



Morphodynamique des littoraux de La Réunion – phase 2

Rapport final

BRGM/RP-55014-FR

Novembre 2006



Morphodynamique des littoraux de La Réunion – phase 2

Estimation de l'érosion côtière
sur les sites identifiés comme sensibles

Rapport final

BRGM/RP-55014-FR

Novembre 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2006 05LITA33

DE LA TORRE Y. ; coll. BALOUIN Y. et DEWEZ T.

Vérificateur :

Original signé par
Yann BALOUIN

Approbateur :

Original signé par
Philippe ROUBICHOU

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Direction Régionale de l'Environnement
RÉUNION



Mots clés : Bathymétrie, Cordon de galets, Erosion, Falaise, La Réunion, Littoral, Morphodynamique, Orthophotographie, Plage, Topographie, Trait de côte.

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

DE LA TORRE Y. ; coll. BALOUIN Y. et DEWEZ T. (2006) – Morphodynamique des littoraux de La Réunion. Phase 2 : estimation de l'érosion côtière sur les sites identifiés comme sensibles. BRGM/RP-55014-FR, 84 p.

Synthèse

Cette étude, cofinancée par la DIREN, la Région Réunion et la dotation de Service public du BRGM fait suite et complète l'étude de phase 1 réalisée en 2004. La phase 2 qui constitue ce rapport s'attache à réaliser une estimation quantitative de la morphodynamique du littoral réunionnais à travers la mise en place d'un réseau de suivi des sites sensibles identifiés en phase 1.

Basée sur l'analyse des variations du trait de côte à partir de photographies aériennes de l'IGN et sur la réalisation de levés topo-bathymétriques, cette étude permet de quantifier et de mettre en évidence des dynamiques disparates.

Sur les 14 sites étudiés :

- 10 sites montrent en effet une tendance érosive ;
- 1 site présente une situation de stabilité (artificielle) ;
- 3 sites affichent une avancée du trait de côte, même si celle-ci est d'origine anthropique.

Une typologie dynamique a ainsi pu être réalisée :

- les cordons de galets présentant plutôt un recul de la micro-falaise qui les surplombent (Saint Denis, Sainte Suzanne, St André), à l'exception de St Benoît où le cordon a quasiment disparu en aval du port ;
- les falaises connaissant dans l'ensemble un recul naturel modéré ;
- les plages font apparaître des tendances contrastées avec un recul naturel aggravé par l'Homme (Grande Anse, l'Hermitage) et un engraissement à St Pierre qui s'avère uniquement artificiel.

Compte-tenu des limites actuelles dans l'interprétation des phénomènes et de l'exposition parfois importante des enjeux, ces travaux peuvent être poursuivis dans le cadre d'une pérennisation du réseau d'observation dont le but serait la meilleure compréhension, la surveillance et la proposition de recommandations pour la préservation de ces espaces sensibles.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Le réseau d'observation	11
3. Méthodologie mise en œuvre	15
3.1. L'ANALYSE DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES.....	15
3.1.1. Procédé.....	15
3.1.2. Limites de la méthode	17
3.2. LES MESURES DE TERRAIN	17
4. Evolution morphologique des sites.....	21
4.1. SAINT-DENIS : LE BOULEVARD LANCASTEL.....	21
4.2. LES FALAISES DE SAINTE-SUZANNE.....	27
4.3. LE CENTRE-VILLE DE SAINTE-SUZANNE.....	31
4.4. SAINT-ANDRE : CHAMP BORNE.....	35
4.5. LE PORT DE SAINT-BENOIT	40
4.6. SAINT-PHILIPPE : LA MER CASSEE	46
4.7. SAINT-JOSEPH : LANGEVIN	49
4.8. PETITE-ILE : GRANDE ANSE	52
4.9. LES FALAISES DE GRAND BOIS	58
4.10. LA PLAGE DE SAINT-PIERRE	61
4.11. SAINT-PIERRE : LA POINTE DU DIABLE	65
4.12. ETANG SALE LES BAINS	68
4.13. SAINT-PAUL : L'HERMITAGE	72
4.14. LE PORT : LA POINTE DES GALETS	77
5. Synthèse des résultats	83

5.1. BILAN DES EVOLUTIONS	83
5.2. TYPOLOGIE DYNAMIQUE	84
5.3. LES ENJEUX	85
6. Conclusion.....	87

Liste des illustrations

Illustration 1 - Sites de l'étude	12
<i>Illustration 2 - Localisation des sites (fond IGN).....</i>	<i>13</i>
Illustration 3 - Campagnes photographiques utilisées.....	15
Illustration 4 – Stations fixe (A) et mobile (B) du système DGPS pour la topographie	18
Illustration 5 – Couplage sondeur/GPS (A : sonde ; B : système de navigation/acquisition) embarqué pour la bathymétrie.....	18
Illustration 6 – Levé topographique des zones arrière-récifales peu profondes au DGPS	19
Illustration 7 – Evolution du débouché de la ravine Patate à Durand (voir localisation sur l'illustration 8).....	22
Illustration 8 – Position des traits de côte de St Denis et localisation des levés topo-bathymétriques	23
Illustration 9 – Evolution de la micro-falaise au niveau du cimetière (Zoom A) et des levés GPS (Zoom C) – Orthophotographies IGN - 2003.....	25
Illustration 10 – Profil topo-bathymétrique du site de St Denis - Zoom sur les 40 premiers mètres.....	26
Illustration 11 – Morphologie du site à l'emplacement du profil topographique	27
Illustration 12 – Position des traits de côte des falaises de Ste Suzanne et localisation des levés topo-bathymétriques.....	28
Illustration 13 – Profil topo-bathymétrique du site des falaises de Ste Suzanne	30
Illustration 14 – Micro-falaise de la Chapelle en 2004 et 2006.....	31
Illustration 15 – Position des traits de côte du centre-ville de Ste Suzanne et localisation des levés topo-bathymétriques.....	32
Illustration 16 – Profil topo-bathymétrique du site du centre-ville de Ste Suzanne Zoom sur les 50 premiers mètres	34
Illustration 17 – Centre-ville de Ste Suzanne (Janvier 2006)	35
Illustration 18 – Position des traits de côte de Champ Borne à St André et localisation des levés topo-bathymétriques.....	37
Illustration 19 – Profil topo-bathymétrique du site de Champ Borne	39
Illustration 20 - Falaise de Champ Borne en janvier 2006	40

Illustration 21 – Position des traits de côte de St Benoît et localisation des levés topo-bathymétriques.....	41
Illustration 22 – Profil topo-bathymétrique au Nord du port de St Benoît	43
Illustration 23 – Morphologie du site au Nord du port (Janvier 2006).....	44
Illustration 24 – Profil bathymétrique au Sud du port de St Benoît	45
Illustration 25 – Morphologie du cordon de galet au Sud du port de St Benoît (janvier 2006)	45
Illustration 26 – Profils topographiques au sud du port de St Benoît.....	46
Illustration 27 – Position des traits de côte de St Philippe (la Mer Cassée)	47
Illustration 28 – Sous-cavage de la falaise de la Mer Cassée à St Philippe.....	48
Illustration 29 – Fracturation et basculement de pans de falaise à la Mer Cassée	49
Illustration 30 – Position des traits de côte de Langevin à St Joseph	50
Illustration 31 – Morphologie de la falaise de Langevin.....	51
Illustration 32 – Coulée de solifluxion à Langevin.....	52
Illustration 33 – <i>Position des traits de côte de Grande Anse et localisation des levés topo-bathymétriques</i>	54
Illustration 34 – Profils topo-bathymétriques de Grande Anse en janvier 2006.....	55
Illustration 35 – Profils topographiques au Nord de la plage de Grande Anse.....	56
Illustration 36 – Profils topographiques au centre de la plage de Grande Anse.....	57
Illustration 37 – Position des traits de côte des falaises de Grand Bois	59
Illustration 38 - Morphologie des falaises de Grand Bois	60
Illustration 39 – Position des traits de côte de St Pierre et localisation des levés topographiques	62
Illustration 40 – Profil topo-bathymétrique de St Pierre	64
Illustration 41 – Position des traits de côte de la Pointe du Diable et localisation des levés topo-bathymétriques.....	66
Illustration 42 – Profil bathymétrique de la Pointe du Diable	67
Illustration 43 - Morphologie de la falaise de la Pointe du Diable	68
Illustration 44 - Position des traits de côte d'Etang Salé les Bains (Bassin Pirogue) et localisation des levés topographiques	69
Illustration 45 – Profil topographique de Bassin Pirogue à Etang Salé les Bains.....	71
Illustration 46 – Déchaussement du mur de protection	72
Illustration 47 – Position des traits de côte de l'Hermitage et localisation des levés topographiques	73
Illustration 48 – Profil topographique de l'Hermitage	76
Illustration 49 – Evolution de la Pointe des Galets (Zoom A - Orthophotographie IGN 2003)	78

Illustration 50 – Position des traits de côte du Port (Pointe des Galets) et localisation des levés topo-bathymétriques.....	79
Illustration 51 – Evolution du cordon de galets au Port (Zoom B – Orthophotographie IGN 2003)	81
Illustration 52 – Pofil topo-bathymétrique au Port (Pointe des Galets) Zoom sur les 70 premiers mètres.....	82
Illustration 53 – Synthèse des évolutions	83
Illustration 54 – Niveau d’exposition des enjeux	85

1. Introduction

Le domaine littoral, zone de transition entre terre et mer, est un milieu fragile et très sollicité. Compte tenu du développement accéléré de l'île et de l'augmentation de sa population, ainsi que des évolutions récentes observées (50% des côtes sont concernées par des phénomènes d'érosion¹), un besoin réel existe en matière de gestion et de suivi du littoral de La Réunion.

Cette étude, cofinancée par la DIREN, la Région Réunion et la dotation de Service public du BRGM, fait suite et complète l'étude de phase 1 réalisée en 2004.

La première phase avait pour but de faire la synthèse des types de côtes de La Réunion et de leurs tendances d'évolution morphologique. Elle a permis notamment de définir un certain nombre de sites sensibles en termes d'érosion côtière.

La phase 2 qui concerne ce rapport s'attache à réaliser une estimation quantitative de la morphodynamique du littoral réunionnais à travers la mise en place d'un réseau de suivi des sites identifiés comme sensibles lors de la phase 1.

L'étude quantitative des évolutions morphologiques côtières se décline en deux échelles de temps permettant de faire apparaître d'une part l'évolution « historique » pluri-décennale et d'autre part l'évolution actuelle².

Le rapport présente donc, en premier lieu, le réseau de sites étudiés, puis la méthodologie mise en œuvre et enfin les résultats de l'analyse quantitative.

¹ Cf. étude de phase 1 (rapport BRGM/RP-53307-FR).

² Une évolution n'a pu être calculée que pour les sites disposant de données antérieures.

2. Le réseau d'observation

Le réseau d'observation est basé sur 14 sites sensibles identifiés lors de la synthèse morphodynamique des littoraux de La Réunion (phase 1 de l'étude).

Les 14 sites concernés ont été jugés « sensibles » car ils présentaient des situations d'érosion et possédaient des enjeux immédiats (habitations, routes, parcelles agricoles, etc.) potentiellement menacés. Le réseau comprend les sites suivants :

	SITE	TYPE DE COTE	TYPE D'EROSION	ENJEUX IMMEDIATS
1	Saint-Denis	Cordon de galets	Erosion cordon + micro-falaise meuble	Infrastructures urbaines (promenade)
2	Sainte-Suzanne 1 (falaise)	Falaise mixte	Erosion de la falaise	Bâti (chapelle)
3	Sainte-Suzanne 2 (ville)	Cordon de galets	Erosion cordon + micro-falaise meuble	Bâti (centre-ville, marché)
4	St André (Champ-Borne)	Cordon de galets	Erosion de la micro-falaise meuble	Infrastructures urbaines (routes, bâti)
5	Saint-Benoît (Port)	Cordon de galets	Erosion cordon de galets+ micro-falaise meuble	Infrastructures urbaines (promenade)
6	St Philippe (La mer cassée)	Falaise de basalte	Erosion de la falaise	Infrastructures urbaines (routes, bâti)
7	Saint-Joseph (Langevin)	Falaise meuble	Erosion de la falaise	Parcelles agricoles et habitations
8	Petite-Ile (Grande Anse)	Plage corallienne peu évoluée de sable corallien	Erosion de la plage et de l'arrière plage (formations superficielles)	Plage touristique
9	Grand Bois	Falaise de basalte	Erosion de la falaise	Infrastructures urbaines (routes, bâti)
10	Saint-Pierre 1 (ville)	Plage corallienne évoluée de sable corallien	Erosion de la plage	Habitations et plage

	SITE	TYPE DE COTE	TYPE D'EROSION	ENJEUX IMMEDIATS
11	St Pierre 2 (Pointe du diable)	Falaise meuble	Erosion de la falaise	Infrastructures (bâti, routes)
12	Etang-Salé les bains	Plage de sable basaltique	Erosion de la plage	Habitations
13	St Paul (L'Hermitage)	Plage corallienne évoluée de sable corallien	Erosion de la plage	Plage et bâtiments
14	Le Port (Pointe des Galets)	Cordon de galets	Erosion cordon + micro-falaise meuble	Infrastructures (port, route et parcours physique)

Illustration 1 - Sites de l'étude

Ces sites sensibles se répartissent sur l'ensemble de l'île (*Illustration 2*).

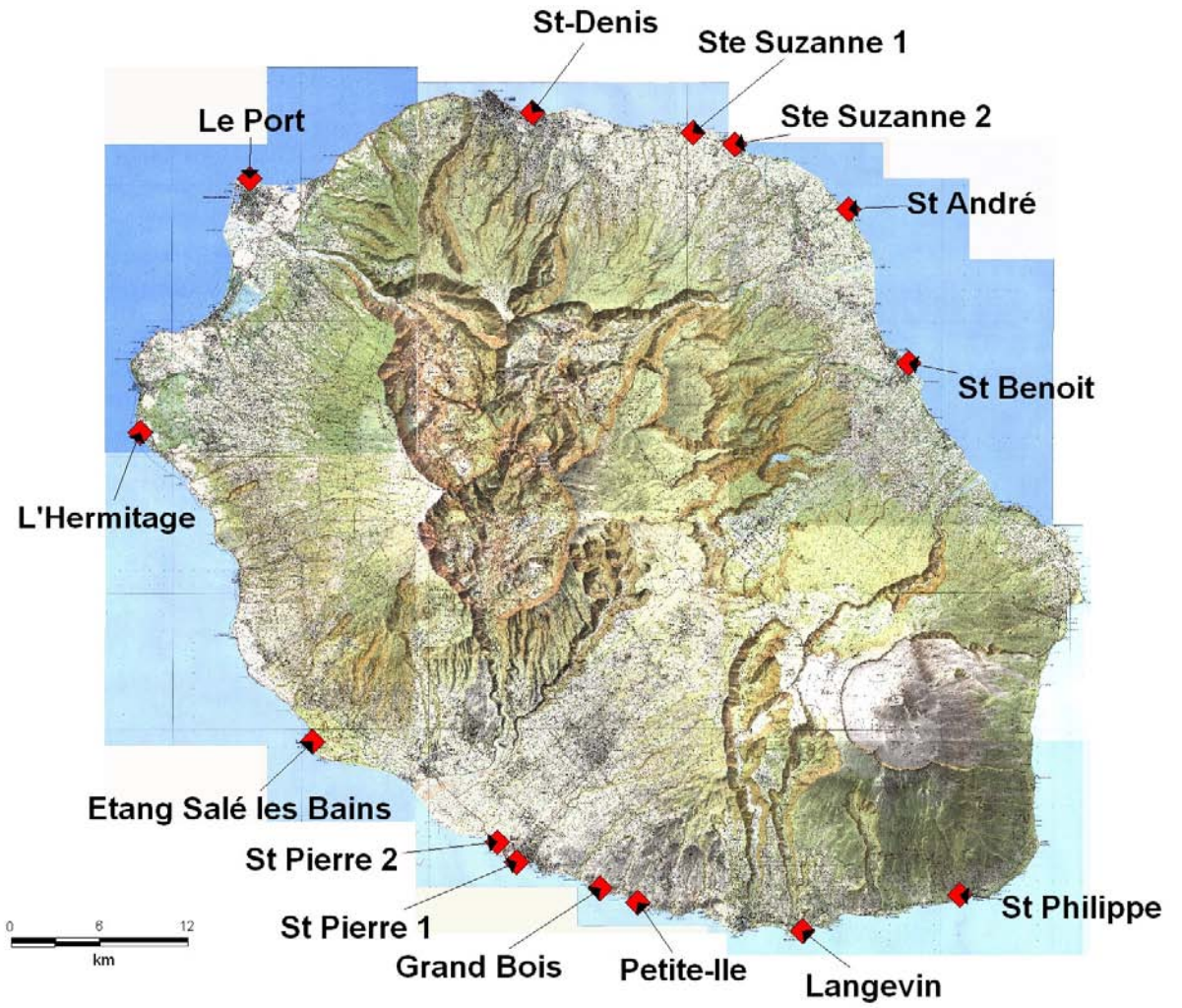


Illustration 2 - Localisation des sites (fond IGN)

3. Méthodologie mise en œuvre

3.1. L'ANALYSE DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES

Le traitement de photographies aériennes permet de quantifier l'évolution « historique » récente (échelle pluri-décennale) des sites en se basant sur la variation du trait de côte.

3.1.1. Procédé

Le principe général consiste à numériser les positions anciennes du trait de côte des sites à partir des clichés de l'IGN et de mesurer les variations constatées.

Nous avons utilisé les campagnes photographiques de 1978 ; 1997 et 2003 (Illustration 3).

Années	Nature	Echelle de prise de vue	Résolution image numérique
1978	Couleur	1 : 20 000	1 pixel = 0.5 m
1997	Couleur	1 : 25 000	1 pixel = 1 m
2003	Couleur	1 : 25 000	1 pixel = 0.5 m

Illustration 3 - Campagnes photographiques utilisées

- **La « correction » des clichés**

Afin de pouvoir mesurer une évolution, il faut que les images soient corrigées ou « redressées » géométriquement. En effet, les photographies aériennes contiennent des déformations géométriques dues à la prise de vue (déformation de l'optique de l'appareil photo) et au relief.

Deux méthodes principales de corrections sont utilisées :

- la moins contraignante, que l'on peut appeler « géocorrection » revient à résoudre les problèmes de distorsions de l'image dues à l'objectif au moyen de points de calage pris sur un document de référence ;

- la plus élaborée est « l'orthorectification » effectuée par l'IGN pour obtenir ses orthophotographies qui, en outre, prend en compte les phénomènes de parallaxes (déformations dues au relief).

Les images de 1978 ont fait l'objet d'une géocorrection avec le logiciel ERDAS par le BRGM. Les scans photogrammétriques (scans de la pellicule photo à 1000 dpi) ont été acquis auprès de l'IGN. Les déformations dues à l'optique et à l'inclinaison de l'avion ont été rectifiées grâce au certificat de calibration de la chambre métrique (paramètres de l'objectif lors de la prise de vue) d'une part et au moyen de points de calage sur la base de l'orthophotographie IGN de 2003 d'autre part. Les distorsions dues au relief n'ayant pas pu être prises en compte, les images ont été rectifiées sur un plan d'altitude constant. La marge d'erreur sur les points de contrôle est inférieure à 2 m, uniquement au niveau du littoral.

Les images de 1997 et 2003 sont des orthophotographies réalisées par de l'IGN (BD ORTHO).

- **La numérisation et détermination du trait de côte**

Les traits de côtes des différents sites ont été digitalisés pour chacune des dates avec le logiciel MapInfo. Compte-tenu de la résolution minimale des images (1 m pour 1997) et de l'échelle de restitution prévue au 1/10 000, la digitalisation a été faite à l'échelle de 1/2000.

La numérisation du trait de côte nécessite au préalable le choix d'une définition adaptée du trait de côte. Cette définition varie selon les usages. Par exemple, le trait de côte de l'IGN porté sur les cartes (« laisses de pleine mer ») ne correspond pas à celui du SHOM (limite supérieure atteinte par la mer aux plus fortes marées). Dans la pratique, la définition du trait de côte dépend de l'application que l'on veut en faire.

Compte-tenu de la diversité des milieux littoraux étudiés, il n'a pas été possible de retenir une définition unique du trait de côte pour tous nos sites. Celui-ci a donc été défini sur chaque site en fonction de ce que l'on cherche à observer (recul d'une falaise, érosion d'une plage, d'un cordon de galets) et de la « lisibilité » des photographies. L'important en termes de comparaison étant de conserver la même définition sur un site pour toutes des dates. Ainsi, les limites « trait de côte » utilisées ont été :

- la partie haute du versant pour les falaises et micro-falaises,
- le haut de plage ou de cordon de galets (limite de la végétation ou d'aménagements),
- la limite du jet de rive dans les cas où les conditions de mer sont comparables³.

La définition du trait de côte utilisé est spécifiée dans le chapitre 4 pour chaque site.

³ Compte-tenu du faible marnage (0,5 m), cette limite dépend surtout de l'action des vagues.

3.1.2. Limites de la méthode

Bien que cette méthode soit largement répandue et utilisée, elle comporte un certain nombre de limites liées à la qualité des images (photo d'origine et géocorrection) et de la numérisation.

En effet, comme il a été signalé précédemment, la qualité des images est variable selon les campagnes et les méthodes de « correction ». Du fait de l'absence de prise en compte du relief, les images de 1978 présentent par endroits des problèmes de calage mais mêmes les orthophotographies de l'IGN, qui font office de référence, conservent des écarts d'une campagne à l'autre. Ainsi, les coordonnées géographiques d'un objet peuvent varier de plusieurs mètres selon la date alors qu'il n'a pas bougé dans la réalité.

En outre, la reconnaissance du trait de côte est entachée d'une certaine incertitude car elle est basée sur le jugement de la personne qui en est chargée et qui doit interpréter les zones « bouchées » par les ombres portées et/ou déformées par la parallaxe. La campagne de 1997 a été en effet plus difficile à interpréter car moins précise en termes de résolution, beaucoup plus contrastée et plus « bouchée » en raison d'une prise de vue vraisemblablement en fin de journée.

En raison de ces contraintes, les erreurs de positionnement du trait de côte ont été estimées entre **5 et 10 m**, au-delà l'image a été exclue. L'ordre de grandeur de l'erreur est spécifié dans le chapitre 4 pour chaque site.

3.2. LES MESURES DE TERRAIN

Les levés topographiques permettent de caractériser l'évolution actuelle des sites. Un réseau de profils a été implanté en janvier 2006 sur les plages et cordons de galets, à raison de 1 profil par site. Le profil est positionné en fonction du contexte morphodynamique et des enjeux de la zone. Le profil à terre a été poursuivi dans la partie sous-marine du littoral afin d'observer le devenir des sédiments en mer.

Une analyse diachronique a pu être réalisée sur les plages de l'Hermitage, St Pierre et Grande Anse où des profils existaient déjà (réseau de suivi des plages coralliennes du LSTUR⁴ – mise à disposition des données anciennes par le laboratoire). Sur les sites vierges de données topographiques, les profils initient un suivi en fournissant un premier état de référence.

