

Document public



# Evaluation de la pertinence de mettre en place des opérations de transferts sédimentaires le long du littoral de la Réunion

Analyse de stocks sédimentaires sur quatre sites représentatifs pour la mise en place de Plans de Gestion

Rapport final

BRGM/RP-70707-FR

Mars 2021



PRÉFET  
DE LA RÉGION  
RÉUNION

Liberté  
Égalité  
Fraternité



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



# Evaluation de la pertinence de mettre en place des opérations de transfert sédimentaire le long du littoral de la Réunion

Analyse de stocks sédimentaires sur quatre sites représentatifs pour la mise en place de Plans de Gestion

Rapport final

**BRGM/RP-70707-FR**  
Mars 2021

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM AP19SDN015

**Moutoussamy L. et Belon R.**

**Vérificateur :**

Nom : Eric Palvadeau  
Fonction : Ingénieur littoral  
Date : 12/03/2021

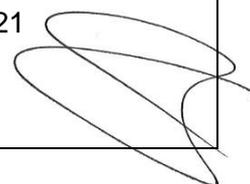
Signature :



**Approbateur :**

Nom : Kévin Samyn  
Fonction : Directeur régional – la Réunion  
Date : 22/03/2021

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.  
Contact : [qualite@brgm.fr](mailto:qualite@brgm.fr)

**Mots-clés** : La Réunion, Erosion, Gestion du littoral, Transit sédimentaire, Stock sédimentaire, Recul du trait de côte, Saint-Gilles-Les-Bains, Trois-Bassins, Saint-Benoît, Sainte-Marie

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

**Moutoussamy. L et Belon. R** (2021) – Evaluation de la pertinence de mettre en place des opérations de transferts sédimentaires le long du littoral de la Réunion. Rapport final. BRGM/RP-70707-FR, p.99, ill.78, tabl.9, ann.1

## Synthèse

Le BRGM conduit depuis 2004 en partenariat avec la DEAL et la Région Réunion un suivi morphodynamique des littoraux de La Réunion (programme OBSCOT). Ce programme, qui s'inscrit dans une volonté de gestion raisonnée des côtes, permet de mieux cerner les évolutions morphologiques du littoral réunionnais et notamment de mettre en avant des secteurs sur lesquels la dynamique sédimentaire est perturbée soit par des aménagements anthropiques soit par des obstacles naturels.

Parmi les mesures existantes pour une bonne gestion du littoral figurent les interventions visant à rétablir, faciliter, voire accélérer le transit sédimentaire le long du littoral. Sur le littoral, les sédiments s'accumulent de manière naturelle ou anthropique sur certains secteurs alors que d'autres ne sont plus approvisionnés. Sur ces derniers, la reconstruction naturelle ne se faisant plus, la vulnérabilité face à l'érosion côtière s'accroît.

Le projet objet de ce rapport, a ainsi permis d'identifier des zones d'accumulation de sédiments, difficilement mobilisables naturellement et qui pourraient servir pour réaliser des opérations de rechargement le long du littoral afin de retrouver un profil de plage dit « de référence ». Ce profil serait représentatif d'une plage en équilibre telle qu'elle devrait être en l'absence de perturbations. Les sites identifiés et étudiés sont :

- Saint-Gilles-Les-Bains : le port de Saint-Gilles interrompt le transit naturel et provoque une accumulation de sable sur le secteur des Brisants, situé au sud. Ce blocage est la source de différentes problématiques : ensablement régulier du port lorsque la plage des Brisants est saturée ; phénomènes d'érosion sur le secteur allant des Roches Noires à la pointe des Aigrettes en raison du manque d'apport en sédiments. Le secteur de l'Ermitage est également envisagé pour recevoir les sédiments excédentaires. Néanmoins, l'excédent de sédiments ne semble pas suffisant pour retrouver un profil de référence sur l'ensemble des zones déficitaires ;
- Trois-Bassins – Souris Chaude : la portion de plage de la Souris Chaude connaît une accumulation sédimentaire en raison de la présence d'un cap rocheux localisé en aval de la dérive littorale. Les secteurs plus au sud, vers la Souris Blanche, connaissent en revanche des problématiques d'érosion liées à la présence d'ouvrages en haut de plage. Les volumes de sédiments excédentaires estimés sur ce site restent assez faibles et pourraient être utilisés dans le cadre d'un transfert ponctuel en cas d'événement de fortes houles (en prévention ou en post-événement) ;
- Saint-Benoît – Le Butor : ce secteur est impacté par la présence de la digue du Butor qui entraîne une interruption de la dérive littorale S-N entraînant une accumulation au sud de l'ouvrage et des problématiques d'érosion au nord. Les quantités de sédiments excédentaires identifiées sur la plage au sud seraient suffisantes pour combler le déficit observé au nord de la digue ;
- Sainte-Marie – Le Port : à l'instar de Saint-Benoît, la jetée portuaire de Sainte-Marie entraîne une accumulation de sédiments qui va engendrer des problématiques d'ensablement du port lorsque celle-ci est saturée. D'importantes opérations de remaniement du stock excédentaire ont été effectuées sur le secteur en 2020. Aussi, les volumes estimés sur la base des données topographiques historiques sont donnés à titre

indicatif (Litto3D). Le stock sédimentaire identifié pourrait permettre de combler une zone déficitaire située en amont-dérive de la jetée portuaire mais également de renforcer une partie du cordon de galets en face de la piste aéroportuaire, identifiée comme étant en érosion.

Cette étude a permis de discuter des opportunités à mettre en place des stratégies locales de gestion des sédiments grâce à des opérations de transfert sédimentaires.

Toutefois, avant chaque opération, un relevé topographique précis de la zone à extraire et de la zone de dépôt devra être réalisé afin d'affiner l'estimation des volumes à transférer et d'évaluer le profil de plage résultant sur chacune des zones. Ces opérations devront être accompagnées d'un suivi morphologique de la plage afin d'optimiser les volumes transférés et leur fréquence en fonction des conditions hydrodynamiques.

Il est important de noter que ces opérations doivent faire l'objet d'une instruction auprès des services de l'Etat

Les collectivités en charge de la stratégie de gestion de leur littoral pourraient mettre en place un Plan de Gestion des Sédiments (PGS) afin de planifier ces actions en concertation avec les différents acteurs concernés.

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>11</b>
1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS .....	11
1.2. CADRE REGLEMENTAIRE .....	12
1.3. ZONE D'ETUDE .....	13
<b>2. Méthodologie.....</b>	<b>15</b>
2.1. EVOLUTION HISTORIQUE DU TRAIT DE COTE .....	15
2.2. DETERMINATION D'UN PROFIL « DE REFERENCE ».....	17
2.3. ESTIMATION DES VOLUMES .....	19
2.3.1. Méthodes de calcul.....	19
2.3.2. Estimation des incertitudes sur la méthode.....	24
<b>3. Résultats .....</b>	<b>25</b>
3.1. SAINT-GILLES-LES-BAINS .....	25
3.1.1. Situation géographique .....	25
3.1.2. Contexte géomorphologique et hydrosédimentaire et problématique du site 26	
3.1.3. Dynamique du trait de côte entre 1950 et 2017.....	30
3.1.4. Estimation des volumes sédimentaires excédentaires vis-à-vis d'un profil de référence .....	40
3.2. TROIS-BASSINS : PLAGES DE SOURIS BLANCHE/SOURIS CHAUDE.....	55
3.2.1. Situation géographique .....	55
3.2.2. Contexte géomorphologique et hydrosédimentaire et problématique du site 55	
3.2.3. Dynamique du trait de côte entre 1950 et 2017.....	58
3.2.4. Estimation des volumes sédimentaires vis-à-vis d'un profil de référence	60
3.3. SAINT-BENOIT : LE BUTOR .....	65
3.3.1. Situation géographique .....	65
3.3.2. Contexte géomorphologique et hydrosédimentaire et problématique du site 65	
3.3.3. Dynamique du trait de côte entre 1950 et 2017.....	67
3.3.4. Estimation des volumes sédimentaires vis-à-vis d'un profil de référence	69
3.4. SAINTE-MARIE : LE PORT .....	79
3.4.1. Situation géographique .....	79

3.4.2. Contexte géomorphologique et hydrosédimentaire et problématique du site	79
3.4.3. Dynamique du trait de côte entre 1950 et 2017 .....	81
3.4.4. Estimation des volumes sédimentaires vis-à-vis d'un profil de référence	84
<b>4. Conclusion .....</b>	<b>92</b>
<b>5. Bibliographie .....</b>	<b>95</b>
<b>6. Annexes .....</b>	<b>96</b>

## Liste des figures

Illustration 1 : Contexte du projet .....	12
Illustration 2 : Localisation et photographies des sites concernés par cette étude (Fond : Ortho 2017, IGN). 1 : Plage des Brisants (Saint-Gilles-Les-Bains), 2 : Plage de Souris Blanche (Trois-Bassins), 3 : Butor (Saint-Benoît), 4 : Port de Sainte-Marie.....	14
Illustration 3 : Principe de la régression linéaire pondérée pour le calcul par DSAS de l'évolution du trait de côte (Himmelstoss, 2009) .....	16
Illustration 4 : Secteurs mis en évidence à travers l'analyse de l'évolution du jet de rive (Site du Butor) .....	18
Illustration 5 : Exemple de profil de référence identifié sur le terrain, la végétation dunaire est abondante et la pente est relativement faible. (Photo : Plage des Brisants / BRGM 14 mai 2020) .....	19
Illustration 6 : Exemple de profil de plage rééchantillonnée avec Profiler XS 3.2. En considérant le profil homogène sur une largeur de 1 m, il est possible d'estimer un volume au-dessus du 0 NGR.....	20
Illustration 7 : Exemple de calcul de la différence entre un profil et le profil de référence (Site du Butor) .....	20
Illustration 8 : Exemple d'extrapolation sur 50 m des profils de plage afin d'estimer le volume total sur le secteur (Fond : Ortho IGN 2017 ; secteur : Saint-Benoît Butor).....	21
Illustration 9 : Etapes de création d'un raster de référence ; (a) : création d'un fichier de points reproduisant le profil de référence à partir du haut de plage sur l'ensemble du secteur, (b) : création de courbes de niveau à partir du nuage de points, (c) : conversion des courbes de niveau en raster .....	23
Illustration 10 : Raster des différences d'altitude .....	23
Illustration 11 : Méthode d'estimation des incertitudes sur les volumes selon les travaux de Mahabot (2016).....	24
Illustration 12 : Extrait du SCAN25 IGN localisant de la zone d'étude .....	25
Illustration 13 : Contexte hydrosédimentaire de la zone d'étude montrant l'impact du port de Saint-Gilles sur la dynamique littorale (réalisé à partir de De La Torre, 2004) (Fond : Ortho IGN 2017).....	27
Illustration 14 : Constats d'érosion observés sur la CH 1 (a: affouillement au pied d'un mur, b : mise à nu du beachrock suite à une perte de sable, c : déracinement d'un filaios et instabilité d'un mur suite à une perte de sable) (Photos BRGM 2020).....	28

Illustration 15 : Erosion provoquée par la présence d'un ouvrage sur le haut de plage. Les houles ne pouvant plus dissiper leur énergie, le phénomène d'érosion est amplifié .....	28
Illustration 16 : Déracinement de plusieurs filaos sur le haut de plage de l'Ermitage (Photo BRGM 04/07/2018).....	29
Illustration 17 : Haut de plage urbanisé et présence de végétation dunaire à la Saline (Photo BRGM 04/07/2018).....	29
Illustration 18 : Comparaison de la position du trait de côte (limite du jet de rive) entre 1950 (à droite) et 2017 (à gauche) sur la CH1, le haut de plage auparavant naturel a été entièrement urbanisé. Le trait de côte a fortement reculé au niveau des Roches Noires et sur une portion de Grand Fond .....	31
Illustration 19 : Résultats de l'analyse de l'évolution de trait de côte sur la CH 1 .....	32
Illustration 20 : Analyse de transects sur la CH1 .....	33
Illustration 21 : Beachrock sur la CH1, sa présence tend à fixer le trait de côte (BRGM, 2020) .....	33
Illustration 22 : Comparaison de la position du trait de côte (limite du jet de rive) entre 1950 (à droite) et 2017 (à gauche) sur la CH2, l'effet du port de Saint-Gilles est visible au niveau du croissant d'accrétion situé juste aux abords. Le trait de côte montre en revanche un recul assez important au sud au niveau de l'Ermitage. ....	35
Illustration 23 : Résultats de l'analyse DSAS sur la CH2 .....	36
Illustration 24 : Comparaison de la limite du jet de rive entre 1950 (à droite) et 2017 (à gauche) sur la CH3, la limite de jet de rive semble globalement stable et enregistre une accrétion sur certaines portions .....	37
Illustration 25 : Résultats de l'analyse DSAS sur la CH 3 .....	38
Illustration 26 : Localisation des profils topographiques sur les CH1 (à gauche) et CH2 (à droite).....	40
Illustration 27 : Photographie de la plage au niveau des profils 21 et 22 (BRGM 2020) .....	41
Illustration 28 : Comparaison des profils topographiques de la CH1 (réalisés le 12 juin 2020) avec les profils n°21 et n°22. Le haut de plage varie selon le profil (ouvrage, rupture de pente...) .....	41
Illustration 29 : Variabilité des profils 21 et 22 entre 2008 et 2020 .....	43
Illustration 30 : Comparaison des profils topographiques réalisés le 14 juillet 2020 sur le secteur des .....	44
Illustration 31 : Comparaison des profils topographiques 16 à 40 de la CH2 (Litto3D) avec le profil n°15 de la CH2 (profil de référence).....	45
Illustration 32 : Photographies de la plage au niveau du profil de référence (Photos : BRGM 14/07/2020).....	45
Illustration 33 : Variabilité du profil de référence entre 2008 et de nos jours .....	46
Illustration 34 : Secteur soumis à des phénomènes de surverse, l'altitude du profil de plage ne doit pas excéder celle de l'enrochement mesurée à 3.2 m NGR .....	47
Illustration 35 : Cas particulier du profil 1 situé à proximité directe de la jetée portuaire (Données juillet 2020).....	47
Illustration 36 : Casiers d'extrapolation autour des profils excédentaires avec les surfaces associées (Fond : Ortho IGN 2017).....	49
Illustration 37 : Schéma bilan du site de Saint-Gilles-Les-Bains (Ortho 2017, IGN).....	53
Illustration 38 : Extrait du SCAN25 d'IGN présentant la zone d'étude .....	55
Illustration 39 : Vue d'ensemble du secteur .....	56
Illustration 40 : Clôtures visibles au niveau du secteur de la Souris Blanche .....	56

Illustration 41 : Contexte hydrosédimentaire du secteur (réalisé à partir de De La Torre, 2004) (Fond : Ortho IGN 2017).....	57
Illustration 42 : Localisation des profils topographiques (Fond : Ortho IGN 2017).....	57
Illustration 43 : Profils topographiques obtenus à partir du MNT Litto 3D.....	58
Illustration 44 : Taux d'évolution du trait de côte (limite du jet de rive) calculés par régression linéaire pondérée sur les transects du secteur de Trois-Bassins entre 1950 et 2017. Les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 95% des mesures.....	59
Illustration 45 : Photographies réalisées sur le linéaire côtier de Trois-Bassins, attestant de l'érosion côtière sur le secteur ( a : mise à nu du beach-rock, synonyme d'une perte de sédiments ; b : regard d'égout, témoin de la l'abaissement de la topographie de la plage ; c : sol bétonné détaché suite à un affouillement) .....	60
Illustration 46 : Comparaison entre le profil 5 et le profil moyen sur l'ensemble du secteur .....	61
Illustration 47 : MNT issu du profil de référence (à haut) et MNT différentiel entre MNT Litto3D et le MNT de référence (à droite) sur le secteur de Trois-Bassins .....	62
Illustration 48 : Schéma bilan du site de Trois-Bassins (Ortho 2017, IGN).....	64
Illustration 49 : Localisation du site d'étude : le Butor - Saint-Benoît (Fond : Scan25 IGN 2015).....	65
Illustration 50 : Prises de vue depuis la digue, le cordon de galets est très engraisé au sud comparativement à la situation au nord (photos BRGM 2020).....	66
Illustration 51 : Micro-falaise d'érosion observée au nord de la digue du Butor (BRGM, 2020) .	66
Illustration 52 : Contexte hydrosédimentaire de la zone d'étude montrant l'influence de la digue du Butor sur la dynamique sédimentaire (réalisé à partir de De La Torre, 2004) (Fond : Ortho IGN 2017).....	67
Illustration 53 : Comparaison de la position du trait de côte (limite du jet de rive) entre 1950 (à droite) et 2017(à gauche) sur le secteur du Butor, accrétion au sud de la digue et érosion au nord. L'influence de la jetée est très forte dès 1978 .....	68
Illustration 54 : Résultats de l'analyse DSAS sur le Butor .....	69
Illustration 55: Localisation des profils topographiques exploités sur le secteur du Butor .....	70
Illustration 56 : Evolution des profils 1 à 6 entre 2008 (Litto3D) et 2020 au sud de la digue du Butor .....	71
Illustration 57 : Comparaison des profils topographiques de la cellule hydrosédimentaire SUD à partir du Litto3D.....	72
Illustration 58: Comparaison des profils topographiques de la cellule hydrosédimentaire NORD à partir du Litto3D.....	73
Illustration 59 : Evolution du profil n°10 entre 2008 et 2020.....	74
Illustration 60 : Secteur à proximité du profil de référence (BRGM 2020).....	74
Illustration 61 : MNT issu du profil de référence (à gauche) et MNT de différence entre Litto3D et le MNT de référence (à droite) sur la cellule sud.....	75
Illustration 62 : MNT issu du profil de référence (à gauche) et MNT de différence entre Litto3D et le MNT de référence (à droite) sur la cellule nord .....	76
Illustration 63 : Schéma bilan du site de Saint-Benoît (Ortho 2017, IGN).....	78
Illustration 64 : Localisation du site d'étude situé à l'est du port de Sainte-Marie (Fond : Scan25 IGN) .....	79
Illustration 65 : Photographie de la plage de Bois Madame depuis la digue Est du port de Sainte-Marie (photo prise le 25 août 2017) .....	80

Illustration 66 : Contexte hydrosédimentaire du secteur de l'est du port de Sainte-Marie (réalisé à partir de De La Torre, 2004) (Fond : Ortho IGN 2017) .....	80
Illustration 67 : Localisation du cordon de galets à renforcer (Ortho 2017 IGN) .....	81
Illustration 68 : Evolution du trait de côte en 1950 et 2017 .....	82
Illustration 69 : Résultats de l'analyse DSAS sur le secteur du port de Sainte-Marie.....	83
Illustration 70 : Zone identifiée en recul, à l'ouest du port de Sainte-Marie .....	84
Illustration 71 : Localisation des profils topographiques sur le secteur de Sainte-Marie (Fond : Orthophotographie IGN 2008) .....	85
Illustration 72 : Gradient de la largeur de plage visible sur les profils topographiques, lié à la présence du port de Sainte-Marie .....	85
Illustration 73 : Profils topographiques situés dans la zone de transition (+ P7, P8 & P9) .....	86
Illustration 74 : Profils topographiques situés dans la zone en accrétion .....	87
Illustration 75 : Profils topographiques situés dans la zone en érosion .....	87
Illustration 76 : MNT issu du profil de référence (au-dessus) et MNT de différence entre Litto3D et le MNT de référence (en-dessous) sur le secteur EST .....	88
Illustration 77 : MNT de différence entre Litto3D et le MNT de référence (en-dessous) sur le secteur OUEST.....	90
Illustration 78 : Bilan du site de Sainte-Marie (Ortho 2017 IGN) .....	91

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Détail des campagnes photographiques de l'IGN utilisées pour la numérisation du jet de rive .....	16
Tableau 2 : Volumes estimés pour la campagne de mai et juillet 2020. Tous les résultats ont été arrondis et minorés à 1 m <sup>3</sup> près. ....	48
Tableau 3 : Volumes estimés pour les campagnes de juin et juillet 2020 à partir du profil de référence P21. Tout les résultats ont été arrondis et majorés à 1 m <sup>3</sup> près.....	50
Tableau 4 : Volumes estimés sur le linéaire en érosion de la CH2 à partir de Litto3D. Tout les résultats ont été arrondis et majorés à 1 m <sup>3</sup> près .....	52
Tableau 5 : Volumes estimés à partir du Litto3D .....	63
Tableau 6: Volumes estimés sur chaque profil topographique extrapolé sur 100 m au sein de la cellule SUD .....	76
Tableau 7 : Volumes estimés sur chaque profil topographique extrapolé sur 100 m au sein de la cellule NORD .....	77
Tableau 8 : Volumes estimés sur chaque profil topographique extrapolé sur le secteur du port de Sainte-Marie.....	89
Tableau 9 : Récapitulatif des résultats obtenus sur chaque site .....	92



# 1. Introduction

## 1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Certains secteurs du littoral de La Réunion sont caractérisés par la présence d'ouvrages ou de caps rocheux capables d'interrompre le courant de dérive littorale. Cela se traduit par un déséquilibre au sein de la cellule sédimentaire. Selon un schéma de fonctionnement classique, les secteurs situés en amont, de l'ouvrage/cap rocheux par rapport à la dérive littorale, présentent une accumulation de sédiments, au contraire les zones situées en aval, présentent un déficit sédimentaire.

Du fait de ces perturbations, certains secteurs portuaires sont de plus en plus confrontés à des problématiques d'ensablement. Faute d'opérations cadrées ou planifiées de gestion des sédiments, les gestionnaires interviennent le plus souvent en urgence pour désensabler les ports concernés. Ces opérations ne permettent pas d'enrayer le phénomène et la gestion des sédiments dans l'enceinte portuaire est complexe compte-tenu des contraintes techniques et réglementaires, notamment sur le plan sanitaire (analyses à effectuer au regard de la présence potentielle de polluants).

Dans un contexte de changement climatique, compte-tenu des problématiques d'érosion côtière et avec l'existence des Plans de Prévention des Risques Littoraux, il est apparu opportun de mener une réflexion sur la mise en œuvre d'un Plan de Gestion des Sédiments (PGS). L'objectif est d'une part, d'anticiper, prévenir et réduire, voire éviter ces problématiques d'ensablement en planifiant des opérations d'entretien pour limiter l'accumulation des sédiments le long des ouvrages et, d'autre part, mettre en place des actions pour atténuer les phénomènes d'érosion côtière en utilisant les sédiments extraits des zones d'accumulation pour ré-engraisser des zones en érosion en aval du courant dominant de dérive littorale.

Afin de définir l'intérêt de mettre en place un PGS, il est nécessaire de mettre en place une méthodologie. Pour se faire, un projet en partenariat entre la DEAL de La Réunion et le BRGM a été construit. Son contexte est présenté en Illustration 1.

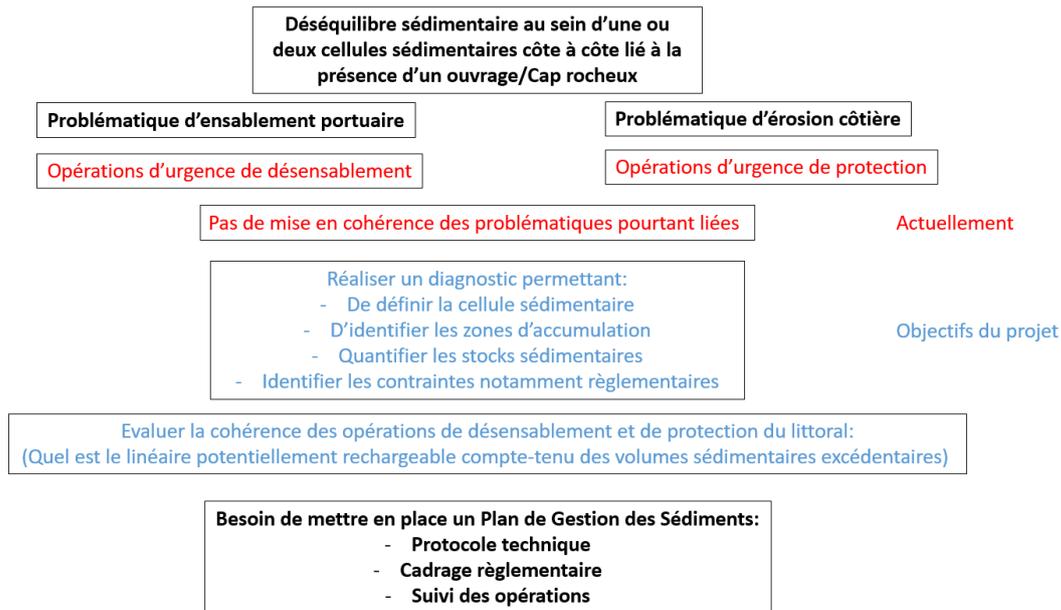


Illustration 1 : Contexte du projet

Les objectifs du projet sont de :

- Réaliser un diagnostic du fonctionnement hydrosédimentaire de certains secteurs littoraux et d'identifier notamment les éléments pouvant jouer un rôle perturbateur (présence d'un ouvrage ou d'un cap rocheux bloquant le transit) ;
- Estimer les volumes excédentaires disponibles et dans la mesure du possible les flux de sédiments qui transitent, pour évaluer la faisabilité et l'intérêt de leur utilisation pour du rechargement tout en préservant la résilience du milieu ;
- Identifier les zones de destination possible des sédiments extraits ainsi que les volumes nécessaires dans les zones déficitaires pour retrouver un meilleur état et équilibre sédimentaire du littoral ;
- Discuter de l'opportunité de mettre en place ces opérations de transfert sédimentaire.

Une méthode a été développée et appliquée sur quelques sites du littoral réunionnais considérés comme problématiques au regard des enjeux portuaires menacés par des dépôts ou des érosions sédimentaires. C'est à l'issue des différentes étapes de ce projet que les gestionnaires concernés (Ports, communes...) pourront décider de mettre en place un PGS en partenariat avec la DEAL.

## 1.2. CADRE REGLEMENTAIRE

Il existe différents cas de figures dans le cadre de la gestion des sédiments en milieu littoral et le terme « rechargement de plage » est souvent utilisé pour qualifier les opérations entraînant un déplacement de sédiments d'un secteur à l'autre.

Un rechargement de plage est défini selon le Code de l'environnement (Annexe 1) comme tous travaux :

- Impliquant un apport extérieur de matériaux ;
- Liés le plus souvent à un dragage de sédiments en milieu marin.

Ne sont pas concernés par ce terme les opérations d'entretien, de nettoyage et de reprofilage. Par conséquent « Les rechargements de plage » sont soumis à une réglementation particulière et à autorisations. Dans certains cas, la procédure peut être soumise à enquête publique et étude d'impact environnemental. C'est par exemple le cas lorsque les sédiments apportés proviennent d'une opération de dragage (hors ou au sein de la même cellule hydrosédimentaire) d'un volume supérieur à 10 000 m<sup>3</sup>. Des études de sensibilité du milieu marin ainsi que la recherche de potentielles traces d'hydrocarbures sont alors imposés.

Les stocks excédentaires identifiés dans le cadre de ce projet sont des accumulations émergées, destinées potentiellement à être redistribuées au sein de la même unité hydrosédimentaire. Aucune opération de dragage ni aucun apport de sédiment extérieurs ne sont donc requis pour ce type d'opération. On parle dans ce cas de « transferts de sédiments » qui sont considérés comme des travaux d'entretien et non comme des travaux de défense contre la mer<sup>1</sup> (*Pupier-Dauche, 2002*). Ces opérations de remobilisation des sédiments à terre présentent également un caractère temporaire et sans effet important et durable sur le milieu naturel et ne sont pas soumis à enquête publique, ni à étude d'impact<sup>2</sup>, sauf si elle sont réalisées dans des zones naturelles protégées<sup>3</sup>. C'est le cas sur les secteurs de Saint-Gilles-les-Bains et Trois-Bassins situés dans la réserve marine. Dans ce cas, il convient de soumettre le projet à la Réserve, ou à tout autre entité disposant d'une autorité environnementale, afin de s'assurer que les opérations ne présentent aucun risque pour la faune et la flore locale.

D'une manière générale, aucune autorisation spécifique n'est requise car il ne s'agit pas d'une extraction/dépôt (pas d'atteinte à l'intégrité ou à l'utilisation du domaine public maritime) mais d'une redistribution des sédiments au sein d'une même cellule hydrosédimentaire afin de rétablir un équilibre naturel perturbé par la présence d'un ouvrage ou d'un cap rocheux (*Cerema, 2019*).

### 1.3. ZONE D'ETUDE

Quatre sites représentatifs ont été choisis pour leurs problématiques de gestion de sédiments sur le littoral de la Réunion (Illustration 2) :

- La plage des Brisants à Saint-Gilles-Les-Bains : transit interrompu par la jetée portuaire et accumulation de sable sur le secteur des Brisants entraînant parfois des épisodes d'ensablement du port. Le secteur allant des Roches Noires à la pointe des Aigrettes situé au nord du port connaît des problématiques d'érosion en raison du blocage. Le secteur allant du mail de Rodrigues, en amont dérive, connaît également des problématiques d'érosion bien que naturel ;
- La zone du Butor à Saint-Benoît : transit interrompu par la digue des pêcheurs et accumulation de sédiments (sable + galets) au sud de l'ouvrage. Le secteur situé au nord de la digue connaît des problématiques d'érosion ;
- Le Port de Sainte-Marie : transit interrompu par la jetée portuaire et accumulation de sédiments (sable + galets) l'est de l'ouvrage entraînant parfois des épisodes d'ensablement du port. Le port envisage de se servir des sédiments excédentaires afin

---

<sup>1</sup> Décret n°77-1141 du 12 octobre 1977 pris pour l'application de l'article 2 de la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature et modifié par le Décret n°93-245 du 25 février 1993 - art. 2 () JORF 26 février 1993

<sup>2</sup> Article L214-4 du Code l'environnement et modifié par Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 - art. 4 () JORF 31 décembre 2006

<sup>3</sup> Article L411-1 du Code de l'environnement

de renforcer une partie du cordon de galets située en amont des pistes de l'aéroport Roland Garros ;

- Le secteur de Souris-Blanche à Trois-Bassins : accumulation de sable sur la partie Ouest du littoral de Trois-Bassins (Souris Chaude) liée à la présence d'un cap rocheux. Des problématiques d'érosion existent sur la partie Est (Souris Blanche) et un transfert depuis la zone d'accumulation est envisageable.

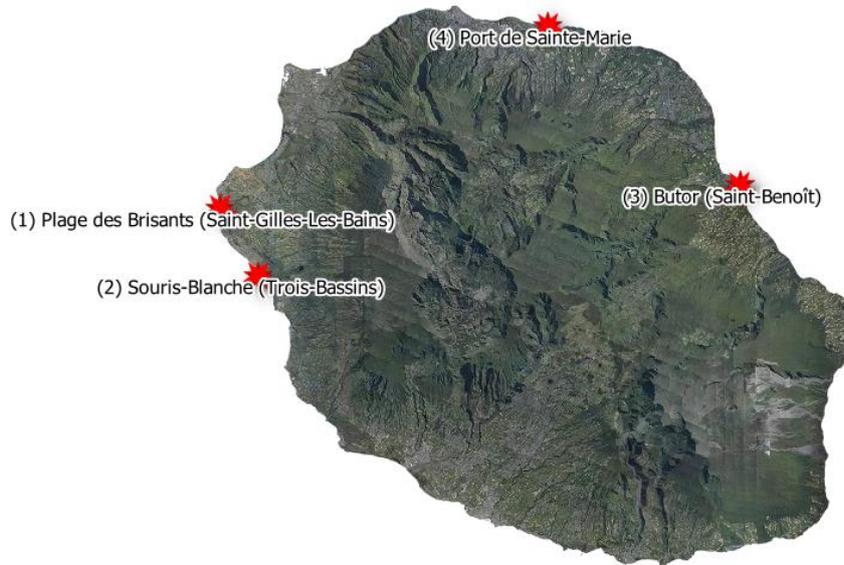


Illustration 2 : Localisation et photographies des sites concernés par cette étude (Fond : Ortho 2017, IGN). 1 : Plage des Brisants (Saint-Gilles-Les-Bains), 2 : Plage de Souris Blanche (Trois-Bassins), 3 : Butor (Saint-Benoît), 4 : Port de Sainte-Marie

## 2. Méthodologie

La méthode s'attache dans un premier temps à l'analyse de la dynamique du trait de côte afin de localiser les portions de plage potentiellement en accrétion ou en érosion sur la zone d'étude. Cette analyse permettra, outre le fait d'apporter une vision éclairée de l'évolution du littoral, d'identifier le linéaire impacté par la présence des ouvrages, de pré-localiser un profil dit « de référence » pour l'ensemble de la zone d'étude sensé être représentatif d'un état de plage naturel et en bon état d'un point de vue de la dynamique du trait de côte. Le profil de référence se veut être stable dans le temps et par conséquent non impacté par la présence d'un ouvrage. La résilience et la stabilité de ce profil sera confirmé par l'analyse topographique du secteur grâce aux données issues de campagnes topographiques réalisées en 2020 dans le cadre de ce programme et du MNT Litto3D<sup>4</sup> (SHOM, IGN, 2008). Enfin des volumes excédentaires sur les zones bénéficiant d'une accrétion et déficitaires sur les secteurs en érosion seront estimés sur la base du profil de référence établi.

