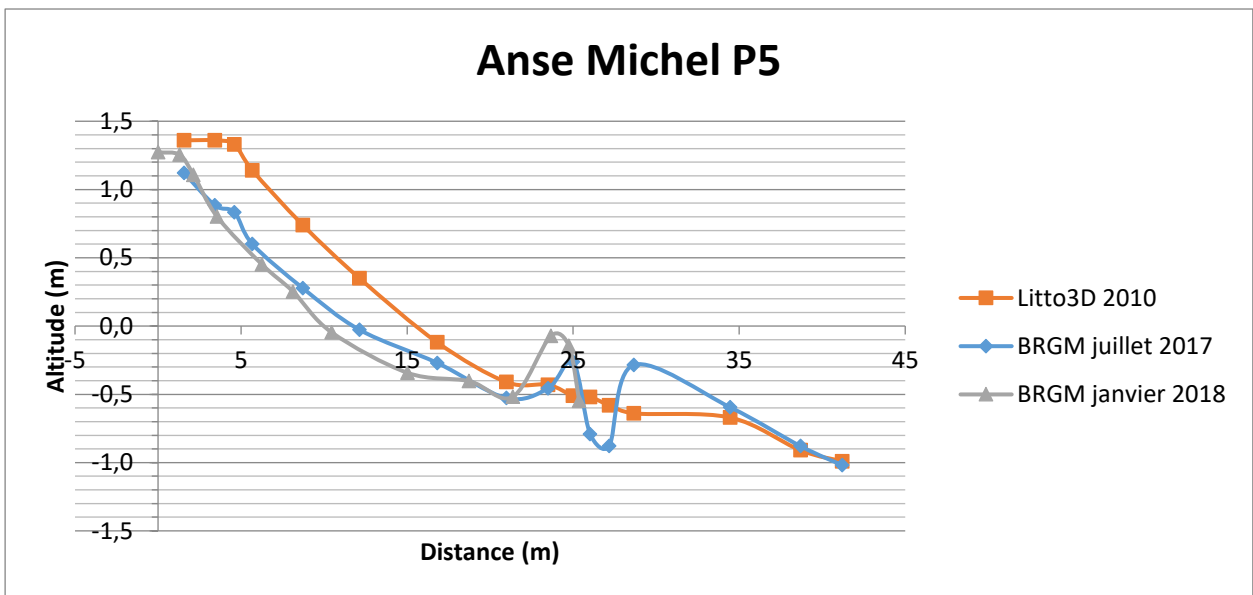
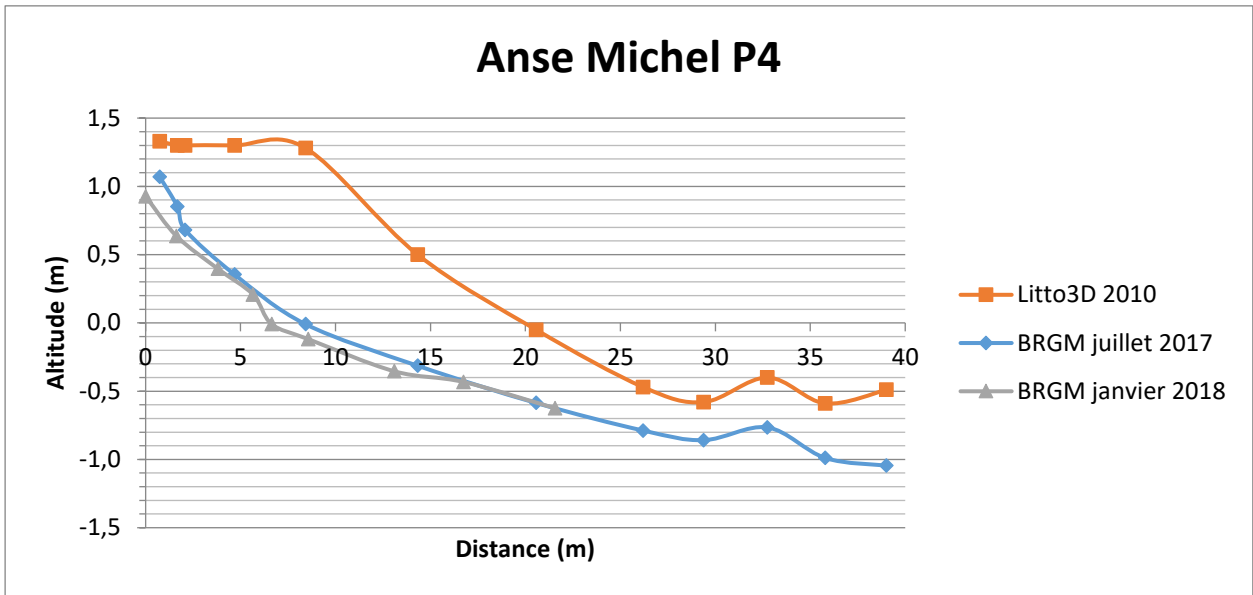