En outre, des levés longitudinaux ont été réalisés, notamment au sommet des falaises mais aussi pour les plages et cordons de galets (ligne de rivage et/ou haut de plage) afin d'acquérir des données sur l'évolution « en plan » des sites. Ces données ont pu ainsi être incorporées à l'analyse « historique ».

⁴ LSTUR : Laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de La Réunion.

Les mesures topographiques ont été effectuées au moyen d'un GPS différentiel (station mobile + fixe - Illustration 4). Les levés bathymétriques ont été effectués avec un échosondeur monofaisceau embarqué et couplé au GPS (Illustration 5). Dans les zones immergées peu profondes (dépressions d'arrière-récif) les levés de la plage sous-marine ont été faits à pied avec à une double longueur de canne du DGPS (Illustration 6).

Les stations fixes du GPS ont été implantées sur des repères suffisamment stables dans le temps pour pouvoir les retrouver et recalibrer les données lors de levés ultérieurs. Un second repère sur un point fixe a été levé systématiquement, par mesure de sécurité.

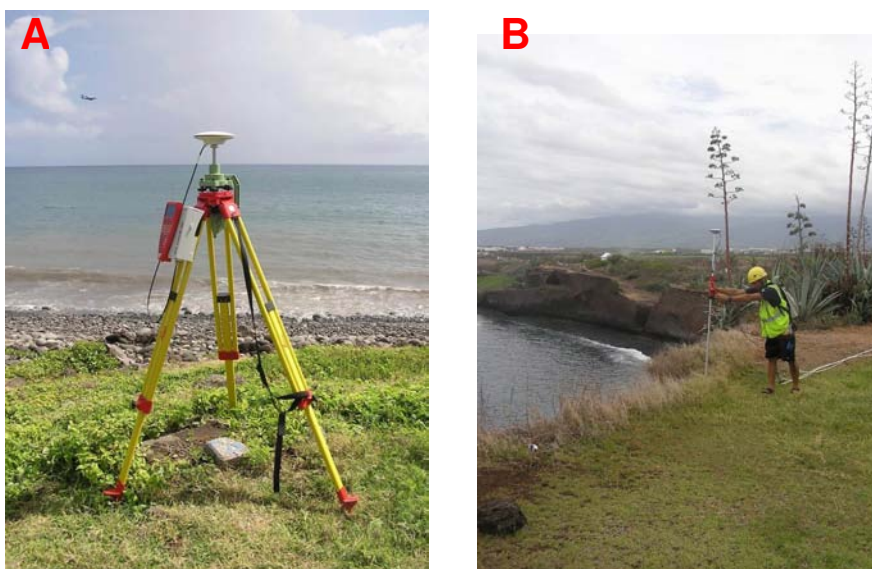


Illustration 4 – Stations fixe (A) et mobile (B) du système DGPS pour la topographie

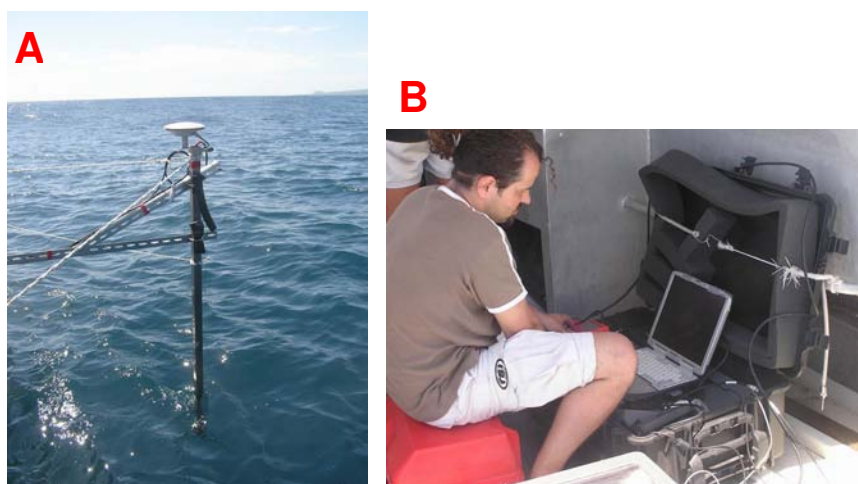


Illustration 5 – Couplage sondeur/GPS (A : sonde ; B : système de navigation/acquisition) embarqué pour la bathymétrie



Illustration 6 – Levé topographique des zones arrière-récifales peu profondes au DGPS

4. Evolution morphologique des sites

Ce chapitre présente chaque site ainsi que les résultats de l'analyse quantitative à long terme (variations du trait de côte) et court terme (profils topo-bathymétriques).

4.1. SAINT-DENIS : LE BOULEVARD LANCASTEL

Le site de Saint-Denis se situe le long du boulevard Lancastel entre la Pointe des Jardins au Barachois à l'Ouest et le ravine du Chaudron à l'Est.

Contexte

Ce site est constitué d'un *continuum* de galets principalement alimenté par la Rivière des Pluies et plus ponctuellement par les ravines non pérennes qui y débouchent.

Relativement linéaire, cette portion de côte est exposée aux houles d'alizés qui induisent un transit sédimentaire Est-Ouest du fait de la dérive littorale. Elle est occasionnellement concernée par les houles cycloniques de secteur Nord.

Le cordon de galet est surmonté d'une micro-falaise de formations superficielles pour la plupart stabilisée par l'aménagement du front de mer (terrassment et remblaiement, enrochement ponctuel, plantations). Si le cordon lui-même semble offrir une bonne résilience aux tempêtes, la micro-falaise en question, fossile ou « fixée » par les aménagements, paraît subir un recul régulier (déchaussement de la piste cyclable, chute des plantations sur les galets).

Evolution historique

Le littoral de St Denis présentant une configuration mixte (galets et micro-falaise), deux références ont été prises en compte pour représenter le trait de côte : le contact terre-mer et le haut du cordon de galet marqué par le bord de la micro-falaise. Le contact terre-mer permet de faire apparaître les variations de la largeur de l'estran de galets tandis que le haut de cordon tend à montrer l'évolution de la micro-falaise.

La marge d'erreur concernant le calage de ce cliché est tout à fait correcte et n'excède pas les 3 m sur les points de contrôle du littoral d'une date à l'autre.

L'analyse historique (Illustration 8) montre, tout d'abord, une faible corrélation entre l'évolution multi-dates du cordon de galets et la micro-falaise, chacun évoluant à son propre rythme (la micro-falaise peut conserver les traces de recul d'une tempête tandis que le cordon est déjà ré-engraissé).

En ce qui concerne l'évolution du cordon de galets, une certaine stabilité du contact terre-mer est constatée de manière générale, ce qui confirme la bonne résilience et le retour à l'équilibre du cordon après les périodes de tempêtes (toutes les images ont été

prises au moins un an après le dernier cyclone). En revanche d'importantes variations au niveau des débouchés de ravine sont notables, notamment sur celui de Patate à Durand (Illustration 7).

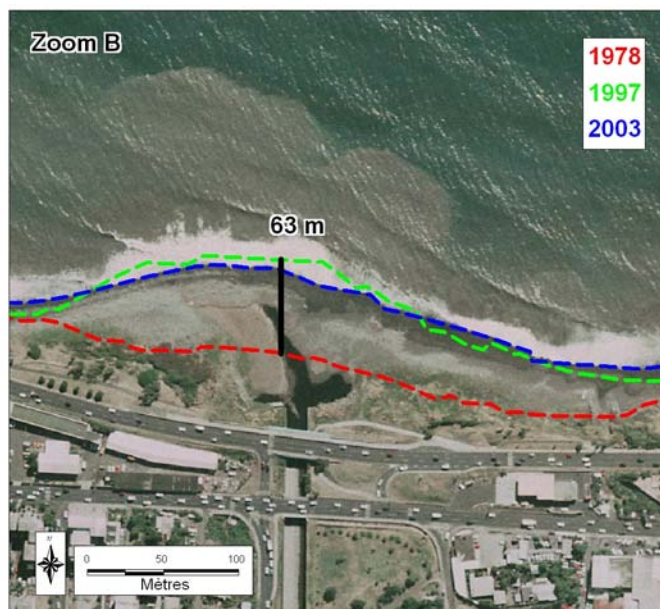


Illustration 7 – Evolution du débouché de la ravine Patate à Durand (voir localisation sur l'illustration 8)

En effet, alors qu'en 1978 le cordon de galets suit de manière quasi-parallèle le tracé de la micro-falaise, un important apport de sédiments terrigènes apparaît en 1997 soit une progradation de +63 m au droit de la ravine,. Cette progradation résulte très probablement d'un apport ponctuel liée à une crue de la ravine. En 2003, le contact terre-mer a légèrement reculé (-6m, soit -1 m/an) mais le cône alluvial reste toujours bien dessiné.

En outre, l'évolution sur le long terme de la limite de la micro-falaise fait plutôt apparaître dans l'ensemble une progradation due aux aménagements du front de mer. La zone du cimetière (Illustration 9) en est le meilleur exemple avec une progradation de +19 m de 1997 à 2003 (25 m au total depuis 1978) en raison du remblaiement et de l'implantation d'une route et d'un enrochement sur le cordon de galets.

Plus à l'Est, au niveau des levés GPS (Illustration 9), la micro-falaise a connu un recul d'environ -12,5 m de 1978 à 1997 mais elle est quasiment revenue à sa position initiale en 2003 et 2006 (levé GPS). Cette évolution est sans doute à mettre en relation avec un terrassement et/ou un reprofilage de la micro-falaise en haut de cordon.



Illustration 8 – Position des traits de côte de St Denis et localisation des levés topo-bathymétriques

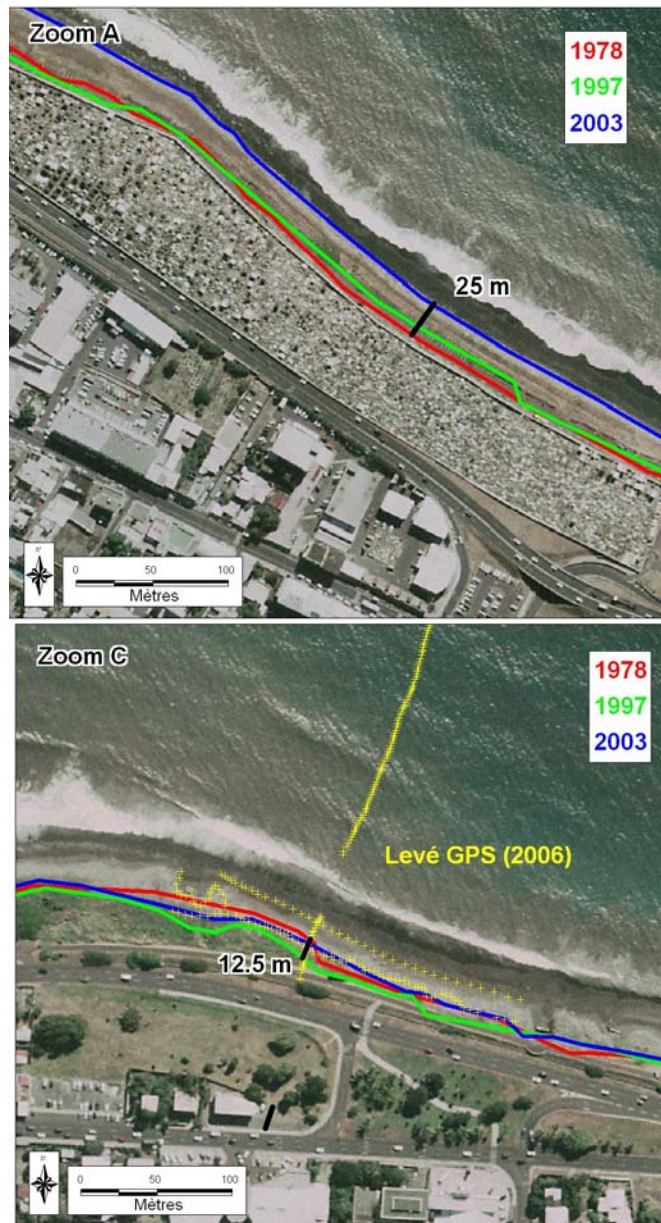


Illustration 9 – Evolution de la micro-falaise au niveau du cimetière (Zoom A) et des levés GPS (Zoom C) – Orthophotographies IGN - 2003

Evolution actuelle

Le profil topo-bathymétrique du site de St Denis a été implanté à la perpendiculaire du parcours sportif longeant le boulevard Lancastel (Illustration 8), à proximité d'une borne géodésique.

St Denis - Janvier 2006

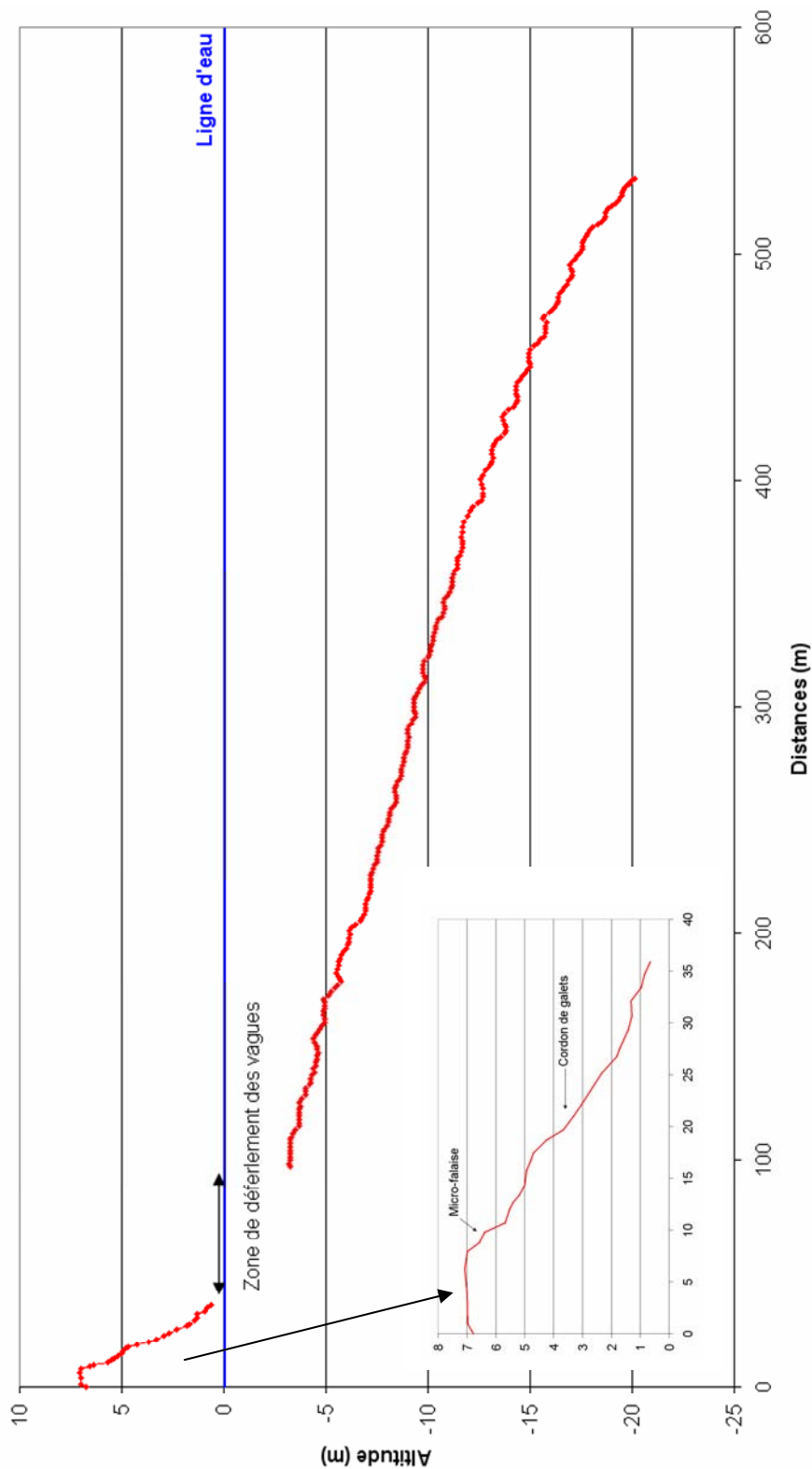


Illustration 10 – Profil topo-bathymétrique du site de St Denis - Zoom sur les 40 premiers mètres

La partie aérienne du profil représente la partie la plus raide (15% de pente) bien que la micro-falaise n'y soit pas entaillée de manière sub-verticale (Illustration 10). Une succession de gradins est en effet observée au contact de la micro-falaise et du cordon de galets, avec un décroissement de la taille des galets d'amont en aval (Illustration 11).



Illustration 11 – Morphologie du site à l'emplacement du profil topographique

La partie immergée du profil présente en revanche une pente plus douce d'environ 4% (Illustration 10) et régulière sans accident bathymétrique majeur. De petits bourrelets et dépressions apparaissent vers -5 m de profondeur. Ils pourraient correspondre à de petites barres pré-littorales stockant temporairement les galets à l'étage infralittoral.

En termes d'évolution, la micro-falaise dont la pente est douce et le versant végétalisé, semble beaucoup plus stable que le cordon de galet dont dans la partie aérienne présente un profil plutôt réfléchif, signe d'une agitation hydrodynamique et de transferts sédimentaires relativement importants.

4.2. LES FALAISES DE SAINTE-SUZANNE

Ce site se situe sur la commune de Ste Suzanne entre la Pointe des la Ravine des Chèvres et la Pointe des Haziers, au niveau de la Chapelle de Front de Mer.

Contexte

Cette portion de côte est constituée de falaises mixtes (lahars coiffés par une coulée basaltique) d'une hauteur allant jusqu'à 30 m. Elles sont devancées par une micro-

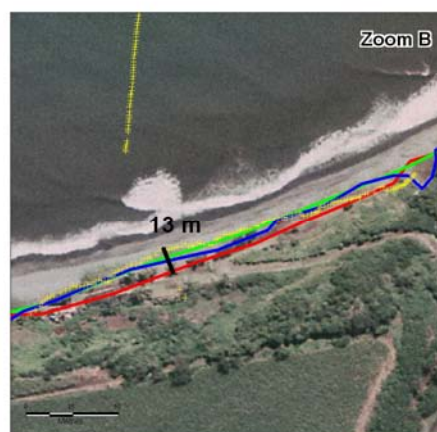
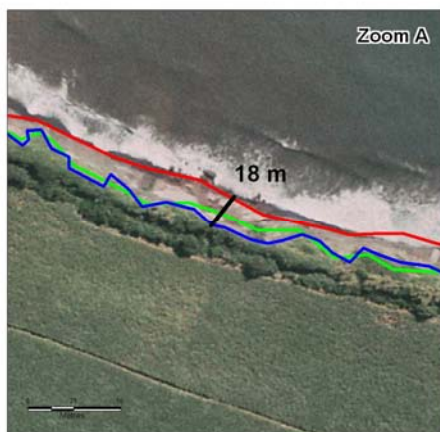
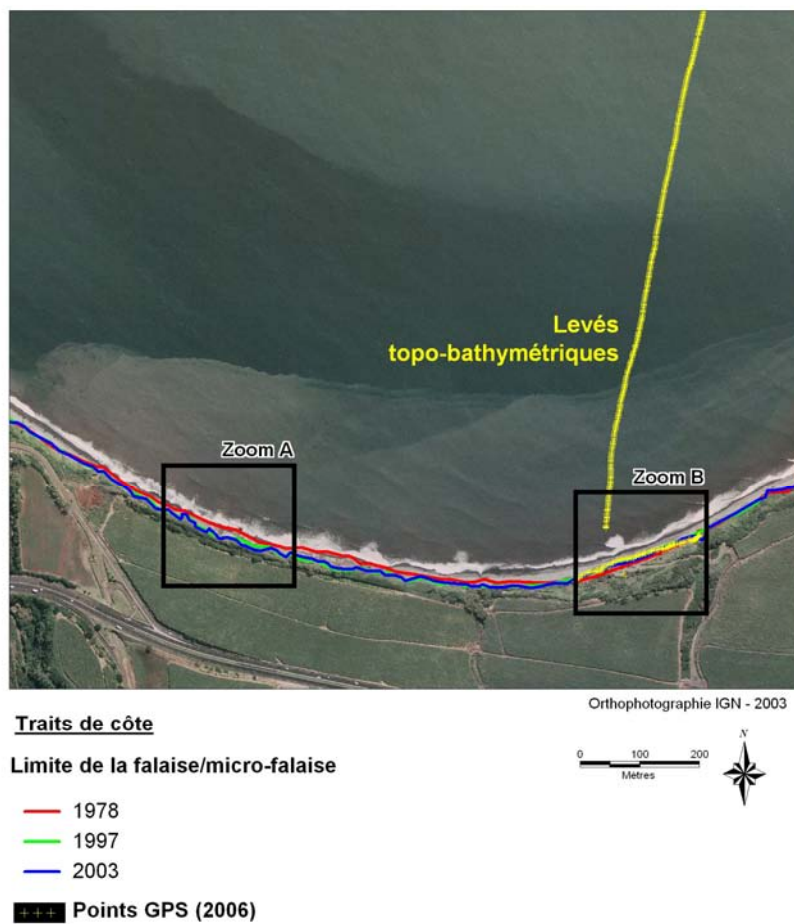


Illustration 12 – Position des traits de côte des falaises de Ste Suzanne et localisation des levés topo-bathymétriques

falaise (remblais) au niveau de la Chapelle de Front de Mer et d'un cordon de galet en pied alimenté par les rivières alentours.

Comme St Denis, le site est principalement exposé aux houles d'alizé qui induisent le transit sédimentaire du cordon de galets. Moins fréquentes mais beaucoup plus fortes, les houles cycloniques sont responsables de l'érosion (sapement en pied) des falaises et de la micro-falaise.

Les falaises hautes sont surmontées de parcelles agricoles et la micro-falaise de l'unique présence de la chapelle et d'un parking (partiellement détruits après le passage d'une houle cyclonique en février 2004 – cf. Etude de phase 1).

Evolution historique

L'évolution historique du site est basée sur un trait de côte marquant la bordure sommitale des falaises hautes et de la micro-falaise (Illustration 12). La marge d'erreur constatée est de l'ordre de 6 m.

L'analyse diachronique de la variation du trait de côte fait apparaître des évolutions contrastées en fonction du type de falaises. En effet, les falaises hautes accusent un recul de -18 m depuis 1978 soit environ 70 cm/an. Ce recul n'est en revanche pas régulier et résulte plutôt d'effondrements successifs de pan de falaises à la suite d'un sous-cavage trop important dans les couches meubles sous-jacente (lahars).

En revanche, la microfalaise de la chapelle fait apparaître une avancée du trait de côte de l'ordre de 13 m entre 1978 et 2006. Comme on le constate sur les photographies de 2004 et 2006, cette avancée est probablement liée à des remblais, et le recul de la micro-falaise est toujours prédominant sur ce secteur.

Evolution actuelle

Compte-tenu de l'impossibilité de réaliser des levés DGPS sur le versant des falaises hautes, c'est au niveau de la micro-falaise de la chapelle que le profil a été implanté, d'autant que la dynamique et les enjeux y sont plus marqués.