Cette méthode se base sur les données topographiques disponibles (Litto3D<sup>®</sup> & campagnes réalisées en 2020) qui restent insuffisantes en terme de fréquences d'acquisition afin d'avoir une bonne connaissance de la dynamique morphologique de ces secteurs mais permet d'avoir une estimation générale des stocks sédimentaires disponibles et des besoins en rechargement sur les secteurs en érosion et/ou nécessitant un apport en urgence en prévision ou suite à un évènement de forte houle. Par conséquent, les volumes estimés sont des ordres de grandeur calculés à partir des données disponibles au moment de la présente étude. Aussi, les résultats présentés devront systématiquement être mis à jour avant toute opération, en réalisant de nouvelles campagnes de mesures terrain afin de s'assurer de la cohérence des volumes quantifiés.

### 2.1. EVOLUTION HISTORIQUE DU TRAIT DE COTE

L'indicateur du trait de côte le plus approprié pour ce type d'analyse est la limite supérieure atteinte par le jet de rive<sup>5</sup> qui est plus représentatif de l'impact que peut générer la présence d'un ouvrage sur la dynamique du trait de côte (*Boak & Turner, 2005*). Selon le secteur considéré, ce trait de côte ainsi défini a été numérisé à différentes dates à partir des orthophotographies disponibles (Tableau 1) sélectionnées également en fonction de leur qualité (qualité du produit, conditions hydrodynamiques calmes au moment de la prise de vue offrant des situations comparables...).

Années	Nature des clichés	Echelle de prise de vue	Résolution image numérique
1950	Noir/Blanc	1 : 25 000	1 pixel = 0.4 m

<sup>4</sup> Modèle numérique de terrain continu terre-mer sur la frange littorale de la Réunion, obtenu par des lasers aéroportés et duquel sont extraites les données topographiques.

<sup>5</sup> Masse d'eau projetée sur un rivage vers le haut d'un estran par l'action de déferlement des vagues (En anglais : swash).

<b>1978</b>	Noir/Blanc & Couleur	1 : 20 000	1 pixel = 0.5 m
<b>1989<sup>6</sup></b>	Couleur	1 : 25 000	1 pixel = 0.5 m
<b>1997</b>	Couleur	1 : 25 000	1 pixel = 1 m
<b>2003</b>	Couleur	1 : 25 000	1 pixel = 0.5 m
<b>2008</b>	Couleur	1 : 25 000	1 pixel = 0.5 m
<b>2012<sup>7</sup></b>	Couleur	1 : 25 000	1 pixel = 0.2 m
<b>2017</b>	Couleur	1 : 25 000	1 pixel = 0.2 m

Tableau 1 : Détail des campagnes photographiques de l'IGN utilisées pour la numérisation du jet de rive

L'utilisation de l'extension du logiciel géographique ArcGis « DSAS<sup>8</sup> » (Thieler *et al.*, 2009) permet d'automatiser le calcul de l'évolution du trait de côte sur la période considérée. A partir d'une ligne de base située en arrière de l'enveloppe de traits de côte (représentative de la courbure générale du rivage), des transects sont générés à un intervalle prédéfini. Le taux d'évolution annuel est calculé pour chaque transect grâce à une régression linéaire pondérée.

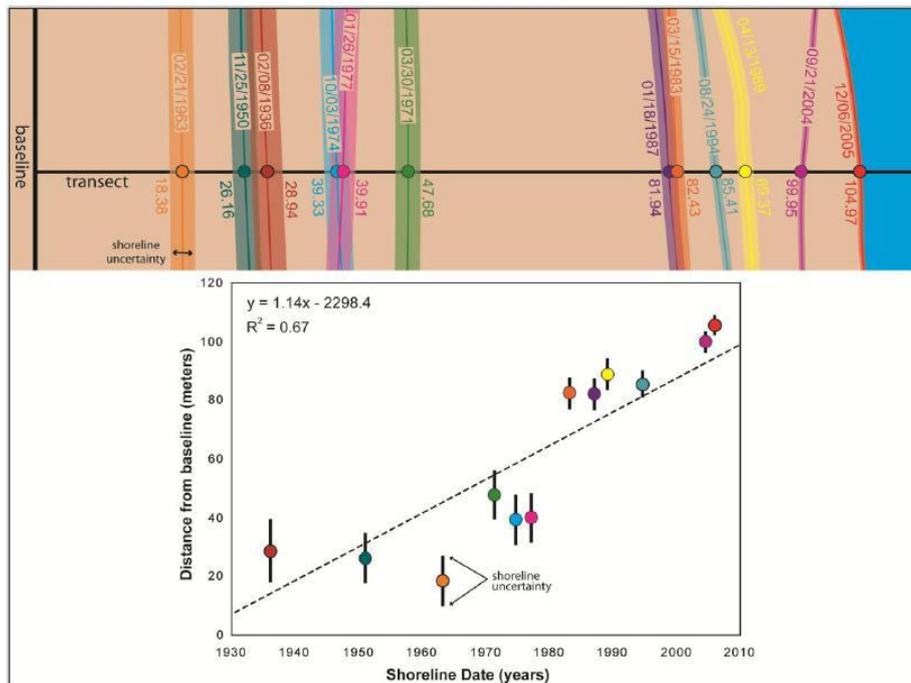


Illustration 3 : Principe de la régression linéaire pondérée pour le calcul par DSAS de l'évolution du trait de côte (Himmelstoss, 2009)

<sup>6</sup> Disponible uniquement pour les sites de Sainte-Marie et Saint-Benoît.

<sup>7</sup> Non utilisée pour les secteurs de Saint-Gilles et Souris Chaude en raison de la mer trop agitée.

<sup>8</sup> DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) : logiciel permettant de calculer des statistiques de taux de changement à partir de plusieurs positions historiques du littoral (traits de côte).

La régression linéaire pondérée (Illustration 3) est une méthode d'ajustement couramment employée pour le calcul de l'évolution du trait de côte. Elle offre l'avantage d'utiliser toute la donnée disponible et donne plus de poids aux données les plus fiables (erreur déterminée à partir de la résolution des orthophotographies et de la numérisation des traits de côte) afin de déterminer la meilleure droite d'ajustement (*Himmelstoss, 2009*).

## 2.2. DETERMINATION D'UN PROFIL « DE REFERENCE »

Grâce à l'analyse du trait de côte et des données topographiques issues du modèle numérique de terrain Litto3D® et aux données acquises sur le terrain (selon le secteur), on définira :

- Un profil type, représentatif d'une situation de plage du point de vue de sa topographie, ses dimensions, et en prenant l'hypothèse qu'il n'est pas ou très peu influencé par la présence d'ouvrages (à dire d'expert). La stabilité de ce profil sera établie dans un premier temps à partir de l'analyse de l'évolution du trait de côte puis confirmée par une analyse topographique des différentes campagnes de terrain réalisées. Sa détermination sera discutée selon chaque site.

Ce profil servira de référence dans le calcul des volumes à prélever dans les secteurs en accrétion et pouvant être déposés dans les secteurs en érosion. Sa localisation pourra être déterminée dans un premier temps grâce à l'analyse de l'évolution du trait de côte. L'analyse des taux issus de la loi WLR<sup>9</sup> ainsi que le coefficient de détermination<sup>10</sup> ( $R^2$ ) permet de mettre en évidence l'influence de l'ouvrage interrompant le transit sédimentaire et ainsi déterminer différents secteurs :

- La zone d'accrétion sous influence de l'ouvrage : secteur très excédentaire en sédiments ;
- La zone de transition ;
- La zone hors influence : secteur possédant une dynamique plus naturelle non contrainte par l'ouvrage.

Le profil de référence devrait être situé aux abords de la zone hors influence afin de représenter au mieux un état naturel de la plage.

---

<sup>9</sup> La régression linéaire pondérée (*Weighted linear regression*) est une méthode statistique permettant ici de caractériser l'évolution du trait de côte au cours du temps, les taux calculés sont pondérés par la précision et la pertinence des différents traits de côte utilisés. Cette méthode permet de minimiser l'influence des traits de côte les moins précis sur les taux d'évolution.

<sup>10</sup> Le coefficient de détermination, noté  $R^2$ , est une mesure de la qualité de la prédiction d'une régression linéaire et varie entre 0 et 1. Dans cet exemple, lorsque le  $R^2$  est proche de 0, le taux d'évolution du jet de rive sera plus variable et ne témoignera pas d'une évolution significative. En revanche, lorsqu'il sera proche de 1, le taux d'évolution du jet de rive prédit par le modèle aura une tendance plus linéaire et son évolution sera plus significative.

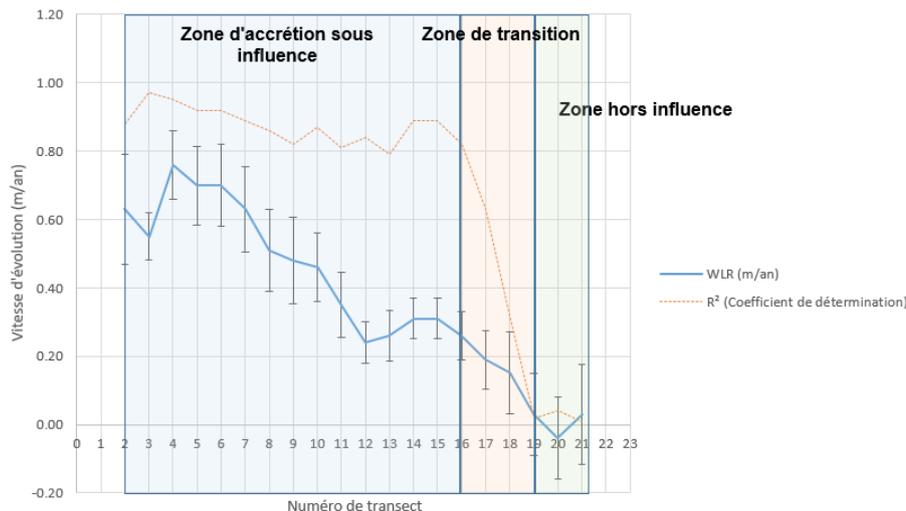


Illustration 4 : Secteurs mis en évidence à travers l'analyse de l'évolution du jet de rive (Site du Butor)

La détermination de ce profil est étayée par les visites de terrain (Illustration 5) et par l'analyse de données topographiques issues du MNT Litto3D® et des campagnes de terrains réalisées en 2020. La comparaison des différents jeux de données permet de vérifier la stabilité du profil de référence dans le temps et ainsi s'assurer de sa pertinence.

Les données topographiques sont issues :

- Des campagnes de terrain réalisés en 2020 au DGPS, qui possède une précision 0.02 m en planimétrie et en altimétrie :
  - 14 mai : Plage des Brisants ;
  - 10 juin : Butor & port de Sainte-Marie ;
  - 12 juin : Roches Noires/Grand Fond ;
  - 28 juillet : Plages des Brisants & Roches Noires/Grand Fond.
- Du modèle numérique de terrain Litto3D® dont les relevés LIDAR<sup>11</sup> des parties émergées ont été réalisés en 2008. Ce MNT possède une précision planimétrique de 1 m et de 0.2 m en altimétrie.

<sup>11</sup> LIDAR (acronyme de light « *detection and ranging* ») est une technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur. Elle permet ici d'effectuer un calcul d'altimétrie et de bathymétrie.



*Illustration 5 : Exemple de profil de référence identifié sur le terrain, la végétation dunaire est abondante et la pente est relativement faible. (Photo : Plage des Brisants / BRGM 14 mai 2020)*

## **2.3. ESTIMATION DES VOLUMES**

### **2.3.1. Méthodes de calcul**

Deux méthodes sont utilisées afin d'identifier des volumes.

#### **Méthode des casiers d'extrapolation :**

Un calcul de différence de volume est réalisé entre une multitude de profils (sur la base des campagnes de terrains ou de Litto3D), espacés de façon régulière afin d'avoir une bonne représentativité de la topographie, sur les secteurs en accrétion et en érosion et le profil de référence identifié.

La méthode consiste à, dans un premier temps, calculer le volume compris entre le 0 NGR (référence commune entre chacun des profils et correspondant approximativement à l'altitude du jet de rive) et le haut de plage grâce à l'extension de Microsoft Excel, Profiler XS 3.2 (Cohen, 2014). Cette extension permet de rééchantillonner les distances afin d'avoir un pas régulier de 1 m le long de chaque profil. En considérant ensuite une homogénéité du profil de plage sur 1 m en largeur, il est possible d'estimer un volume au-dessus de 0 m NGR (Illustration 6).

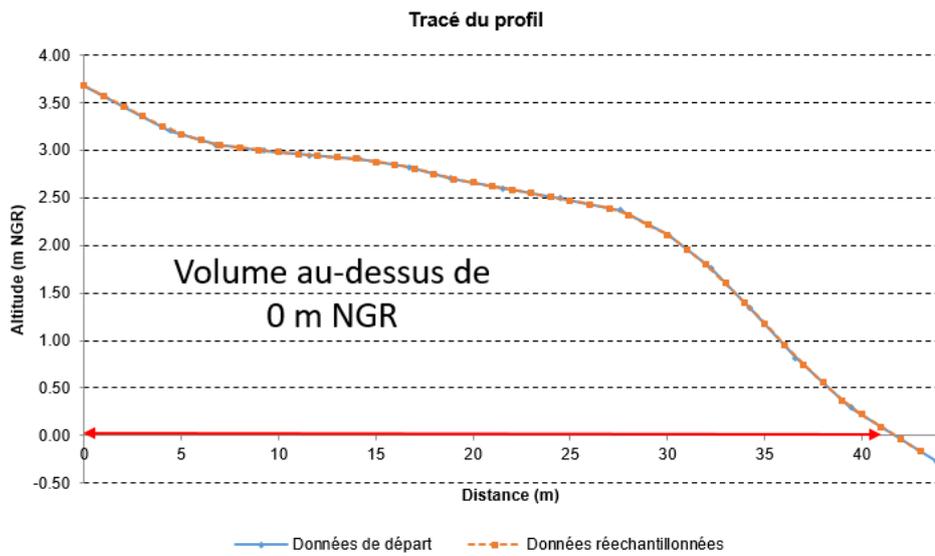


Illustration 6 : Exemple de profil de plage rééchantillonné avec Profiler XS 3.2. En considérant le profil homogène sur une largeur de 1 m, il est possible d'estimer un volume au-dessus du 0 NGR.

Le volume de chacun des profils est ensuite comparé au volume du profil de référence afin d'estimer des stocks et des déficits sédimentaires (Illustration 7).

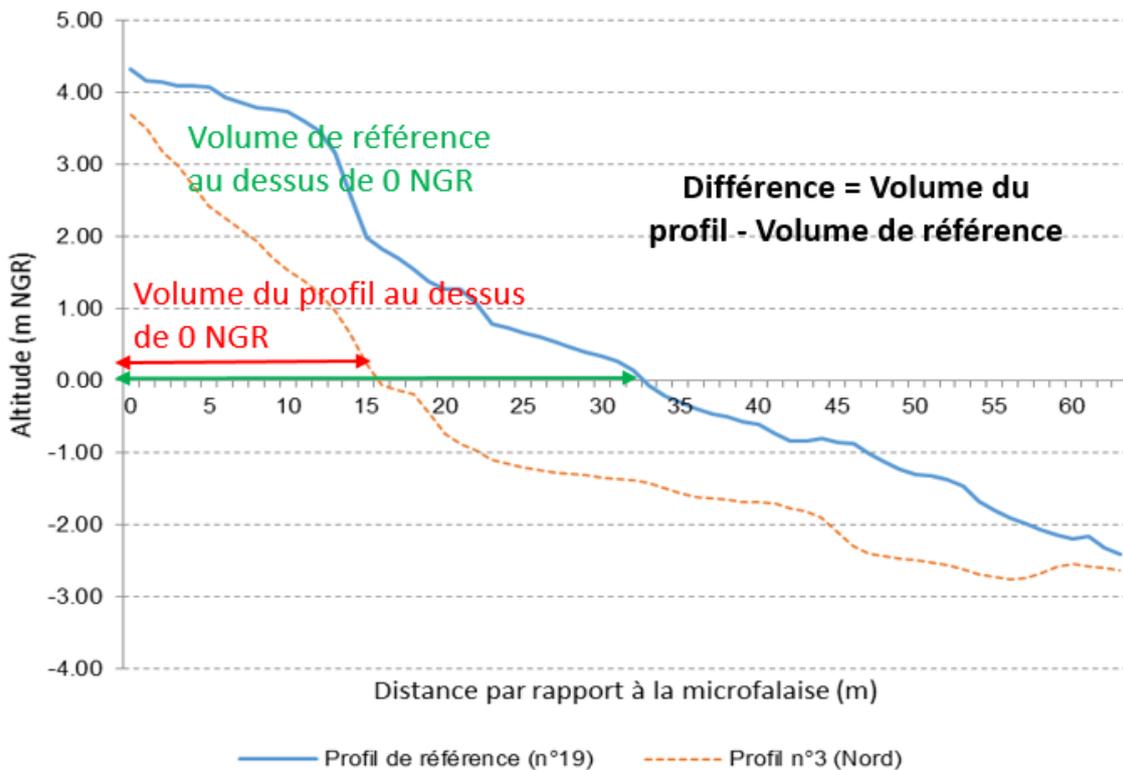


Illustration 7 : Exemple de calcul de la différence entre un profil et le profil de référence (Site du Butor)

Cette différence est extrapolée de part et d'autre de chacun de profils (selon l'échantillonnage) afin d'estimer un volume à l'échelle du secteur (Illustration 8).



Illustration 8 : Exemple d'extrapolation sur 50 m des profils de plage afin d'estimer le volume total sur le secteur (Fond : Ortho IGN 2017 ; secteur : Saint-Benoît Butor)

Dans le cas où cet échantillonnage serait insuffisant, le volume sera calculé de façon moins précise en évaluant la distance moyenne entre chaque profil et en l'extrapolant sur le volume total exprimé en  $m^3 \cdot m^{-1}$  (volume total divisé par la longueur du profil, en mètre cube par mètre linéaire):

$$\text{Volume sédimentaire sur le secteur (m}^3\text{)} = \text{Distance moyenne entre chaque profil (m)} \times \text{Volume total déficitaire (m}^3 \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$$

### **Méthode des différences de raster :**

Une autre méthode est utilisée à titre de comparaison afin de s'assurer de la cohérence des résultats obtenus. En reproduisant le profil de référence à partir du haut de plage sur l'ensemble du secteur il est possible d'obtenir des courbes de niveau correspondant à une topographie homogène. Ces courbes de niveau sont ensuite converties en raster de même résolution que le Litto3D ® (Illustration 9).

Une différence de raster est réalisée entre ce MNT dit « de référence » et le Litto3D ® pour estimer les volumes au-dessus et en deçà de cette référence.





Illustration 9 : Etapes de création d'un raster de référence ; (a) : création d'un fichier de points reproduisant le profil de référence à partir du haut de plage sur l'ensemble du secteur, (b) : création de courbes de niveau à partir du nuage de points, (c) : conversion des courbes de niveau en raster



Illustration 10 : Raster des différences d'altitude

### 2.3.2. Estimation des incertitudes sur la méthode

La détermination des incertitudes est indispensable afin de vérifier la pertinence des résultats obtenus sur chacun des sites. Celles-ci n'ont pas qu'un objectif informatif et seront discutées pour définir des intervalles de volumes à prélever et ainsi quantifier la propagation des erreurs de mesures dans l'estimation volumétrique.

Selon les données disponibles, la méthode d'estimation des volumes est appliquée sur les différents jeux de données afin de prendre en compte la variabilité temporelle de chacun des profils et ainsi pouvoir définir une fourchette de volume.

De plus, il est nécessaire d'estimer la précision sur la mesure des différents jeux de données utilisés. L'incertitude sur un volume calculé a été établi par Mahabot *et al* (2016) (Illustration 11). Par exemple, la précision altimétrique du Litto3D® en terrestre étant égal à 0.2 m, l'incertitude équivaldrait à 0.2 m<sup>3</sup> par mètre cube (ou 20% du volume total). La précision altimétrique du DGPS<sup>12</sup> étant estimée à 0.02 m, l'incertitude est estimée à 2% de volume total pour les profils réalisés au DGPS.

L'incertitude planimétrique n'est pas considérée dans cette étude, les profils de plage étant considérés comme homogènes sur une surface de 1 m<sup>2</sup> autour de la mesure (Précision planimétrique : Litto3D® 1 m, DGPS 0.02 m).

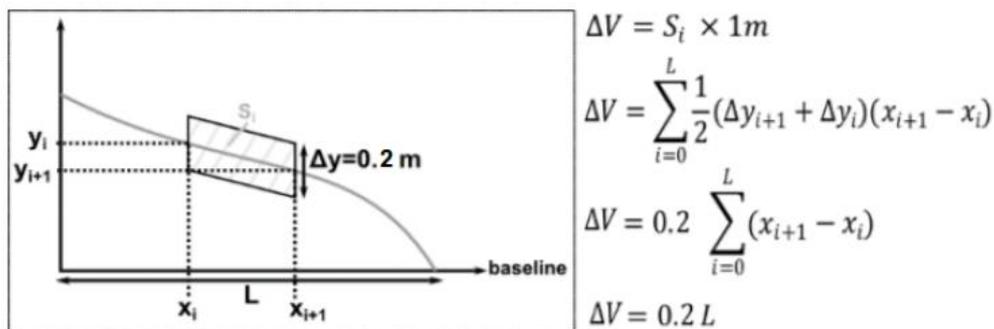


Illustration 11 : Méthode d'estimation des incertitudes sur les volumes selon les travaux de Mahabot (2016)

D'autres incertitudes existent, liées notamment à l'utilisation de jeux de données partiels (profils de plage) ne couvrant pas l'ensemble du secteur d'étude. Celles-ci seront estimées, à dire d'expert, au cas par cas selon le contexte.

<sup>12</sup> Le GPS différentiel (DGPS) permet de mesurer plus précisément une position que le GPS classique. Il utilise un réseau de stations fixes de référence qui transmet en temps réel au système GPS en action sur le terrain, l'écart entre les positions indiquées par les satellites et les positions réelles connues des stations les plus proches des opérations de mesures. Cette méthode permet à l'appareil d'améliorer la qualité de la mesure et d'obtenir une précision centimétrique sur la mesure.

## 3. Résultats

Cette partie présente les démarches et analyses menés sur les différents sites étudiés ainsi que les résultats obtenus.

### 3.1. SAINT-GILLES-LES-BAINS

Les données topographiques utilisées proviennent du MNT Litto3D (2008) et des résultats des deux campagnes de terrain du 14 mai et du 28 juillet 2020. Les campagnes de terrains de 2020 couvrent la zone allant la Pointe des Aigrettes à la plage des Brisants. Seul le Litto3D a été utilisé pour les zones du Mail de Rodrigues et l'Ermitage en raison de la difficulté à acquérir de la donnée topographique du fait de la présence d'une forte couverture végétale (Filaos).

#### 3.1.1. Situation géographique

Le secteur se situe dans la station balnéaire de Saint-Gilles-Les-Bains où un port de plaisance est présent. Celui a été construit entre 1966 et 1971. La station est située au Sud de la baie de Saint-Paul, sur la frange littorale où se trouvent les plages les plus fréquentées de l'île (Illustration 12).

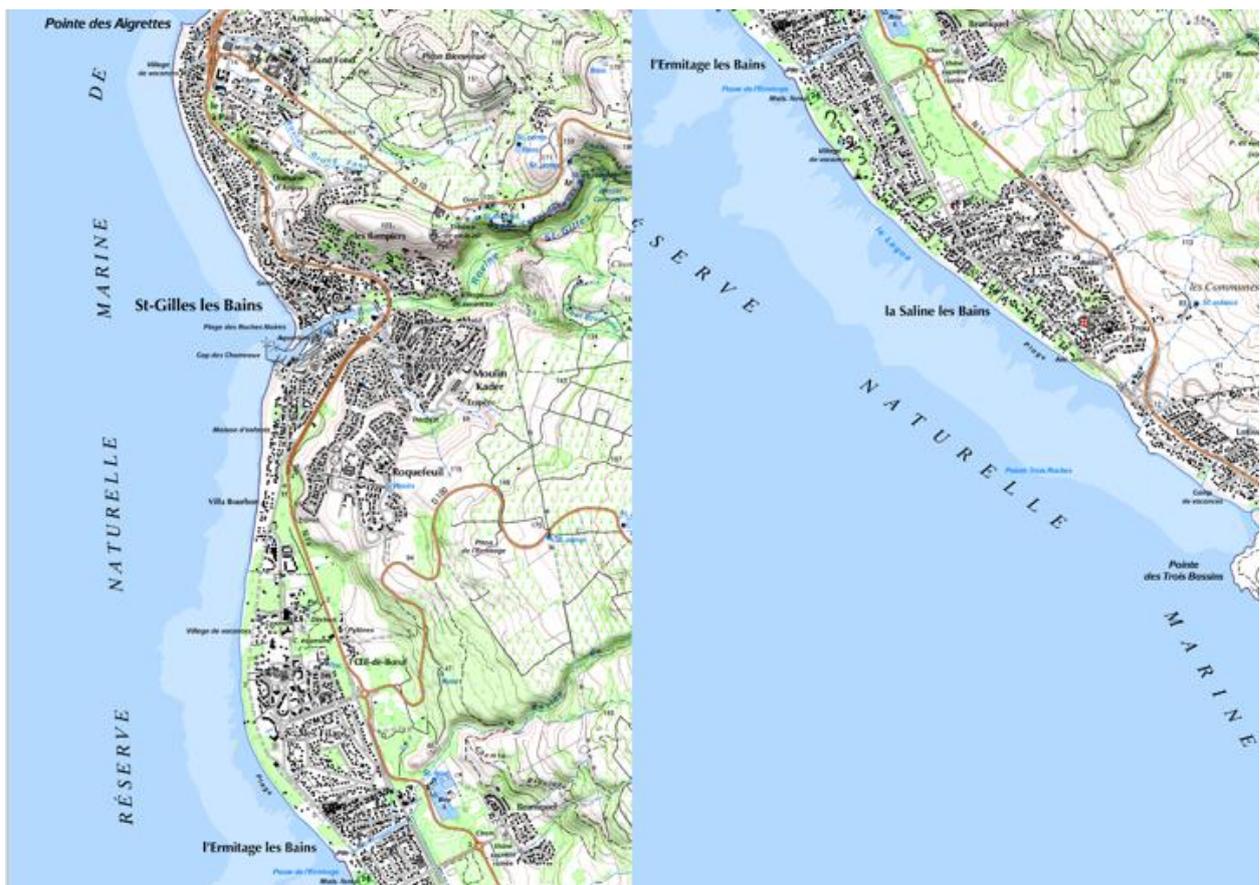


Illustration 12 : Extrait du SCAN25 IGN localisant de la zone d'étude

### 3.1.2. Contexte géomorphologique et hydrosédimentaire et problématique du site

Le secteur se compose de trois cellules hydrosédimentaires<sup>13</sup> (Illustration 13) :

- La première allant de la pointe des Aigrettes au port de Saint-Gilles (CH1) ;
- La seconde allant du port de Saint-Gilles à la passe de l'Ermitage (CH2) ;
- La troisième allant de la passe de l'Ermitage à Trou d'eau (CH3) ;

L'ensemble du secteur est constitué de plages coralliennes dont les sédiments proviennent du récif frangeant. Il est principalement soumis au régime des houles australes de par son exposition ouest, mais peut également être impacté par des houles cycloniques selon la direction et l'intensité de l'événement. Ces houles ont généralement un effet érosif sur les plages de la zone.

Les cellules hydrosédimentaires 1 et 2 (CH1 & CH2) sont séparées par un ouvrage portuaire qui a été construit autour des années 70. L'urbanisation, du fait de la présence d'un mur en haut de plage va jouer un rôle important dans la dynamique du trait de côte (*Durand & Belon, 2021*) en favorisant le départ des sédiments vers le large (forte réflexion de la houle sur l'ouvrage). La présence du port joue également un rôle important dans la dynamique du trait de côte en bloquant les sédiments qui s'accumulent le long de la digue située au sud et qui empêche l'alimentation du secteur situé au nord du Port. Le haut de plage est urbanisé sur la majorité du linéaire de ces cellules. C'est cette problématique qui est principalement traitée dans le cadre de cette étude.

---

<sup>13</sup> Cellule du littoral indépendante du point de vue des transits sédimentaires.

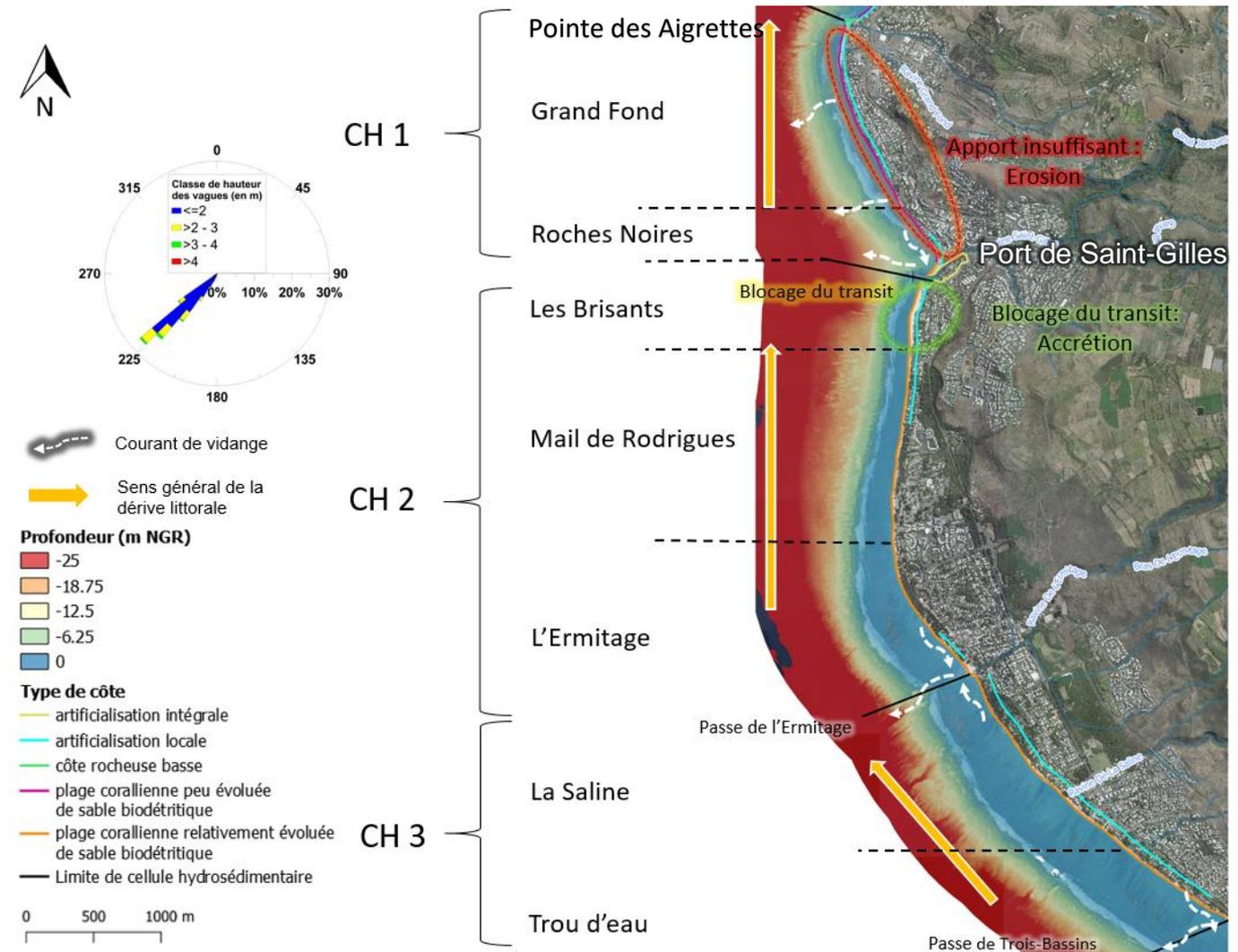


Illustration 13 : Contexte hydrosédimentaire de la zone d'étude montrant l'impact du port de Saint-Gilles sur la dynamique littorale (réalisé à partir de De La Torre, 2004) (Fond : Ortho IGN 2017)

D'une façon générale, le contexte hydrosédimentaire de ce secteur est fortement impacté par la présence du port de Saint-Gilles qui interrompt la dérive littorale responsable du transfert naturel des sédiments du sud vers le nord. Cette interruption provoque un déséquilibre des apports de part et d'autre de l'ouvrage : accrétion au sud sur la plage des Brisants et érosion au nord entre les Roches Noires et Grand Fond (Illustration 13).



Illustration 14 : Constats d'érosion observés sur la CH 1 (a: affouillement au pied d'un mur, b : mise à nu du beachrock suite à une perte de sable, c : déracinement d'un filaos et instabilité d'un mur suite à une perte de sable) (Photos BRGM 2020)

L'effet combiné du port de Saint-Gilles et de l'urbanisation intense du haut de plage a conduit à un phénomène d'érosion important au sein de la CH1. Les plages en déficit sédimentaire sont moins résilientes à des épisodes de fortes houles et la présence d'ouvrages sur le haut de plage va aggraver l'action destructive de ces houles : le phénomène érosif est amplifié (Illustration 15) du fait de la réflexion des houles sur les ouvrages qui emporte le sable vers le large.