Anse au Bois P2

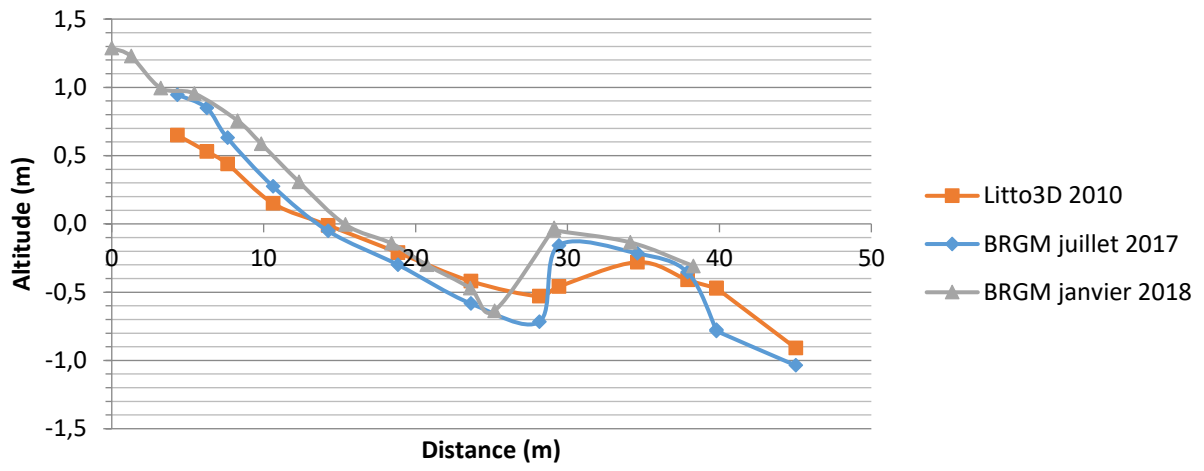


Anse au Bois P3

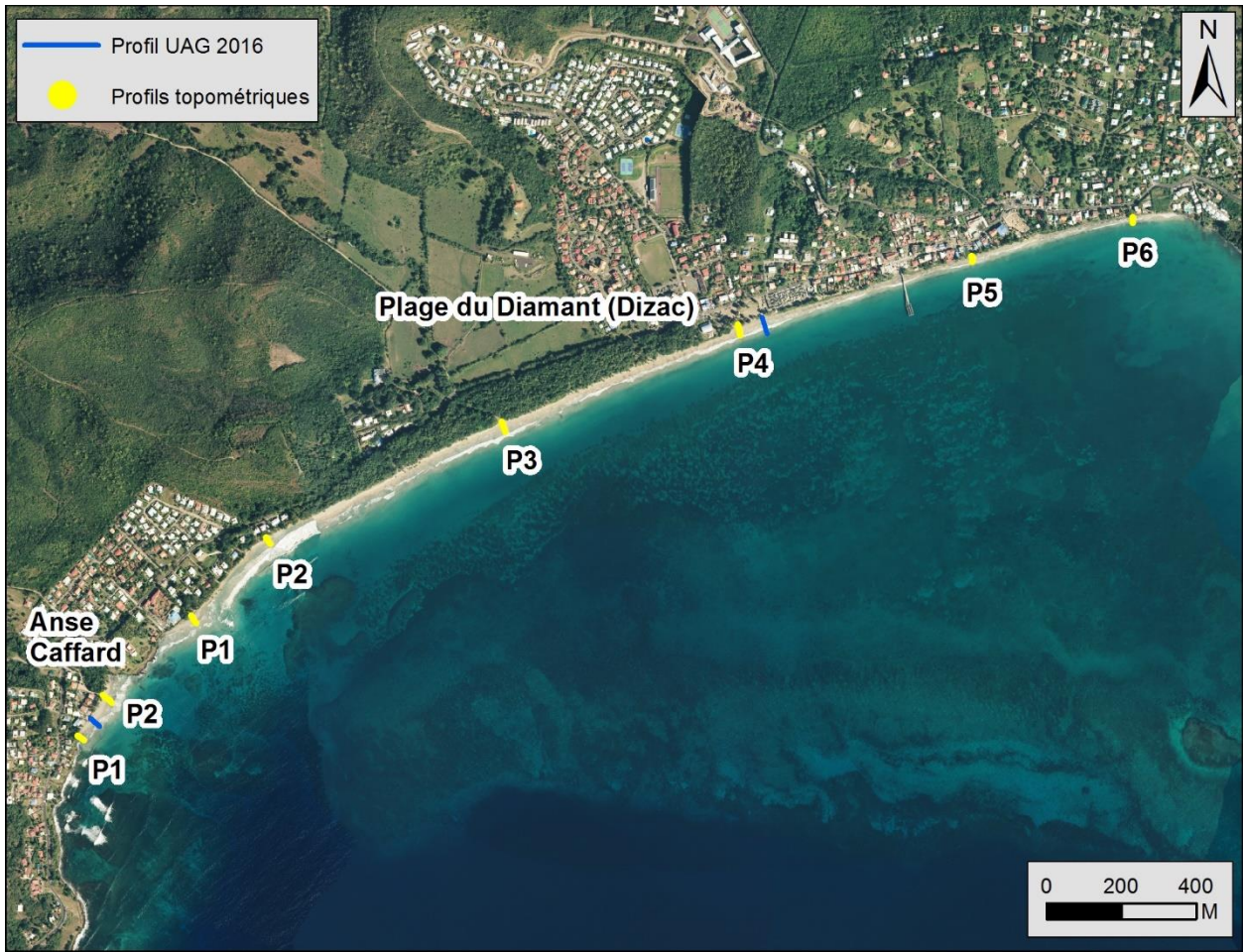




Anse Michel P6



Annexe 12 - Mesures topographiques sur la plage du Diamant et d'Anse Cafard entre juillet 2017 et avril 2018