Le profil topo-bathymétrique (Illustration 13) fait apparaître, tout d'abord, une pente très douce dans la partie submergée (1,6%). Ce profil doux peut dissiper une partie de l'énergie incidente lors des tempêtes, mais la remontée rapide des fonds à proximité du trait de côte rend ce dernier particulièrement vulnérable.

La partie émergée présente, au contraire, un profil sub-vertical de la micro-falaise qui tombe directement dans l'eau. La morphologie du site a donc changé de manière très importante car en 2004 la micro-falaise ne dépassait pas les 1,50 m et était précédée du cordon de galets (Illustration 14). Bien que le remblaiement du site permette de résorber le recul récent, ce profil aérien artificiel très réfléchissant n'est pas en équilibre avec l'hydrodynamisme local et peut augmenter l'impact des houles en pied de falaise.

Sainte-Suzanne : La Chapelle - Janvier 2006

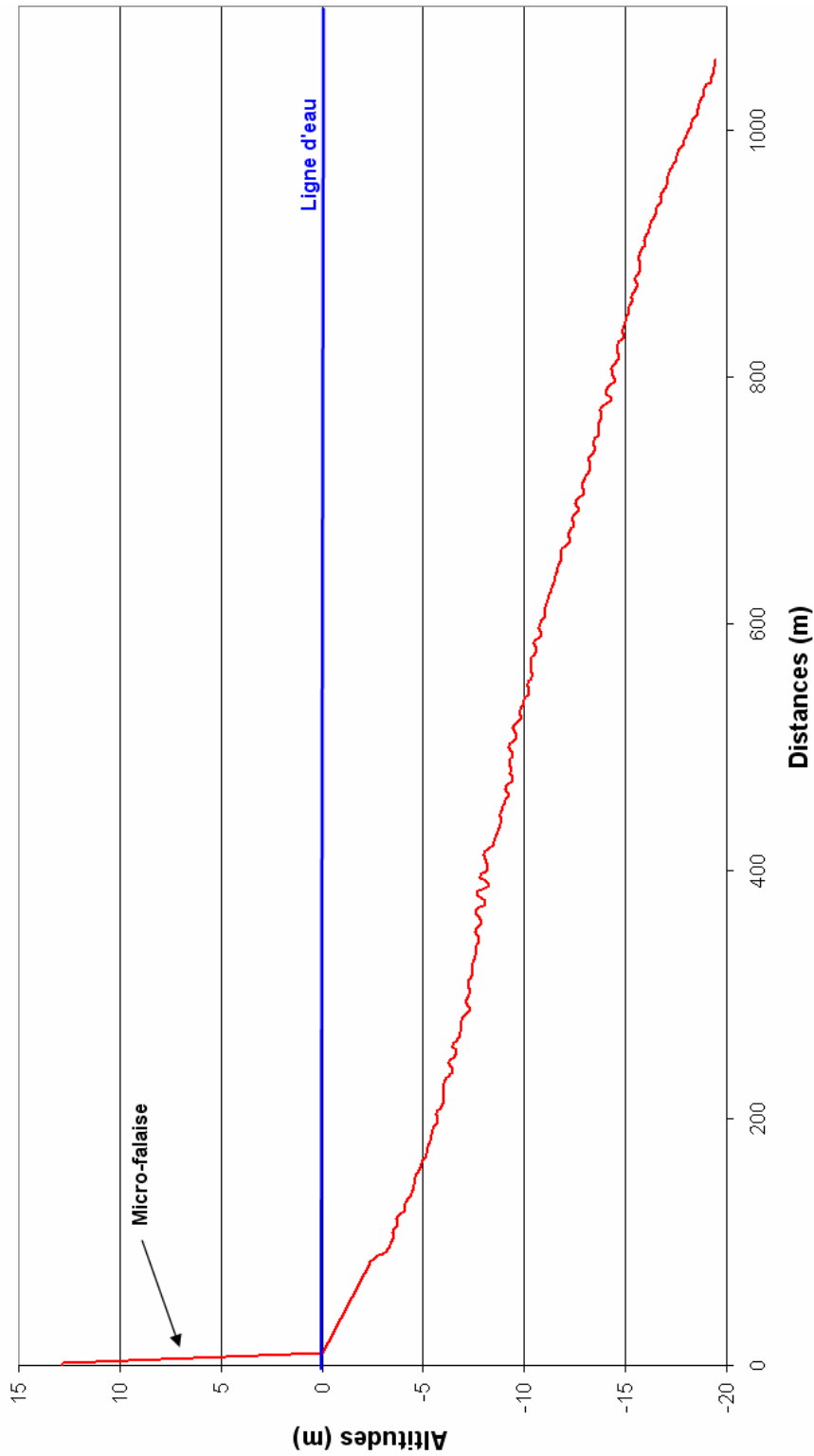


Illustration 13 – Profil topo-bathymétrique du site des falaises de Ste Suzanne

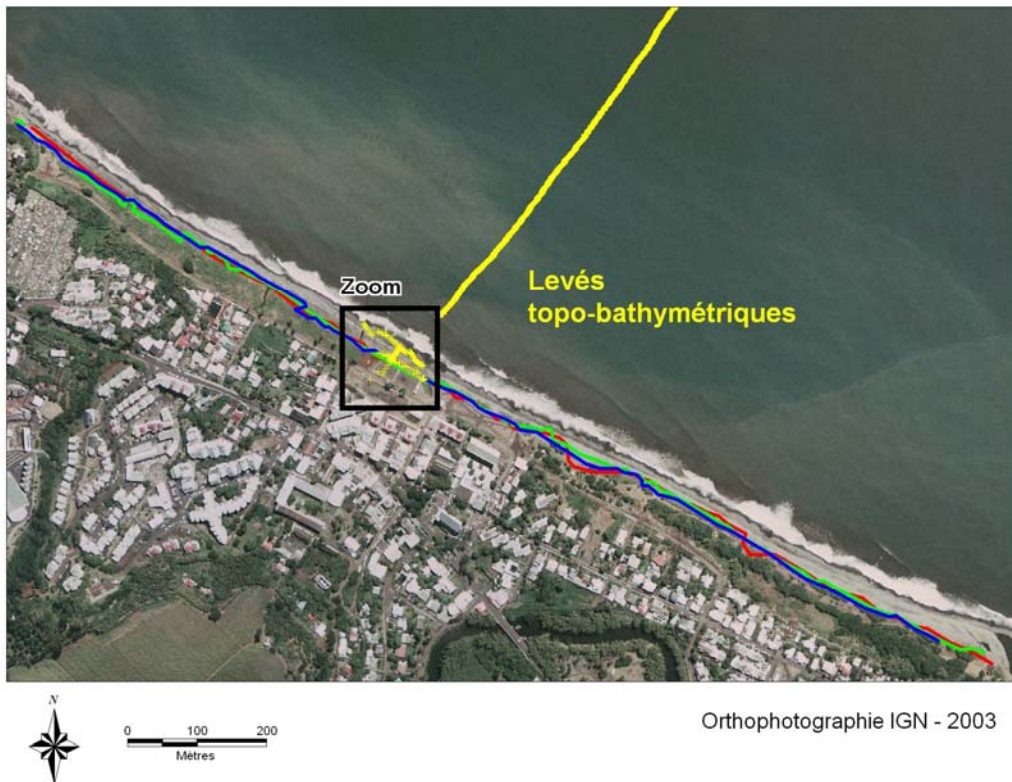
De plus, le matériel utilisé (tout venant, terre, blocs, ferraille) n'étant pas adapté au régime hydrodynamique du site, on peut s'attendre à une érosion rapide lors de fortes houles.



Illustration 14 – Micro-falaise de la Chapelle en 2004 et 2006

4.3. LE CENTRE-VILLE DE SAINTE-SUZANNE

Le site du centre-ville de Ste Suzanne se situe entre le Phare et la rivière Ste Suzanne.



Traits de côte

Limite de la micro-falaise

- 1978
- 1997
- 2003

+++ Points GPS (2006)

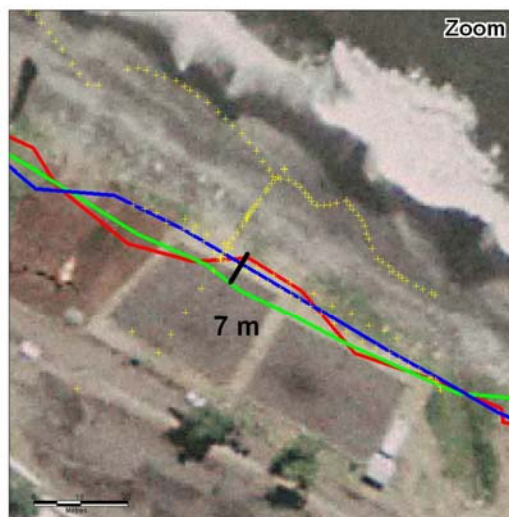


Illustration 15 – Position des traits de côte du centre-ville de Ste Suzanne et localisation des levés topo-bathymétriques

Contexte

Le front de mer de centre-ville de Ste-Suzanne s'apparente à celui du site de St Denis avec un cordon de galets surmonté d'une micro-falaise de formations superficielles.

Comme toute la partie Nord et Est de l'île, cette zone est exposée principalement aux houles d'alizée de secteur Est et plus ponctuellement aux houles cycloniques.

Des aménagements sont situés directement en arrière de la micro-falaise, notamment des aires de parking et de marché.

Evolution historique

Le trait de côte utilisé correspond à la limite sommitale de la micro-falaise en haut de cordon de galet et la marge d'erreur du calage avoisine les 5 m.

L'évolution historique ne fait pas apparaître de variations importantes de la limite de la micro-falaise (Illustration 15). En effet, sur la zone des levés GPS (Zoom Illustration 15), la variation maximale est de -7 m entre 1978 et 1997. Entre 1997 et 2004/2006, le trait de côte a avancé de 5 m mais compte-tenu de la marge d'erreur ces évolutions peu représentatives.

On observe, en revanche une modification de la morphologie de la micro-falaise. En 1978, la limite en haut de cordon est assez irrégulière et plus proche des zones plus « naturelles » aux marges de l'agglomération. A partir de 1997, l'abrupt devient beaucoup plus régulier, signe d'une modification anthropique.

Evolution actuelle

Le profil topo-bathymétrique a été implanté au niveau de l'aire de marché qui jouxte directement l'abrupt de la micro-falaise (Illustration 15).

Le profil sous-marin présente une pente générale douce de 1,9% proche de celle au devant de la Chapelle du front de mer (Illustration 16). Elle est toutefois plus raide dans sa partie supérieure à proximité de la ligne de rivage (entre 100 et 150 m de distance).

La partie émergée du profil (Zoom Illustration 16) fait apparaître une pente beaucoup plus importante (14,5%) avec un versant de la micro-falaise sub-vertical sur environ 2 m de hauteur. Le cordon de galet présente plusieurs gradins dont une berme très développée correspondant vraisemblablement à la limite des hautes eaux de tempêtes (Illustration 17).

Bien végétalisé, le cordon semble relativement stable mais la micro-falaise qui a gagné sur la mer pour l'aménagement de l'aire de marché reste potentiellement exposée au criblage par les galets en période de houle cyclonique.

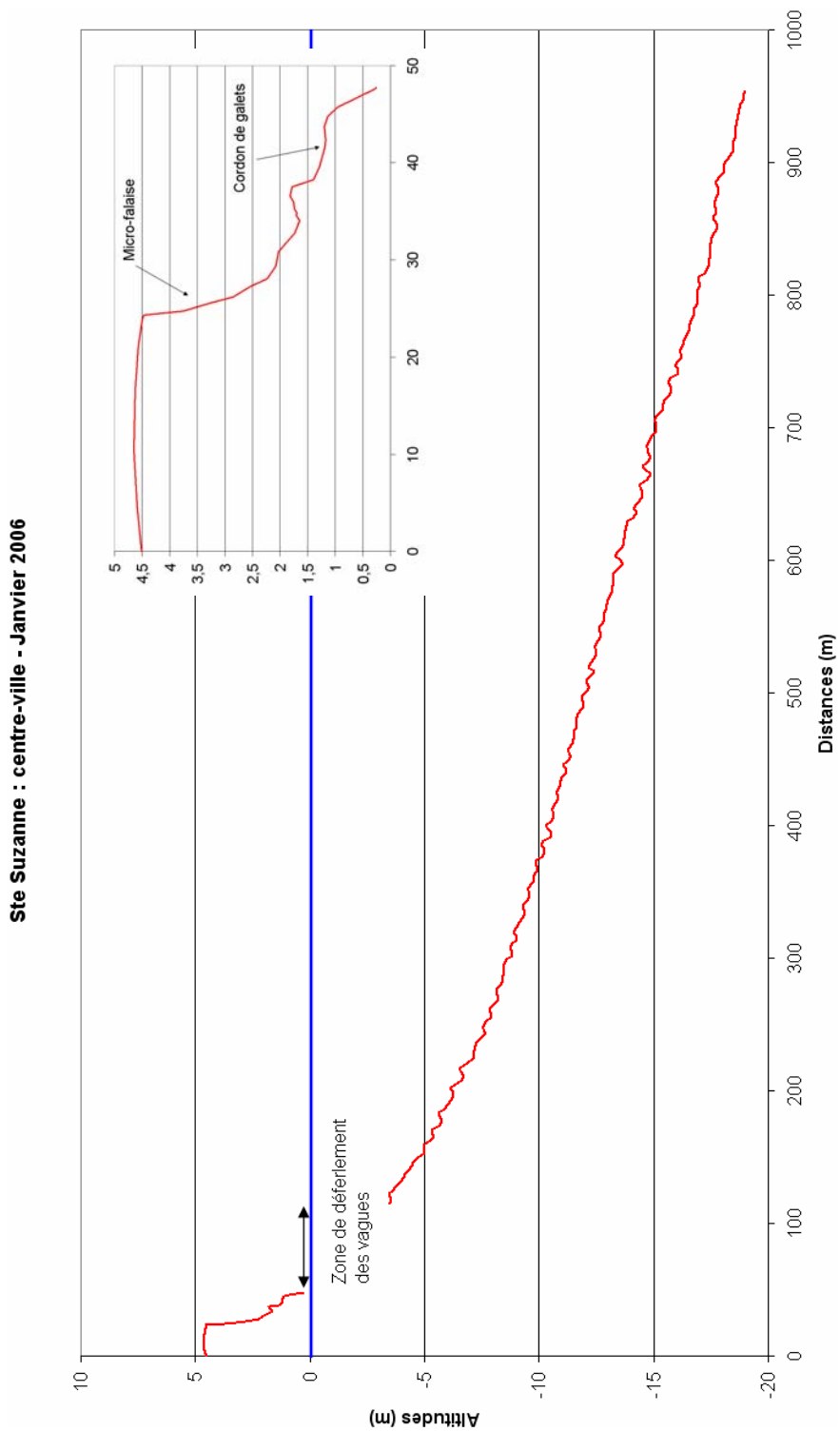


Illustration 16 – Profil topo-bathymétrique du site du centre-ville de Ste Suzanne
Zoom sur les 50 premiers mètres

Le suivi du trait de côte (interface terre-mer) met en évidence des morphologies de barres asymétriques rythmiques qui tendent à suggérer un transit sédimentaire vers le nord-ouest.



Illustration 17 – Centre-ville de Ste Suzanne (Janvier 2006)

4.4. SAINT-ANDRE : CHAMP BORNE

Le site de Champ Borne se situe sur la commune de St André entre Le Colosse et Grand Canal.

Contexte

Le site de Champ Borne s'apparente, d'un point de vue morphologique, au site de la Chapelle de front de mer à Ste Suzanne. Il est constitué d'un cordon de galet continu surmonté d'une petite falaise de formations superficielles.

Il est exposé aux mêmes agents morphogènes, à savoir principalement les houles d'alizés et occasionnellement les houles cycloniques.

La falaise est aménagée quasiment en continu du Colosse à Grand Canal par des infrastructures urbaines (plantations, route, restaurant, parking, église en ruine, cimetière, habitations). Le site le plus menacé en termes d'enjeux concerne le secteur

du restaurant « Beau Rivage » à proximité de la mairie annexe, au niveau de la Pointe du Champ Borne. La zone de l'ancienne route coloniale présente en effet une érosion importante (Aubié et Oliveros, 2001) mais elle apparaît comme moins sensible en raison du peu d'aménagements qui y sont présents (essentiellement des terrains non construits).

Evolution historique

La partie étant soumise à une érosion étant la falaise, c'est la limite supérieure de son versant qui a été prise en compte pour digitaliser le trait de côte. La marge d'erreur a été évaluée à 6 m maximum d'une date à l'autre.

Bien que tout le secteur soit particulièrement touché par l'érosion, l'observation du trait de côte sur les 30 dernières années met en évidence une avancée significative (Illustration 18). En effet même si le trait de côte a reculé sur les dernières années, celui de 1978 est systématiquement en arrière des autres.

Le secteur du restaurant « Beau rivage » (Zoom Illustration 18) confirme la tendance avec une avancée de 33 m entre 1978 et 1997. Cette évolution est à mettre en rapport avec les importants aménagements du front de mer (remblais et plantations) qui ont suivi les cyclones Clotilda (1987) et Firinga (1989). Selon les témoignages (communication avec Mme Hapold – Service Technique de la commune de St André) ces cyclones auraient provoqué une érosion telle que de les aménagements se situaient à moins d'un mètre de la micro-falaise. L'étude de Aubié et Oliveros (2001) confirme ces observations et met également en évidence une avancée notable du trait de côte entre 1961 et 1984 au niveau de l'ancienne route coloniale.

Après 1997, la versant subit à nouveau un recul important (-19,6 m en 2003 sans doute dus à Dina - 2002) mais de nouveaux remblais permettent de regagner 11,5 m en 2006.

Cette évolution traduit bien l'érosion chronique de ce secteur lors des cyclones, et les moyens considérables mis en œuvre après chaque événement, entraînant une avancée artificielle du trait de côte, ne doivent pas masquer la grande vulnérabilité du site.

Evolution actuelle

Le profil topo-bathymétrique a été implanté à proximité du restaurant « Beau rivage », directement concerné par le recul de la micro-falaise.

Le profil présente, d'une part, une pente sous-marine assez forte comparativement aux secteurs précédents (Illustration 19).



Illustration 18 – Position des traits de côte de Champ Borne à St André et localisation des levés topo-bathymétriques

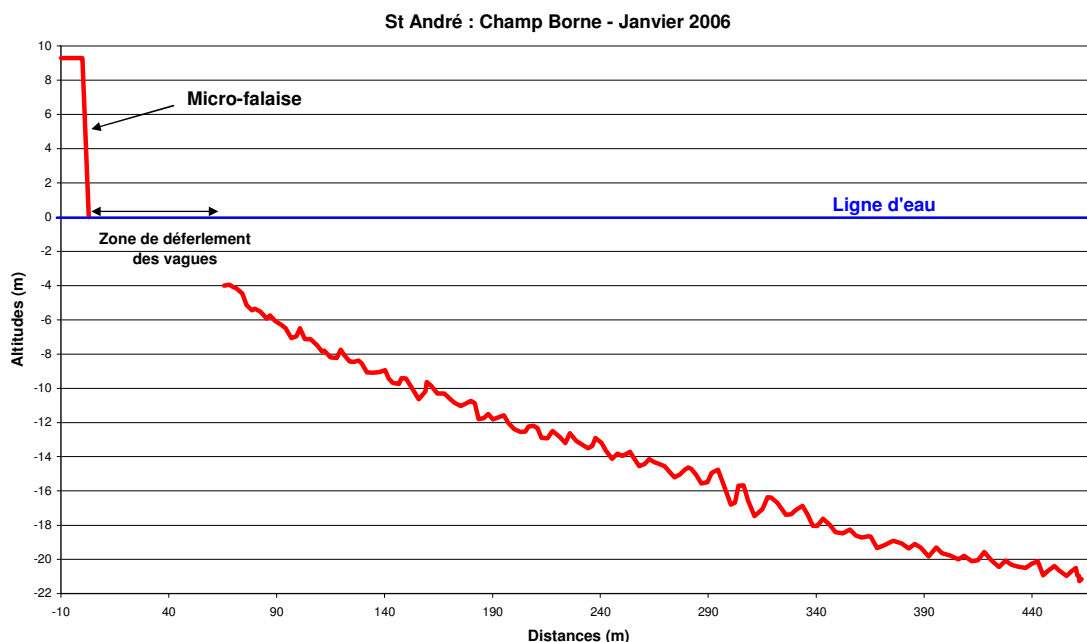


Illustration 19 – Profil topo-bathymétrique du site de Champ Borne

La bathymétrie est également plus accidentée avec des dépressions allant jusqu'à 2 m d'amplitude (entre 290 et 340 m de distances), sans doute en relation avec un affleurement du substratum rocheux.

D'autre part, le profil aérien souligne le caractère sub-vertical de la falaise, ce qui témoigne de son instabilité.

Le trait de côte actuel, délimité par le versant de la falaise, se situe aujourd'hui artificiellement en avant de sa position « naturelle » (Illustration 20). Les remblaiements sont donc opérés à l'emplacement du cordon de galets, ce qui prive le versant d'une protection naturelle.

En outre, le matériel de remblaiement est essentiellement composé de terre, de blocs et de galets non consolidés. Il est donc facilement mobilisable par les vagues déferlant en pied de falaise et est voué à être réapprovisionné après chaque houle destructive.



Illustration 20 - Falaise de Champ Borne en janvier 2006

4.5. LE PORT DE SAINT-BENOIT

Le site de St Benoît se situe en centre-ville, autour du port du Butor, entre la Rivière des Marsouins et la Ravine Sèche.

Contexte

Le site du port de St Benoît est constitué d'une morphologie contrastée de part et d'autre de la jetée du port avec, au Sud, un large cordon de galets, et au Nord, une banquette de galets résiduelle laissant à nus une micro-falaise de formations superficielles et des affleurements du substratum rocheux (récifs émergés et immergés).

Cette situation est malheureusement un « classique » de l'érosion côtière avec un blocage du transit sédimentaire par un ouvrage de protection transversale. En effet, la dérive littorale générée par les houles d'alizées remonte les galets de La Ravine Sèche vers le Nord, les galets venant donc en butée sur la digue. De l'autre côté, le même transfert sédimentaire Sud-Nord a lieu mais la zone de départ de sédiment ne peut pas être rechargée à cause de la jetée. Il en résulte donc une érosion marquée en aval-dérive (cf. étude de phase 1).