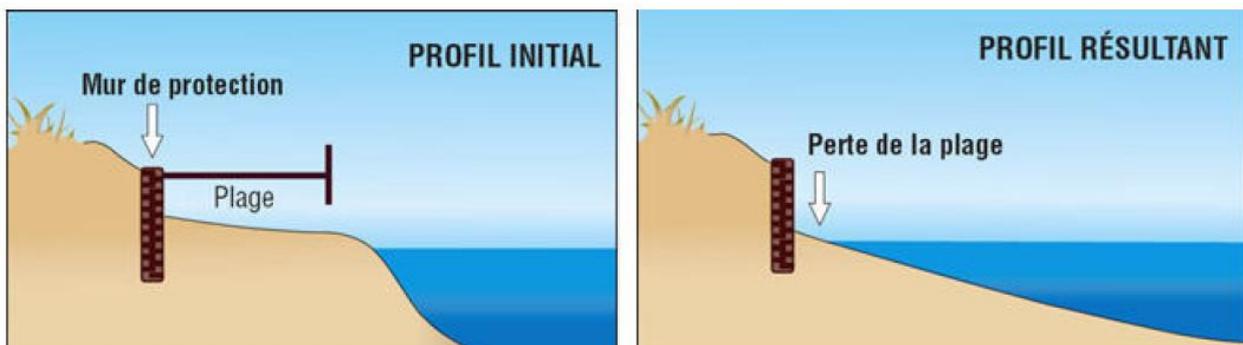


Illustration 15 : Erosion provoquée par la présence d'un ouvrage sur le haut de plage. Les houles ne pouvant plus dissiper leur énergie, le phénomène d'érosion est amplifié

Le secteur de l'Ermitage, plus naturel et non urbanisé sur son haut de plage, connaît également des problématiques d'érosion comme le témoigne le déracinement des filaos, espèce dominante sur le haut de plage. La présence de ces filaos joue un rôle important dans les processus érosifs au même titre que la surfréquentation liée au tourisme balnéaire. Ce type de végétation est connu pour être un amplificateur du phénomène d'érosion à cause de ses racines qui ne fixent pas et retiennent pas suffisamment le sable, et des aiguilles de ses feuilles, trop acides pour permettre l'apparition d'une végétation favorisant la fixation de la dune (Sealey, 2006). Ce type de végétation n'est pas adapté contrairement à d'autres espèces rampantes comme la patate à Durand, connue pour atténuer les houles et fixer les sédiments.



*Illustration 16 : Déracinement de plusieurs filaos sur le haut de plage de l'Ermitage (Photo BRGM 04/07/2018)*

La cellule hydrosédimentaire n°3, plus au sud, possède un haut de plage entièrement urbanisé mais de la végétation dunaire (Patate à Durand, patate cochon, manioc bord de mer) parvient cependant à persister, apportant ainsi une protection supplémentaire contre la houle. Les ouvrages littoraux se trouvent à une distance plus éloignée de la mer sur cette cellule, contrairement à la CH1.



*Illustration 17 : Haut de plage urbanisé et présence de végétation dunaire à la Saline (Photo BRGM 04/07/2018)*

D'un point de vue hydrodynamique, la morphologie récifale conditionne des cellules de circulation délimitées par des chenaux. Le régime des vents, les processus de déferlement et de propagation de la houle au niveau du front récifal dictent aussi la courantologie récifale (Cordier, 2007). Les

passes présentes sur l'ensemble de la zone d'étude (illustration 13) peuvent ainsi induire un départ de sédiments de la plage en dehors du système récifal et ceux-ci deviendront difficilement remobilisables.

Au sein du récif, la circulation se fait préférentiellement en direction du nord, sauf lorsque qu'elles se situent au voisinage de ces passes par lesquelles les masses d'eau sont évacuées par des courants de vidange (inversion locale et occasionnelle de la dérive littorale).

C'est le cas sur les secteurs de Grand Fond, Roches-Noires mais également au niveau du Port de Saint-Gilles où une passe s'est formée en raison de la présence de l'embouchure de la Ravine Saint-Gilles. L'écoulement de la ravine de l'Ermitage a également mené à terme à la formation de la passe de l'Ermitage. Cette passe, particulièrement large, induit de forts courants de vidange à proximité. Au niveau de Trou d'eau, la passe des Trois-Bassins est également responsable d'un important courant de vidange. La présence de ces passes et des courants liés peuvent modifier occasionnellement le sens de la dérive vers le sud alors que celle-ci est généralement orientée vers le nord sur le secteur.

**Cette circulation intra-récifale complexe a une importance dans les transits sédimentaires et doit être prise en compte dans le cadre d'une opération de transfert de sédiments sur l'ensemble de la zone d'étude.**

Le principe du transfert de sédiment est ainsi justifié par l'existence de phénomènes érosifs liés aux différents facteurs évoqués sur la CH1 et le sud de la CH2 (urbanisation, blocage du transit sédimentaire, présence des passes...).

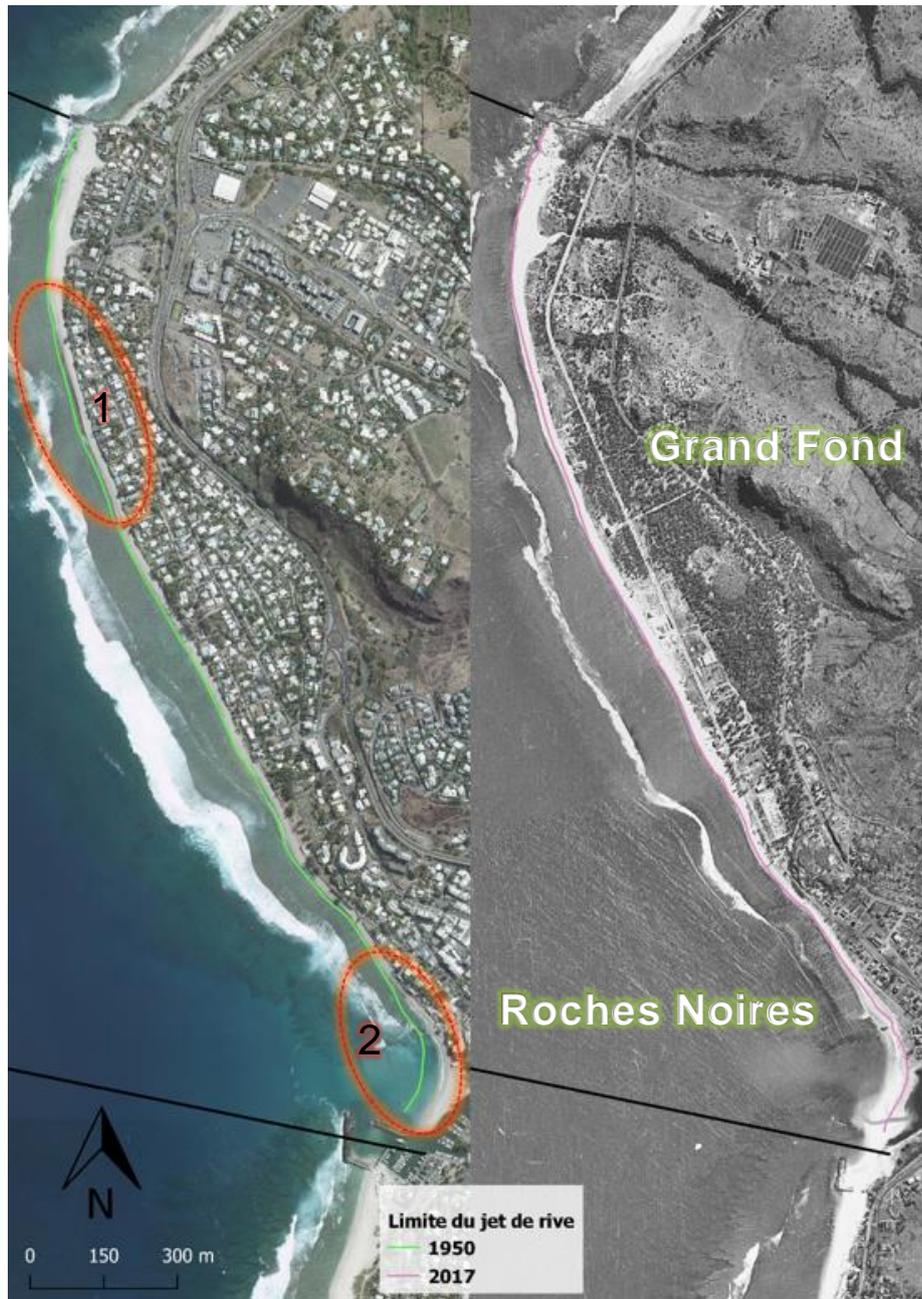
Afin de localiser précisément les secteurs en érosion, une analyse de la dynamique du trait de côte est réalisée. L'objectif est de mettre en évidence ces différentes portions de plage dans l'optique d'un transfert de sédiments depuis les Brisants.

### **3.1.3. Dynamique du trait de côte entre 1950 et 2017**

La dynamique côtière de la zone littorale concernée est abordée par l'analyse diachronique de l'évolution des traits de côte historiques (1950, 1978, 1997, 2003, 2008, 2017).

La station balnéaire de Saint-Gilles-les-Bains a connu une forte urbanisation depuis les années 1950. Ainsi, une grande majorité du linéaire côtier possède aujourd'hui des ouvrages sur son haut de plage. La comparaison des orthophotographies de 1950 et 2017 révèle ce phénomène (illustration 18).

- **Cellule hydrosédimentaire CH1**



*Illustration 18 : Comparaison de la position du trait de côte (limite du jet de rive) entre 1950 (à droite) et 2017 (à gauche) sur la CH1, le haut de plage auparavant naturel a été entièrement urbanisé. Le trait de côte a fortement reculé au niveau des Roches Noires et sur une portion de Grand Fond*

La CH1 a vu son haut de plage être totalement urbanisé entre les années 70 et 80 et la comparaison met en évidence l'érosion du trait de côte sur le linéaire côtier (Illustration 18). L'agrandissement de la jetée portuaire vers les années 70 a accentué le blocage du transit naturel, provoquant un recul de l'ordre de 10 m sur Grand Fond (Encadré 1) et de 45 m sur la plage des Roches Noires (Encadré 2). Au-delà de la dynamique du trait de côte, l'ensemble de la cellule est concernée par des problématiques d'érosion (cf. Illustration 14).

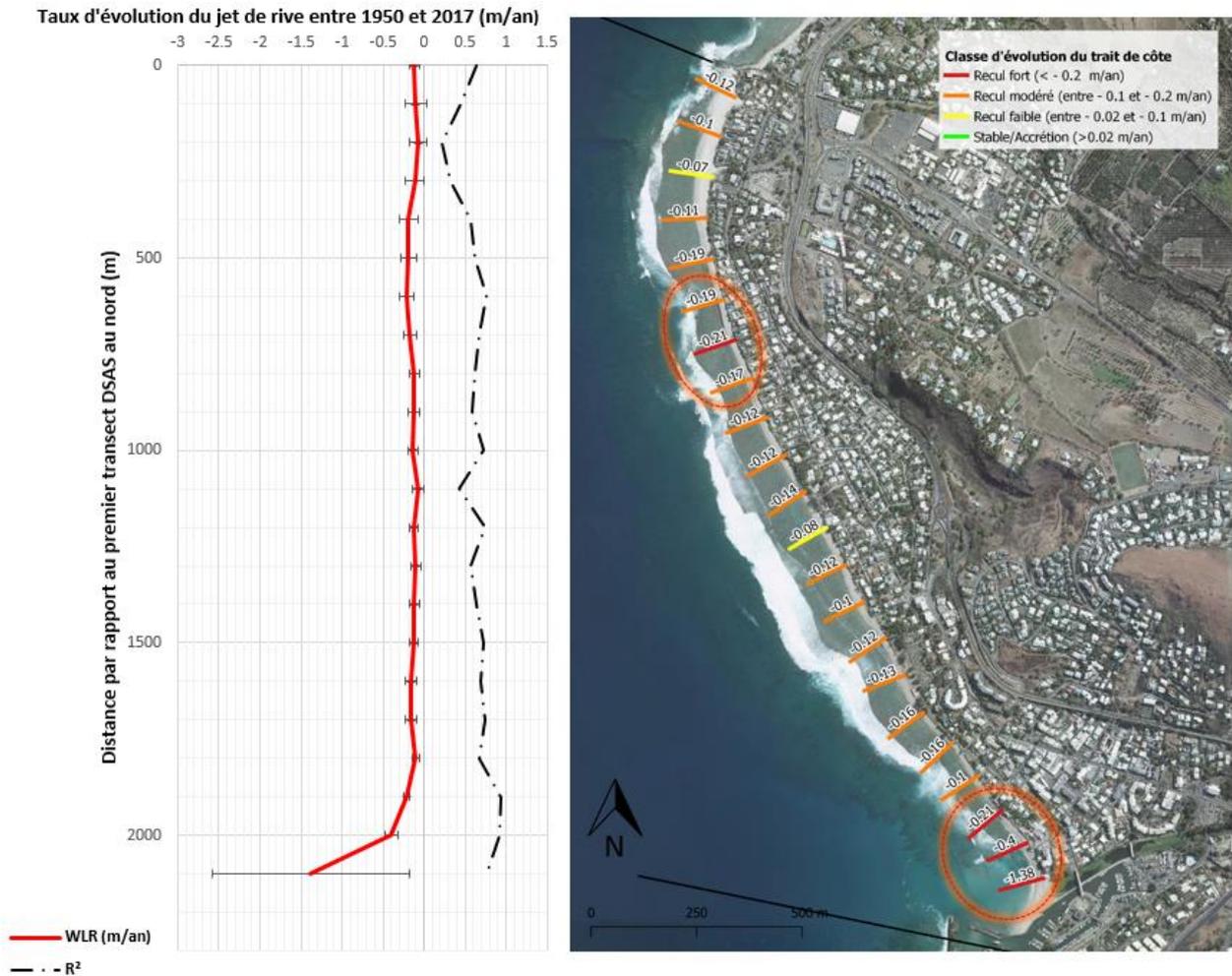


Illustration 19 : Résultats de l'analyse de l'évolution de trait de côte sur la CH 1

L'analyse DSAS entre 1950 et 2017 confirme les observations faites sur l'illustration 18. L'érosion est plus marquée à proximité directe du port, sur la plage des Roches Noires (entre 1900 et 2100 m) avec des reculs allant d'approximativement de -0,2 à plus d'un mètre par an. Sur toute la zone, la moyenne des reculs vaut **-0.15 ± 0.07 m/an** et le coefficient de régression linéaire ( $R^2$ ) a une valeur moyenne de **0.65**.

En analysant le comportement des transects le long de la cellule, il apparaît qu'une première phase de recul apparaît entre 1950 et 1978 d'approximativement **-0,40 m/an** suivie d'une seconde phase d'alternance entre avancée/recul/stabilité (Illustration 20). La présence de beachrock sur l'ensemble de la cellule est un indicateur direct d'un secteur en érosion significative. Or ce même beachrock aura tendance à fixer le trait de côte dans la mesure où celui-ci semblera stable vu du ciel. Par conséquent il est possible qu'entre 1950 et 1978 une importante phase érosive ait eu lieu (à priori de l'ordre de -0,40 m/an contre -0,15 m/an sur l'ensemble de la période), laissant apparaître le beachrock. Cette phase érosive semble concorder avec la période d'urbanisation de Saint-Gilles-les-Bains entre les années 70 et 80. L'évolution du bas de plage entre 1978 et 2017 a donc pu être minimisée par la présence de beachrock et de facto sur la période 1950 – 2017. Ces éléments démontrent l'intérêt de compléter l'étude de la dynamique du trait de côte par une analyse topographique.

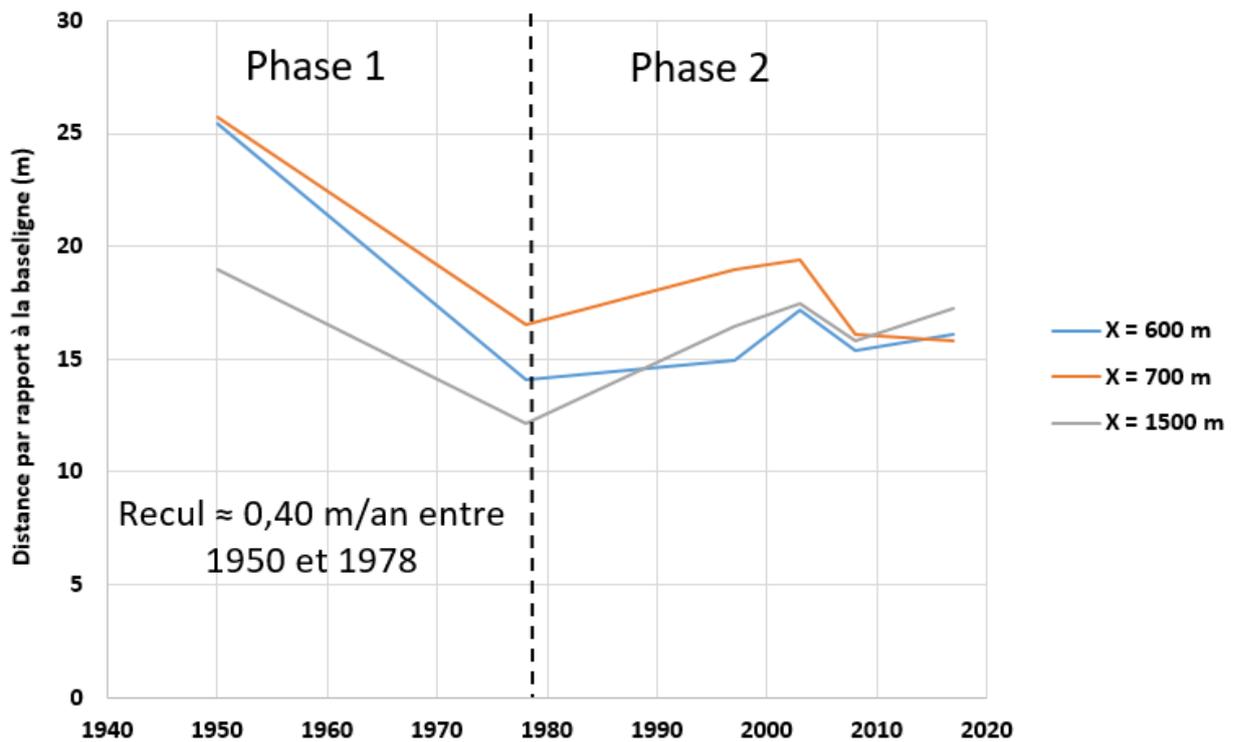


Illustration 20 : Analyse de transects sur la CH1



Illustration 21 : Beachrock sur la CH1, sa présence tend à fixer le trait de côte (BRGM, 2020)

A l'exception de la portion 0-300 m stable située juste au sud de la pointe des Aigrettes, l'ensemble du linéaire peut être considéré comme en érosion. Il est intéressant de noter que

malgré la présence de la pointe des Aigrettes qui devrait entraîner une accumulation de sédiment, le secteur juste au sud n'est pas en avancée.

- **Cellule hydrosédimentaire CH2**

La CH2 a également vu l'apparition d'une forte urbanisation entre 1950 et 2017, notamment au niveau des Brisants et du Mail de Rodrigues avec l'apparition de murs bétonnés et clôtures sur le haut de plage. L'Ermitage reste en revanche majoritairement naturel. Le secteur des Brisants connaît une forte avancée alors que l'Ermitage enregistre au contraire une érosion du trait de côte (Illustration 22).

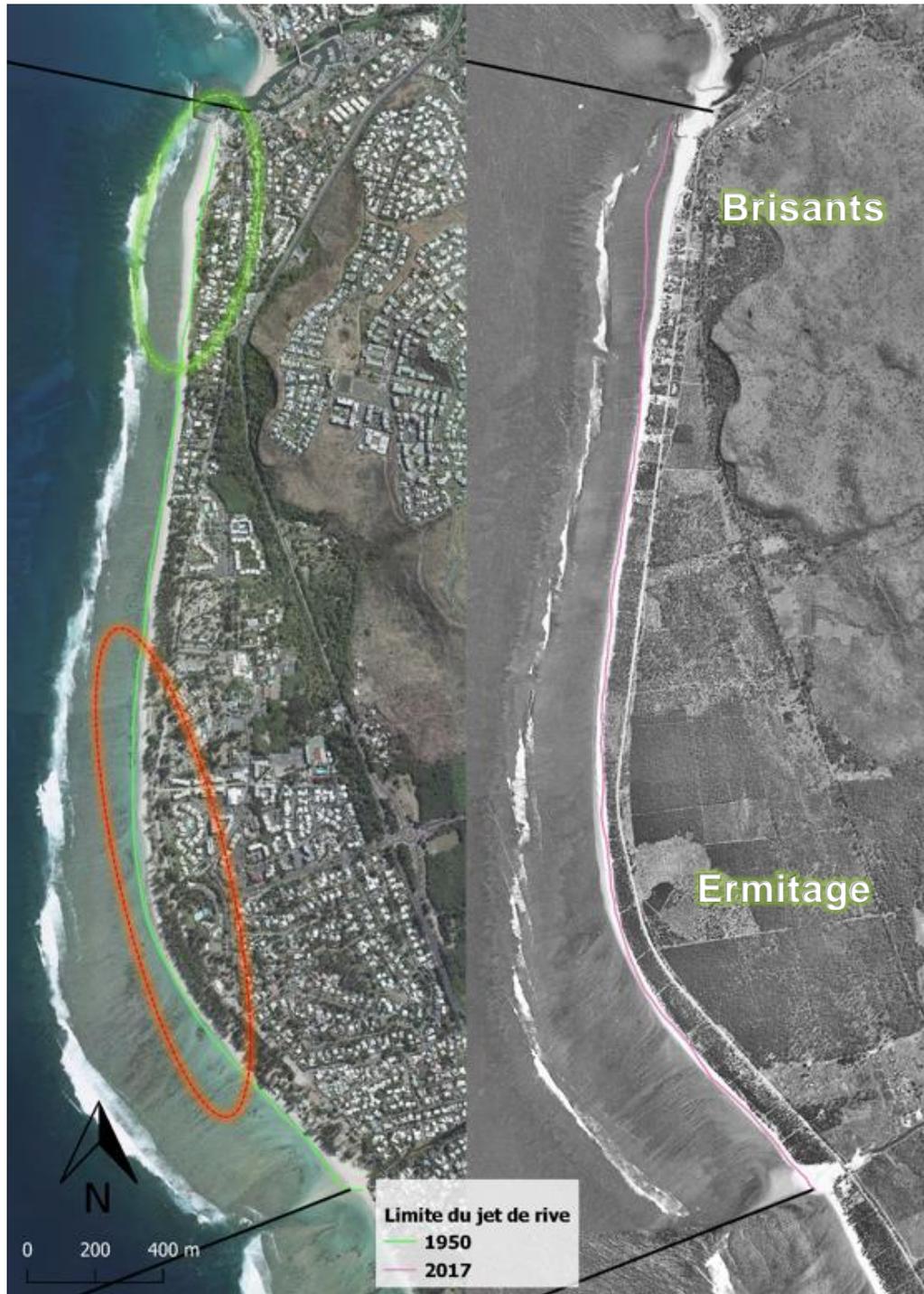


Illustration 22 : Comparaison de la position du trait de côte (limite du jet de rive) entre 1950 (à droite) et 2017 (à gauche) sur la CH2, l'effet du port de Saint-Gilles est visible au niveau du croissant d'accrétion situé juste aux abords. Le trait de côte montre en revanche un recul assez important au sud au niveau de l'Ermitage.

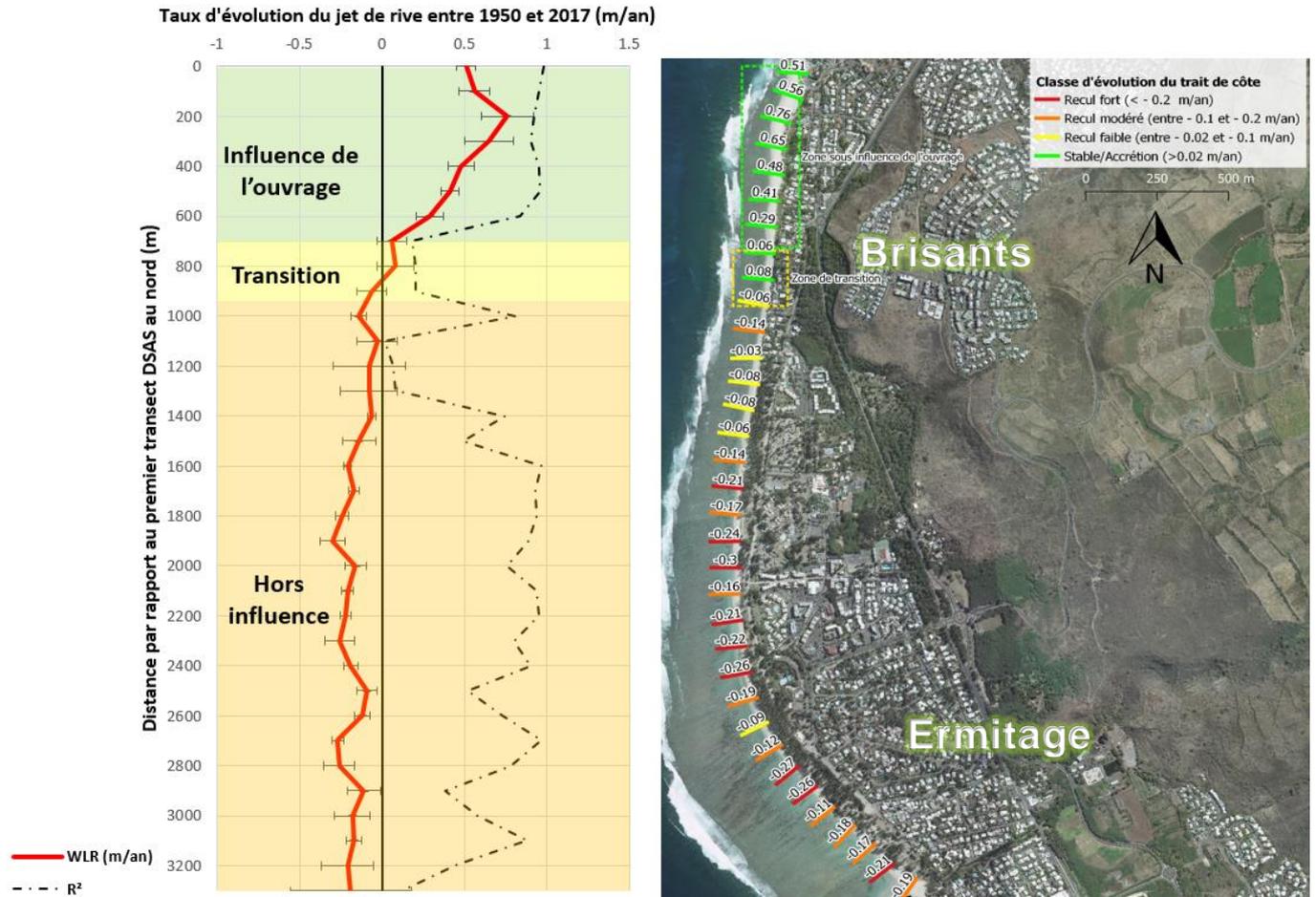


Illustration 23 : Résultats de l'analyse DSAS sur la CH2

A l'instar de la CH1, l'analyse DSAS confirme les premières observations (Illustration 19). Sur le secteur des Brisants, un croissant d'accrétion s'observe entre 0 et 700 m (Illustration 23). L'analyse des taux issus de la loi WLR ainsi que le coefficient de régression (R<sup>2</sup>) met en évidence cette influence du port sur le secteur en amont (Illustration 23). Ainsi, on notera :

- La **zone d'influence** du port qui bénéficie d'une accumulation (entre 0 et 700 m). Cette zone présente un taux d'évolution du trait de côte positif qui diminue avec l'éloignement de l'épi. Sur ce secteur le R<sup>2</sup> étant compris entre 0.8 et 1 (accrétion significative et continue), les taux sont bien représentatifs de l'évolution du littoral. Le taux d'avancée vaut **0.52 ± 0.1 m/an** sur cette portion ;
- Une **zone de transition** (entre 700 et 900 m) où le taux d'évolution reste positif mais avec une chute des valeurs du R<sup>2</sup>. Le taux d'évolution vaut **0.03 ± 0.1 m/an**, ce qui indique que cette portion est stable ;
- La **zone hors de l'influence** de l'ouvrage qui montre deux tendances :
  - La première entre 900 à 1400 m, présentant des taux plus faibles avec un R<sup>2</sup> proche de 0 signifiant des alternances de phases d'avancée et de recul du trait de côte plus ou moins importante en fonction des périodes. Les transects à 900 et 1400 m font exception et montrent un recul significatif (barres d'erreur faibles). La présence de murs en haut de plage peut expliquer ce résultat en raison de l'impact érosif très localisé qu'ils peuvent engendrer ;
  - La seconde commence à partir de 1400 m et présente des taux de recul significatifs sur l'ensemble du linéaire. La moyenne des reculs vaut environ **-0.19**

$\pm 0.08 \text{ m/an}$  et un  $R^2$  en moyenne supérieur à 0.7. Ces résultats démontrent que ce linéaire est en érosion et continue depuis les années 1950. Ainsi ce secteur connaît une problématique de recul du trait de côte surtout vis-à-vis de son contexte naturel et de son haut de plage libre de structures. La présence de filaos et la surfréquentation balnéaire peuvent expliquer ce phénomène.

- **Cellule hydrosédimentaire CH3**



*Illustration 24 : Comparaison de la limite du jet de rive entre 1950 (à droite) et 2017 (à gauche) sur la CH3, la limite de jet de rive semble globalement stable et enregistre une accrétion sur certaines portions*

La CH3 ne semble pas montrer de recul du trait de côte entre 1950 et 2017, au contraire certaines zones d'avancées se dessine. Bien que fortement urbanisé, la présence de végétation dunaire sur ce secteur et la proximité entre le rivage et les ouvrages peuvent expliquer cette résilience (Illustration 17 et Illustration 24).

Le calcul des taux d'évolution (illustration 23) montre une stabilité globale malgré quelques transects en érosion (3 sur 11 transects en érosion significative). Cette cellule semble donc être en bon état et ne présente pas de signes d'érosion La moyenne des taux d'évolution sur l'ensemble de la cellule vaut  $0.02 \pm 0.15 \text{ m/an}$  et le  $R^2$  moyen est 0.2, ces valeurs témoignent donc en faveur d'une cellule au fonctionnement naturel, alternant entre phase de recul et d'avancée. Ce constat est en accord avec la description paysagère de la cellule.