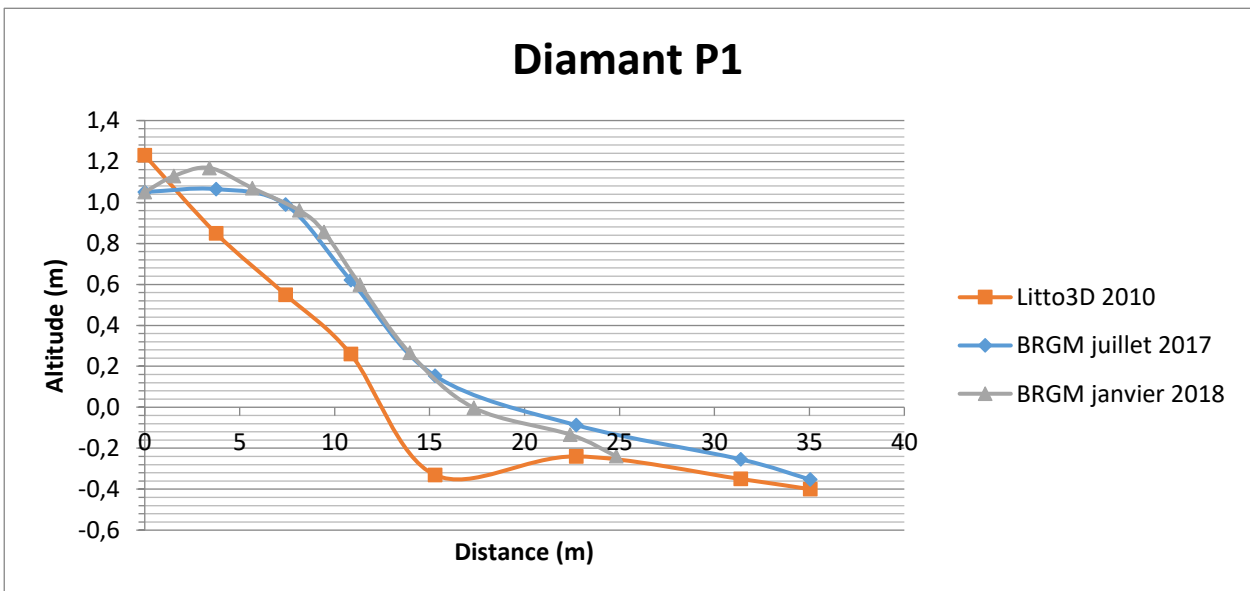


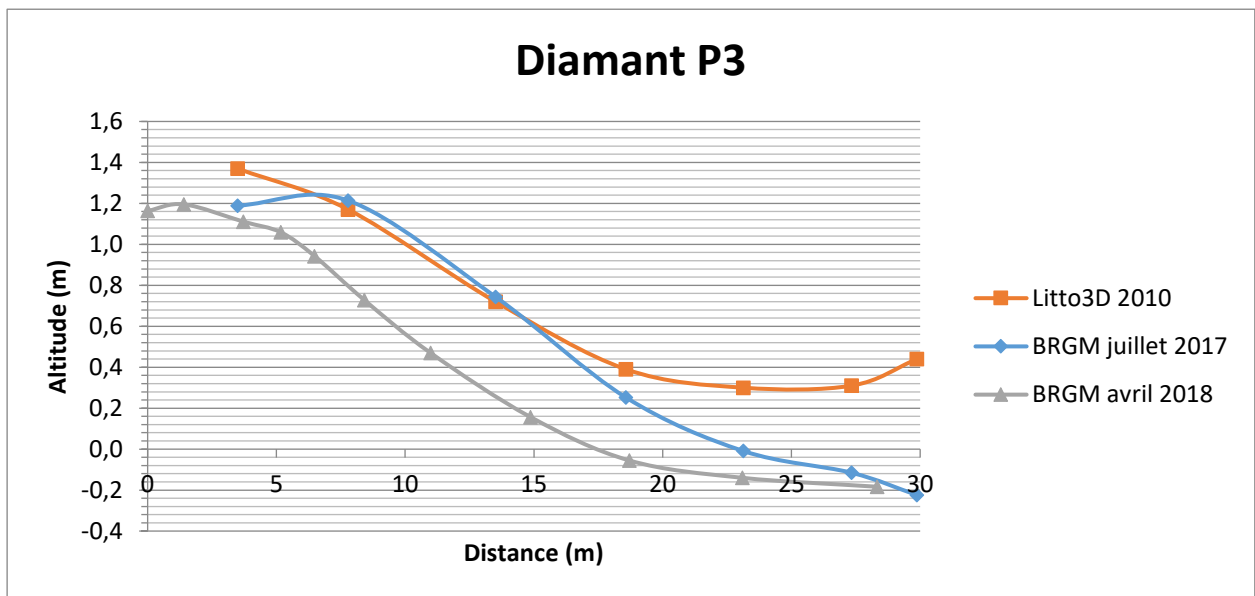