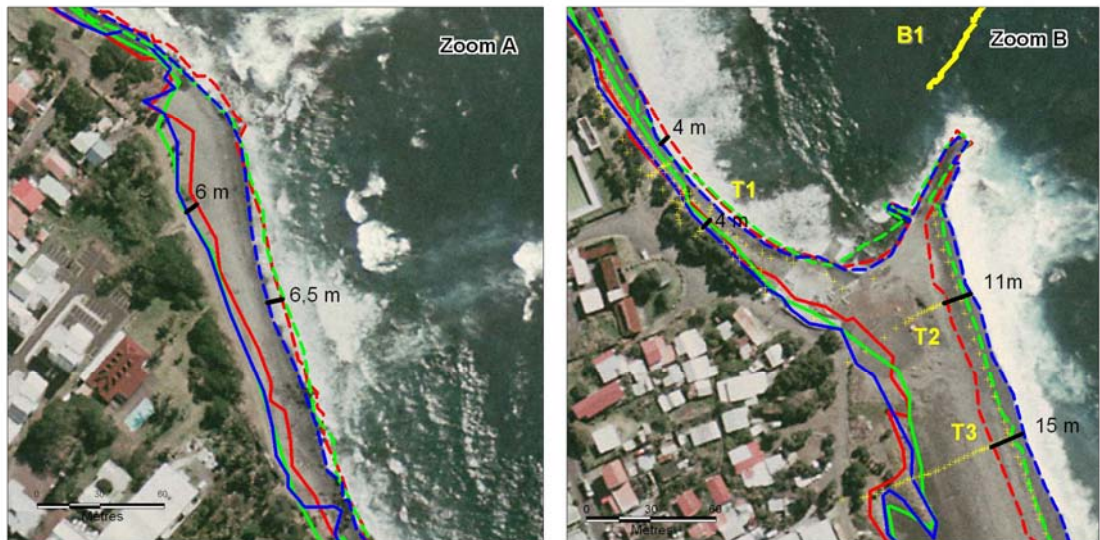
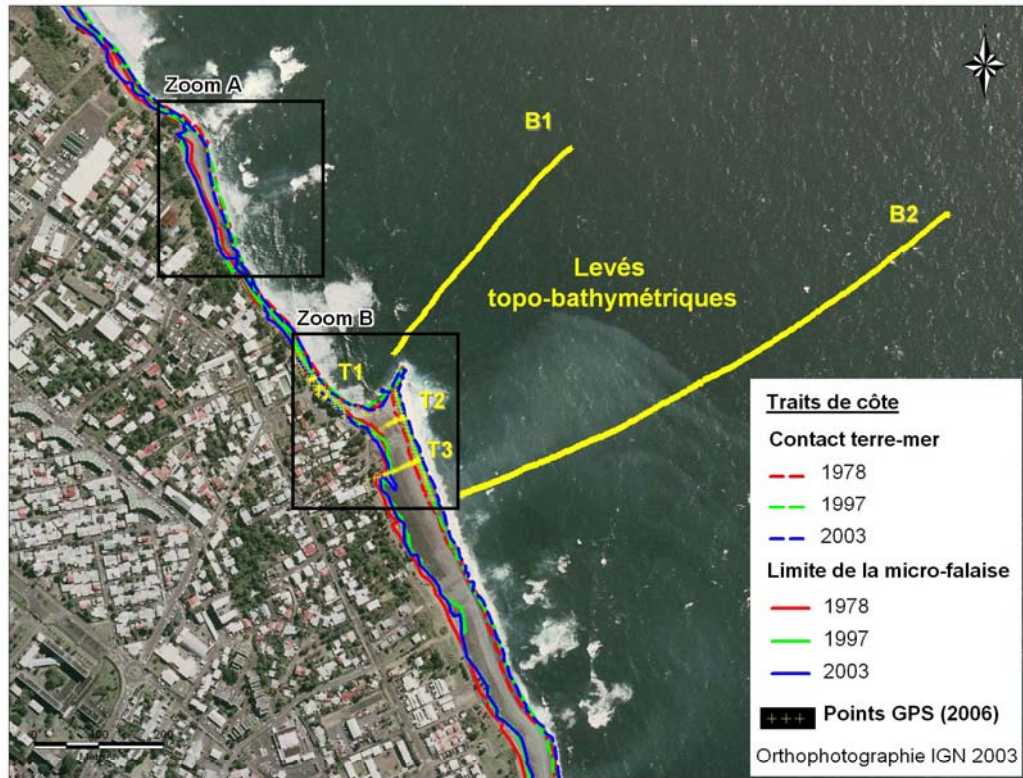


Illustration 21 – Position des traits de côte de St Benoît et localisation des levés topo-bathymétriques

Evolution historique

La dynamique du site intervenant à la fois sur le cordon de galets et la micro-falaise, deux traits de côtes ont été digitalisés, soit respectivement la limite de contact terre-mer et la limite supérieure du versant de la micro-falaise.

Bien que le calage soit quasi-parfait au niveau de la jetée, la marge d'erreur maximale constatée par ailleurs est de 4 m.

La jetée du port existant déjà en 1978, l'évolution de la position des traits de côtes (Illustration 21) reste relativement modérée.

En effet, la partie Nord (Zoom A - Illustration 21) montre un recul de 6 m de la micro-falaise entre 1978 et 1997, et une grande stabilité depuis 1997. Le contact terre-mer présente également une variation d'environ 6 m mais compte-tenu de la forte agitation du site (déferlement des vagues), cette amplitude est peu représentative.

Plus au Sud (Zoom B - Illustration 21), en aval-dérive du l'épi, les variations restent également trop modérées (4 m) pour pouvoir être prises en compte en terme d'évolution, compte-tenu de la marge d'erreur. En revanche, au Sud de l'épi, le contact terre-mer fait apparaître un net engraissement du cordon de galets avec entre 11 et 15 m d'avancée depuis 1978.

Depuis 1978, la partie amont-dérive de l'épi continue de prograder (il reste encore 30 m d'épi avant que les galets ne passent directement de l'autre côté), tandis que la partie aval-dérive, sous-alimentée, recule, mais a presque atteint un niveau d'érosion maximal (quasi-absence de cordon, affleurement des récifs).

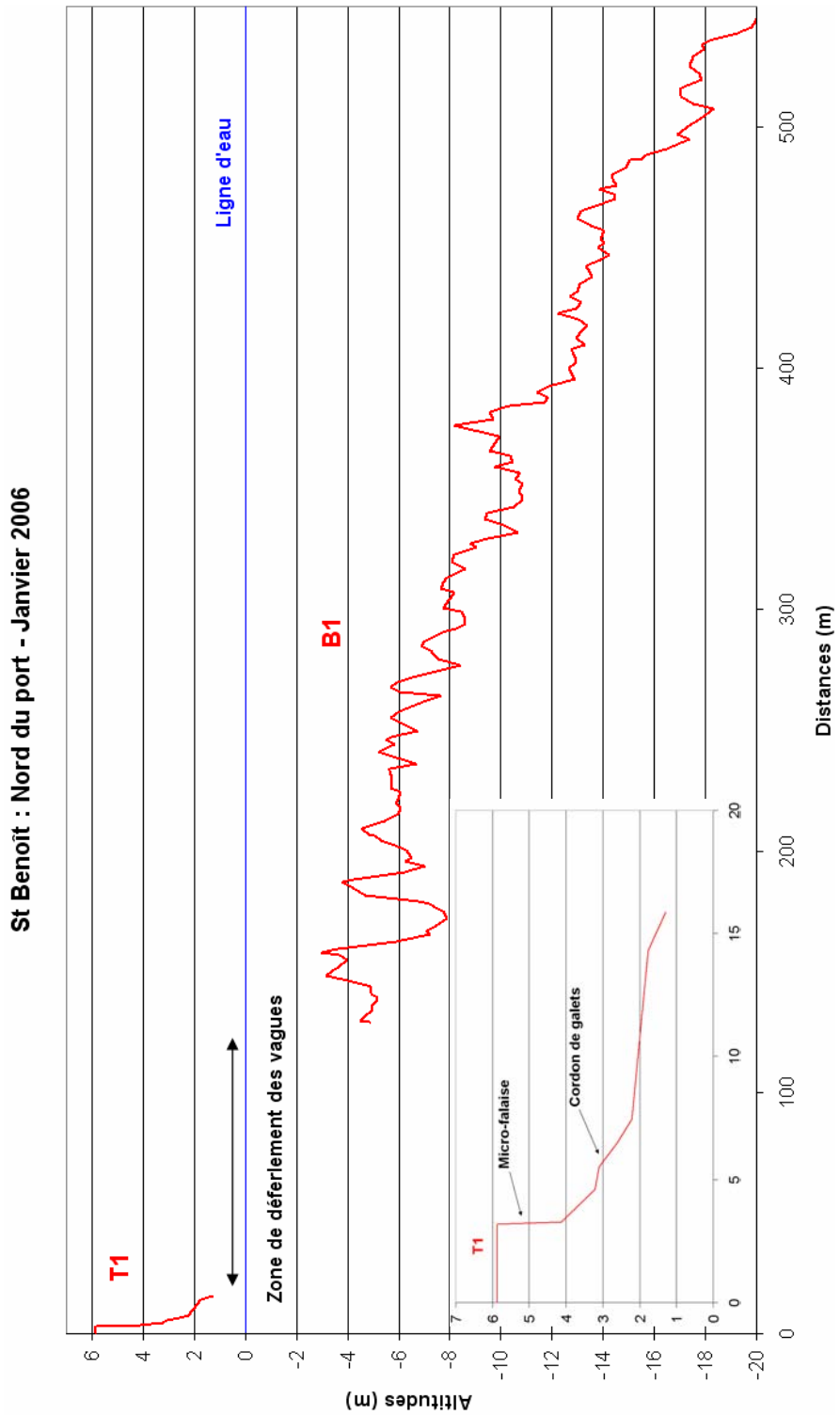


Illustration 22 – Profil topo-bathymétrique au Nord du port de St Benoît

Evolution actuelle

En raison du caractère très « asymétrique » du site, plusieurs profils ont été implantés de part et d'autre de la jetée.

Au Nord du port, le profil topographique T1 est poursuivi en mer par le profil bathymétrique B1 (Illustration 22). La partie immergée du profil accuse un relief chaotique, sans doute lié à la présence de récifs rocheux, avec une pente assez importante de l'ordre de 3,6%. La partie émergée du profil montre une micro-falaise bien entaillée avec un profil sub-verticale et un cordon de galets d'une dizaine de mètres de largeur (Illustration 23).

La pente est par endroit plus douce du fait d'un rechargement artificiel en galets provenant sûrement de l'autre côté de la digue afin de maintenir (temporairement) la position actuelle de la micro-falaise.



Illustration 23 – Morphologie du site au Nord du port (Janvier 2006)

Au Sud du port, le profil bathymétrique étant assez décalé (alignement difficile en raison du courant au moment des levés) par rapport aux profils topographiques, il est présenté de manière séparée.

Le profil sous-marin B2 (Illustration 24) fait apparaître également une bathymétrie très accidentée, ce qui indique que même en la présence d'un très gros cordon de galet en amont, les sédiments ne nappent pas le relief sur des épaisseurs suffisantes pour en adoucir la morphologie.

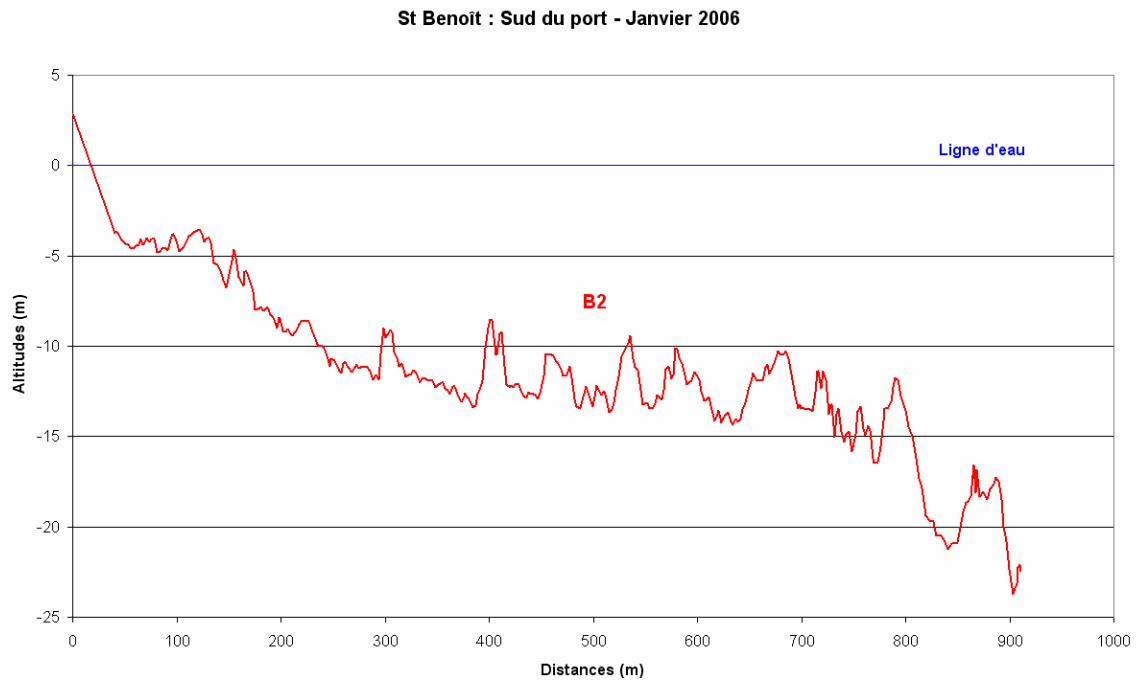


Illustration 24 – Profil bathymétrique au Sud du port de St Benoît

Sur la partie aérienne, les profils T2 et T3 (Illustration 26) présentent un cordon très plat dans la partie supra-littorale. Une très grosse berme marque la laisse de tempête et le jet de rive puissant induit une pente très prononcée au niveau de la ligne de rivage (Illustration 25). Bien que ces morphologies témoignent d'une très forte dynamique, le stock sédimentaire est ici très important et constitue une bonne protection de ce littoral.



Illustration 25 – Morphologie du cordon de galet au Sud du port de St Benoît (janvier 2006)

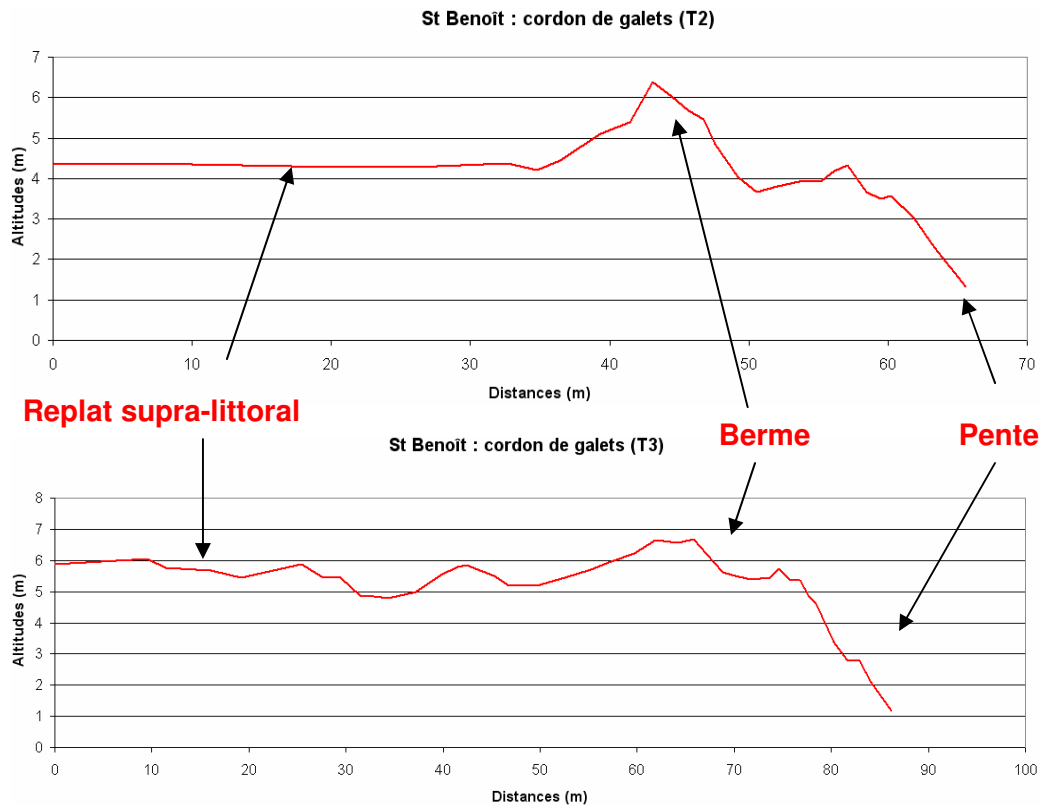


Illustration 26 – Profils topographiques au sud du port de St Benoît

4.6. SAINT-PHILIPPE : LA MER CASSEE

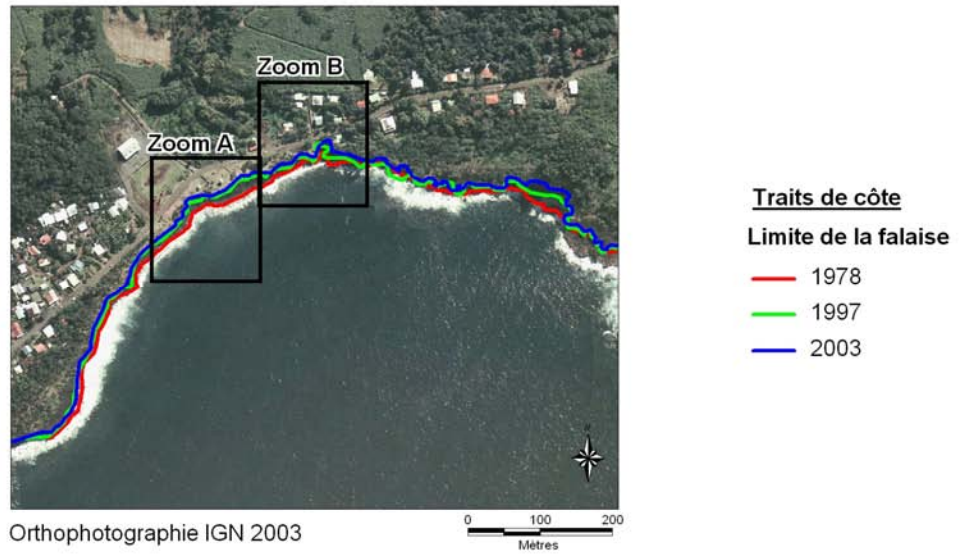
Le site de la Mer Cassée sur la commune de St Philippe se situe à Mare Longue entre la Grande Pointe et la Table.

Contexte

Ce site est caractérisé par une falaise du type de celles que l'on rencontre sur le massif de la Fournaise. Il s'agit d'une falaise haute constituée d'une alternance de niveaux basaltiques et scoriacés, ce qui la rend relativement érodable (fragilisation par les couches très friables de scories).

Exposée Sud/Sud-Est, cette portion de littoral est exposée de plein fouet aux fréquentes et puissantes houles australes qui sont responsables du recul généralisé des côtes rocheuses fournaisiennes.

Le site de la Mer Cassée représente un intérêt particulier du fait de la proximité des aménagements (habitations, parking, aire de pique-nique) du front de falaise.



Zoom A



Zoom B

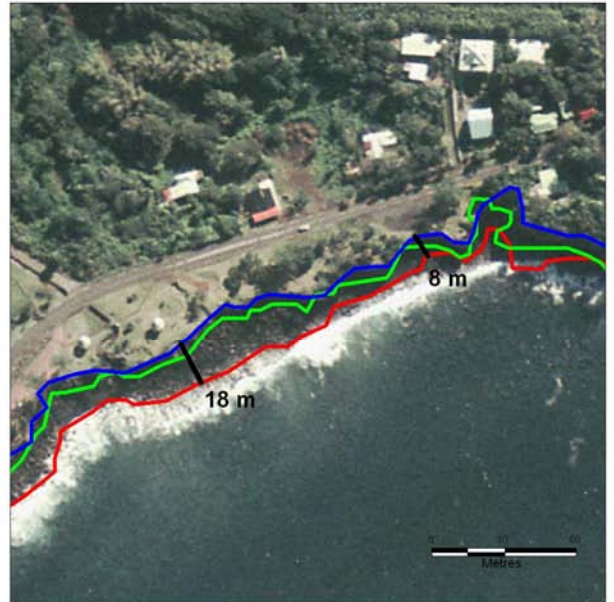


Illustration 27 – Position des traits de côte de St Philippe (la Mer Cassée)

Evolution historique

Le trait de côte utilisé correspond à la limite supérieure du versant de la falaise. La marge d'erreur y est estimée à environ 8 m.

L'évolution du trait de côte met en évidence un recul généralisé de la falaise sur le site (Illustration 27). Dans la partie Ouest (Zoom A), où le front de falaise est assez près de la route nationale (15 m), le recul mesuré sur 25 ans est de l'ordre de 13 m soit 50 cm/an.

Plus à l'Est (Zoom B) le recul peut aller jusqu'à 18 m, au niveau de l'aire de pique-nique. Au droit du parking, bien que le recul soit plus modéré, il ne reste plus que 4 m de distance entre l'abrupt et l'aménagement.

Evolution actuelle

Compte-tenu de la dynamique très peu marquée à court terme de ce type de formation et des fortes contraintes de terrain (escarpement de la falaise, végétation en bord de versant, mer trop agitée pour réaliser les mesures, présence de récifs), les mesures topo-bathymétriques se sont avérées inappropriées et n'ont pas été réalisées sur ce site.

L'analyse de l'évolution actuelle est donc basée sur les observations de terrain. Elles font apparaître un profil sub-vertical voir sous-cavé du versant de la falaise (Illustration 28). Un réseau de fracturation important en arrière du front avec des pans quasiment décrochés et prêts à basculer (Illustration 29).



Illustration 28 – Sous-cavage de la falaise de la Mer Cassée à St Philippe



Illustration 29 – Fracturation et basculement de pans de falaise à la Mer Cassée

Ces indicateurs confirment que l'érosion de la falaise est bien active même si la vitesse de recul concerne plutôt l'échelle décennale. En revanche la falaise évoluant par sapement en pied, le recul n'est pas régulier et se manifeste plutôt « par à coup » en relation avec l'impact des tempêtes qui déstabilise ponctuellement une partie de versant.

4.7. SAINT-JOSEPH : LANGEVIN

Le site de Langevin se situe sur la commune de St Joseph entre la Pointe Colas et le Cap du Bord.

Contexte

Le site de Langevin se caractérise par de hautes falaises (environ 40 m) constituées de matériaux meubles (avalanche de débris).

Ces falaises sont exposées aux houles australes qui, aidées des galets situés en pied, en attaquent la base.

Des parcelles agricoles sont situées en amont du versant.

