



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat

Réseau de suivi du littoral de la Guadeloupe 2020-2022 – Observatoire du littoral des îles de Guadeloupe (OLIG)

Rapport Final

BRGM/RP-72586-FR

8 mars 2023

Étude réalisée dans le cadre des projets d'appui aux politiques publiques

**Manuel MOISAN, Thibault DELAHAYE, Mathieu NORDEN, François
LONGUEVILLE, Lisa MARTINS**

Vérificateur :

Nom : Thibault LAIGRE

Fonction : Ingénieur Littoral

Date : 10/03/2023

Signature :

Approbateur :

Nom : Ywenn DE LA TORRE

Fonction : Directeur Régional

Date : 14/03/2023

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



Mots clés : Littoral, Guadeloupe, érosion, plage, trait de côte, dynamique sédimentaire, réseau de suivi, observatoire, bilan sédimentaire

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

Manuel MOISAN, Thibault DELAHAYE, Mathieu NORDEN, François LONGUEVILLE, Lisa MARTINS (2023) – Réseau de suivi du littoral de la Guadeloupe 2020-2022 – Observatoire du littoral des îles de Guadeloupe (OLIG). Rapport Final V2. BRGM/RP-72586-FR, 84 p., 69 ill.

© BRGM, 2023, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-22/09/2022

Synthèse

Le littoral guadeloupéen offre une grande variété de paysages littoraux par ses origines géologiques particulières et son climat tropical maritime. Cependant, il doit faire face aux pressions anthropiques croissantes et à l'augmentation des risques liés à l'érosion côtière et à la submersion marine. Observer de façon pérenne son évolution est donc nécessaire pour la compréhension des processus qui l'anime.

Initié en 2016, par le BRGM, la Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DEAL) et la Région Guadeloupe, le réseau de suivi a perduré entre 2020 et 2022, pour devenir fin 2022 un observatoire du littoral des îles de Guadeloupe (OLIG). Le travail entrepris dans ce projet, décrit la mise en place des protocoles de suivis dans le cadre du réseau et analyse les premières évolutions annuelles et pluri-annuelles observées, sur huit sites du littoral de Guadeloupe.

Compte tenu de la diversité des types de côtes, les méthodes employées ne sont pas les mêmes pour les différents sites. Sur les côtes sableuses des suivis par DGPS le long de profils topographiques accompagnés d'un suivi bathymétrique ont été réalisés. Ces levés ont été réalisés deux fois par an pour identifier le caractère saisonnier des évolutions. Pour les secteurs plus dynamiques des modèles numériques de terrains ont été réalisés à partir de levés drone. Ces acquisitions permettent de suivre de façon surfacique l'évolution de la plage et de déterminer les volumes de sable déplacés. Pour les côtes rocheuses, un développement de protocole spécifique aux falaises meubles de Basse-Terre a été initié au moyen de prises de vue de photographies obliques aéroportées.

Les différents résultats mettent en avant une importante hétérogénéité d'évolution des plages ces dernières années. Si sur le long terme, l'évolution de la position du trait de côte atteste d'un recul chronique sur les plages sableuses, à court terme les tendances annuelles et saisonnières sont variables en fonction de la nature et de la géographie du site étudié. Ainsi entre 2020 et 2022, les plages comme la Perle sur la commune de Deshaies présente une forte dynamique saisonnière se traduisant par une alternance entre phases d'érosion et d'accrétion au nord et au sud du secteur (variabilité annuelle de la position du trait de côte comprise entre 15 à 30m). A l'inverse la plage de Simaho sur la commune de Vieux habitants, reste stable et ne semble pas impactée par les climats de vagues saisonniers.

Des expertises ponctuelles mobilisant les connaissances issues de l'observatoire ont également été conduites dans ce cadre à la demande des services de l'état. Neuf appuis de cette nature ont ainsi été réalisés entre 2019 et 2022.

Ces résultats sont mis à disposition du public à travers le site internet de l'observatoire des îles de Guadeloupe « OLIG » (<https://www.observatoire-littoral-guadeloupe.fr>). L'objectif est de sensibiliser le grand public sur les évolutions du littoral guadeloupéen, banaliser les données relatives au littoral et de les partager à travers des outils adaptés (carte interactive, fiches transects, rapport, article...). L'OLIG a en outre s'est rattaché au Réseau National des Observatoires du Trait de Côte (RNOTC).

Ces travaux ont également pu contribuer à l'élaboration d'un guide de bonnes pratiques pour la gestion de l'érosion côtière dans la Caraïbe, avec un focus particulier sur les solutions fondées sur la nature. Ce guide est accessible via le site internet de l'observatoire.

Pour anticiper au mieux les évolutions du littoral de demain, il est donc indispensable de pérenniser ce suivi régulier dans le temps, afin de renforcer l'expertise, la connaissance, la capitalisation des données et les recommandations à apporter aux gestionnaires et décideurs. Les informations collectées dans ce cadre pourront notamment servir dans l'application de la loi dite « Climat et Résilience » sur la cartographie de l'évolution du trait de côte.

Sommaire

1. Introduction.....	12
1.1. Contexte.....	12
1.2. Objectifs.....	13
2. Méthodologie.....	15
2.1. Réseau de suivi.....	15
2.2. Suivi topo-bathymétrique.....	16
2.2.1. Acquisition des données.....	17
2.2.2. Traitements des données et analyses.....	19
2.3. Suivi par imagerie vidéo.....	21
2.3.1. Acquisition des données.....	22
2.3.2. Traitements des données et analyses.....	23
2.4. Suivi topographique par photogrammétrie aérienne.....	25
2.4.1. Acquisition des données.....	25
2.4.2. Traitement des données.....	26
2.5. Protocole de Suivi des falaises meubles.....	27
2.6. Données hydrodynamiques complémentaires.....	32
2.6.1. Données marégraphiques.....	32
2.6.2. Données sur l'état de mer.....	33
3. Synthèse des évolutions par sites.....	35
3.1. Le Souffleur (Port-Louis).....	35
3.1.1. Evolution du trait de côte.....	36
3.1.2. Évolution topo-bathymétrique le long des profils de référence.....	38
3.2. L'Autre Bord (Le Moule).....	39
3.2.1. Évolution du trait de côte.....	40
3.2.2. Evolution topographique le long des profils de référence.....	43
3.3. Raisins-Clairs (Saint-François).....	44
3.3.1. Evolution du trait de côte.....	45
3.3.2. Évolution topographique le long des profils de référence.....	48
3.3.3. Bilan sédimentaire.....	48
3.4. Plage du Bourg (Sainte-Anne).....	49
3.4.1. Évolution du trait de côte.....	51
3.4.2. Évolution topographique le long des profils de référence.....	52
3.4.3. Bilan sédimentaire.....	53
3.5. Sainte-Claire (Goyave).....	54
3.5.1. Évolution du trait de côte.....	55
3.5.2. Évolution topographique le long des profils de référence.....	58
3.6. Simaho (Vieux-Habitant).....	59
3.6.1. Évolution du trait de côte.....	60
3.6.2. Évolution topographique le long des profils de référence.....	62
3.7. Anse Caraïbe (Pointe-Noire).....	63
3.7.1. Évolution du trait de côte.....	64
3.7.2. Évolution topo-bathymétrique le long des profils de référence.....	67
3.8. Malendure (Bouillante).....	68
Evolution du trait de côte.....	69
3.9. La Perle (Deshaies).....	70
3.9.1. Évolution du trait de côte.....	72
3.9.2. Évolution topo-bathymétrique le long des profils de référence.....	74
3.9.3. Bilan sédimentaire.....	75

4. Bilan des évolutions sur la période d'observation	77
5. Autres actions de valorisation de l'observatoires	79
5.1. Expertises ponctuelles.....	79
5.2. Le site internet de l'Observatoire.....	79
5.3. cartographie interactive	80
5.4. Guide de bonnes pratiques	81
5.5. Rattachement au reseau national.....	82
6. Conclusion	83
7. Bibliographie	85

Liste des figures

Illustration 1 - Taux d'évolution annuel moyen du littoral de la Guadeloupe (Guillen et al., 2017)	12
Illustration 2 – Carte de situation du réseau de suivi de l'Observatoire du littoral des îles de Guadeloupe	16
Illustration 3 – Acquisition de données topographiques au GPS. Levé topographique à partir d'une canne pour les profils de plage (a) et levé de la position du trait de côte avec un sac à dos (b).	17
Illustration 4 - Levé de la position du trait de côte matérialisé par le jet de rive (limite entre la partie sèche et mouillée de la plage en pointillée)	18
Illustration 5 - Mesure d'un profil topographique sur le site de la plage du Bourg de Sainte-Anne (profil de référence représenté en pointillé)	18
Illustration 6 - Dispositif de suivi bathymétrique. Équipement pour les mesures bathymétriques (à gauche) et levé le long d'un profil de référence sur le site de la plage de la Perle (à droite).....	19
Illustration 7 – Indicateurs suivi pour déterminer la dynamique du littoral. Exemple de la plage de Sainte Anne. Les traits en pointillés blancs numérotés de 1 à 4 correspondent aux profils de référence.....	20
Illustration 8 –Mesure de la distance à partir d'une ligne de base pour chaque intersection avec la position du trait de côte (Thieler et al., 2009)	21
Illustration 9 - Exemple du calcul du taux d'évolution annuel moyen sur le site de la plage de la Perle. Les extrémités des transects perpendiculaires au trait de côte sont découpées selon l'amplitude de l'enveloppe de variation de la position du trait de côte	21
Illustration 10 – Caméra de suivi photographique ®SolarCam installée sur le site de l'Anse Maurice pour le suivi des échouages de sargasse et de l'évolution du trait de côte.	22
Illustration 11 – Localisation du dispositif (à gauche d'après la BD Ortho de l'IGN 2017) et prise de vue sur la plage de Malendure (à droite)	23
Illustration 12 - Rectification des images sur le site de la plage de Malendure. Image brute acquise par la caméra le 16 décembre à gauche et images rectifiée à droite (les unités de la grille sont exprimées en m).	24
Illustration 13 - Survol d'un drone sur le site de Carangaise à Capesterre-Belle-Eau pour le suivi photogrammétrique de la falaise.....	25

Illustration 14 - Exemple de modèle numérique de terrain de la plage du bourg de Sainte-Anne réalisé par photogrammétrie aérienne.	26
Illustration 15 - Différentiel altimétrique entre les levés photogrammétries de 2022 et 2021 sur la plage de Raisin Clair.	26
Illustration 16 – Emprise du suivi photographique par survol aérien des falaises meubles du littoral de la Basse-Terre exposées aux risque de glissement de terrain	28
Illustration 17 –Modèle topographique 3D du site de la falaise de Carangaise sur la commune de Capesterre-Belle-Eau réalisé à partir de mesures photogramétriques par drone en janvier 2022	30
Illustration 18 - Vue en coupe du nuage de point de la falaise de Carangaise (Janvier 2022) ..	30
Illustration 19 - Localisation des points de contrôle (point) et de vérification (croix). Les erreurs en altitude (Z) sont représentées par la couleurs et les erreurs de planimétrie (X et Y) sont représentées par la forme de l'Ellipse.	31
Illustration 20 - Exemple de falaise fortement végétalisée dans le secteur de Bel Air à Petit-Bourg.	32
Illustration 21 – A : Localisation du point d'extraction situé au nord de la Guadeloupe au large de l'Anse Bertrand sur la grille du modèle MARC. L'échelle de couleur représente la hauteur de la houle significative en mètre et les flèches leur direction. B : Caractéristique des vagues au large de l'anse Bertrand entre novembre 2011 et avril 2020. Diagramme directionnel en fréquence de la hauteur significative des vagues (Hs) d'après les données du modèle MARC. C : Série temporelle des caractéristiques de la houle au large de l'anse Bertrand entre janvier 2012 et janvier 2020 d'après les données du modèles MARC. Hauteur significative en m (Hs), période en sec (Tp) et puissance en Kw/m (P).	34
Illustration 22 - Localisation des profils topographiques de référence et emprise du secteur étudié sur le site de la plage du Souffleur. La flèche blanche représente l'emprise d'étude du secteur.	36
Illustration 23 – Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2020-2022 (à gauche) et position du trait de côte (à droite).....	37
Illustration 24 – Position du trait de côte dans le secteur sud (à gauche) et dans le secteur nord (à droite)	38
Illustration 25 - Évolution des profils topo-bathymétriques le long de la plage du Souffleur sur la commune de Port-Louis.	39
Illustration 26 - Localisation des profils topographiques de référence et emprise du secteur étudié sur le site de la plage de l'Autre Bord. La flèche blanche représente la délimitation du secteur d'étude.....	40
Illustration 27 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2016-2022.....	41
Illustration 28 –Position du trait de côte sur la période d'observation 2016-2022 et emprise du zoom sur le profil 3 (Illustration 29)	41
Illustration 29 - Zoom de la position du trait de côte dans le secteur du profil 3	42
Illustration 30 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2017-2022. Les pointillés blancs représentent les profils de référence P1, P2 et P3.	43
Illustration 31: Évolution des trois profils topographiques représentatifs de la plage de l'Autre Bord pour la période 2020-2022.	44

Illustration 32 - Localisation des profils topographiques de référence et emprise du secteur étudié sur le site de la plage des Raisins Clairs (flèche blanche).....	45
Illustration 33 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2017-2022	46
Illustration 34 - Position du trait de côte sur la période d'observation 2017-2022.....	46
Illustration 35 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2017-2022	47
Illustration 36 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2017-2022	47
Illustration 37 - Profils topographiques de référence de la plage de Raisin clair entre 2020 et 2022, leur localisation sont regroupés sur l'illustration 32.	48
Illustration 38 - Différentiel altimétrique entre 2022 et 2021 sur la plage de Raisin clair avec le volume de sédiment déplacé.	49
Illustration 39 - Vue aérienne du site de la plage du Bourg de Sainte-Anne et des aménagements de protection.	50
Illustration 40 - Localisation des profils topographiques de référence (traits pointillés) et emprise du secteur étudié sur le site de la plage du Bourg de Sainte-Anne (flèche blanche).	50
Illustration 41 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2017-2022	51
Illustration 42 - Position du trait de côte sur la période d'observation 2017-2022 et zooms associés.	52
Illustration 43 - Évolution des profils topographiques le long de la plage de Sainte Anne entre 2020 et 2022.	53
Illustration 44 - Différentiel altimétrique et calcul du volume de sable déplacé sur la plage du bourg de Sainte-Anne entre 2021 et 2022.	54
Illustration 45 - Localisation des profils topographiques de référence et emprise du secteur étudié sur site de la plage de Sainte-Claire	55
Illustration 46 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2020-2022 (à gauche) et position du trait de côte (à droite)	57
Illustration 47 – Position du trait de côte dans le secteur nord de la plage de Sainte-Claire, protégé par la présence d'un récif.....	57
Illustration 48 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2020-2021	58
Illustration 49 - Évolution topo-bathymétrique des profils de référence sur la plage de Sainte-Claire.....	59
Illustration 50 - Localisation des profils topographiques de référence (traits pointillés) et emprise du secteur étudié (flèche blanche) sur site de la plage de Simaho et de l'embouchure de la Grande Rivière de Vieux-Habitants.	60
Illustration 51 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2020-2022 (à gauche) et position du trait de côte (à droite)	61
Illustration 52 – Position du trait de côte dans le secteur de l'embouchure de la Grande Rivière de Vieux Habitants (à gauche) et de la plage de Simaho (à droite)	62
Illustration 53 - Évolution topo-bathymétrique des profils de plage de Simaho sur la période 2020-2022	63

Illustration 54 - Localisation des profils topographiques de référence (traits pointillés) et emprise du secteur étudié (flèche blanche) sur site de l'Anse Caraïbe.	64
Illustration 55 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2020-2022 (à gauche) et position du trait de côte (à droite).	65
Illustration 56 – Position du trait de côte au niveau de l'embouchure de la Rivière Grande Plaine (à gauche) et dans le secteur nord de la plage d'Anse Caraïbe (à droite).	66
Illustration 57 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2020-2022	67
Illustration 58 - Évolution des profils topo-bathymétriques de référence le long de la plage de Anse Caraïbes sur la commune de Pointe Noire.	68
Illustration 59 - Localisation et emprise du secteur étudié (flèche blanche) sur le site de Malendure	69
Illustration 60 - Évolution haute fréquence de la position du trait de côte sur le site de la plage de Malendure. Le distance sur l'axe des abscisses est exprimée en moyenne par rapport à une ligne de base qui se situe à l'arrière de la plage comme point de référence. Elle traduit l'évolution de la largeur de la plage dans le temps.	70
Illustration 61 - Vue aérienne du site de la plage de la Perle (janvier 2022)	71
Illustration 62 - Localisation des profils topographiques de référence et emprise du secteur étudié sur le site de la Perle.	71
Illustration 63 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2016-2022	73
Illustration 64 - Position du trait de côte sur le site e la plage de la Perle	73
Illustration 65 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2017-2020.	74
Illustration 66 - Évolution topo-bathymétrique le long des profils de référence sur la plage de la Perle entre 2020 et 2022.	75
Illustration 67 - Différentiel altimétrique et calcul du volume de sable déplacé sur la plage de la Perle sur la commune de Deshaies entre janvier 2021 et janvier 2022.	76
Illustration 68 - Illustration de la page d'accueil du site internet de l'Observatoire	80
Illustration 69 - Portail de cartographie en ligne de l'Observatoire du littoral des îles de Guadeloupe et exemple de visualisation des données sur le site de la Plage du Bourg de Sainte-Anne.	81

1. Introduction

1.1. CONTEXTE

L'archipel de Guadeloupe est caractérisé par une grande variété morphologique de son littoral (côtes basses meubles, côtes basses rocheuses, falaises, mangroves et aménagements côtiers). Il concentre de nombreux enjeux économiques, environnementaux et culturels avec des expositions variables aux aléas côtiers (érosion et submersion marine) dans un contexte cyclonique et de changement climatique.

Long d'environ 620 km, le littoral de la Guadeloupe présente une grande diversité morphologique. Les côtes basses rocheuses et les côtes à falaises présentent plus de la moitié du linéaire côtier. Les côtes basses meubles constituent environ 18% du littoral, les mangroves 17% (Guillen *et al.*, 2017). Elles sont localisées principalement dans le grand et le petit cul sac marin. Enfin les côtes artificialisées représentent 11% du linéaire du littoral. Cette grande diversité de typologie de côte implique une hétérogénéité de réponses face à l'aléa érosion. Ainsi, sur la période 1950-2013, un tiers des côtes basses meubles ont une tendance à l'érosion (Guillen *et al.*, 2017).

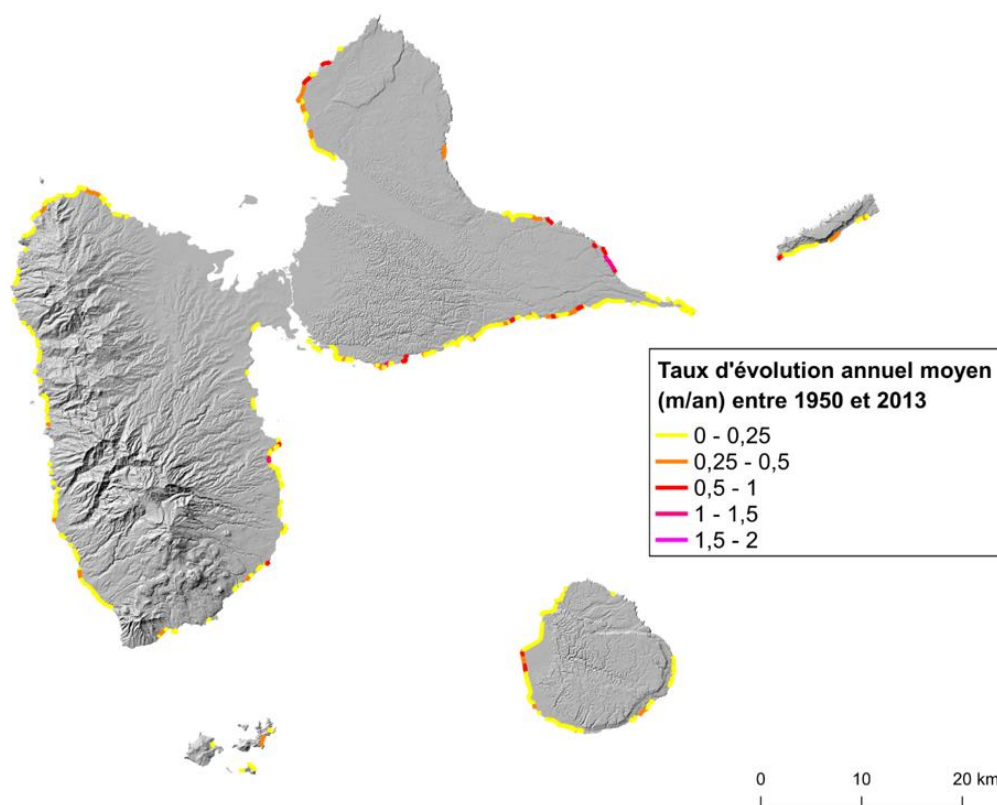


Illustration 1 - Taux d'évolution annuel moyen du littoral de la Guadeloupe (Guillen *et al.*, 2017)

Le littoral de Guadeloupe s'avère donc très exposé à l'érosion côtière. D'autant que les zones côtières concentrent une grande partie des enjeux humains, environnementaux et patrimoniaux, augmentant le risque pour les populations.

Si l'érosion peut être continue dans le temps, elle peut être également induite par des événements tempétueux extrêmes ponctuels mais plus intenses. Les houles cycloniques en

particulier peuvent impacter durablement les côtes guadeloupéennes. Si les conséquences du passage des houles cycloniques sont bien visibles à court terme, leurs impacts sur le long terme soulèvent encore des interrogations..

En 2016, en lien avec la SNGITC¹, le BRGM en partenariat avec la DEAL et la Région Guadeloupe ont initié la mise en place d'un réseau de suivi du trait de côte afin d'acquérir de manière régulière des données sur l'évolution du littoral, mieux comprendre les processus côtiers associés et de fournir des éléments d'aide à la décision auprès des acteurs de l'aménagement du littoral en Guadeloupe. Ce suivi s'est poursuivi en 2020 avec le développement de nouvelles actions (développement d'un site internet et expérimentation de nouveaux types de suivis sur les environnements de falaises meubles notamment) pour devenir l'Observatoire du littoral des îles de Guadeloupe (OLiG) en 2022.

Cet Observatoire se veut un outil fédérateur et pérenne d'acquisition, de compréhension et de capitalisation des connaissances sur l'évolution du littoral. En effet, la pérennisation d'un suivi du littoral, à pas de temps régulier, avec un protocole scientifique adapté et validé, est désormais indispensable pour renforcer l'expertise et la pertinence des diagnostics. Dans le contexte actuel de changement climatique, où les décideurs ont besoins d'avoir des outils opérationnels pour se projeter dans le futur, cet outil d'acquisition de données in-situ est nécessaire pour comprendre le fonctionnement de la dynamique côtière, contraindre et valider les futures modélisations hydro-sédimentaires. Il apporte un socle de connaissance indispensable à toutes les études d'aménagement et de gestion du littoral.

1.2. OBJECTIFS

Le réseau de suivi réalise, analyse et diffuse des observations relatives à la dynamique du littoral. De par ses missions, il vise à accompagner les acteurs du territoire dans la gestion de cet espace afin de tenir compte de son évolution et des risques associés. Ces principales missions sont les suivantes :

- **observer** en mobilisant notamment un réseau de mesures et d'observations de référence pour suivre l'évolution du littoral afin d'améliorer la compréhension et l'expertise scientifique ;
- **accompagner** les acteurs de l'aménagement et des risques en offrant un savoir-faire scientifique et technique avec un objectif d'aide à la décision pour la mise en œuvre de politiques publiques sur le littoral ;
- **communiquer** en mettant à disposition du public et des gestionnaires des données et actualisées afin de diffuser la connaissance et sensibiliser sur la problématique des risques côtiers.

L'objectif de ce projet est donc de poursuivre les actions d'observation, d'accompagnement et de communication engagées depuis 2016. Pour rappel, les actions du réseau sont les suivantes :

- Le suivi régulier à travers un protocole harmonisé d'acquisition de données ;
- La compréhension et l'analyse du fonctionnement hydro-sédimentaire depuis l'échelle événementielle jusqu'aux échelles pluriannuelles ;
- L'expertise et l'appui aux politiques publiques de gestion du littoral ;

¹ La Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte a été mise en place en 2012 pour mieux anticiper les évolutions du littoral et faciliter l'adaptation des territoires à ces changements. Sa première mesure consiste à développer la connaissance de la dynamique du littoral par la mise en œuvre d'observatoires régionaux et leur mise en commun autour d'un réseau national.

- L'information et la sensibilisation du public et des acteurs de l'aménagement du littoral à travers le développement d'un site internet ;

La capitalisation et la diffusion des données associées à travers le développement d'un portail cartographique interactif. Ce rapport présente la méthode et les résultats des suivis réalisés. Il rappelle en outre les expertises conduites ainsi que les actions de communication au travers de la création du site internet de l'observatoire et la contribution à la rédaction d'un guide pour la gestion de l'érosion côtière dans les Caraïbes.

2. Méthodologie

2.1. RESEAU DE SUIVI

Il s'agit de poursuivre et compléter les actions d'observations engagées depuis 2016, à travers la mise en œuvre du protocole de suivi scientifique adapté à chaque site étudié et aux processus liés à l'évolution du littoral. La méthode appliquée doit en effet permettre de couvrir l'ensemble des variations temporelles et spatiales à l'échelle de la cellule sédimentaire. C'est pourquoi, les fréquences d'observations et les outils peuvent varier en fonction des caractéristiques du site.

Tableau 1 - Sites suivis par l'Observatoire du littoral des îles de Guadeloupe

	Façade	Site	Communs	Morphologie	Type de suivi	Période d'observation
Grande-Terre	Atlantique Nord	Anse du souffleur	Port-Louis	Cordon de plage de sable calcaire	Topographie bathymétrie	2020-2022
		Plage de l'Autre Bord	Le Moule	Plage récifale de sable calcaire	Topographie	2016-2022
	Atlantique Sud	Plage des Raisins Clairs	Saint-François	Plage récifale de sable calcaire	Topographie Photogrammétrie	2016-2022
		Plage du Bourg de Sainte-Anne	Sainte-Anne	Plage récifale de sable calcaire	Topographie Photogrammétrie	2017-2022
Basse-Terre	Côte Atlantique au vent	Plage de Sainte Claire	Goyave	Plage récifale de sable volcanique	Topographie Bathymétrie	2020-2022
		Falaise de Carangaise	Capesterre-Belle-Eau	Falaise meuble de formation volcano-sédimentaire	Photogrammétrie	2022
	Côte Caraïbe sous le vent	Plage de Simaho	Vieux-habitants	Plage ouverte de galets	Topographie Bathymétrie	2020-2022
		Plage de Malendure	Bouillante	Plage de poche de sable volcanique	Suivi vidéo	2020-2022
		Anse Caraïbes	Pointe Noire	Plage de poche de sable volcanique et de galets	Topographie Bathymétrie	2020-2022
	Nord Basse-Terre	Plage de la Perle	Deshaies	Plage de poche	Topographie Bathymétrie Photogrammétrie	2016-2022

La sélection des sites a été réalisée en concertation avec les partenaires du projet. Le réseau de suivi est actuellement constitué de 10 sites représentatifs du littoral de la Guadeloupe (Illustration 2). Il permet de couvrir l'ensemble des façades des deux îles principales de la Guadeloupe avec

des caractéristiques morphologiques, sédimentaires et d'exposition aux conditions hydrodynamiques variées.

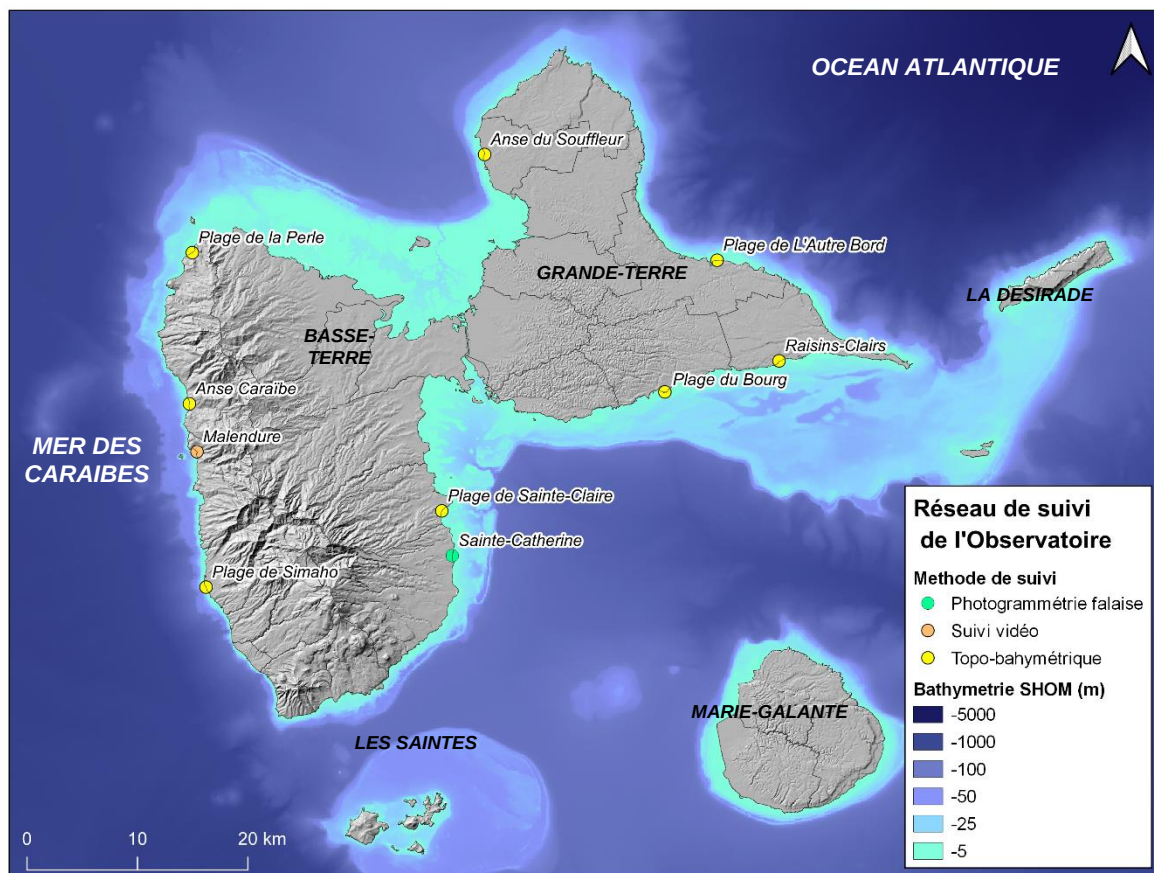


Illustration 2 – Carte de situation du réseau de suivi de l'Observatoire du littoral des îles de Guadeloupe

Les différentes méthodes de suivi mises en œuvre sur chaque site sont décrites dans les parties ci-dessous avec des exemples concrets à même d'illustrer l'intérêt et les limites des outils utilisés dans le cadre de ce projet.

2.2. SUIVI TOPO-BATHYMETRIQUE

Des campagnes de levés topo-bathymétriques sont réalisées à une fréquence saisonnière deux fois par an, à la fin de la saison cyclonique (décembre et janvier) et au début de la saison cyclonique (juin et juillet).

Actuellement, les suivis topo-bathymétriques sont réalisés sur 8 sites à l'échelle de la cellule sédimentaire (Illustration 2). Les positions du trait de côte (jet de rive) et de la limite de végétation sont levées sur chacune des plages étudiées. Deux ou trois profils topographiques transversaux (i.e. perpendiculaire à la plage), sont également levés à chaque campagne. Sur les sites ouverts sur la mer (i.e. sans présence d'un récif), ces profils topographiques sont complétés par des mesures bathymétriques.

Ces mesures sont réalisées à partir d'un GPS² différentiel ®Trimble R10 en mode RTK³. Pour obtenir une précision centimétrique en altimétrie et planimétrie, les corrections sont réalisées en temps réel car le DGPS est connecté en GSM⁴ au réseau de bases TERIA⁵.



Illustration 3 – Acquisition de données topographiques au GPS. Levé topographique à partir d'une canne pour les profils de plage (a) et levé de la position du trait de côte avec un sac à dos (b).

2.2.1. Acquisition des données

Levés topographiques terrestres

La position du trait de côte (jet de rive) et de la limite de végétation (indicateur biologique délimitant la partie haute de plage) sont levées à pied de manière continue. L'antenne du DGPS est fixée sur la partie supérieure d'un sac à dos porté par un opérateur (Illustration 3b.). Le positionnement est enregistré automatiquement tous les mètres selon le parcours de l'opérateur sur la plage. L'incertitude des mesures de la position du trait de côte et de la limite de végétation est estimée à 1 m en planimétrie et entre 10 et 20 cm en altimétrie en fonction des mouvements parasites de l'opérateur pendant la marche.