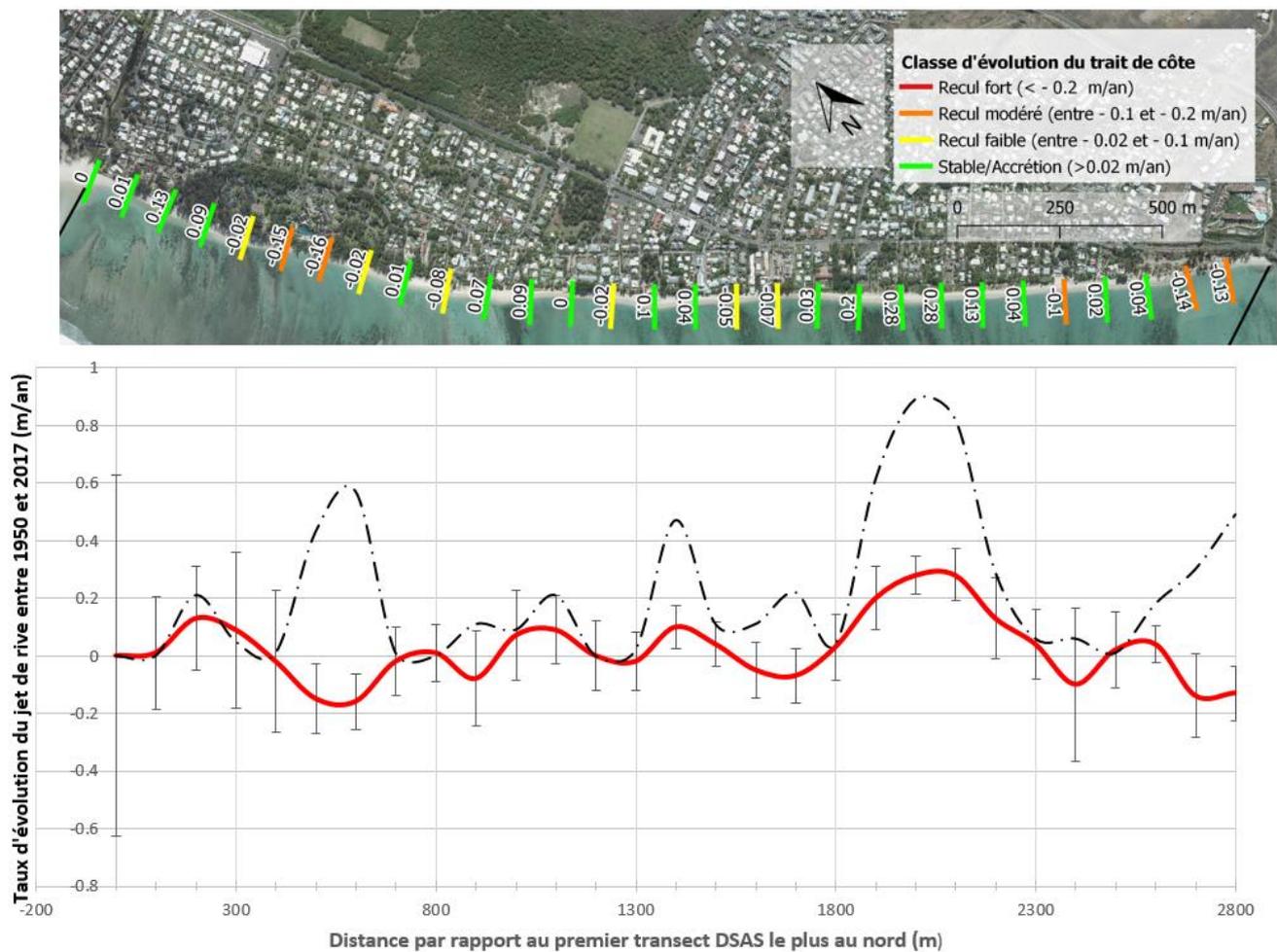


Illustration 25 : Résultats de l'analyse DSAS sur la CH 3

Pour résumer, la dynamique du trait de côte de la zone d'étude montre que :

Au vu des résultats de l'analyse de l'évolution du trait de côte, le secteur des Brisants situé au sud du port présente une avancée du trait de côte d'environ 0.50 m/an sur un linéaire d'environ 700 m. Cette portion peut donc potentiellement servir de stock sédimentaire pouvant être utilisé afin de compenser le manque de sédiments sur les secteurs identifiés en érosion sur la zone d'étude. Ces secteurs sont :

- A l'exception de la portion située juste au sud de la pointe des Aigrettes, l'ensemble de la CH1 présente un recul d'environ -0.15 m/an entre 1950 et 2017 lié en partie à la présence de l'ouvrage portuaire qui bloque les sédiments venant du sud sous l'effet de la dérive littorale. Cette valeur est probablement sous-estimée en raison de la présence de beachrock sur le bas de plage et ne témoigne donc pas de l'intensité réelle de l'érosion. **Le secteur fait l'objet d'une analyse topographique visant à estimer les pertes sédimentaires sur le secteur et compléter l'analyse de trait de côte biaisée par la présence de beachrock;**
- Le linéaire de la CH2 allant de 1400 m à la passe de l'Ermitage (Illustration 23) (Mail de Rodrigues et l'Ermitage) est en recul. Bien que majoritairement naturel, ce secteur est très vulnérable. **L'ensemble de ce linéaire présente un recul du trait de côte et fait l'objet**

**d'une analyse topographique visant à estimer les pertes sédimentaires sur le secteur ;**

- Enfin, le secteur des Brisants situé entre 700 et 900 m montre une certaine stabilité et une dynamique naturelle du trait de côte. Cette zone semble être indiquée dans le choix du **profil de référence pour la CH1** pour l'estimation des volumes sédimentaires. Le secteur au-delà de 950 m est hors influence et soumis à un recul du trait de côte significatif.
- La CH3 est globalement stable. De plus, aucune problématique particulière liée à l'érosion ne semble se révéler. **Ce site ne fait donc pas l'objet d'une analyse topographique.**

Cette première analyse permet d'entrevoir des secteurs potentiellement favorables et défavorables (en avancée et en recul du trait de côte). L'estimation des volumes à partir des données topographiques va permettre de confirmer et d'affiner ces tendances.

### 3.1.4. Estimation des volumes sédimentaires excédentaires vis-à-vis d'un profil de référence

#### **Détermination d'un profil de référence par cellule hydrosédimentaire**

Sur les Brisants, les volumes sédimentaires pressentis par l'analyse DSAS comme excédentaires ou déficitaires (Illustration 26) ont été estimés à partir des profils topographiques réalisés entre mai et juillet 2020 et celles issues du Litto3D.



Illustration 26 : Localisation des profils topographiques sur les CH1 (à gauche) et CH2 (à droite)

- **Profil de référence de la CH1**

Compte tenu de la présence historique de la pointe des Aigrettes, il est impossible d'estimer l'avancée du trait de côte liée au blocage sédimentaire le long de cette pointe. Néanmoins les profils n° 21 et 22 (situés à environ 300 m de la pointe des Aigrettes, au départ de la formation du croissant d'accrétion) s'approchent des caractéristiques d'une plage en bon état. Ils ont donc été sélectionnés comme profils de référence. Ils se situent dans un secteur stable en termes de dynamique du trait de côte et de la végétation dunaire est présente sur le haut de plage (Illustration 27). Le secteur aux abords des profils de référence présente un léger bombement et une largeur de plage comprise entre 20 et 30 m.



Illustration 27 : Photographie de la plage au niveau des profils 21 et 22 (BRGM 2020)

Pour pouvoir comparer différents profils topographiques il est nécessaire de définir une référence commune. Pour différents profils d'une même cellule, il est préférable de les localiser par rapport au 0 m NGR alors que pour un même profil à deux instants différentes le haut de plage est plus pertinent pour suivre l'évolution le long du profil.

La comparaison entre ces « profils de référence » avec les autres profils de la CH1 montre qu'ils sont en grande majorité situés topographiquement en dessous, à l'exception des profils situés au niveau du croissant d'accrétion au sud de la pointe des Aigrettes (P23 à 26) (Illustration 28). L'état dégradé de la CH1 pressentie par l'analyse DSAS est ainsi confirmé par l'analyse topographique.

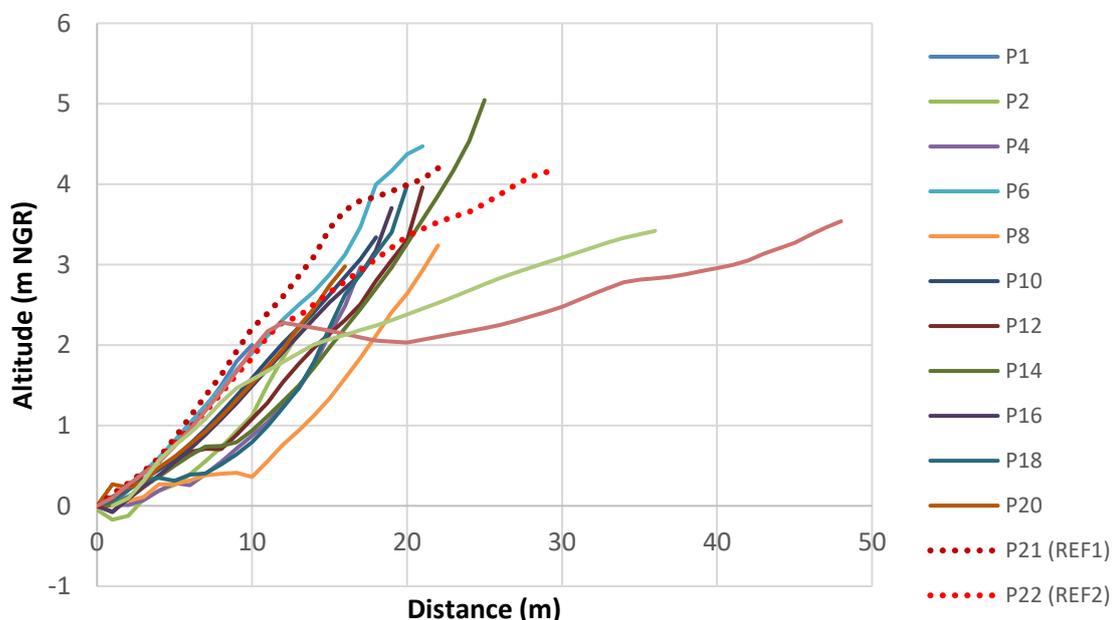


Illustration 28 : Comparaison des profils topographiques de la CH1 (réalisés le 12 juin 2020) avec les profils n°21 et n°22. Le haut de plage varie selon le profil (ouvrage, rupture de pente...)

Entre 2008 et 2020, la gamme de variation du profil 21 est de l'ordre de  $-7 \text{ m}^3$  et celle du P22 est de  $+3 \text{ m}^3$ . Ces variations sont calculées à partir de la différence de volume au-dessus de la côte 0 m NGR (Illustration 29).

Afin de prendre en compte la variabilité spatiale du secteur, les profils 21 et 22, seront utilisés comme profils de référence. La variabilité temporelle de ces profils est également prise en compte en réalisant un profil moyen à partir de la campagne de juin 2020 et des données Litto3D.

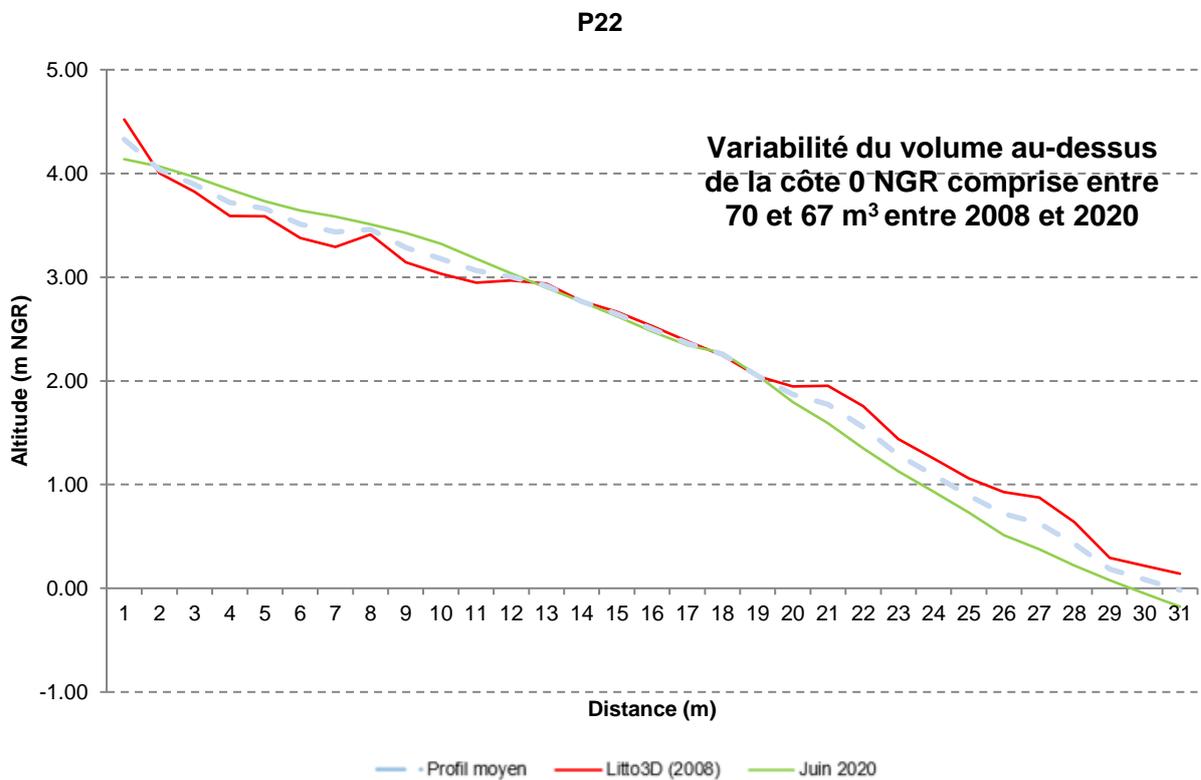
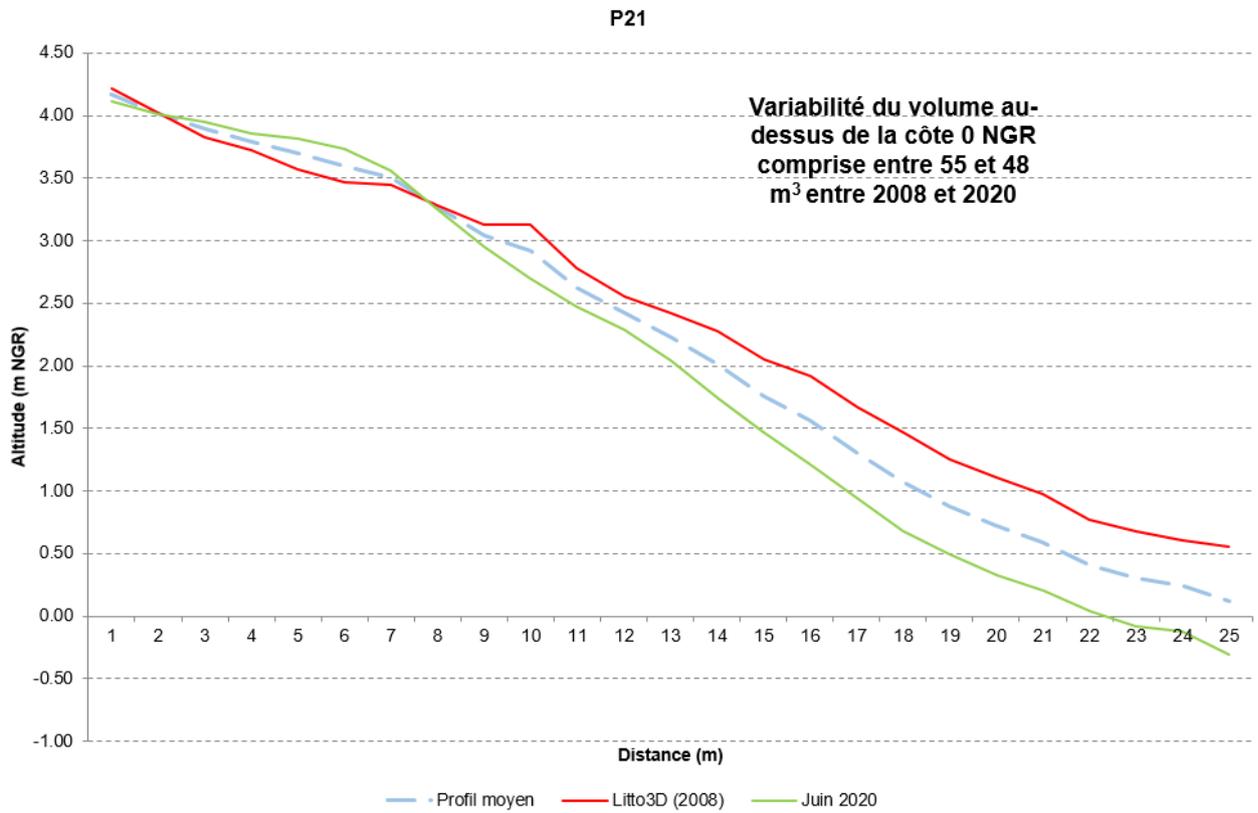


Illustration 29 : Variabilité des profils 21 et 22 entre 2008 et 2020

- **Profil de référence de la CH2 (Hors P1)**

Le profil de référence envisagé (n°15) au sein de la CH2 est localisé dans la zone de stabilité du trait de côte identifiée à travers l'analyse de la dynamique du trait de côte pour ne pas être influencé par l'accumulation de sédiments liée à la présence de l'ouvrage portuaire (Illustration 26).

En comparant certains profils topographiques de la zone des Brisants (Zone sous influence + Zone de transition), il apparaît qu'ils présentent tous des morphologies assez similaires à l'exception de la largeur, plus grande entre les profils 2 et 7 (entre 25 et 30 mètres contre plus de 35 m sur la zone en accrétion). Le profil n°15 culmine à environ 3.25 m NGR, ce qui est plus que la moyenne au sein de la zone de transition.

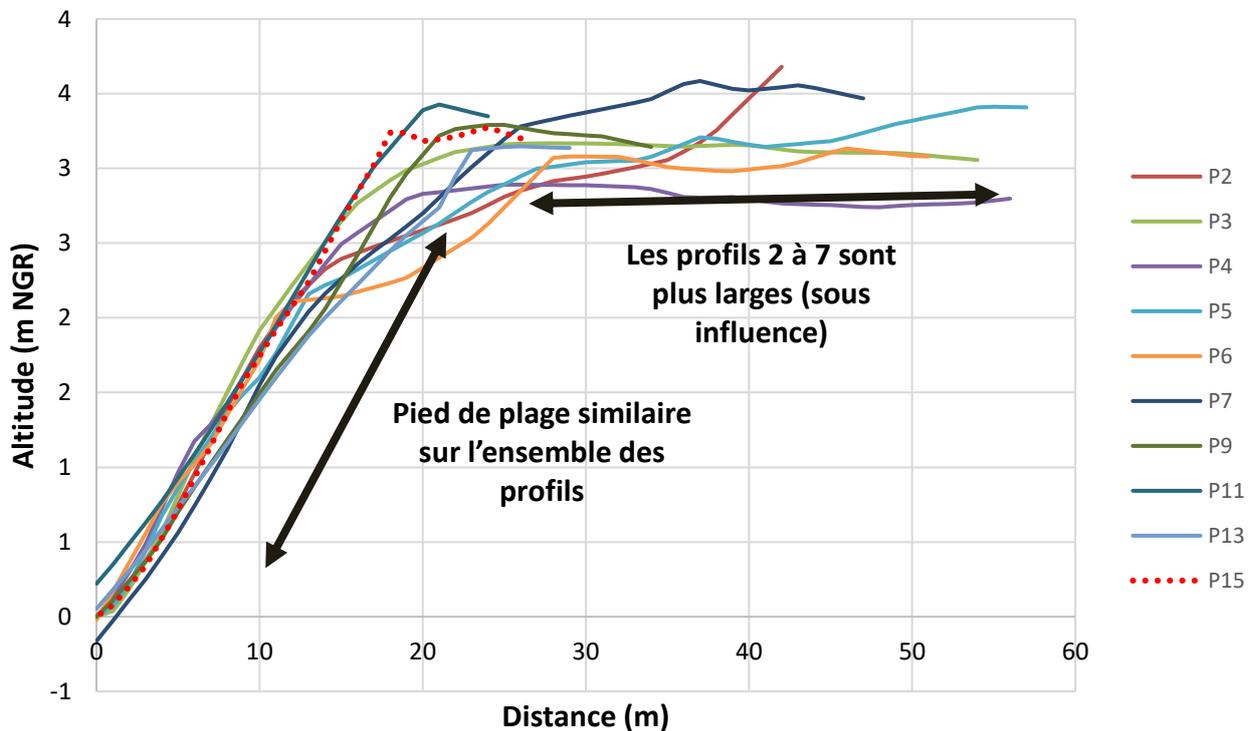


Illustration 30 : Comparaison des profils topographiques réalisés le 14 juillet 2020 sur le secteur des Brisants (CH2)

Faute de campagnes de mesure sur les secteurs du Mail de Rodrigues et l'Ermitage, le Litto3D (2008) a été utilisé. L'analyse des profils situés sur le linéaire en érosion de la CH2 (Mail de Rodrigues et Ermitage)

Illustration 31) montre des altitudes plus faibles par rapport au profil de référence P15. Le profil de référence est donc représentatif d'un meilleur état, confirmant la cohérence de son choix.

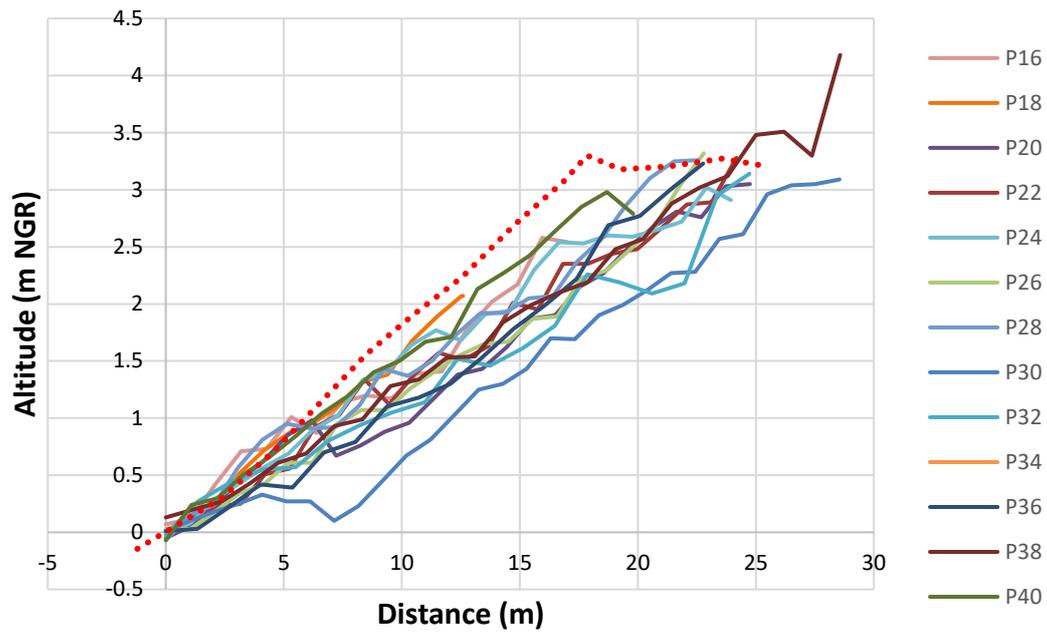


Illustration 31 : Comparaison des profils topographiques 16 à 40 de la CH2 (Litto3D) avec le profil n°15 de la CH2 (profil de référence)



Illustration 32 : Photographies de la plage au niveau du profil de référence (Photos : BRGM 14/07/2020)

D'un point de vue morphologique, le secteur aux abords du profil de référence présente une pente douce (environ 7°) et une largeur de plage d'environ 30 m, et la végétation dunaire est présente (*Patate à Durand*) (Illustration 32). Entre 2008 et 2020 le profil n°15 montre une certaine stabilité avec une faible variation de son volume par rapport à 0 m NGR (48 m<sup>3</sup> en 2008, 51 m<sup>3</sup> en juin 2020 et 52 m<sup>3</sup> en juillet 2020) (Illustration 33). Tous ces éléments sont le signe d'une plage stable et en bon état par rapport aux secteurs en érosion, et confirment le choix du profil de référence de la CH2.

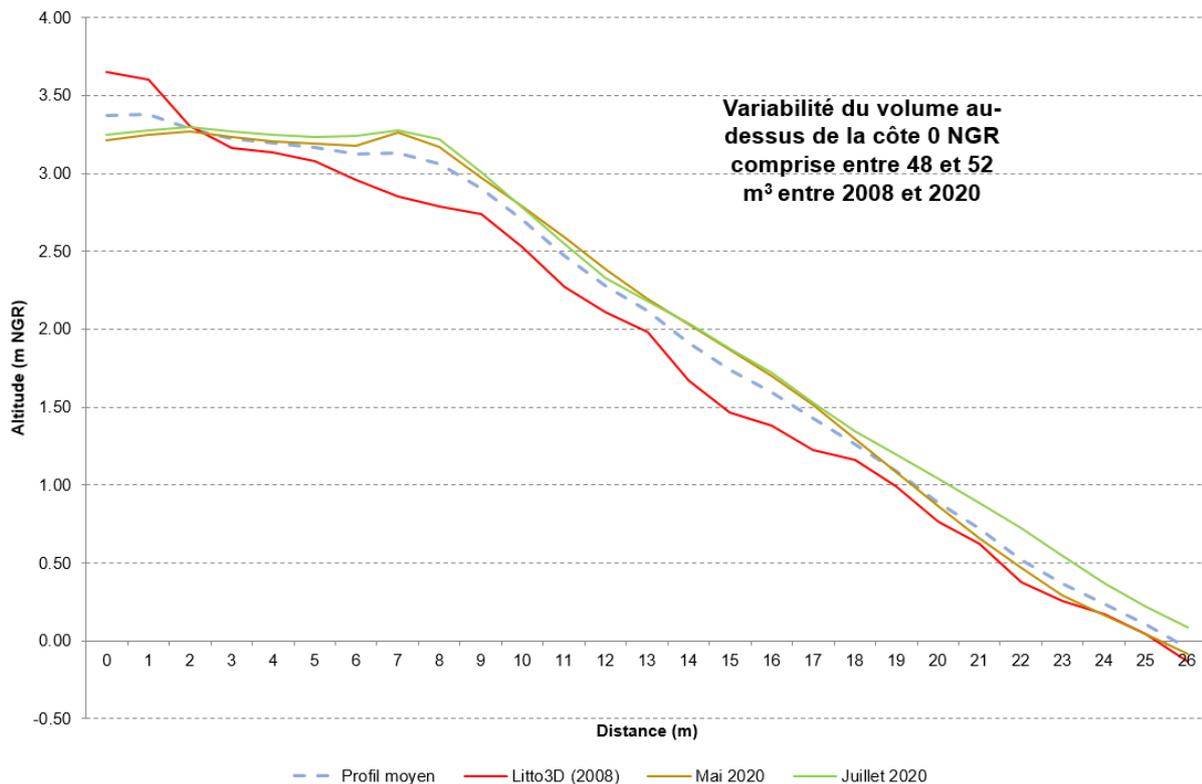


Illustration 33 : Variabilité du profil de référence entre 2008 et de nos jours

La variabilité temporelle du profil de référence est prise en compte en réalisant un profil moyen à partir des campagnes de mai, juin et juillet 2020 et des données Litto3D.

- **Cas particulier la jetée portuaire (P1)**

Le secteur situé à proximité directe de la jetée portuaire fait l'objet d'une attention particulière, en effet lors des épisodes de fortes houles le surplus de sable se déverse en arrière plage et dans l'enceinte portuaire. Afin de limiter ce phénomène la côte max atteinte par les sédiments en haut de plage doit être inférieure à l'altitude de l'enrochement (3,2 m NGR). Sur ce secteur le profil de référence n'est donc pas adapté car il culmine également à environ 3 m NGR (Illustration 35). Il faut plutôt un profil qui limite la surverse comme celui de juillet 2020 qui atteint environ 2 m NGR et qui présente des caractéristiques en bas de plage similaires au profil de référence.

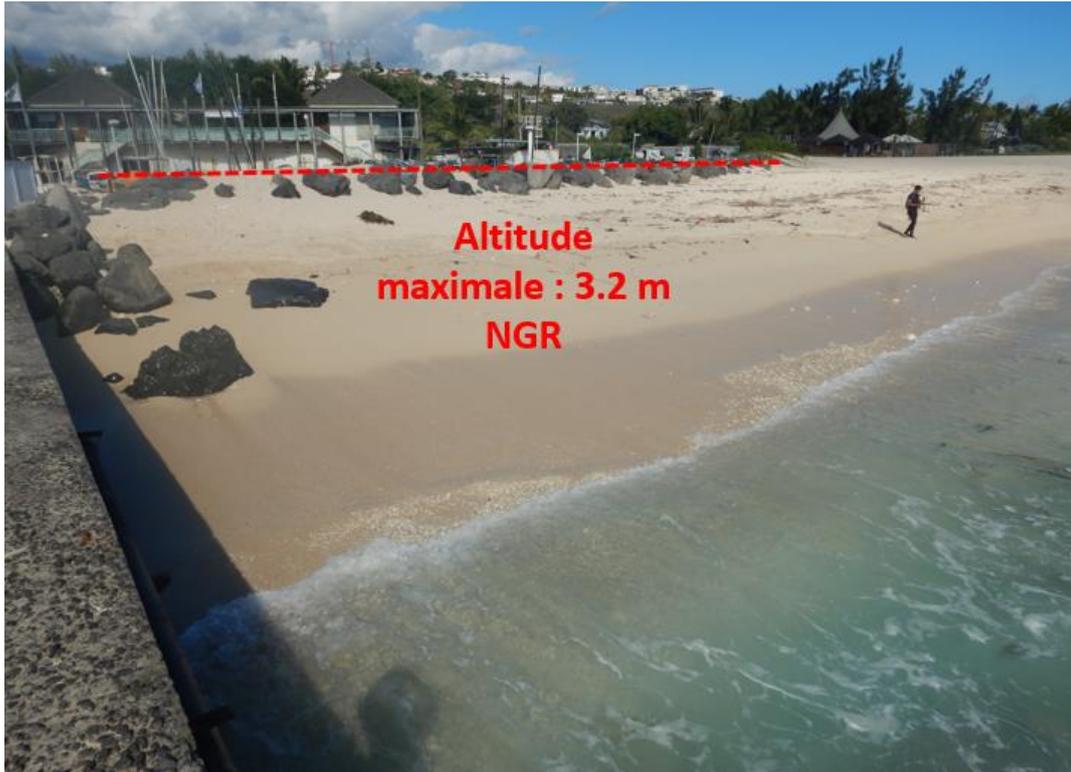


Illustration 34 : Secteur soumis à des phénomènes de surverse, l'altitude du profil de plage ne doit pas excéder celle de l'enrochement mesurée à 3.2 m NGR

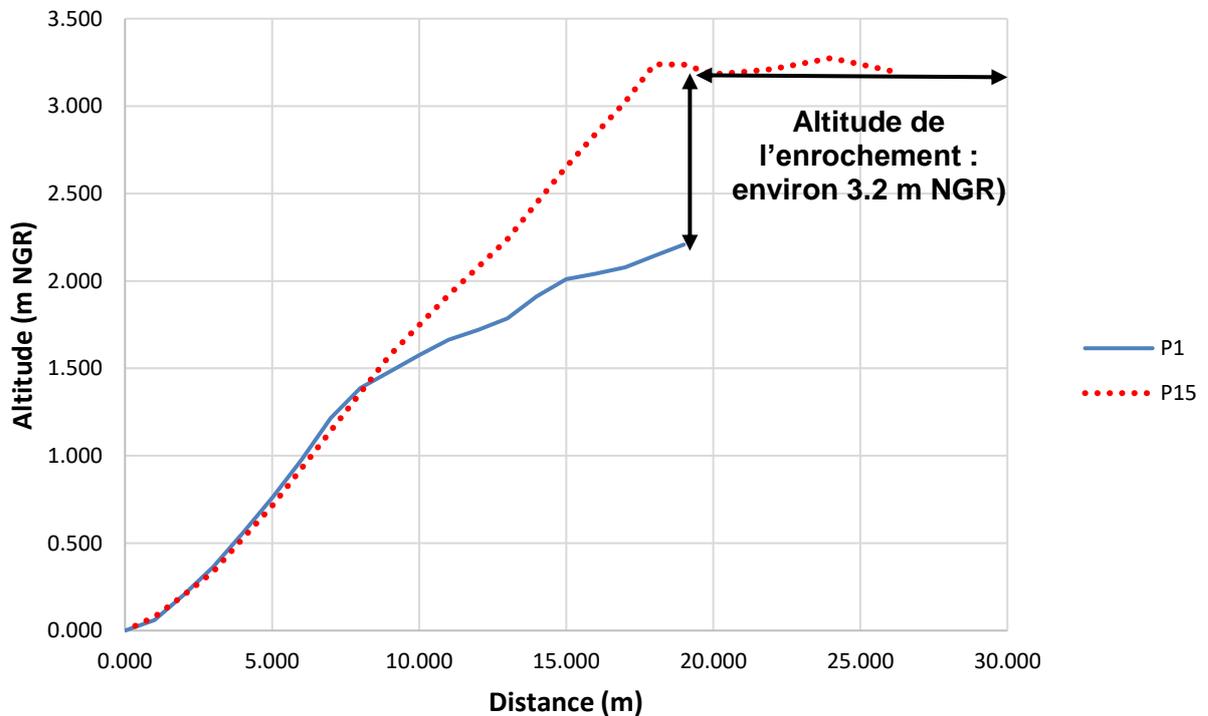


Illustration 35 : Cas particulier du profil 1 situé à proximité directe de la jetée portuaire (Données juillet 2020)

La détermination des profils de référence va permettre de réaliser des estimations de volumes excédentaires et déficitaires sur chacune des cellules hydrosédimentaires de la zone d'étude.

### **Estimation des volumes par cellule hydrosédimentaire**

- **Bilan volumique excédentaire des Brisants (CH2)**

Les campagnes de terrain ont permis de mettre en évidence la portion de plage où le volume est largement excédentaire par rapport au profil de référence P15 (de P2 à P7) (Tableau 2).

	Volume au-dessus de 0 m NGR (m <sup>3</sup> )			Différence de volume par rapport au profil de référence P15 (m <sup>3</sup> )		
	Litto 3D (2008)	14 mai 2020	28 juillet 2020	Litto 3D (2008)	14 mai 2020	28 juillet 2020
P2	95	95	90	45	45	40
P3	115	140	140	65	90	90
P4	100	135	135	50	85	85
P5	115	145	140	65	95	90
P6	90	120	105	40	70	55
P7	100	120	115	50	70	65
<b>P15 (Réf)</b>		<b>50</b>			<b>0</b>	
<b>Total extraction (m<sup>3</sup>)</b>	<b>615</b>	<b>755</b>	<b>725</b>	<b>315</b>	<b>455</b>	<b>425</b>

Tableau 2 : Volumes estimés pour la campagne de mai et juillet 2020. Tous les résultats ont été arrondis et minorés à 1 m<sup>3</sup> près.

Entre 2008 et la campagne de mai 2020 le volume de sédiment de la zone d'accumulation (P2 à P7) a augmenté d'environ 44% par rapport au 0 m NGR, ce qui confirme l'intérêt du prélèvement à cet endroit. Entre mai et juillet, ce stock a diminué d'environ 4% probablement en raison des deux épisodes de houles australes survenues durant l'hiver 2020.

Pour estimer le volume excédentaire à l'échelle du secteur, des casiers d'extrapolation autour des profils ont été définis afin d'extrapoler ces différences de volumes par rapport au profil de référence (Illustration 36).