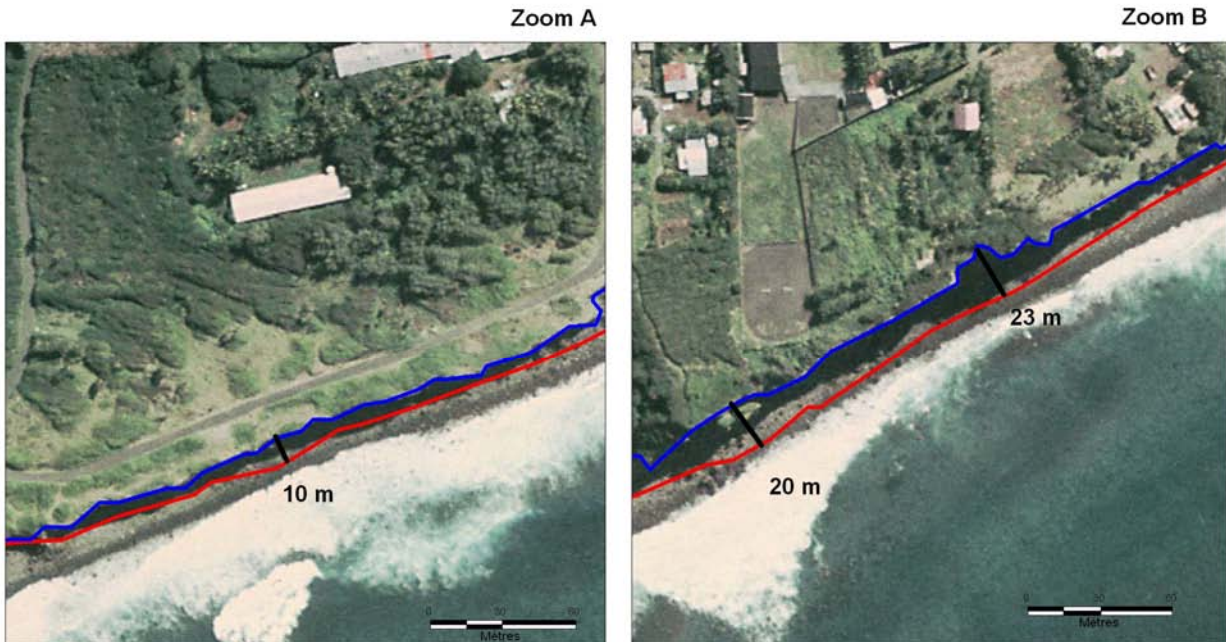
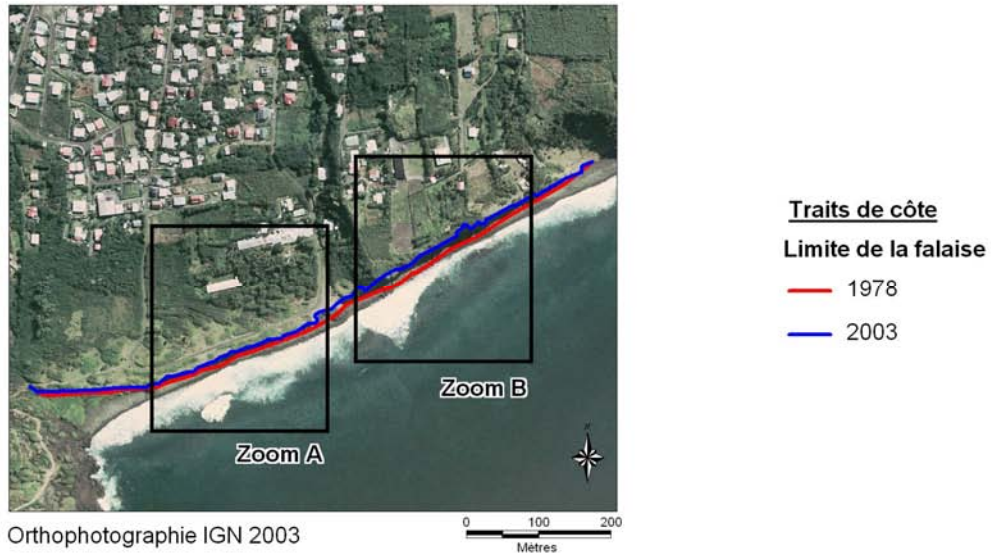


Illustration 30 – Position des traits de côte de Langevin à St Joseph

Evolution historique

L'analyse diachronique de l'évolution du trait de côte est basée sur la limite de la falaise.

Compte-tenu du vif relief au niveau de la falaise la rectification des images s'avère délicat. En effet, sur les orthophotographies de l'IGN, qui font pourtant référence, un décalage important apparaît (jusqu'à 9 m) qui conduit à positionner le front de falaise de 2003 en avant de celui de 1997. Cette avancée n'a pas de réalité physique car la falaise n'a pas été remblayée et deux objets caractéristiques (pans de falaises désolidarisés) sont présents sur les deux clichés (avec le décalage).

Seules les images de 1978 et 2003 ont donc été conservées car géoréférencement de 1978 a été effectué avec 2003 et que la résolution est meilleure que pour 1997. La marge d'erreur sur ces deux dates a été évaluée à environ 6 m.

L'évolution depuis 1978 (Illustration 30) montre un recul contrasté en fonction des secteurs. A l'Ouest (Zoom A), la falaise, plus basse, présente un recul de l'ordre de 10 m tandis qu'à l'Est (Zoom B), elle accuse un recul plus prononcé autour d'une vingtaine de mètres.

Evolution actuelle

Pour les mêmes raisons que pour St Philippe, les levés topo-bathymétriques n'ont pas été effectués sur les falaises de Langevin.

Les observations de terrain mettent en évidence le profil sub-vertical des falaises et la présence de matériel détritique issu du versant sur le cordon de galets (Illustration 31).



Illustration 31 – Morphologie de la falaise de Langevin

Des coulées de solifluxions sont également visibles dans les zones entaillées de la falaise (Illustration 32), ce qui marque la sensibilité de sa lithologie aux agents sub-aériens (eaux de ruissellement et d'infiltration).



Illustration 32 – Coulée de solifluxion à Langevin

La falaise de Langevin semble donc bien active aujourd'hui, son recul étant principalement lié aux tempêtes : creusement de la base par les vagues et fluage par les eaux de pluies infiltrées.

4.8. PETITE-ILE : GRANDE ANSE

Le site de Grande Anse se situe sur la commune de Petit-Île entre le Cap de l'Abri et le Piton de Grande Anse.

Contexte

Il s'agit d'une plage de poche accumulée dans une échancrure du linéaire côtier rocheux. Elle se compose de sable biodétritique (corallien et coquillier) relativement grossier et est caractérisée par la présence de *beachrock* (cimentation du sable en une dalle de grès) en bas d'estran. Ce *beachrock*, en partie naturellement démantelé, a fait l'objet de prélèvements pour l'aménagement de l'arrière-plage⁵. L'arrière-plage, végétalisée, est constituée de formations superficielles (sols) localement entaillées en micro-falaise.

⁵ Communication R. Troadec.

Sur le plan hydrodynamique, bien qu'encadrée de deux caps rocheux, la plage est très exposée aux houles australes. Un récif corallien (100 m de large), accolé à la côte, « filtre » toutefois l'énergie de la houle.

Elle est aménagée d'un bassin de baignade dans sa partie Est et d'aires de pique-nique sur l'arrière-plage (présence également d'un mur de protection avec escalier).

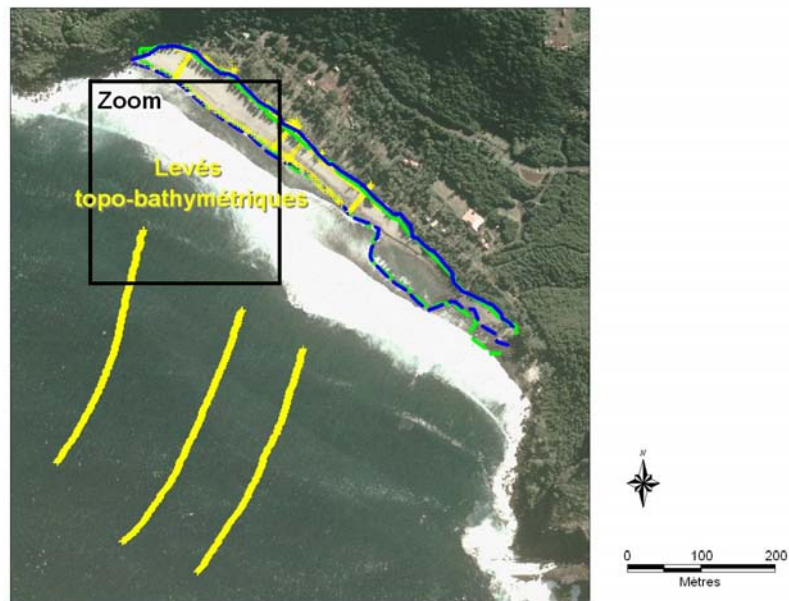
Evolution historique

Les traits de côte du haut de plage (limite de la végétation) et du contact terre-mer ont été digitalisés. En l'absence d'évolution notable sur le contact terre-mer, c'est la limite de haut de plage qui a servi à l'analyse.

En raison de problèmes importants de calage (> 10 m au niveau de la plage) dus à la forte parallaxe sur le site (la plage est encadrée de vifs reliefs), le cliché de 1978 n'a pas pu être conservé. La marge d'erreur entre les ortho-photographies de 1997 et 2003 est en revanche très faible (environ 2 m).

L'évolution du trait de côte entre 1997 et 2003 (2006 dans certains cas - Illustration 33), fait apparaître le retrait marqué du haut de plage. En effet, un recul allant jusqu'à 8,5 m est observé. Ce recul concerne uniquement le centre et le Nord de la plage, le Sud étant protégé par le bassin de baignade.

Considérant la largeur de l'estran (40 m) et la protection relative du récif, cette érosion semble plutôt liée à des événements paroxysmaux ponctuels (très fortes houles australes) plutôt qu'à un phénomène régulier dans le temps.



Orthophotographie IGN 2003

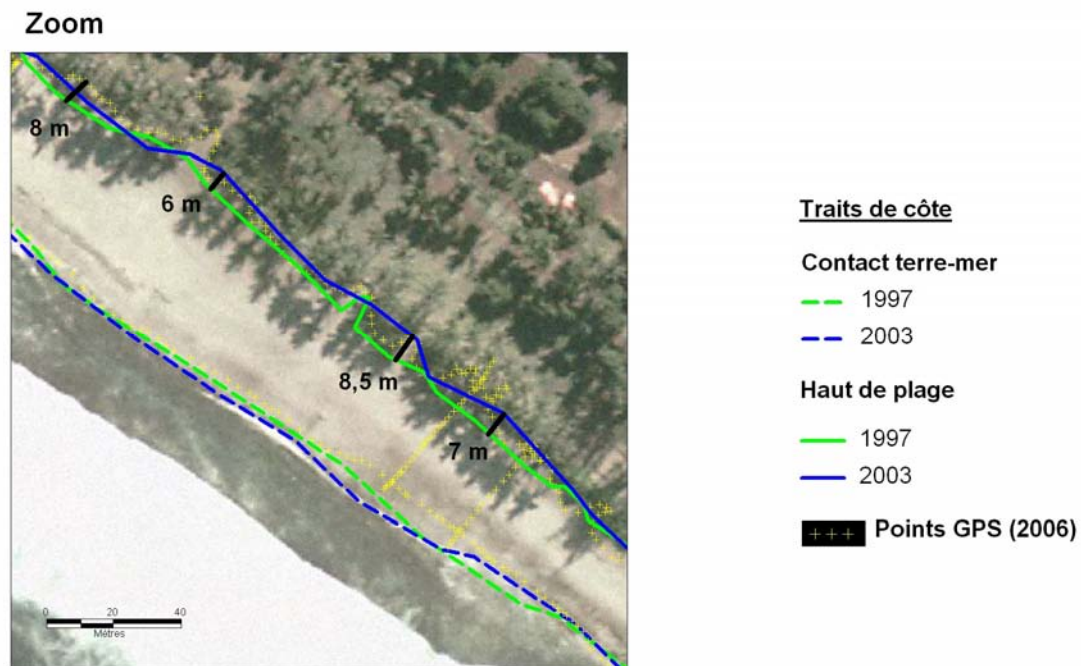


Illustration 33 – Position des traits de côte de Grande Anse et localisation des levés topo-bathymétriques

Evolution actuelle

Les profils topo-bathymétriques ont été implantés en fonction des levés anciens du LSTUR. Les sondages bathymétriques n'ont pas pu s'approcher près de la plage (environ à 200m du bord) en raison de l'important déferlement au moment du levé.

Les profils bathymétriques (Illustration 34) permettent néanmoins d'avoir un aperçu de la configuration des fonds au droit de la plage. Les profils Centre et Sud font apparaître une structure « en escalier », avec une rupture de pente principale qui se retrouve vers 350 m au Centre et 400 m au Sud. Cette rupture de pente, entre -10 et -15 m de profondeur, peut correspondre soit à la pente externe du récif soit à l'affleurement du substratum rocheux (l'extension finale d'une coulée basaltique ?).

Curieusement, cette rupture de pente ne se retrouve pas sur le profil Nord où le profil est plus régulier et le stock sédimentaire beaucoup plus important (à 500m de la tête de profil, on a 5m de plus que sur les autres profils).

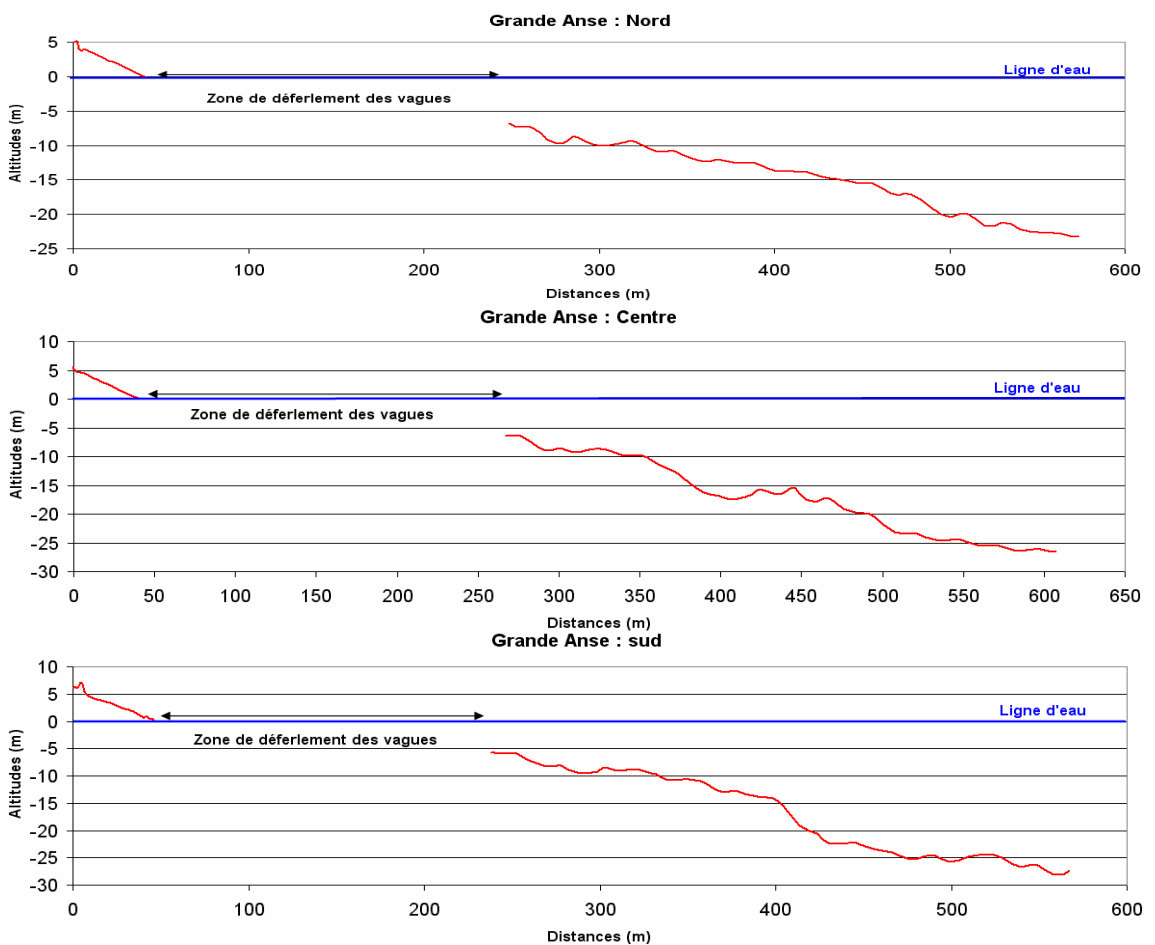


Illustration 34 – Profils topo-bathymétriques de Grande Anse en janvier 2006

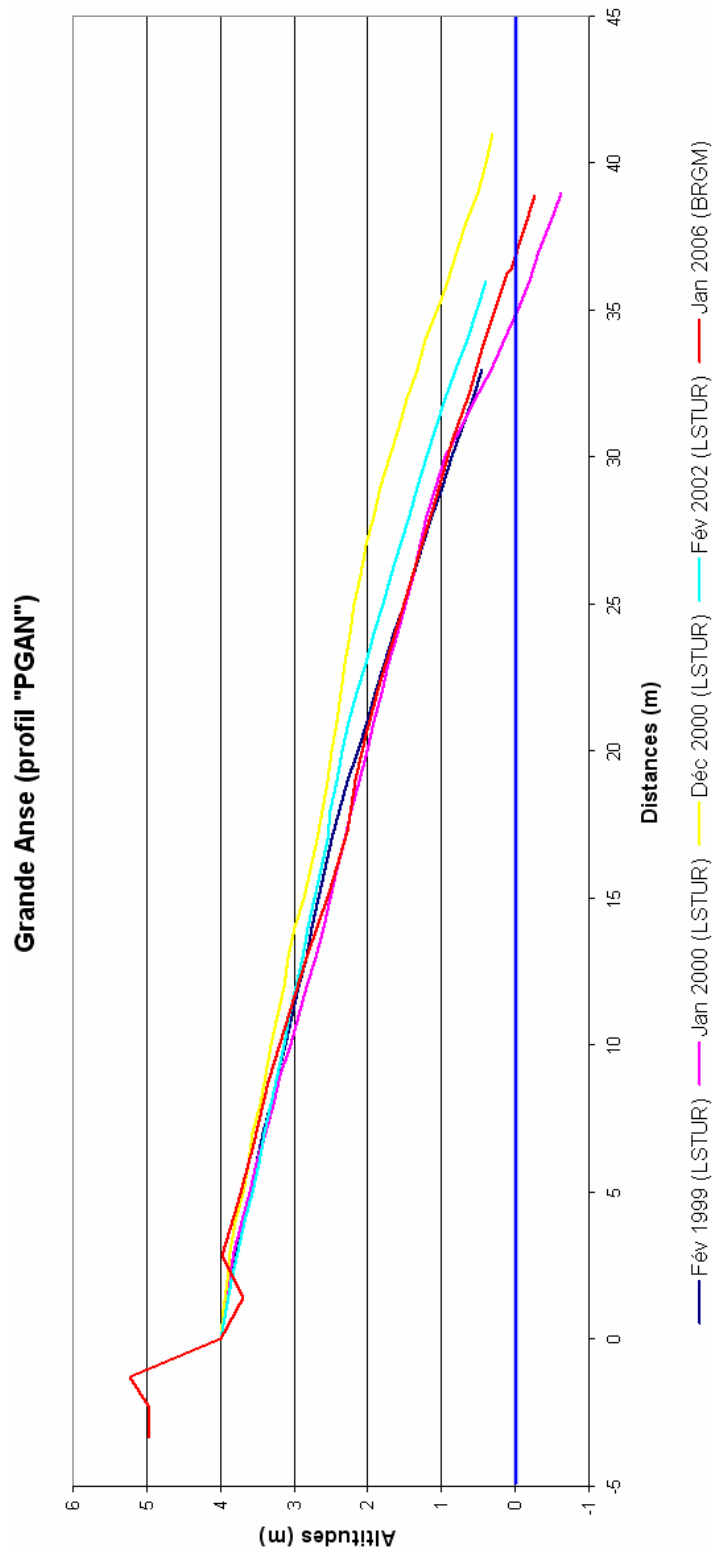


Illustration 35 – Profils topographiques au Nord de la plage de Grande Anse

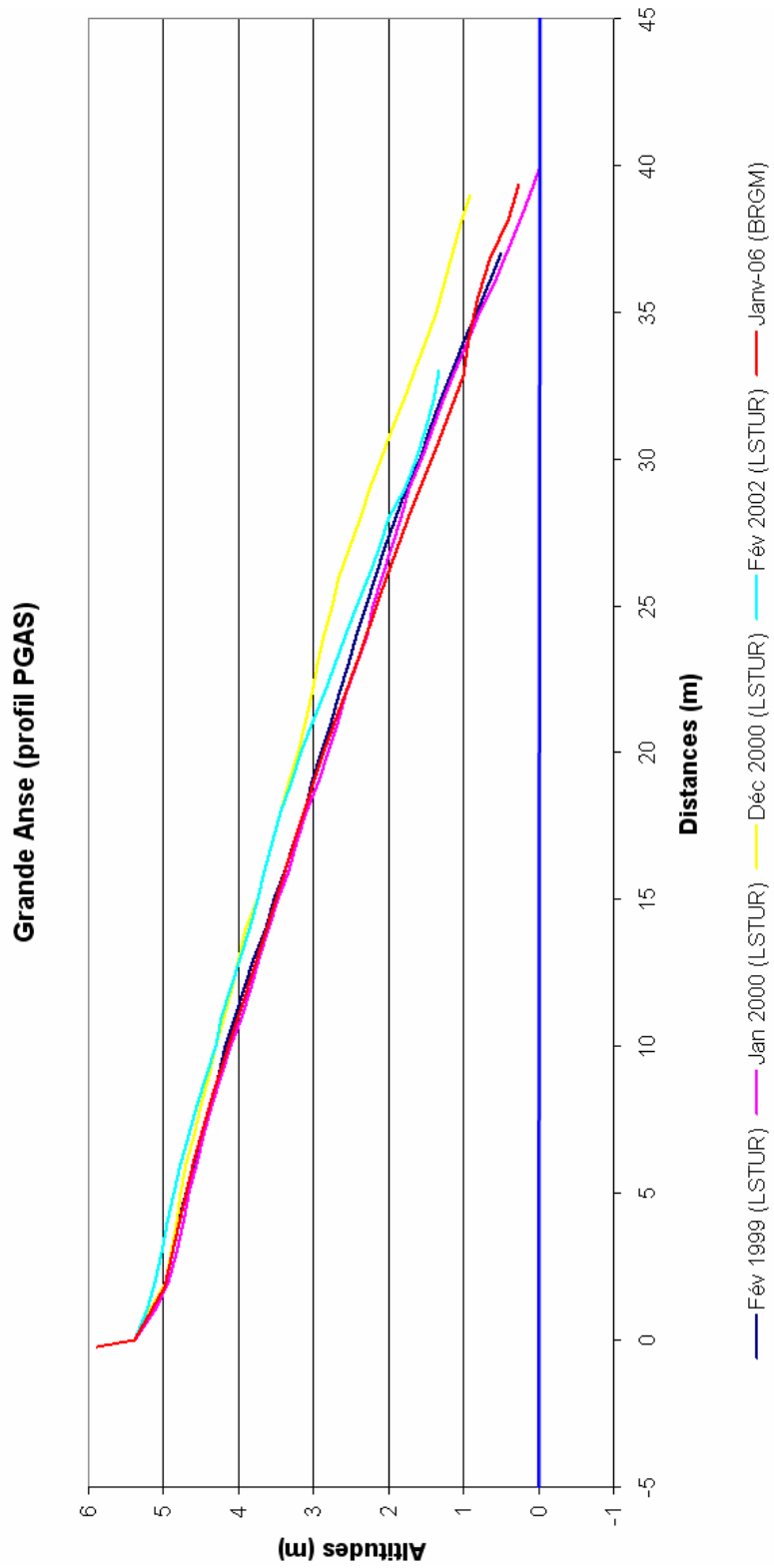


Illustration 36 – Profils topographiques au centre de la plage de Grande Anse

Les profils topographiques (Illustration 35, Illustration 36) ont donc été effectués à l'emplacement des levés antérieurs du LSTUR, à savoir à partir d'un rocher surmonté d'une croix au Nord (profil appelé « PGAN ») et de la micro-falaise au centre de la plage (profil « PGAS », repère disparu mais emplacement retrouvé avec les coordonnées GPS).