² GPS : Global Positioning System

³ RTK : Real Time Kinematic

⁴ GSM: Global System for Mobile communications

⁵ Teria : <https://www.reseau-teria.com/>



Illustration 4 - Levé de la position du trait de côte matérialisé par le jet de rive (limite entre la partie sèche et mouillée de la plage en pointillée)

Les profils topographiques transversaux sont levés à la canne en prenant un point à chaque inflexion de pente, suivant un axe perpendiculaire à la plage prédéfinis et invariables sur toutes les campagnes de mesure (profils de référence). L'incertitude des mesures topographiques acquises à la canne est estimée à quelques centimètres en planimétrie et 5 cm en altimétrie (enfoncement moyen de la canne dans le sable pris en compte).



Illustration 5 - Mesure d'un profil topographique sur le site de la plage du Bourg de Sainte-Anne (profil de référence représenté en pointillé)

Levés bathymétriques

Les levés bathymétriques combinent l'utilisation du GPS différentiel en mode RTK avec celle d'un sondeur mono-faisceau ®*Sonarmite BTX Ohmex*. Les levés bathymétriques sont réalisés sur un kayak spécialement équipé et adapté à la navigation dans les eaux peu profondes (Illustration 6). L'incertitude des mesures bathymétriques est estimée à 20 cm en planimétrie et altimétrie, elle est liée aux mouvements de l'antenne et du kayak selon l'état de la mer. Pour limiter l'erreur et par sécurité, les levés ne sont réalisés que par temps calme. Le levé bathymétrique est réalisé

en continuité du même profil topographique de plage de référence. Le levé de la portion bathymétrique des profils n'est réalisé que sur les plages ouvertes sans récifs sur l'avant côte.



Illustration 6 - Dispositif de suivi bathymétrique. Équipement pour les mesures bathymétriques (à gauche) et levé le long d'un profil de référence sur le site de la plage de la Perle (à droite)

2.2.2. Traitements des données et analyses

Plusieurs étapes sont nécessaires pour traiter les données topo-bathymétriques acquises sur le terrain afin d'évaluer l'évolution du littoral. Trois indicateurs géomorphologiques peuvent être analysées pour caractériser la dynamique du littoral (Illustration 7) :

- Les variations de la position du trait de côte et de la limite de végétation ;
- Les variations morphologiques des profils de plage;

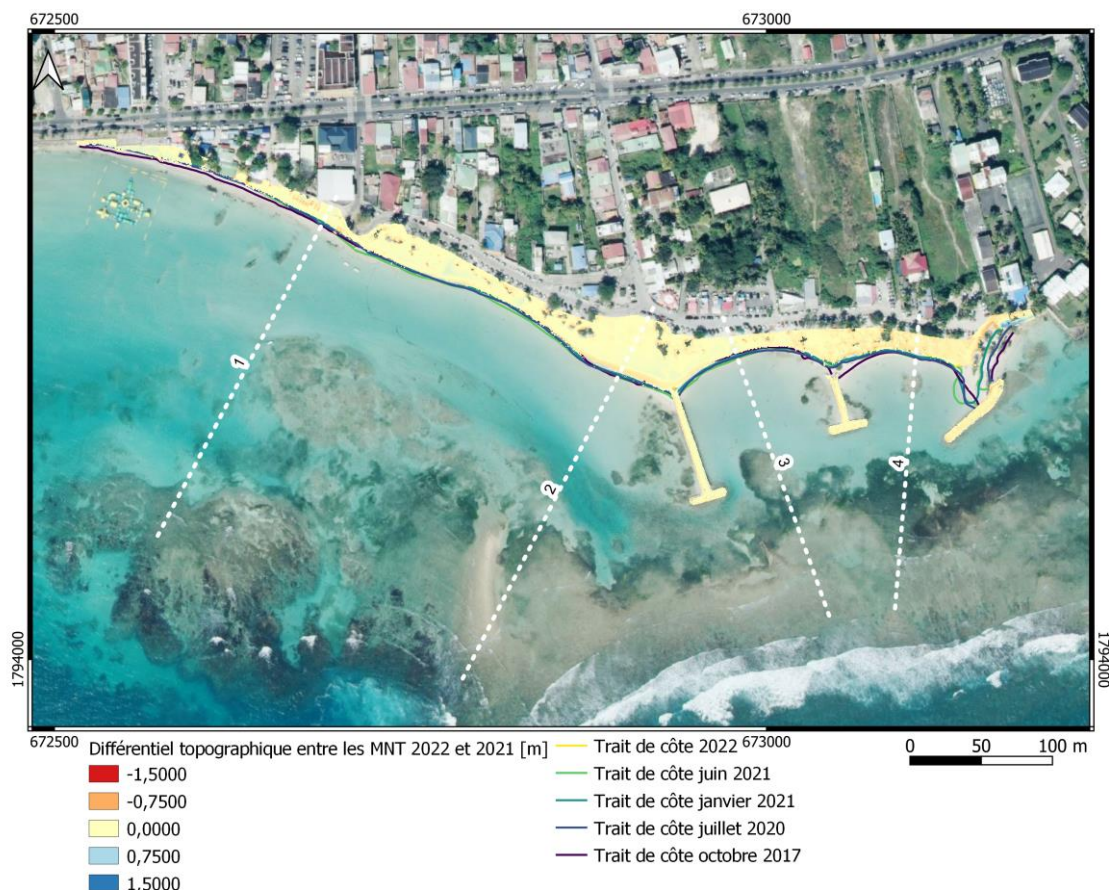


Illustration 7 – Indicateurs suivi pour déterminer la dynamique du littoral. Exemple de la plage de Sainte Anne. Les traits en pointillés blancs numérotés de 1 à 4 correspondent aux profils de référence.

La première étape du traitement consiste à extraire et nettoyer les données. Lors de l'acquisition sur le terrain l'opérateur renseigne un attribut spécifique pour chaque indicateur (jet de rive, limite de végétation, profil topographique ou bathymétrique). Il s'agit alors d'importer les données du GPS au format .csv sur le logiciel *Qgis* et d'exporter les mesures pour chaque type d'indicateur au format Shapefile (.shp).

La deuxième étape vise à associer et filtrer les données de profils topographiques et bathymétriques. Les mesures bathymétriques aberrantes ou celles éloignées de plus de 5 m du profil de référence sont supprimées. Pour chaque point de mesure le long du profil, une distance par rapport au point d'origine de la partie terrestre du profil de référence est calculée. Ainsi les données de chaque campagne sont comparables entre elles.

La troisième étape consiste à analyser l'évolution du trait de côte à partir de l'outil *Digital Shoreline Analysis System* (Thieler *et al.*, 2009). Cet outil, spécialement développé pour l'analyse statistique des données de trait de côte, permet de calculer plusieurs indicateurs permettant de quantifier l'évolution du trait de côte. À partir d'une ligne de base parallèle au rivage, l'outil génère une série de transects perpendiculaires venant recouper les traits de côte de la série étudiée.

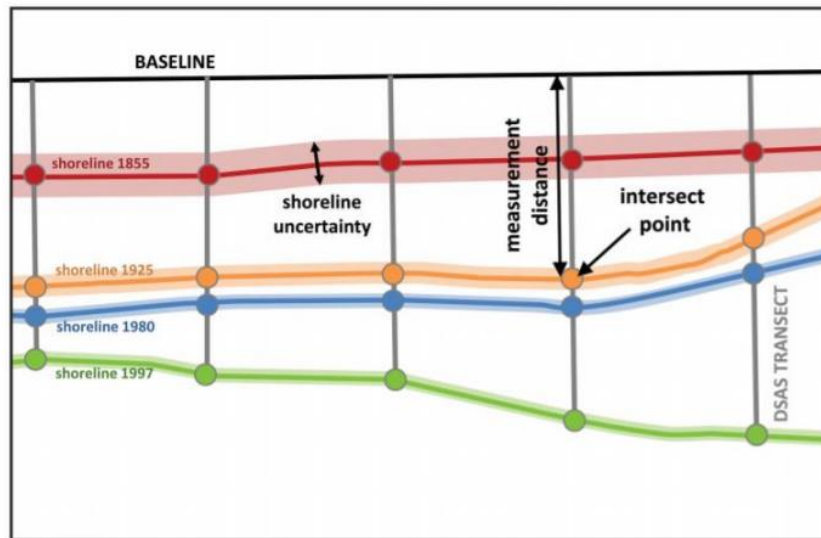


Illustration 8 – Mesure de la distance à partir d'une ligne de base pour chaque intersection avec la position du trait de côte (Thieler et al., 2009)

Sur chaque transect, DSAS calcule une série d'indicateurs en fonction de la position des intersections avec les traits de côte (Illustration 9). Les principaux indicateurs sont : l'amplitude absolue de l'enveloppe de variation du trait de côte, le taux d'évolution annuel moyen, la distance entre la position la plus ancienne et récente du trait de côte, etc (Illustration 8).

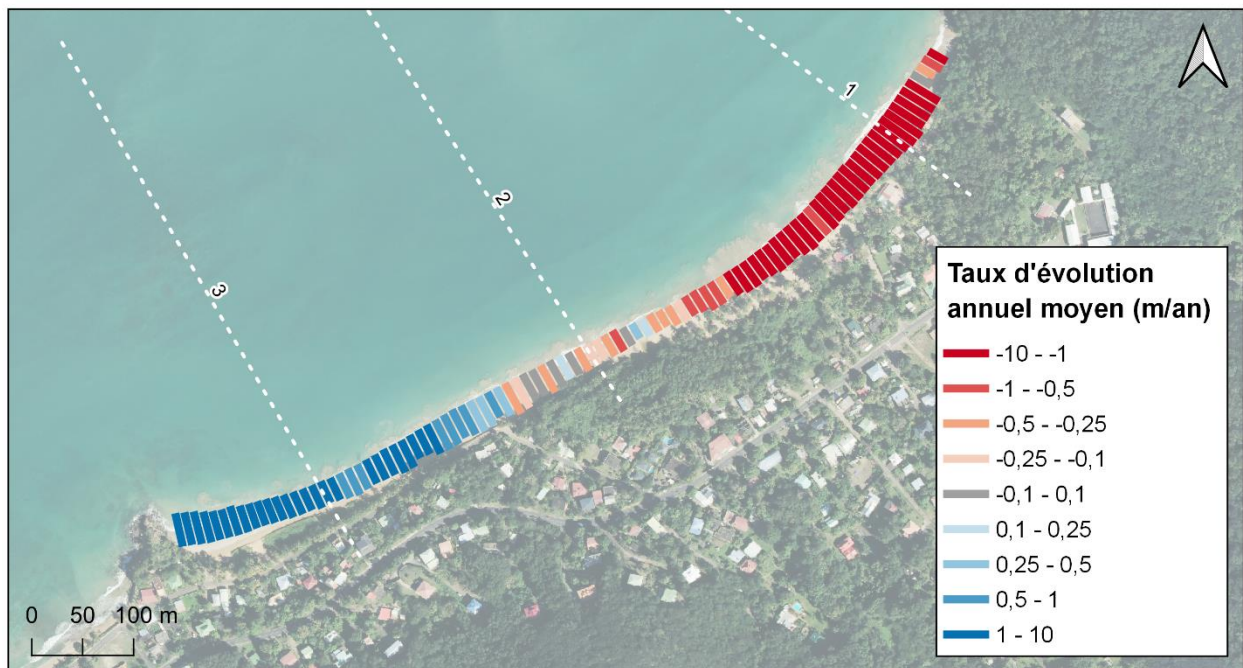


Illustration 9 - Exemple du calcul du taux d'évolution annuel moyen sur le site de la plage de la Perle. Les extrémités des transects perpendiculaires au trait de côte sont découpées selon l'amplitude de l'enveloppe de variation de la position du trait de côte

2.3. SUIVI PAR IMAGERIE VIDEO

Les mesures topo-bathymétriques traditionnelles ne permettent pas de capturer toute la complexité de la dynamique sédimentaire, principalement pour des raisons de fréquence

d'acquisition, de coûts mais aussi en raison des difficultés pratiques rencontrées pour suivre l'évolution de la zone côtière, notamment pendant les tempêtes. D'autres outils de mesures indirectes permettent de suivre à une fréquence élevée et en continu certaines caractéristiques morphologiques des plages à partir d'images capturées par une caméra fixe.

Ce type d'outil est particulièrement adapté pour caractériser la dynamique du trait de côte à haute fréquence (quelques jours d'intervalle) et quantifier les impacts des tempêtes sur le littoral (recul instantané du trait de côte, franchissement de paquets de mer et submersion des zones basses). Il représente un intérêt certain pour la compréhension des processus hydrodynamiques côtiers en complément des autres mesures topo-bathymétriques saisonnières. Le suivi par caméra vidéo permet en effet de réaliser des observations à haute fréquence, sur de longues périodes (années) pour des échelles spatiales allant du mètre au kilomètre.

Depuis 2019, un réseau de caméras autonomes a ainsi été déployé en Guadeloupe pour le suivi des échouages de sargasse (Moisan *et al.*, 2019). Des applications pour le suivi du trait de côte ont également testées (Moisan *et al.*, 2021).

2.3.1. Acquisition des données

Le système de caméra utilisé est proposé par la marque ®SolarCam (<https://www.solarcam.fr/fr/>). Il comprend d'un appareil photo contenu dans un boîtier étanche et alimenté par un panneau solaire, les clichés sont réalisés et transmis automatiquement par l'appareil via le réseau internet mobile (3G/4G) et à une fréquence préalablement établie. Il est donc complètement autonome. Les images sont visualisables en temps réel sur une page internet dédiée et sont automatiquement archivées sur un serveur local du BRGM en Guadeloupe.



Illustration 10 – Caméra de suivi photographique ®SolarCam installée sur le site de l'Anse Maurice pour le suivi des échouages de sargasse et de l'évolution du trait de côte.

La résolution des images est de 8 mega pixel pour une taille approximative de 1 100 ko. Dans le cadre du suivi réalisé par l'Observatoire, le dispositif est configuré pour acquérir une image toutes les heures entre 07h00 et 17h00 soit 10 images par jour.

Dans le cadre du projet de l'Observatoire, un dispositif de suivi par caméra a été installé sur le site de la plage de Malendure à Bouillante sur la côte sous le vent de la Basse-Terre (Illustration 11). Ce site a été sélectionné car il présente un point haut offrant une prise de vue sur l'ensemble

du site et une qualité suffisante du réseau 3G pour la transmission des données. La caméra a été installée en décembre 2020 chez un particulier, avec le soutien de la municipalité.

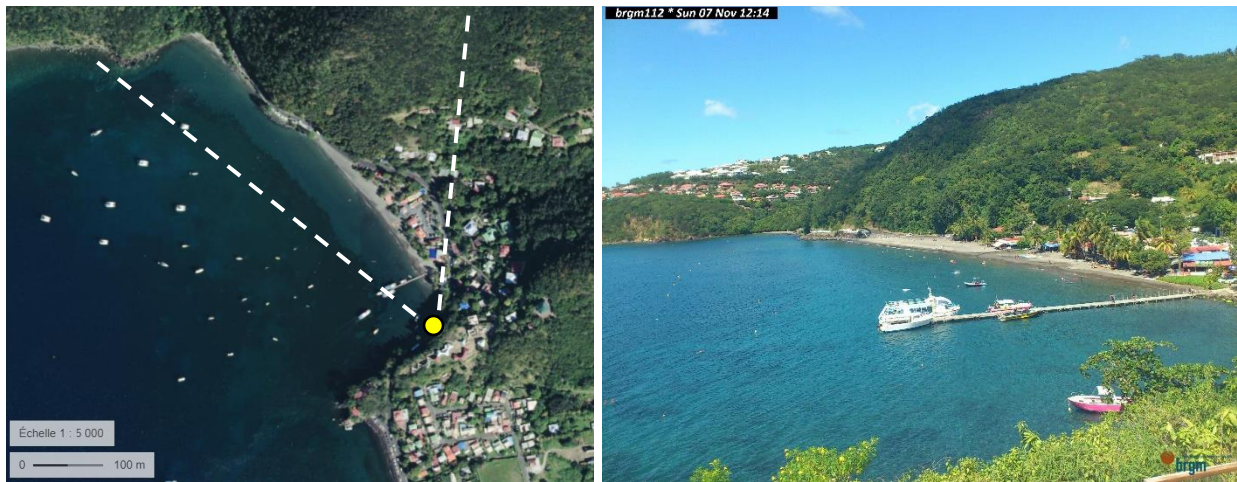


Illustration 11 – Localisation du dispositif (à gauche d'après la BD Ortho de l'IGN 2017) et prise de vue sur la plage de Malendure (à droite)

2.3.2. Traitements des données et analyses

Afin de réaliser des observations quantitatives de l'évolution du trait de côte à partir des images de ces caméras, différents algorithmes de traitement ont été développés dans le cadre du projet de suivi des échouages de sargasses (Moisan *et al.*, 2019). Ces traitements permettent la géorectification des images pour la détection de la position du trait de côte.

Rectification des images

Le géoréférencement des images revient à transformer l'image brute oblique en coordonnées pixels (u, v) en orthophotographie en repère géographique réel (X, Y, Z) (Illustration 12). Pour se faire, des points de contrôles visibles sur l'image, dont les coordonnées réelles sont connues, sont utilisés. Afin de matérialiser ces points de contrôle sur le terrain, plusieurs cibles, dont la position est mesurée au GPS différentiel sont réparties sur l'ensemble de la plage.

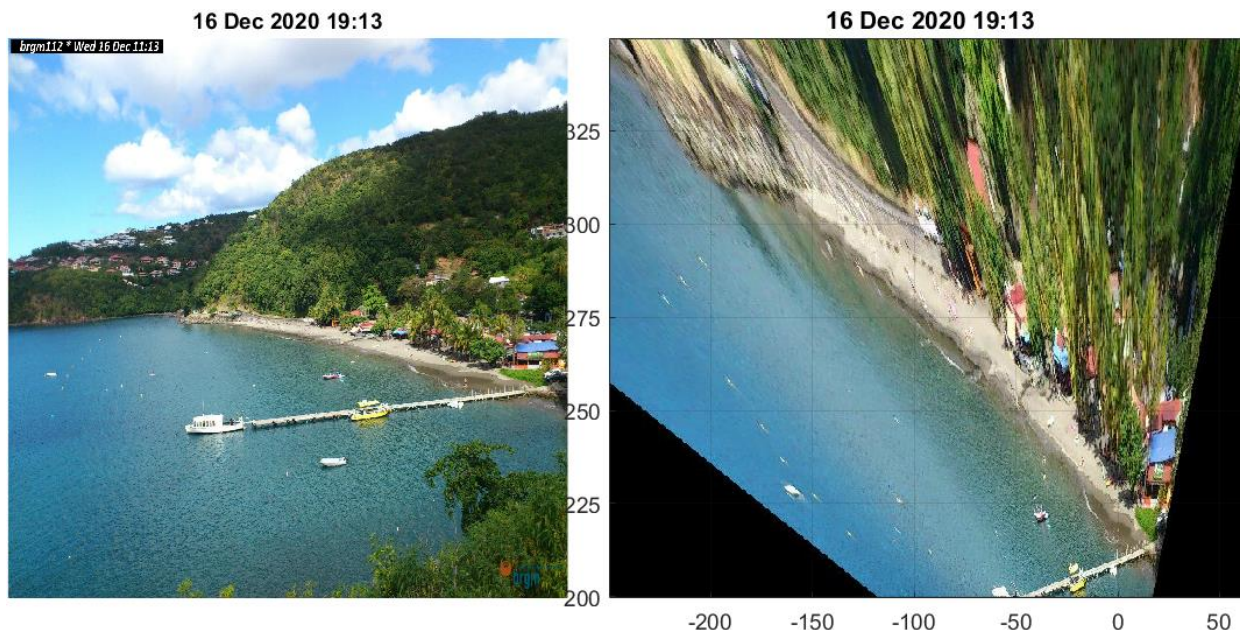


Illustration 12 - Rectification des images sur le site de la plage de Malendure. Image brute acquise par la caméra le 16 décembre à gauche et images rectifiée à droite (les unités de la grille sont exprimées en m).

Des traitements sont également appliqués sur les images afin de corriger les mouvements éventuels de la caméra au cours de la période d'observation à l'aide du logiciel ®Adobe Photoshop pour cet exemple.

Détection du trait de côte

L'indicateur utilisé pour matérialiser la position du trait de côte est le jet de rive, c'est-à-dire l'interface entre le sable sec et mouillé, correspondant à la limite d'action des vagues visible sur l'image. La détection du trait de côte est semi-automatique et basée sur la différence colorimétrique nette entre le sable mouillé et sec. En effet, sur une image en couleur, chaque pixel présente un couplet RGB (Red, Green, Blue) qui lui est propre et détermine sa couleur. Le jet de rive sur l'image constitue une zone où les couplets RGB se détachent en 2 groupes distincts traduisant 2 appartenances: soit sable mouillé, soit sable sec. L'algorithme trace le trait de côte à la frontière entre ces deux groupes. Un contrôle visuel est cependant systématiquement réalisé afin d'apporter d'éventuelles corrections à la détection automatique.

Une image tous les 5 jours est sélectionnée pour la détection du trait de côte. Afin de limiter l'impact des vagues (jet de rive) et de la marée sur le calcul de la position du trait de côte, les images sont sélectionnées selon un filtre prenant en compte les vagues (houle < 0,5 m de hauteur significative) et la marée (proche du niveau moyen soit 0,10 m NGG IGN88). Ainsi, l'erreur horizontale de la position du trait de côte en lien avec les variations verticales du niveau d'eau est réduite. D'après la pente de la plage et le filtre sur les conditions hydrodynamiques, les erreurs horizontales associées à la position du trait de côte sont estimées à ± 1 m.

Si l'on ajoute la résolution transversale des images redressées avec l'erreur horizontale sur la position du trait de côte, l'erreur maximale se situe entre ± 2 m, ce qui reste inférieur aux mouvements associés à l'évolution du trait de côte à l'échelle événementielle, saisonnière ou pluriannuelle sur les plages les plus dynamiques.

2.4. SUIVI TOPOGRAPHIQUE PAR PHOTOGRAMMETRIE AERIENNE

La photogrammétrie aérienne par drone permet d'acquérir des données altimétriques de précisions sur de grande surface (plusieurs dizaines d'hectares) afin de générer des modèles numériques de terrain (MNT) et réaliser des bilans sédimentaires.

2.4.1. Acquisition des données

Depuis 2020, les suivis photogrammétriques par drone sont réalisées une fois par an sur les sites des Raisins Clairs, la Plage du bourg de Sainte-Anne et de la Perle. Ces mesures sont réalisées en complément du suivi topo-bathymétriques. Le site de la falaise de Carangaise est également suivi depuis 2022 (Illustration 2).



Illustration 13 - Survol d'un drone sur le site de Carangaise à Capesterre-Belle-Eau pour le suivi photogrammétrique de la falaise

Les campagnes de suivi topographique par photogrammétrie sont effectuées par l'entreprise **CARIGE**. Les survols sont réalisés par un drone **DJI Phantom 4** (Illustration 13). Les photographies aériennes acquises par le drone permettent de générer un nuage de point 3D et une ortho-photographie géo référencée. Une dizaine de points de calibration et de contrôle sont utilisés sur le terrain pour générer le nuage de point, le géoréférencer et contrôler la qualité du modèle. D'après les caractéristiques du survol, la précision du nuage de point est généralement inférieure à 5 cm en altimétrie et planimétrie. La résolution de l'ortho-photographie est de 10 cm.

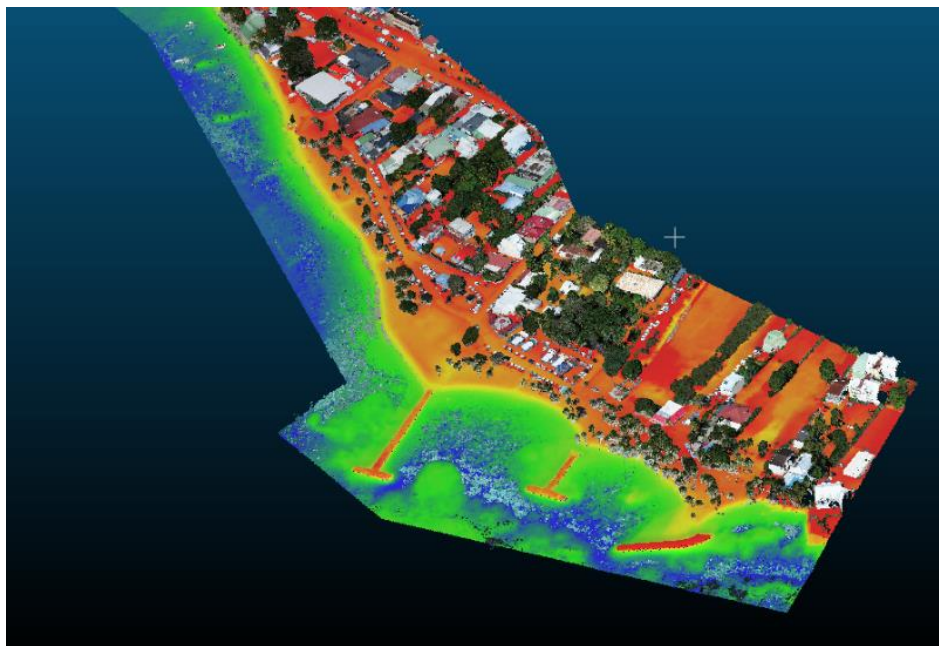


Illustration 14 - Exemple de modèle numérique de terrain de la plage du bourg de Sainte-Anne réalisé par photogrammétrie aérienne.

2.4.2. Traitement des données

A partir du nuage de point représentant la topographie en 3D de la plage, un modèle numérique de terrain (MNT) est réalisé en supprimant les éléments de sursol (véhicules, arbres, bâtiments, etc.) à une résolution de 25 cm. Les traitements sont réalisés sur le logiciel ©Cloud Compare.

Pour chaque date le volume de plage situé au-dessus de 0 m NGG est ensuite calculé afin d'estimer un différentiel de volume entre deux dates et de calculer un bilan sédimentaire sur l'ensemble du site. Le différentiel d'altitude entre chaque point comparable est également réalisé afin d'identifier les secteurs en érosion et en accrétion (Illustration 15).

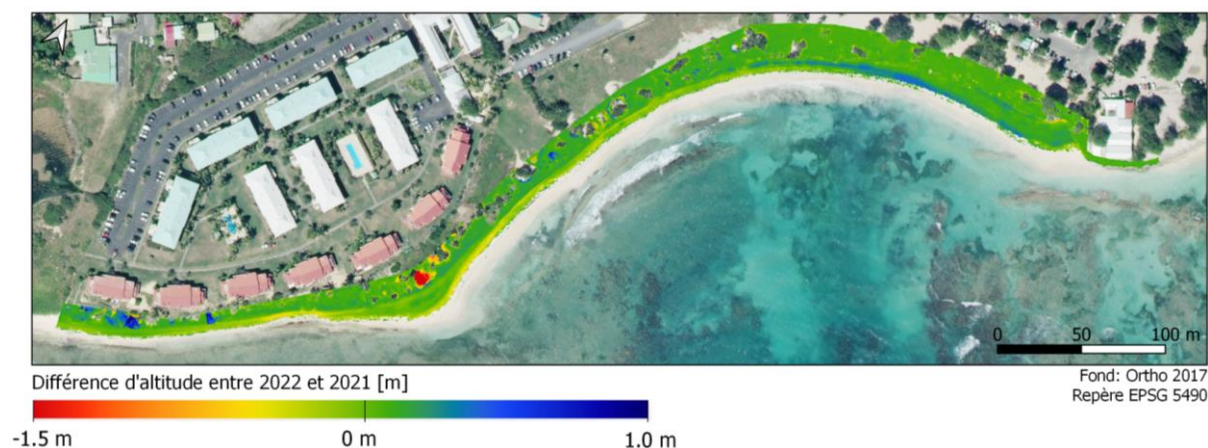


Illustration 15 - Différentiel altimétrique entre les levés photogrammétriques de 2022 et 2021 sur la plage de Raisin Clair.

Les volumes d'incertitudes ont été obtenus à partir de l'erreur des MNT par une méthode présentée par Byrnes *et al.* (2002). Le volume d'incertitude correspond au volume total de sédiments déplacés en valeur absolue (soit les volumes sédimentaires en accrétion et en érosion

sans distinction) pour tous les points de mesures où la hauteur de sédiments déplacés est comprise dans la moyenne absolue arrondie des erreurs sur chaque point de contrôle. Les volumes d'incertitudes seront précisés pour chacune des emprises de calcul dans la suite du document.

2.5. PROTOCOLE DE SUIVI DES FALAISES MEUBLES

Il existe peu de données d'observation sur l'évolution des environnements de falaise sur le littoral de la Guadeloupe. Pour des raisons d'accessibilité et de sécurité des opérateurs, il est difficile de réaliser des mesures topographiques directes au DGPS sur ce type d'environnement. Dans la suite de ce paragraphe deux protocoles scientifiques qualitatifs et quantitatifs spécialement adaptés pour suivre l'évolution des falaises meubles sont détaillés, ainsi qu'un exemple réalisé sur les falaises de la commune de Capesterre-Belle-Eau.

Protocole de suivi par photographie aérienne oblique (suivi qualitatif)

Il est proposé de réaliser des observations photographiques sur les secteurs exposés aux risques de mouvement de terrain à une fréquence annuelle. Les secteurs d'intérêt ont été identifiés à dire d'expert d'après la nature des formations géologiques, la morphologie et la présence d'enjeux (Illustration 16). Le survol de ces secteurs peut être réalisé en autogire ou par drone avec un plan de vol pré-établi. Le survol par autogire présente l'avantage de parcourir une grande surface en peu de temps, notamment à la suite du passage d'un événement extrême. Ainsi, il est tout à fait envisageable de réaliser un survol de l'ensemble de façade Atlantique de la côte de Basse-Terre en une heure de vol de Petit-Bourg à Vieux Fort. L'avantage du drone est de permettre de réaliser des photographies plus précises à basse altitude mais nécessite un levé en itinérance pour couvrir l'ensemble d'une façade.

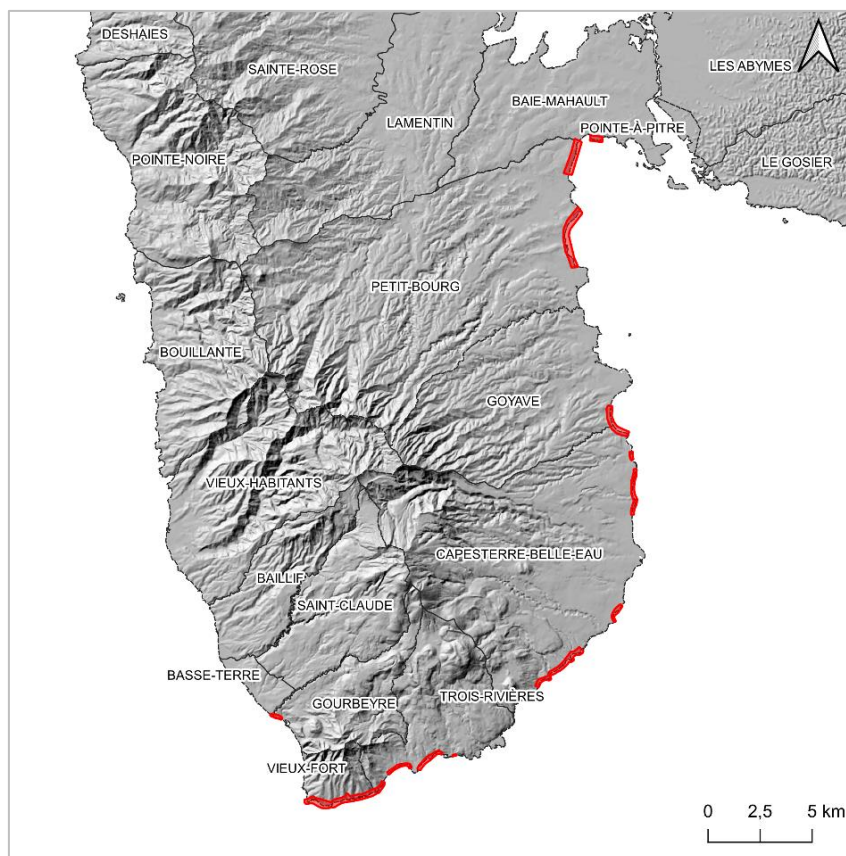


Illustration 16 – Emprise du suivi photographique par survol aérien des falaises meubles du littoral de la Basse-Terre exposées aux risque de glissement de terrain

Il est recommandé de réaliser ce type de suivi au moins une fois par an et à la suite d'un évènement météorologique de forte intensité laissant présager une évolution des instabilités.

L'ensemble des observations photographique doit être géoréférencé et bancarisé dans une base de données afin de faciliter leur visualisation. Par exemple, l'Observatoire de la Côte Aquitaine met à disposition un espace de visualisation des photographies de la côte basque accessible à partir du lien suivant⁶ : <http://www.observatoire-cote-aquitaine.fr/photos-aeriennes/?id=9519>

Ce type d'observations permet d'assurer une surveillance qualitative de l'évolution des instabilités, notamment dans les secteurs identifiés comme présentant une menace grave pour les vies humaines dans la zone des 50 pas géométriques.