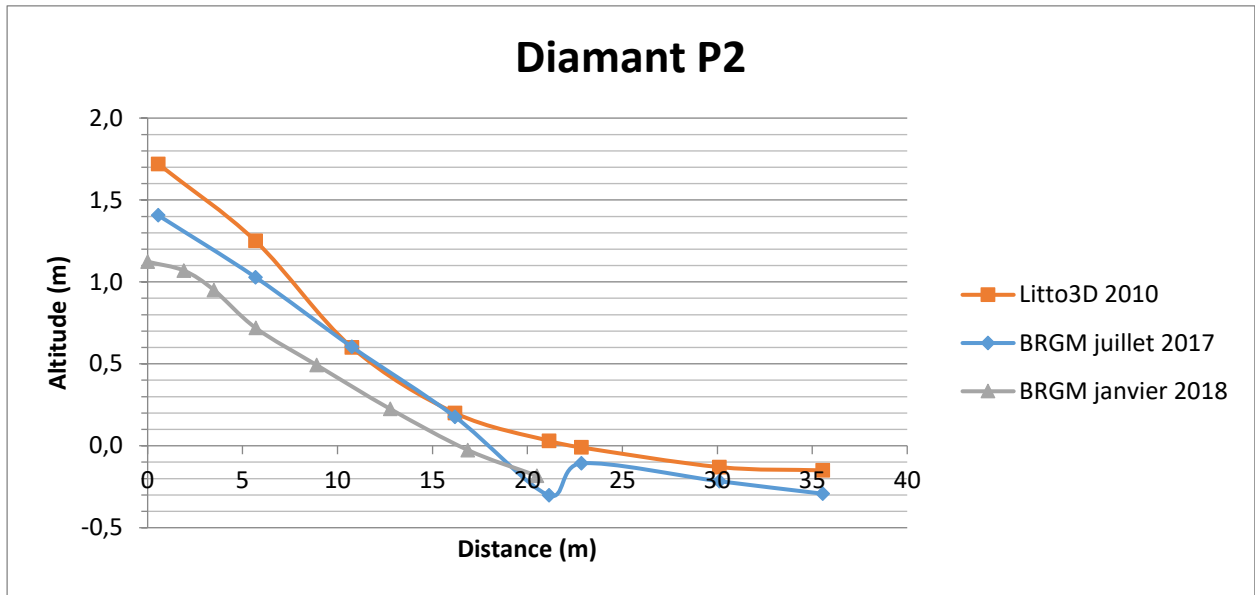