Bien que les méthodes d'acquisition soient différentes, les données ont pu être recalées à partir d'un point de référence en commun dont les coordonnées sont connues⁶. Le levé de 2006 ayant été réalisé en été austral, nous n'avons sélectionné que des profils antérieurs réalisés à peu près au même moment de l'année (janvier-février) afin de pouvoir les rendre comparables, sans interférence avec la variabilité saisonnière.

Le profil Nord présente dans l'ensemble une forme convexe qui témoigne d'une tendance à l'engraissement sur le plan sédimentaire. Le profil Sud est plus plat, signe d'une situation d'équilibre. Compte-tenu du fort courant de vidange au Nord de la plage (Antea – In Vivo, 2003), un important transit sédimentaire longitudinal se fait dans le sens Sud-Nord et explique l'asymétrie de la plage (plus large au Nord) et la différence de profils.

Sur le plan diachronique, relativement stables de février 1999 à janvier 2000, les profils de 2006 montrent une tendance à l'érosion depuis décembre 2000. Il apparaît donc que la moitié Nord de la plage ait connu une accrétion allant jusqu'à 1m/1,5m en bas d'estran fin 2000, avant de retourner à son profil d'équilibre.

En raison du caractère très fermé de la cellule hydro-sédimentaire, il est vraisemblable que ces variations soient le résultat d'un transit alternatif dont les rythmes restent à définir. Par ailleurs, la différence de méthodologie ne permet pas d'appréhender de manière quantitative l'évolution de la plage aérienne. Il conviendrait pour bien comprendre la morphodynamique du site, de réaliser des levés centimétriques saisonniers des profils.

4.9. LES FALAISES DE GRAND BOIS

Le site est localisé sur la commune de Grand Bois entre le Cap la Nage et le Cap Homard.

Contexte

Ce site est constitué de falaises basaltiques telles que celles présentées à St Philippe (la Mer Cassée). Il est exposé aux houles australes et est très aménagé par des habitations à proximité du front d'érosion des falaises.

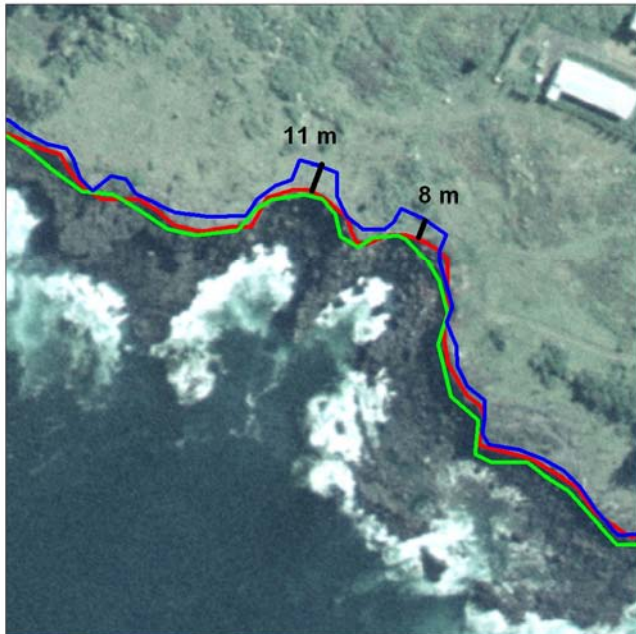
⁶ Géoréférencement DGPS de têtes de profil effectué en 2002, dans le cadre de la convention BRGM/LSTUR (projet « Dynamique sédimentaire en milieu corallien » - Aubié, 2002). Détail des coordonnées dans Coudray et Troadec, 2002.



Orthophotographie IGN 2003



Zoom A



Traits de côte

Limite de la falaise

- 1978
- 1997
- 2003

Illustration 37 – Position des traits de côte des falaises de Grand Bois

Evolution historique

Le trait de côte utilisé correspond à la limite de falaise.

Comme à St Joseph, le calage des images sur ce type de site est très délicat et même les orthophotographies IGN conservent des erreurs non négligeables en termes de déformations. Le décalage constaté est de l'ordre de 6 m.

Compte-tenu de la marge d'erreur, l'analyse diachronique (Illustration 37) ne fait pas apparaître de variation notable de la limite de la falaise à l'échelle des 25 dernières années. Ce qui veut dire, que dans l'ensemble, la falaise a sous doute reculé mais de manière trop réduite pour apparaître avec cette méthode.

Un seul endroit présente un recul suffisant pour être sûr qu'il ne s'agit pas d'une erreur de calage. Il s'agit de deux encoches à proximité de Cap Dehors (Zoom A) qui se sont creusées entre 8 et 11 m depuis 1978 (la limite de 1997 a été exclue car incohérente).

Evolution actuelle

Pour les mêmes raisons que St Philippe et St Joseph, les levés topo-bathymétriques n'ont pas été réalisés sur ce site.

Les observations de terrain confirment l'extrême proximité des aménagements urbains du front de falaise (jusqu'à moins d'1 m -Illustration 38). Le profil est sub-vertical, signe d'une érosion active, mais les versants, composés de coulées massives, sont beaucoup plus résistants. Peu sensible aux agents sub-aériens, la falaise présente probablement un rythme de recul ralenti aujourd'hui car l'abondant matériel détritique accumulé en pied sur la plate-forme d'abrasion (blocs et pans de falaise écroulés) constitue une protection contre les vagues. L'érosion de la falaise reprendra lorsque ce matériel aura été déblayé par la mer.



Illustration 38 - Morphologie des falaises de Grand Bois

4.10. LA PLAGES DE SAINT-PIERRE

Le site de St Pierre est localisé en centre-ville de l'agglomération entre la jetée Ouest du port et la Ravine Blanche.

Contexte

Il s'agit d'une longue plage de sable biodétritique bordée d'un récif corallien relativement développé pour La Réunion (jusqu'à 350 m du bord). Le récif joue un double rôle d'alimentation en sable et de protection des houles australes.

La plage est coupée en 3 compartiments principaux séparés par des portions de murs de protection d'habitations.

De par sa situation en ville, la plage est en effet entourée de nombreux aménagements : la jetée du port à l'Est ; des murs de protection de la promenade de front de mer et d'habitations en haut de plage et une aire de pique-nique à proximité de la Ravine Blanche.

Evolution historique

Les aménagements étant déjà présents sur le haut de plage en 1978, cette limite est figée et n'a pratiquement pas évolué depuis. Compte-tenu du plan d'eau calme, protégé par le récif, c'est le contact terre-mer qui représente le trait de côte. La marge d'erreur est évaluée à 4 m.

L'analyse historique affiche un élargissement généralisé de la plage depuis 1978 (Illustration 39) avec :

- + 17,5 m pour le compartiment Est (Zoom C), ce qui représente la plus forte avancée ;
- + 15 m pour le compartiment central (Zoom B) ;
- entre +6 et +8 m pour le compartiment Est (Zoom A).

Bien que la plage conserve encore aujourd'hui les traces d'une érosion ancienne (disparition locale du corps sédimentaire, position immergée du *beachrock* – cf. phase 1), les remaniements anthropiques importants réalisés sur la plage⁷ (terrassment, rechargement ?) expliquent à eux seuls cette avancée du trait de côte.

⁷ Communication R. Troadec.

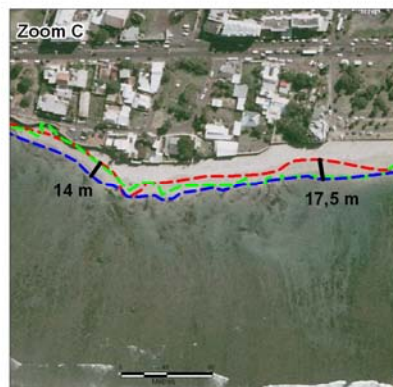
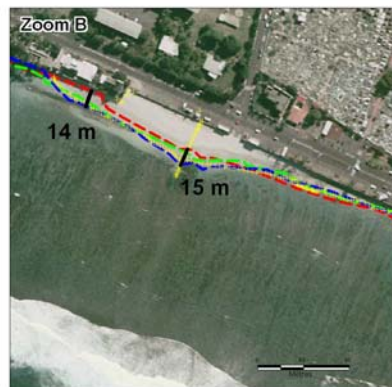
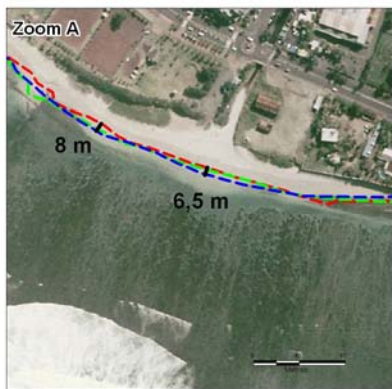
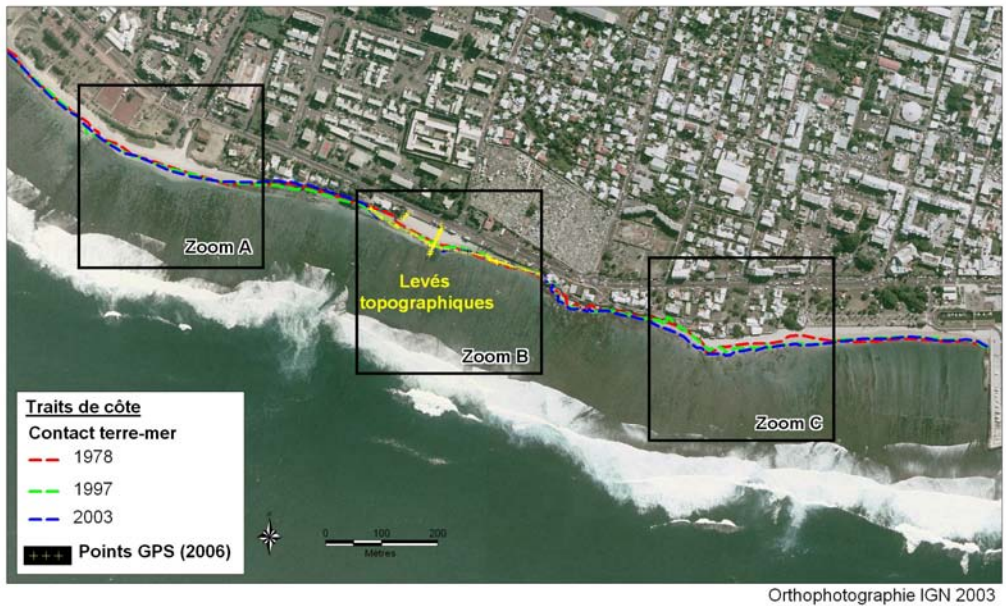


Illustration 39 – Position des traits de côte de St Pierre et localisation des levés topographiques

Evolution actuelle

Un profil a été réalisé sur le compartiment central de la plage, à proximité de la gendarmerie, à partir d'un point de référence implanté sur le mur de haut de plage par le LSTUR.

Le profil (Illustration 40) présente une forme plutôt plate, ce qui traduit une tendance à l'équilibre au plan sédimentaire. La pente générale, assez importante avec 11,5%, indique l'important dynamisme de la plage.

Accolé à la côte, le récif limite l'extension sous-marine de la plage qui est extrêmement réduite (moins de 20 m).

D'un point de vue diachronique, il apparaît tout d'abord que le profil de février 2002 est considérablement « élevé » par rapport aux autres. La seule interprétation possible de cet engraissement (environ + 2 m d'épaisseur en bas de profil) réside dans un rechargement sédimentaire d'origine anthropique car le corps sédimentaire est trop réduit pour pourvoir à ce type d'apports.

Pour les autres dates, le profil ne montre pas de tendance régulière dans le temps mais plutôt une variation autour d'un profil d'équilibre (Coudray et Troadec, 2002). Si les profils de décembre 98 à janvier 2000 sont très similaires, quelques variations sont notables à partir de décembre 2000 :

- en décembre 2000, le profil est globalement au-dessus de dates antérieures, notamment en bas de plage où l'accrétion altitudinale est de +25 cm ;
- en janvier 2006, le profil de bas de plage est quasiment revenu à son stade initial. Mais en haut de plage, le profil est devenu le plus haut.

Compte-tenu de l'importance des modifications artificielles effectuées sur le stock sédimentaire de cette plage, il s'avère difficile de discriminer le rôle des agents naturels sur l'évolution constatée.

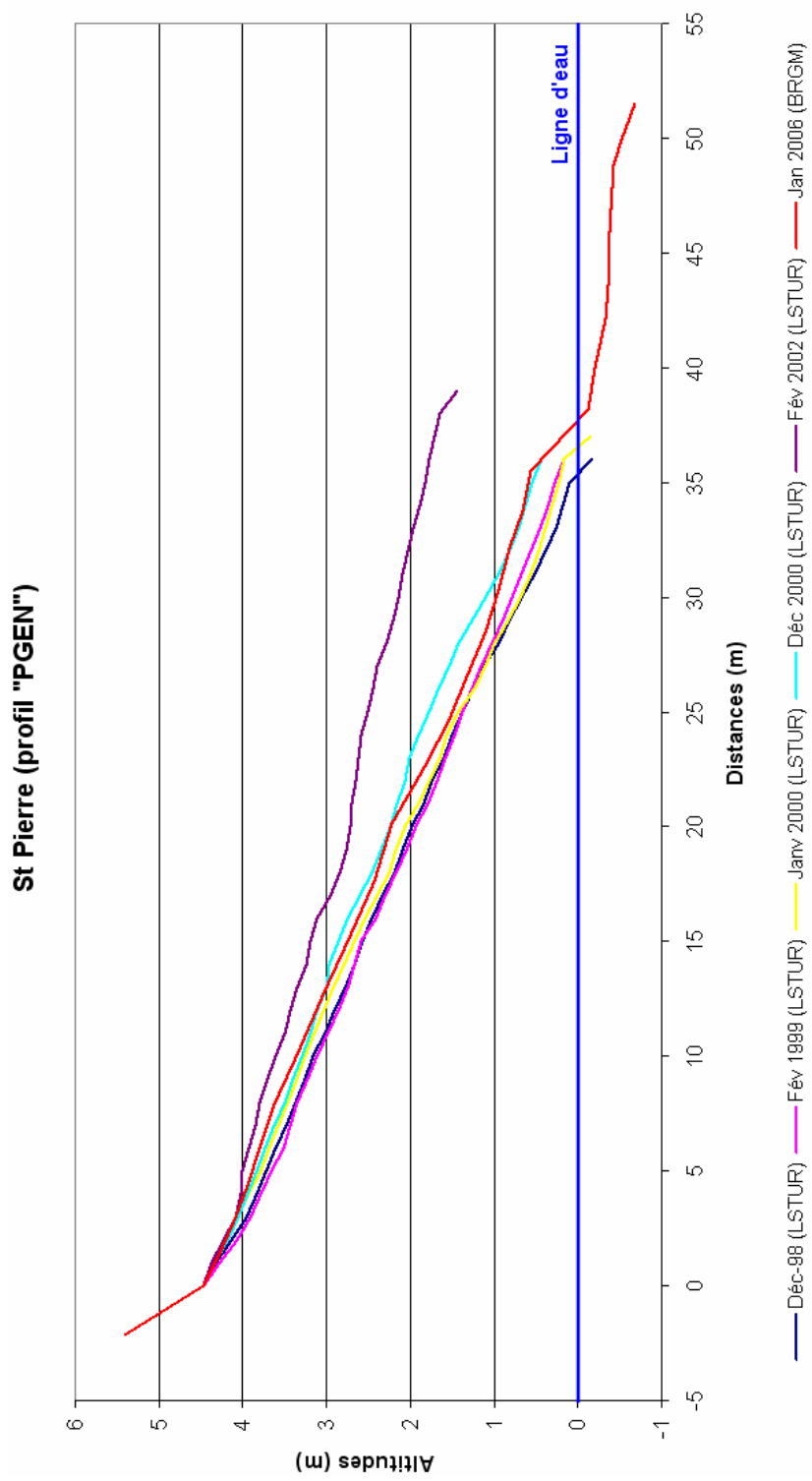


Illustration 40 – Profil topo-bathymétrique de St Pierre

4.11. SAINT-PIERRE : LA POINTE DU DIABLE

Le site de la Pointe du Diable se situe à l'Ouest de l'agglomération de St Pierre entre le cap Tuf et le Cap Rond.

Contexte

Le site de la Pointe du Diable est constitué de falaises hautes (15m) et tendres (tufs ponceux) exposées aux houles australes. Une coulée massive affleure également au niveau de la Pointe du Diable proprement dite et dans le prolongement Est de la falaise (autour du Cap Tuf).

Des aménagements sont situés en arrière de la falaise : route et parking très près du bord (jusqu'à 3 m environ) et bâti à partir de 30 m.

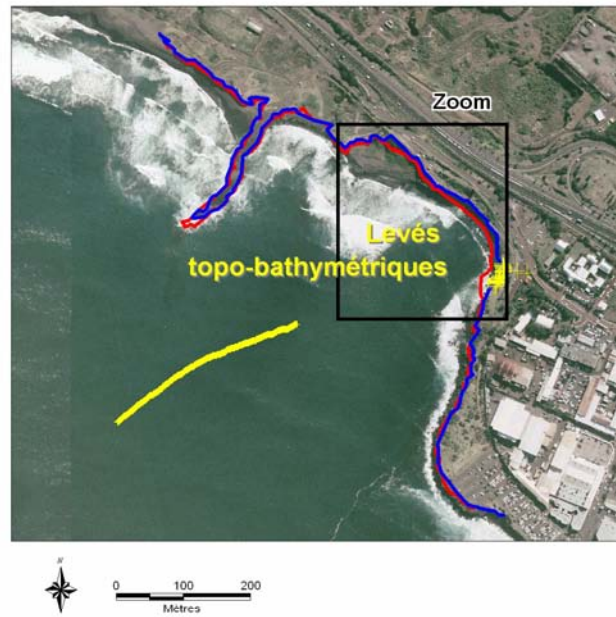
Evolution historique

L'évolution historique est basée sur la variation de la limite de la falaise (Illustration 41).

Le trait de côte de 1997 donnant des positions incohérentes par rapport à celui de 2003, il a été exclu de l'analyse. La marge d'erreur évaluée entre 1978 et 2003 a été estimée à moins de 5 m.

L'analyse met en évidence le recul localement (dans les formations tendres) très important de la falaise. En effet, à proximité de la zone industrielle à l'Est du site (Zoom), le recul atteint 25,5 m depuis 1978 à 2006 soit un peu moins d'un mètre par an. Ce calcul concorde avec l'estimation effectuée par le BRGM en 2000 (Aubié, 2000) qui chiffrait la vitesse de recul à une dizaine de mètres tous les 10 ans.

Plus à l'Ouest (Zoom), le recul, toujours fort mais toutefois moins marqué, est d'environ 14 m entre 1978 et 2003 (50 cm /an), ce qui a conduit à la disparition du tracé de l'ancien chemin de fer.



Zoom



Traits de côte

Limite de la falaise

— 1978

— 2003

+++ Points GPS (2006)

Orthophotographie IGN 2003

Illustration 41 – Position des traits de côte de la Pointe du Diable et localisation des levés topo-bathymétriques

Evolution actuelle

Les mesures topographiques ont plutôt servi à lever la position actuelle de la limite de falaise qu'à faire un profil (impossible à cette hauteur). Un profil bathymétrique a en revanche été réalisé afin d'avoir un aperçu de la configuration des fonds marins sur le site. Compte-tenu du déferlement des vagues ce profil est resté à une distance relativement importante de la ligne de rivage (environ 300 m).

Le profil bathymétrique (Illustration 42) fait apparaître une pente relativement douce (2%) marquée par une succession de relief et de dépressions. Bien que la houle soit « filtrée » en post-traitement des données bathymétriques, des résidus peuvent apparaître lors de houles bien formées, ce qui était le cas pendant de ce levé. Dans la partie amont ; où une butte est bien évidente, il peut s'agir toutefois de barres pré-littorales (présence de sables et galets au pied des falaises). La présence de ce type de relief a une importance car elle contraint la houle à déferler avant d'atteindre le pied de la falaise, et donc d'être moins énergétique et destructive.

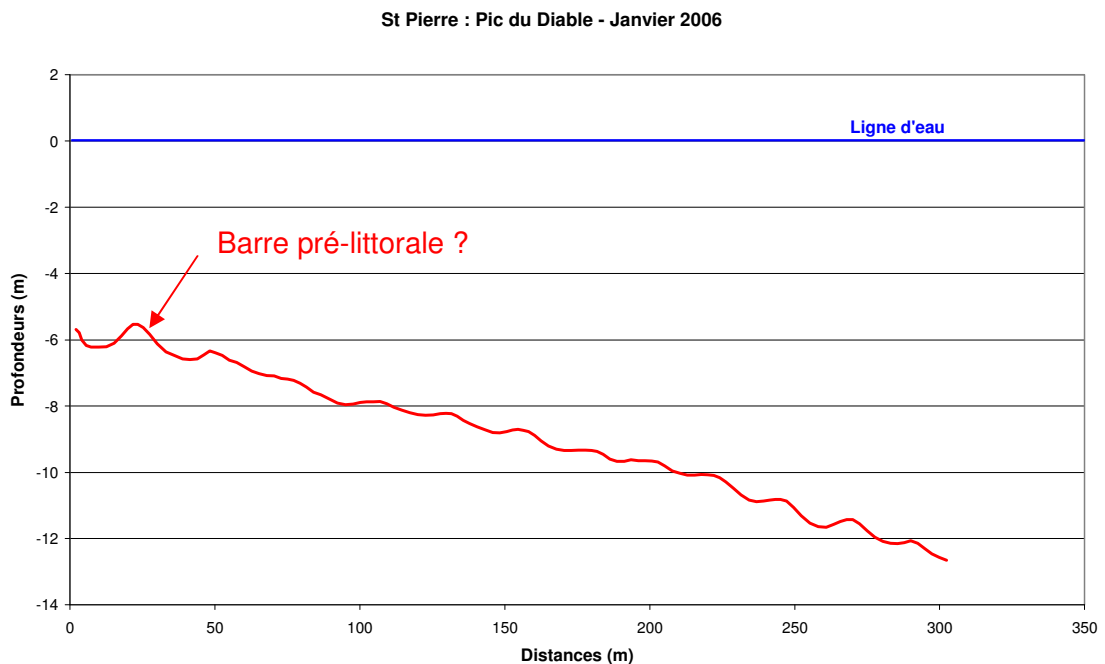


Illustration 42 – Profil bathymétrique de la Pointe du Diable

La partie terrestre du site présente un profil sub-vertical de la falaise avec un sous-cavage en pied (Illustration 43), signe de l'érosion active actuellement.