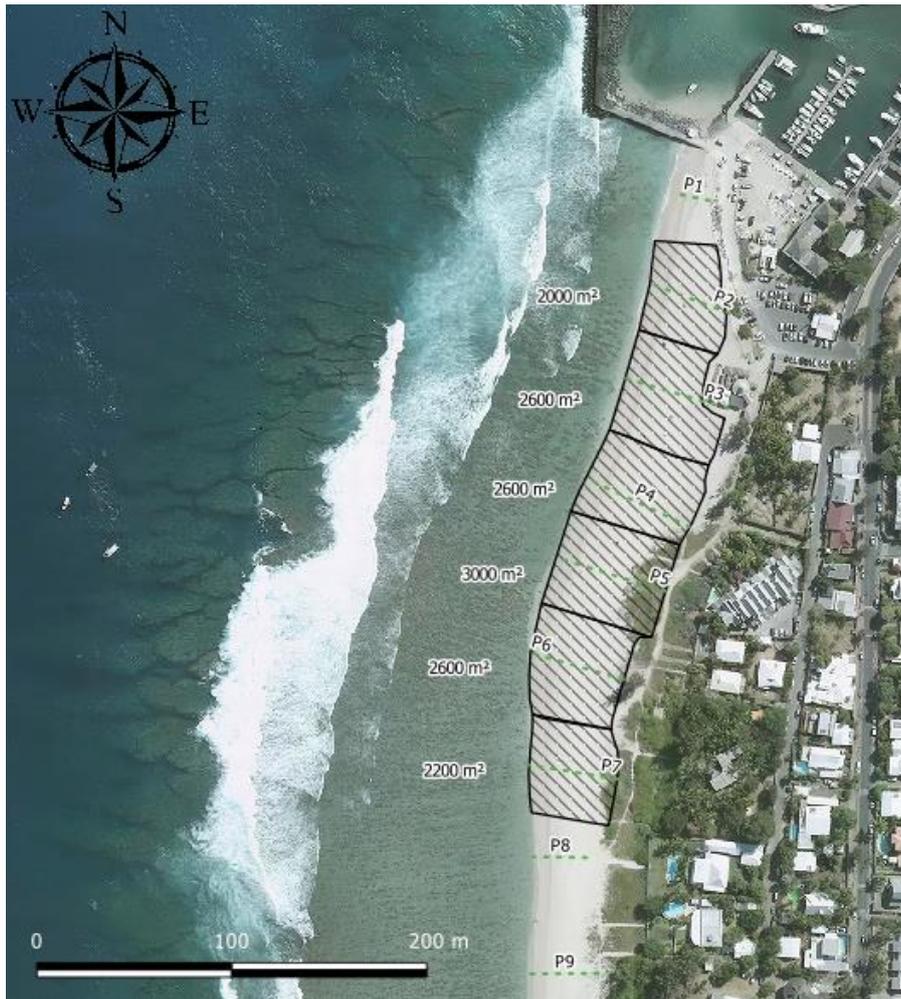


Illustration 36 : Casiers d'extrapolation autour des profils excédentaires avec les surfaces associées (Fond : Ortho IGN 2017)

Pour chacune des campagnes, les volumes excédentaires estimés sont :

- Volume excédentaire estimé sur la base du Litto3D © de 2008 : **17000 ± 3500 m<sup>3</sup>**

Comparativement la méthode des rasters réalisée à partir du profil de référence (Mai 2020) et également du Litto3D (2008) donne un volume excédentaire de **24000 ± 5000 m<sup>3</sup>**. Les ordres de grandeurs des méthodes basées sur Litto3D sont donc similaires, ce qui tend à confirmer la pertinence des résultats.

- Volume excédentaire estimé sur campagne du 14 mai 2020 : **22000 ± 500 m<sup>3</sup>**
- Volume excédentaire estimé sur campagne du 28 juillet 2020 : **21000 ± 500 m<sup>3</sup>**

Les résultats ont été arrondis et minorés à 500 m<sup>3</sup> près.

L'estimation du volume sur ce secteur est réalisée à partir de la méthode des casiers sur les campagnes de 2020, celle-ci étant moins optimiste. Le stock sédimentaire disponible sur la plage des Brisants est ainsi évalué à **21500 ± 500 m<sup>3</sup>** sur la portion comprise entre les profils **P2** et **P7** (Illustration 36).

- **Bilan volumique déficitaire : la CH1**

L'analyse a été effectuée sur les profils potentiellement déficitaires du secteur entre les Roches Noires et la Pointe des Aigrettes (Tableau 3).

	Volume au-dessus de 0 m NGR (m <sup>3</sup> )			Différence de volume par rapport au profil de référence P21 (m <sup>3</sup> )		
	Litto 3D (2008)	12-juin-20	28-juil-20	Litto 3D (2008)	12-juin-20	28-juil-20
P1	14	8	6	-39	-45	-47
P2	26	17	17	-27	-36	-36
P3	22	10	11	-31	-43	-42
P4	30	18	19	-23	-35	-34
P5	30	15	14	-23	-38	-39
P6	51	43	37	-2	-10	-16
P7	41	33	29	-12	-20	-24
P8	35	23	23	-18	-30	-24
P9	41	33	36	-12	-20	-17
P10	40	33	28	-13	-20	-25
P11	49	44	38	-4	-9	-15
P12	32	29	33	-21	-24	-20
P13	34	28	27	-19	-25	-26
P14	49	44	42	-4	-9	-11
P15	31	23	21	-22	-30	-32
P16	34	27	23	-19	-26	-30
P17	28	22	23	-25	-31	-30
P18	35	25	22	-18	-28	-31
P19	26	23	22	-27	-30	-31
P20	24	20	20	-29	-33	-33
<b>Total déficitaire (m<sup>3</sup>)</b>	<b>672</b>	<b>518</b>	<b>491</b>	<b>-388</b>	<b>-542</b>	<b>-563</b>

Tableau 3 : Volumes estimés pour les campagnes de juin et juillet 2020 à partir du profil de référence P21. Tout les résultats ont été arrondis et majorés à 1 m3 près

Le secteur déficitaire (P1 à P20) par rapport au profil de référence P21 a vu son stock sédimentaire diminuer d'environ 39% entre les données de 2008 et juin 2020. Ces résultats confirment que le secteur est en érosion vis-à-vis de l'analyse de l'évolution du trait de côte. Suite aux houles australes de juillet 2020, ce stock a à nouveau diminué d'environ 5% par rapport à la campagne de juin. Les houles australes ont un impact érosif notable sur la CH1.

Pour l'estimation du volume déficitaire du secteur, l'échantillonnage des profils au sein de la CH1 étant moins régulier qu'aux Brisants, la méthode des casiers d'extrapolation utilisée précédemment ne peut être appliquée. Pour y palier, on approxime la distance moyenne entre les profils à 65 m en divisant le linéaire concerné par le nombre de profil (20 profils sur 1300 m). Les différences de volumes sont extrapolées sur cette distance.

De cette manière, pour chacune des campagnes, les volumes déficitaires estimés sont :

*Par rapport au profil de référence P21 :*

- Volume déficitaire estimé sur la base du Litto3D ® de 2008 : **25500 ± 5000 m<sup>3</sup>**
- Volume déficitaire estimé sur campagne du 12 juin 2020 : **35500 ± 700 m<sup>3</sup>**
- Volume déficitaire estimé sur campagne du 28 juillet 2020 : **36000 ± 750 m<sup>3</sup>**

Les résultats ont été arrondis et majorés à 500 m<sup>3</sup> près.

*Par rapport au profil de référence P22 :*

- Volume déficitaire estimé sur la base du Litto3D ® de 2008 : **45000 ± 9000 m<sup>3</sup>**
- Volume déficitaire estimé sur campagne du 12 juin 2020 : **55000 ± 1500 m<sup>3</sup>**
- Volume déficitaire estimé sur campagne du 28 juillet 2020 : **57000 ± 1500 m<sup>3</sup>**

Les résultats ont été arrondis et majorés à 500 m<sup>3</sup> près.

Ce site possédant deux profils de référence, la méthode des rasters n'a pas été appliquée. En réalisant la moyenne des résultats obtenus à partir des profils de référence P21 et P22, le stock sédimentaire déficitaire au sein de la CH1 est estimé à partir de la moyenne des extrema calculés (entre **25500 et 57000 ± 1500 m<sup>3</sup>**) à savoir **41000 ± 5000 m<sup>3</sup>**.

- **Bilan volumique déficitaire : la CH2 entre Mail de Rodrigues et Ermitage**

En raison de l'absence de campagne de terrain sur ce secteur en 2020, seules les données Litto3D ont été exploitées. La grande majorité des profils du linéaire possède un volume inférieur à celui du profil de référence P15. A l'instar de la CH1, les différences de volumes calculés sont extrapolées sur 100 m (distance entre les profils).

Ainsi le volume déficitaire calculé sur la base du Litto3D ® de 2008 est estimé à **47000 ± 10000 m<sup>3</sup>**.

La méthode des rasters réalisée à partir du profil de référence indique un volume déficitaire de **50000 ± 10000 m<sup>3</sup>**. Les résultats sont donc très proches en terme d'ordre de grandeur.

Néanmoins des campagnes complémentaires seraient nécessaires pour obtenir une estimation plus précise. Le volume de **48500 ± 10000 m<sup>3</sup>** est retenu pour ce site.

	Volume au-dessus de 0 m NGR (m <sup>3</sup> )	Différence de volume par rapport au profil de référence P15 (m <sup>3</sup> )
P16	33	-17
P17	41	-9
P18	41	-9
P19	18	-32
P20	30	-20
P21	21	-29
P22	52	2
P23	47	-3
P24	30	-20

P25	27	-23
P26	37	-13
P27	33	-17
P28	35	-15
P29	23	-27
P30	30	-20
P31	33	-17
P32	37	-13
P33	67	17
P34	37	-13
P35	25	-25
P36	34	-16
P37	24	-26
P38	11	-39
P39	12	-38
P40	21	-29

Tableau 4 : Volumes estimés sur le linéaire en érosion de la CH2 à partir de Litto3D. Tout les résultats ont été arrondis et majorés à 1 m3 près

#### **Bilan du site de Saint-Gilles :**

Le bilan des sédiments excédentaire sur ce secteur est estimé à environ  $21500 \pm 500 \text{ m}^3$ , sur la plage des Brisants située au sud du port de Saint-Gilles. Malgré des volumes inférieurs aux déficits mis en évidence, deux scénarios de transferts sont envisageables pour ce stock sédimentaire :

- Un transfert vers le secteur de l'Ermitage, situé en aval-dérive au sein de la même cellule hydrosédimentaire où le déficit sédimentaire a été estimé  $48500 \pm 10000 \text{ m}^3$ . Le déficit est ainsi supérieur au volume excédentaire estimé qui ne permettrait pas de retrouver un profil en équilibre sur la totalité du secteur. A terme, les sédiments sont voués à revenir sur la plage des Brisants sous l'effet de la dérive Sud-Nord. Ce scénario est donc provisoire et ne permettrait pas de résoudre définitivement le phénomène d'accumulation et d'ensablement du port ;
- Un transfert vers la cellule hydrosédimentaire CH1 située au nord du port (entre les Roches Noires et la Pointe des Aigrettes), où le déficit sédimentaire a été estimé  $41\ 000 \pm 5000 \text{ m}^3$ . Néanmoins l'excédent est insuffisant pour retrouver un profil en équilibre sur l'ensemble de la CH1. D'un point de vu réglementaire, ce scénario pourrait faire l'objet d'une attention particulière en raison du déplacement de sédiments d'une cellule hydrosédimentaire à une autre. ;

Le volume excédentaire des Brisants n'est pas suffisant pour retrouver une plage en équilibre sur les deux secteurs en déficit mis en évidence. Malgré tout, cela n'écarte pas l'intérêt de réaliser des transferts sédimentaires (ou tout autre opération de déplacement) notamment dans le cadre d'opérations de renforcement en prévention de fortes houles. Il est important de prendre en compte le contexte récifal du secteur lors de toute opération de déplacement et notamment la présence de passes, susceptibles d'induire d'importants courants de vidange et potentiellement un départ de sédiments vers le large. Cela doit faire l'objet d'une attention particulière dans le

choix des zones de dépôts. Ces résultats justifient de l'opportunité de mettre en place un Plan de Gestion des Sédiments sur l'ensemble de la zone. Les résultats sont synthétisés sur l'illustration 37 ci-dessous.

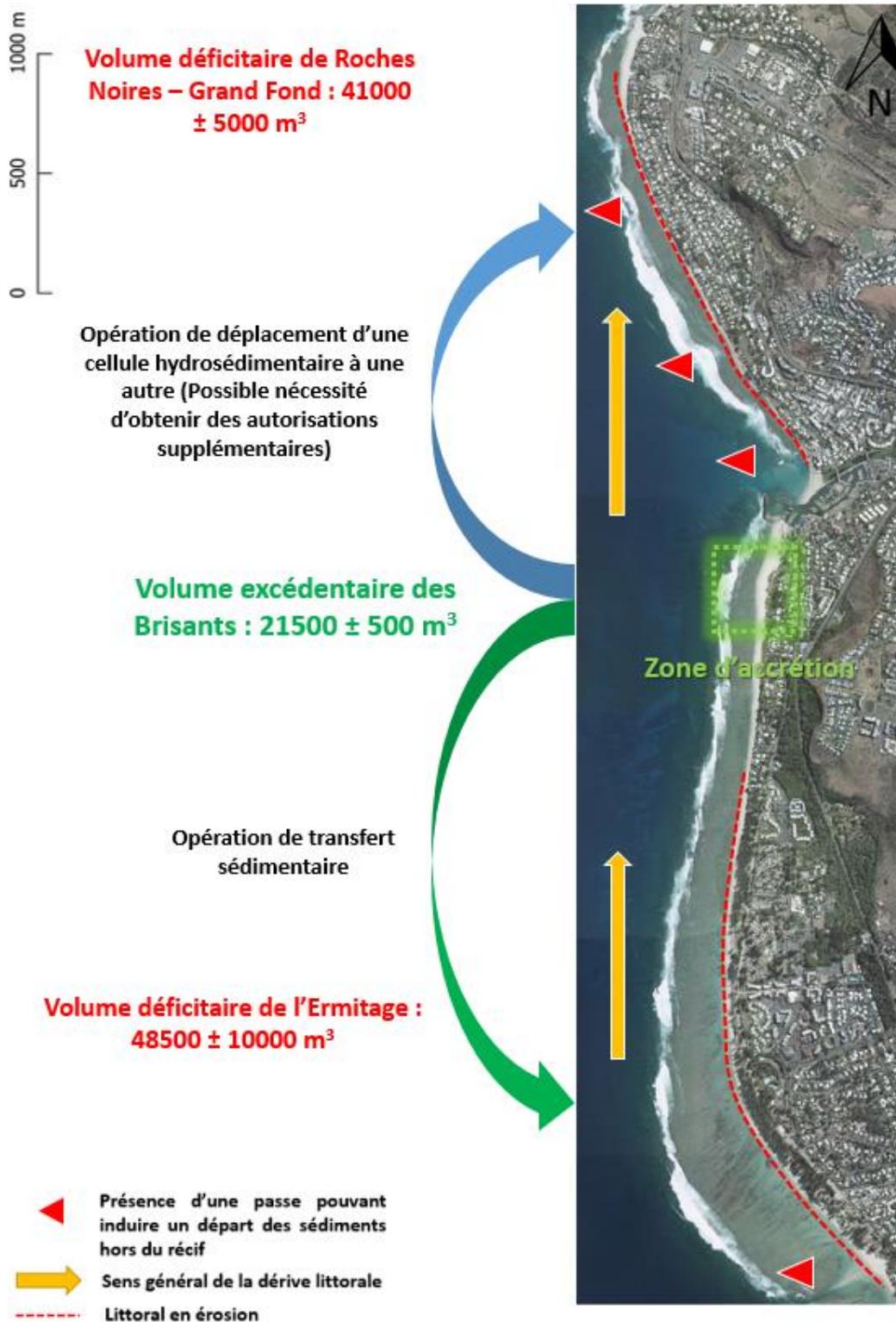


Illustration 37 : Schéma bilan du site de Saint-Gilles-Les-Bains (Ortho 2017, IGN)

Ces estimations sont susceptibles de varier au cours du temps et une nouvelle campagne de terrain comprenant la réalisation de nouveaux relevés topographiques est nécessaire avant toute opération de transfert sédimentaire.

### 3.2. TROIS-BASSINS : PLAGES DE SOURIS BLANCHE/SOURIS CHAUDE

Les données topographiques n'ont pas été mises à jour en 2020 en raison des faibles volumes en jeu sur ce secteur. Seul le MNT Litto3D de 2008 a été exploité dans le cadre de l'estimation des volumes sédimentaires.

#### 3.2.1. Situation géographique

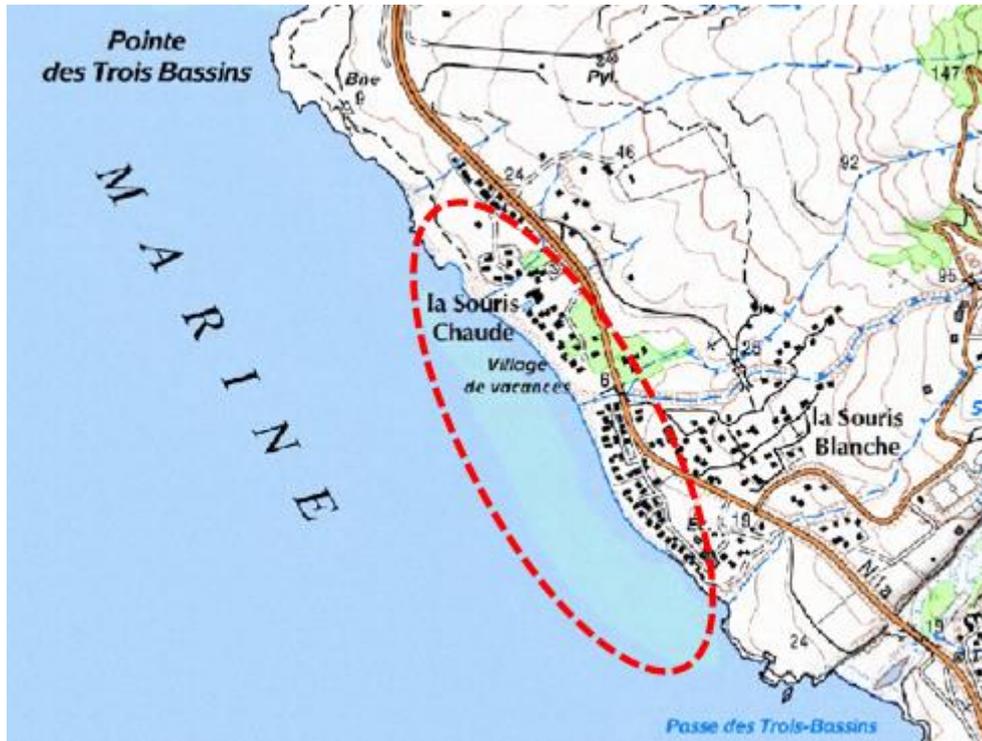


Illustration 38 : Extrait du SCAN25 d'IGN présentant la zone d'étude

La zone d'étude se trouve sur le linéaire côtier de la commune de Trois-Bassins située sur la côte ouest de la Réunion. Il s'agit de la seule portion de côte sableuse de la commune.

#### 3.2.2. Contexte géomorphologique et hydrosédimentaire et problématique du site

Le secteur se caractérise par un sédiment bioclastique (formé de calcaire constitué de débris d'origine animale et végétale) et une pente relativement raide. Le récif est accolé à la côte et le beachrock affleure localement en bas de plage. Le haut de plage peut être colonisé par la Patate à Durand qui jouxte les murs des habitations implantées le long de la plage. L'ensemble de la zone d'étude constitue une cellule hydrosédimentaire, calée entre la pointe des Trois-Bassins au nord et le cap rocheux situé à l'embouchure de la Grande Ravine au sud. Cette cellule est traversée en son centre par la ravine de la Souris Chaude (Illustration 39). De par son exposition le secteur peut être affecté par les houles australes à l'instar de Saint-Gilles-Les-Bains mais également par les événements cycloniques selon leurs trajectoires.

La portion située au sud de la ravine de la Souris Chaude est caractérisée par un haut de plage dépourvu de végétation dunaire et constitué de clôtures plus ou moins imperméables. Ces ouvrages vont agir comme des obstacles face aux houles et potentiellement engendrer un phénomène d'érosion (Illustration 40).



*Illustration 39 : Vue d'ensemble du secteur*



*Illustration 40 : Clôtures visibles au niveau du secteur de la Souris Blanche*

La dérive littorale présente sur ce secteur déplace les sédiments en direction du nord et une zone d'accumulation se forme à l'extrémité de la cellule, sur la portion de plage de Souris Chaude (Illustration 41).

Evaluation de la pertinence de mettre en place des opérations de transferts sédimentaires le long du littoral de la Réunion

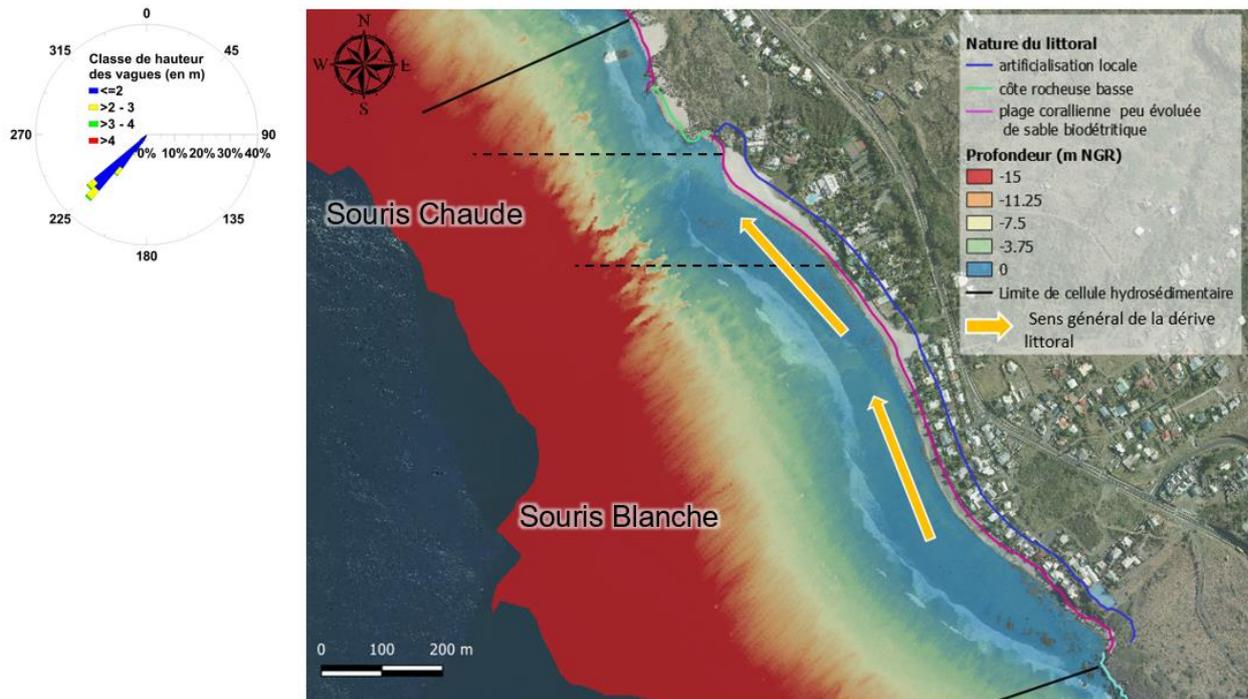


Illustration 41 : Contexte hydrosédimentaire du secteur (réalisé à partir de De La Torre, 2004) (Fond : Ortho IGN 2017)

L'analyse du MNT Litto3D® sur 19 profils (Illustration 42) (espacés de 50 m) montre un gradient altimétrique positif, sous l'effet de la dérive littorale, entre le sud et le nord de la cellule mis en évidence par des profils concaves au sud et convexes au nord avec présence de berme (Illustration 43). Aucune campagne de terrain n'a été réalisée sur ce site en 2020.



Illustration 42 : Localisation des profils topographiques (Fond : Ortho IGN 2017)

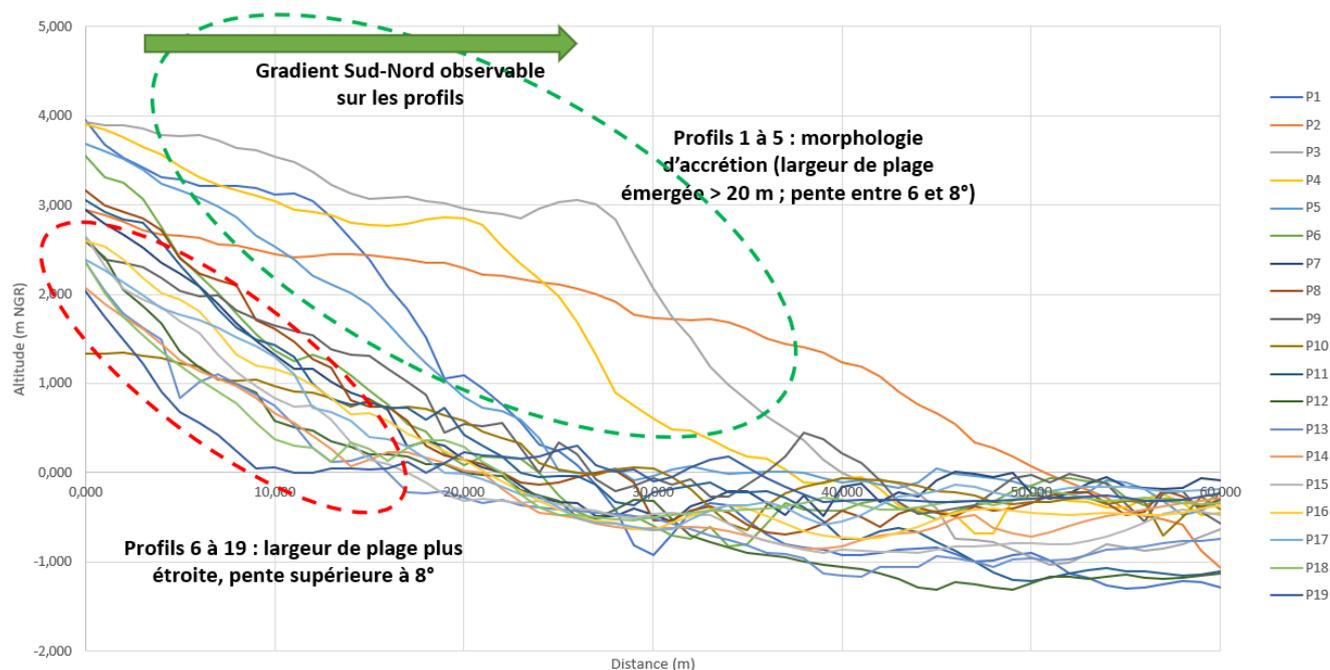


Illustration 43 : Profils topographiques obtenus à partir du MNT Litto 3D

Deux types de profils se dessinent sur le secteur (du Sud au Nord) :

- Entre P6 et P19 (Souris Blanche), des plages moins larges et contraintes par les ouvrages présents sur le haut de plage. Les pentes plus fortes rendent cette portion plus vulnérable aux fortes houles.
- Entre P1 et P5 (Souris Chaude), en aval-dérive : plages engraisées avec des pentes allant de 6 à 8°. La dérive littorale entraîne des sédiments sur cette portion de plage limitée au nord par la présence d'un petit cap rocheux.

Contrairement au port de Saint-Gilles qui interrompt la dérive et crée une situation de déséquilibre sédimentaire, ce secteur a une dynamique globalement naturelle (quand même perturbée par les ouvrages).

Un transfert de sédiment depuis le nord de la cellule vers le reste du secteur se ferait dans un objectif de prévention/renforcement en cas d'événement de fortes houles.

### 3.2.3. Dynamique du trait de côte entre 1950 et 2017

La dynamique côtière de la zone littorale concernée est abordée ci-dessous par l'analyse diachronique de l'évolution des traits de côte historiques (1950, 1978, 1997, 2003, 2008, 2017).

**Aucune nouvelle campagne n'ayant été réalisée en 2020 et en l'absence de données « in-situ », la dynamique du trait de côte a été analysée sur les mêmes profils ayant servis à réaliser les profils de plage Litto3D® afin de faciliter la lecture et la compréhension.**

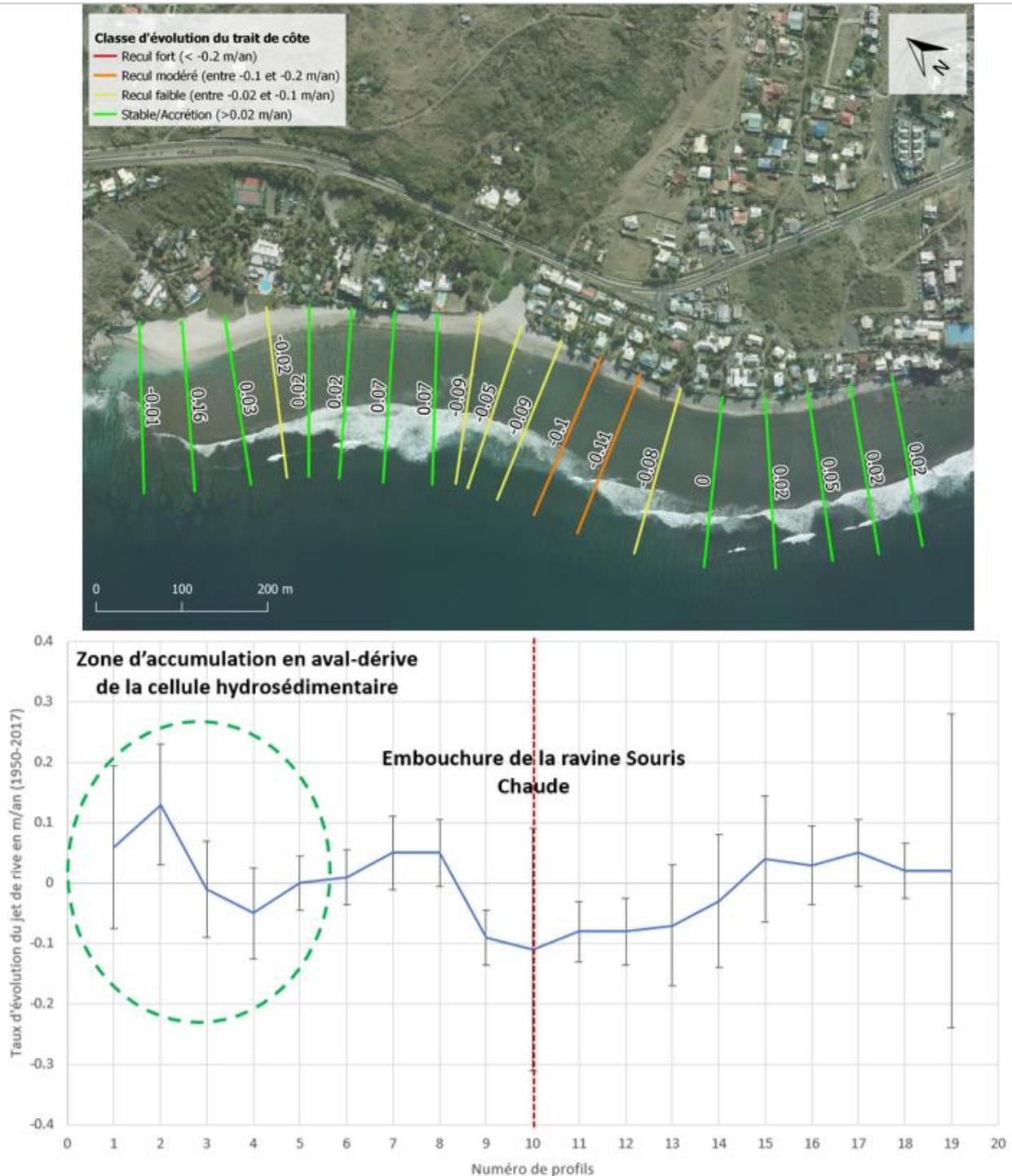


Illustration 44 : Taux d'évolution du trait de côte (limite du jet de rive) calculés par régression linéaire pondérée sur les transects du secteur de Trois-Bassins entre 1950 et 2017. Les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 95% des mesures

Contrairement aux profils topographiques qui laisser apparaître un gradient altimétrique, l'évolution du trait de côte dans le temps ne montre pas un gradient sud-nord marqué et lié à la dérive littorale. La tendance est à la stabilité mais au vu des incertitudes sur l'ensemble du secteur, ce résultat est à considérer avec prudence.

- Entre P1 et P5 (Souris Chaude) : seul le profil 2 indique une avancée significative du trait de côte, confirmant l'accrétion évoquée dans l'analyse des profils topographiques. Le profil 5 semble être le plus stable et pourrait servir de profil de référence ;
- Entre P6 et P19 : les profils 9 à 12 sont en recul et les profils 13 à 19 varient entre  $-0.1$  et  $0.1 \pm 0.1$  m/an, ce qui est synonyme de stabilité. Au vu des incertitudes, de la morphologie de la plage et des observations de terrain qui montrent de nombreux indices d'érosion (Illustration 45), il paraît plus cohérent de conclure à une situation en tendance érosive entre les profils 6 et 19.