Protocole de suivi topographique par photogrammétrie aérienne (suivi quantitatif)

En complément, un suivi topographique par photogrammétrie peut être réalisé localement afin d'obtenir des observations quantitatives. Cependant le survol des zones de falaise par drone doit être adapté afin de pouvoir représenter le plus fidèlement possible la morphologie de la falaise à étudier. Sur ce point, plusieurs conseils techniques peuvent être apportés :

⁶ Plus d'information sur l'espace de visualisation des photographies obliques du littoral de la côte Aquitaine : <http://www.observatoire-cote-aquitaine.fr/Mise-a-jour-des-fiches-photos-aeriennes-sur-l-espace-cartographique-de-l-OCA>

- Choisir une heure d'acquisition permettant d'avoir le moins d'ombre possible sur le plan de la falaise (le matin par exemple pour les falaises de la façade Est de la Basse-Terre) ;
- Réaliser plusieurs survol successif en faisant varier l'angle d'incidence de la prise de vue par rapport à la falaise sur le plan vertical et horizontal ;
- Disposer des cibles au sommet et au pied de la falaise si celui-ci est accessible à marée basse et dans des conditions de sécurité maîtrisées pour la calibration du modèle topographique et le contrôle des données (l'utilisation d'un drone de type RTK permettrait de réduire le nombre de cible et d'améliorer la précision du levé).

Site test : Falaise de Carangaise à Capesterre-Belle-Eau

Des mesures topographiques par photogrammétrie aérienne ont été expérimentées sur la falaise du secteur de Carangaise à Capesterre-Belle-Eau. Le survol a été réalisé par un drone en janvier 2022 (Illustration 17).

La configuration de la falaise dans ce secteur se prête plutôt bien à ce type de suivi malgré la présence de végétation qui masque une partie du plan de la falaise. En effet, la présence de végétation présente une incertitude dans l'évaluation des mouvements de la falaise, cependant des filtres peuvent être employée afin de retirer les zones de végétation et améliorer la qualité des comparaisons temporelles entre plusieurs campagnes (Stroner *et al.*, 2021).



Illustration 17 –Modèle topographique 3D du site de la falaise de Carangaise sur la commune de Capesterre-Belle-Eau réalisé à partir de mesures photogrammétriques par drone en janvier 2022

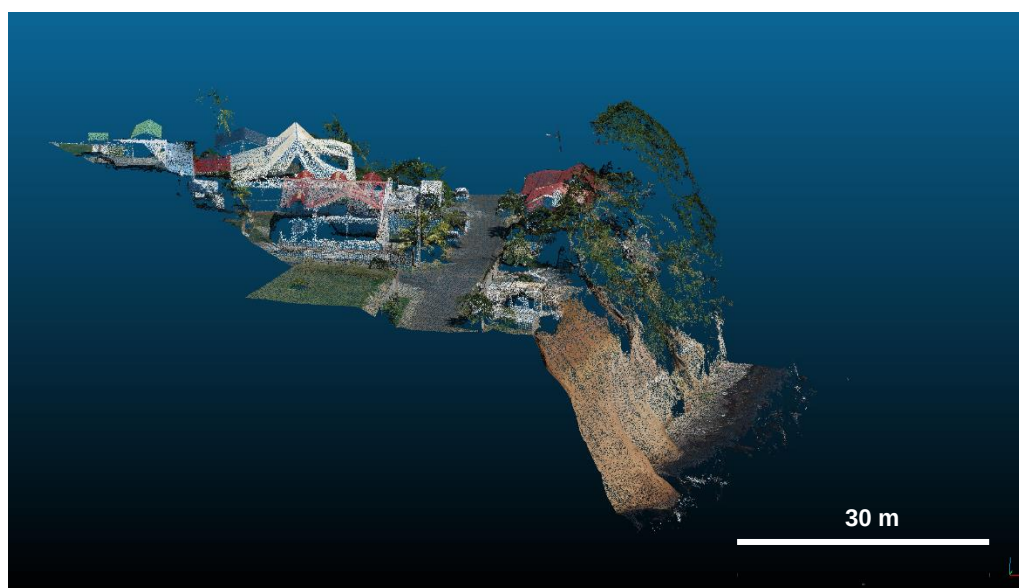


Illustration 18 - Vue en coupe du nuage de point de la falaise de Carangaise (Janvier 2022)

Les erreurs calculées sont tout de même légèrement plus importantes que pour les levés réalisés sur des environnements de plages sableuses avec une erreur totale estimée à 7 cm (Illustration 19 et Tableau 2). Ainsi, en dehors des zones masquées par la végétation, les mouvements de falaises supérieurs à 10 cm sont détectables par photogrammétrie dans la configuration du levé actuel.

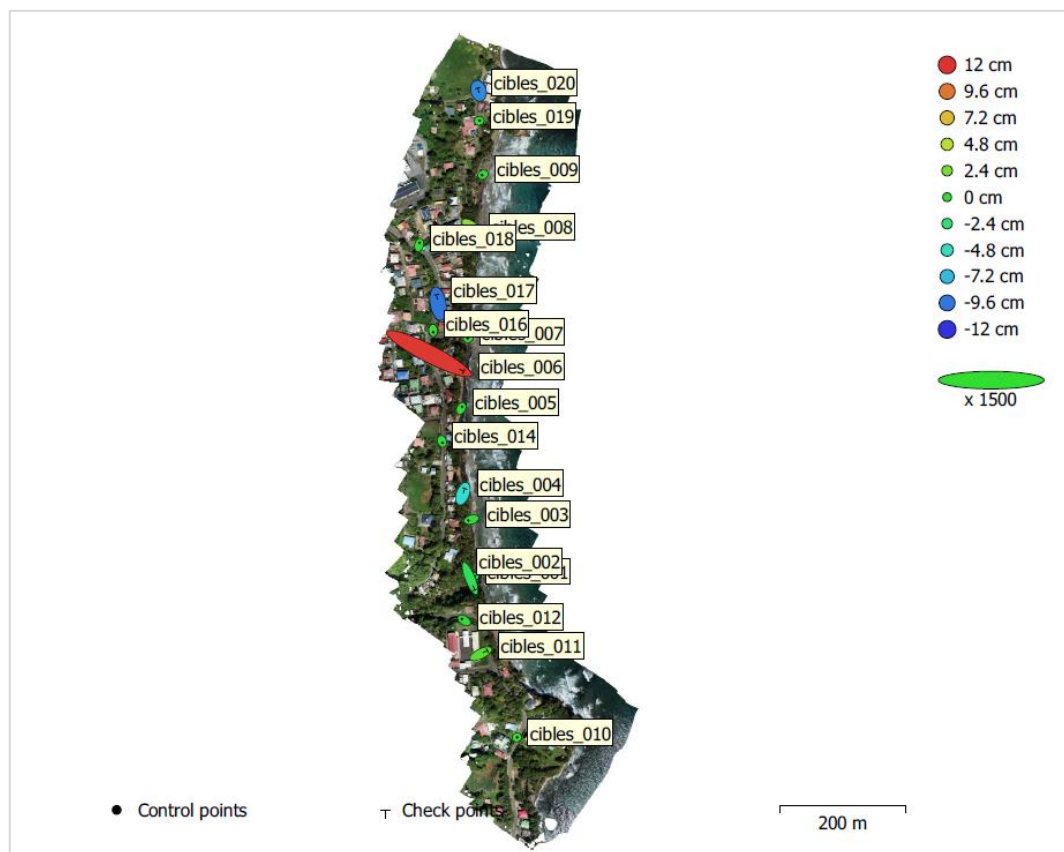


Illustration 19 - Localisation des points de contrôle (point) et de vérification (croix). Les erreurs en altitude (Z) sont représentées par la couleur et les erreurs de planimétrie (X et Y) sont représentées par la forme de l'Ellipse.

Tableau 2 - Présentation des erreurs du nuage de point du site de Carangaise. RMSE : root mean square error (erreur quadratique moyenne)

Point de contrôle RMSE					
Nombre de point	Erreur en X (cm)	Erreur en Y (cm)	Erreur en Z (cm)	Erreur XY (cm)	Total (cm)
11	0,38	0,26	0,16	0,46	0,49
Point de vérification RMSE					
Nombre de point	Erreur en X (cm)	Erreur en Y (cm)	Erreur en Z (cm)	Erreur XY (cm)	Total (cm)
7	2,90	1,95	7,11	3,49	7,92

Dans les secteurs fortement végétalisés, il serait possible d'employer des mesures LIDAR permettant de passer à travers la végétation pour mesurer les mouvements de la falaises (Illustration 20). Le levé de 2022 est le premier levé réalisé sur le site des falaises de Capesterre-Belle-Eau. Pour caractériser des évolutions, il est nécessaire de réaliser un levé dans les prochaines années afin d'établir un différentiel topographique et quantifier d'éventuels mouvements de terrain.



Illustration 20 - Exemple de falaise fortement végétalisée dans le secteur de Bel Air à Petit-Bourg.

L'amélioration des connaissances, à travers la réalisation d'observations pour les environnements de falaises côtières est un des enjeux important de développement de l'Observatoire du littoral des îles de Guadeloupe. En effet, de nombreux enjeux sont menacés par les mouvements de terrains dans la zone littorale. Il est donc important d'anticiper le recul des falaises pour mettre en œuvre des politiques publiques de gestion du risque adaptées aux aléas.

2.6. DONNEES HYDRODYNAMIQUES COMPLEMENTAIRES

2.6.1. Données marégraphiques

Le régime des marées en Guadeloupe est micro-tidal de type semi-diurne à inégalités diurnes, c'est-à-dire qu'il y a deux pleines mers et deux basses mers par jour d'amplitude différentes. D'après les références altimétriques du SHOM (2022), le marnage moyen pour les pleines mers de vives eaux atteints 0,25 m et le niveau moyen est de 0,09 m NGG⁷ au port de référence de Pointe-à-Pitre (Moisan *et al.*, 2021).

Tableau 3 – Données issues du document de Références Altimétriques Maritimes (RAM) pour les sites de Guadeloupe. Le premier tableau indique les niveaux d'eau par rapport au zéro hydrographique pour les plus hautes mer astronomiques (PHMA), la pleine mer (PM sup), le niveau moyen (NM), la basse mer (BM inf) et les plus basses mers astronomiques (PBMA). Le second tableau permet de passer du zéro

⁷ Niveau général de Guadeloupe

hydrographique au zéro altimétrique de référence pour la Guadeloupe (colonne ZH/Ref) pour chaque site de mesure.

Nom	Type	Lat.	Long.	Et.	Année CH	PHMA	PM sup		NM		BM inf	PBMA
Pointe-à-Pitre [Guadeloupe]	P	16 13 N	61 32 W		2017	00.88	00.70		00.58		00.40	00.18
Abords de Pointe-à-Pitre Guadeloupe												
Saint-François	S	16 15 N	61 16 W		2012	00.86			00.55			00.15
Port-Louis	S	16 25 N	61 32 W			00.55			00.38			00.11
Subercazeaux	S	16 18 N	61 36 W		2008	00.79			00.47			00.05
Îlet Kahouanne	S	16 22 N	61 47 W			00.61			00.44			00.16
Deshaies	S	16 18 N	61 48 W		2008	00.59			00.42			00.08
Basse-Terre	S	16 00 N	61 44 W			00.69			00.45			00.13
Rivière-Sens	S	15 59 N	61 43 W		2008	00.76			00.51			00.18
Les Saintes	S	15 52 N	61 35 W		2012	00.83			00.57			00.22
Marie-Galante	S	15 53 N	61 19 W		2015	00.82	00.70		00.54		00.45	00.15
La Désirade	S	16 18 N	61 04 W		2009	00.83			00.55			00.17

Nom	Repère fondamental	Organisme	Date	RF/ZH	RF/Ref	ZH/Ref	ZH/Elli	Ref
Pointe-à-Pitre [Guadeloupe]	GO-12	IGN	1988	2.883	2.423	-0.460	-40.93	IGN88
Abords de Pointe-à-Pitre Guadeloupe								
Saint-François	GO-66	IGN	1988	3.979	3.497	-0.482		IGN88
Port-Louis	AG-64	IGN	1988	2.955	2.495	-0.460		IGN88
Subercazeaux								
Îlet Kahouanne	AB - 38	IGN	1988	9.757	9.297	-0.460		IGN88
Deshaies	AB-64	IGN	1988	3.184	2.657	-0.527	-40.26	IGN88
Basse-Terre	AB-168	IGN	1988	4.973	4.481	-0.492	-39.89	IGN88
Rivière-Sens	BO - 13	IGN	1988	5.114	4.630	-0.484		IGN88
Les Saintes	O.DE-5	IGN	2008	1.901	1.444	-0.457	-40.04	IGN88
Marie-Galante	MO-2	IGN	2008	2.651	2.192	-0.459		IGN88
La Désirade	O.AB - 20	IGN	2008	2.267	1.717	-0.550	-44.16	IGN92

2.6.2. Données sur l'état de mer

Afin de caractériser l'état de mer, les données de la plateforme de modélisation MARC développée par l'IFREMER en 2016 sont utilisées (Moisan *et al.*, 2021). Le modèle MARC est une réanalyse du modèle WAVEWATCH III disponible pour les zones côtières françaises. Dans les Antilles, plusieurs grille d'extraction sont disponibles. Ici, la maille à une résolution de 3 min d'arc été utilisé. Plusieurs points d'extractions sont utilisés afin de caractériser l'état de mer sur les différentes façades côtières et générer des séries temporelles des caractéristiques de la houle (hauteur significative, période, direction).

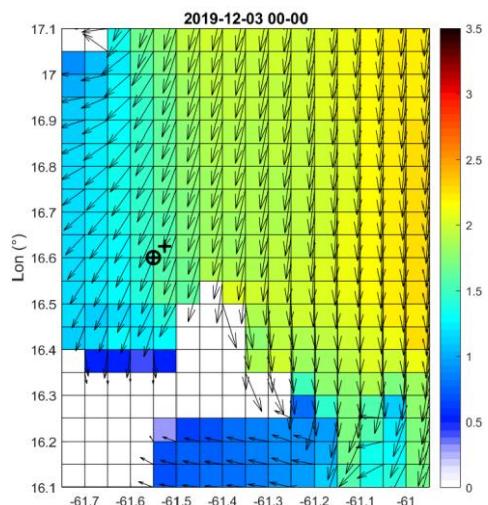
En Guadeloupe, trois principaux régimes de houle peuvent être rencontrés au large de l'archipel :

- La houle de secteur est à nord-est dites d'Alizés, très fréquente et peu énergétique tout au long de l'année en lien avec le régime des vents de la zone tropicale (période inférieure à 10 secs et hauteur généralement inférieure à 2 m).
- La houle de nord, peu fréquente mais très énergétique pendant la période hivernale de décembre à mars, généralement engendrée par des dépressions de l'Atlantique Nord (période supérieure à 10 secs) et hauteur de vagues pouvant atteindre les 5 m;
- La houle cyclonique, susceptible d'affecter tous les secteurs côtiers, peu fréquente mais très énergétique. Peut être observée entre juin à novembre avec un pic d'activité dans la zone des Petites Antilles en septembre (période variable et dépendante des caractéristiques de l'évènement cyclonique, hauteur de vague pouvant dépasser les 10 m).

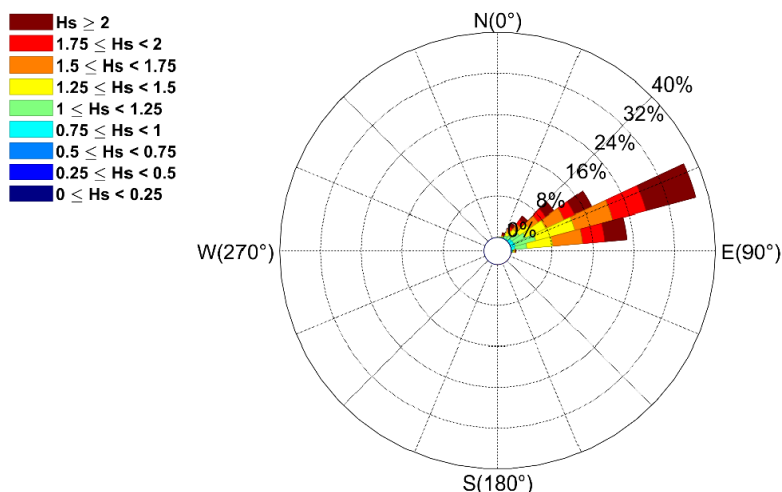
Par ailleurs, dans la zone côtière, les houles subissent des déformations liées à la morphologie du plateau insulaire, la présence de récifs coralliens ou d'aménagements côtiers. L'exposition à la houle est donc très variable localement.

Les figures ci-dessous illustrent des extractions du modèle MARC réalisées sur un point au nord de la Guadeloupe, au large de la commune d'Anse Bertrand (Illustration 21).

A.



B.



C.

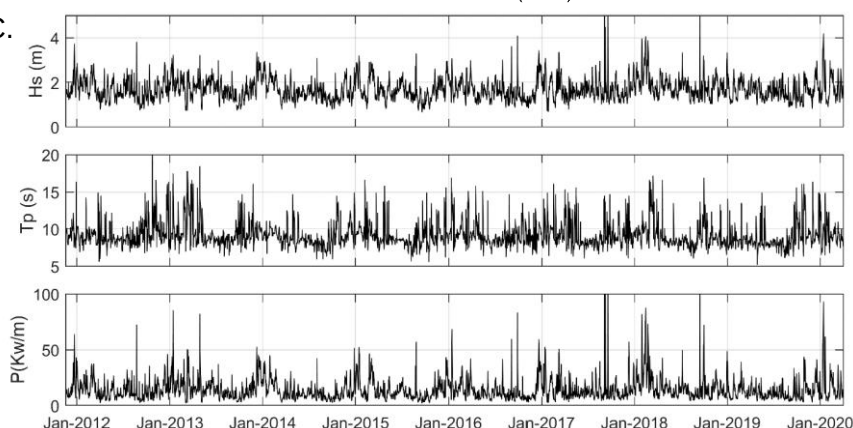


Illustration 21 – A : Localisation du point d'extraction situé au nord de la Guadeloupe au large de l'Anse Bertrand sur la grille du modèle MARC. L'échelle de couleur représente la hauteur de la houle significative en mètre et les flèches leur direction. B : Caractéristique des vagues au large de l'anse Bertrand entre novembre 2011 et avril 2020. Diagramme directionnel en fréquence de la hauteur significative des vagues (Hs) d'après les données du modèle MARC. C : Série temporelle des caractéristiques de la houle au large de l'anse Bertrand entre janvier 2012 et janvier 2020 d'après les données du modèles MARC. Hauteur significative en m (Hs), période en sec (Tp) et puissance en Kw/m (P).

3. Synthèse des évolutions par sites

Cette partie a pour objectif de décrire les évolutions morphologiques des sites étudiés dans le cadre du réseau de suivi depuis les premières mesures réalisées en 2016. Après une présentation des caractéristiques générales, une analyse des évolutions à l'échelle saisonnière et interannuelle sera réalisée sur chaque site.

3.1. LE SOUFFLEUR (PORT-LOUIS)

Le site de la plage du Souffleur se situe dans le nord Grande-Terre sur la commune de Port-Louis (Illustration 2). Il constitue un cordon littoral qui s'étend du bourg de Port-Louis au sud jusqu'à la Pointe d'Antigues au nord. C'est un site touristique très fréquenté qui présente également un intérêt écologique matérialisé par la présence d'un marais à l'arrière du cordon (propriété du conservatoire du littoral).

Le cordon de la plage de l'Anse du Souffleur est orienté à l'ouest et exposé à la houle de secteur nord pendant la période hivernale de décembre à mars. Il est protégé des houles d'alizé de secteur est.

L'emprise du secteur étudié s'étend de part et d'autre du cimetière sur un linéaire d'environ 1 200 m. Ce site est suivi deux fois par an depuis 2020 avec un levé du trait de côte et quatre profils topo-bathymétriques de référence.

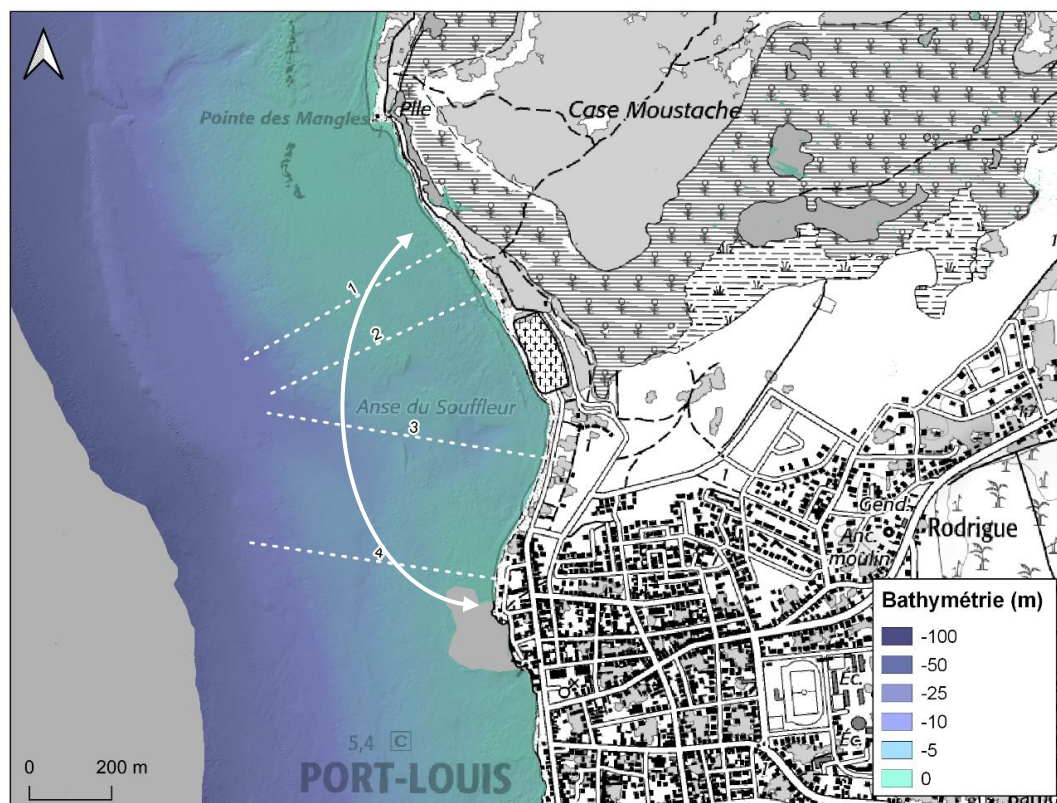


Illustration 22 - Localisation des profils topographiques de référence et emprise du secteur étudié sur le site de la plage du Souffleur. La flèche blanche représente l'emprise d'étude du secteur.

3.1.1. Evolution du trait de côte

Pour rappel, sur la période historique allant de 1950 à 2013, la plage du Souffleur présente une tendance à l'érosion. Le taux de recul annuel moyen atteint 0,30 m/an sur la partie située au nord du cimetière et 0,15 m/an sur la partie située au sud (Guillen *et al.*, 2017).

L'amplitude de variation de la position du trait de côte sur la période d'observation récente est comprise entre 3 et 5 m entre 2020 et 2022 sur l'ensemble du site. Les tendances d'évolution sont assez contrastées (Illustration 23) :

- la partie située au nord du cimetière, enregistre une tendance générale à l'érosion avec un taux de recul moyen compris entre 0,5 et 1 m/an pouvant dépasser les 2 m localement à l'extrémité nord du site.
- la partie sud présente une alternance de secteurs en érosion et en accrétion.

Globalement les parties concaves du cordon sont en accrétion entre 0,5 et 1 m/an et les parties convexes sont en érosion avec des taux de recul compris entre 0,5 et 1 m/an dans la partie centrale, pouvant atteindre plus de 2 m/an au niveau des extrémités nord et sud du site. Ces tendances sont à consolider car deux années d'observation ne sont pas suffisantes pour réaliser des projections d'évolution.

En ce qui concerne les évolutions saisonnières, la position du trait de côte acquise pendant la période hivernale, entre janvier et février, est systématiquement en retrait par rapport à la position

en acquise entre juin et juillet (Illustration 24). Ceci s'explique en partie par le climat de houle saisonnier avec des houles hivernales de nord plus puissantes et une période de reconstitution du cordon pendant la période de temps calme observée au carême.

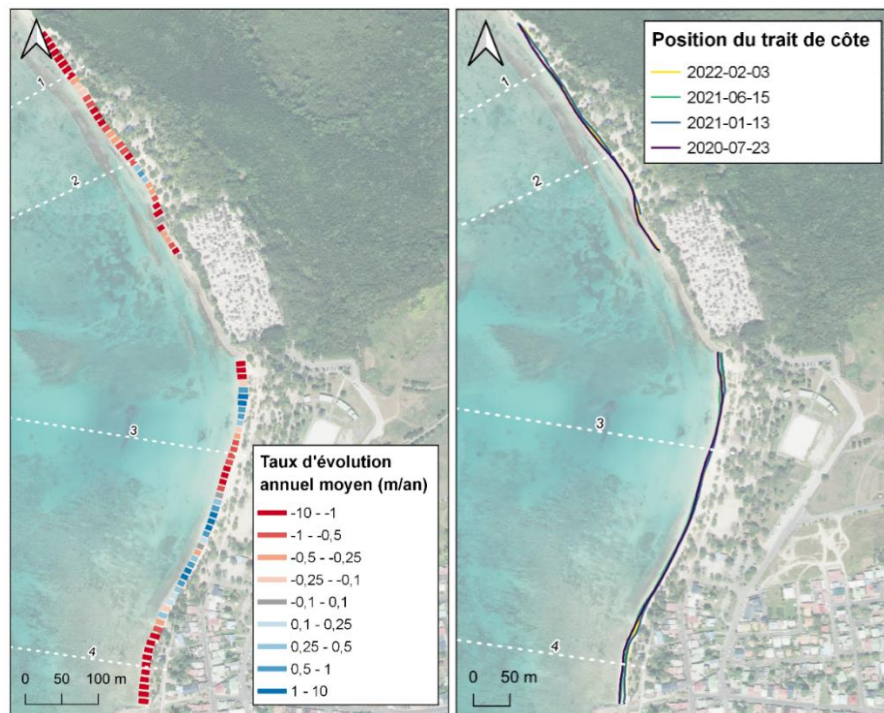


Illustration 23 – Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2020-2022 (à gauche) et position du trait de côte (à droite)

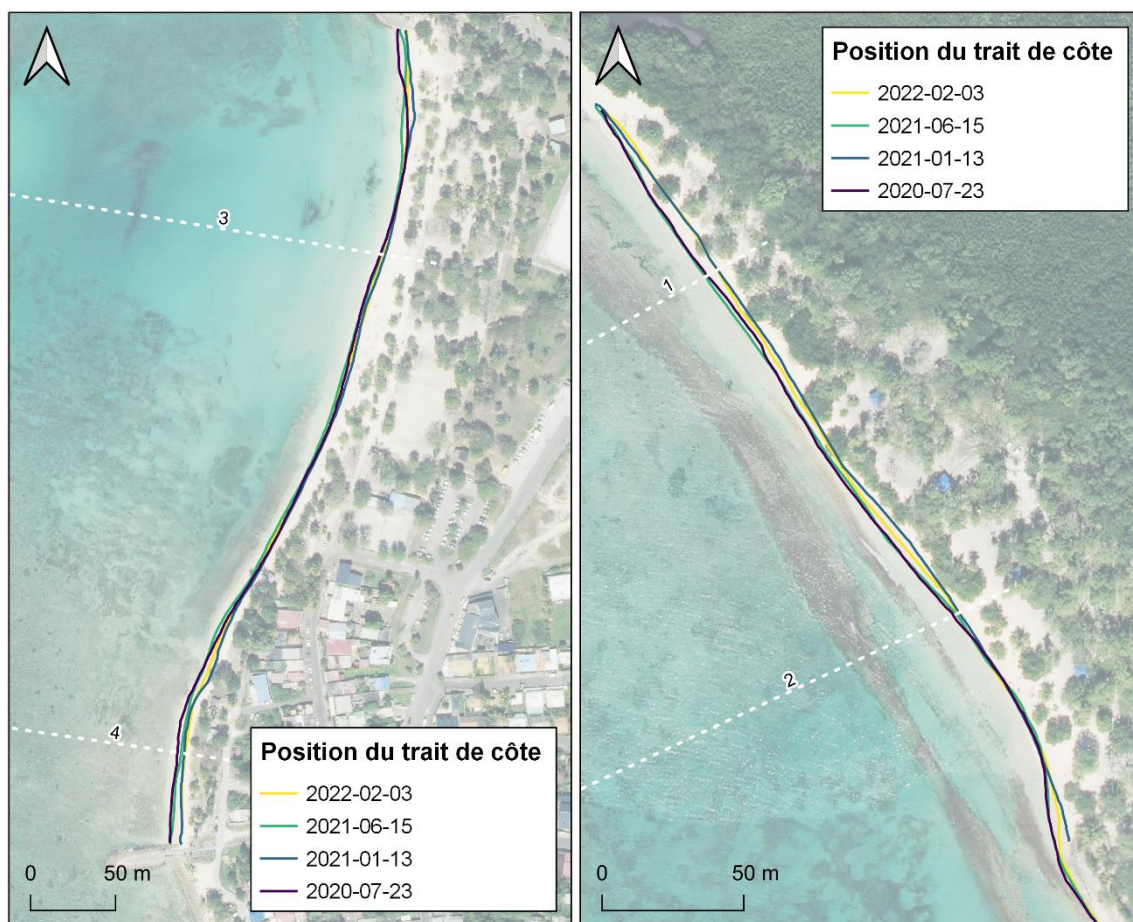


Illustration 24 – Position du trait de côte dans le secteur sud (à gauche) et dans le secteur nord (à droite)

3.1.2. Évolution topo-bathymétrique le long des profils de référence

Les profils de plage suivent les tendances observées à partir de la position du trait de côte. Ainsi entre 2020 et 2022, les profils topographiques 1 et 4 enregistrent un recul respectivement d'environ 2 m et 2,5 m. Alors que les profils 2 et 3 restent relativement stable (Illustration 25).

Pour tous les profils excepté le 1, les levés bathymétriques ont été réalisés dans la continuité des levés topographiques. Pour le profil 2, les variations observées sont comprises dans les 30 cm d'incertitudes de la mesure traduisant une stabilité du milieu. Néanmoins, les profils 3 et 4 enregistrent une variation de +/-50 cm entre la période estivale et hivernale. Pour le profil 3, nous observons une augmentation de 40 cm entre janvier 2021 et juin 2021 et une diminution d'environ 50 cm entre juin 2021 et février 2022 (Illustration 25). Cette variation saisonnière des petits fonds s'explique par le même processus qu'observé au niveau du trait de côte. Les houles de direction nord, présentent en saison hivernale, entraînent des départs en sable alors qu'en période estival les vagues permettent une reconstruction de la plage.

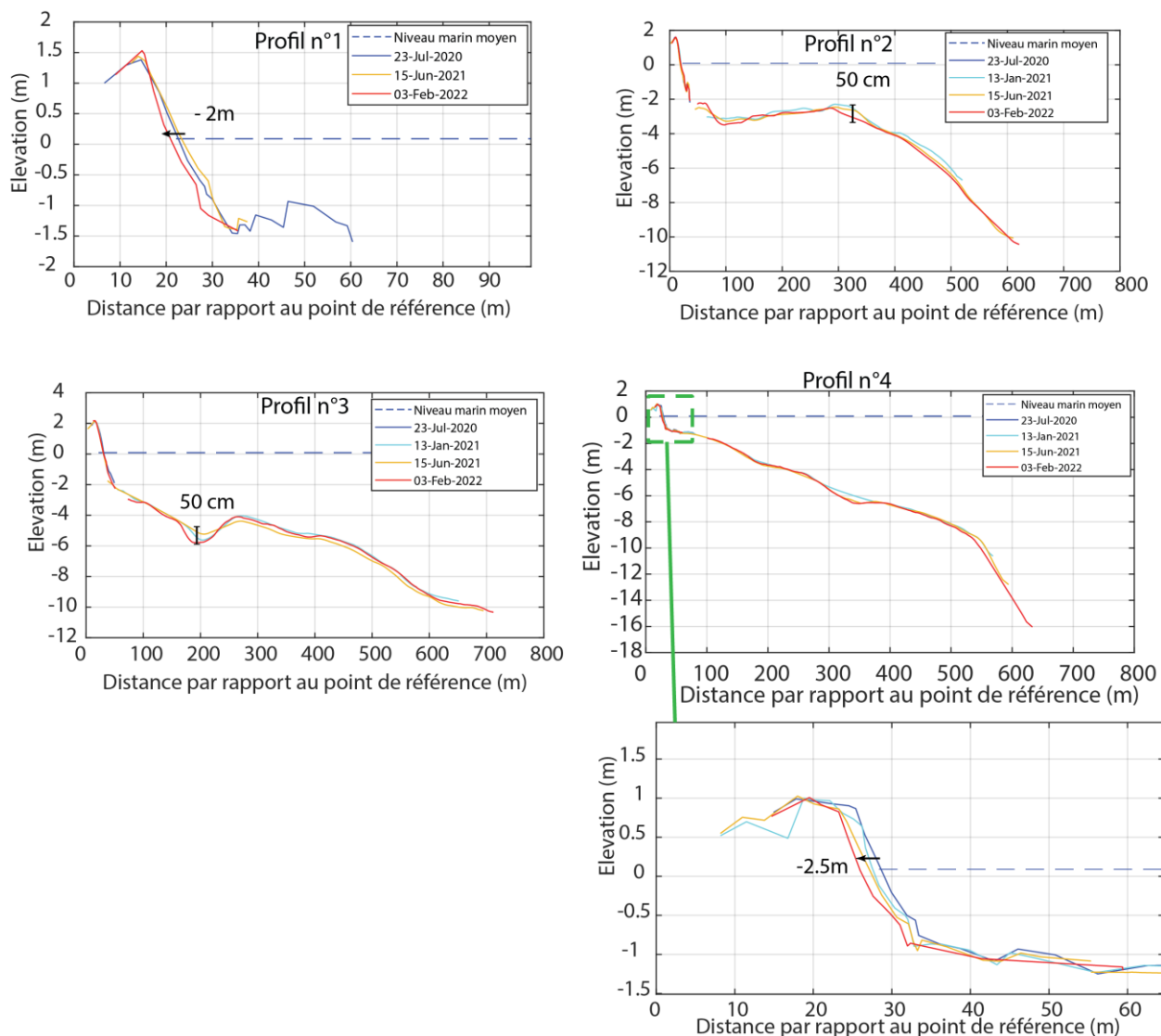


Illustration 25 - Évolution des profils topo-bathymétriques le long de la plage du Souffleur sur la commune de Port-Louis.