Illustration 43 - Morphologie de la falaise de la Pointe du Diable

4.12. ETANG SALE LES BAINS

Le site est localisé sur la commune d'Etang Salé les Bains entre le Pointe de l'Etang Salé et la Pointe des Sables.

Contexte

Il s'agit d'une petite plage de sable mixte alimentée d'une part par les sables d'origine volcaniques du massif dunaire et de la « grande plage » de l'Etang Salé et d'autre part par les sables biodétritiques produits par le récif corallien situé dans la partie infralittorale. Un gradient lithologique s'observe du Nord vers le Sud avec un sable plus « volcanique » au Nord et graduellement plus corallien au Sud.

Bien qu'exposée Sud-Ouest, la plage bénéficie d'une protection aux houles australes par le récif corallien qui la borde. La plage se trouve en effet dans une situation de confinement entre un cap rocheux au Sud, une flèche sableuse au Nord, le récif dans la partie sous-marine, et les aménagements (habitations, mur, cale à bateau) situés en haut de plage.

Du fait de son caractère abrité, la zone, localement appelé « Bassin Pirogue », accueille également un certain nombre de mouillages dont l'accès a été facilité aux bateaux en creusant un chenal dans le récif ainsi que dans la partie infralittorale de la plage (cf. étude de phase 1).

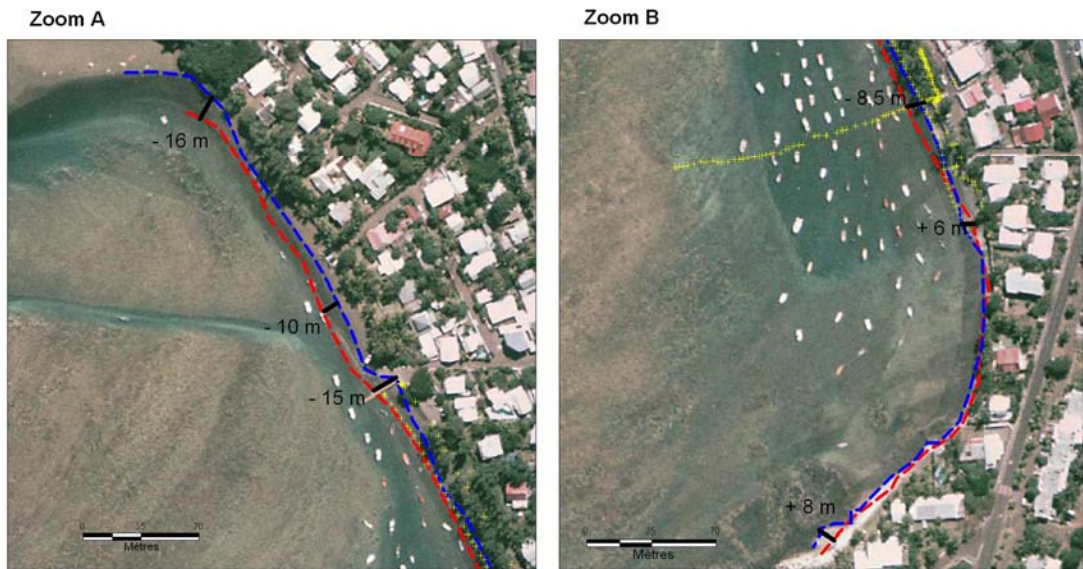
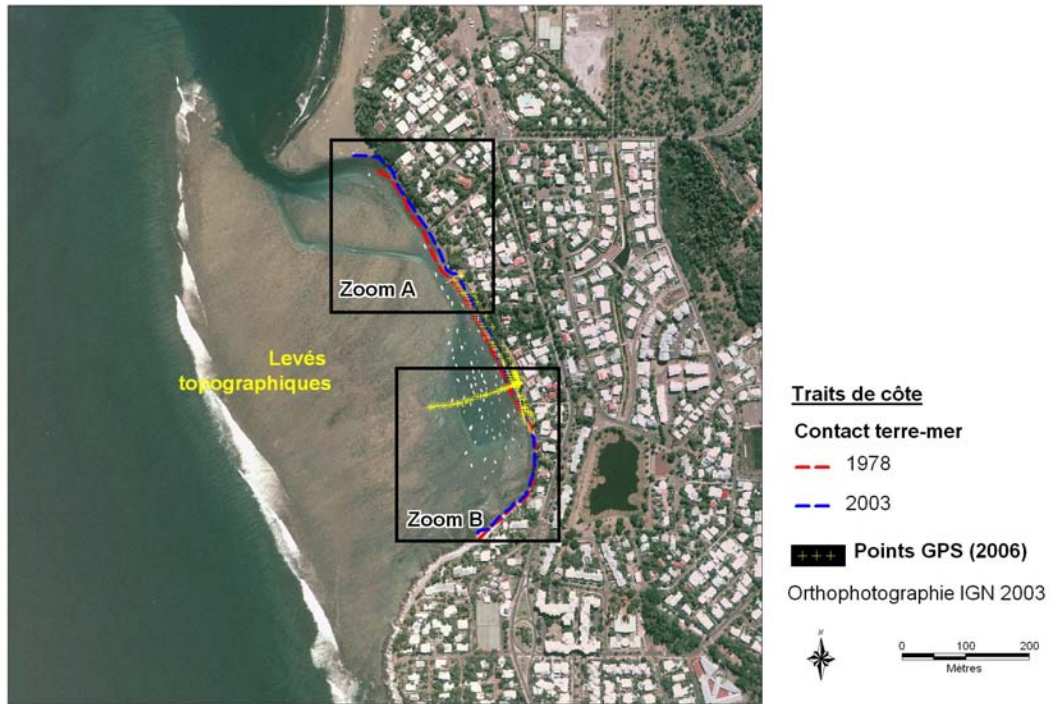


Illustration 44 - Position des traits de côte d'Etang Salé les Bains (Bassin Pirogue) et localisation des levés topographiques

Evolution historique

La présence de grands filaos crée des ombres portées qui masquent le haut de plage, cette limite n'a pas été retenue. En revanche, compte tenu de la faible agitation du plan d'eau au moment des prises de vue et de la pente relativement importante de la plage, le contact terre-mer a pu être utilisé pour représenter les différents traits de côte.

Le cliché de 1997 présente des ombres portées qui « bouchent » la plupart de la superficie de la plage, elle n'a donc pas pu être utilisée. La marge d'erreur constatée entre 1978 et 2003 est minime et n'excède pas 2m, ce qui permet une analyse assez fine.

Les variations du trait de côte entre 1978 et 2003 (Illustration 44) font apparaître un recul assez sensible sur la majorité de la plage. C'est dans la partie Nord de la plage (Zoom A), que le recul est le plus marqué avec -16 m près de la Pointe des Sables, ce qui est sans doute lié à la dynamique particulière (forte variabilité morphologique) de la flèche sableuse. Un recul de -15 m est également constaté en relation avec l'implantation de la jetée. Le recul général de la plage est davantage de l'ordre de 10 m, ce qui revient à quasiment la moitié de la largeur de la plage.

Dans la partie sud (Zoom B), le recul est relativement moins marqué : 8,5 m entre 1978 et 2006. La tendance va jusqu'à s'inverser à l'extrême Sud où une accrétion de sable essentiellement biodétritique est constatée (jusqu'à 8 m de progradation du trait de côte).

Le sable étant différent au Sud et au Nord de la plage, on ne peut pas conclure à un transfert sédimentaire Nord-Sud engendrant une érosion en amont-dérive et une accrétion en aval-dérive. Il semble plutôt que le sable est amené dans le chenal où il est vidangé par le courant. Le creusement régulier du chenal doit en outre engendrer des pertes sédimentaires qui contribuent à l'érosion de plage.

L'incurvation du récif vers le Nord confirme le courant dominant qui correspond à la vidange de la masse d'eau entrée dans le « bassin » avec les vagues. Au niveau de la Pointe des Sables, ce courant rencontre un courant opposé, ce qui engendre une accumulation sédimentaire à l'origine de la formation de la flèche sableuse.

Compte-tenu de l'aménagement continu du haut de plage qui empêche toute compensation des pertes en sable d'une part, et du creusement du « bassin » pour les mouillages qui accélère vraisemblablement le courant d'autre part, la disparition du stock fossile de sable basaltique semble inéluctable. La pérennité de la plage paraît donc dépendre de la capacité du récif à produire du sable corallien pour compenser.

La partie à l'extrême Sud jouit d'un contexte assez différent. Orientée quasiment dos aux vagues et bénéficiant d'un récif accolé à la côte, elle est beaucoup plus abritée et ne semble pas concernée par le courant de vidange. Le sable corallien a donc libre court pour s'y déposer. Les aménagements sont également plus en retrait sur la base rocheuse du cap, ce qui permet à ce placage sédimentaire de s'engraisser.

Evolution actuelle

Le profil topographique (Illustration 45) a été implanté dans la partie Sud de la plage afin de pouvoir traverser la « fosse » creusée dans la plage et le récif.

Le profil tend à confirmer l'analyse diachronique avec une plage aérienne très réduite (environ 10 m) et assez raide (8% de pente) et la présence d'une fosse bien marquée.

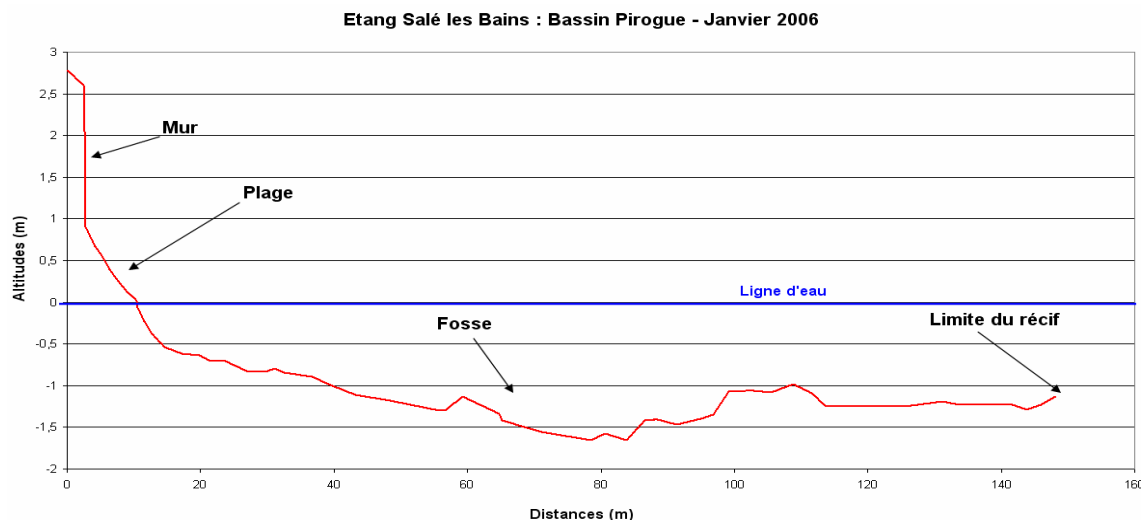


Illustration 45 – Profil topographique de Bassin Pirogue à Etang Salé les Bains

Les observations de terrain font également apparaître l'amincissement de la plage en épaisseur qui conduit au déchaussement du mur de protection (Illustration 46).

La perte sédimentaire dans le chenal est donc plus que probable, et une approche tri-dimensionnelle de tout le bassin permettrait d'estimer les zones éventuelles de dépôt de ce sédiment pour une ré-alimentation artificielle de la plage. De plus, une étude de l'hydrodynamique dans le bassin, en particulier des phénomènes de vidange lorsque les houles franchissent le récif, est indispensable pour bien comprendre l'évolution de ce secteur.



Illustration 46 – Déchaussement du mur de protection

4.13. SAINT-PAUL : L'HERMITAGE

Le site de l'Hermitage est localisé sur la commune de St Paul sur environ 1 km au Nord à partir de la passe de l'Hermitage.

Contexte

Cette portion de côte appartient à la plus longue plage de La Réunion qui s'étend de la Ravine St Gilles à la Ravine des Trois-Bassins.

Il s'agit d'une plage de sable biodétritique alimentée et bordée par le récif corallien le plus « développé » de La Réunion qui s'étend jusqu'à 450 m de distance du rivage. Le récif protège la plage des houles australes, sauf quand une surcote permet à la houle de pénétrer dans la dépression d'arrière-récif (abusivement appelée « lagon » à La Réunion). Le haut de plage est bordé de filaos (plantation) et la ligne de rivage est localement marquée par la présence de *beachrock*.

La plage constitue enfin un enjeu touristique et économique important localement. L'impact anthropique y est relativement fort avec une fréquentation importante (le piétinement empêche le développement de la végétation rampante) et des aménagements présents sur le haut de plage (restaurants, habitations).

Evolution historique

Les traits de côtes utilisés correspondent au contact terre-mer (plan d'eau calme) d'une part et au haut de plage (limite de la végétation) d'autre part. La marge d'erreur est estimée à 2 m.

Les variations des traits de côte font apparaître une érosion généralisée entre 1978 et 1997, particulièrement aiguë au Sud de la zone (Illustration 47).

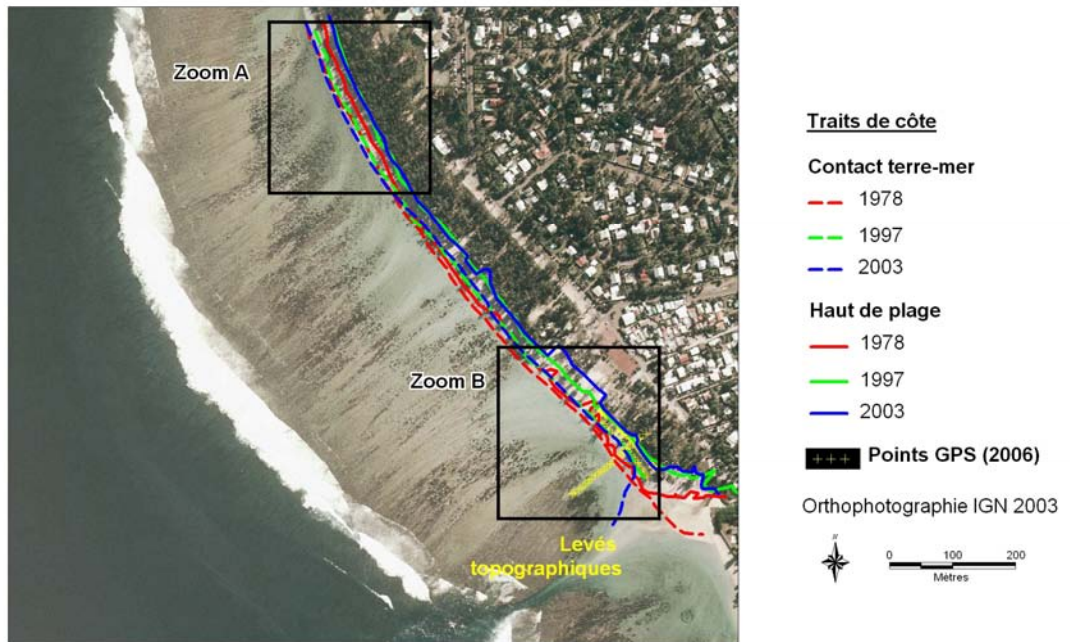


Illustration 47 – Position des traits de côte de l'Hermitage et localisation des levés topographiques

En effet, à proximité de la passe la bordure de filaos qui marque le haut de plage a reculé d'environ 40 m (Zoom B). Localement une grande encoche est apparente. Elle résulte du terrassement et de l'enlèvement des ruines d'un aménagement incendié⁸ (non visible en 1978) et non d'un recul « naturel » du haut de plage.

Plus au Nord (Zoom A), le recul de la végétation est plus modéré mais reste sensible avec entre -16 et -22 m. Hormis au niveau de l'encoche où le recul est continu jusqu'en 2003, la situation semble s'être relativement stabilisée à partir de 1997.

L'évolution du contact terre-mer confirme dans l'ensemble la tendance avec un recul de l'ordre de 26 m à proximité de la passe (Zoom B) entre 1978 et 1997, la position n'ayant guère changé depuis. Une légère inversion (momentanée ?) est constatée plus au Nord (Zoom A) avec une progradation d'environ 8 m en 2003 par rapport à la position stable de 1978 et 1997.

L'érosion généralisée de ce secteur est d'abord d'origine naturelle. La courantologie de la dépression d'arrière-récif est ici régit par les passes qui permettent aux entrées de masse d'eau (marée, vagues) de se vidanger.

Sur ce secteur, comme le montre l'incurvation du récif, seule la partie Sud est vidangée par la passe de l'Hermitage, les autres masses d'eau se dirigeant vers le Nord. Ainsi lorsque les vagues parviennent à atteindre la plage (conjugaison d'une surcote et d'une forte houle australe), les sédiments sont vidangés au-delà du récif. Ensuite, en période de beau temps, ce même récif empêche les houles constructives de ramener le sable sur la plage. L'érosion est donc, à la base, naturelle, la stabilité de la plage dépendant du bilan entre la production de sable par le récif et les pertes de sédiments engendrés par les tempêtes.

L'Homme agit en outre comme un facteur aggravant, notamment par le piétinement important du haut de plage qui empêche le développement de la végétation rampante dont le rôle est de fixer le sable et de former un stock « compensateur ». Dans le cas de l'encoche observée, l'absence de végétation donne libre court au vent de remobiliser les sédiments par déflation et de les disperser en arrière du littoral.

Evolution actuelle

Le profil topographique (Illustration 48) a été effectué à l'emplacement des levés antérieurs du LSTUR, à savoir à partir de fondations apparentes, à proximité du poste de MNS (profil appelé « GMNS »).

La partie sous-marine présente un profil plat et une profondeur assez faible, inférieure à 2 m (marée basse au moment des levés), qui traduit le faible dynamisme du plan d'eau. Le profil, légèrement concave, se creuse dans les premiers mètres et tend à se redresser en se rapprochant du récif.

⁸ Dancing « le Circus » - Communication R. Troadec.

La plage aérienne fait apparaître un profil concave entre la zone surélevée végétalisée et le trait de côte. Ce profil semble présenter un équilibre dynamique depuis 2000..

Tout comme sur la plage de St Pierre, la courbe de février 2002 est beaucoup plus « redressée » par rapport aux autres. Cette position mettrait en exergue des variations exceptionnelles avec une phase d'engraissement important de l'ordre de + 2m d'épaisseur de 2001 à 2002, suivie d'une phase d'érosion marquée (-2 m d'épaisseur en 2006). Ces variations seraient imputables à des cycles saisonniers et des forçages exceptionnels (ex : cyclone Dina)⁹.

A noter également que sur le profil de 2006, les fondations ont été prises en compte, ce qui explique qu'il soit plus haut que les autres en haut de plage. Cette variation d'altitude n'est donc pas à interpréter comme une évolution de la plage.

Pour les autres dates, le profil de 2006 apparaît dans l'ensemble au-dessous de ceux de 2000 et 2001, témoignant d'une légère érosion, même si le profil est globalement stable depuis 2000. Cette relative stabilité dans un secteur proche de la passe est probablement à mettre en relation avec l'érosion observée un peu plus au nord (cf ill. 47, zoom B). L'analyse tridimensionnelle de ce secteur permettrait de modéliser les courants érosifs et de mieux appréhender sa dynamique complexe.

⁹ Communication R. Troadec.

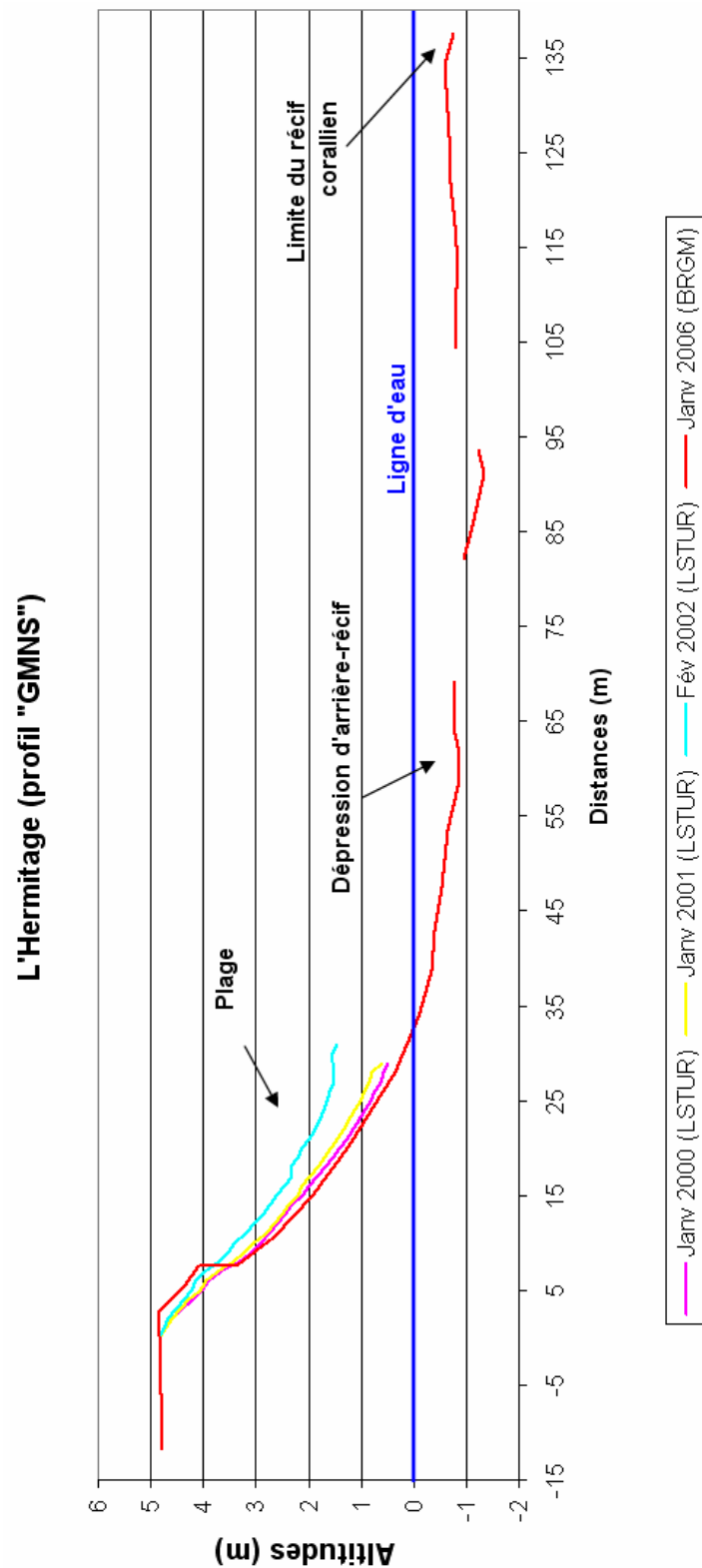


Illustration 48 – Profil topographique de l'Hermitage

4.14. LE PORT : LA POINTE DES GALETS

Le site est localisé sur la commune du Port entre la Pointe des Galets et le Port Est.

Contexte

Ce site est constitué d'un large cordon de galets surmonté de buttes « artificielles » issues de déblais effectués à partir des matériaux de creusement du Port Est (sable et galets).

Ce site est exposé aux houles australes, dans une moindre mesure aux houles d'alizés et plus ponctuellement aux houles cycloniques.

L'arrière-côte présente des enjeux très importants (zone industrielle), séparés du littoral par la route.

Evolution historique

Le site du Port ayant fait l'objet d'une étude antérieure (Aubié et Oliveros, 1999) de l'évolution du trait de côte de 1950 à 1997, nous avons extrait le trait de côte de 1978 et re-projeté en WGS84 UTM 40S afin de le comparer dans le même référentiel avec ceux de 1997 et 2003.

Les traits de côtes ont été digitalisés au niveau du contact terre-mer (limite du jet de rive) afin de pouvoir être comparables avec celui de 1978. La marge d'erreur correspond à celle de l'étude de 1999 qui est estimée à environ 5 m.

L'analyse pluri-décennale fait apparaître la forte variabilité morphologique de la Pointe des Galets et la stabilité précaire du cordon de galets (Illustration 50).

La Pointe des Galets (Zoom A – Illustration 49) a connu un recul important (de 53 à 74 m) de 1978 à 1997 dans sa partie occidentale. Une phase d'engraissement de l'ordre de 10 à 30 m a ensuite suivi de 1997 à 2003. Entre 2003 et 2006, elle semble s'être stabilisée.

D'après l'étude de 1999, la Pointe des Galets aurait connu une érosion de l'ordre de 150 de 1950 à 1989. Depuis 1996, la présence de l'enrochement à l'Ouest la protège en partie, ce qui expliquerait la progradation observée *a posteriori*.

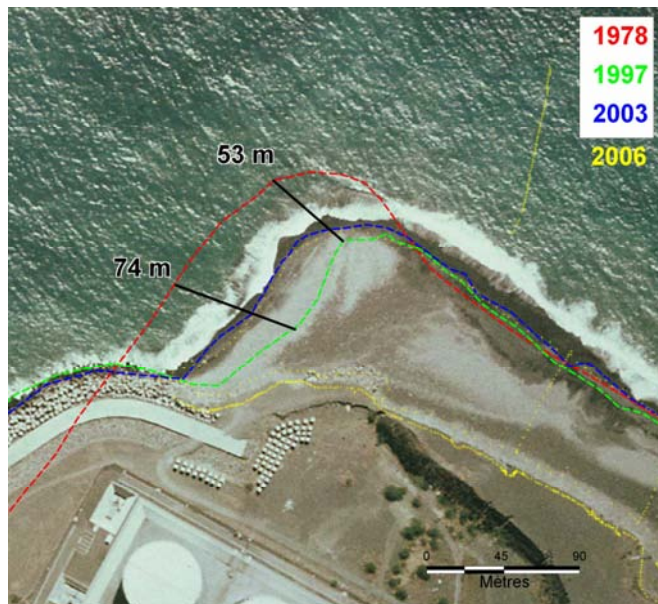


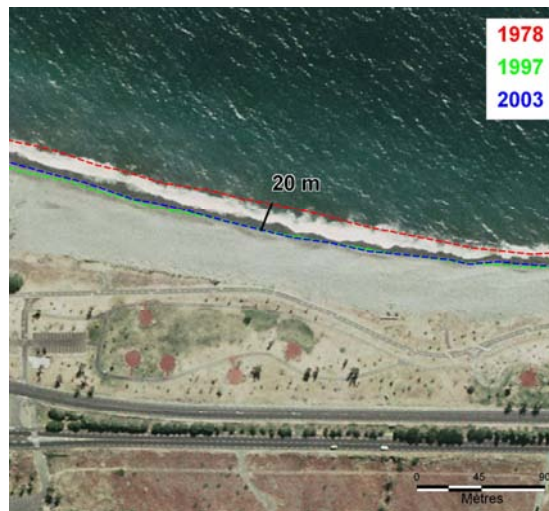
Illustration 49 – Evolution de la Pointe des Galets
(Zoom A - Orthophotographie IGN 2003)

Le cordon de galets affiche en comparaison une relative stabilité. La partie occidentale n'a en effet pratiquement pas évoluée tandis que plus à l'Est, un recul de l'ordre de 20 m est toutefois mesuré entre 1978 et 2003 (Zoom B -Illustration 51), la position entre 1997 et 2003 n'ayant quasiment pas changé.

La Pointe des galets se trouve à la convergence de deux courants opposés, l'un Sud-Nord à l'Ouest et l'autre Est-Ouest à l'Est. L'érosion spectaculaire de la Pointe est à mettre en relation avec le blocage des sédiments en provenance de la Rivière des Galets par les jetées du Port Ouest. En le coupant de son unique zone d'approvisionnement le cordon de galets situé entre la Pointe et le Port Est constitue une cellule hydrosédimentaire tributaire de son seul stock de sédiment pour palier aux prélèvements faits par les tempêtes (dispersion des galets en profondeur). Le site est donc à terme menacé. Si l'érosion à l'échelle du cordon a pu jusqu'à présent être minimisée, c'est grâce aux rechargements artificiels que constituent les buttes de déblais, qui forment un stock « tampon ». La disparition des buttes dans la partie Est, ajouté à une dérive littorale Est-Ouest expliquent l'érosion que connaît ce secteur alors que la partie occidentale (présence de 3 buttes résiduelles) reste stable.



Illustration 50 – Position des traits de côte du Port (Pointe des Galets) et localisation des levés topo-bathymétriques



*Illustration 51 – Evolution du cordon de galets au Port
(Zoom B – Orthophotographie IGN 2003)*

Evolution actuelle

Le profil topo-bathymétrique a été réalisé à proximité de la Pointe.

La partie immergée (Illustration 52) tend à confirmer l'analyse historique. En effet, la très forte pente (27%) à proximité de la ligne de rivage renforce l'hypothèse d'une perte définitive de sédiments, lorsqu'en période de tempête ils sont transportés à des profondeurs trop importantes pour que les houles constructives de beau temps puissent les ramener sur la partie aérienne.

La largeur importante du profil topographique au niveau du cordon (50 m) permet, en outre, d'imaginer la puissance des houles de tempêtes (houles cycloniques) qui parviennent à traverser cette étendue pour entailler les buttes de déblais. Cette largeur indique le stock sédimentaire très important à cette partie du cordon.

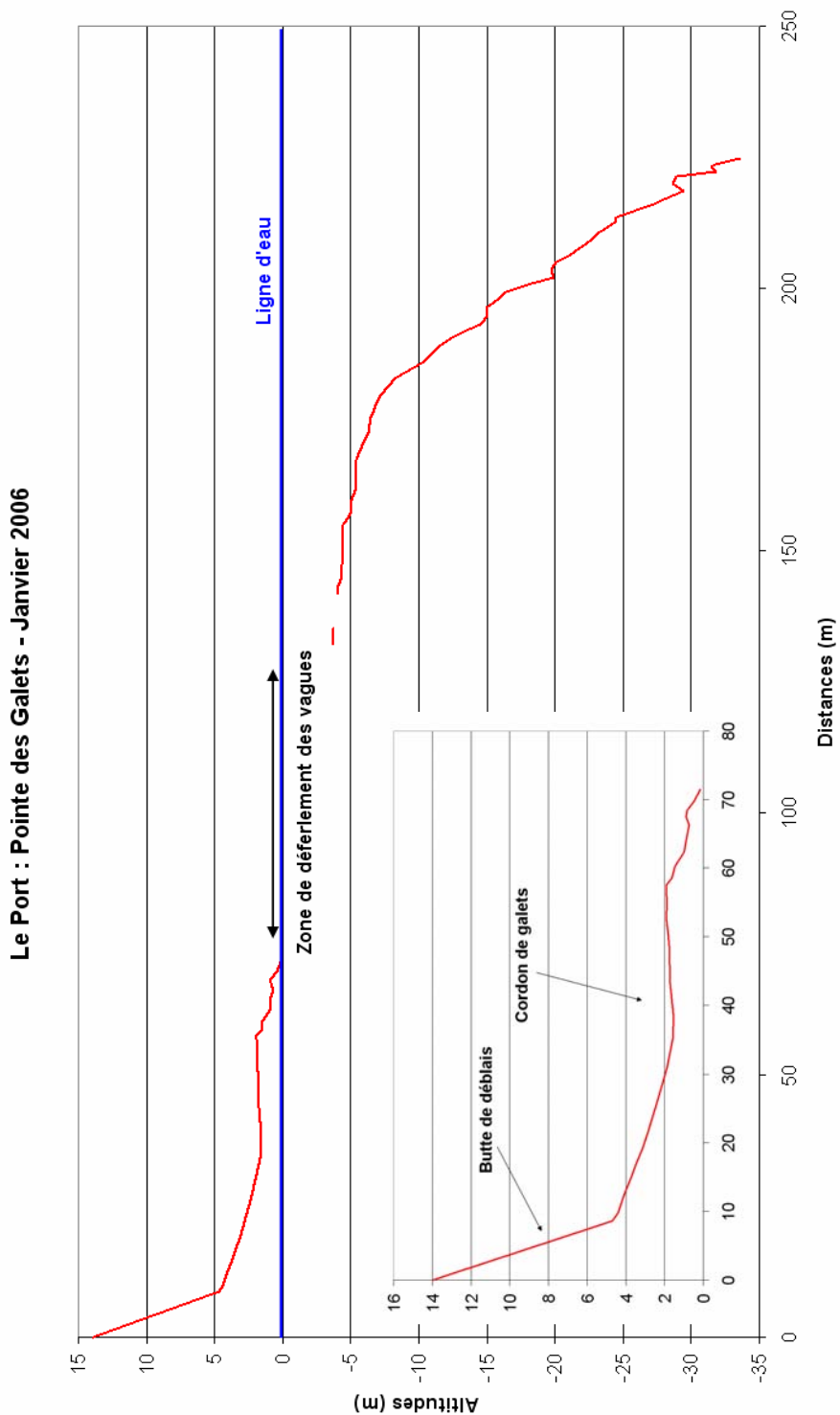


Illustration 52 – Profil topo-bathymétrique au Port (Pointe des Galets)
Zoom sur les 70 premiers mètres

5. Synthèse des résultats

5.1. BILAN DES EVOLUTIONS

L'intérêt de cette étude est de quantifier les évolutions morphologiques observées qualitativement, en phase 1, sur les sites identifiés comme sensibles. Les analyses historique et actuelle ont donc permis de réaliser des bilans chiffrés afin de confirmer ou infirmer la tendance apparente (Illustration 53) .

SITES	VARIATION DU TRAIT DE COTE	ORIGINE	REMARQUES	AMPLEUR MAX.
St Denis (Bvd Lancastel)	Avancée	Anthropique	Cordon stable ; micro-falaise en avancée (remblais, enrochements) alors que tendance au recul	Micro-falaise : + 25 m de 1978 à 2003 (+ 63 m à Patates à Durand)
Ste Suzanne 1 (falaises)	Recul	Naturelle	Falaises hautes en érosion et micro-falaise stable (remblais)	Falaises : -18 m de 1978 à 2003
St Suzanne 2 (centre-ville)	Stabilité	Anthropique	Tendance à l'érosion mais remblais	Micro-falaise : -1m de 1978 à 2003 (mais -7 m de 1978 à 1997)
St André (Champ Borne)	Avancée	Anthropique	Tendance à l'érosion mais remblais	Falaise : + 15 m de 1978 à 2006
St Benoît (port)	Recul	Anthropique	Blocage sédimentaire du port : avancée au Sud et érosion au Nord	Sud (cordon) : + 15 m de 1978 à 2006 ; Nord (micro-falaise) : -6 m de 1978 à 2003
St Philippe (Mer Cassée)	Recul	Naturelle	Recul « normal »	Falaise : - 18 m de 1978 à 2003
St Joseph (Langevin)	Recul	Naturelle	Recul « normal »	Falaise : - 23 m de 1978 à 2003
Petite Ile (Grande Anse)	Recul	Naturelle	Recul de la micro-falaise mais stabilité de la plage	Micro-falaise : -8,5 m de 1978 à 2003
Grand Bois (falaises)	Recul	Naturelle	Recul « normal »	Falaise : -11 m de 1978 à 2003
St Pierre 1 (plage)	Avancée	Anthropique	Plage anciennement érodée mais renversement de la tendance depuis 1978	Largeur plage : + 17,5 m de 1978 à 2003 Epaisseur plage : + 0,5 m de 1998 à 2006
St Pierre 2 (Pointe du Diable)	Recul	Naturelle	Recul « normal »	Falaise : -25,5 m de 1978 à 2006
Etang Salé les Bains (Bassin Pirogue)	Erosion	Anthropique	Recul dû à la fosse et à la « fixation » du haut de plage. Accrétion localisée au Sud	Plage : -16 m de 1978 à 2003 (+ 8 m localement au Sud)
St Paul (l'Hermitage)	Erosion	Naturelle	Recul « normal » mais aggravation anthropique	Largeur plage : -42 m de 1978 à 2006 Epaisseur plage : -0,5 m de 2001 à 2206
Le Port (Pointe de Galets)	Erosion	Anthropique	Blocage sédimentaire au niveau du Port Ouest	Pointe des Galets : -44 m de 1978 à 2006 Cordon : -20 m de 1978 à 2003

Illustration 53 – Synthèse des évolutions

Ainsi, si tous les sites sont, ou ont tous été, concernés par l'érosion, les bilans font apparaître des situations contrastées selon les cas. Sur les 14 sites que compte l'étude :

- 10 sites montrent en effet une tendance érosive ;
- 1 site présente une situation de stabilité (artificielle : remblais) ;
- 3 sites affichent une avancée du trait de côte liée à une action anthropique (rechargement, remblais) alors que la dynamique naturelle est à l'érosion.

5.2. TYPOLOGIE DYNAMIQUE

Trois cas principaux sont identifiables en fonction des types de systèmes côtiers concernés : les cordons de galets ; les falaises et les plages.

Une distinction doit être faite, tout d'abord, sur les **cordons de galets** proprement dits et les micro-falaises qui les surplombent. En effet, les cordons, mobiles, ne sont pas en érosion mais ce sont les micro-falaises qui, fixes par nature, subissent un recul marqué. Les causes de ce recul sont doubles.

Il résulte, d'une part, de la volonté de gagner de l'espace sur la mer en augmentant la superficie de la micro-falaise et en effectuant des remblais sur le cordon de galets (St Denis, Sainte Suzanne 1 et 2, St André). La mer reprend donc « ses droits » et attaque la micro-falaise, d'autant plus facilement que le cordon de galet ne fait plus office de protection. Les remblais successifs permettent certes de stabiliser le trait de côte voire même de temporairement l'avancer mais ils ne possèdent qu'une efficacité restreinte car très limitée dans le temps.

D'autre part, le recul peut venir d'un blocage sédimentaire par un ouvrage transversal (St Benoît). Les rechargements artificiels de galets en aval de l'ouvrage sont une bonne initiative mais ils restent trop insuffisants pour être réellement efficaces.

Les **falaises hautes**, formes d'érosion par nature, présentent dans l'ensemble un recul naturel avec des vitesses variables en fonction de leur lithologie. Les falaises meubles (Ste Suzanne 1, Langevin et la Pointe du Diable) présentent effectivement une érosion plus importante avec des vitesses de recul approchant 1 m/an tandis que les falaises basaltiques (Mer Cassée, Grand Bois) connaissent des vitesses plus proches de 0,5 m/an dans les cas les plus marqués.

Les conséquences de ces reculs sont aujourd'hui limitées en raison soit de la distance des enjeux, soit de leur faible « valeur ».

Les **plages** présentent des situations contrastées. D'une part, elles connaissent une érosion qui peut être modérée (Grande Anse) ou forte (l'Hermitage). Dans les deux cas l'érosion est d'origine naturelle mais elle est aggravée par l'Homme en raison de la forte fréquentation. Le piétinement empêche le développement de la végétation

rampante (Patate à Durand) qui permet de former un stock « tampon » en haut de plage en cas de tempête.

Le cas de la plage de St Pierre est atypique. Elle possède des signes d'érosion ancienne (position immergée des *beachrocks*) liée à l'artificialisation du haut de plage, mais une tendance actuelle à l'engraissement. Cette tendance demande à être confirmée et expliquée par des éléments supplémentaires.

5.3. LES ENJEUX

Une analyse en termes d'enjeux (aménagements, zone agricole, touristique, etc.) a été réalisée afin de présenter une gradation de leur exposition à l'érosion (Illustration 54).

SITES	EROSION	TYPES D'ENJEUX	PROTECTION EXISTANTE	EXPOSITION DES ENJEUX*
St Denis (Bvd Lancastel)	Modérée	Promenade de front de mer (parcours sportif)	Remblais, plantations, enrochement	Moyenne
Ste Suzanne 1 (falaises)	Forte	Chapelle, parcelles agricoles	Remblais	Moyenne
St Suzanne 2 (centre-ville)	Faible	Aire de marché	Remblais	Faible
St André (Champ Borne)	Forte	Routes, restaurant, cimetière, habitations	Remblais	Forte
St Benoît (port)	Modérée	Route, belvédères	Rechargement ponctuel de galets	Moyenne
St Philippe (Mer Cassée)	Modérée	Aire de pique-nique, parking	-	Faible
St Joseph (Langevin)	Forte	Parcelles agricoles	-	Faible
Petite Ile (Grande Anse)	Modérée	Haut lieu touristique	-	Moyenne
Grand Bois (falaises)	Modérée	Route, habitations	-	Moyenne
St Pierre 1 (plage)	Non	Habitation, promenade de front de mer	Murs	Faible
St Pierre 2 (Pointe du Diable)	Forte	Bâti (assez loin)	-	Moyenne
Etang Salé les Bains (Bassin Pirogue)	Forte	Habitations, promenade de front de mer	Murs	Moyenne
St Paul (l'Hermitage)	Forte	Haut lieu touristique	-	Forte
Le Port (Pointe de Galets)	Forte	Zone industrielle, parcours sportif	Butte de déblais, rejets de dragage, enrochement	Moyenne

* Rapport entre l'importance de l'érosion, la « valeur » des enjeux et la protection existante.

Illustration 54 – Niveau d'exposition des enjeux

Les deux sites qui présentent une forte exposition à l'érosion (Champ Borne et l'Hermitage) méritent une attention particulière et une compréhension poussée des processus hydro-sédimentaires afin de proposer des mesures palliatives adaptées.

Les autres sites doivent faire l'objet d'une surveillance afin de prévenir le passage à un seuil d'exposition plus élevé. Cette surveillance est à adapter selon que l'exposition est faible ou modérée.

Certains secteurs comme les plages coralliennes présentent une érosion marquée malgré l'existence d'une « protection naturelle ». L'analyse tridimensionnelle de ces sites permettrait de modéliser les courants érosifs afin de proposer des solutions d'aménagements pour protéger durablement le littoral.

6. Conclusion

L'étude morphodynamique historique et actuelle a donc permis de calculer des bilans quantitatifs mettant en évidence des évolutions disparates selon les sites et les types de côte concernés.

Sur les 14 sites étudiés :

- 10 sites montrent une tendance érosive ;
- 1 site présente une situation de stabilité (artificielle : remblais) ;
- 3 sites affichent une avancée du trait de côte liée à une action anthropique (rechargement, remblais) alors que la dynamique naturelle est à l'érosion.

Une typologie dynamique peut ainsi être réalisée :

- les cordons de galets présentent plutôt un recul de la micro-falaise qui les surplombent (Saint Denis, Sainte Suzanne, St André), à l'exception de St Benoît où le cordon a quasiment disparu en aval du port ;
- les falaises connaissent dans l'ensemble un recul naturel modéré ;
- les plages font apparaître des tendances contrastées avec un recul naturel aggravé par l'Homme (Grande Anse, l'Hermitage) et un engraissement à St Pierre qui s'avère uniquement artificiel.

En termes d'exposition des enjeux, les sites de l'Hermitage et de Champs Borne semblent les plus menacés par l'érosion mais les autres sites nécessitent toutefois une surveillance adaptée.

Si des éléments déterminants ont ainsi pu être apportés, la compréhension des évolutions reste encore restreinte (à l'image de St Pierre), notamment en raison des limites des méthodes utilisées :

- en ce qui concerne l'évolution du trait de côte, la qualité des images anciennes peut être améliorée en corrigeant la parallaxe sur les sites au relief important. L'utilisation de clichés plus anciens (jusqu'en 1950) et de clichés intermédiaires permettrait d'observer l'impact des aménagements déjà présent en 1978 (St Pierre, St Benoît) et des événements paroxysmaux (cyclones et tempêtes) ;
- pour les profils topo-bathymétriques, il faut désormais disposer de nouvelles mesures sur les sites non suivis afin de pouvoir observer une évolution. Plusieurs profils devraient être implantés par compartiment sédimentaire si l'on souhaite observer correctement les transferts sédimentaires et au moins deux profils par an doivent être réalisés afin de retranscrire la variabilité saisonnière.

Ces travaux peuvent être poursuivis dans le cadre d'une pérennisation du réseau d'observation dont le but serait la meilleure compréhension, la surveillance et la proposition de recommandations pour la préservation de ces espaces sensibles.

Bibliographie

Antea/In Vivo (2003) – ZALM de Grande Anse. Etude de courantologie et de sensibilité du milieu, 52 P.

Aubié S. et Oliveros C. (1999) – Evolution du trait de côte de 1950 à 1997 de la baie de La Possession à l'embouchure de l'Etang St-Paul, Ile de La Réunion. Rapport BRGM R 40780 – 99 SGR/OI 34, 34 p. + 1 ann. H.T.

Aubié S. et Oliveros C., coll. Girault F. (2001) - Evolution du trait de côte de la plaine de la rivière du Mât de 1950 à 1997, Ile de la Réunion. Rapport BRGM/RP-50814-FR - 2001 SGR/REU 06, 4 fig., 2 tab., 15 clichés, 39 p. +1 ann. h. t (2 planches).

Aubié S. coll. Pedreros R. (2002) – Dynamique sédimentaire en milieu corallien à l'Ile de La Réunion, synthèse des travaux réalisés par les partenaires du projet. Rapport BRGM/RP-52047-FR-2002 SGR/REU 24, 9 fog., 2 photos, 1 tab., 32 p.

Aubié S. (2000) – Etude des risques géologiques aux abords de la falaise littorale dans le secteur de la Pointe du Diable, commune de Saint-Pierre, Ile de La Réunion. Rapport BRGM/RC – 50224- FR / 2000 SGR/REU 18, 21 p.

Coudray J. et Troadec R. (sous la direction de) (2002) – Contribution à l'étude du site pilote d l'Hermitage / La Saline les Bains pour la compréhension de la dynamique sédimentaire des plans d'eau coralliens à La Réunion.

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, 93 p., 59 ill., 6 ann.

Troadec R. (2003) – Analyse de la prise en considération du phénomène d'érosion affectant les plages coralliennes à La Réunion et propositions d'actualisation des techniques d'entretien de ces plages. Rapport du Laboratoire des Sciences de la Terre, de l'Université de La Réunion pour le compte de l'ONF, 20 p.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Réunion
5, rue Sainte Anne
BP 906
97478 Saint Denis Cedex - France
Tél. : 02.62.21.22.14