*Illustration 45 : Photographies réalisées sur le linéaire côtier de Trois-Bassins, attestant de l'érosion côtière sur le secteur ( a : mise à nu du beach-rock, synonyme d'une perte de sédiments ; b : regard d'égout, témoin de la l'abaissement de la topographie de la plage ; c : sol bétonné détaché suite à un affouillement)*

Ces différentes informations semblent suggérer l'intérêt de réaliser un transfert de sédiment entre le secteur de Souris Chaude et le reste de la zone dans la mesure où un volume suffisant serait disponible.

### **3.2.4. Estimation des volumes sédimentaires vis-à-vis d'un profil de référence**

#### **Choix du profil de référence**

Le profil de référence a été pré-identifié à partir de l'analyse de la dynamique du trait de côte. Il s'agit du profil P5, stable et situé en limite de zone d'accumulation.

La comparaison avec le profil moyen réalisée à partir de tous les profils étudiés (aucun jeu de donnée plus récent) confirme la bonne morphologie du P5, celui-ci possédant une altitude plus élevée et présentant un léger bombement. De plus de la végétation dunaire est présente sur le haut de plage. Ces éléments confirment le choix du profil de référence.

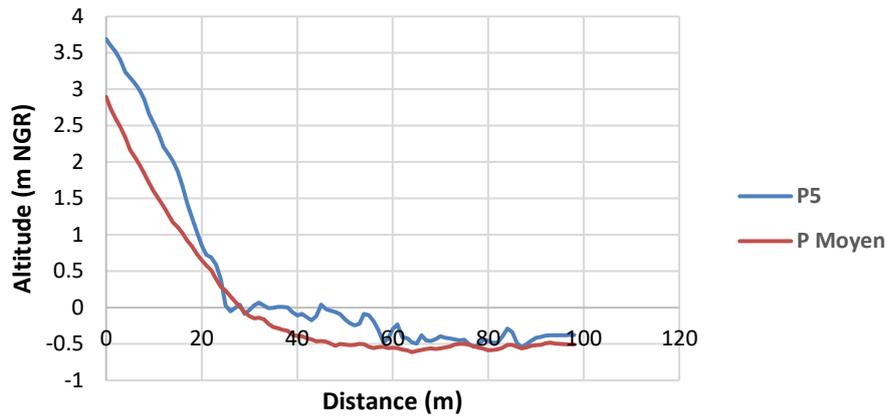


Illustration 46 : Comparaison entre le profil 5 et le profil moyen sur l'ensemble du secteur

### **Bilan volumique du secteur**

#### Méthode du raster de référence

La différence entre le MNT de référence et le MNT Litto3D fait apparaître une érosion généralisée à l'exception du croissant d'accrétion au nord de la cellule (Illustration 47).





*Illustration 47 : MNT issu du profil de référence (à haut) et MNT différentiel entre MNT Litto3D et le MNT de référence (à droite) sur le secteur de Trois-Bassins*

La somme du volume excédentaire est estimée à **6500 ± 1500 m<sup>3</sup>** et celui du volume déficitaire à **19500 ± 4000 m<sup>3</sup>**

#### Méthode des profils topographiques

Les volumes sédimentaires excédentaires et déficitaires du secteur ont été estimés à partir des profils topographiques du MNT Litto3D ® (Tableau 5). Les différences de volumes ont été extrapolées sur 50 mètres.

	Volume au-dessus du 0 NGR (m <sup>3</sup> )	Différence de volume par rapport au profil de référence (m <sup>3</sup> )
P1	59	7
P2	93	41
P3	106	54
P4	83	31
P5	52	0
P6	33	-19
P7	29	-23
P8	32	-20
P9	34	-18
P10	21	-31
P11	31	-21
P12	17	-35
P13	14	-38
P14	15	-37
P15	19	-33
P16	25	-27
P17	23	-29
P18	15	-37
P19	10	-42

Tableau 5 : Volumes estimés à partir du Litto3D

Les estimations suivantes sont obtenues :

- Volume excédentaire calculé sur la base du Litto3D ® : **6500 ± 1500 m<sup>3</sup>**;
- Volume déficitaire calculé sur la base du Litto3D ® : **20000 ± 4000 m<sup>3</sup>**.

### **Bilan du site :**

Pour le secteur de Souris Blanche, les volumes sédimentaires estimés sont de **+6500 ± 1500 m<sup>3</sup> excédentaires et de -20000 ± 4000 m<sup>3</sup> déficitaires**. D'après les deux méthodes, les volumes excédentaires mis en évidence ne représentent que 30% du volume déficitaire, ainsi ce stock estimé à environ 6500 m<sup>3</sup> devrait être utilisé comme réservoir dans le cadre d'un rechargement d'urgence post-événement ou lors d'une opération de renforcement en prévision d'un épisode de forte houle.

**Compte tenu des faibles volumes estimés, les données topographiques n'ont pas été mises à jour par des données actuelles dans le cadre de cette étude. Aussi, si une opération de transfert devait être programmée, ce stock devra être au préalable mis à jour par l'acquisition de nouvelles données topographiques (mesures DGPS et visite terrain), et ce systématiquement avant toute nouvelle opération par la suite.**

Les résultats sont synthétisés sur l'illustration 48 ci-dessous.

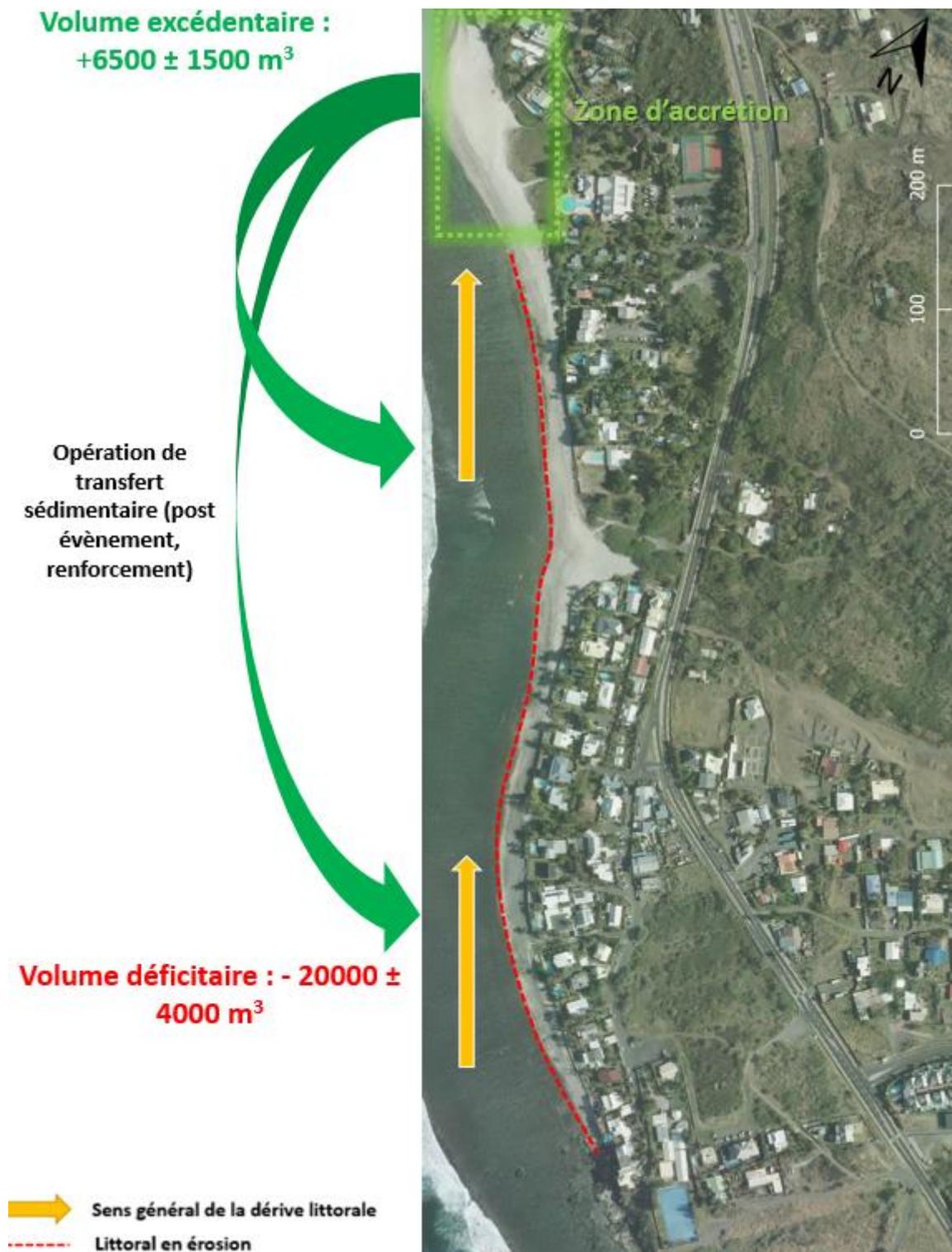


Illustration 48 : Schéma bilan du site de Trois-Bassins (Ortho 2017, IGN)

### 3.3. SAINT-BENOIT : LE BUTOR

Les données topographiques utilisées proviennent du MNT Litto3D (2008) et des résultats la campagne de terrain du 10 juin 2020. La campagne de terrain de 2020 couvre le secteur situé au sud de la digue du Butor, les mesures n'ont pu être réalisées au nord en raison de la faible largeur de plage et des fortes houles. Situation géographique

#### 3.3.1. Situation géographique

Le Butor se situe sur la commune de Saint-Benoît, à environ 1,5 km au sud de l'embouchure de la rivière des Marsouins (illustration 43).

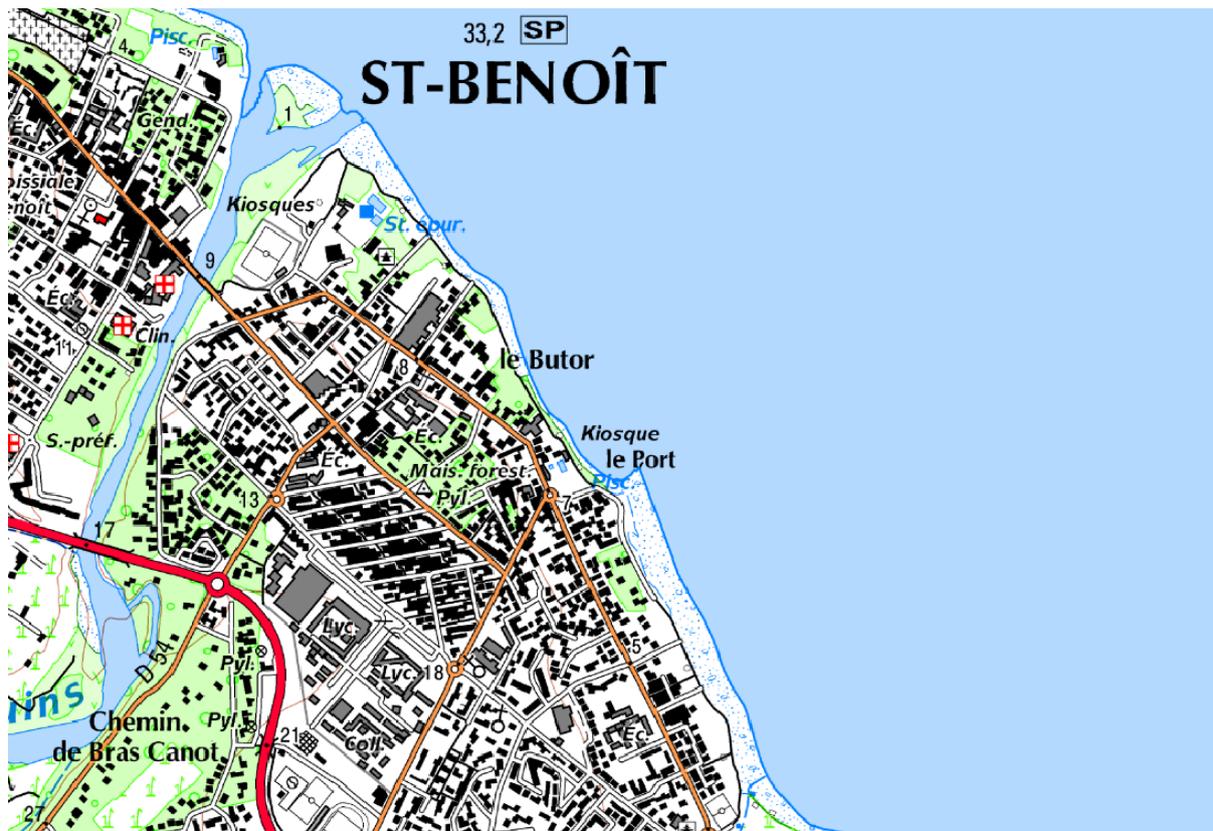


Illustration 49 : Localisation du site d'étude : le Butor - Saint-Benoît (Fond : Scan25 IGN 2015)

#### 3.3.2. Contexte géomorphologique et hydrosédimentaire et problématique du site

Le secteur du Butor à St Benoit se caractérise par un cordon de galet (granulométrie centimétrique à décimétrique) dont la morphologie a été fortement perturbée par un aménagement portuaire construit entre 1950 et 1960 (jetée, cale de halage). Au sud de la jetée (Illustration 50), le cordon est bien engraisé et large, et au nord, il est résiduel et surmonté d'une micro-falaise d'érosion (allant de 3 à 6 m NGR de rejet<sup>14</sup>) creusée dans des formations superficielles (Illustration 51). Le substratum rocheux (socle basaltique et cohésif) y est désormais affleurant.

<sup>14</sup> Le rejet d'une falaise littorale est la différence entre l'altitude de la plage sous-jacente son altitude sommitale.



*Illustration 50 : Prises de vue depuis la digue, le cordon de galets est très engraisé au sud comparativement à la situation au nord (photos BRGM 2020)*



*Illustration 51 : Micro-falaise d'érosion observée au nord de la digue du Butor (BRGM, 2020)*

Ce site est constitué par deux cellules hydrosédimentaires jointes par la digue du Butor : une première délimitée au nord par l'embouchure de la rivière des Marsouins et une seconde délimitée au sud par l'embouchure de la ravine Sèche. Il est important de noter qu'avant la construction de la digue, ces deux cellules n'en formaient qu'une seule où un transit sédimentaire naturel existait. Ce transit existe en raison d'une dérive littorale orientée Sud-Nord et par conséquent la ravine Sèche située au sud constitue la principale source de sédiments des cellules étudiées. En raison de la présence de l'ouvrage portuaire, le secteur au sud de l'épi présente une accumulation sédimentaire alors que le nord est en érosion (Illustration 52). Le secteur est principalement affecté par des houles de direction est, expliquant le sens général de la dérive littorale. Cette dérive peut occasionnellement être modifiée lors d'événements cycloniques, en fonction de l'intensité et de la position de la dépression par rapport à la côte. De par son exposition, cette côte est particulièrement vulnérable aux houles cycloniques.

Devant le risque que fait peser l'érosion sur les enjeux (quartiers d'habitations et autres infrastructures accueillant du public) en aval dérive des aménagements portuaires, l'intérêt et la faisabilité d'un transfert de sédiments depuis la partie sud est apparue importante à étudier.

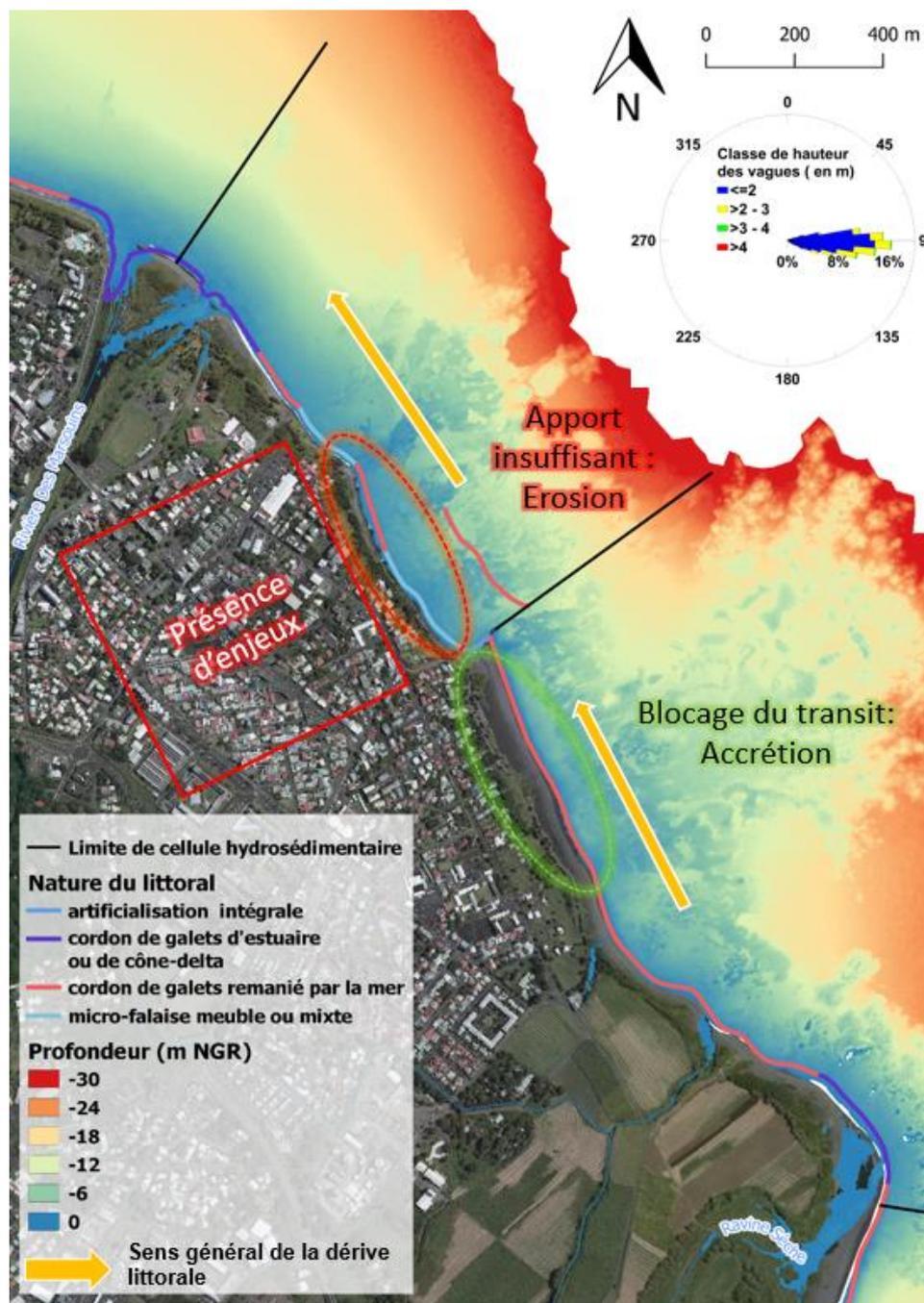


Illustration 52 : Contexte hydrosédimentaire de la zone d'étude montrant l'influence de la digue du Butor sur la dynamique sédimentaire (réalisé à partir de De La Torre, 2004) (Fond : Ortho IGN 2017)

### 3.3.3. Dynamique du trait de côte entre 1950 et 2017

La dynamique côtière de la zone littorale concernée est abordée ci-dessous par l'analyse diachronique de l'évolution des traits de côte historiques (1950, 1978, 1989, 1997, 2003, 2008, 2011, 2017). Avant la construction de la digue, l'ensemble de ce secteur ne formait qu'une seule et même cellule hydrosédimentaire. L'impact de la digue du Butor a été assez rapide sur le secteur. Construite dans les 1960, elle provoque une forte accumulation de galets au sud observable dès 1978. Cette accumulation est contrebalancée par une érosion des secteurs au

nord, également observable en 1978 (Illustration 53). Par conséquent l'influence de la digue a été rapide à partir son apparition dans les années 60. Ces observations sont confirmées par l'analyse de l'évolution du trait de côte (limite du jet de rive) réalisée entre 1950 et 2017 sur les deux cellules hydrosédimentaires (Illustration 54).



Illustration 53 : Comparaison de la position du trait de côte (limite du jet de rive) entre 1950 (à droite) et 2017 (à gauche) sur le secteur du Butor, accrétion au sud de la digue et érosion au nord. L'influence de la jetée est très forte dès 1978

Le premier constat ressortant de cette analyse est que la quasi-totalité du linéaire de la cellule hydrosédimentaire nord présente un recul significatif, à l'exception des 3 premiers transects de calcul situés au niveau de l'embouchure de la rivière des Marsouins (illustration 47). La moyenne des reculs sur cette cellule vaut  $-0.24 \pm 0.07$  m/an. De plus, le  $R^2$  moyen vaut 0.65 ce qui tend à indiquer une érosion relativement continue depuis l'apparition de l'ouvrage portuaire. L'impact de la digue est par conséquent très important sur la dynamique sédimentaire et engendre un fort recul du trait de côte.

Au sud en revanche, l'impact est inversé et l'évolution du trait de côte à travers le temps suit un gradient dans le sens de la dérive littorale. L'observation du  $R^2$  dans la cellule hydrosédimentaire sud permet d'y distinguer trois zones :

- **La zone d'influence** de la digue qui bénéficie d'une accumulation. Cette zone présente un taux d'évolution du trait de côte positif qui diminue avec l'éloignement de l'épi. Sur ce

secteur le  $R^2$ , compris entre 0.8 et 1, indique que les taux sont bien représentatifs de l'évolution du littoral ;

- **La zone de transition** où le taux d'évolution reste positif mais avec une chute des valeurs du  $R^2$  ;
- **La zone hors de l'influence** de l'épi présentant des taux plus faibles avec un  $R^2$  proche de 0 signifiant des alternances de phases d'avancée et de recul du trait de côte plus ou moins importantes en fonction des périodes. Cette zone, clairement mise en évidence, devrait présenter un profil de référence.

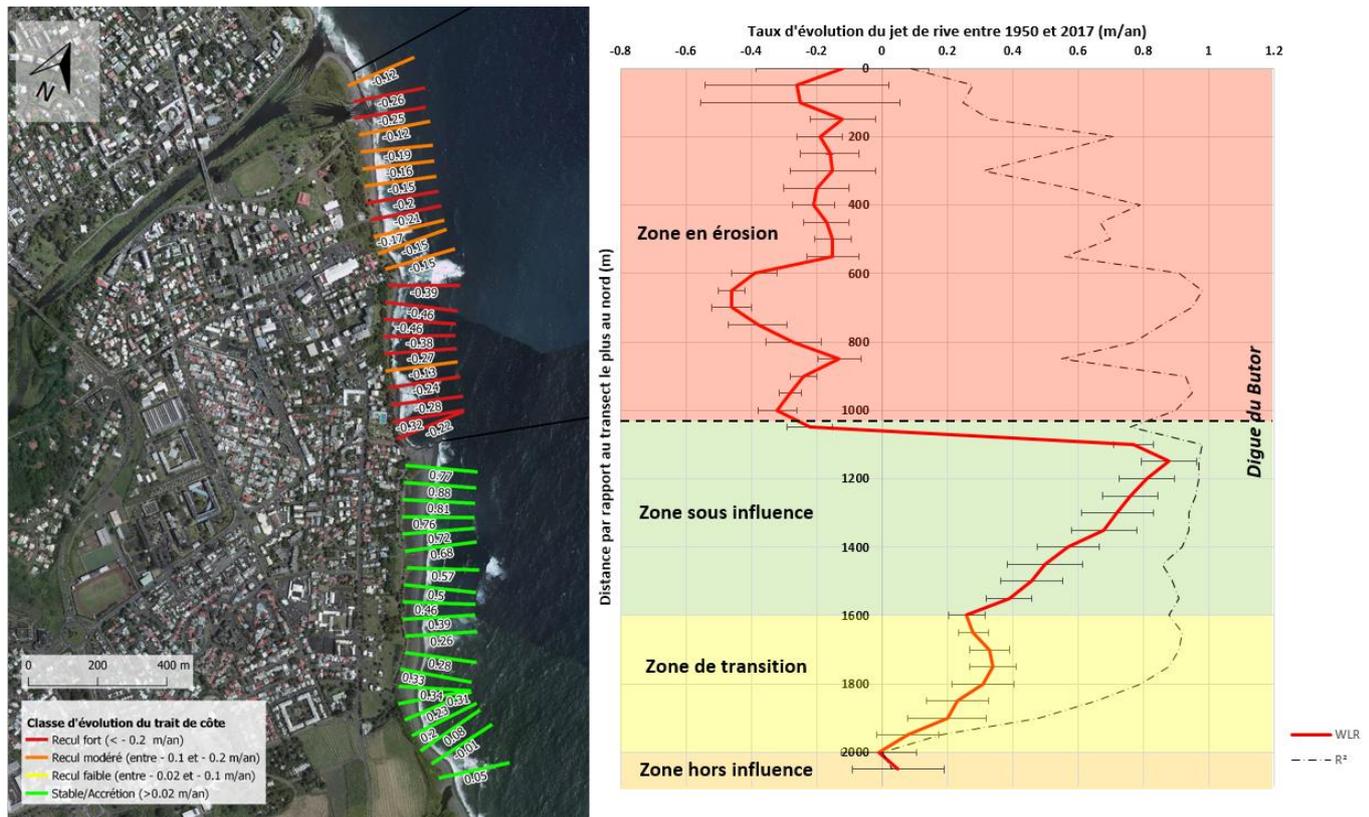


Illustration 54 : Résultats de l'analyse DSAS sur le Butor

### 3.3.4. Estimation des volumes sédimentaires vis-à-vis d'un profil de référence

Une série de profils topographiques a été réalisée en juin 2020 sur le secteur en accrétion au sud de la digue du Butor. Seul un profil topographique a été levé le même jour au nord (dans le cadre du programme OBSCOT), la faible largeur de plage et les conditions de houles rendant l'acquisition de données au DGPS compliquée sur le secteur. Pour ces raisons, les profils analysés sur cette cellule hydrosédimentaire ont été extraits du MNT Litto3D (Illustration 55).



Illustration 55: Localisation des profils topographiques exploités sur le secteur du Butor

### **Choix du profil de référence**

Une analyse topographique des deux cellules hydrosédimentaires est proposée afin de dégager un profil de référence, sur la base des résultats de l'analyse de l'évolution du trait de côte et des zones d'influence mises en évidence.

- **Cellule hydrosédimentaire SUD**

Lors de la campagne de terrain réalisée en juin 2020, les conditions en mer ont rendus compliquées l'acquisition de données sur le bas de plage. Pour cette raison, une première

comparaison entre les données acquises en 2020 et le Litto3D est réalisée. Celle-ci laisse penser à une certaine stabilité Bas de plage non enregistré mais peu d'évolution sur la partie située avant la rupture de pente) entre les profils 1 et 5, probablement en raison de la saturation de l'espace disponible : la digue, limitée par sa longueur, peine à retenir plus de galets. Le profil 6 en 2020 suggère à nouveau de l'accumulation (à partir de X = 35 m) (Illustration 56) jusqu'au dernier profil. **Cette analyse induit l'hypothèse qu'en 2020 la situation est stable par rapport à celle de 2008, en terme de topographie de plage.**

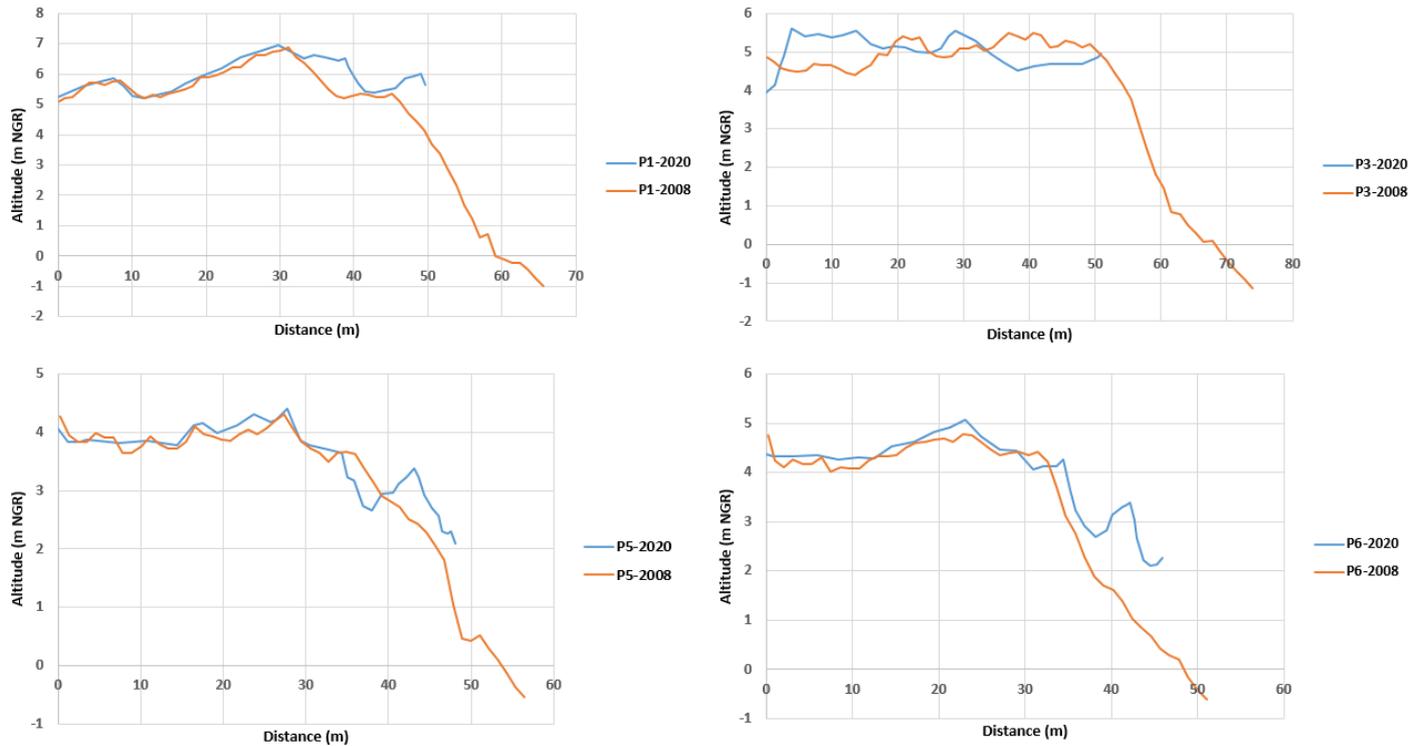


Illustration 56 : Evolution des profils 1 à 6 entre 2008 (Litto3D) et 2020 au sud de la digue du Butor

La comparaison de l'ensemble des profils topographiques (sur la base du Litto3D pour avoir le bas de plage) montre un gradient altimétrique qui suit le sens de la dérive littorale. Le profil n°10 est situé dans la zone hors influence et montre une morphologie de cordon de galets sans bombement dû à l'accumulation générée par l'épi (Illustration 57). Cette caractéristique de cordon naturel indique qu'il pourrait faire office de profil de référence.

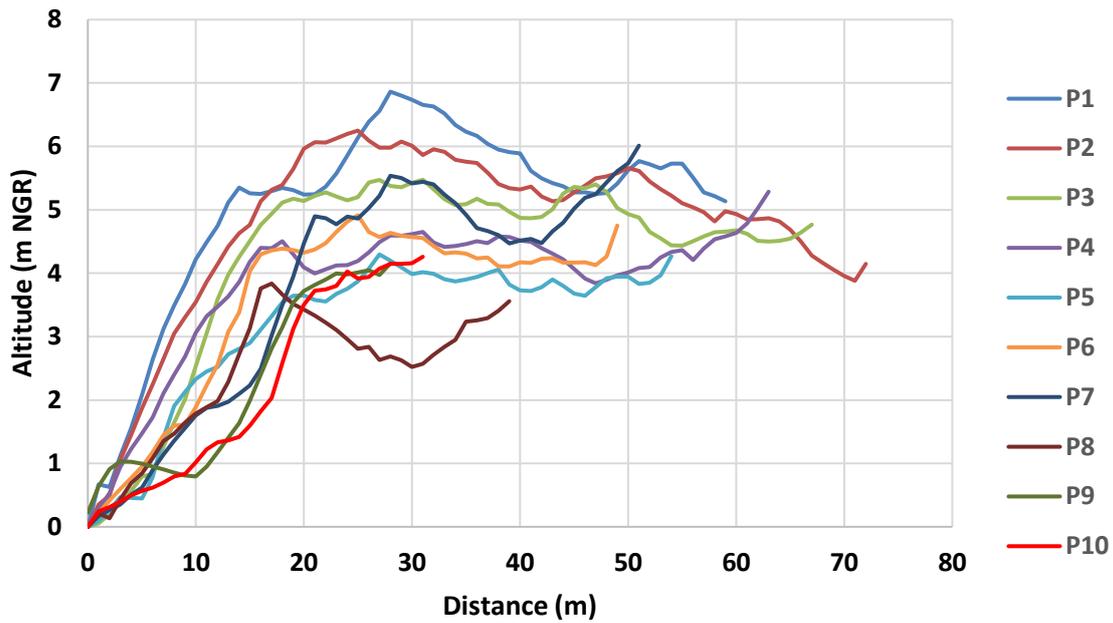


Illustration 57 : Comparaison des profils topographiques de la cellule hydrosédimentaire SUD à partir du Litto3D

- **Cellule hydrosédimentaire NORD**

Les profils topographiques situés au nord de la digue possèdent des largeurs faibles comprises entre 10 et 18 m entre les profils 1 et 8. Cette étroitesse est la conséquence du faible apport en sédiments depuis la construction de la digue. Les profils 8 à 10 présentent des morphologies différentes et proche de celle du profil 10 du secteur SUD, plus large, en raison de leur positionnement en aval-dérive et de la proximité de l'embouchure de la rivière des Marsouins (Illustration 58). L'analyse de la topographie de la cellule NORD semble donc appuyer le choix du P10 de la cellule SUD en tant que profil de référence.