Source : IGN BD Ortho 2017

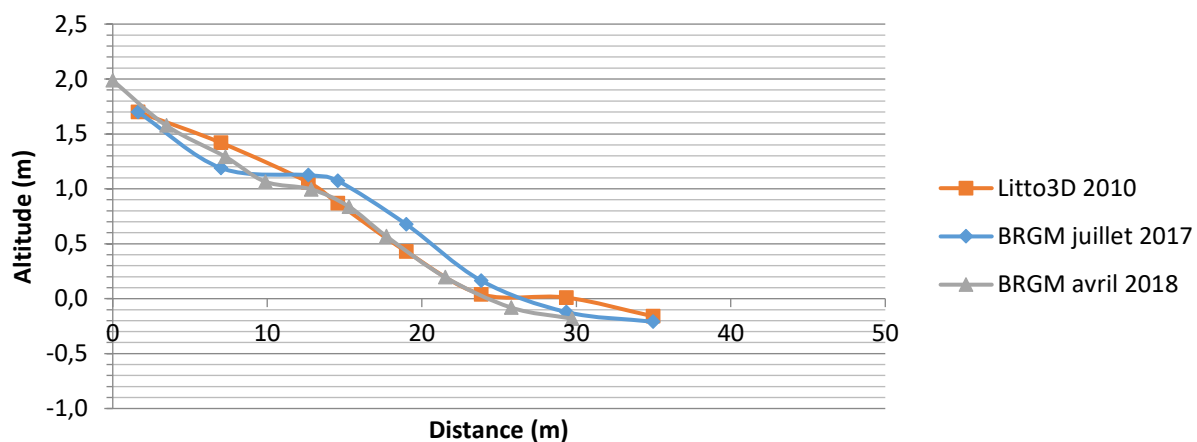


Source : IGN BD Ortho 2017