3.2. L'AUTRE BORD (LE MOULE)

Le site de la plage de l'Autre Bord se situe au nord de la Grande-Terre, sur la commune du Moule (Illustration 2). Il s'agit d'une plage récifale qui s'étend sur environ 2 000 m. C'est un site touristique et de nombreuses infrastructures se situent sur l'arrière plage (complexes sportifs, restaurant, hôtellerie, etc.).

Le site est orienté au nord. Il est donc sous l'influence de la houle hivernale de secteur nord (décembre à mars) et d'alizé de secteur nord-est le reste de l'année. La présence d'un récif corallien et de formation de grès de plage sur l'avant côte représentent une protection.

L'emprise étudiée s'étend de l'extrémité ouest de la plage jusqu'à la plage des Dauphin à l'est sur un linéaire d'environ 1 300 m. Ce site est suivi depuis 2016 avec un levé du trait de côte et trois profils topographiques de référence deux fois par an (Illustration 26).

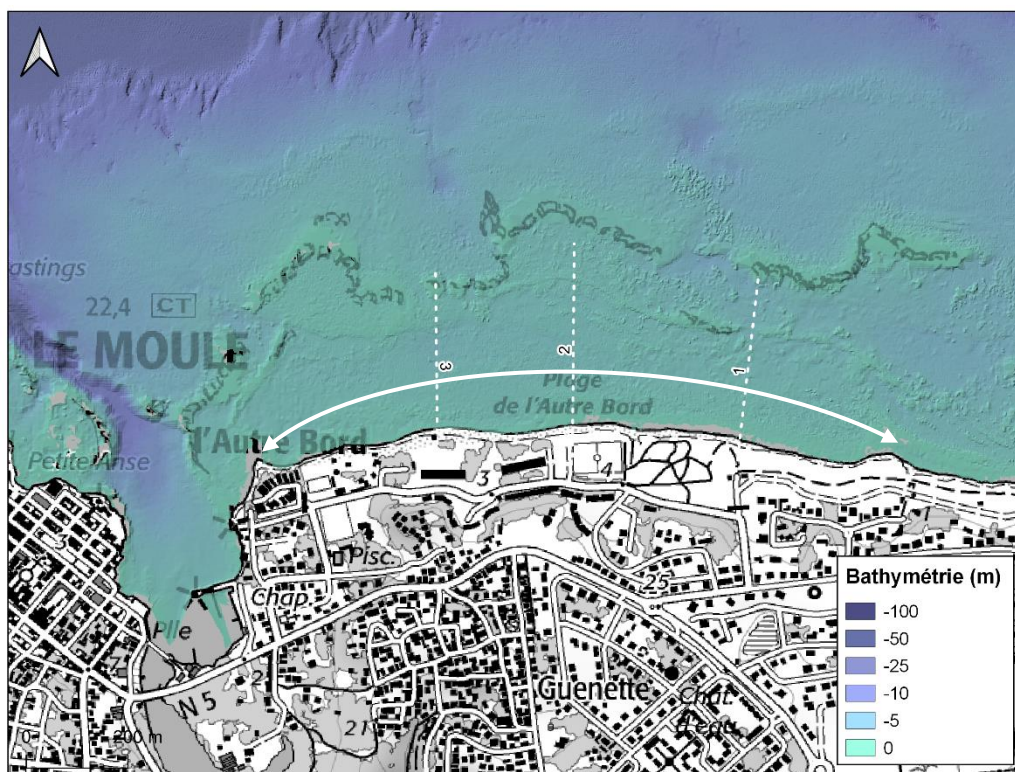


Illustration 26 - Localisation des profils topographiques de référence et emprise du secteur étudié sur le site de la plage de l'Autre Bord. La flèche blanche représente la délimitation du secteur d'étude.

3.2.1. Évolution du trait de côte

Pour rappel, sur la période historique allant de 1950 à 2013, la plage de l'Autre Bord présente une tendance à l'érosion, avec un taux de recul annuel moyen compris entre 0,2 et 0,4 m/an (Guillen *et al.*, 2017).

Sur la période d'observation récente, depuis 2016, les variations d'amplitude de la position du trait de côte sont comprises entre 5 et 8 m. Dans l'ensemble, le site présente une tendance modérée à l'érosion avec un taux de recul annuel moyen compris entre 0,25 et 0,50 m/an. Des variations locales sont cependant observées. Sur les parties convexes de la plage, les valeurs de recul peuvent être comprises localement entre 0,50 et 1 m/an (Illustration 27). Une stabilité et une légère accrétion (0,20 m/an) sont également observées localement à l'est du site, dans le secteur du parc archéologique de l'Autre Bord. Les contrastes observés sur les tendances d'évolution de la position du trait de côte peuvent être mis en relation avec une variabilité longitudinale de l'exposition à la houle du fait de la configuration de la plate-forme récifale (localisation des passes notamment).

Sur ce site exposé aux houles de nord, particulièrement énergétiques pendant la période hivernale, une variabilité saisonnière de la position du trait de côte est également observée (Illustration 29).

A l'échelle de l'année, la position du trait de côte observée pendant la période hivernale se situe généralement en retrait par rapport à la position du trait de côte à la fin du carême (années 2017 et 2021 par exemple).



Illustration 27 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2016-2022

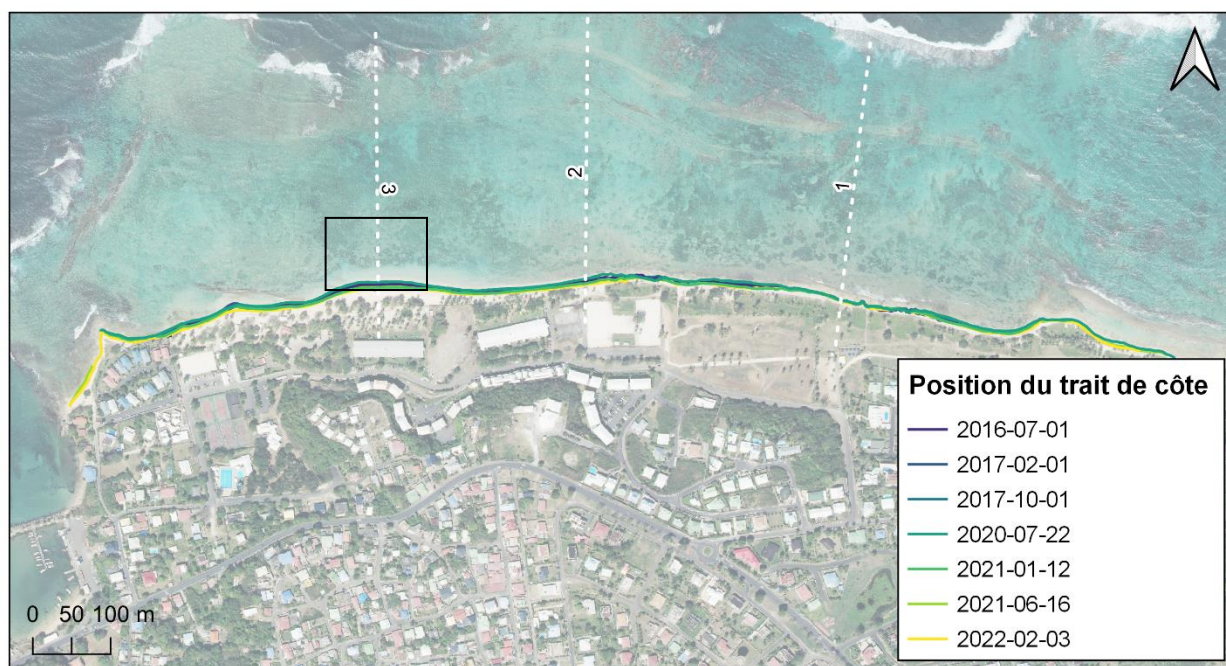


Illustration 28 –Position du trait de côte sur la période d'observation 2016-2022 et emprise du zoom sur le profil 3 (Illustration 29)

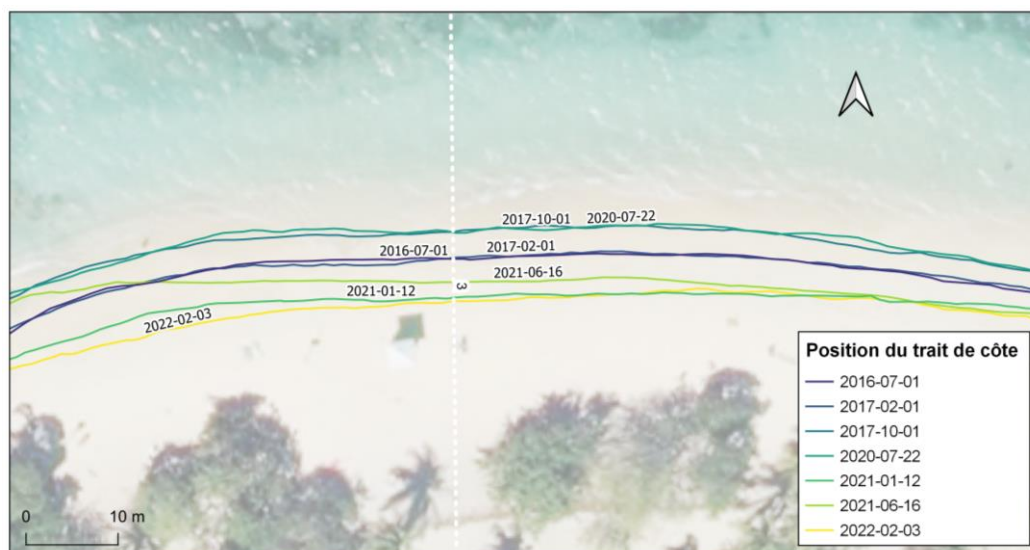


Illustration 29 - Zoom de la position du trait de côte dans le secteur du profil 3

La donnée « limite de végétation » de 2016 n'ayant pas été acquise selon la même méthode que les autres années, celle-ci n'est pas considérée dans l'étude de l'évolution pour la plage de l'Autre Bord.

Concernant l'évolution de la limite de végétation, les données de position de cet indicateur collectées depuis 2017 dans le cadre du réseau de suivi mettent en évidence une avancée de la position du trait de côte sur l'ensemble de la plage de l'Autre Bord, sur la commune du Moule, avec un taux d'évolution annuel moyen d'environ 0,2 m/an (Illustration 30). On observe cependant des variations locales avec un taux d'érosion atteignant 0,7 m/an à 80 m à l'ouest du profil 1 et un taux d'accrétion atteignant les 2,7 m/an à 40 m à l'est du profil 3 entre 2017 et 2022.

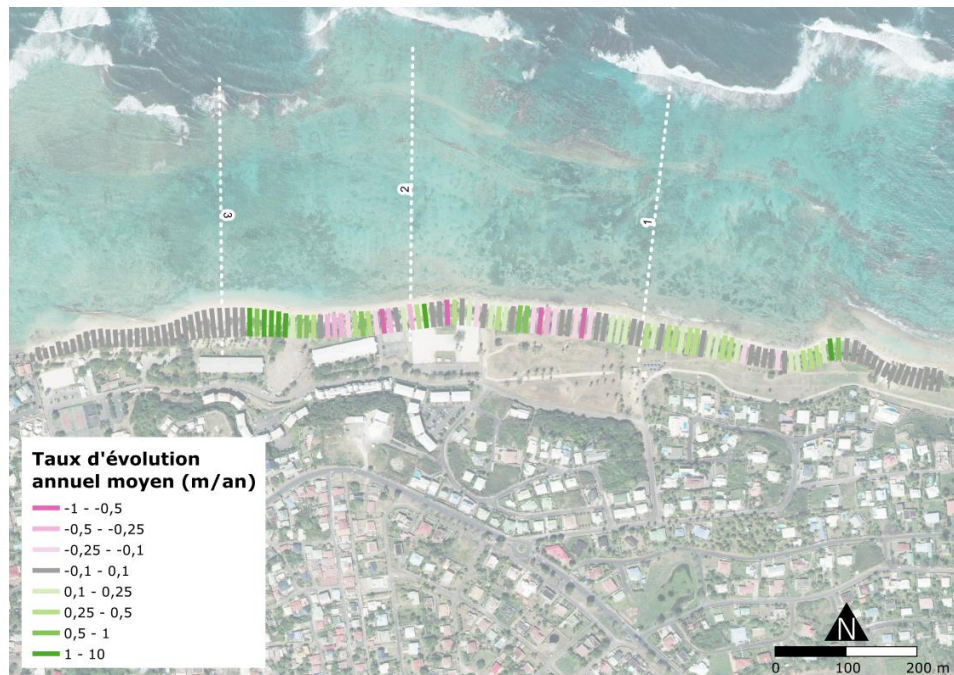


Illustration 30 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2017-2022. Les pointillés blancs représentent les profils de référence P1, P2 et P3.

3.2.2. Evolution topographique le long des profils de référence

Entre 2020 et 2022, l'évolution des profils de plage présente une relative stabilité pour le profil 1 situé le plus à l'est. Pour les deux autres profils, de façon similaire à la position du trait de côte, entre 2020 et 2022 les profils sont en érosion. Ainsi, à hauteur du niveau marin moyen, la plage a connu un abaissement sur les profils P2 et P3 respectivement d'environ 35cm et de 30cm, associé à un recul de la plage d'environ 2m (Illustration 31).

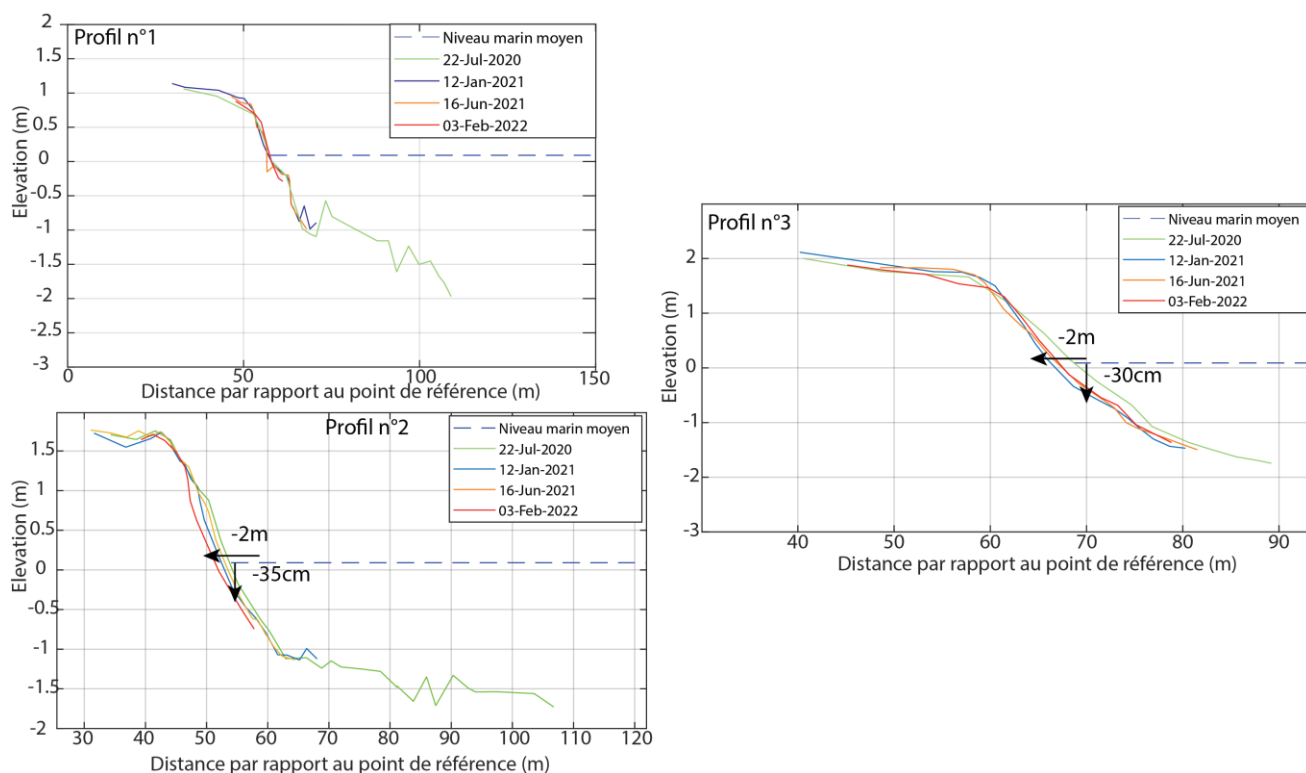


Illustration 31: Évolution des trois profils topographiques représentatifs de la plage de l'Autre Bord pour la période 2020-2022.

3.3. RAISINS-CLAIRS (SAINT-FRANÇOIS)

La plage des Raisins Clairs se situe au sud de la Grande-Terre, sur la commune de Saint-François (Illustration 2). Il s'agit d'une plage récifale composée de sable calcaire. Le récif est entrecoupé par une passe qui se trouve dans l'axe centrale de la plage. Il s'agit d'une plage touristique très fréquentée. A noter également la présence d'un site archéologique menacé par l'érosion (ancien cimetière d'esclaves de l'époque coloniale).

Le site est orienté au sud et exposé à la houle de secteur est à sud-est. La présence du récif atténue les houles incidentes. La partie centrale de la plage est cependant un peu plus agitée car située dans l'axe de la passe.

L'emprise étudiée s'étend de la Pointe du Courant à l'ouest jusqu'au restaurant de la plage des Raisins Clairs sur un linéaire d'environ 800 m. Ce site est suivi depuis 2016 avec un levé du trait de côte et trois profils topographiques de référence deux fois par an (Illustration 32). Un levé photogrammétrique par drone est également réalisé une fois par an depuis 2020.

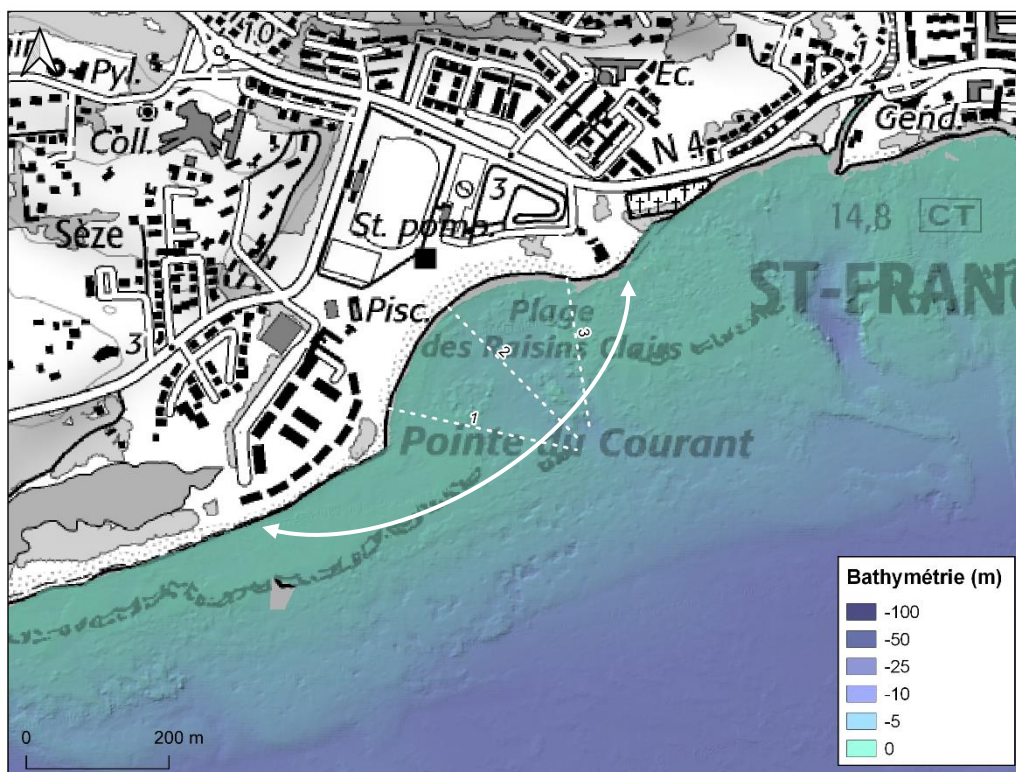


Illustration 32 - Localisation des profils topographiques de référence et emprise du secteur étudié sur le site de la plage des Raisins Clairs (flèche blanche).

3.3.1. Evolution du trait de côte

Pour rappel, sur la période historique allant de 1950 à 2013, la plage des Raisins Clairs de Saint-François présente une nette tendance à l'érosion. Le taux de recul annuel moyen est compris entre 0,3 et 0,4 m/an.

Les variations d'amplitude de la position du trait de côte sont comprises entre 6 et 8 m sur la période d'observation récente depuis 2017. L'amplitude atteint son maximum localement à l'extrémité est de la plage avec des valeurs pouvant atteindre entre 15 et 20 m. La dynamique du trait de côte est moins marquée à l'ouest de la Pointe du Courant avec des variations d'amplitude d'environ 2 m. Cette partie du site est en effet plus protégée par le récif corallien.

Dans l'ensemble, la plage des Raisins Clairs de Saint-François présente une tendance à l'érosion avec un taux d'évolution annuel moyen d'environ 0,80 m/an (Illustration 33). Des variations locales sont cependant observées : dans la partie concave de la plage, au nord du site, on observe un taux de recul moyen d'environ 1 m/an, l'érosion pouvant dépasser les 2,5 m/an ponctuellement. Une relative stabilité est observée au sud du site, avec un taux d'évolution annuel moyen d'environ 0,2 m/an (Illustration 33).

D'un point de vue des évolutions saisonnières, la position du trait de côte acquise pendant la période hivernale, entre janvier et février, est systématiquement en retrait par rapport à la position en juin et octobre (Illustration 34).

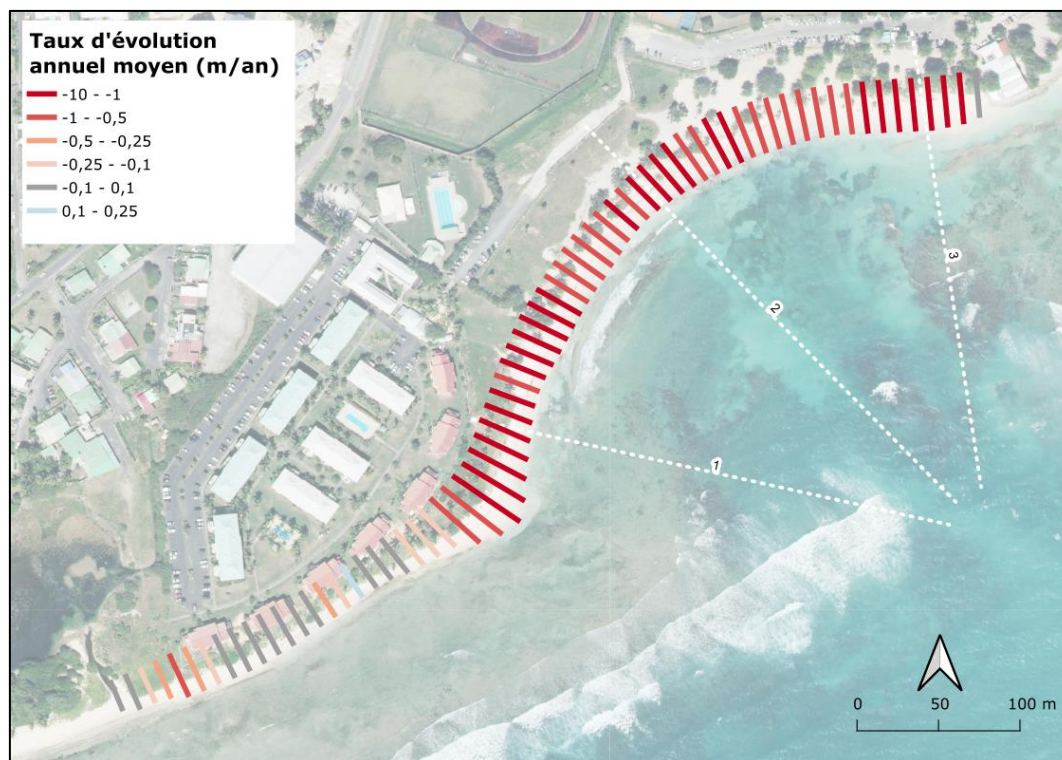


Illustration 33 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2017-2022

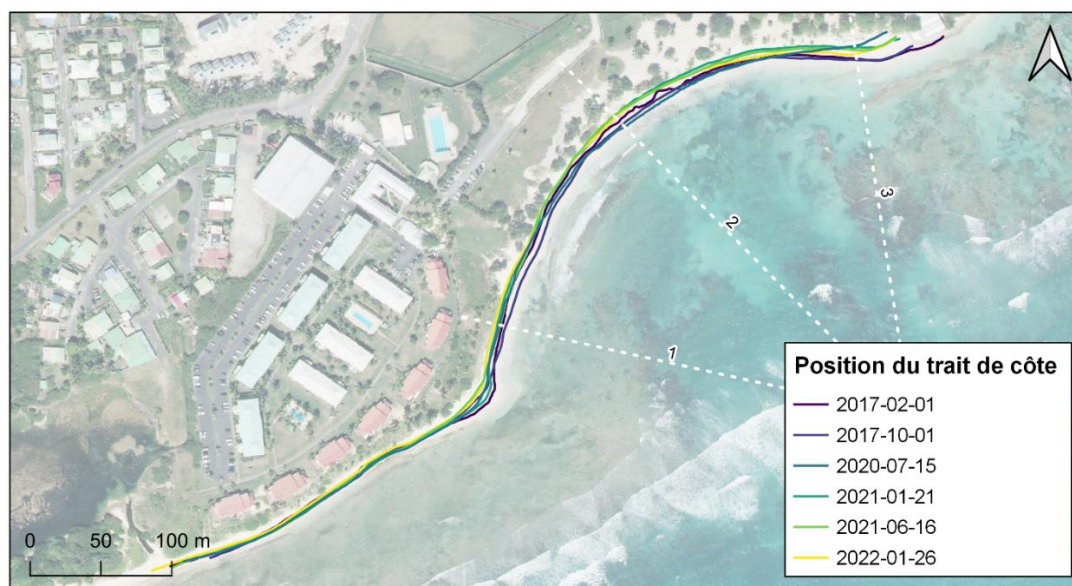


Illustration 34 - Position du trait de côte sur la période d'observation 2017-2022

La donnée « limite de végétation » de 2016 n'ayant pas été acquise selon la même méthode que les autres années, celle-ci n'est pas considérée dans l'étude de l'évolution pour la plage des Raisins Clairs.

Concernant l'évolution de la limite de végétation, les données de position de cet indicateur collectées depuis 2017 dans le cadre de l'Observatoire mettent en évidence une relative stabilité sur l'ensemble de la plage des Raisins Clairs de Saint-François, avec un taux d'évolution annuel moyen d'environ 0,05 m/an (Illustration 35). On observe cependant des variations locales avec

un taux d'érosion atteignant 1 m/an au sud-ouest du site et un taux d'accrétion atteignant les 0,80 m/an au nord-est, au niveau du profil 3.

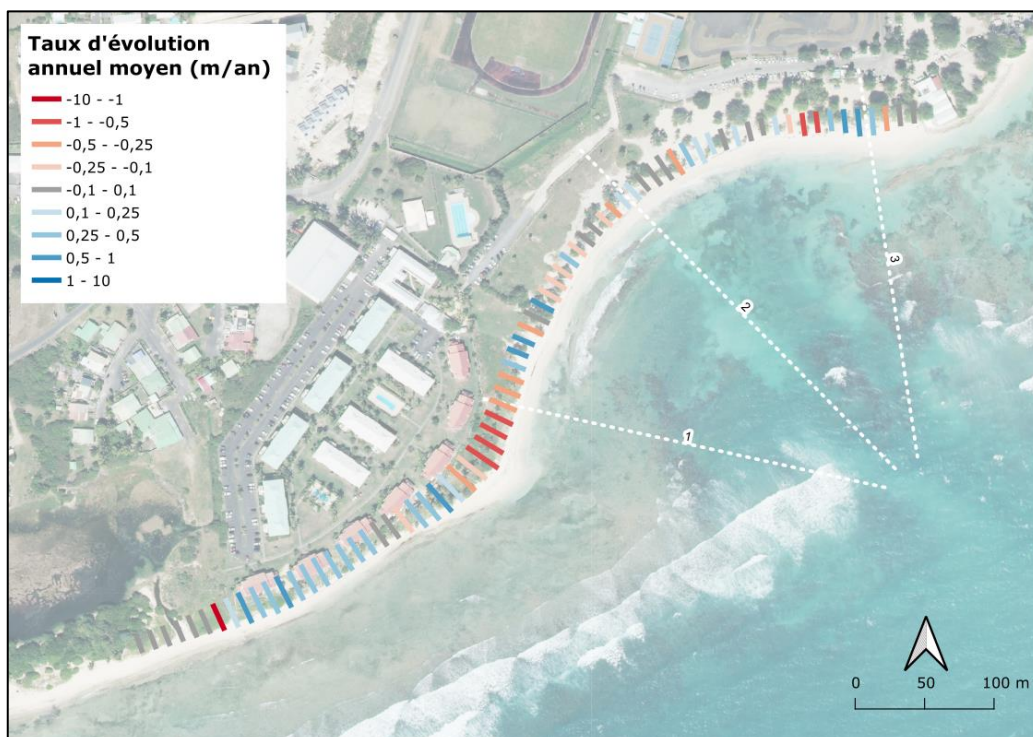


Illustration 35 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2017-2022



Illustration 36 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2017-2022

3.3.2. Évolution topographique le long des profils de référence

Les profils topographiques illustrent les différents déplacements sédimentaires qui ont eu lieu sur la période 2020-2022. Ainsi, à hauteur du niveau marin moyen (Illustration 37) :

- entre juillet 2020 et juin 2021 : le long du profil P1 la plage a avancé d'environ 2.5m. Sur la même période le profil P3 a connu une avancée d'environ 4.5m. En revanche, le profil P2 a enregistré un recul de la plage d'environ 5m ;
- entre juillet 2021 et janvier 2022, le sable s'est déplacé d'ouest en est sous l'action de la dérive littorale abaissant les profils P1 d'environ 50cm et le profil P2 de 25cm. Inversement le profil P3 a avancé d'environ 1 m.