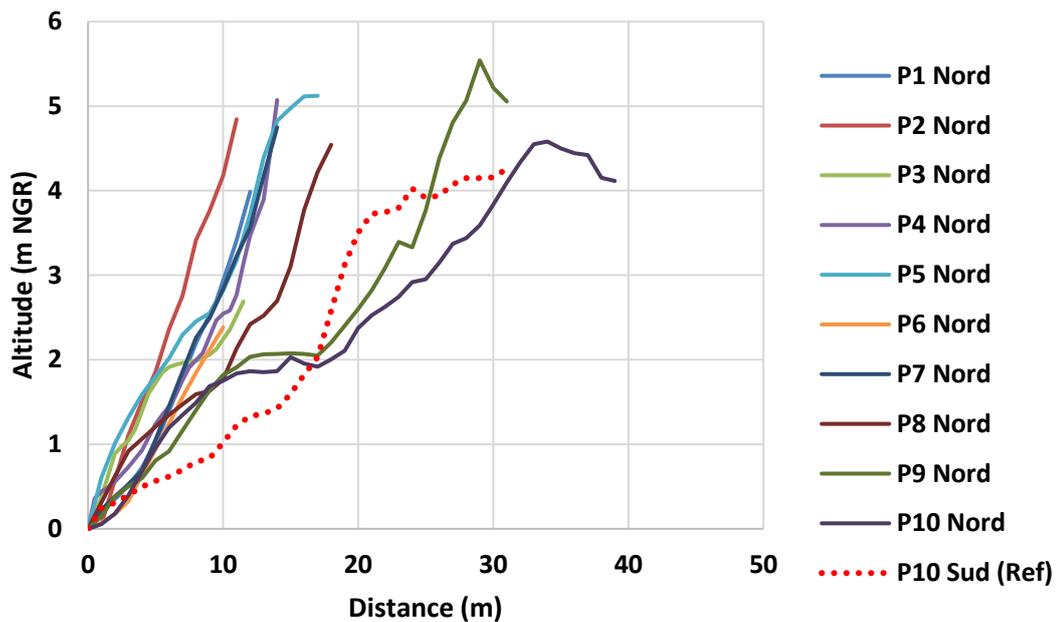


Illustration 58: Comparaison des profils topographiques de la cellule hydrosédimentaire NORD à partir du Litto3D

L'analyse topographique des cellules hydrosédimentaires a pré orienté le choix du profil de référence vers le profil n°10 de la cellule SUD étant donné sa morphologie naturelle et sa distance par rapport à l'ouvrage. De plus le profil n°10 a peu évolué en terme de volume sédimentaire (évolution de +7 m<sup>3</sup> entre 2008 et 2020) mais plutôt en terme de morphologie, en effet entre les deux dates un déplacement de sédiments a lieu entre le haut et le bas de plage (Illustration 59). Cette observation suggère un certain équilibre sédimentaire mais l'absence de données intermédiaires ne permet pas de confirmer la tendance. Il sera par conséquent nécessaire de réaliser un nouveau relevé topographique du profil de référence avant toute opération afin de confirmer sa stabilité.

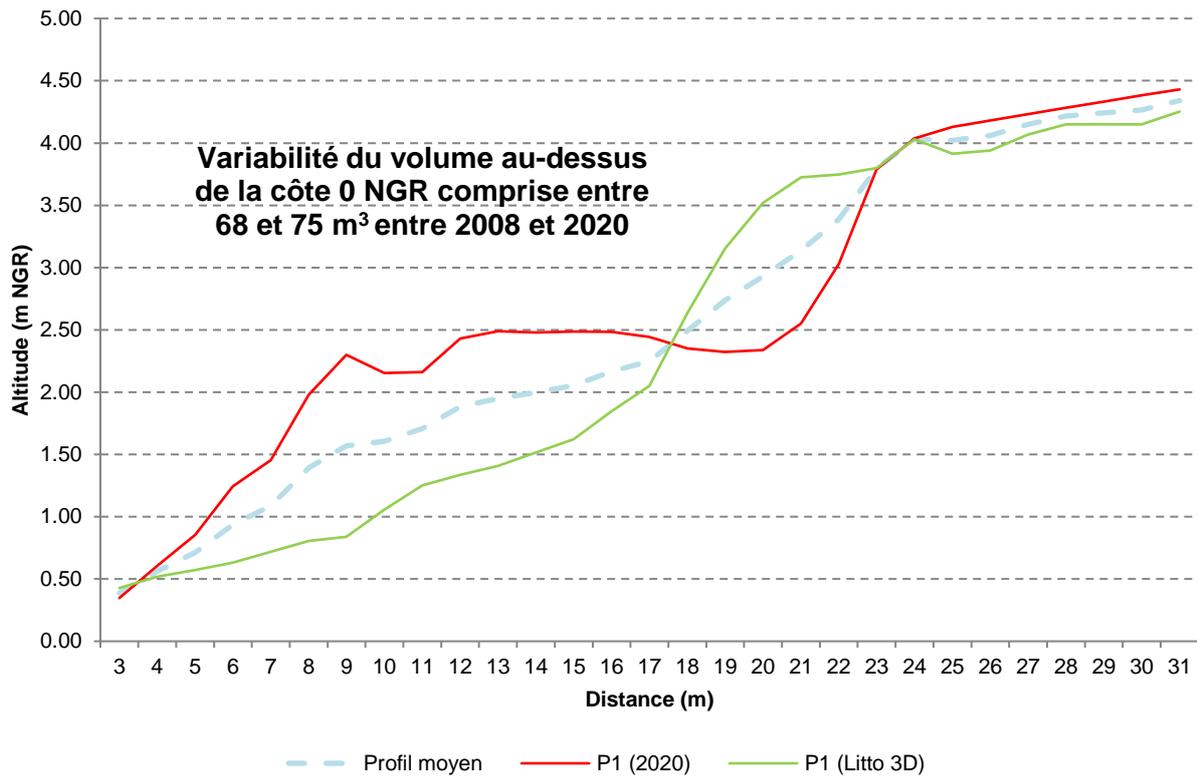


Illustration 59 : Evolution du profil n°10 entre 2008 et 2020

L'analyse paysagère du secteur à proximité du profil n°10 montre de la végétation sur le haut de plage (Illustration 60). Ainsi au vu des différentes observations concernant le profil n°10 de la cellule SUD, celui-ci est défini en tant que profil de référence.



Illustration 60 : Secteur à proximité du profil de référence (BRGM 2020)

## ***Bilan volumique excédentaire de la cellule hydrosédimentaire SUD***

### Méthode du raster de référence :

En se basant sur l'hypothèse que la cellule hydrosédimentaire n'a pas évolué défavorablement entre 2008 et 2020, l'estimation des volumes se fera sur la base du Litto3D qui englobe l'ensemble du secteur. Un MNT dit « de référence » a été réalisé sur la base du profil de référence P1 sud, choisi précédemment, afin de calculer, le plus précisément possible, la quantité de sédiments en excédent au sein de la cellule hydrosédimentaire SUD. La différence entre le Litto3D et le MNT de référence montre un excédent croissant à mesure que l'on se rapproche de la digue (Illustration 61).



*Illustration 61 : MNT issu du profil de référence (à gauche) et MNT de différence entre Litto3D et le MNT de référence (à droite) sur la cellule sud*

La somme de ce volume excédentaire est estimée à **105000 ± 21000 m<sup>3</sup>**.

### Méthode d'extrapolation des profils topographiques :

L'extrapolation des profils topographiques sur 100 m (Illustration 55) indique un volume excédentaire total de **123000 ± 25000 m<sup>3</sup>** (Tableau 6). Les deux méthodes renvoient des résultats du même ordre de grandeur en considérant la marge d'erreur.

	Volume au dessus de 0 m NGR (m <sup>3</sup> )	Différence de volume par rapport au profil de référence (m <sup>3</sup> )
P1	272	205
P2	343	276
P3	286	219
P4	241	174
P5	171	104
P6	172	105
P7	189	122
P8	94	27
P9	61	-6
P10 (Référence)	67	0

Tableau 6: Volumes estimés sur chaque profil topographique extrapolé sur 100 m au sein de la cellule SUD

### **Bilan volumique déficitaire de la cellule hydrosédimentaire NORD**

#### Méthode du raster de référence :

La même approche a été réalisée sur la cellule hydrosédimentaire au nord de la digue. Celle-ci laisse apparaître un déficit généralisé (hors zone à proximité de l’embouchure de la rivière des Marsouins) (Illustration 62).

La somme de ce volume déficitaire est estimée à **45000 ± 9000 m<sup>3</sup>**.

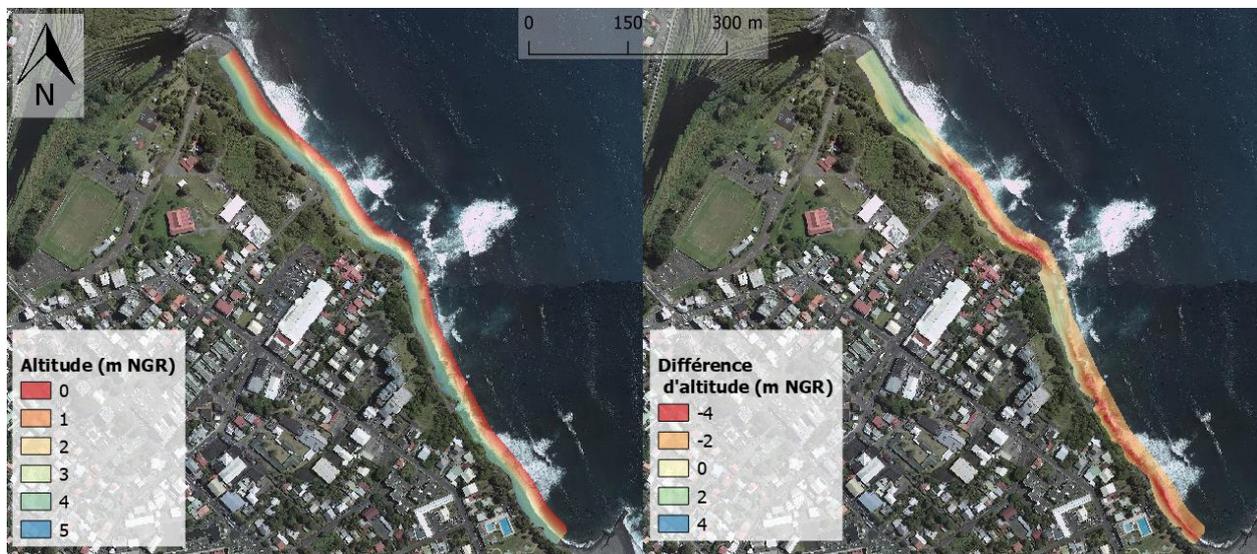


Illustration 62 : MNT issu du profil de référence (à gauche) et MNT de différence entre Litto3D et le MNT de référence (à droite) sur la cellule nord

#### Méthode d’extrapolation des profils topographiques :

L’extrapolation des profils topographiques sur 100 m (Illustration 55) indique un volume déficitaire total de **35000 ± 7000 m<sup>3</sup>** (Tableau 7). Au vu de la marge d’erreur calculée, les deux méthodes renvoient des résultats du même ordre de grandeur en considérant la marge d’erreur.

	Volume au dessus de 0 m NGR (m <sup>3</sup> )	Différence de volume par rapport au profil de référence (m <sup>3</sup> )
P1	20	-48
P2	24	-44
P3	18	-50
P4	27	-41
P5	48	-20
P6	10	-58
P7	27	-41
P8	35	-33
P9	75	7
P10	98	30
P10 REF (SUD)	68	0

Tableau 7 : Volumes estimés sur chaque profil topographique extrapolé sur 100 m au sein de la cellule NORD

### **Bilan du site :**

Pour le secteur du Butor, les volumes sédimentaires excédentaires dans la cellule SUD sont estimés à **+ 114000 ± 23000 m<sup>3</sup>**. Les volumes déficitaires dans la cellule NORD sont estimés entre **- 40000 ± 8000 m<sup>3</sup>**.

L'estimation des volumes excédentaires se base sur l'analyse du MNT Litto3D (2008) en raison de l'absence de données topographiques mises à jour sur le pied de plage (acquisition rendue difficile par les conditions de vagues). Néanmoins les données topographiques de 2020 suggèrent d'un gain de sédiments sur le secteur au sud de la digue, ce qui peut indiquer que les volumes excédentaires sont sous-estimés par rapport à 2008 (hypothèse à confirmer ou non avec une mise à jour des données topographiques avant une opération de transfert).

L'estimation des volumes déficitaires a également été obtenue grâce aux données MNT Litto3D, le faible largeur de plage au nord de la digue rendant compliqué la prise de données au DGPS.

Au vu de la quantité excédentaire de sédiments mise en évidence et par les enjeux présents en arrière-plage en amont de la digue, la mise en place d'un Plan de Gestion des Sédiments est à envisager sur ce secteur.

Ces estimations sont susceptibles de varier au cours du temps et une nouvelle campagne de terrain comprenant la réalisation de nouveaux relevés topographiques sera nécessaire avant toute opération de transfert sédimentaire. Une acquisition par photogrammétrie est à privilégier au vu des difficultés à réaliser des mesures au DGPS sur la partie nord du secteur.

Les résultats sont synthétisés sur l'illustration 63 ci-dessous.

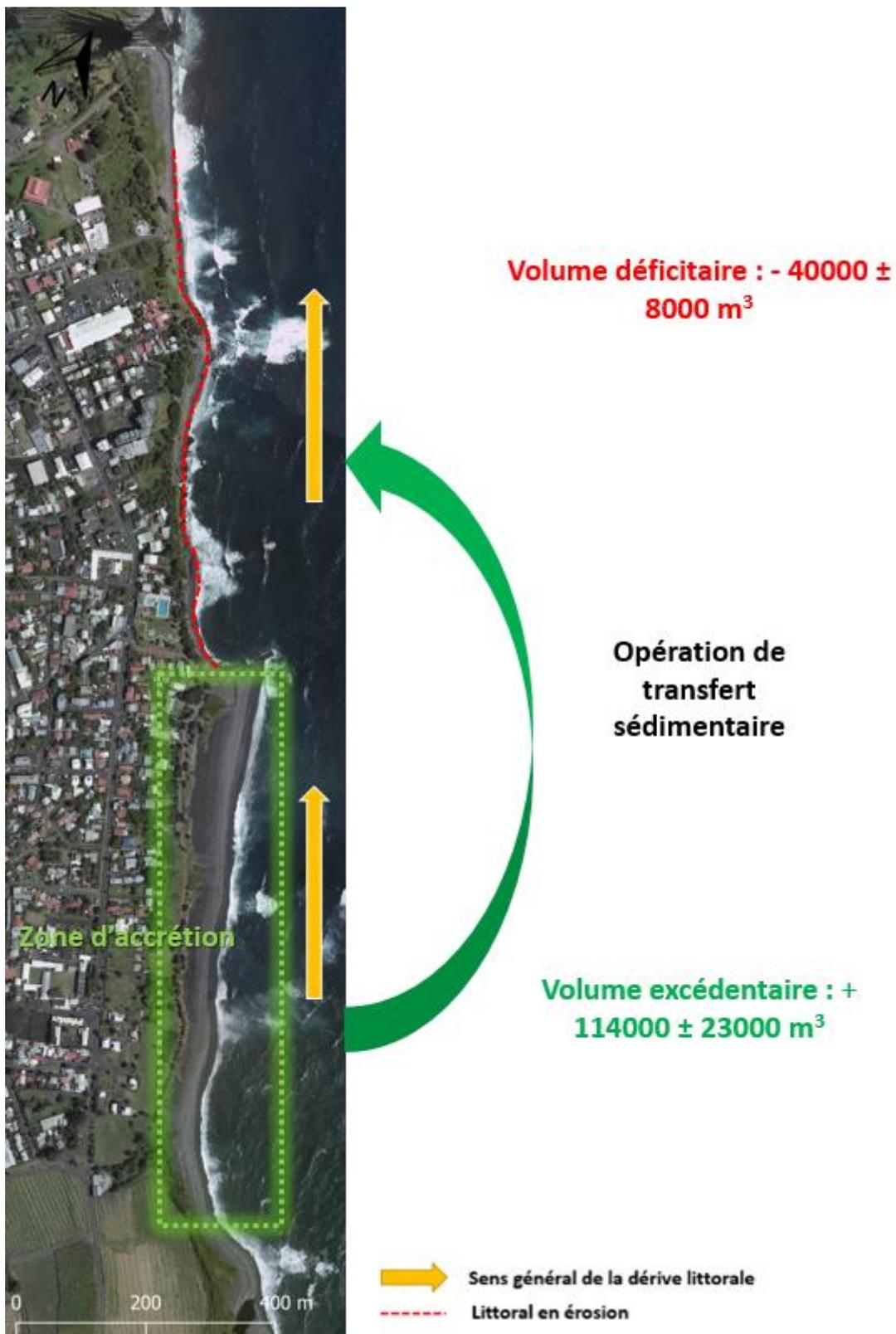


Illustration 63 : Schéma bilan du site de Saint-Benoît (Ortho 2017, IGN)

### 3.4. STE-MARIE : LE PORT

Ce secteur a fait l'objet d'un important remaniement de son stock sédimentaire en 2020 en raison des travaux d'aménagement de la zone portuaire. Par conséquent les données topographiques n'ont pu être mises à jour en 2020 la majorité des sédiments ayant été remanié dans le cadre des travaux. Aussi les volumes calculés dans cette étude se basent sur les données topographiques de Litto3D de 2008 et sont donnés à titre indicatif.

#### 3.4.1. Situation géographique

Le port de Sainte-Marie, construit entre 1994 et 1996, se situe à l'est de l'aéroport Roland Garros et concerne le secteur de Bois Madame à l'ouest du centre de Sainte-Marie.



Illustration 64 : Localisation du site d'étude situé à l'est du port de Sainte-Marie (Fond : Scan25 IGN)

#### 3.4.2. Contexte géomorphologique et hydrosédimentaire et problématique du site

Un précédent état de la connaissance de ce site a permis de définir le fonctionnement du secteur (Belon et Salomé, 2017). Le site est composé d'une frange de sable fin situé en avant plage dans la partie immergée. Le reste de la plage est constitué de galets de taille centimétrique à décimétrique. Enfin, le haut de plage est végétalisé (arbustes et patate à Durand) et se situe au pied d'une falaise sub-verticale d'une hauteur de 5 à 10 m.

Les galets de haut de plage reposent sur un niveau constitué essentiellement de sables basaltiques fins tandis que le bas de plage est uniquement constitué de sables fins. L'illustration 65 permet d'appréhender le contexte géomorphologique local et le degré d'accumulation de sédiment contre la digue portuaire.



Illustration 65 : Photographie de la plage de Bois Madame depuis la digue Est du port de Sainte-Marie (photo prise le 25 août 2017)

Ce secteur est exposé à des houles d'alizés saisonnières relativement modérées tandis que des épisodes extrêmes très énergétiques peuvent s'y produire en saison cyclonique. Lors du cyclone Dina en 2002, qui a fortement impacté le littoral, des houles de l'ordre de 12 m ont été mesurées au large (contre 2 à 3 m en régime normal).

Une précédente étude a permis de caractériser le fonctionnement de ce système hydro-sédimentaire (De La Torre, 2004 / Belon et Saloméro, 2017). La jetée du port piège le sédiment alimenté par la dérive littorale (courant d'est en ouest) (Illustration 66). Le cordon sédimentaire est alimenté par les sédiments des rivières (ravine des Chèvres ou encore ravine Sainte-Suzanne). Ces sédiments sont bloqués par la digue et viennent s'accumuler jusqu'à saturation de l'ouvrage comme c'est le cas aujourd'hui (illustration 58). De ce fait, les sables continuent transiter au-delà de la digue vers l'Ouest ce qui contribue au colmatage de l'entrée du port.

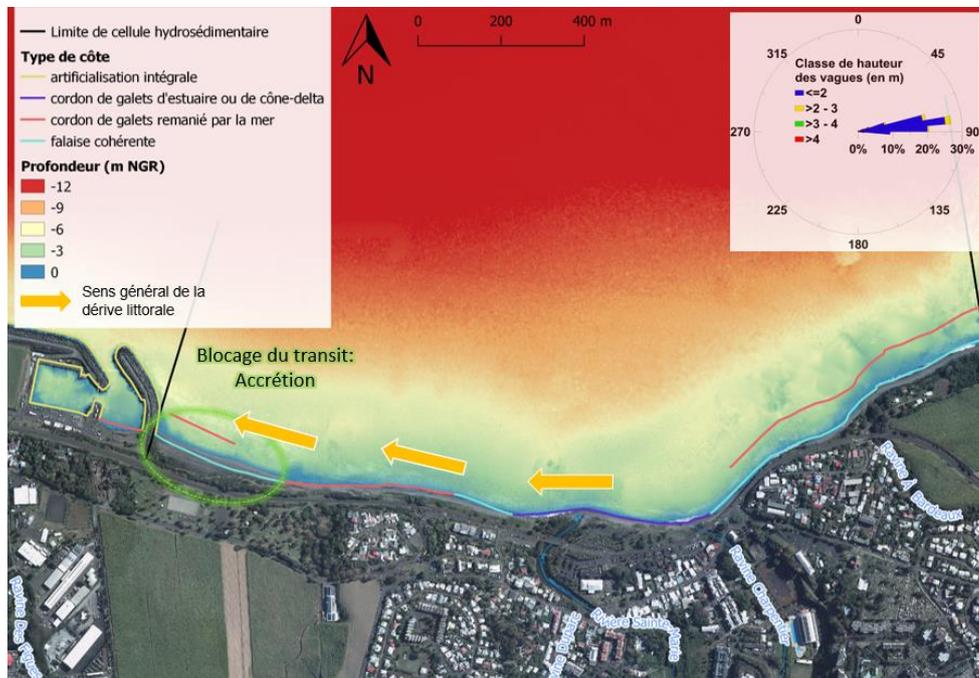


Illustration 66 : Contexte hydrosédimentaire du secteur de l'est du port de Sainte-Marie (réalisé à partir de De La Torre, 2004) (Fond : Ortho IGN 2017)

A noter que le port de Sainte-Marie envisage de déplacer les sédiments excédentaires localisés à l'est de la digue portuaire plus à l'ouest afin de renforcer une partie du cordon de galets en face

de la piste aéroportuaire (Illustration 67). Cette portion n'étant pas fortifiée par des enrochements, l'intérêt de ce déplacement serait de renforcer ce cordon et limiter l'impact des événements de fortes houles sur les pistes et infrastructures situées en arrière-plage.

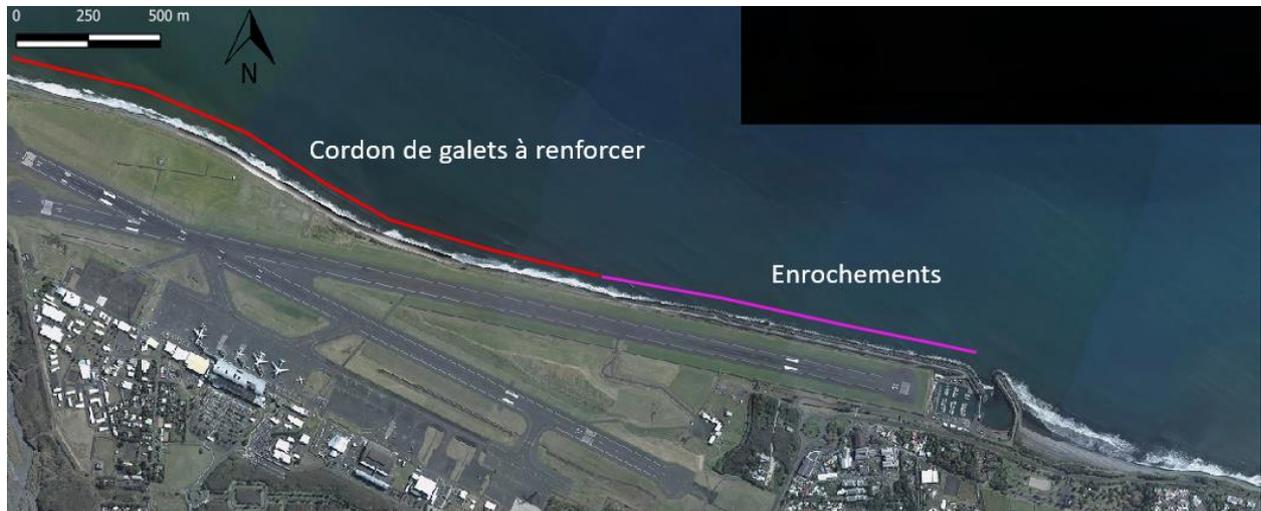


Illustration 67 : Localisation du cordon de galets à renforcer (Ortho 2017 IGN)

### 3.4.3. Dynamique du trait de côte entre 1950 et 2017

La dynamique côtière de la zone littorale concernée est abordée ci-dessous par l'analyse diachronique de l'évolution des traits de côte historiques (1950, 1978, 1989, 1997, 2003, 2008, 2012, 2017).

Une première comparaison des orthophotographies de 1950 et 2017 met déjà en évidence l'apparition d'un croissant d'accrétion localisé à l'est de la jetée portuaire et qui s'étend sur un linéaire d'environ 500 m (Illustration 68). D'après Belon et Salomé (2017), la dynamique du site s'est déroulée en différentes phases au cours du temps :

- 1950 – 1989 (pas d'ouvrage) : stabilité dynamique/recul faible du trait de côte où le trait de côte alterne entre phase d'avancée et de recul ( $< -1$  m/an) ;
- 1989 – 1997 (linéaire de 200 m impacté par l'ouvrage) : avancée du trait de côte (+ 4 m/an) ;
- 1997 – 2012 (linéaire de 500 m impacté par l'ouvrage) : Avancée (+ 2,5 m/an) ;
- 2012 – 2017 : (linéaire de 500 m impacté par l'ouvrage) : stabilité dynamique/avancée faible (entre 10 et 15 m d'élargissement).

A l'instar de la digue du Butor, il est probable que la jetée portuaire de Sainte-Marie soit aujourd'hui arrivée à saturation.



Illustration 68 : Evolution du trait de côte en 1950 et 2017

Une analyse de la dynamique du trait de côte entre 1950 et 2017 a été réalisée sur la portion de plage située entre la jetée et la rivière Sainte-Marie afin de quantifier l'impact de la jetée portuaire (Illustration 69).

Cette analyse met en évidence deux grandes tendances : une forte avancée entre 0 et 400 m et un recul général du trait de côte au-delà de 550 m. A noter que sur ce site, les valeurs de  $R^2$  ne peuvent expliquer correctement la dynamique littorale et l'influence du port. Cela s'explique par la période étudiée (1950-2017) : le port ayant été construit entre 1994 et 2017, les taux d'évolution ne couvrent pas uniquement l'influence du port mais également la dynamique naturelle et historique du site (1950-1994). En comparaison, sur les autres sites la structure interrompant le transit est présente historiquement et le  $R^2$  est plus significatif. Les résultats permettent de définir trois zones distinctes :

- Une **zone sous influence de l'ouvrage** (0 – 400 m) : l'avancée du trait de côte est importante et significative. Celle-ci décroît suivant un gradient linéaire vers l'est ;
- Une **zone de transition** (400 – 600 m) : le trait de côte se stabilise et les taux d'évolution sont quasi nuls ;
- Une **zone hors influence de l'ouvrage / en érosion** (600 – 1000 m) : en recul significatif sur la période (en moyenne  $0.15 \pm 0.13$  m/an).

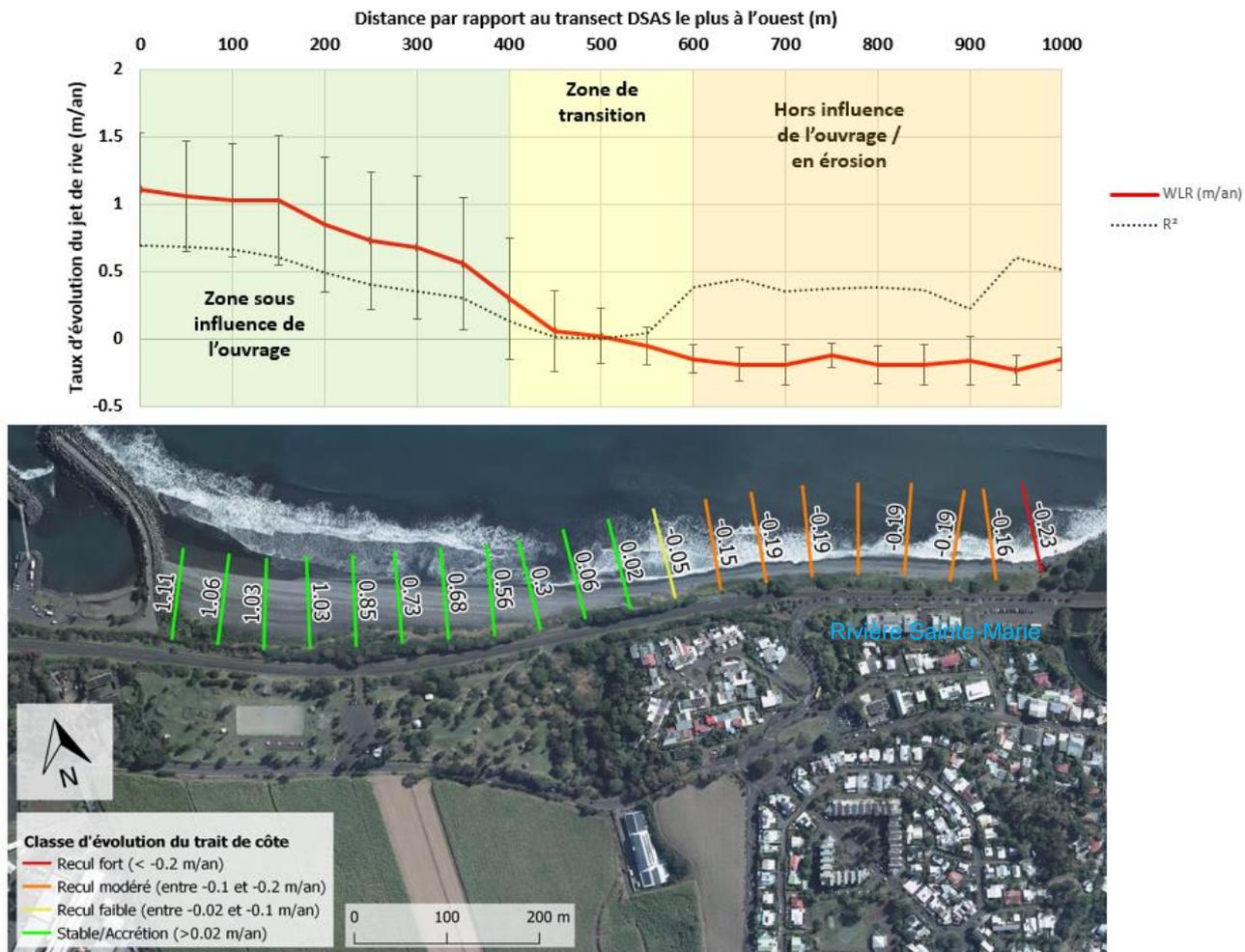
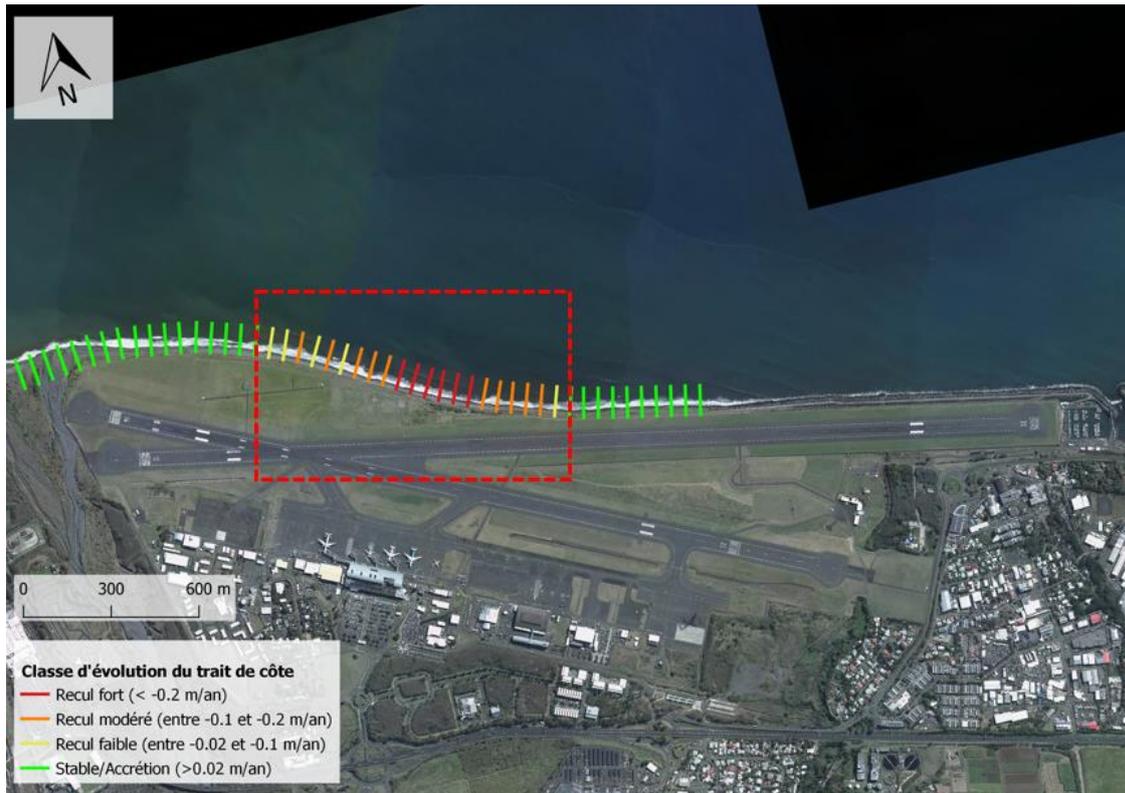


Illustration 69 : Résultats de l'analyse DSAS sur le secteur du port de Sainte-Marie

L'analyse du cordon de galets à renforcer située à l'ouest de la digue montre un recul du trait de côte localisé sur un linéaire d'environ 1 km pouvant aller jusqu'à des taux supérieur à 20 cm/an, correspondant à un recul fort selon les Plans de Prévention des Risques Côtiers (PPRL) (Illustration 70, encadré rouge). Cela témoigne donc d'un intérêt à renforcer la partie en recul et par conséquent de réaliser un transfert de sédiments depuis la zone d'accumulation située à l'est.