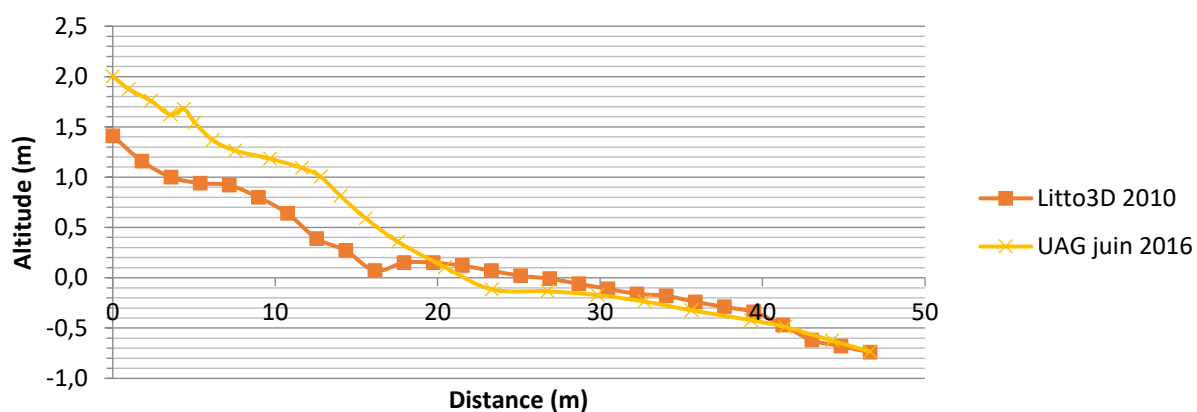




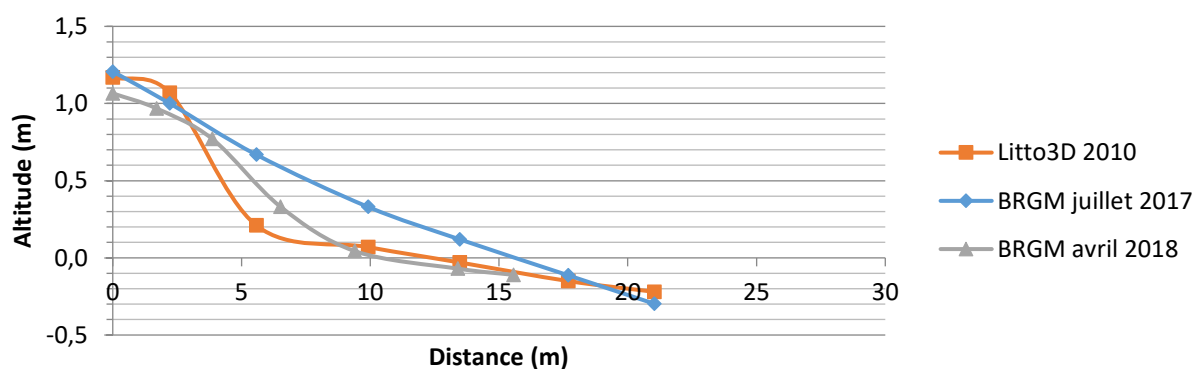