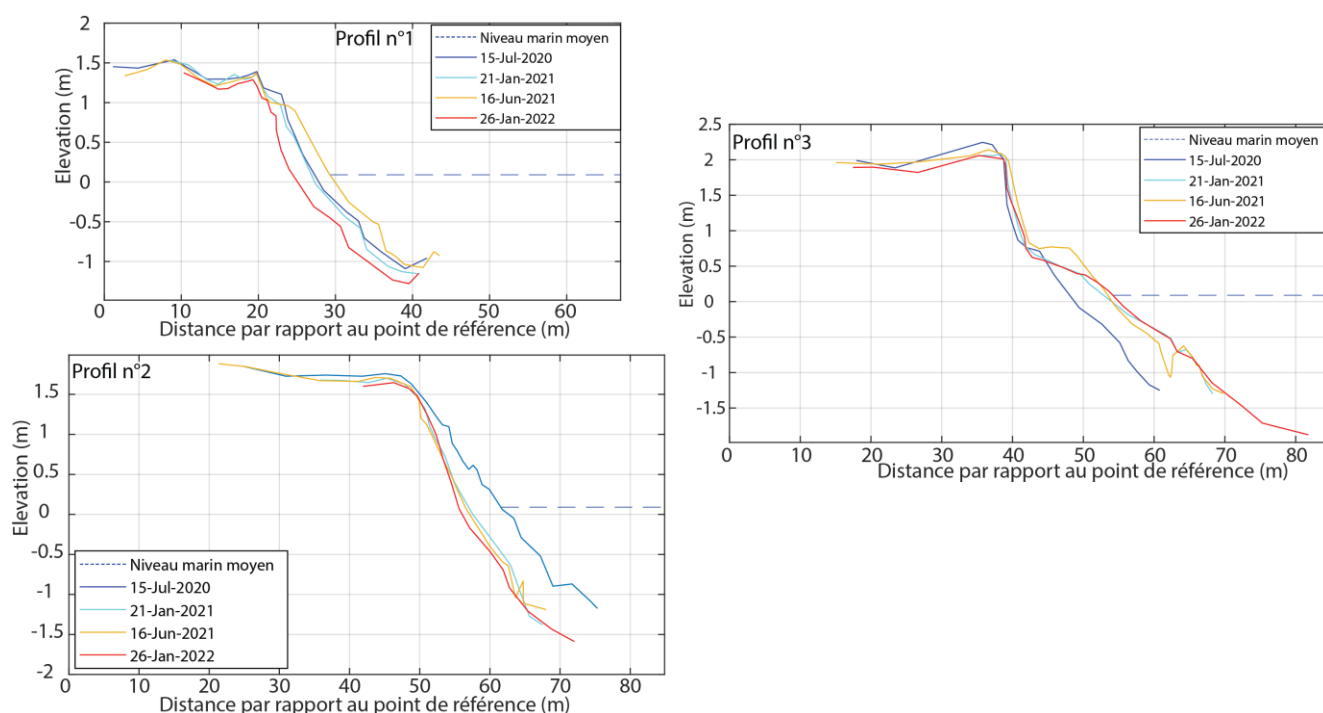


Illustration 37 - Profils topographiques de référence de la plage de Raisin clair entre 2020 et 2022, leur localisation sont regroupés sur l'illustration 32.

3.3.3. Bilan sédimentaire

L'analyse des modèles numériques de terrain (MNT) issus des levés drone, permettent d'observer les déplacements à l'échelle de la plage et d'établir des bilans sédimentaires en terme de volume de sédiments déplacés. Ainsi sur la plage des Raisins Clairs, entre 2022 et 2021, l'ouest de la plage est en érosion alors que le nord-est de la plage est accrétion (Illustration 38). Il persiste néanmoins une entaille d'érosion au nord du secteur, liée à la proximité des enrochements (Illustration 38)(Guillen *et al.*, 2018).

Des campagnes de rechargement ont eu lieu au nord de la plage, pour lutter contre les phénomènes d'érosion et protéger le site archéologique situé en arrière. Cet apport en sable réalisé entre 2021 et 2022, entraine une accrétion au nord de la plage. Le reste de la plage enregistre une érosion généralisée sur l'ensemble du linéaire, notamment au niveau de la pointe sableuse dont l'évolution est caractérisée par le profil P1 (Illustration 37 & Illustration 38).

A noter que sur le haut de plage des secteurs isolés varient rapidement entre accrétion et érosion, ces zones correspondent à des artefacts lors de l'interpolation réalisé lors de la suppression de

la végétation sur les MNT. Ils n'ont pas été pris en compte dans le calcul volumique (Illustration 38). À l'échelle de la plage, le bilan sédimentaire de la plage est négatif avec un départ en sable d'environ 840 m³.

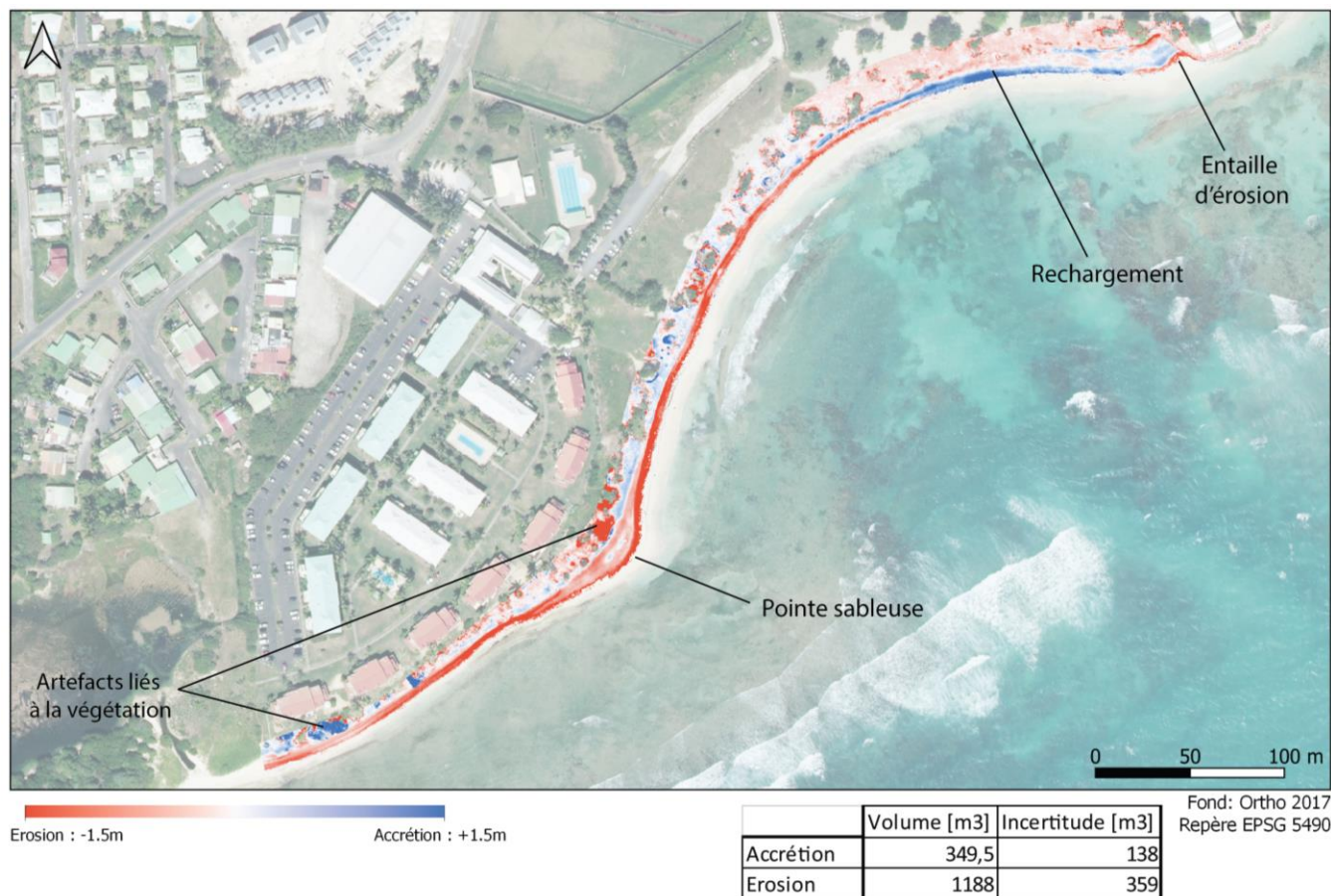


Illustration 38 - Différentiel altimétrique entre 2022 et 2021 sur la plage de Raisin clair avec le volume de sédiment déplacé.

3.4. PLAGES DU BOURG (SAINTE-ANNE)

La plage du Bourg de Sainte-Anne se situe au sud de la Grande-Terre, sur la commune éponyme (Illustration 2). Il s'agit d'une plage récifale composée de sable calcaire. La totalité de l'anse de Sainte-Anne est protégée par un récif corallien entrecoupé par deux passes (Petite-Passe et Grande-Passe). Une des caractéristiques de cette plage est la présence de trois épis en « T » qui segmentent la plage en plusieurs compartiments (Illustration 39). Il s'agit d'une plage urbaine très fréquentée pour les activités balnéaires.

Le site est orienté au sud et exposé à la houle d'alizé de secteur est à sud-est. La présence du récif atténue les houles incidentes. L'avant plage est très peu profond (inférieure à 1 m) et la plage est très abritée de la houle.

L'emprise étudiée s'étend de la route nationale à l'ouest jusqu'au dernier épis à l'est sur un linéaire d'environ 800 m. Ce site est suivi depuis 2017 avec un levé du trait de côte et quatre profils topographiques de référence deux fois par an (Illustration 40). Un levé photogrammétrique par drone est également réalisé une fois par an depuis 2020.



Illustration 39 - Vue aérienne du site de la plage du Bourg de Sainte-Anne et des aménagements de protection.

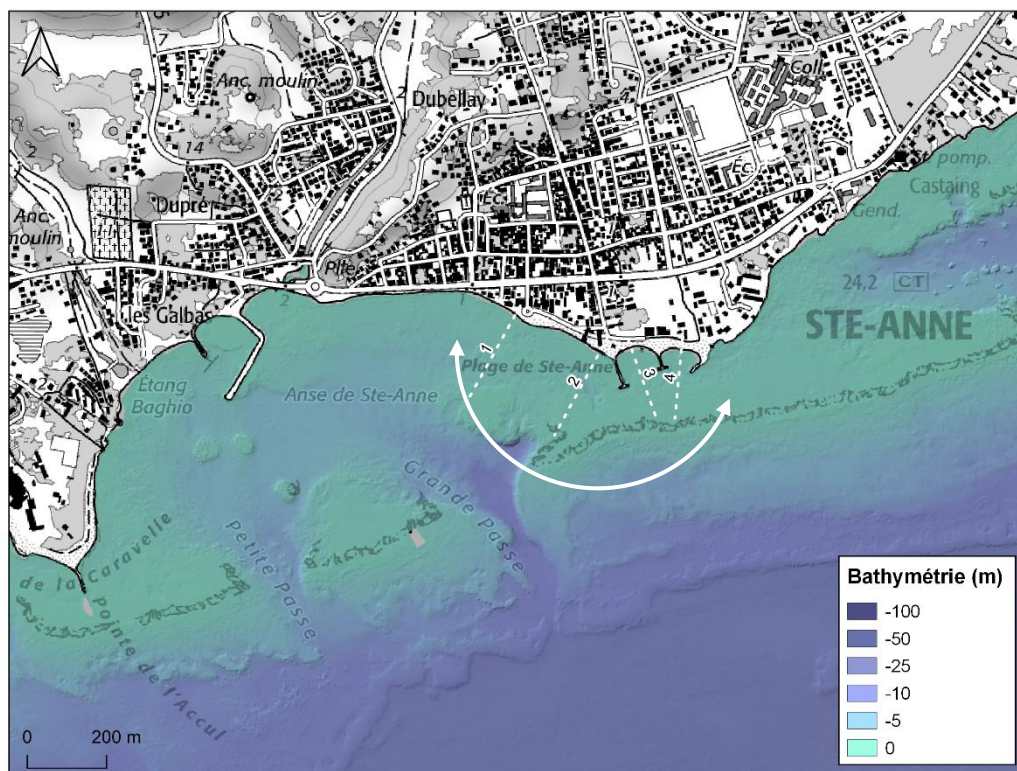


Illustration 40 - Localisation des profils topographiques de référence (traits pointillés) et emprise du secteur étudié sur le site de la plage du Bourg de Sainte-Anne (flèche blanche).

3.4.1. Évolution du trait de côte

Pour rappel, sur la période historique allant de 1950 à 2013, la plage du Bourg de Sainte-Anne présente une tendance modérée à l'érosion. Le taux annuel moyen de recul de la moitié ouest de la plage atteint 0,20 m/an. Sur la partie située à l'est, au niveau des épis il atteint 0,50 m/an (Guillen *et al.*, 2017).

Sur la plage du Bourg de Sainte-Anne, les données du réseau de suivi confirment la tendance modérée à l'érosion avec un taux d'évolution annuel moyen légèrement supérieur à celui observé dans le passé. Il est compris autour de 0,50 m/an sur la période 2017-2022 (Illustration 41). Des variations locales avec une alternance de secteurs en érosion et de secteurs en accrétion sont cependant observées. On distingue le secteur en accrétion, situé entre le profil 1 et 2, avec une moyenne de 0,40 m/an sur la période étudiée et les secteurs en érosion, sur le reste du site avec un taux de recul moyen de 0,7 m/an. Le taux d'érosion atteint localement les 2,7 m/an à l'est du site et le taux d'accrétion atteint jusqu'à 0,8 m/an entre le profil 1 et 2, à l'ouest du secteur en accrétion.

D'un point de vue des évolutions saisonnières, la position du trait de côte acquise pendant la période hivernale de janvier, est en retrait par rapport à la position en juin (Illustration 42).

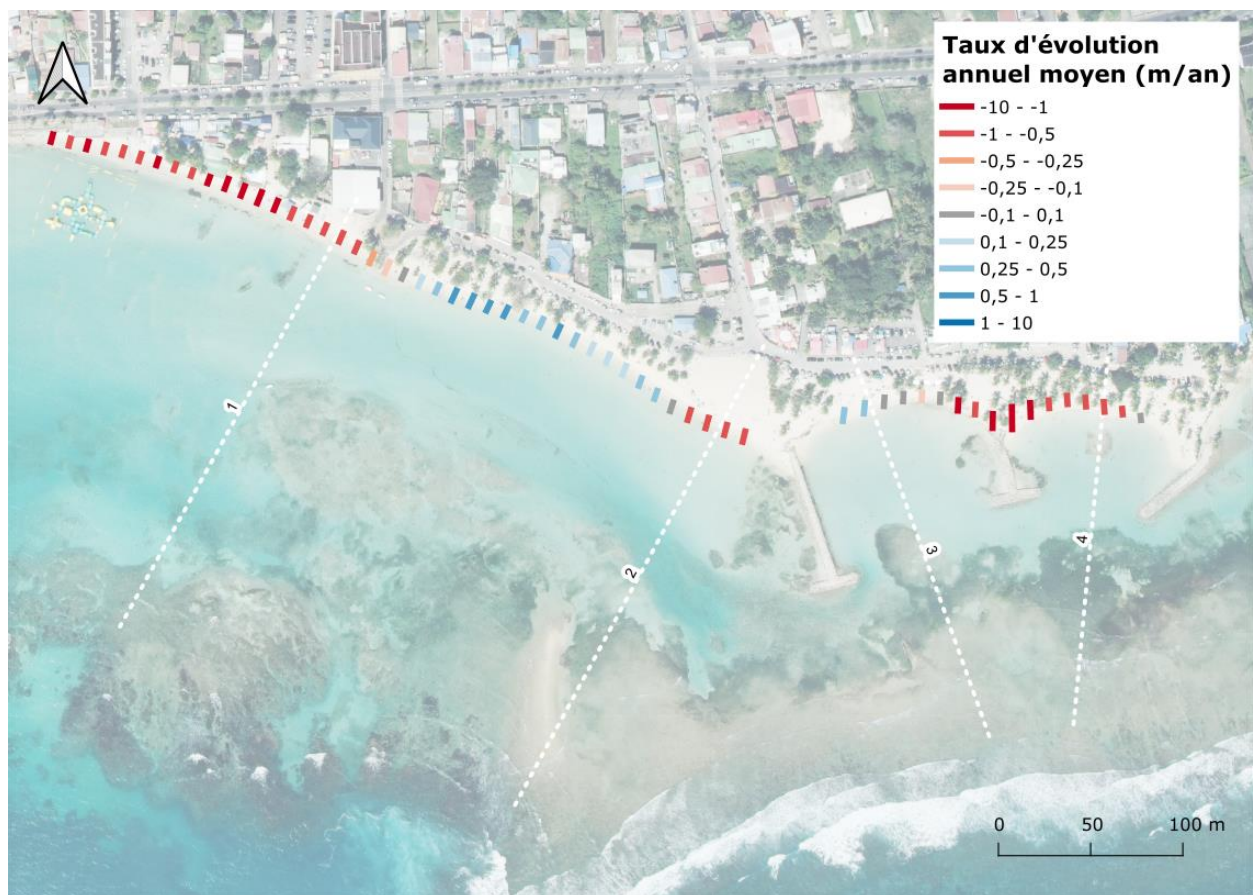


Illustration 41 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2017-2022

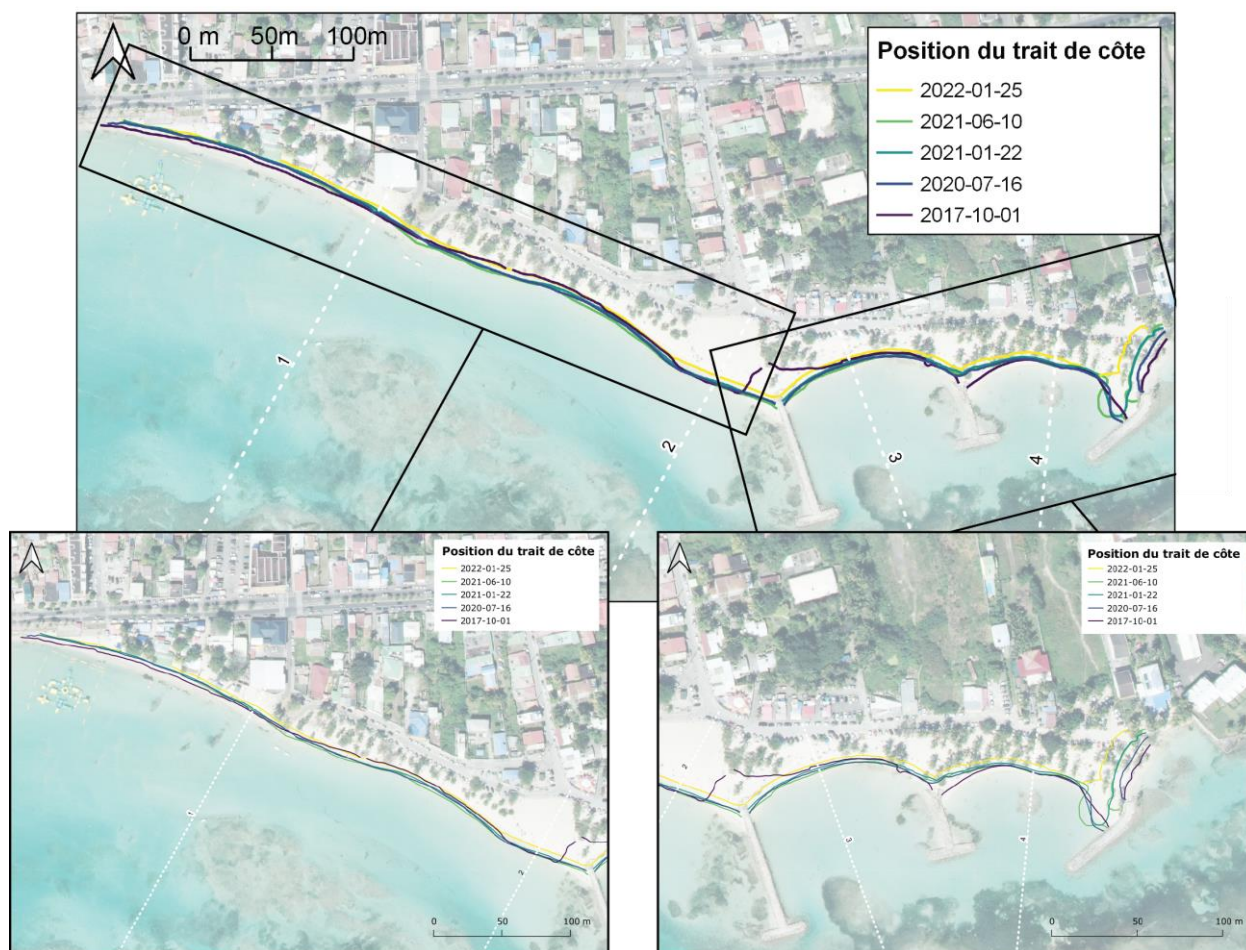


Illustration 42 - Position du trait de côte sur la période d'observation 2017-2022 et zooms associés.

3.4.2. Évolution topographique le long des profils de référence

Les variations de la position du trait de côte se retrouvent dans l'évolution des profils topographiques. Ainsi entre 2020 et 2022, la plage a reculé d'environ 2 m le long des profils P1 et P4, et de 3 m le long du profil P2 (Illustration 43). Sur le profil P4, à une distance d'environ 50m du sommet du profil, un haut fond est arasé entre 2020 et 2022. Cette différence correspond au contournement d'un beachrock lors des campagnes d'acquisition de 2021 et 2022.

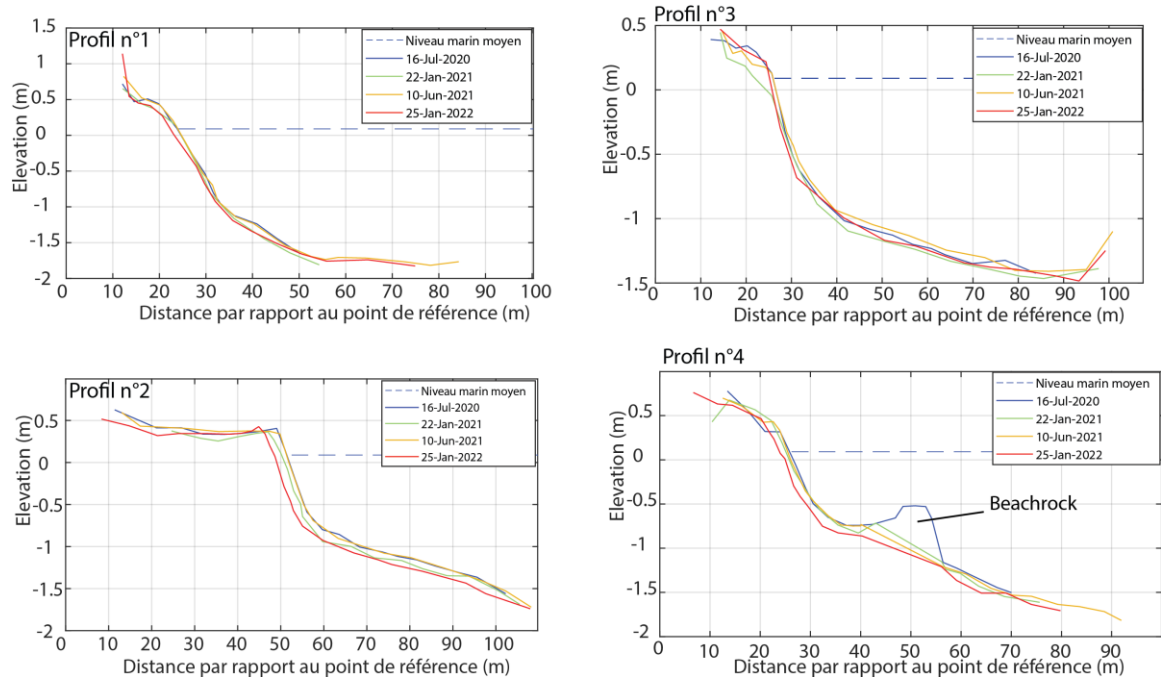


Illustration 43 - Évolution des profils topographiques le long de la plage de Sainte Anne entre 2020 et 2022.

3.4.3. Bilan sédimentaire

Le bilan sédimentaire a été réalisé à partir des MNT de 2021 et 2022 sur la plage du bourg de Sainte-Anne. La plage présente une hétérogénéité en terme de dynamique sédimentaire avec un départ préférentiel à l'est de la plage et une stabilité voire une accrétion de la plage à l'ouest.

A l'échelle de la plage, le bilan sédimentaire est en déficit estimé de 290 m³.

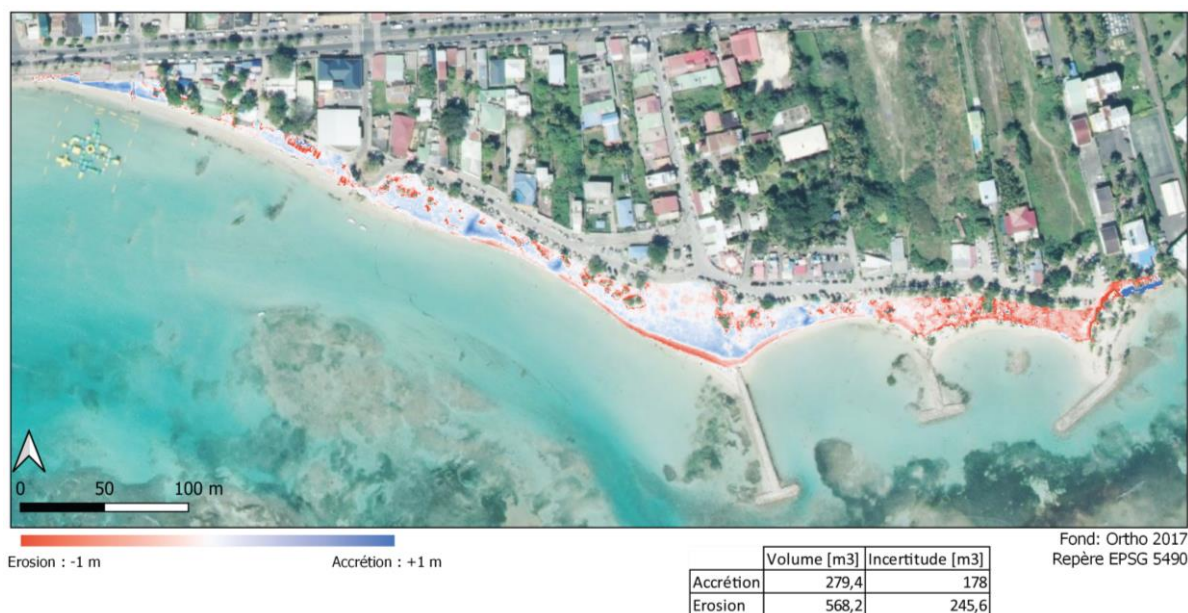


Illustration 44 - Différentiel altimétrique et calcul du volume de sable déplacé sur la plage du bourg de Sainte-Anne entre 2021 et 2022.

3.5. SAINTE-CLAIRE (GOYAVE)

La plage de Sainte-Claire se situe à l'est de la Basse-Terre, sur la commune de Goyave (Illustration 2). Il s'agit d'une plage récifale composée de sable mixte d'origine volcanique et calcaire. Ce site constitue la portion nord de l'Anse de Sable, il est en partie protégé par la présence d'un récif coralien. La plate-forme récifale est particulièrement développée au nord du site et l'avant côte présente une pente douce sur l'ensemble du site. Il s'agit d'une plage naturelle peu fréquentée.

La site est orienté à l'est et exposé aux houles d'alizés de secteur est à sud-est. La présence du récif atténue les houles incidentes sur la partie nord du site. La partie sud est quant à elle légèrement plus exposée.

L'emprise étudiée s'étend du nord de la plage de Sainte-Claire jusqu'à la pointe de Morne Rouge au sud du site sur un linéaire d'environ 1 000 m. Ce site est suivi depuis 2020 avec un levé de la position du trait de côte ainsi que de la limite de végétation et trois profils topo-bathymétriques de référence deux fois par an (Illustration 45).

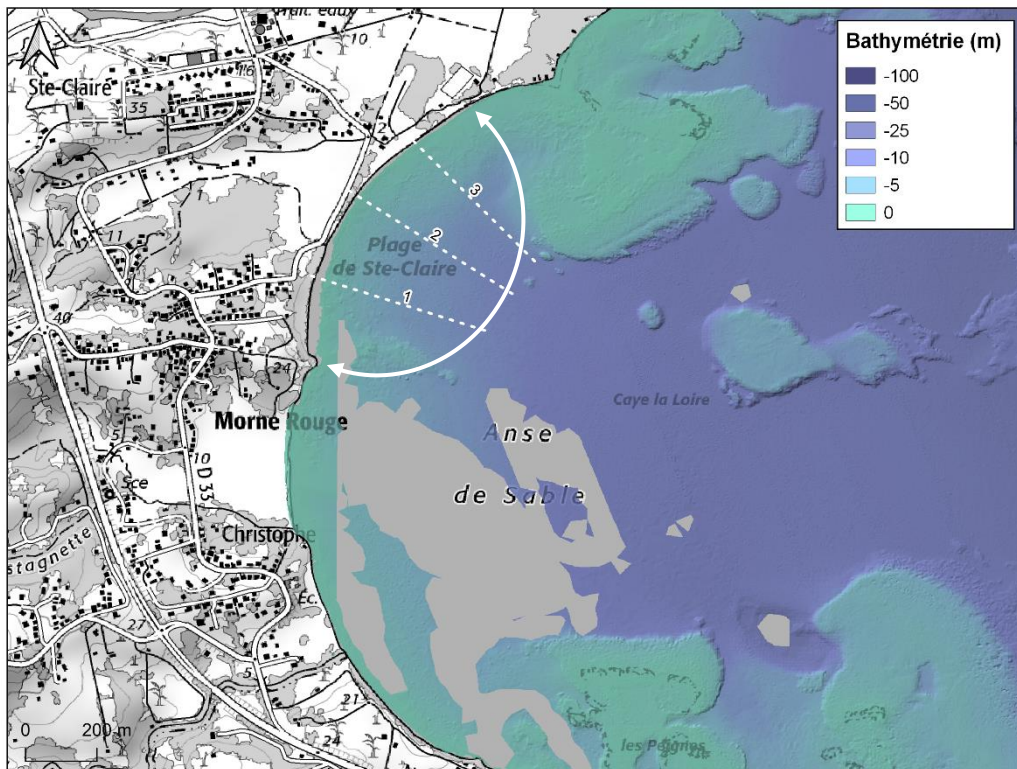


Illustration 45 - Localisation des profils topographiques de référence et emprise du secteur étudié sur site de la plage de Sainte-Claire

3.5.1. Évolution du trait de côte

Pour rappel, sur la période historique allant de 1950 à 2013, la plage de Sainte-Claire présente une légère tendance à l'érosion, avec un taux de recul annuel moyen de 0,20 m/an (Guillen *et al.*, 2017).

L'amplitude de variation du trait de côte est comprise entre 3 et 5 m sur la période d'observation récente (depuis 2020). À l'échelle pluriannuelle, la position du trait de côte présente une tendance nette à l'érosion sur l'ensemble du site avec un taux de recul annuel moyen compris entre 1 et 2 m (Illustration 46). Cette tendance généralisée à l'érosion est cependant à consolider dans les années à venir car le suivi n'est effectif que depuis 2 ans.

Sur la partie nord du site, en face du parking principal, des variations saisonnières sont identifiées (Illustration 47). En effet, la position du trait de côté se trouve d'une manière générale en position avancée après le carême (juillet 2020 et juin 2021) par rapport à la période hivernale (janvier 2021 et janvier 2022). Sur la partie sud de la plage à l'inverse, le recul du trait de côte est continu depuis le début des observations en juillet 2020. Ce contraste d'évolution à l'échelle saisonnière peut s'expliquer par des différences d'exposition entre ces deux parties de la plage et la variabilité saisonnière du climat de houle. La partie nord est protégée par un récif, alors que la partie sud est plus exposée à la houle incidente. À partir des observations par caméra vidéo (Moisan *et al.*, 2021 ; Laigre *et al.*, submitted), il a été mis en évidence sur d'autres plages récifales de Guadeloupe que l'agitation étaient en partie contrôlée par les variations saisonnières du niveau de la mer (anomalie liée à la température et la salinité à l'échelle des Petites-Antilles). Le niveau moyen de la mer est en effet plus haut pendant la période hivernale ce qui a pour effet de filtrer moins efficacement les houles incidentes. Par ailleurs, le régime des houles d'alizé a tendance à se renforcer pendant la période hivernale. La reconstitution du cordon de plage est favorisée

pendant la période de carême avec des niveaux d'eau moins importants et un régime de houle plus calme.