*Illustration 70 : Zone identifiée en recul, à l'ouest du port de Sainte-Marie*

#### **3.4.4. Estimation des volumes sédimentaires vis-à-vis d'un profil de référence**

Une analyse topographique a été réalisée sur 20 profils extraits du MNT Litto3D (2008), à défaut de données topographiques actualisées sur le secteur (Illustration 71).



Illustration 71 : Localisation des profils topographiques sur le secteur de Sainte-Marie (Fond : Orthophotographie IGN 2008)

La largeur de plage suit un gradient positif est-ouest au sein des profils, visibles particulièrement à partir du profil 7 dû à l'accumulation contre la digue du port (Illustration 72).

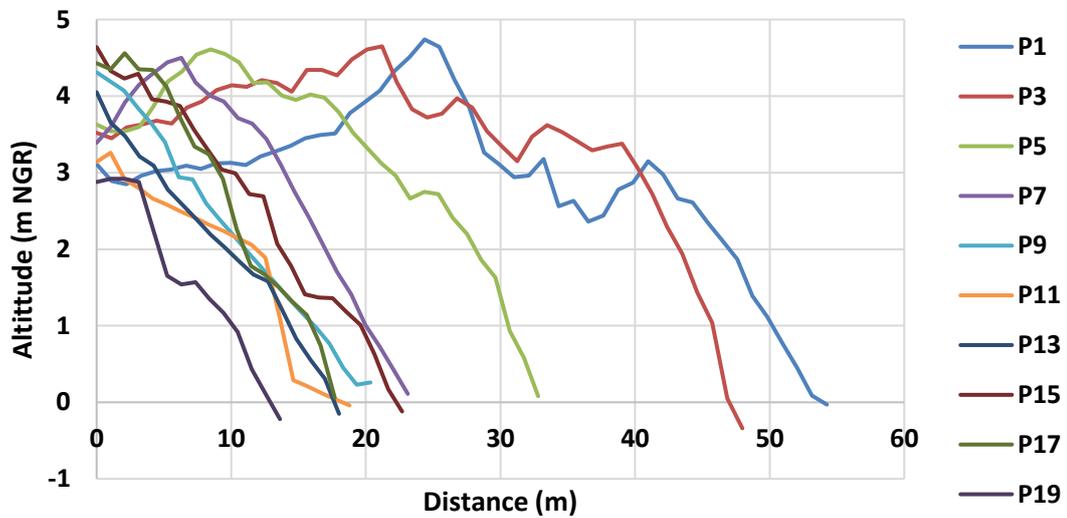


Illustration 72 : Gradient de la largeur de plage visible sur les profils topographiques, lié à la présence du port de Sainte-Marie

## Choix du profil de référence et bilans volumiques

- Est de la digue portuaire

Les profils situés au sein de la zone de transition, sont dans un état dégradé et possèdent une largeur de plage faible (< 20 mètres). Cela est probablement dû au passage du cyclone Gamède en 2007 qui a fortement impacté le nord de l'île, un an avant la réalisation du levé Litto3D en 2008. Morphologiquement parlant, il paraît incohérent d'établir un profil de référence sur cette zone malgré les résultats de l'analyse DSAS.

Afin de ne pas surestimer les volumes sédimentaires excédentaires en définissant une référence trop dégradée, le profil de référence a été choisi au sein de la zone en accrétion et selon des critères purement morphologiques :

- Une altitude générale plus élevée par rapport aux profils situés dans les zones de transition et d'érosion (Illustration 75) ;
- Morphologie similaire aux profils en accrétion (P1 – P6) mais avec une largeur de plage plus faible (Illustration 74)

Après comparaison entre les profils des zones en accrétion et en transition, le profil n°7 ressort comme possédant une bonne morphologie (largeur supérieure à 20 m et en accord avec les recommandations de Belon (2017)) et pourra servir de profil de référence (Illustration 73 et Illustration 74).

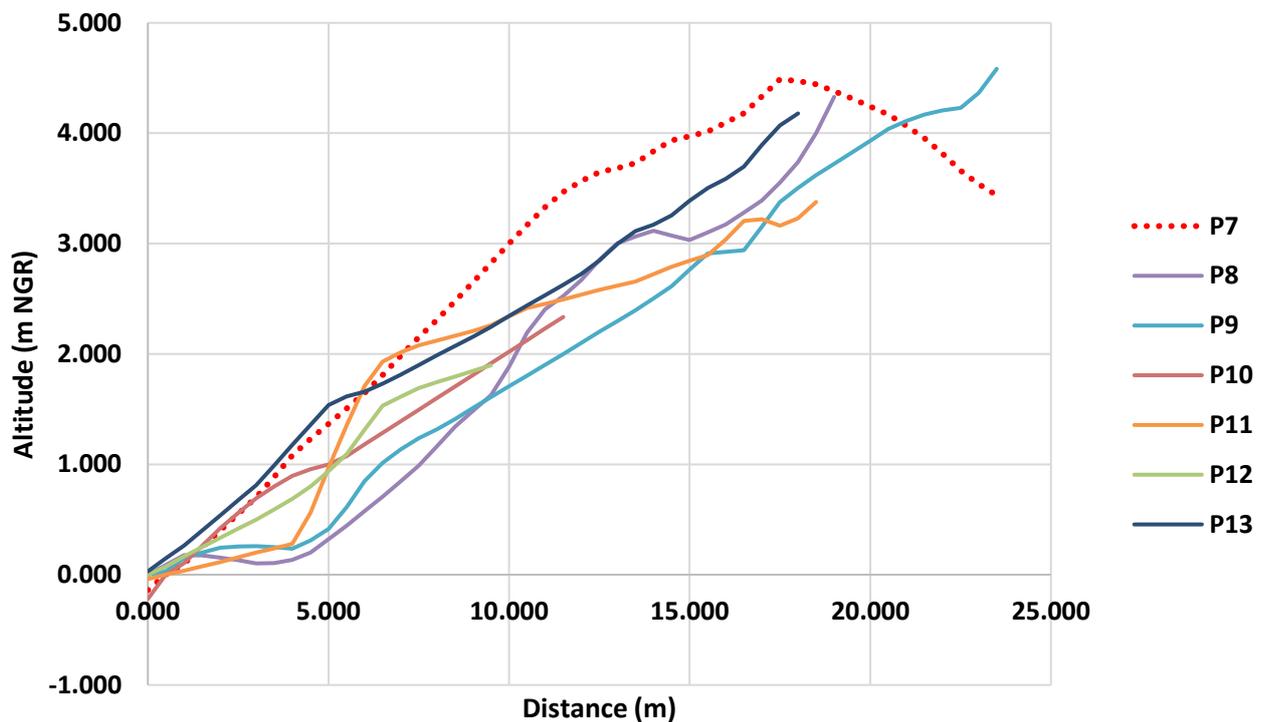


Illustration 73 : Profils topographiques situés dans la zone de transition (+ P7, P8 & P9)

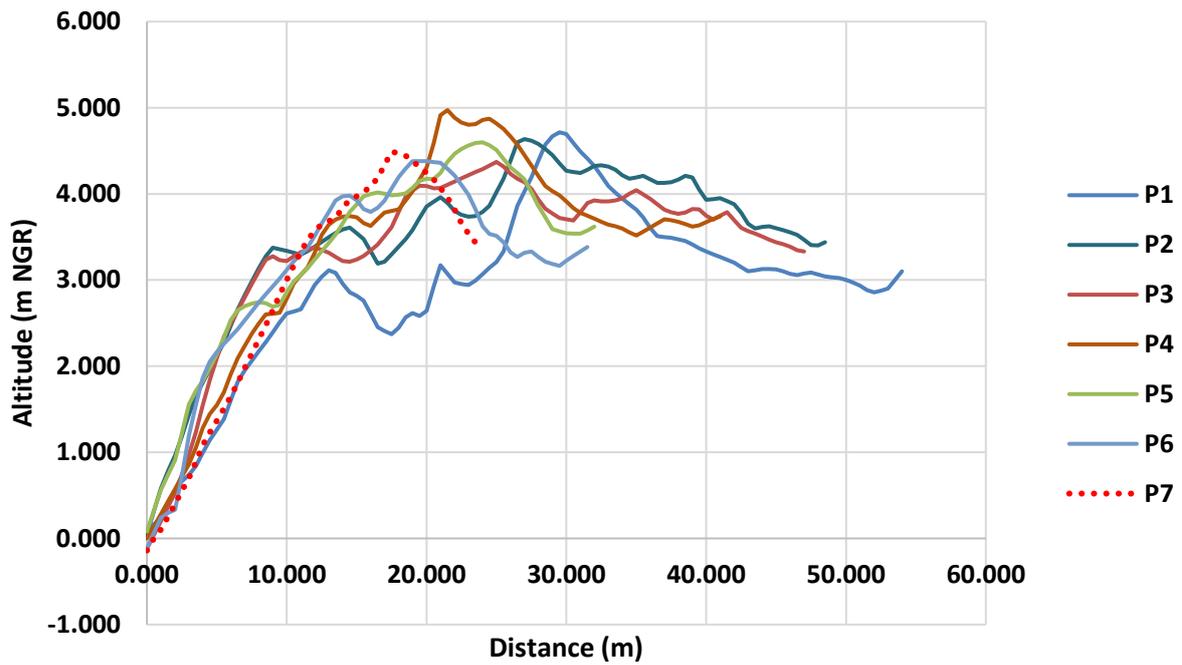


Illustration 74 : Profils topographiques situés dans la zone en accrétion

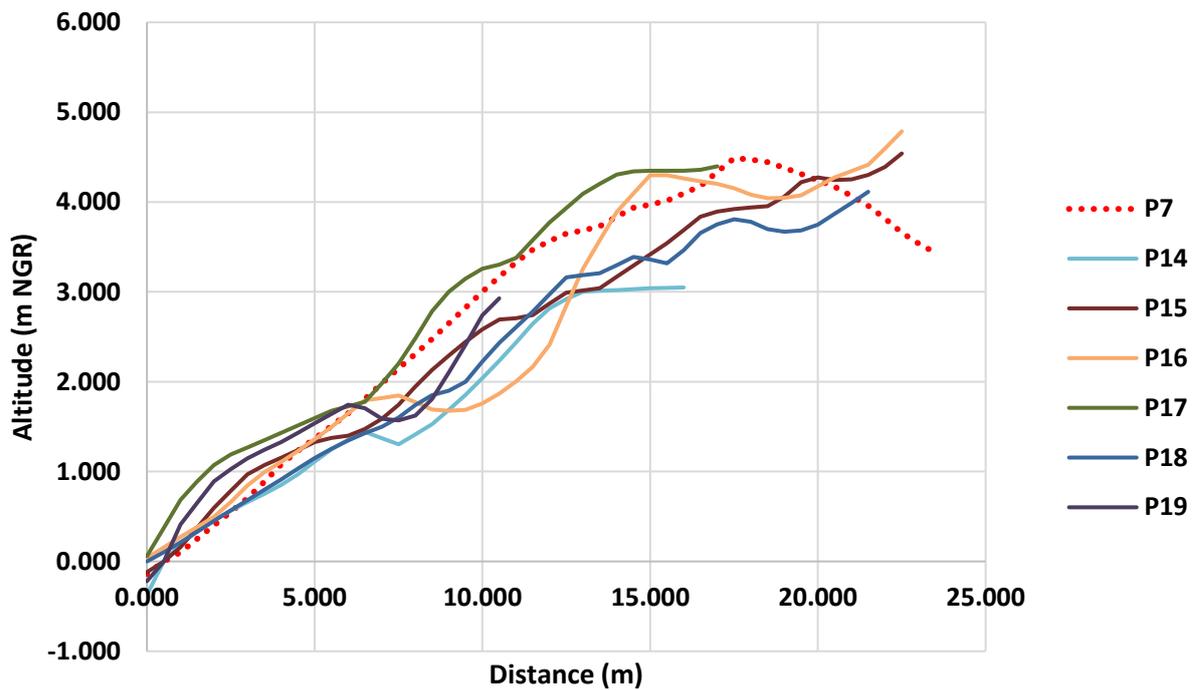


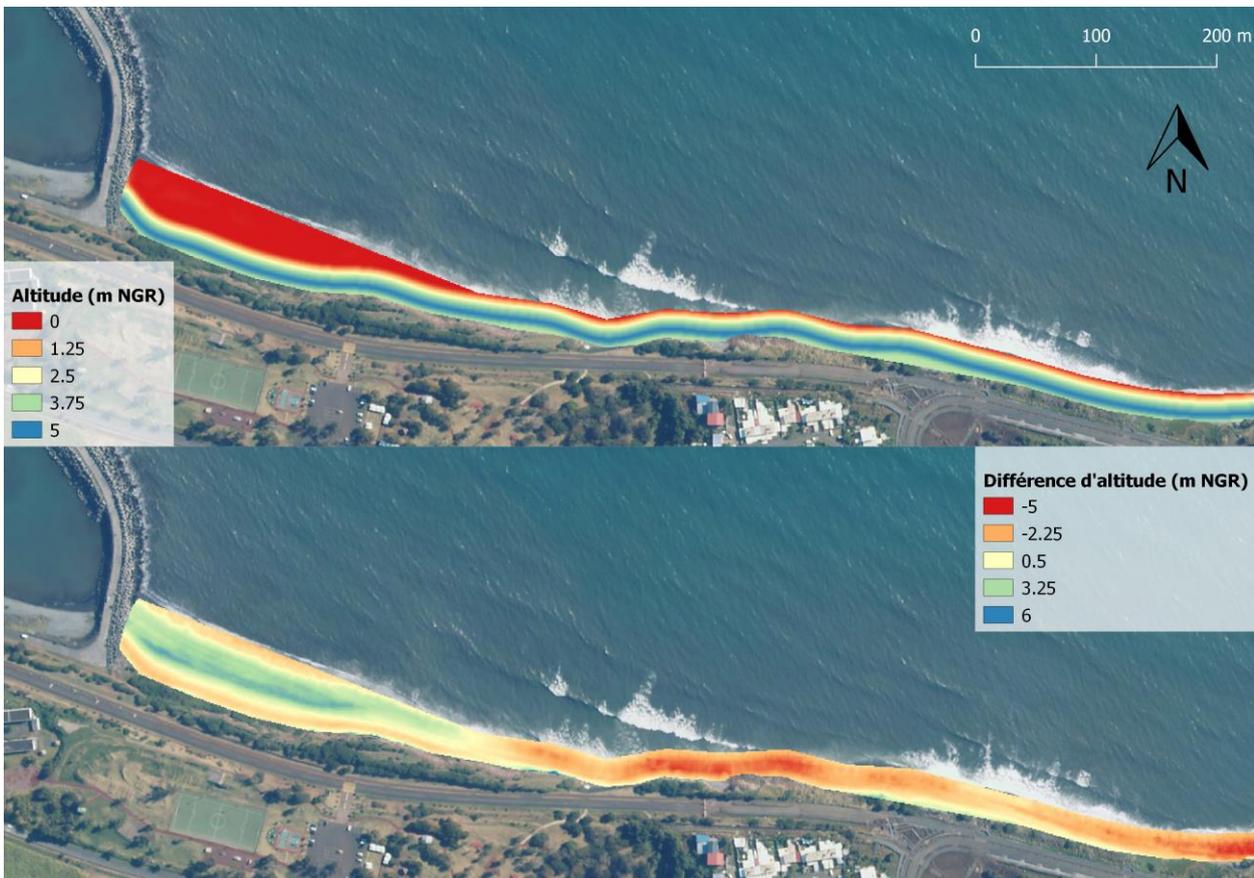
Illustration 75 : Profils topographiques situés dans la zone en érosion

Par conséquent, les volumes calculés par rapport au P7 ne devraient être ni trop surestimés ni trop sous-évalués.

## Bilan volumique du secteur :

### Méthode du raster de référence

La différence entre Litto3D et raster de référence fait apparaître une zone d'accumulation et une zone en déficit sédimentaire (Illustration 76). La somme de ce volume excédentaire est estimée à **+22000 ± 4500 m<sup>3</sup>** et la somme du volume déficitaire à **25000 ± 5000 m<sup>3</sup>**.



*Illustration 76 : MNT issu du profil de référence (au-dessus) et MNT de différence entre Litto3D et le MNT de référence (en-dessous) sur le secteur EST*

### Méthode d'extrapolation des profils topographiques :

L'extrapolation des profils topographiques sur 50 m (Illustration 71) indique un volume excédentaire total de **+21000 ± 4500 m<sup>3</sup>** et déficitaire de **-22000 ± 4500 m<sup>3</sup>** (Tableau 8). Les deux méthodes renvoient des résultats du même ordre de grandeur, même si la méthode du raster indique un volume déficitaire un peu plus élevé. Les valeurs retenues seront de **+21500 ± 4500 m<sup>3</sup>** de volume excédentaire et **-23500 ± 5000 m<sup>3</sup>** de volume déficitaire.

	Volume au dessus de 0 m NGR (m3)	Différence de volume avec le profil de référence (m3)
P1	158	91
P2	169	103
P3	158	91
P4	138	71
P5	105	39
P6	98	31
P7 (REF)	67	0
P8	33	-33
P9	49	-17
P10	13	-53
P11	35	-32
P12	9	-57
P13	39	-28
P14	27	-40
P15	58	-9
P16	58	-8
P17	45	-22
P18	50	-17
P19	15	-52
P20	10	-56

Tableau 8 : Volumes estimés sur chaque profil topographique extrapolé sur le secteur du port de Sainte-Marie

Ces résultats indiquent qu'un transfert est envisageable au sein de la cellule, du secteur excédentaire vers les zones en déficit, en termes de volume disponible. Néanmoins se pose la question de l'intérêt à long terme d'un transfert en amont-dérive de l'ouvrage bloquant, qui nécessitera de répéter l'opération.



- **Ouest de la digue portuaire**

Historiquement l'ensemble de la zone ne formait qu'une seule et même cellule hydrosédimentaire avant la construction du port dans les années 90, par conséquent le profil de référence identifiée à l'est est considéré comme valable sur ce secteur.

Seule la méthode des rasters a été utilisée afin d'estimer les volumes en jeu sur le secteur étant donné les ordres de grandeurs équivalents entre les différentes méthodes.



Illustration 77 : MNT de différence entre Litto3D et le MNT de référence (en-dessous) sur le secteur OUEST

Sur cette zone (Illustration 77), le volume déficitaire par rapport au profil de référence est estimé à  $27000 \pm 5500 \text{ m}^3$ . Ce volume reste dans la gamme des volumes excédentaires identifiés en considérant la marge d'erreur.

### **Bilan du site :**

La majorité du stock sédimentaire excédentaire a été remanié/déplacé en raison des travaux d'aménagement en cours (2020) sur la zone portuaire de Sainte-Marie. L'impossibilité de mettre à jour la topographie du secteur a contraint l'estimation des volumes sédimentaires excédentaires et déficitaires à l'exploitation seule du MNT Litto3D levé en 2008, un an après le passage du cyclone Gamède qui a fortement impacté le littoral nord réunionnais. Les résultats sont par conséquent donnés à titre indicatif et permettent d'avoir un ordre de grandeur du stock sédimentaire disponible.

Le volume excédentaire est estimé à  $+21500 \pm 4500 \text{ m}^3$  et le volume déficitaire à  $-23500 \pm 5000 \text{ m}^3$  sur la zone située la plus à l'est de la jetée portuaire et à  $-27000 \pm 5500 \text{ m}^3$  sur le secteur en érosion localisé à l'ouest d'infrastructure portuaire.

Il apparaît donc que le volume excédentaire soit suffisant pour réaliser un transfert vers les zones déficitaires identifiées. Un transfert unique vers l'amont-dérive de la jetée portuaire ne constituerait pas une solution sur le long terme. Le transit induit par la dérive littorale ramènera au moins une partie des sédiments déplacés contre la jetée portuaire et les problématiques d'ensablement réapparaîtront.

Le transfert des sédiments excédentaires vers le secteur à l'ouest présenterait l'avantage de permettre aux sédiments de passer l'ouvrage bloquant tout en consolidant les enjeux de l'aéroport. Mais au vu de l'importance des enjeux, il serait nécessaire de réaliser une modélisation de submersion sur la base du profil de référence afin de vérifier sa cohérence dans ce contexte. Même si la réaccumulation de la jetée portuaire devrait être moins rapide que dans le cas du premier scénario de transfert. L'intérêt de ces opérations peuvent justifier donc la mise en place d'un Plan de Gestion des Sédiments.

Ces estimations ont été réalisées à partir de données anciennes et une nouvelle campagne de terrain comprenant la réalisation de nouveaux relevés topographiques sera nécessaire avant toute opération de transfert sédimentaire.

Les résultats sont synthétisés sur l'illustration 78 ci-dessous.

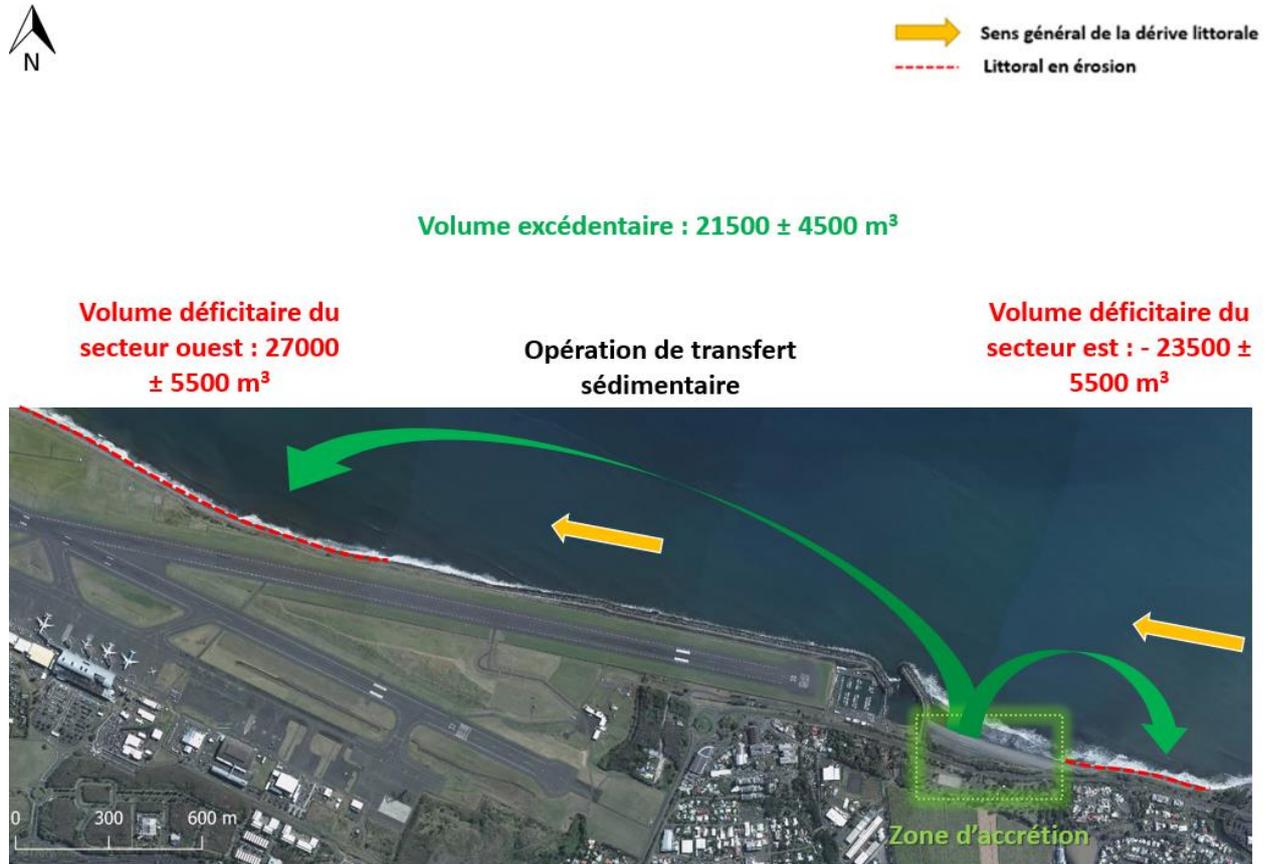


Illustration 78 : Bilan du site de Sainte-Marie (Ortho 2017 IGN)

## 4. Conclusion

Ce programme a permis, à partir des données disponibles (campagnes de terrain en 2020 et Litto3D de 2008), d'identifier, d'estimer et de mettre en relation des volumes de sédiments déficitaires et excédentaires sur les sites de Saint-Gilles-Les-Bains, Trois-Bassins, Saint-Benoît (Butor) et Sainte-Marie (Zone aéroportuaire). Ceux-ci sont résumés dans le tableau suivant (Tableau 9) :

	Volume excédentaire estimé	Volume déficitaire estimé
Saint-Gilles-Les-Bains	21500± 500 m <sup>3</sup>	Roches Noires – Pointe des Aigrettes : 41000 ± 1500 m <sup>3</sup>  Mail de Rodrigues – Ermitage : 48500 ± 10000 m <sup>3</sup>
Trois-Bassins (Souris Chaude – Souris Blanche)	6500 ± 1500 m <sup>3</sup>	20000 ± 4000 m <sup>3</sup>
Saint-Benoît (Butor)	114000 ± 23000 m <sup>3</sup>	40000 ± 8000 m <sup>3</sup>
Sainte-Marie (Le port)	21500 ± 4500 m <sup>3</sup>	27000 ± 5500 m <sup>3</sup> (Ouest)  21500 ± 5500 m <sup>3</sup> (Est)

Tableau 9 : Récapitulatif des résultats obtenus sur chaque site

Ces premiers résultats mettent en avant l'opportunité de réaliser des opérations de transfert de sédiments entre les secteurs en accrétion et les secteurs en érosion au sein d'une même cellule hydrosédimentaire ou deux cellules hydrosédimentaires adjacentes. L'intérêt de ces opérations seraient par ailleurs à déterminer par les collectivités compétentes dans le cadre d'un Plan de Gestion des Sédiments (PGS), afin de planifier ces actions en concertation avec les différents acteurs concernés. Néanmoins, les volumes excédentaires estimés ne permettront pas de compenser entièrement les volumes déficitaires et donc les problématiques d'érosion.

Par ailleurs, les campagnes de terrain réalisées en 2020 ont mis en lumière certaines limites sur les volumes estimés :

- La donnée topographique étant extrapolée de part et d'autres des profils de plage, des incertitudes sont générées ;
- Les volumes estimés dépendent de l'état morphologique de la plage au moment des levés ;
- La méthodologie se base sur un profil de référence qui ne sera pas toujours possible de reproduire de manière opérationnelle sur l'ensemble du linéaire.

De ce fait, avant chaque opération de transfert sédimentaire, un relevé topographique précis de la zone à extraire et de la zone de dépôt devra être réalisé afin d'affiner l'estimation des volumes à transférer et d'évaluer le profil de plage résultant sur chacune des zones. Ces opérations devront être accompagnées d'un suivi morphologique de la plage afin d'optimiser les volumes transférés et leur fréquence en fonction des conditions hydrodynamiques.

Il est important de noter que ces opérations doivent faire l'objet d'une instruction auprès des services de l'Etat.



## 5. Bibliographie

**Belon R. et Moutoussamy L.** (2019) – OBSCOT 2018-2019 – Observation et gestion de l'érosion côtière à La Réunion. Rapport provisoire. BRGM/RP-69661-FR, 142 p., 122 ill., 1 annexe (71p.).

**Belon R. et Salomero J.** (2017) – Etat de la connaissance sur la dynamique du littoral pour mieux appréhender la problématique d'ensablement du port de Sainte-Marie. Rapport final. BRGM/RP-67230-FR, 31 p., 17 fig., 2 tab.

**Boak E. et Turner I.** (2005) - Shoreline Definition and Detection: A Review. Journal of Coastal Research. 21. 688-703. 10.2112/03-0071.1.

**CEREMA (2019)** – Guide de gestion du trait de côte du département de la manche. 29 p.

**Cohen O. (2014)** - Profiler 3.1 XL, un logiciel gratuit pour la construction et l'analyse de profils topographiques dans Microsoft Excel. Actes des XIIIe Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Dunkerque, 2-4 juillet 2014, 557-564. DOI:10.5150/jngcgc.2014.061

**De La Torre Y.** (2004) – Synthèse morphodynamique des littoraux de La Réunion, état des lieux et tendances d'évolution à l'échelle de l'île. BRGM/RP53307-FR, 118 p., 59 ill., 6 ann.

**DREAL Paca et DREAL Occitanie (2018)** - Guide cadre Eval\_Impact - Impacts des projets d'activités et d'aménagements en milieu marin méditerranéen. Recommandations des services instructeurs. (Fascicule 1 : mémento réglementaire).

**Durand G. et Belon R.** (2021) – Guide des bonnes pratiques pour la gestion des ouvrages implantés sur le littoral de La Réunion. Rapport final. BRGM/RP-70651-FR, 63 p., 43 ill., 8 tabl.

**Himmelstoss E.A.** (2009) - "DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide" in : Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. 2009 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. \*updated for version

**Pupier-Dauchez S.** (2002) – Le rechargement sédimentaire : de la défense des côtes à l'aménagement du littoral. 501 p.

**Sealey N.** (2006) - The cycle of Casuarina-induced beach erosion—a case study from Andros, Bahamas. The 12th Symposium on the Geology of the Bahamas and Other Carbonate Regions (2004). San Salvador, Bahamas: Gerace Research Center

## 6. Annexes

### **Annexe 1 :** Extrait du guide cadre Eval\_impact (Fascicule 1) de la DREAL Provence-Alpes-Côte-d'Azur et Occitanie.

Mouillages individuels  Clubs de plage sur plage non concédée  Ouvrages construits avant la loi Littoral dépourvus d'intérêt général  Rechargements de plage, expérimentations gestion du trait de côte	Collectivités et leurs groupements  Associations	<b>Autorisation d'occupation temporaire (AOT)</b>  (art. L. 2122-1 à 3 du CGPPP)	Toujours délivrée à titre personnel, précaire et révocable : il peut y être mis fin à tout moment si l'intérêt du domaine ou l'intérêt général le justifient.  Durée et solidité des installations limitées (technique de construction autorisant une démolition effective au terme de l'autorisation).  Emprise limitée  L'AOT n'est pas une procédure adaptée si les ouvrages sont importants et pérennes.  Ces occupations doivent être compatibles avec l'usage normal du domaine et ses principes de gestion.	La jurisprudence veut également que le titre d'occupation délivré et sa durée soient adaptés à l'importance de l'ouvrage réalisé ou de l'activité exercée.  Révocable à tout moment
Eoliennes off-shore  Câbles sous-marin  Emissaires en mer  Canalisations  Prises d'eau et rejets  Travaux de défense contre la mer (digues, perrés, enrochements, épis, brise-lames...)  Cales publiques  Récifs artificiels	Collectivités et leurs groupements  Personnes privées si intérêt général (ex : câblo-opérateurs)	<b>Concession d'utilisation du DPM en dehors des ports</b>  (art. L. 2124-3 et R. 2124-1 à R. 2124-12 du CGPPP)	Installations ou travaux affectés à l'usage du public, à un service public ou une opération d'intérêt général (au sens d'intérêt collectif)	30 ans maximum renouvelable
Service public balnéaire	Collectivités locales ou leurs groupements / Personnes privées	<b>Concessions de plage</b>	Voir articles R. 2124-13 à R. 2114-38 du CGPPP	Maximum 12 ans
Zones de mouillages et d'équipements légers	Collectivités et leurs groupements, privés	<b>AOT pour zone de mouillages et d'équipements légers</b>	Voir articles R. 2124-39 à R. 2124-55 du CGPPP	Maximum 15 ans



**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction régionale de La Réunion**  
5 rue Sainte-Anne  
CS 51016  
97404 Saint-Denis Cedex, La Réunion  
Tél. : 02 62 21 22 14