Diamant P4

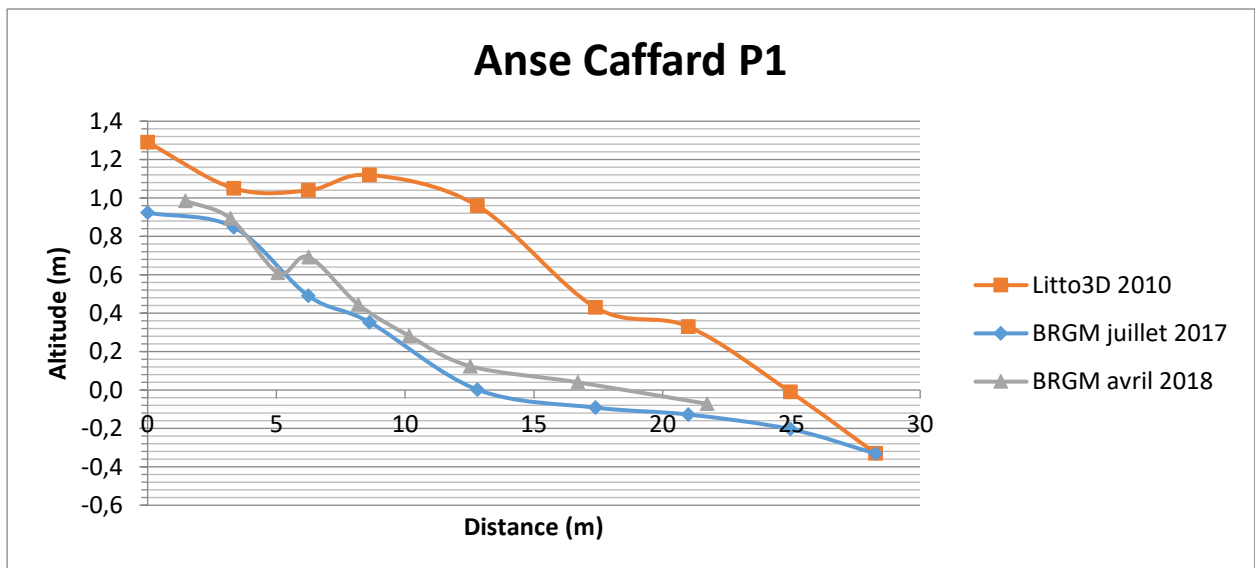
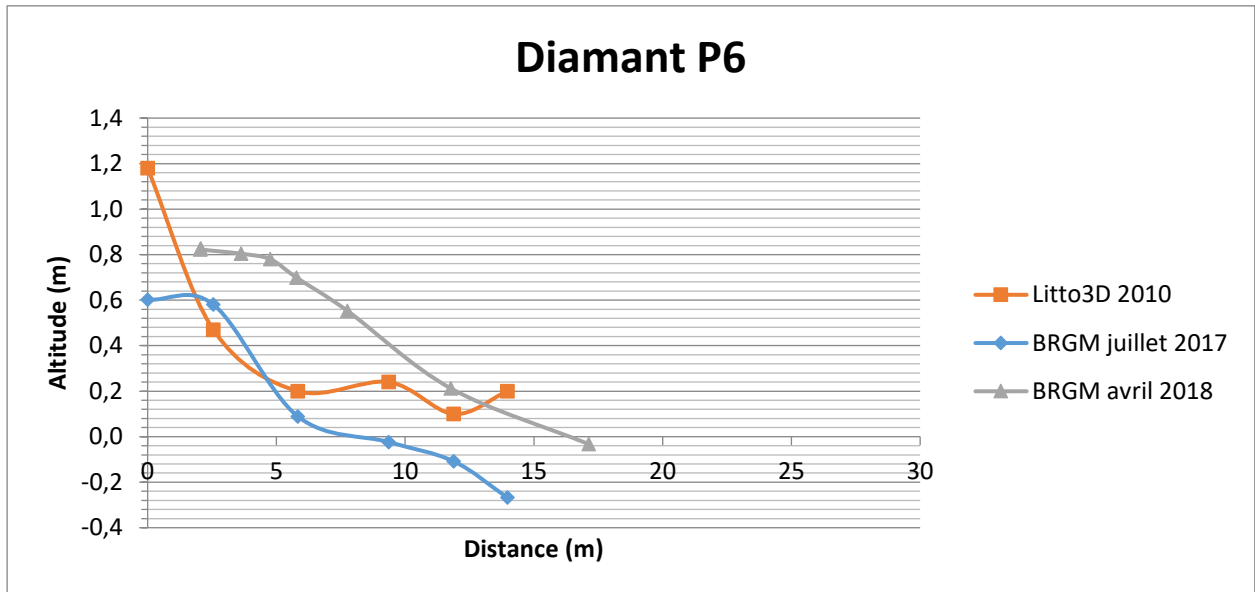