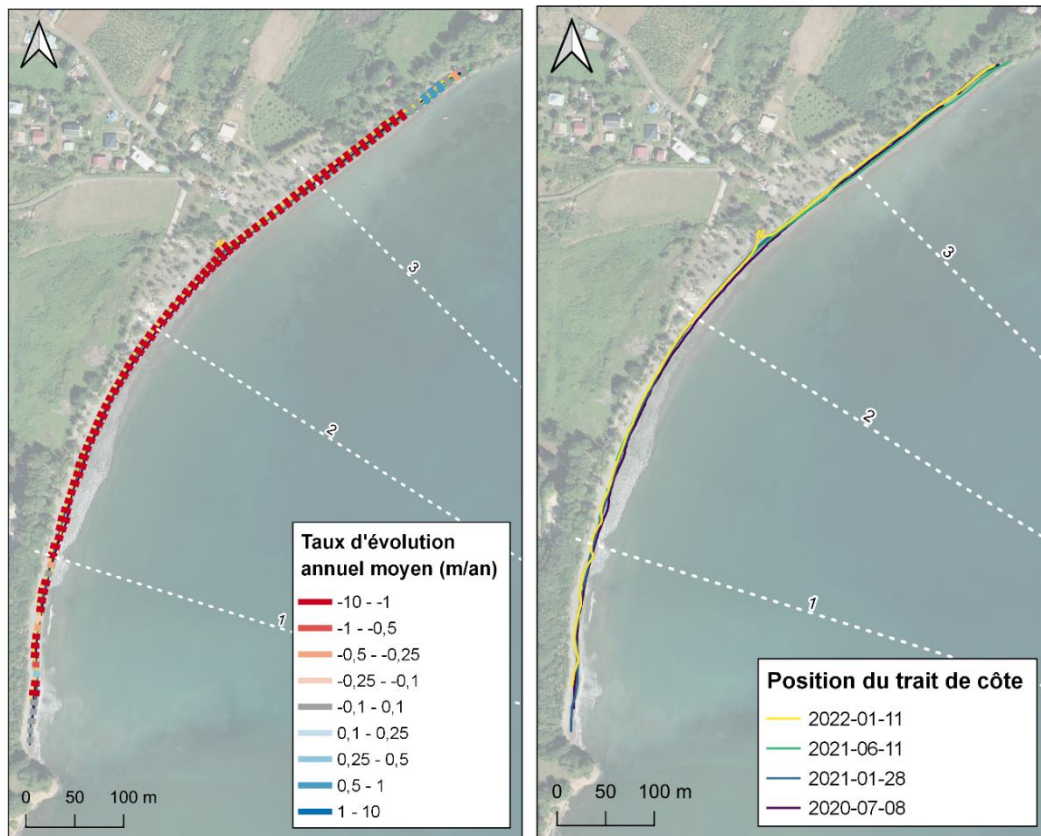


Illustration 46 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2020-2022 (à gauche) et position du trait de côte (à droite)

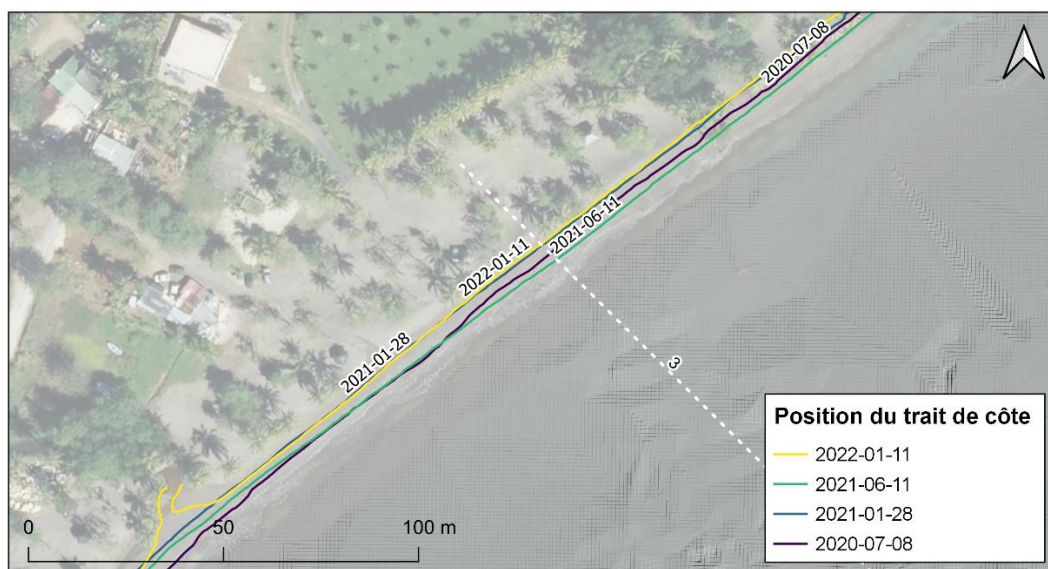


Illustration 47 – Position du trait de côte dans le secteur nord de la plage de Sainte-Claire, protégé par la présence d'un récif.

Concernant l'évolution de la limite de végétation, une tendance modérée à l'érosion est observée sur l'ensemble de la plage de Sainte-Claire, avec un taux d'évolution annuel moyen d'environ 0,50 m/an (Illustration 48). On observe cependant des variations locales avec un taux d'érosion

maximal de 2,4 m/an entre le profil 2 et 3 et un taux d'accrétion atteignant les 9,7 m/an à 40 mètres au nord du profil 2.

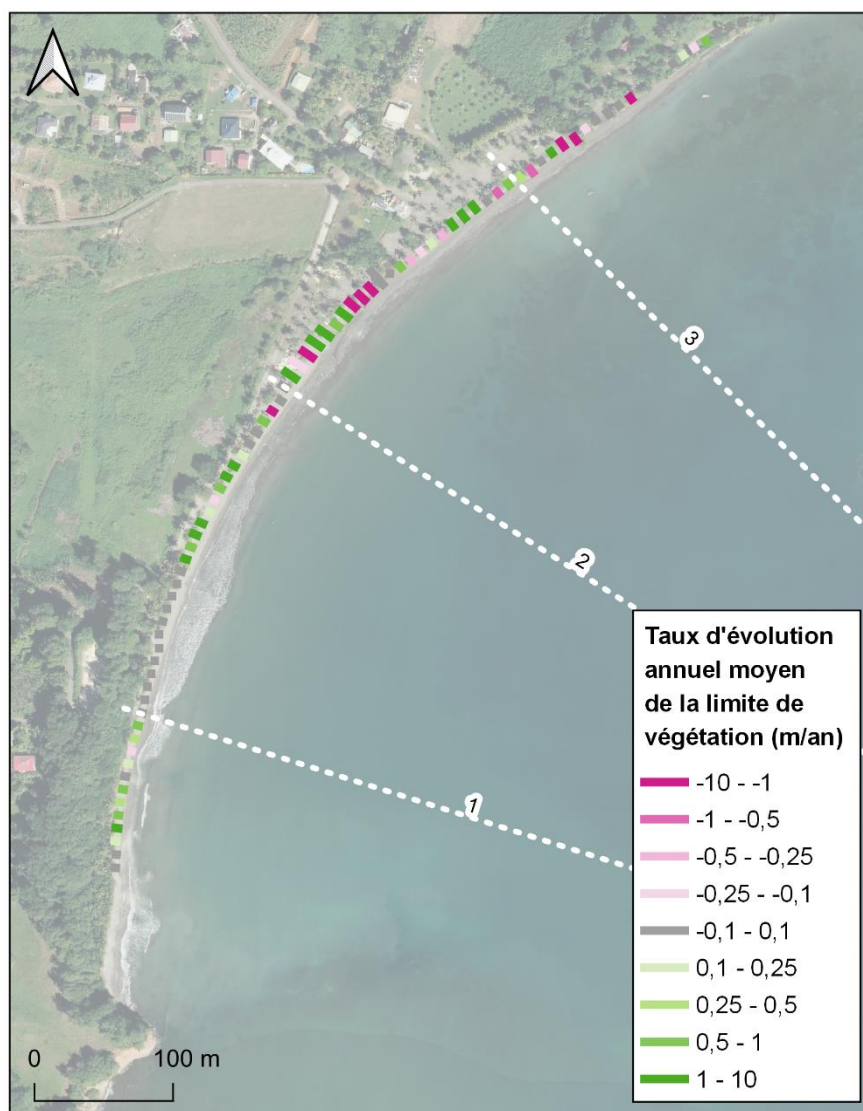


Illustration 48 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2020-2021

3.5.2. Évolution topographique le long des profils de référence

Sur la plage de Sainte-Claire, les levés topographiques et bathymétriques ont été réalisés le long de 3 profils (Illustration 45). Entre 2020 et 2022, la plage est restée relativement stable de façon annuelle. Néanmoins, elle connaît une fluctuation saisonnière significative. Ainsi, le long du profil 3, la plage enregistre un apport en sable entraînant une avancée d'environ 3 m (mesurée à l'altitude constante de -0.4 m) entre janvier 2021 et juin 2021. Puis entre juin 2021 et janvier 2022, le profil est revenu à une position similaire à celle de janvier 2021 (zoom de l'illustration 49). La bathymétrie est stable le long du profil 1 entre 2020 et 2022. Mais sur le reste du linéaire côtier, l'avant côte semble être en érosion avec un abaissement des fonds compris entre 50 et 60 cm pour les profils 2 et 3 (Illustration 49).

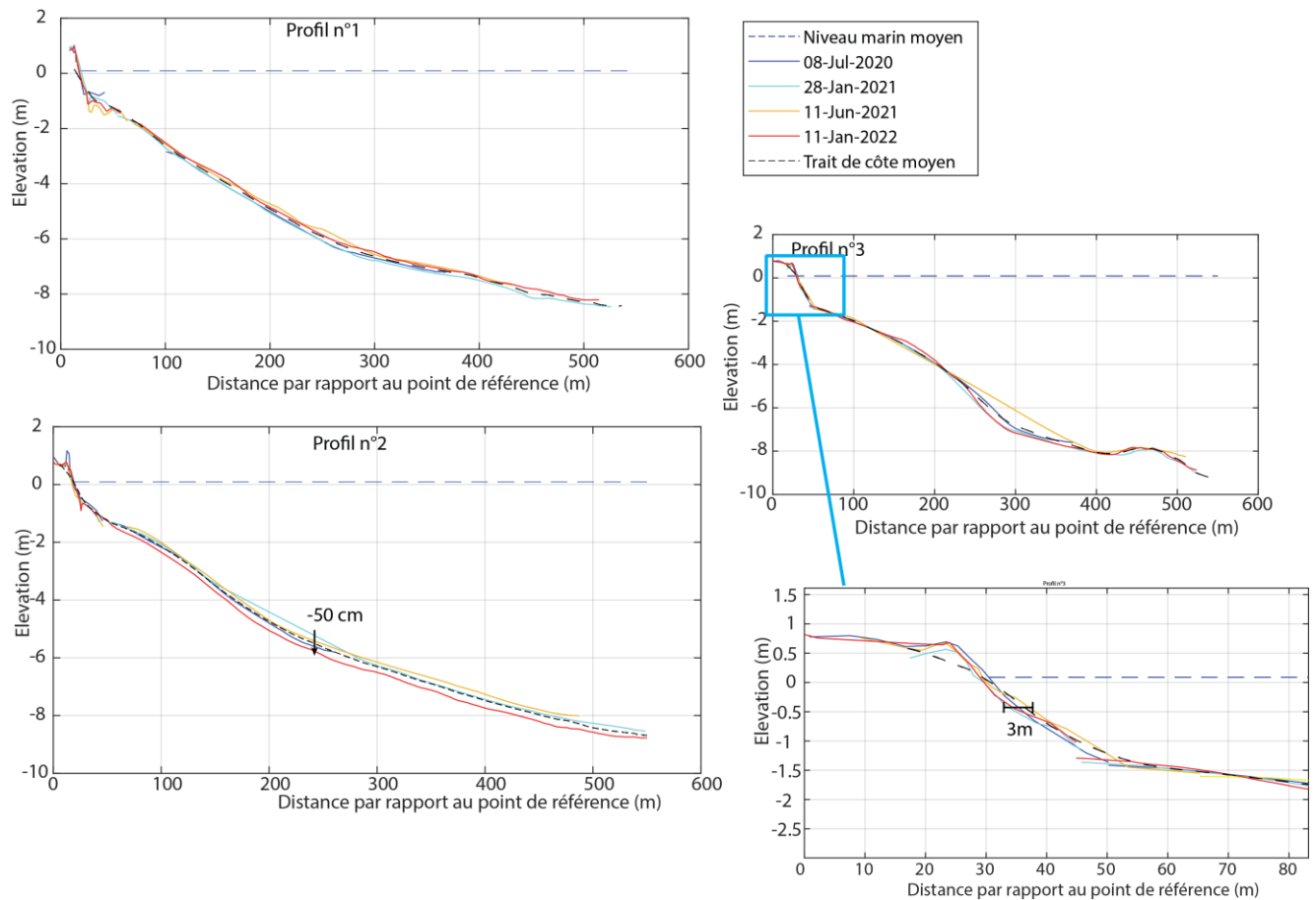


Illustration 49 - Évolution topo-bathymétrique des profils de référence sur la plage de Sainte-Claire.

3.6. SIMAHO (VIEUX-HABITANT)

La plage de Simaho se situe sur la côte sous le vent de Basse-Terre, sur la commune Vieux-Habitants (Illustration 2). Il s'agit d'une plage alluviale de sable et de galets d'origine volcanique, située au sud de l'embouchure de la Grande-Rivière de Vieux-Habitants. Dans le secteur de l'embouchure de la Grande-Rivière, le cordon de plage est naturel et peu fréquenté. La partie sud est plus fréquentée avec la présence de plusieurs restaurants de plage à l'arrière du cordon.

Le site est orienté à l'ouest et peu exposé à la houle bien qu'il puisse ponctuellement être exposé aux houles hivernales de secteur nord (de décembre à mars) ou aux houles cycloniques lors du passage des tempêtes et des ouragans en mer des Caraïbes (de juin à novembre).

L'emprise étudiée s'étend du sud de la plage de Simaho jusqu'au nord de l'embouchure de la Grande-Rivière sur un linéaire d'environ 1 200 m. Ce site est suivi depuis 2020 par un levé du trait de côte et deux profils topo-bathymétriques de référence réalisés deux fois par an (Illustration 50).

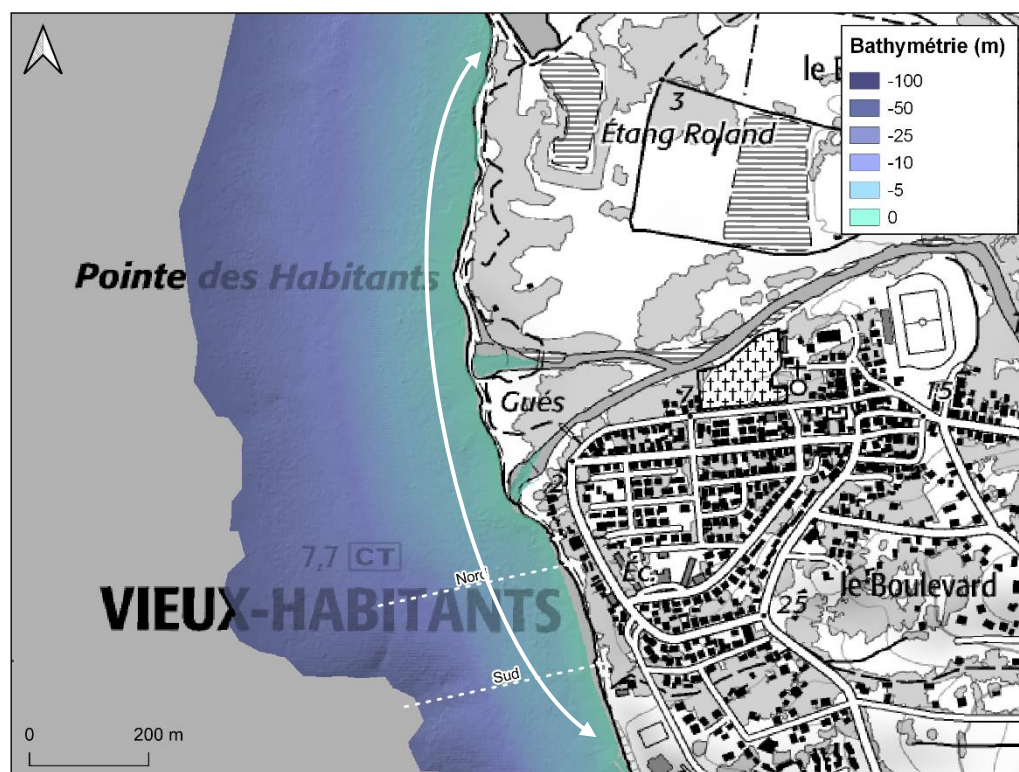


Illustration 50 - Localisation des profils topographiques de référence (traits pointillés) et emprise du secteur étudié (flèche blanche) sur site de la plage de Simaho et de l'embouchure de la Grande Rivière de Vieux-Habitants.

3.6.1. Évolution du trait de côte

Pour rappel, sur la période historique allant de 1950 à 2013, le secteur de la plage de Simaho présente une tendance à la stabilité (Guillen *et al.*, 2017). Sur la même période, le secteur de l'embouchure de la Grande Rivière de Vieux Habitants présente une légère tendance à l'accrétion comprise entre 0,2 et 0,5 m/an. La partie située plus au nord de l'embouchure présente une tendance à l'érosion comprise entre 0,30 et 0,50 m/an.

Les mesures de la position du trait de côte depuis 2020 permettent de caractériser les évolutions sur la période d'observation récente (Illustration 51). Plusieurs secteurs se détachent pour ces deux dernières années:

- la plage de Simaho avec une tendance modérée à l'accrétion dans sa partie centrale (inférieure à 1 m/an) ;
- une tendance marquée à l'érosion dans le secteur des embouchures de la Grande Rivière avec des taux de recul compris entre 2 et 5 m/an et localement une tendance à l'avancée au droit des embouchures ;
- plus au nord de l'embouchure, une alternance entre un secteur en légère accrétion dans la partie concave du cordon et un secteur en érosion dans la partie convexe à l'extrémité nord du site.

Il sera nécessaire de poursuivre les observations dans les années à venir pour consolider ces tendances d'évolution. Par ailleurs, aucune tendance d'évolution saisonnière ne se dégage sur ce site (Illustration 52).

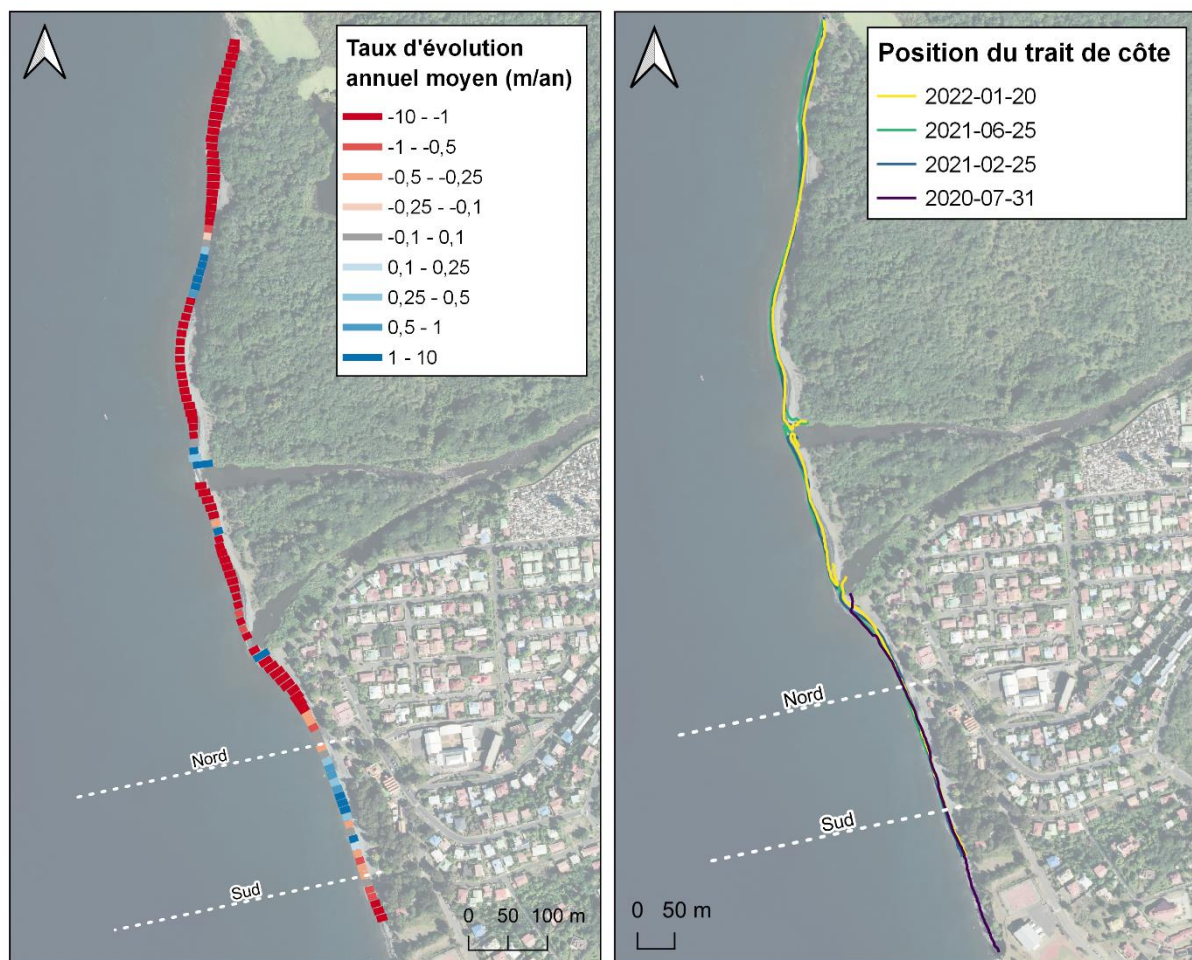


Illustration 51 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2020-2022 (à gauche) et position du trait de côte (à droite)

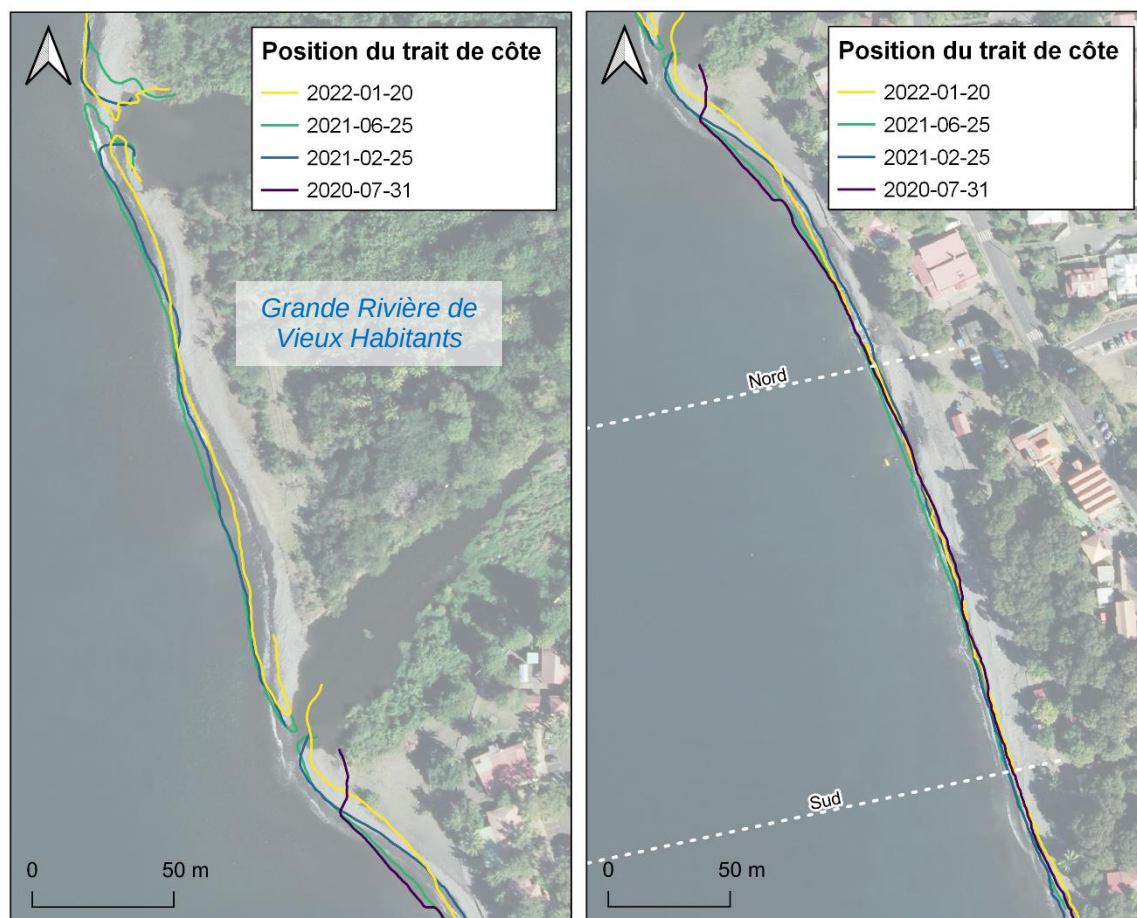


Illustration 52 – Position du trait de côte dans le secteur de l'embouchure de la Grande Rivière de Vieux Habitants (à gauche) et de la plage de Simaho (à droite)

3.6.2. Évolution topographique le long des profils de référence

A l'image des traits de côte, aucune tendance saisonnière ne se dégage sur les levés des profils de référence de la plage de Simaho pour la période 2020-2022. Néanmoins, la plage a reculé d'environ 3 m le long du profil sud (P2) entre février 2021 et janvier 2022, à hauteur du niveau marin moyen (Illustration 53).

Les profils bathymétriques semblent rester stables au sud du secteur. À noter une diminution d'environ 40cm de la profondeur du proche côtier le long du profil nord (P1) entre juin 2021 et janvier 2022 (Illustration 53).

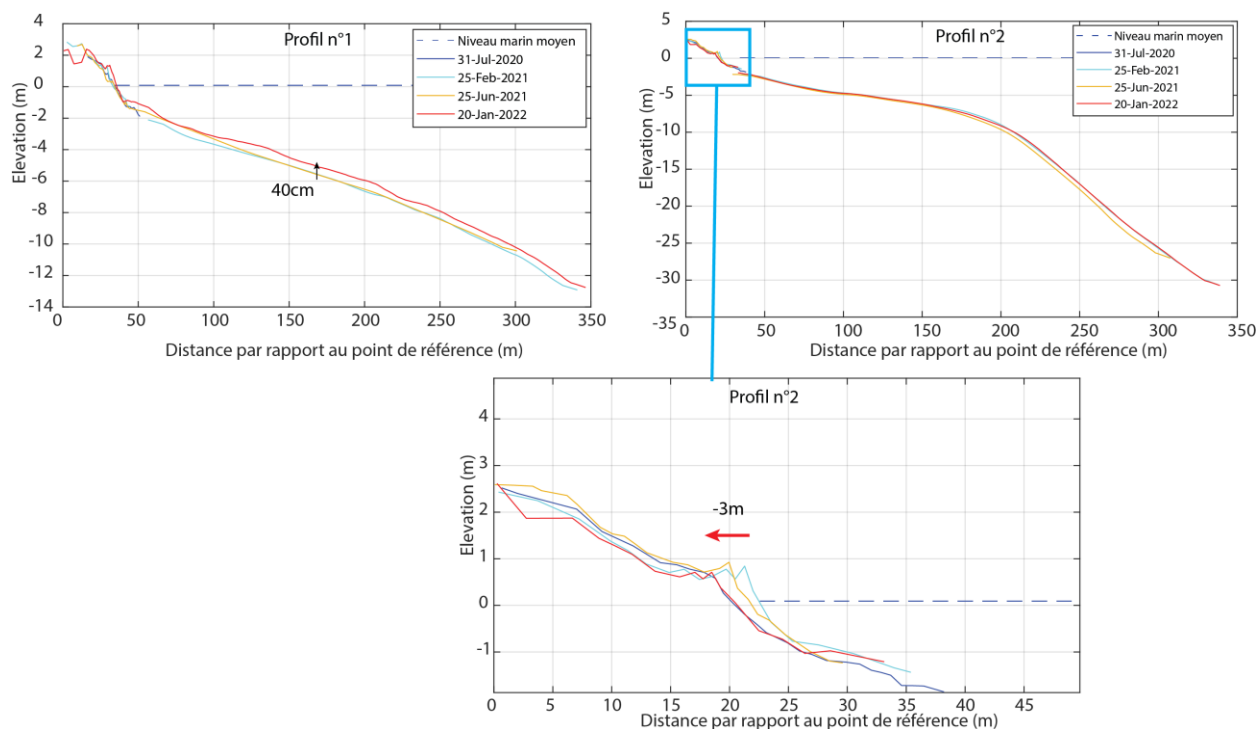


Illustration 53 - Évolution topo-bathymétrique des profils de plage de Simaho sur la période 2020-2022

3.7. ANSE CARAÏBE (POINTE-NOIRE)

L'Anse Caraïbe se situe sur la côte sous le vent de la Basse-Terre, sur la commune de Pointe-Noire (Illustration 2). Il s'agit d'une plage alluviale de sable et de galets d'origine volcanique, située dans l'axe de l'embouchure Rivière de Grande Plaine. La partie nord du cordon est plus fréquentée, tandis que la partie sud, majoritairement constituée de galets, est naturelle et peu fréquentée.

La site est orienté à l'ouest et peu exposé à la houle. Il peut être ponctuellement exposé aux houles hivernales de secteur nord (décembre à mars) ou aux houles cycloniques des événements traversant la mer des Caraïbes (juin à novembre).

L'emprise étudiée s'étend sur l'ensemble du cordon sur un linéaire d'environ 1 000 m. Ce site est suivi depuis 2020 par un levé du trait de côte et deux profils topo-bathymétriques de référence réalisés deux fois par an (Illustration 54).

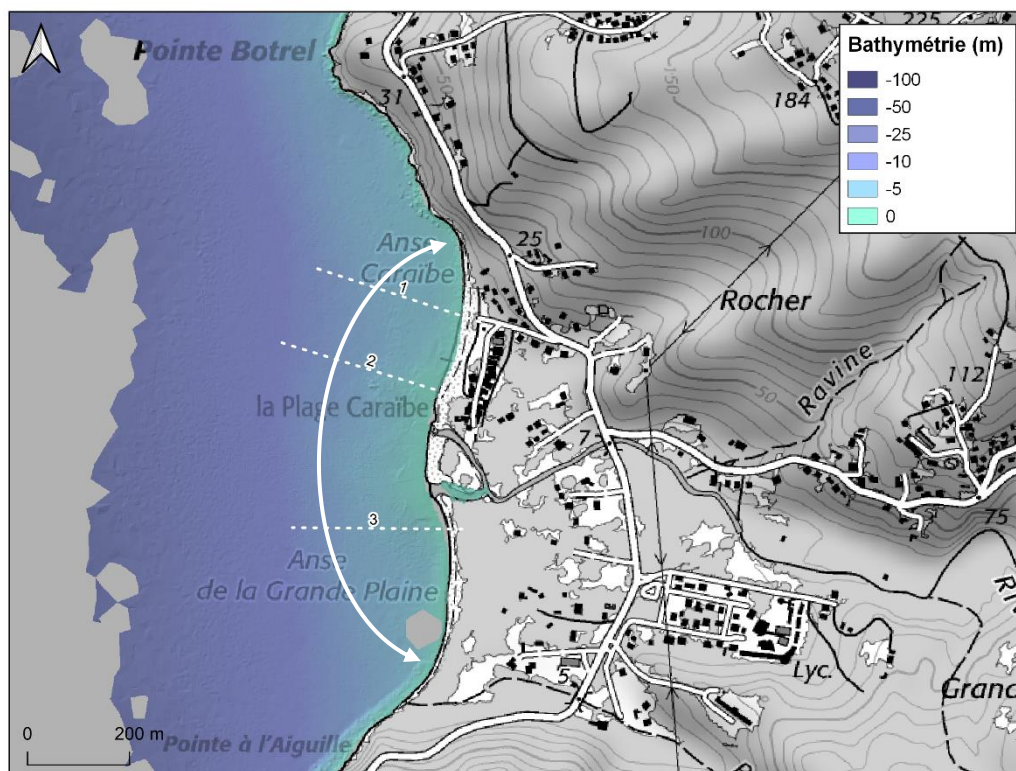


Illustration 54 - Localisation des profils topographiques de référence (traits pointillés) et emprise du secteur étudié (flèche blanche) sur site de l'Anse Caraïbe.

3.7.1. Évolution du trait de côte

Pour rappel sur la période historique allant de 1950 à 2013, l'évolution du trait de côte présente une tendance à la stabilité sur l'ensemble du site de l'Anse Caraïbe (Guillen *et al.*, 2017).

L'amplitude de variation de la position du trait de côte est comprise entre 2 et 5 m sur ce site depuis 2020 (Illustration 55). Les données de position de trait de côte collectées depuis 2020 dans le cadre de l'Observatoire mettent en évidence une tendance générale à l'érosion sur l'ensemble du site. Le taux de recul annuel moyen est compris entre 1 et 2 m/an. Cependant, il est nécessaire de poursuivre les observations afin de consolider cette tendance qui n'est peut-être pas représentative de la tendance pluriannuelle avec seulement 2 ans de données.

D'un point de vue des évolutions à l'échelle saisonnière quelques évolutions peuvent être mises en évidence (Illustration 56). D'une manière générale, le trait de côte se situe plus en retrait pendant la période hivernale et en avancée à la fin du carême. Ceci peut s'expliquer par l'influence du climat de houle, avec des houles hivernales de nord plus puissante et des périodes de temps calme au carême et au début de la saison cyclonique permettant une reconstitution du cordon de plage.

Par ailleurs, la morphologie de l'embouchure de la Rivière de Grande Plaine semble également suivre une évolution saisonnière (Illustration 56). En effet, après le carême, une fermeture partielle de l'estuaire est constatée avec le développement d'une flèche qui barre l'embouchure soit vers le nord (juillet 2020) ou vers le sud (juin 2021). À l'inverse, pendant la période hivernale (janvier), l'exutoire présente une largeur plus importante. Ces observations peuvent être mises en parallèle avec le régime hydrologique du cours d'eau et une capacité plus importante de la rivière en période hivernale associée à des précipitations plus importantes.

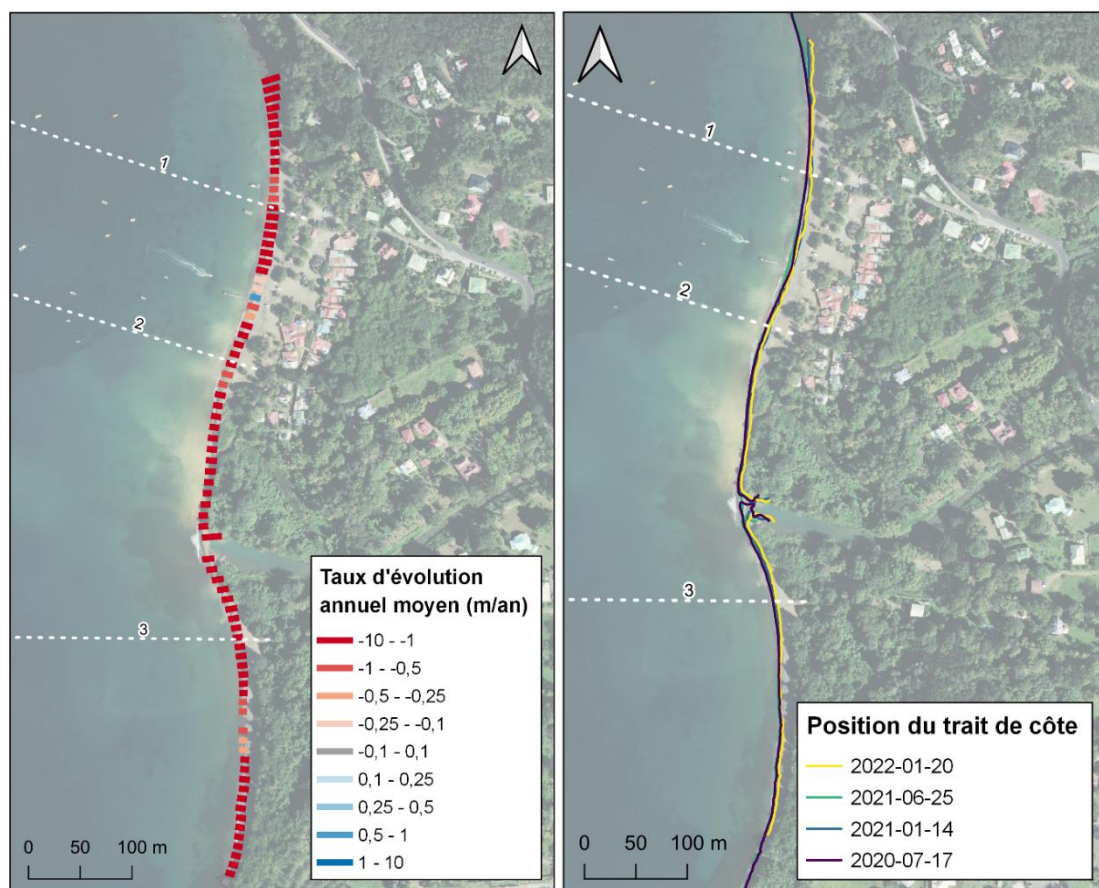


Illustration 55 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2020-2022 (à gauche) et position du trait de côte (à droite).

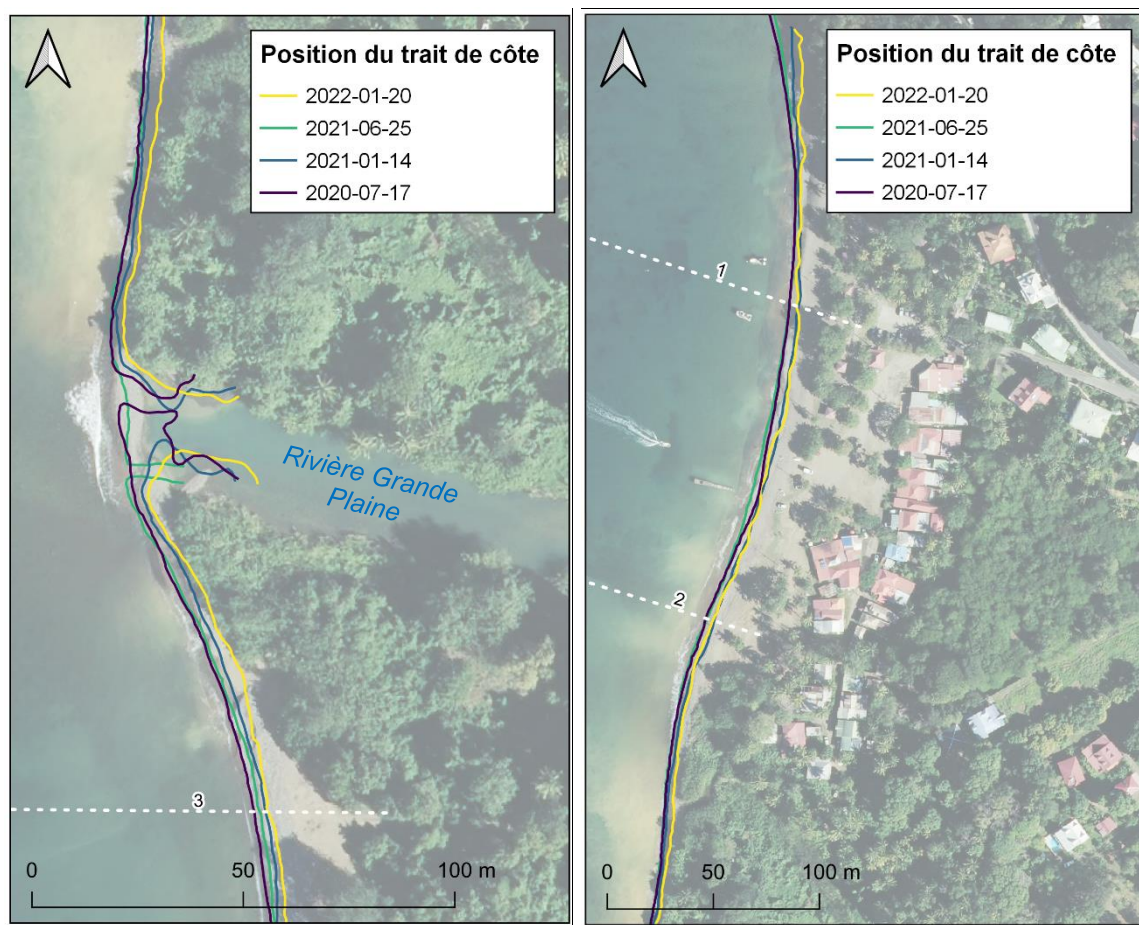


Illustration 56 – Position du trait de côte au niveau de l'embouchure de la Rivière Grande Plaine (à gauche) et dans le secteur nord de la plage d'Anse Caraïbe (à droite).

Concernant l'évolution de la limite de végétation, une tendance modérée à l'érosion est observée sur l'ensemble du site de l'Anse Caraïbe, avec un taux d'évolution annuel moyen d'environ 0,50 m/an (Illustration 57). Des variations locales sont cependant observées avec un taux d'érosion maximal de 0,80 m/an au niveau du profil 2 et un taux d'accrétion atteignant les 3,3 m/an au niveau de l'embouchure de la Rivière Grande Plaine, à environ 100 mètres au nord du profil 3.

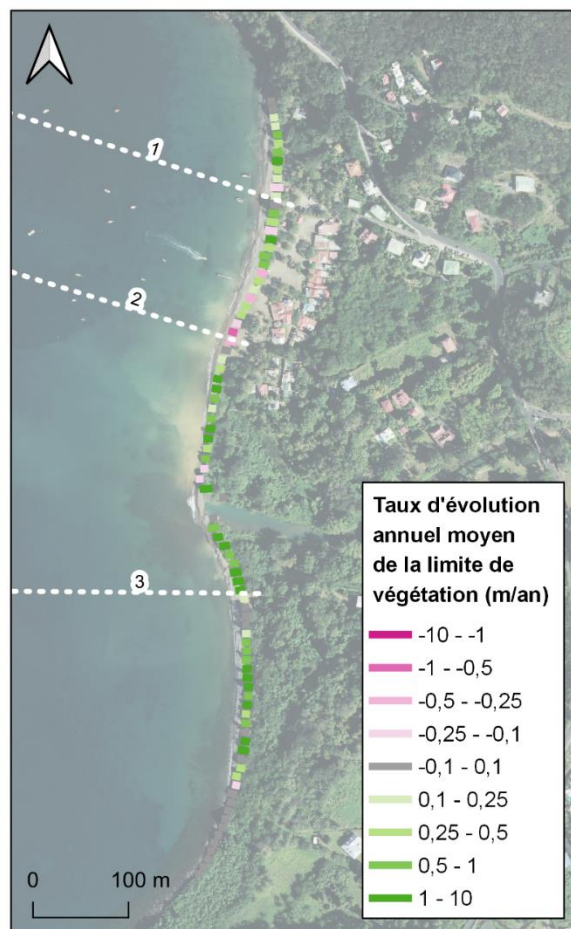


Illustration 57 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2020-2022

3.7.2. Évolution topo-bathymétrique le long des profils de référence

Les évolutions sédimentaires le long des profils topographiques sont homogènes pour les 3 profils de référence de l'Anse Caraïbe ainsi entre 2020 et 2022, la plage attestait d'une accrétion sur l'ensemble du secteur. Le profil 2 a avancé d'environ 3m entre 2020 et 2022 à la hauteur du niveau marin moyen et a connu une accrétion d'environ 40 cm (Illustration 58). Le haut de plage a connu un déplacement transversal avec un recul du haut de plage d'environ 2,5m entre janvier 2021 et janvier 2022 et une avancée du bas de plage d'environ 1,5m sur la même période (Illustration 58).

La bathymétrie de ce secteur reste relativement stable excepté pour le profil 3, pour lequel nous observons une accrétion d'environ 60cm du proche côtier.

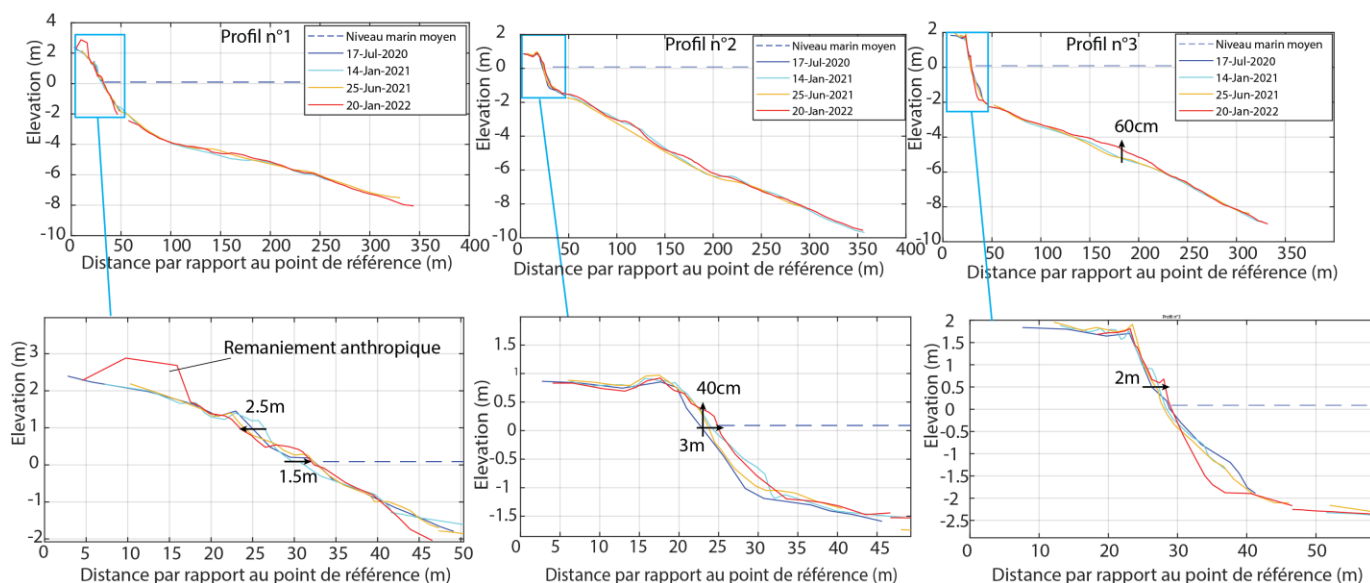


Illustration 58 - Évolution des profils topo-bathymétriques de référence le long de la plage de Anse Caraïbes sur la commune de Pointe Noire.

3.8. MALENDURE (BOUILLANTE)

La plage de Manlendre se situe sur la côte sous le vent de la Basse-Terre, sur la commune de Bouillante (Illustration 2). Petite plage de poche, elle est située entre deux caps rocheux dans une baie abritée et constituée de sable d'origine volcanique. Il s'agit d'un des sites touristiques les plus fréquenté de la Guadeloupe pour ses activités balnéaires.

La site est orienté à l'ouest et donc peu exposé à la houle bien que ponctuellement exposé aux houles hivernales de secteur nord (décembre à mars) ou aux houles cycloniques lors du passage des tempêtes et des ouragans en mer des Caraïbes (juin à novembre).

L'emprise étudiée s'étend sur l'ensemble du cordon soit un linéaire d'environ 300 m. Ce site fait l'objet d'un suivi du trait de côte haute fréquence par caméra vidéo depuis décembre 2020 (Illustration 11 et Illustration 54).

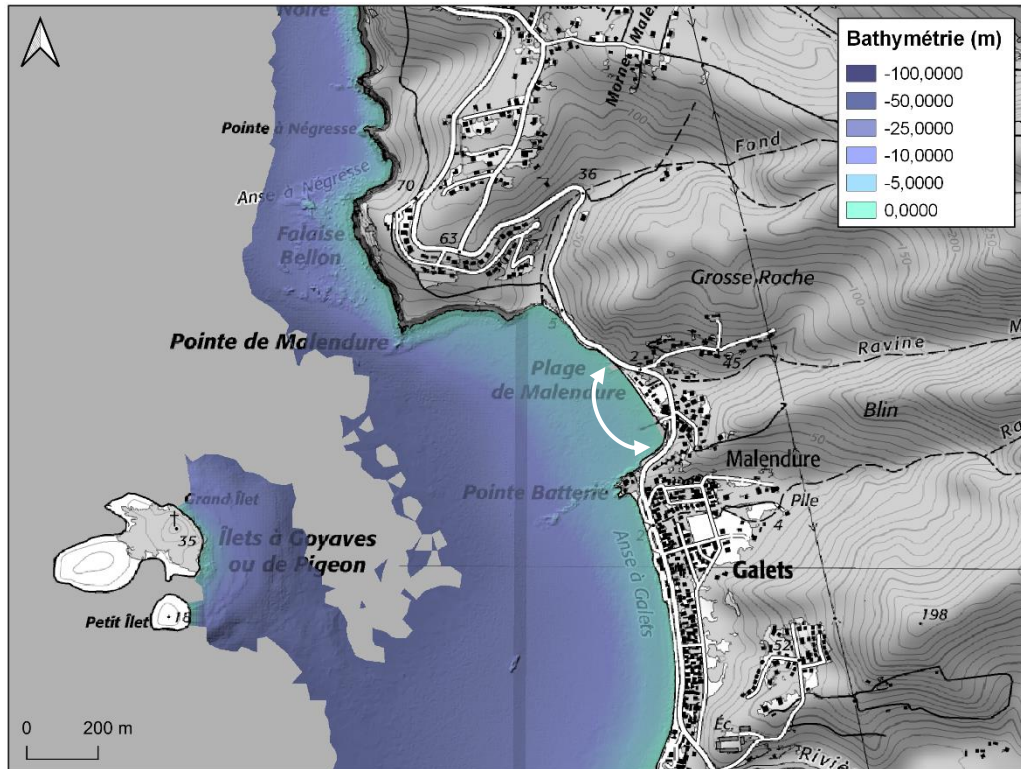


Illustration 59 - Localisation et emprise du secteur étudié (flèche blanche) sur le site de Malendure

Evolution du trait de côte

Sur ce site l'évolution du trait de côte a été analysée à haute fréquence exclusivement à partir du système de suivi vidéo. Les analyses présentées ici ont été réalisées sur une période d'une année qui s'étend de décembre 2020 au 31 janvier 2022 (Illustration 60).

Les amplitudes de variation du trait de côte sont comprises entre 5 et 10 m sur l'ensemble de la période d'observation. La taux d'évolution annuel moyen indique une tendance à l'accrétion d'environ 1,6 m/an. Aucune variabilité saisonnière n'est mise en évidence. Cette tendance est cependant à confirmer ou infirmer avec une série de données plus longue puisque la période de mesure (1 an et 1 mois) est trop courte pour permettre tirer des conclusions sur la tendance de la dynamique du site.

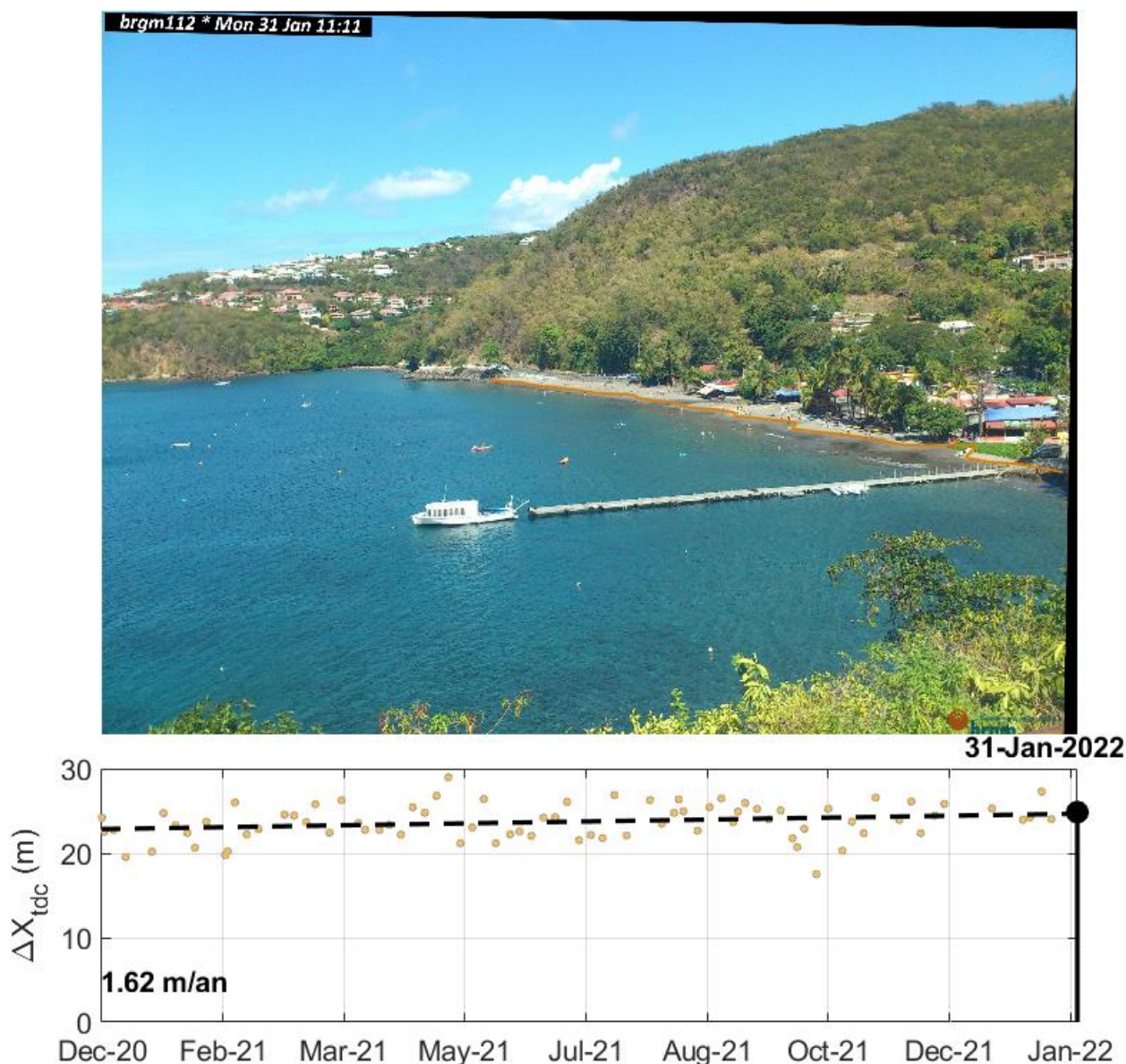


Illustration 60 - Évolution haute fréquence de la position du trait de côte sur le site de la plage de Malendure. Le distance sur l'axe des abscisses est exprimée en moyenne par rapport à une ligne de base qui se situe à l'arrière de la plage comme point de référence. Elle traduit l'évolution de la largeur de la plage dans le temps.

3.9. LA PERLE (DESHAIES)

La plage de la Perle se situe sur le nord de la Basse-Terre, sur la commune de Deshaies (Illustration 2). Il s'agit d'une plage de poche située entre la Pointe de la Perle au nord-est et la Pointe de Rifflet au sud-ouest (Illustration 61). La partie nord-ouest du site est très fréquentée avec la présence de quelques restaurants de plage et d'un parking, tandis que la moitié sud-ouest est moins fréquentée avec tout de même la présence d'un aménagement en haut de plage le long du Boulevard Vwé Moun .

La site est orienté au nord-ouest et exposé à la houle de secteur nord pendant la période hivernale (décembre à mars). Il peut-être ponctuellement exposé aux houles cycloniques lors du passage des tempêtes et des ouragans dans la mer des Caraïbes (juin à novembre).

L'emprise étudiée s'étend sur l'ensemble du cordon sur un linéaire d'environ 1 000 m. Ce site est suivi depuis 2016 avec un levé du trait de côte ainsi que de la limite de végétation et trois profils topo-bathymétriques réalisés deux fois par an (Illustration 62). Un levé photogrammétrique par drone est également réalisé une fois par an depuis 2020.



Illustration 61 - Vue aérienne du site de la plage de la Perle (janvier 2022)

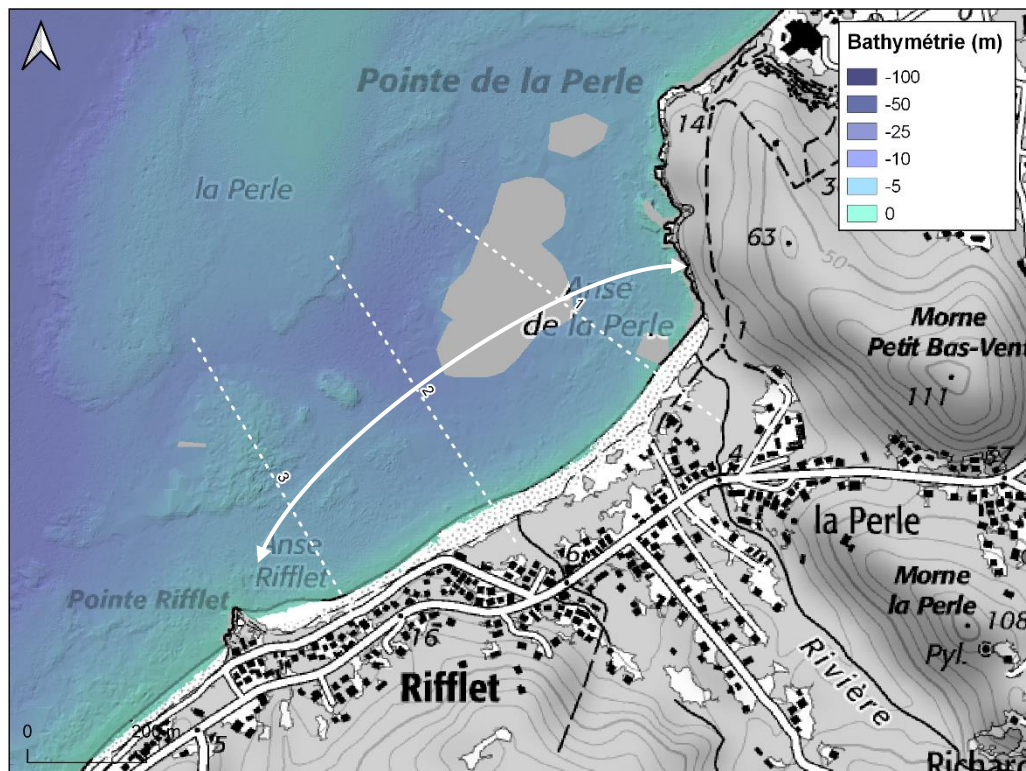


Illustration 62 - Localisation des profils topographiques de référence et emprise du secteur étudié sur le site de la Perle.

3.9.1. Évolution du trait de côte

Pour rappel, sur la période historique allant de 1950 à 2013, la plage de la Perle présente une tendance à l'érosion d'environ 0,5 m/an sur la moitié nord-est du site alors que la partie située au sud-ouest est stable (Guillen *et al.*, 2017).

Les données de position de trait de côte, collectées depuis 2016 dans le cadre du réseau de suivi, mettent en évidence une forte dynamique de l'évolution de cette plage avec des variations d'amplitude comprise entre 15 et 30 m.

D'après les taux d'évolution annuels moyens, calculés à l'échelle pluriannuelle à partir de l'ensemble des données acquises à une fréquence saisonnière depuis 2016, trois principaux secteurs peuvent être distingués d'un point de vue des tendances d'évolution :

- Le tiers nord-est qui présente une nette tendance à l'érosion compris entre 1 et 2 m/an ;
- Le tiers centrale présentant une certaine stabilité dynamique avec une variabilité dans les tendances d'évolution à l'érosion ou l'accrétion mais dans une gamme de valeur inférieure à 0,5 m/an ;
- Le tiers sud-ouest présentant une tendance nette à l'accrétion avec un taux d'évolution annuel moyen compris entre 1 à 2 m/an.

Pour ce site très dynamique, il est cependant préférable de rester vigilant sur la signification des taux d'évolution. En effet, des évolutions saisonnières rapide sont également observées avec un déplacement du stock sédimentaire d'une extrémité à l'autre du site selon la variabilité du climat de la houle. Par ailleurs, la fréquence d'acquisition ne permet pas de caractériser la cyclicité de ces évolutions avec précisions. L'utilisation de données satellite haute résolution et haute fréquence ou bien la mise en place d'un suivi vidéo permettraient de mieux comprendre la cyclicité et les facteurs à l'origine du balancement du stock sédimentaire à l'échelle de l'ensemble du site.

D'un point de vue saisonnier, il est toutefois possible de présenter quelques observations. Sur l'ensemble du site, le trait de côte se situe généralement en retrait en période hivernale (aux alentours du mois janvier). A l'inverse, à la fin du carême entre juin et juillet, sa position est plus avancée. Ces observations peuvent être mises en parallèle avec le climat de houle saisonnier auquel le site est exposé. En effet, les houles sont plus puissantes pendant la période hivernale, générant un recul de la plage, et le retour du sable observé pendant le carême serait le conséquence de conditions plus calmes caractérisant le début de la saison cyclonique (juin à aout).

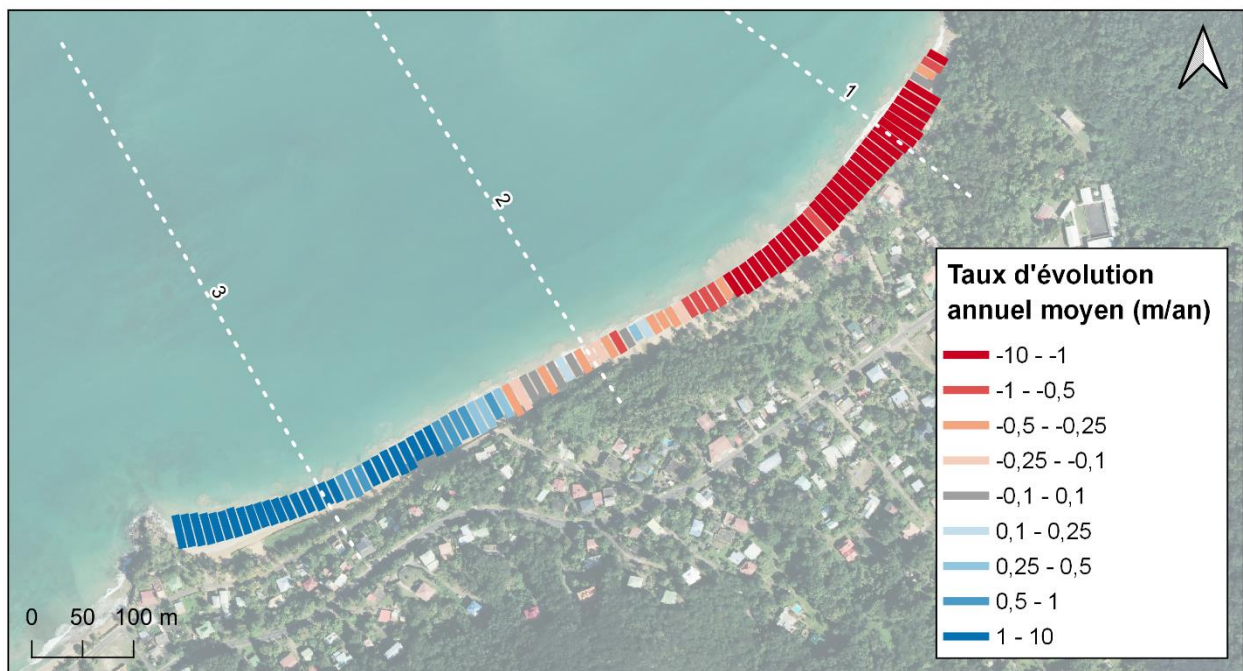


Illustration 63 - Taux d'évolution annuel moyen sur la période d'observation 2016-2022

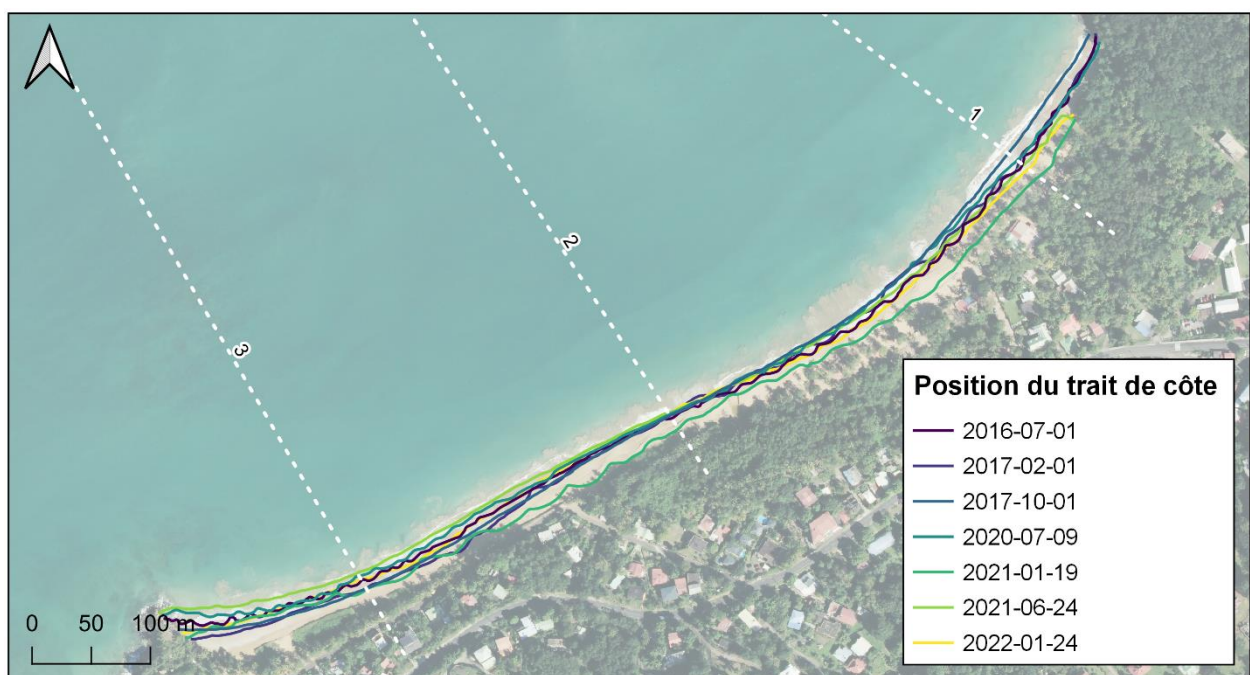


Illustration 64 - Position du trait de côte sur le site e la plage de la Perle

La donnée « limite de végétation » de 2016 n'ayant pas été acquise selon la même méthode que les autres années, celle-ci n'est pas considérée dans l'étude de l'évolution pour la plage de la Perle. En ce qui concerne les données de position de cet indicateur de trait de côte collectées depuis 2017, une relative stabilité sur l'ensemble de la plage de la Perle est mise en évidence, avec un taux d'évolution annuel moyen d'environ 0,02 m/an (Illustration 65). On observe cependant des variations locales avec un taux d'érosion atteignant 3 m/an à 45 m au nord du profil 1 et un taux d'accrétion atteignant les 2 m/an à 70 m au sud du profil 3.