Diamant P4

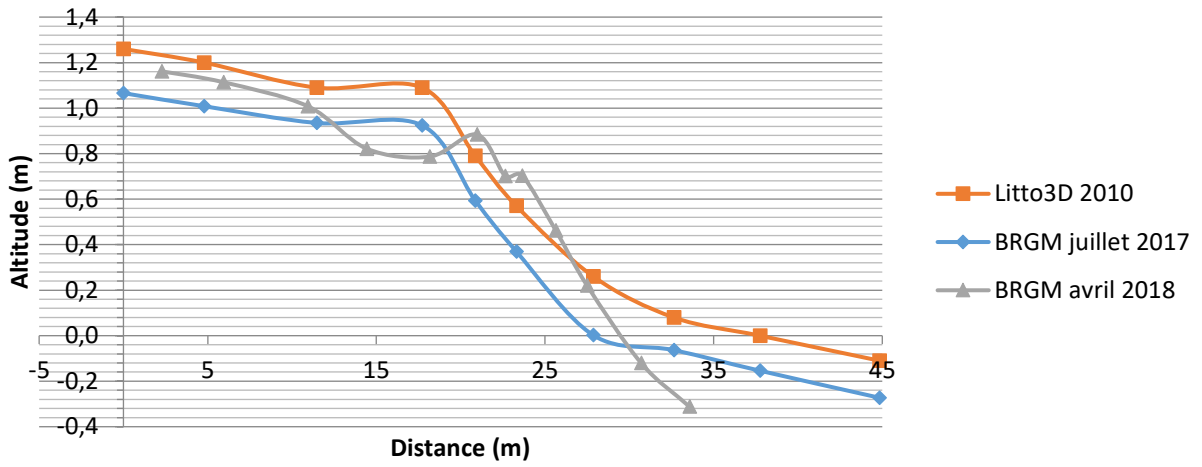


Diamant P5

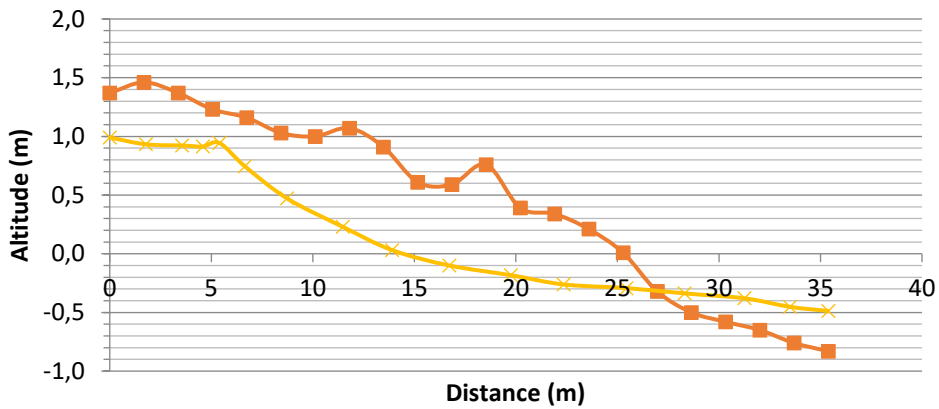




Anse Caffard P2



Anse Caffard





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Martinique

Villa Bel Azur, 4 Lot. Miramar,
Route Pointe des Nègres,
97200 Fort-de-France

Tél. : 05 96 71 17 70