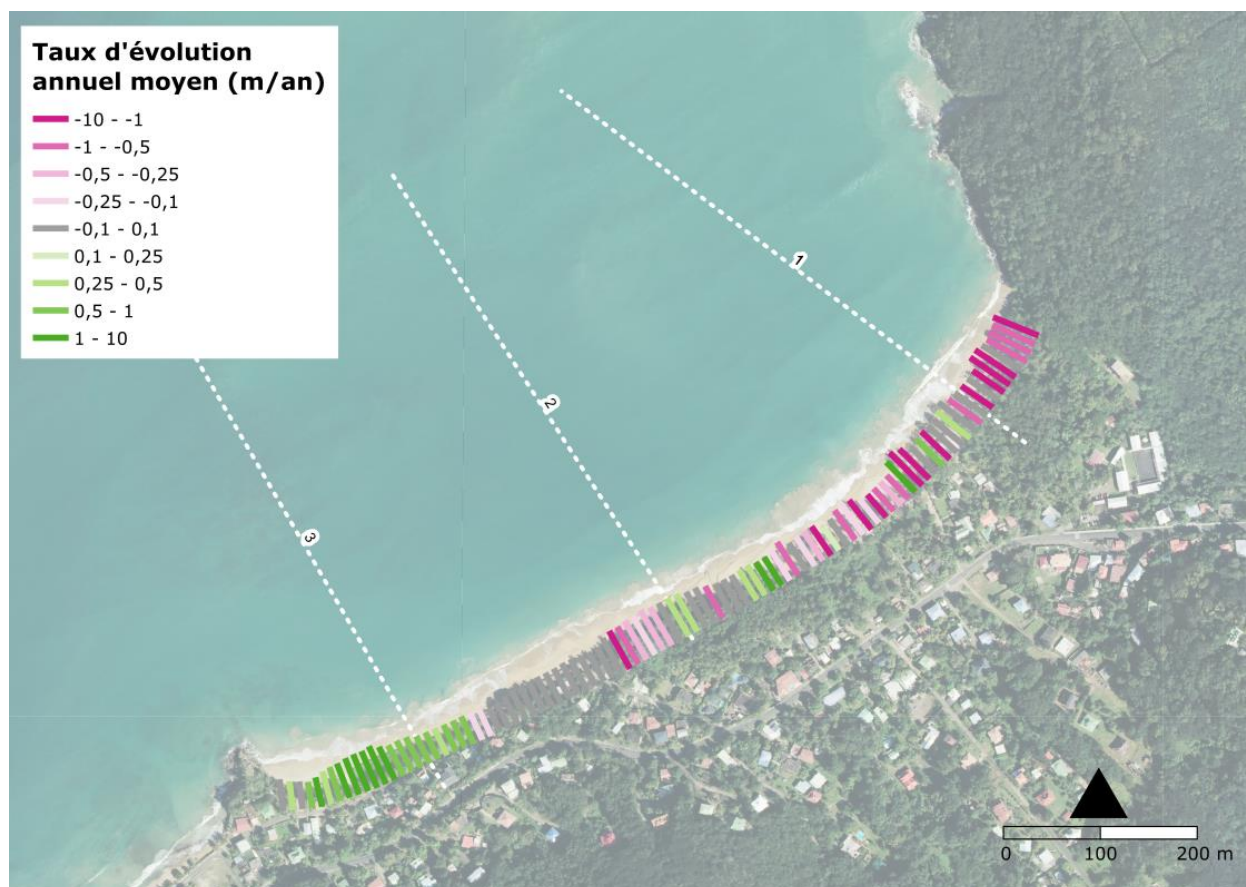


Illustration 65 - Taux d'évolution annuel moyen de la limite de végétation sur la période 2017-2020.

3.9.2. Évolution topo-bathymétrique le long des profils de référence

Les profils de la plage de la Perle enregistrent d'importantes variations entre 2020 et 2022. Ainsi à hauteur du niveau marin moyen (Illustration 66) :

- Le profil P1 a reculé d'environ 10 m entre juillet 2020 et janvier 2022 avec un abaissement de 90 cm sur la même période ;
- Le profil P2 a reculé entre juillet 2020 et février 2021 puis a avancé d'environ 5 m entre février 2021 et janvier 2022 ;
- Le profil P3 a avancé entre juillet 2020 et juin 2021 puis a reculé d'environ 7 m entre juin 2021 et janvier 2022 associé avec un abaissement d'environ 1m sur la même période. Inversement, le haut de plage est en accrétion sur la même période. A l'altitude de 0.90m le haut de plage a avancé d'environ 9m pour un apport en sable d'environ 50cm sur la même période.

L'évolution bathymétrique sur l'ensemble des trois profils semblent homogène avec un départ en sable compris entre 60 cm et 1 m entre février 2021 et janvier 2022.

L'analyse des profils indique une évolution très dynamique de la plage de la Perle avec une hétérogénéité entre le haut de plage et le bas de plage. Compte tenu de l'orientation de la plage de la Perle, la dynamique sédimentaire est dépendante de l'orientation des houles incidentes liées à la saisonnalité.

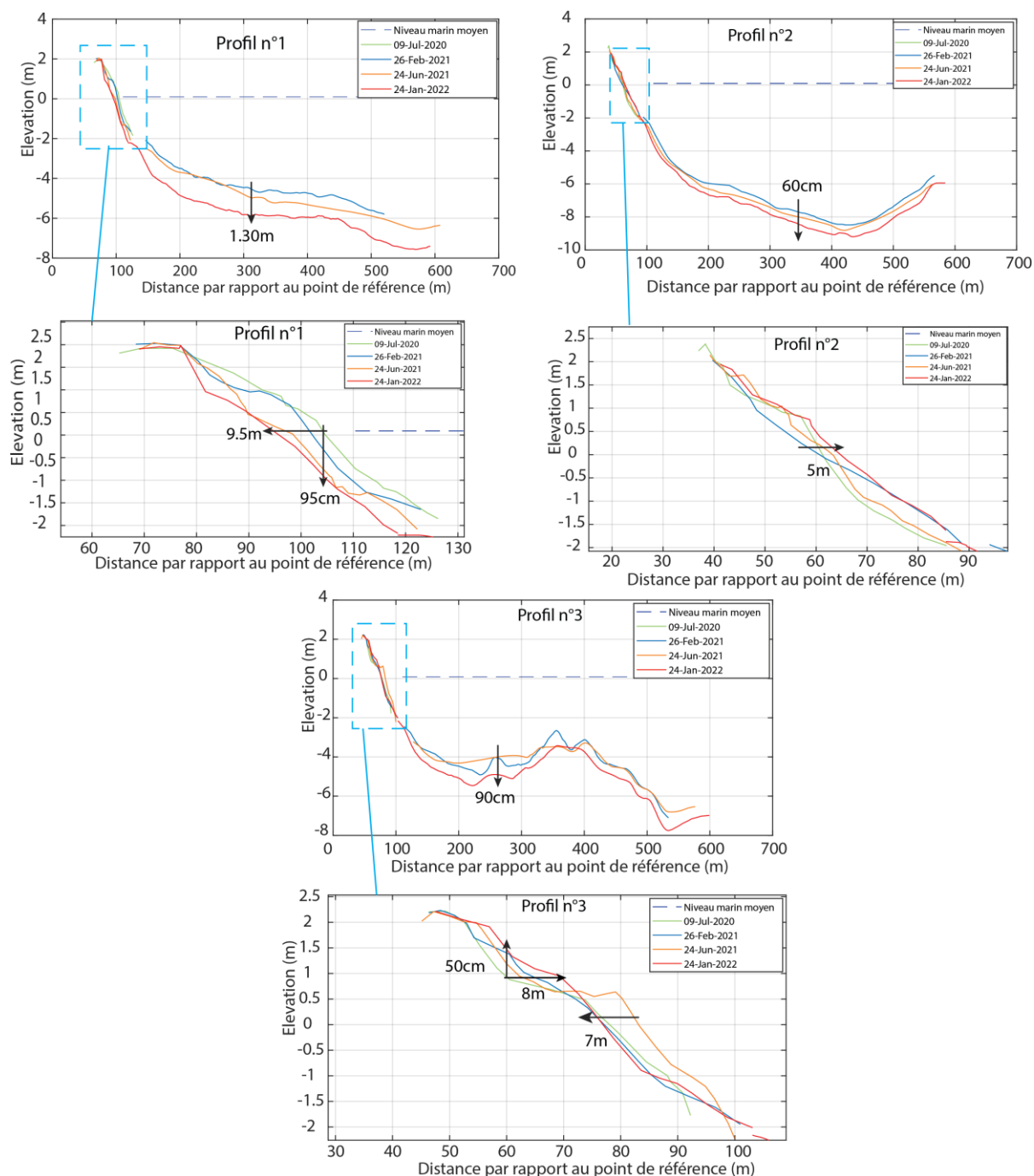


Illustration 66 - Évolution topo-bathymétrique le long des profils de référence sur la plage de la Perle entre 2020 et 2022.

3.9.3. Bilan sédimentaire

Le différentiel entre les MNTs de janvier 2021 et janvier 2022 permet de quantifier les départs en sable entre ces deux années. Sur le différentiel, nous retrouvons une hétérogénéité d'érosion entre le haut et le bas de plage dans la partie sud du site (profil 3 de l'illustration 67).

De manière générale, le sud-est de la plage sur la période observée est plus en érosion que le centre de la plage. Au centre, une berme en forme de croissant de plage traduit l'arrivée du sable

sur ce secteur. Au nord, la végétation est plus dense rendant difficile le calcul du bilan sédimentaire. Néanmoins des phénomènes d'érosion sont observés à proximité du profil 1.

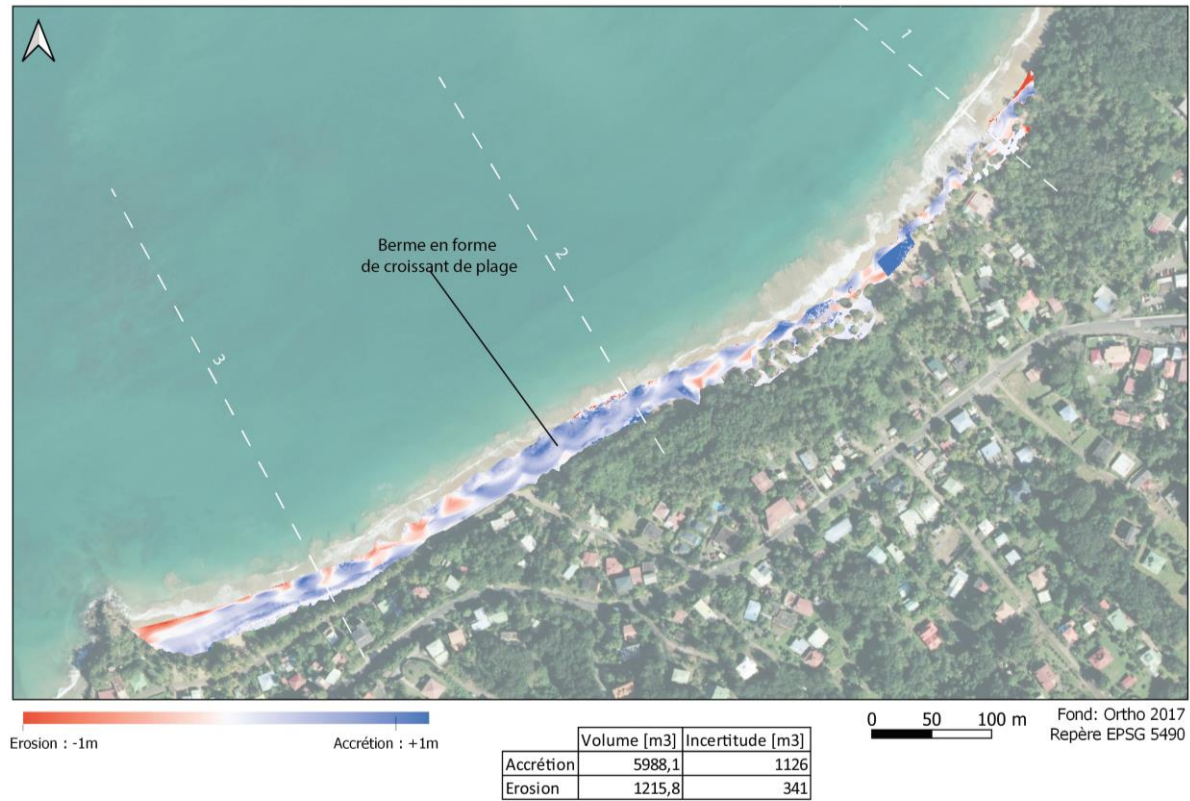


Illustration 67 - Différentiel altimétrique et calcul du volume de sable déplacé sur la plage de la Perle sur la commune de Deshaies entre janvier 2021 et janvier 2022.

4. Bilan des évolutions sur la période d'observation

Les sites peuvent être catégorisés grâce aux résultats des observations de l'évolution de la position du trait de côte sur la période récente selon :

- Les amplitudes :
 - Site peu dynamique (entre 2 et 5m) : Souffleur, Sainte-Claire, Anse Caraïbe, Simaho.
 - Site moyennement dynamique (entre 5 et 10m) : Autre Bord, Raisins Clairs, Sainte-Anne.
 - Site très dynamique (> 10m) : La Perle.
- Les taux d'évolution :
 - Site en érosion légère (-0,20 à -0,50 m/an) : Autre Bord.
 - Site en érosion modéré (-0,50 à -1 m/an) : Souffleur, Raisins Clairs, Sainte-Anne.
 - Site en érosion importante (< -1 m/an) : Sainte-Claire, Simaho secteur embouchure Grande Rivière, Anse Caraïbe.
 - Site avec évolution contrastée (érosion et accrétion) : La Perle.
 - Site stable ou en légère accrétion : Simaho.

Le tableau suivant présente une synthèse des principales évolutions observées sur les sites étudiés par l'Observatoire. Pour les sites suivis uniquement depuis 2020, il convient de poursuivre l'acquisition de données afin de consolider les tendances d'évolution pluriannuelles.

Tableau 4 - Tableau de synthèse des évolutions du trait de côte sur les sites étudié par l'Observatoire

Site	Tendance pluri-décennale 1950-2013	Amplitude de variations pluriannuelles	Tendance pluriannuelle	Variations saisonnières
Souffleur	-0,30 m/an au nord -0,14 au sud	3 à 5 m	-0,5 à -1 m/an au nord (- 2 à -3 m/an localement) Variable au sud $\pm$ 0,5 à 1 m/an	Oui
Autre Bord	-0,20 à -0,40 m/an	5 à 8 m	-0,25 à -0,50 m/an (contrasté localement)	Oui
Raisins Clairs	-0,30 à -0,40 m/an	6 à 8 m	-0,80 m/an en moyenne (-2 à -3 m/an localement)	Oui
Sainte-Anne	-0,2 à -0,50 m/an	5 à 10 m (20 m localement)	0,50 m/an en moyenne (contrasté localement)	Oui
Sainte-Claire	-0,20 m/an	3 à 5 m	-1 à -2 m/an	Oui au nord du site
Vieux Habitants	Embouchure +0,25 et 0,5 m/an Simaho stable	5 à 10 m	Embouchure -2 à -5 m/an avec localement accrétion au droit des embouchures Simaho stable avec accrétion +1m/an localement	Non
Anse Caraïbe	Stable	2 à 5 m	-1 à -2 m/an	Oui

La Perle	Nord-Est -0,5 m/an Sud-Ouest Stable	15 à 30 m	Nord-Est -1 à -2 m/an Centre stable Sud-Ouest +1 à +2m/an	Oui
----------	--	-----------	---	-----

Sur la plupart des sites étudiés, une variabilité saisonnière de la position du trait de côte est mise en évidence. D'une manière générale, la position du trait de côte pendant la période hivernale (janvier et février) se situe en recul par rapport à la position observée à la fin du carême (juin et juillet). Ces évolutions saisonnières sont à mettre en relation avec la saisonnalité du climat de houle mais également avec la saisonnalité des variations du niveau de la mer.

En effet, les observations de l'évolution du trait de côte à haute fréquence par caméra vidéo ont également permis de mettre en évidence cette saisonnalité notamment sur les plages récifales (Moisan *et al.*, 2021 et Laigre *et al.*, in prep). L'agitation dans les secteurs protégés par un récif serait ainsi fortement contrôlée par les anomalies saisonnières du niveau d'eau à l'échelle des Petites Antilles.

L'analyse des profils topographiques confirme les observations sur la position du trait de côte. La dynamique du proche côtier est étroitement liée à la dynamique de la plage. Le suivi des profils bathymétriques montre une fluctuation saisonnière des apports en sable sur l'avant-côte.

5. Autres actions de valorisation de l'observatoires

5.1. EXPERTISES PONCTUELLES

Le tableau suivant détail les expertises réalisées par le BRGM. Ces expertises ont été effectuées dans le cadre de l'appui aux administrations ainsi que dans le cadre de l'OLIG.

Tableau 5 - Tableau de synthèse des expertises du BRGM réalisées dans le cadre de l'observatoire.

Date	Demandeur	Sujet	Type d'intervention	Livrable
07/09/2020	DEAL	Stratégie de gestion du DPM	Relecture et avis	Ajout et corrections dans le document
01/10/2020	DEAL	Rechargement sédimentaire de la plage de l'Anse-Maurice	Visite sur site, synthèse de données, diagnostic morphologique	Rapport d'expertise, avis technique, recommandations
01/10/2020	DEAL	Plan de gestion des risques d'inondation	Relecture et avis	Ajout et corrections dans le document
22/02/2021	Région	Séminaire prévention des inondation et gestion intégrée du littoral	Formation et sensibilisation	Préparation et présentation
10/03/2021	DEAL	Synthèse sur l'analyse de la vulnérabilité des commune de Guadeloupe a l'aléa recul du trait de cote	Regroupement et synthèse de données	Rédaction d'une note de synthèse
14/06/2021	DEAL	Avis technique sur le projet de travaux de protection contre la mer et la remise en état d'un épis sur la commune de Gosier	Visite sur site, diagnostic hydro-morphologique	Rapport d'expertise, avis technique, recommandations
16/09/2021	Conservatoire du littoral	Erosion littorale de la route de l'Anse Rodrigue sur la commune de Terre-de-Haut	Visite sur site, diagnostic morphologique	Rapport d'expertise, avis technique, recommandations
01/12/2021	DEAL	Diagnostic de la servitude de passage sur le littoral de la commune du Gosier	Visite sur site, diagnostic morphologique	Rapport d'expertise, avis technique, recommandations
22/02/2022	ONF	Diagnostic de la dynamique du trait de côte et avis sur le projet de restauration du littoral des marais de Port-Louis	Visite sur site, synthèse de données, diagnostic morphologique	Rapport d'expertise, avis technique, recommandations

5.2. LE SITE INTERNET DE L'OBSERVATOIRE

Une des actions de communication phare de l'observatoire est la création du site internet: <https://www.observatoire-littoral-guadeloupe.fr> Il représentera dans le futur le principal outil de diffusion de la donnée et de communication de l'Observatoire. Il a été développé sous l'environnement DRUPAL par l'équipe du BRGM et mis en ligne au mois de novembre 2022.

Il regroupe plusieurs sections concernant la présentation de l'Observatoire et ses partenaires, une présentation du littoral de la Guadeloupe, de sa dynamique et des risques associés et enfin un accès aux données à travers la carte interactive et une liste de publications (Illustration 68).

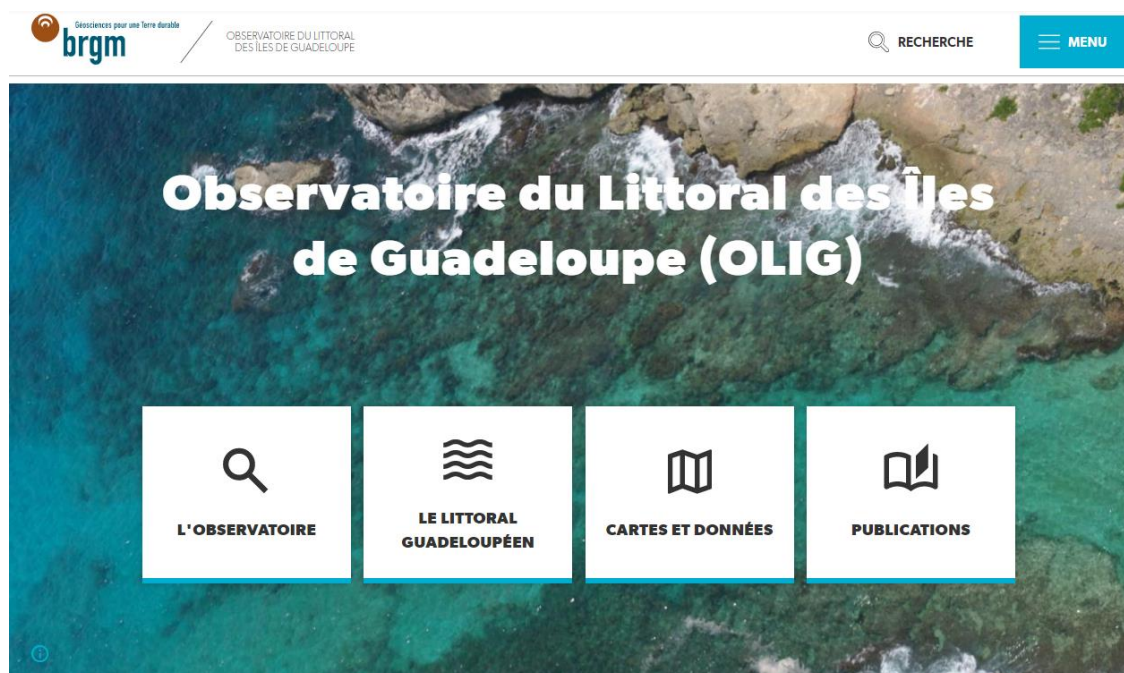


Illustration 68 - Illustration de la page d'accueil du site internet de l'Observatoire

Au fur et à mesure du développement de l'Observatoire, le site internet a vocation à s'enrichir afin d'informer et de sensibiliser les acteurs de la gestion du littoral en Guadeloupe. Les actualités concernant la gestion du trait de côte, l'exposition aux aléas et aux risques côtiers et les activités de l'Observatoire pourront être présentées. À travers cet outil de communication et de diffusion des données, il s'agira également de développer l'accompagnement des collectivités sur les questions de gestion des risques côtiers et de l'adaptation au changement climatique en Guadeloupe.

5.3. CARTOGRAPHIE INTERACTIVE

Parmi les différentes fonctionnalités proposées, une cartographie interactive permet de visualiser les données sur l'évolution du littoral de la Guadeloupe et l'exposition aux risques côtiers www.observatoire-littoral-guadeloupe.fr/fr/cartes-donnees/cartographie-interactive (Illustration 69). Les données associées sont la propriété des partenaires financeurs et des partenaires producteurs.



Illustration 69 - Portail de cartographie en ligne de l'Observatoire du littoral des îles de Guadeloupe et exemple de visualisation des données sur le site de la Plage du Bourg de Sainte-Anne.

A l'heure actuelle les données disponibles sont les suivantes :

- Données administratives de références issues de la BD TOPO® de l'IGN : Bati, Parcelle, limites communales
- Fond de carte BD Ortho IGN 2017
- Morphologie du littoral (Moisan *et al.*, 2019)
- Surface en érosion et en accrétion sur la période 1950-2013 (Guillen *et al.*, 2017)
- Nom et localisation des sites étudiés dans le cadre de l'Observatoire (BRGM)
- Position du trait de côte sur les sites étudiés par l'Observatoire (BRGM)
- Position des profils de référence sur les sites étudiés par l'Observatoire (BRGM)
- Projection de l'aléa recul du trait de côte à échéance 100 ans (Moisan et Guillen, 2019)
- Cartographie de l'aléa cyclonique du PPRN de la Guadeloupe (DEAL)

Cette cartographie interactive sera complétée et mise à jour au fur et à mesure des nouvelles acquisitions de données dans le cadre de l'Observatoire et du développement des nouvelles connaissances sur le territoire afin de diffuser le plus largement possible les données disponibles sur la dynamique du trait de côte et l'exposition aux aléas côtiers.

Des fonctionnalités de téléchargement de la données et d'accès à des flux WMS/WFS seront également proposées à l'avenir pour les utilisateurs.

5.4. GUIDE DE BONNES PRATIQUES

Un guide d'information et de sensibilisation sur la gestion du littoral en contexte Caraïbéen a également été rédigé dans un effort commun entre l'observatoire des îles de Guadeloupe et le projet INTEREG CARIBCOAST. Ce guide regroupe des stratégies de suivi de l'évolution et de gestion des littoraux adaptées au contexte caraïbéen. Il intègre notamment des solutions fondées sur les écosystèmes côtiers caractéristiques de la Caraïbe (herbiers marins, récifs coralliens,

mangroves, végétation de haut de plage). Plusieurs sites Guadeloupéens tels que l'Anse-Maurice ou Cluny sont utilisés comme exemple.

Le guide est disponible en ligne sur le site de l'observatoire.

5.5. RATTACHEMENT AU RESEAU NATIONAL

L'observatoire a demandé d'être rattaché au Réseau National des Observatoires du Trait de Côte RNOTC (<https://observatoires-littoral.developpement-durable.gouv.fr/>). Ce réseau regroupe la plupart des initiatives de suivi de la bande côtière à l'échelle nationale. Bien que l'acquisition des données soit réalisée localement par chaque observatoire, ce réseau vise à améliorer la diffusion de la connaissance acquise mais aussi de disposer d'une vision plus globale des phénomènes qui interviennent sur le littoral. Il participe à la Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte (SNGITC) et à l'adaptation des territoires littoraux aux changements globaux.

6. Conclusion

Le littoral guadeloupéen se compose de différentes côtes sableuses, rocheuses, à mangroves ou encore anthropiques, orientées dans toutes les directions et donc exposées à des climats de houles très variés. Compte tenu de cette importante diversité, pour analyser et comprendre le fonctionnement de ces typologies, il est nécessaire d'observer les évolutions à l'échelle des cellules hydrosédimentaires, de façon régulière dans le temps.

Mise en place du réseau de suivi

Ce projet a eu pour but de poursuivre les suivis morphologiques à travers différents indicateurs sur 8 sites de la Guadeloupe : le Souffleur, l'Autre bord, Raisin Clair, la plage du Bourg sur Sainte Anne, Sainte Claire, Simaho, Anse Caraïbes, et La Perle.

Les protocoles mis en place permettent de caractériser aussi bien la topographie des plages avec des levés réalisés à l'aide d'un DGPS le long de profil de référence, que la bathymétrie allant à quelques dizaines de mètres de profondeur. Pour observer une éventuelle influence saisonnière sur le milieu les levés ont été réalisés deux fois par an : au début et à la fin de la saison cyclonique.

En parallèle, sur les sites les plus dynamiques, des modèles numériques de terrain ont été réalisés à partir de levés drone. Ces acquisitions, menées sur trois sites (Raisins Clairs, plage du bourg de Sainte-Anne et la Perle), visent à caractériser les évolutions sédimentaires à l'échelle surfacique de la plage sableuse et à évaluer les volumes de sable déplacés.

Les côtes rocheuses évoluant différemment des côtes sableuses, le développement d'un protocole spécifique aux falaises meubles de Basse Terre a été initié, à travers la prise de vue de photographies obliques aéroportées.

Enfin, pour les secteurs les plus mobiles, un suivi haute fréquence a pu être déployé. C'est le cas de la plage de Malendure sur la commune de Bouillante, où un dispositif photographique a été implanté.

Synthèse des observations

De manière générale, les observations réalisées mettent en évidence une importante hétérogénéité des évolutions entre les secteurs suivis sur les dernières années. Si les évolutions à long terme du trait de côte sont en recul chronique sur les plages sableuses, à court terme les évolutions annuelles et saisonnières sont plus variables en fonction de la nature et de la géographie du site étudié. Ainsi entre 2020 et 2022, la plage de la Perle sur la commune de Deshaies présente une forte dynamique saisonnière se traduisant par une alternance entre phases d'érosion et d'accrétion au nord et au sud du secteur (variabilité annuelle de la position du trait de côte compris entre 15 et 30m). A l'inverse le secteur de Simaho sur la commune de Vieux habitants, reste stable et ne semble pas impacté par les climats de vagues saisonniers.

La morphologie des plages des autres secteurs fluctue en fonction des saisons et connaît une variabilité spatiale pluri-annuelle de la position du trait de côte comprise en moyenne entre 4 et 8m.

Le proche côtier est en interaction directe avec la plage et le haut de plage. Le suivi bathymétrique a permis de confirmer les évolutions observées à terre. En fonction de la pression anthropique qui s'exerce sur la plage (fixation du trait de côte, rechargement...), cela peut avoir des conséquences directes sur le proche côtier comme un départ préférentiel du sable au droit des

ouvrages (plage du bourg de Sainte Anne) ou encore un affaissement du proche côtier sur les secteurs enregistrant un recul de la position du trait de côte.

Valorisation et communication

L'ensemble de ces résultats visent à améliorer la connaissance sur le fonctionnement du littoral de Guadeloupe. Ces données sont dirigées vers les différents acteurs scientifiques, techniques et gestionnaires du littoral. Afin de partager au plus grand nombre la connaissance scientifique, le BRGM a mis en place un site internet courant 2022 qui vise à sensibiliser le grand public sur la dynamique du littoral guadeloupéen, bancariser la donnée relative aux évolutions du littoral, et la partager à travers différents outils (carte interactive, rapports) : <https://www.observatoire-littoral-guadeloupe.fr>. D'autre part, le guide de gestion apporte des éléments pertinents avec une applicabilité caribéenne à destination des gestionnaires et du grand public.

Le travail réalisé dans ce réseau de suivi montre l'importance de pérenniser les acquisitions de données sur le terrain pour appuyer les acteurs du littoral et anticiper au mieux l'évolution du littoral de demain. Ce réseau a évolué en observatoire du littoral des îles de Guadeloupe en 2022 (OLIG), rattaché au Réseau National des Observatoire du Trait de Côte (RNOTC). Outil fédérateur, cet observatoire aura comme objectif de rassembler l'ensemble des acteurs du littoral, afin d'appuyer les services de l'état, les communes et les collectivités dans la gestion du littoral de Guadeloupe, notamment dans la mise en application de la loi dite « Climat et Résilience ». D'autres sites d'études localisés notamment sur les dépendances pourront être rattachés à l'observatoire.

7. Bibliographie

Byrnes, M.R., Baker, J.L., Li, F., (2002). Quantifying Potential Measurement Errors and Uncertainties Associated with Bathymetric Change Analysis. US Army Corps of Engineers, 17 p..

Guillen L., Pallardy M., Legendre Y., De La Torre Y., Loireau C. (2017) – Morphodynamique du littoral Guadeloupéen. Phase 1 : Définition et mise en place d'un réseau d'observation et de suivi du trait de côte. Evaluation historique du trait de côte Guadeloupéen. Rapport final. BRGM/RP-66653-FR, 109p, 49 ill. 21 ann.

Guillen L., Moisan M., Pallardy M., Legendre Y., Loireau C. (2018) – Morphodynamique du littoral guadeloupéen. Phase 1 : Définition et mise en place d'un réseau d'observation et de suivi du trait de côte. Rapport final. BRGM/RP-67962-FR, 128p., 117 fig.

Laigre T.; Balouin, Y.; Nicolae-Lerma, A.; Moisan, M.; Vlentini, N.; Villaroel-Lamb, D.; Torre, Y. (2023) Seasonal and episodic runup variability on a Caribbean reef-lined beach. Accepted to Journal of Geophysical Research: Oceans.

Moisan M et Guillen L. (2019) – Cartographie de l'aléa recul du trait de côte pour la révision du PPR de la Guadeloupe. Rapport final. BRGM/RP-69282-FR, 41 p., 31 ill.

Moisan M., Delahaye T., Laigre T., Valentini N. (2021) – Suivi des échouages de sargasse et de l'évolution du trait de côte par caméra autonome en Guadeloupe : analyse des résultats et bilan des observations. Rapport final. BRGM/RP-71295-FR, 67 p., 63 ill.

Moisan M., Laigre T., Valentini N. et Grellier E., (2019) – Suivi des échouages de sargasse et de la dynamique du trait de côte par caméra autonome : Bilan de la phase d'installation. Rapport intermédiaire BRGM/RP-69416-FR, 45 p., 41 ill.

Štroner M, Urban R, Lidmila M, Kolář V, Křemen T. (2021) Vegetation Filtering of a Steep Rugged Terrain: The Performance of Standard Algorithms and a Newly Proposed Workflow on an Example of a Railway Ledge. Remote Sensing. ; 13(15):3050. <https://doi.org/10.3390/rs13153050>

Thieler E.R., Himmelstoss E.A, Zichichi J.L, Ergul, Ayhan (2009). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0. An ArcGis extension for calculating shoreline change : U.S. Geological Survey OpenFile Report 2008-1278.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale de Guadeloupe

Parc d'activités Colin - La Lézarde,

Petit-Bourg 97170,

Tél. : 05 90 41 35 48

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm