Document public

Dynamique sédimentaire en milieu corallien à l'Ile de La Réunion

Rapport BRGM/RP-52047-FR
2002 SGR/REU 24
décembre 2002

Université de la Réunion

Géosciences pour une Terre durable
brgm

CAMPAGNE BATHYMETRIQUE DES LAGONS DE LA COTE OUEST DE L'ILE DE LA REUNION

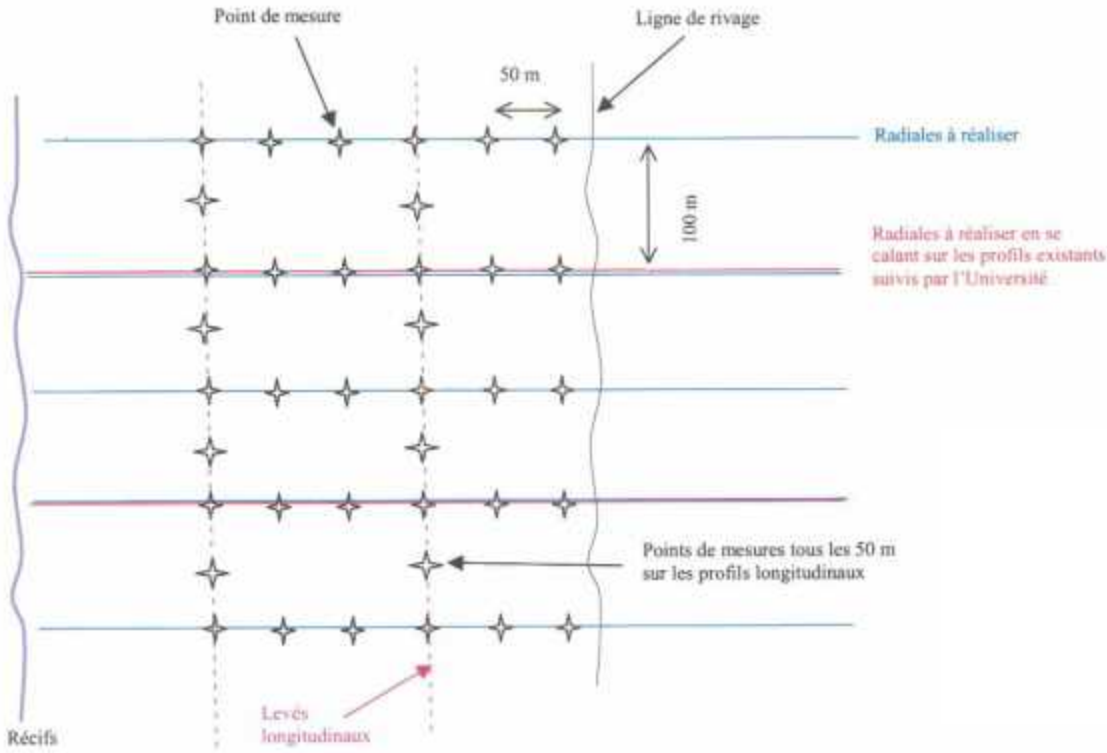
1. LOCALISATION DE LA ZONE

Cette campagne de bathymétrie a été réalisée par un cabinet de géomètre de 02 avril au 07 mai 2002 entre 7 h 00 et 16 h 00 dans le cadre du **projet "Dynamique sédimentaire en milieu corallien"**. Elle concerne les lagons de Saint-Gilles, Saint-Leu, Etang-Salé et Saint-Pierre.
Les levés ont été réalisés entre la plage aérienne (zone sous les filaos et la plage *sensu stricto*) et la limite du platier corallien.

2. METHODOLOGIE

2.1 Objet de la campagne

Le cabinet de géomètre a réalisé des points de mesure selon des profils tous les 100 m perpendiculaires à la côte avec sur chacun de ces profils un point de mesure tous les 50 m. Certains de ces profils ont été calés sur les profils de plage existants suivis par le Laboratoire des Sciences de la Terre (voir schéma ci-dessous) :



Lorsqu'un changement morphologique significatif du fond est apparu les points de mesure ont été rapprochés ; de même lorsque que des barres de déferlement ont pu être identifiées.

2.2 Moyens mis en œuvre

L'ensemble des points de mesure ont été enregistrés avec un tachéomètre Leica TC 1100. Chacun de ces points a été rattaché en Z au NGR (système IGN 92) grâce à un cheminement fermé depuis des points NGR connus et en XY, au système Gauss Laborde Réunion à l'aide d'un GPS.

3. RESULTATS

Cette campagne a permis de récolter 1578 points de mesure. Ils se répartissent de la manière suivante :

- Plage des Roches Noires jusqu'à la Souris Chaude, 992 points
- Saint Leu, 230 points
- Etang Salé, 90 points
- Saint Pierre, 266 points

CABINET A. TALIBART

Géomètre-Expert

18 Rue Méziaire Guignard - BP 222
97834 LE TAMPON CEDEX - ILE DE LA REUNION
Membre de l'Ordre des Géomètres - Experts n° 4978

Tél. 0262 27. 32. 09 - Fax : 0262 57. 61. 39
E - MAIL : talibart@guetali.fr

CLIENT :

BRGM

DEPARTEMENT DE LA REUNION

COMMUNE DE SAINT-PAUL

LEVES BATHYMETRIQUES
LAGONS SUD ET OUEST DE LA REUNION

PLAN TOPOGRAPHIQUE

PLAN : 6073	DA	ECHELLE : 1 / 2000
PLANIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME GAUSS LABORDE	
ALTIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME NGR	

MODIFICATIONS

NATURE	INTERVENANTS	OBSERVATIONS

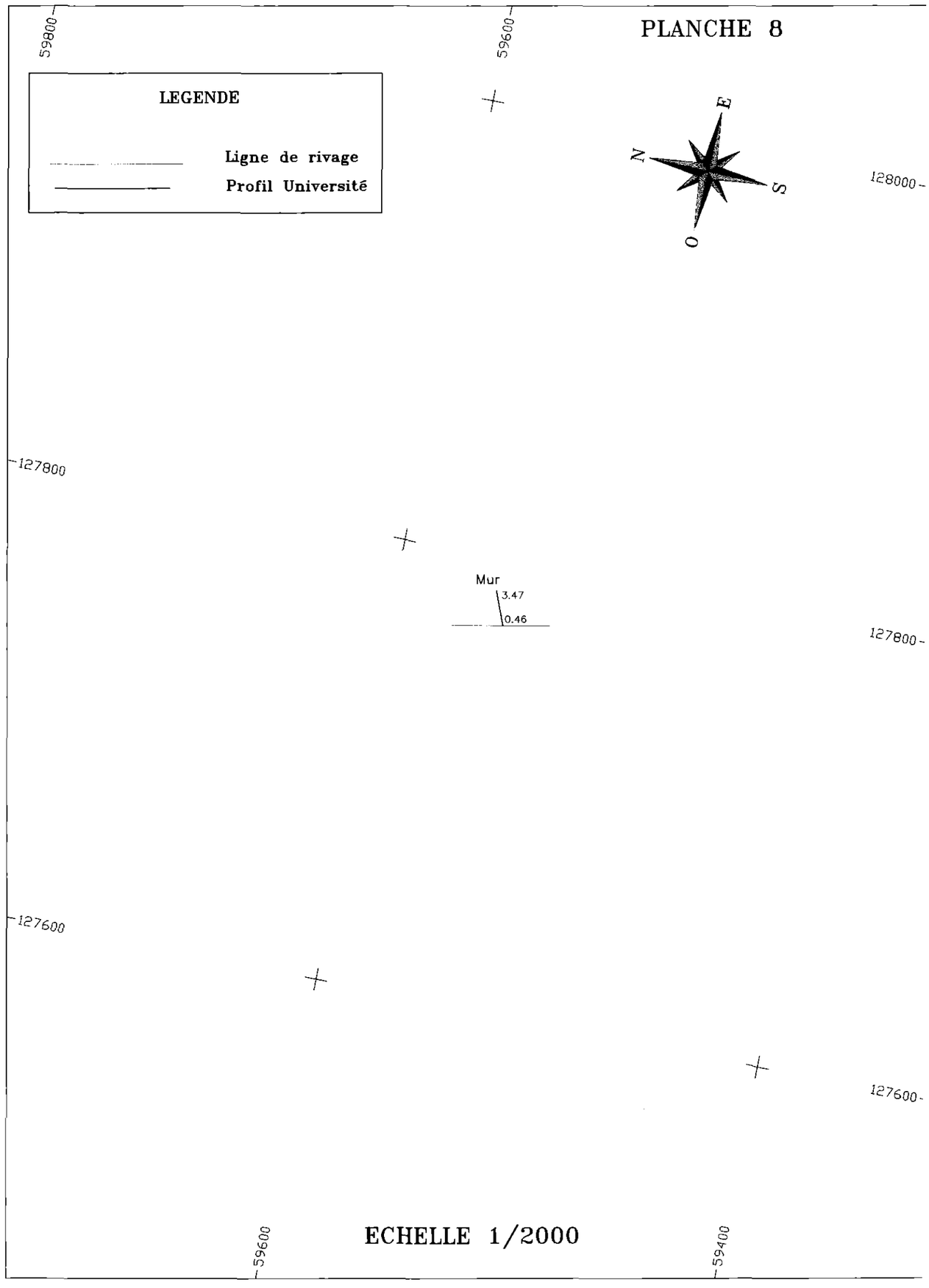
Levis topographiques - Implantations - Plan de masse - Profils
Documents d arpentage - Bornages - Lotissements - Travaux GPS
Travaux spéciaux - Prises de vues aériennes - Photogrametrie

PLANCHE 8

LEGENDE

Ligne de rivage

Profil Université



CABINET A. TALIBART
Géomètre-Expert
18 Rue Méziaire Guignard - BP 222
97834 LE TAMPON CEDEX - ILE DE LA REUNION
Membre de l'Ordre des Géomètres - Experts n° 4978
Tél. 0262 27. 32. 09 - Fax : 0262 57. 61. 39
E - MAIL : talibart@gwetail.fr

CLIENT :

BRGM

DEPARTEMENT DE LA REUNION
COMMUNE DE SAINT-PAUL

LEVES BATHYMETRIQUES
LAGONS SUD ET OUEST DE LA REUNION

PLAN TOPOGRAPHIQUE

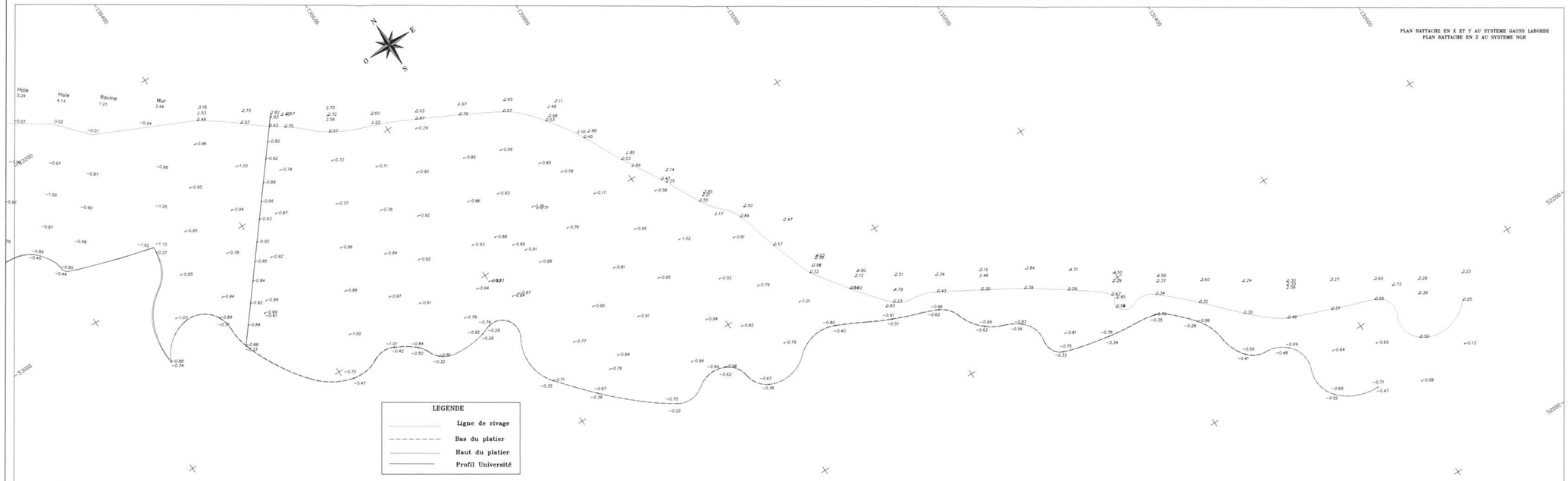
DOSSIER : 02033-1	PLAN : 6073	DATE : 28/05/02	ECHELLE : 1 / 2000

RATTACHEMENT		
	PLANIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME GAUSS LABORDE
	ALTIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME NGR

MODIFICATIONS

DATE	NATURE	INTERVENANTS	OBSERVATIONS

Levés topographiques - Implantations - Plan de masse - Profils
Documents d'arpentage - Bornages - Lotissements - Travaux GPS
Travaux spéciaux - Prises de vues aériennes - Photogrammétrie



CABINET A. TALIBART

Géomètre-Expert

18 Rue Mézinaire Guignard - BP 222
97834 LE TAMPON CEDEX - ILE DE LA REUNION
Membre de l'Ordre des Géomètres - Experts n° 4978

Tél. 0262 27. 32. 09 - Fax : 0262 57. 61. 39
E - MAIL : talibart@guetali.fr

CLIENT :

BRGM

DEPARTEMENT DE LA REUNION
COMMUNE DE SAINT-PAUL

LEVES BATHYMETRIQUES
LAGONS SUD ET OUEST DE LA REUNION

PLAN TOPOGRAPHIQUE

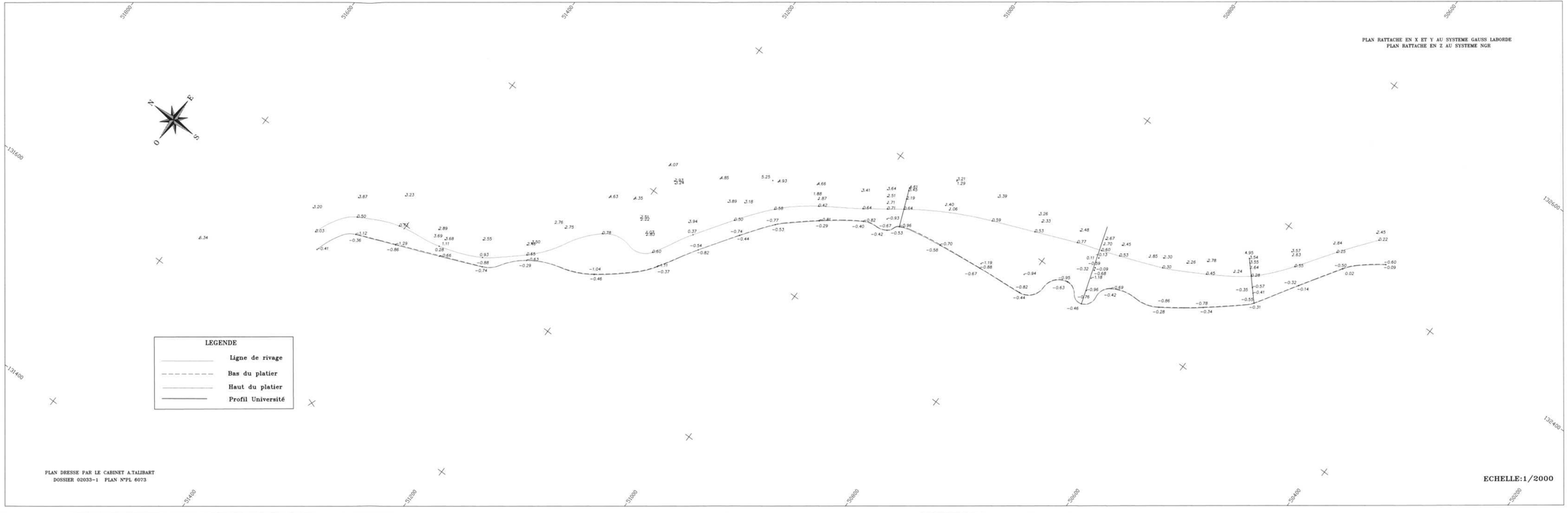
DOSSIER : 02033-1	PLAN : 6073	DATE : 28/05/02	ECHELLE : 1 / 2000

RATTACHEMENT		
	PLANIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME GAUSS LABORDE
	ALTIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME NGR

MODIFICATIONS

DATE	NATURE	INTERVENANTS	OBSERVATIONS

Levés topographiques - Implantations - Plan de masse - Profils
Documents d'arpentage - Bornages - Lotissements - Travaux GPS
Travaux spéciaux - Prises de vues aériennes - Photogrammétrie



PLAN RATTACHE EN X ET Y AU SYSTEME GAUSS LABORDE
PLAN RATTACHE EN Z AU SYSTEME NGR

PLAN DRESSE PAR LE CABINET A.TALIBART
DOSSIER 02033-1 PLAN N°PL 6073

ECHELLE:1/2000

CABINET A. TALIBART

Géomètre-Expert

18 Rue Méziaire Guignard - BP 222
97834 LE TAMPON CEDEX - ILE DE LA REUNION
Membre de l'Ordre des Géomètres - Experts n° 4978

Tél. 0262 27. 32. 09 - Fax : 0262 57. 61. 39
E - MAIL : talibart@guetali.fr

CLIENT :

BRGM

DEPARTEMENT DE LA REUNION

COMMUNE DE SAINT PAUL

LEVES BATHYMETRIQUES
LAGONS SUD ET OUEST DE LA REUNION

PLAN TOPOGRAPHIQUE

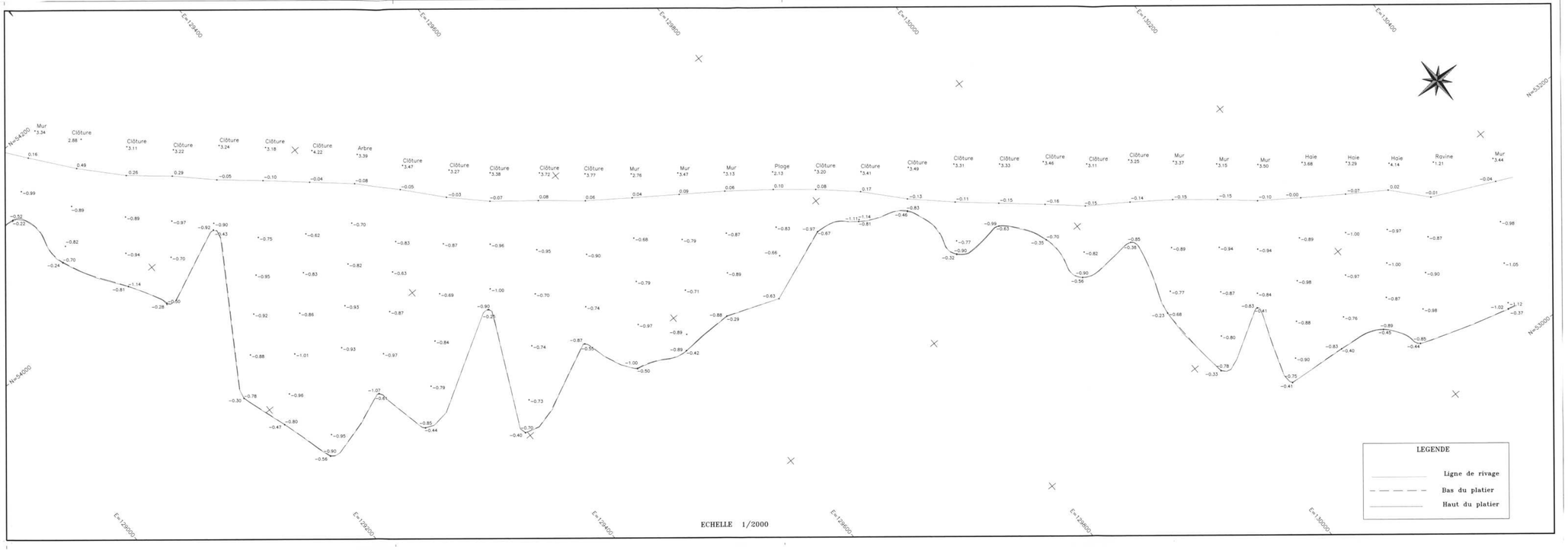
DOSSIER : 02033-3	PL6064	DATE : 24/05/02	ECHELLE : 1 / 2000

RATTACHEMENT		
	PLANIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME GAUSS LABORDE
	ALTIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME N.G.R

MODIFICATIONS

DATE	NATURE	INTERVENANTS	OBSERVATIONS

Levés topographiques - Implantations - Plan de masse - Profils
Documents d'arpentage - Bornages - Lotissements - Travaux GPS
Travaux spéciaux - Prises de vues aériennes - Photogrammétrie



CABINET A. TALIBART
Géomètre-Expert
18 Rue Méziaire Guignard - BP 222
97834 LE TAMPON CEDEX - ILE DE LA REUNION
Membre de l'Ordre des Géomètres - Experts n° 4978
Tél. 0262 27. 32. 09 - Fax : 0262 57. 61. 39
E - MAIL : talibart@guetali.fr

CLIENT :

BRGM

DEPARTEMENT DE LA REUNION
COMMUNE DE SAINT-PAUL

LEVES BATHYMETRIQUES
LAGONS SUD ET OUEST DE LA REUNION

PLAN TOPOGRAPHIQUE
PLANCHE4

DOSSIER : 02033-1	PLAN : 6073	DATE : 28/05/02	ECHELLE : 1 / 2000

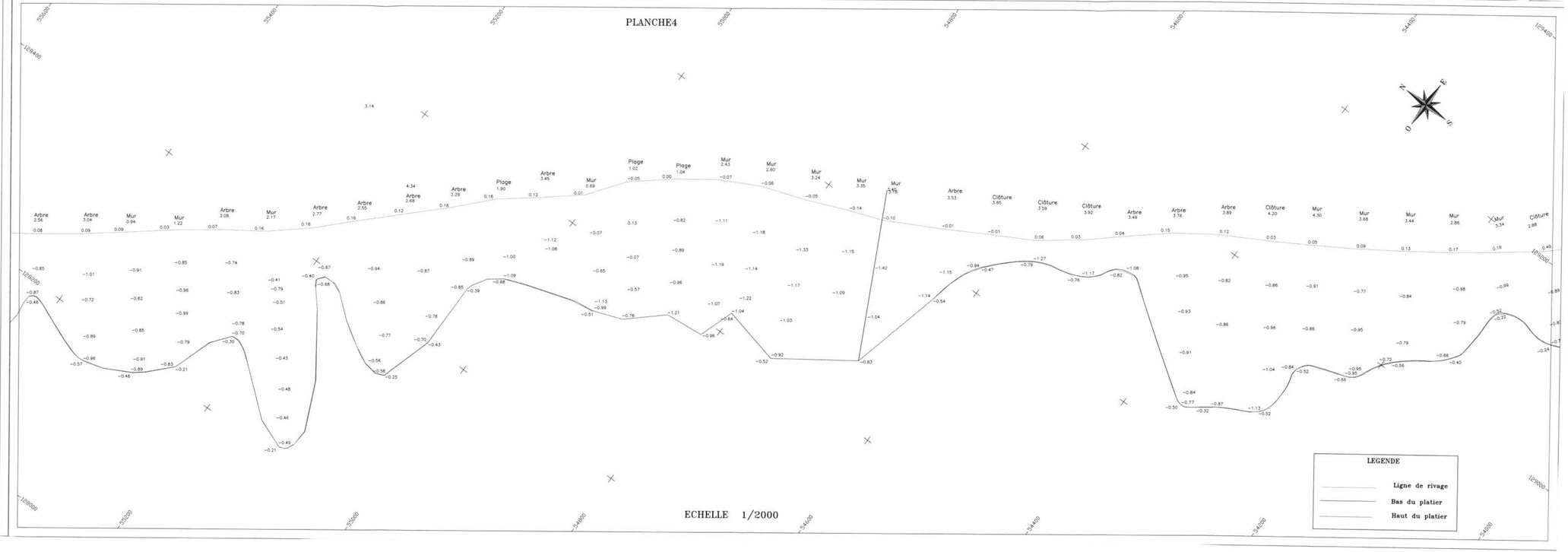
RATTACHEMENT		
	PLANIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME GAUSS LABORDE
	ALTIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME NGR

MODIFICATIONS

DATE	NATURE	INTERVENANTS	OBSERVATIONS

Levés topographiques - Implantations - Plan de masse - Profils
Documents d'arpentage - Bornages - Lotissements - Travaux GPS
Travaux spéciaux - Prises de vues aériennes - Photogrammétrie

PLANCHE4



ECHELLE 1/2000

CABINET A. TALIBART
Géomètre-Expert
18 Rue Méziaire Guignard - BP 222
97834 LE TAMPON CEDEX - ILE DE LA REUNION
Membre de l'Ordre des Géomètres - Experts n° 4978
Tél. 0262 27. 32. 09 - Fax : 0262 57. 61. 39
E - MAIL : talibart@guetali.fr

CLIENT :

BRGM

DEPARTEMENT DE LA REUNION
COMMUNE DE SAINT-PAUL

LEVES BATHYMETRIQUES
LAGONS SUD ET OUEST DE LA REUNION

PLAN TOPOGRAPHIQUE
PLANCHE 5

DOSSIER : 02033-1	PLAN : 6073	DATE : 28/05/02	ECHELLE : 1 / 2000

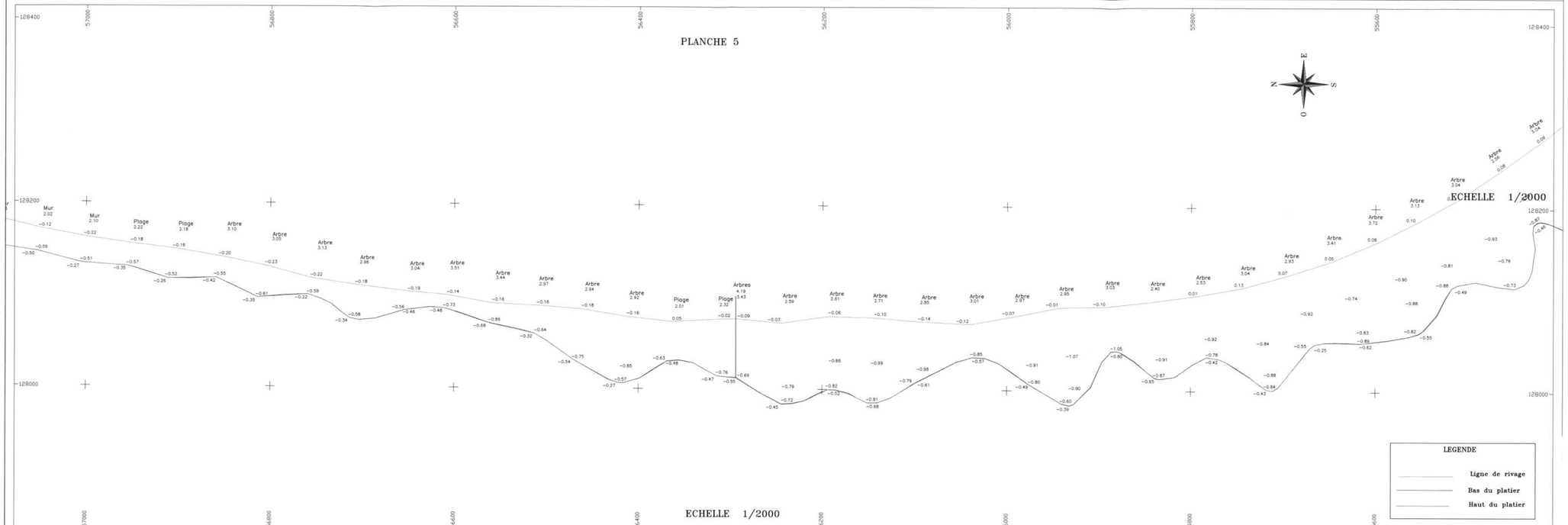
RATTACHEMENT		
	PLANIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME GAUSS LABORDE
	ALTIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME NGR

MODIFICATIONS

DATE	NATURE	INTERVENANTS	OBSERVATIONS

Levs topographiques - Implantations - Plan de masse - Profils
Documents d arpentage - Bornages - Lotissements - Travaux GPS
Travaux spéciaux - Prises de vues aériennes - Photogrametrie

PLANCHE 5



ECHELLE 1/2000

CABINET A. TALIBART
Géomètre-Expert
18 Rue Méziaire Guignard - BP 222
97834 LE TAMPON CEDEX - ILE DE LA REUNION
Membre de l'Ordre des Géomètres - Experts n° 4978
Tél. 0262 27. 32. 09 - Fax : 0262 57. 61. 39
E - MAIL : talibart@guetali.fr

CLIENT :

BRGM

DEPARTEMENT DE LA REUNION
COMMUNE DE SAINT-PAUL

LEVES BATHYMETRIQUES
LAGONS SUD ET OUEST DE LA REUNION

PLAN TOPOGRAPHIQUE
PLANCHE 6

DOSSIER : 02033-1	PLAN : 6073	DATE : 28/05/02	ECHELLE : 1 / 2000

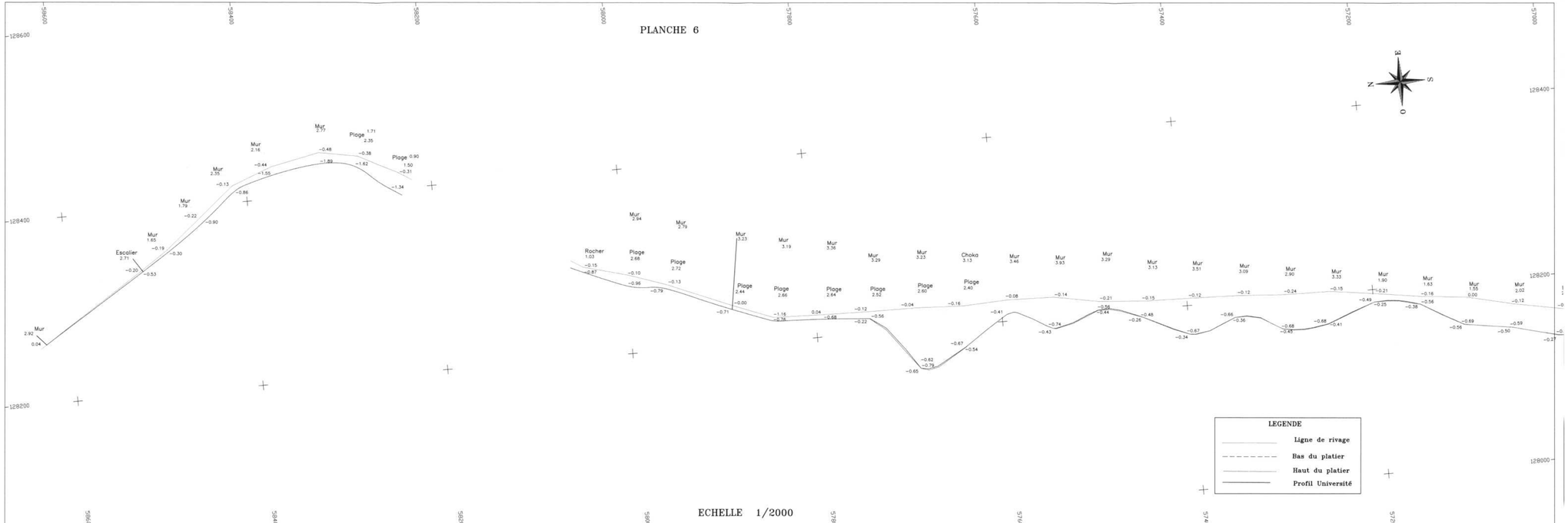
RATTACHEMENT		
	PLANIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME GAUSS LABORDE
	ALTIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME NGR

MODIFICATIONS

DATE	NATURE	INTERVENANTS	OBSERVATIONS

Levs topographiques - Implantations - Plan de masse - Profils
Documents d arpentage - Bornages - Lotissements - Travaux GPS
Travaux spéciaux - Prises de vues aériennes - Photogrametrie

PLANCHE 6



ECHELLE 1/2000

CABINET A. TALIBART

Géomètre-Expert

16 Rue Méziaire Guignard - BP 222
97834 LE TAMPON CEDEX - ILE DE LA REUNION
Membre de l'Ordre des Géomètres - Experts n° 4978

Tél. 0262 27. 32. 09 - Fax : 0262 57. 61. 39
E - MAIL : talibart@guetali.fr

CLIENT :

BRGM

DEPARTEMENT DE LA REUNION
COMMUNE DE SAINT-PAUL

LEVES BATHYMETRIQUES
LAGONS SUD ET OUEST DE LA REUNION

PLAN TOPOGRAPHIQUE
PLANCHE 7

DOSSIER : 02033-1	PLAN : 6073	DATE : 28/05/02	ECHELLE : 1 / 2000

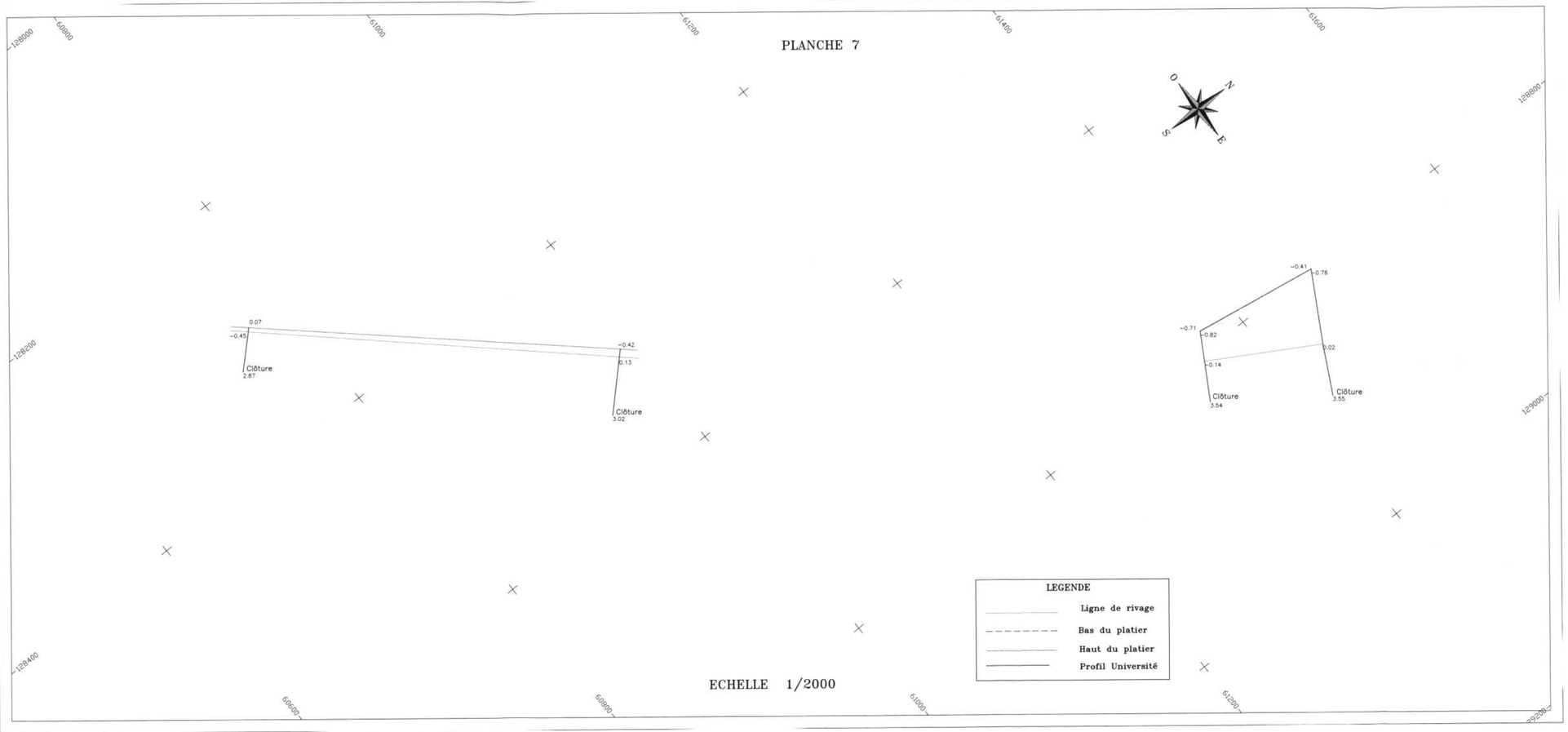
RATTACHEMENT		
	PLANIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME GAUSS LABORDE
	ALTIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME NGR

MODIFICATIONS

DATE	NATURE	INTERVENANTS	OBSERVATIONS

Levés topographiques - Implantations - Plan de masse - Profils
Documents d'arpentage - Bornages - Lotissements - Travaux GPS
Travaux spéciaux - Prises de vues aériennes - Photogrammetrie

PLANCHE 7



ECHELLE 1/2000

CABINET A. TALIBART
Géomètre-Expert
18 Rue Médiatre Guignard - BP 222
97834 LE TAMPON CEDEX - ILE DE LA REUNION
Membre de l'Ordre des Géomètres - Experts n° 4878
Tél. 0262 27. 32. 09 - Fax : 0262 57. 61. 39
E - MAIL : talibart@gurtali.fr

CLIENT :

BRGM

DEPARTEMENT DE LA REUNION
COMMUNE DE SAINT-LEU

LEVES BATHYMETRIQUES
LAGONS SUD ET OUEST DE LA REUNION

PLAN TOPOGRAPHIQUE

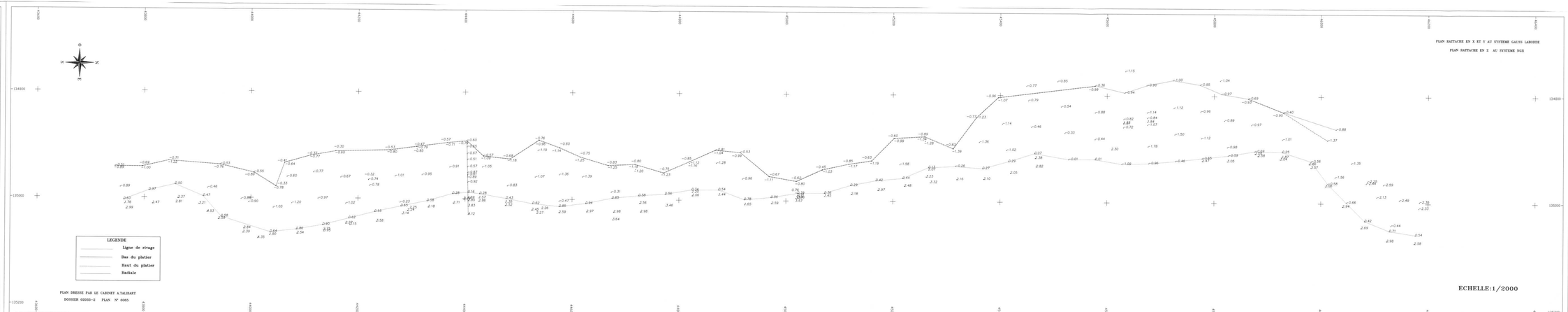
DOSSIER : 02033-2	FL6065	DATE : 24/05/02	ECHELLE : 1 / 2000

RATTACHEMENT	PLANIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME GAUSS LABORDE
	ALTIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME N.G.R

MODIFICATIONS

DATE	NATURE	INTERVENANTS	OBSERVATIONS

Levés topographiques - Implantations - Plan de masses - Profils
Distributions d'arpentage - Bornages - Lotissements - Travaux GPS
Travaux spéciaux - Prises de vues aériennes - Photogrammétrie



CABINET A. TALIBART

Géomètre-Expert

18 Rue Méziaire Guignard - BP 222
97834 LE TAMPON CEDEX - ILE DE LA REUNION
Membre de l'Ordre des Géomètres - Experts n° 4978

Tél. 0262 27. 32. 09 - Fax : 0262 57. 61. 39
E - MAIL : talibart@guetali.fr

CLIENT :

BRGM

DEPARTEMENT DE LA REUNION

COMMUNE DE L'ETANG-SALE

LEVES BATHYMETRIQUES
LAGONS SUD ET OUEST DE LA REUNION

PLAN TOPOGRAPHIQUE

DOSSIER : 02033-3	PL6064	DATE : 24/05/02	ECHELLE : 1 / 1000

RATTACHEMENT	PLANIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME GAUSS LABORDE
	ALTIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME N.G.R

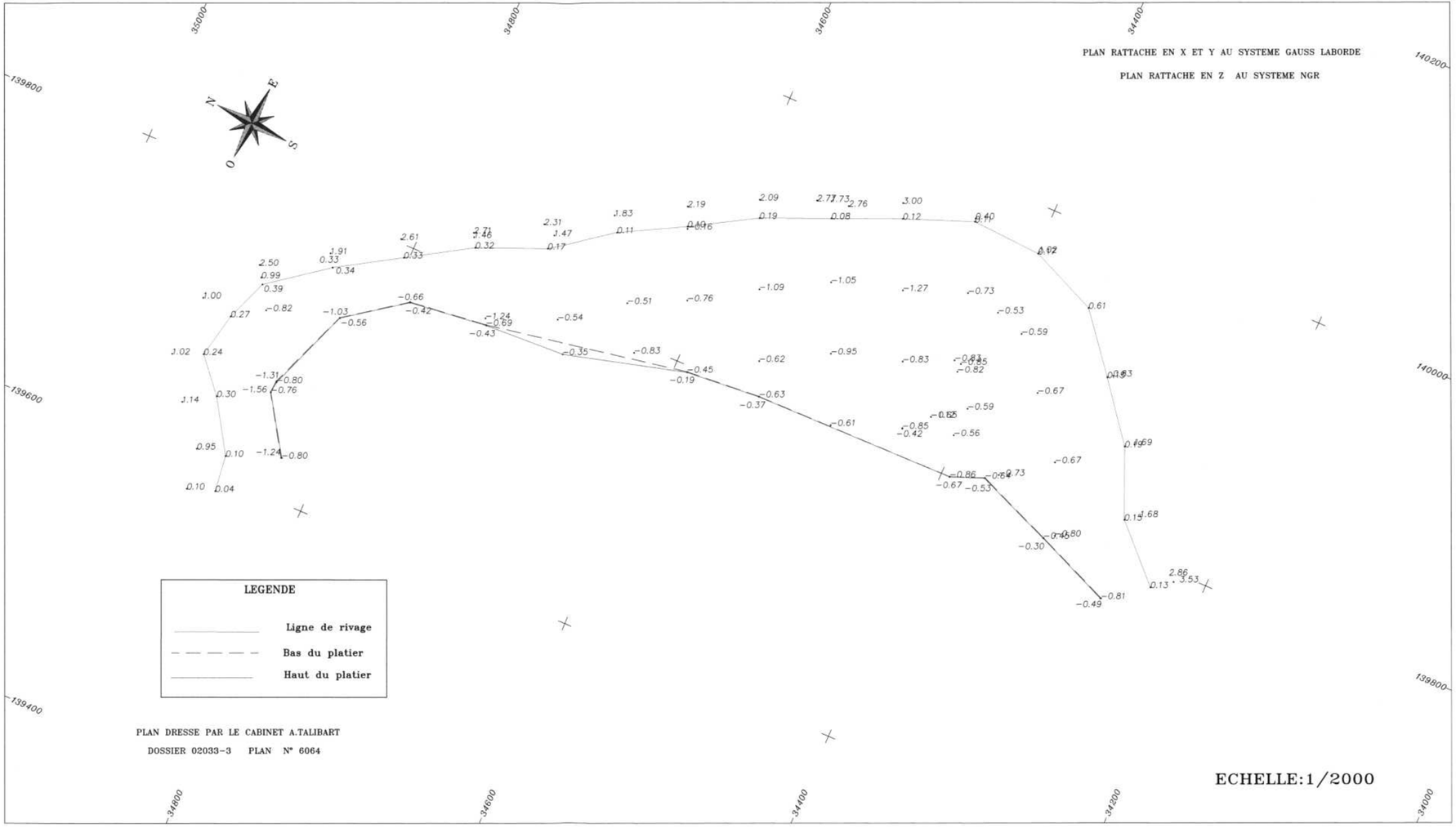
MODIFICATIONS

DATE	NATURE	INTERVENANTS	OBSERVATIONS

Levés topographiques - Implantations - Plan de masse - Profils
Documents d'arpentage - Bornages - Lotissements - Travaux GPS
Travaux spéciaux - Prises de vues sériennes - Photogrametrie

PLAN RATTACHE EN X ET Y AU SYSTEME GAUSS LABORDE

PLAN RATTACHE EN Z AU SYSTEME NGR



LEGENDE

- Ligne de rivage
- Bas du platier
- Haut du platier

PLAN DRESSE PAR LE CABINET A.TALIBART

DOSSIER 02033-3 PLAN N° 6064

ECHELLE:1/2000

CABINET A. TALIBART
Géomètre-Expert
18 Rue Mésinaire Guignard - BP 222
97834 LE TAMPON CEDEX - ILE DE LA REUNION
Membre de l'Ordre des Géomètres - Experts n° 4978
Tél. 0262 27 32 09 - Fax : 0262 57 61 39
E - MAIL : talibart@guetali.fr

CLIENT :

BRGM

DEPARTEMENT DE LA REUNION

COMMUNE DE SAINT-PIERRE

LEVES BATHYMETRIQUES
LAGONS SUD ET OUEST DE LA REUNION

PLAN TOPOGRAPHIQUE

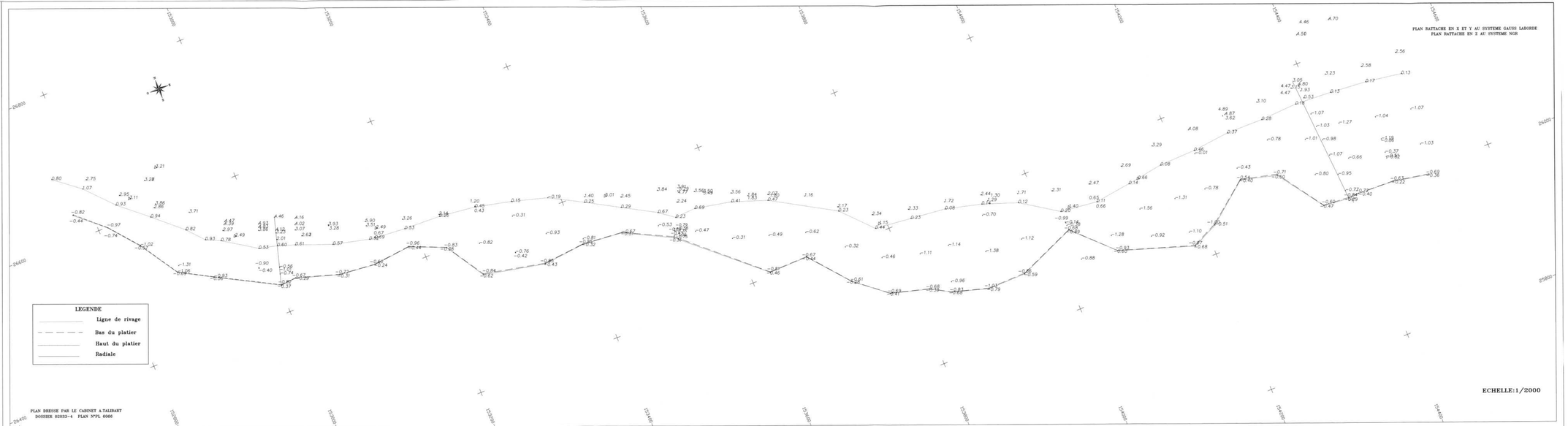
DOSSIER : 02033	PL6066	DATE : 17/09/01	ECHELLE : 1 / 1000

RATTACHEMENT		
	PLANIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME GAUSS LABORDE
	ALTIMETRIE:	RATTACHE AU SYSTEME NGR

MODIFICATIONS

DATE	NATURE	INTERVENANTS	OBSERVATIONS

Levs topographiques - Implantations - Plan de masse - Profils
Documents d'arpentage - Bornages - Lotissements - Travaux GPS
Travaux spéciaux - Prises de vues aériennes - Photogrammétrie



Document public

Dynamique sédimentaire en milieu corallien à l'île de La Réunion

BRGM/RP-52047-FR
décembre 2002

Université de la Réunion

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Dynamique sédimentaire en milieu corallien à l'île de La Réunion

Étude morphologique des plages à l'arrière des formations récifales de la côte Ouest de La Réunion

BRGM/RP-52047-FR
décembre 2002

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2002-LIT-217

R. Pedreros
Avec la collaboration de
N. Lenôtre, S. Aubié, J.-P. Rançon

Université de la Réunion

Région Réunion

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : Morphologie, Plages d'arrière récif, Accrétion, Erosion, Etat actuel des plages, Ligne de rivage, Indicateurs de stabilité, Cartes thématiques, Ile de la Réunion.

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

Pedreros R., Lenôtre N., Aubié S., Rançon J.-P. (2002) - Etude morphologique des plages à l'arrière des formations récifales de la côte Ouest de la Réunion - Phase 1. BRGM/RP-52047-FR, 69p., 30 fig., 4 tabl., 3 ann. (2 h.t.).

© BRGM, 2002, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La frange côtière et en particulier les plages coralliennes constituent un atout touristique indéniable pour l'île de la Réunion. Or cette frange est en constante évolution due à l'action des agents dynamiques (houle, courants, vent et marée) et à l'influence anthropique. Une gestion cohérente et durable de ce milieu implique une connaissance approfondie des mouvements sédimentaires liés aux processus d'érosion et d'accrétion. C'est pourquoi la DIREN, le Conseil Régional et le BRGM ont décidé de cofinancer un projet portant sur la "Dynamique sédimentaire en milieu corallien de l'Ile de la Réunion". Le présent rapport correspond à l'un des volets de ce programme traitant sur la morphologie des plages situées à l'arrière des formations récifales qui se développent sur la côte Ouest de la Réunion.
La zone concernée s'étend sur un linéaire de 27 km environ et sur une largeur moyenne de 400 m. Elle englobe quatre sites bien identifiés :

- site 1 : du Cap de la Houssaye à la Passe des Trois Bassins,
- site 2 : Saint Leu,
- site 3 : Etang Salé,
- site 4 : Saint Pierre.

Des levés de terrain ont été effectués sur ces 4 sites durant le mois de juin 2002 afin de cartographier les indicateurs du comportement du littoral suivants : la position de la ligne de rivage, la morphologie de la plage (présence de bancs de grès de plage, croissants de plage, bermes, dunes, débouchés de ravines, largeur et pente des plages), la granulométrie et la composition lithologique des sédiments et les ouvrages de protection et autres aménagements de bord de mer. Ces observations de terrain associées à l'analyse de photographies aériennes ont permis de segmenter les zones étudiées suivant 5 classes rendant compte de leur état actuel vis-à-vis de l'accrétion et de l'érosion. Ces classes décrivent un état : en accrétion, stable, en transition, en érosion faible ou en érosion prononcée.

Les résultats pour le site 1 montrent que les zones stables sont les plus nombreuses (56%). L'érosion est faible dans 20,8% des cas et prononcée dans 9% des plages. Les zones en accrétion sont très limitées puisqu'elles ne représentent que 2,7%. Le reste des plages est dans un état de transition (11,5%).
En considérant uniquement les zones aménagées (40% des plages du site) qui représentent, a priori, les secteurs à plus fort attrait touristique, il est possible de constater que la proportion des plages en érosion est plus élevée puisque 39% d'elles connaissent une érosion faible et 12,4% une érosion prononcée. La stabilité ne concerne que 41% des zones.

La tendance générale du site 2 correspond à un état stable des plages (44,8% des cas). L'érosion est faible dans 29,7% et prononcée dans 15,5 % des cas. Les secteurs en accrétion et en transition ne représentent, respectivement, que 4,5% et 5,5% des plages de ce site.
En ce qui concerne les zones aménagées (31% des plages du site), le pourcentage des plages subissant une érosion intensive chute à 12,9% et il augmente (9,2%) pour les

zones en accrétion. Toutefois, les zones soumises à une érosion faible sont bien plus nombreuses (37,5%). Les plages stables ne représentent alors que 34,4%.

Le site 3 est stable car près de 60% des zones le sont, une partie importante des plages est en accrétion (19,4%) et seulement 16,7% des secteurs subissent une érosion.
Les plages aménagées ne représentent que 20% du site, parmi lesquelles 56% sont stables et 44% en faible érosion.

Les plages de ce site 4 sont stables à 48,7%. L'érosion concerne 42,4% de ce littoral (25,1% en érosion faible, 17,3% en érosion prononcée) et les zones en transition représentent 8,9% des cas. Aucune portion de littoral en accrétion n'a été observée.
La grande partie des plages de ce site sont aménagées (86%). Une moitié de celles-ci est stable (50,5%) et le reste connaît une érosion qui est faible dans 29,3% des cas et prononcée dans 20,2% des cas.

Cette étude a permis, suivant une approche qualitative, de décrire à haute résolution spatiale le comportement du littoral par rapport aux phénomènes d'accrétion et d'érosion. L'étape suivante consiste d'une part, à quantifier les tendances déjà mises en évidence (recul ou avancé du trait de côte, volumes sédimentaires déplacés, etc.) et d'autre part, à les mettre en relation avec l'hydrodynamique locale. Le premier de ces volets peut être abordé en traitant les profils topographiques pluriannuels réalisés par le LSTUR et en analysant les campagnes aériennes multi-dates (1978, 1989 et 1997). Le deuxième volet nécessite la mise en place, sur des zones ateliers, de mesures de houle (à l'extérieur du récif et dans le lagon) et de courants (dans le lagon) associées à des levés topographiques synchrones.

Sommaire

1. Objectifs de l'étude 9
2. Présentation de la zone d'étude 10
2.1. Cadre morphologique 10
2.2. Cadre dynamique 12
2.3. Cadre climatique : Episodes extremes 12
3. Méthodologie et moyens mis en œuvre pour la cartographie du littoral 14
3.1. Moyens utilisés 14
3.1.1. Les documents 14
3.1.2. Le matériel 14
3.1.3. Les logiciels 16
3.2. Indicateurs observés 16
3.2.1. Position de la ligne de rivage 16
3.2.2. Morphologie 17
3.2.3. Granulométrie et composition lithologique des sédiments 20
3.2.4. Limite de la couverture végétale 21
3.2.5. Ouvrages de protection et autres aménagements 21
3.3. Mode opératoire 22
3.3.1. Détection et correction des erreurs 22
3.3.2. Représentation et interprétation de l'information recueillie 23
4. Les sites étudiés 25
4.1. Calendrier des levés et conditions environnementales associées 25
4.2. Site 1 : Cap la Houssaye à la passe des Trois Bassins 26
4.2.1. Rocher du Chien au Cap Boucan Canot 27
4.2.2. Cap Boucan Canot au Cap Homard 28
4.2.3. Cap Homard à la Pointe des Aigrettes 30
4.2.4. Pointe des Aigrettes au Port Saint Gilles 31
4.2.5. Port de Saint Gilles à la Passe de l'Ermitage 33
4.2.6. Passe de l'Ermitage au Trou d'Eau et plage de Bellevue 36
4.2.7. Pointe des Trois Bassins à la Passe de Trois Bassins 39
4.2.8. Comportement général du site 43
4.3. Site 2 : Saint Leu 44
4.3.1. Pointe des Châteaux au sud de la Ravine de Fontaine (1780 m) 44
4.3.2. Port de Saint-Leu au nord de la Ravine des Poux 47
4.3.3. Ravine des Poux à la Ravine du Cap 48
4.3.4. Cimetière au lotissement les Quatre Robinets 50

4.3.5. Plage de la Pointe au Sel 51
4.3.6. Comportement général du site 52
4.4. Site 3 : Etang Salé 52
4.4.1. Pointe des Avirons à la Pointe des Sables 53
4.4.2. Secteur du Bassin Pirogue 56
4.4.3. Comportement général du site 57
4.5. Site 4 : Saint Pierre 57
4.5.1. Ravine Blanche jusqu'au restaurant Bora Bora 58
4.5.2. Restaurant Bora Bora au Port de Saint Pierre 60
4.5.3. Comportement général du site 62
5. Conclusions 63

Liste des illustrations

FIGURES

Figure 1 : Localisation des 4 sites d'étude. 10
Figure 2 : Entités morphologiques rencontrées au niveau des formations récifales de la Réunion. A : vue aérienne (IGN de 1997). B : coupe longitudinale..... 11
Figure 3 : Illustration de la précision du GPS Garmin 12..... 15
Figure 4 : Morphologie type d'une plage. 18
Figure 5 : Utilisation des grès de plage comme indicateurs de la ligne de rivage (J.P. Pinot, 1999)..... 18
Figure 6 : Géométrie des croissants de plage (beach cusps)..... 19
Figure 7 :Report des données terrain (GPS) sur l'ortho-photo du port de Saint Gilles illustrant le problème de conversion des coordonnées. 22
Figure 8 : Légende des planches 1 et 2. 24
Figure 9 : Vue de la plage depuis le Cap Champagne (vers le NE)..... 28
Figure 10 : Vue de la plage depuis le Cap de Boucan Canot (vers le S). 29
Figure 11 : Vue de la plage depuis le Cap Homard (vers le SO)..... 30
Figure 12 : Vue de la plage depuis le sud du cimetière (vers le SE). 32
Figure 13 : Etat des ouvrages du nord de la plage des Roches Noires. 32
Figure 14 : Etat de la plage à proximité de la Villa Bourbon (vers le S)..... 35
Figure 15 : Erosion prononcée au niveau des restaurants de bord de plage à proximité du banc de l'Ermitage..... 35
Figure 16 : Banquette colonisée par des "Patates à Durand" au nord de la Ravine du Trou d'Eau (vers le SE)..... 38
Figure 17 : Falaises d'érosion au niveau du haut de plage. Plage de Bellevue..... 39
Figure 18 : Granulométrie, composition lithologique et morphologie de la plage de la Souris Chaude. 40
Figure 19 : Etat actuel de la plage de la Souris Chaude en termes d'érosion/accrétion.. 42
Figure 20 : Traces d'érosion à la base des murs de protection. Sud de la plage de la Souris Chaude. 43
Figure 21 : Vue de la plage située au sud de la Ravine de la Chaloupe (vers le sud)..... 46
Figure 22 : Vue de la plage située au nord de la Ravine des Poux (vers le N)..... 48
Figure 23 : Vue de la plage située à 500 m au sud de la Ravine des Poux (vers le N)... 49
Figure 24 : Etat de la plage au sud du cimetière (vers le S)..... 51
Figure 25 : Vue de la Pointe des Avirons (vers le NO). 54
Figure 26 : Erosion de la dune au sud de la Pointe des Avirons (vers le NE). 55
Figure 27 : Vue de la plage située au nord de la Pointe des Sables (vers le SE). 55
Figure 28 : Vue de la partie nord du Bassin pirogue (vers OSO). 57
Figure 29 : Disparition de la plage à l'est du cimetière (vers l'E). 60
Figure 30 : Plage située à proximité du port de Saint Pierre (vers le NO). 61

TABLEAUX

Tableau 1 : Calendrier des interventions sur les différents sites levés et conditions environnementales associées. 25
Tableau 2 : Bilan de l'état des plages du site 1. 43
Tableau 3 : Bilan de l'état des plages du site 2. 52
Tableau 4 : Bilan de l'état des plages du site 3. 57
Tableau 5 : Bilan de l'état des plages du site 4. 62

Liste des annexes

Ann. 1 - Détail de la campagne de mesures topographiques et bathymétriques effectuée par le cabinet de géomètres Talibart.

Ann. 2 (hors texte) - planche 1 : Granulométrie, composition lithologique, morphologie et état des plages du site 1 (Cap la Houssaye à la Pointe des Trois Bassins).

Ann. 3 (hors texte)- planche 2 : Granulométrie, composition lithologique, morphologie, et état des plages de Saint Leu, de l'Etang Salé et de Saint Pierre.

1. Objectifs de l'étude

Le présent rapport correspond à l'un des volets du projet intitulé "Dynamique sédimentaire en milieu corallien de l'Ile de la Réunion", cofinancé par la dotation de Service Public du BRGM (fiche SP 2002 REU/7-1), par la DIREN et par le Conseil Régional de la Réunion. Il concerne l'étude morphologique des plages situées à l'arrière des formations récifales qui se développent sur la côte Ouest de la Réunion. Il s'agit de plages fortement sollicitées à grand enjeu touristique. Le but de ce rapport est, dans premier temps, de comprendre le fonctionnement de ces zones pour établir, par la suite, une typologie des plages rendant compte de leur comportement actuel vis-à-vis des phénomènes d'accrétion et d'érosion. C'est une étape préalable à une gestion cohérente et durable du littoral.

2. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude s'étend sur un linéaire côtier cumulé proche de 27,5 km au niveau de la côte Ouest de l'île de la Réunion . Elle comprend 4 secteurs de plages, tous caractérisés par la présence de formations récifales (Figure 1) :

- **Site 1** : du Cap la Houssaye à la passe des Trois Bassins, 15 km;
- **Site 2** : Saint Leu, 6,3 km;
- **Site 3** : Etang Salé, 2,7 km;
- **Site 4** : Saint Pierre, 3,5 km.

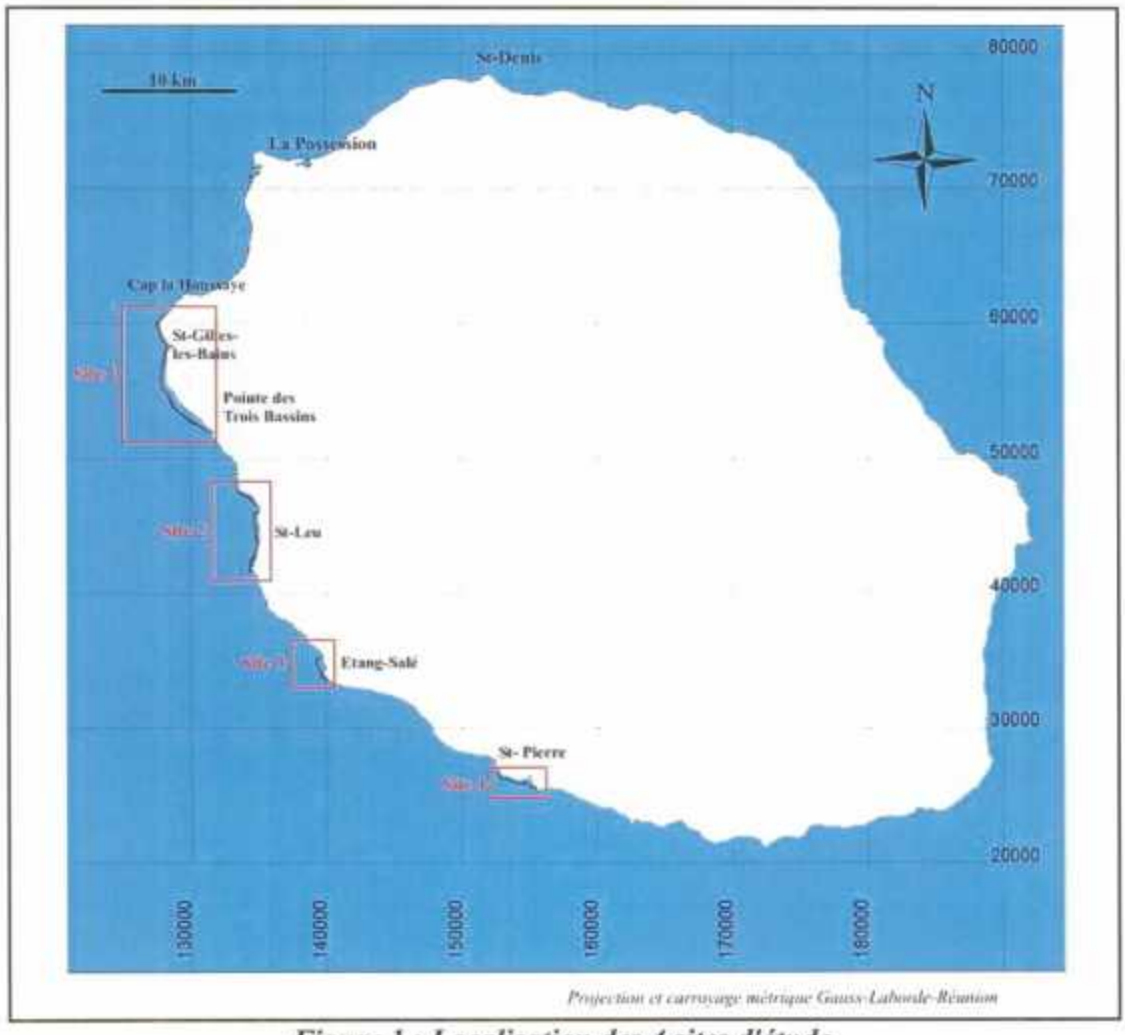


Figure 1 : Localisation des 4 sites d'étude.

2.1. CADRE MORPHOLOGIQUE

Les entités morphologiques communes aux 4 sites d'étude sont représentées respectivement, en vue aérienne et en coupe longitudinale, sur les Figures 2A et 2B.

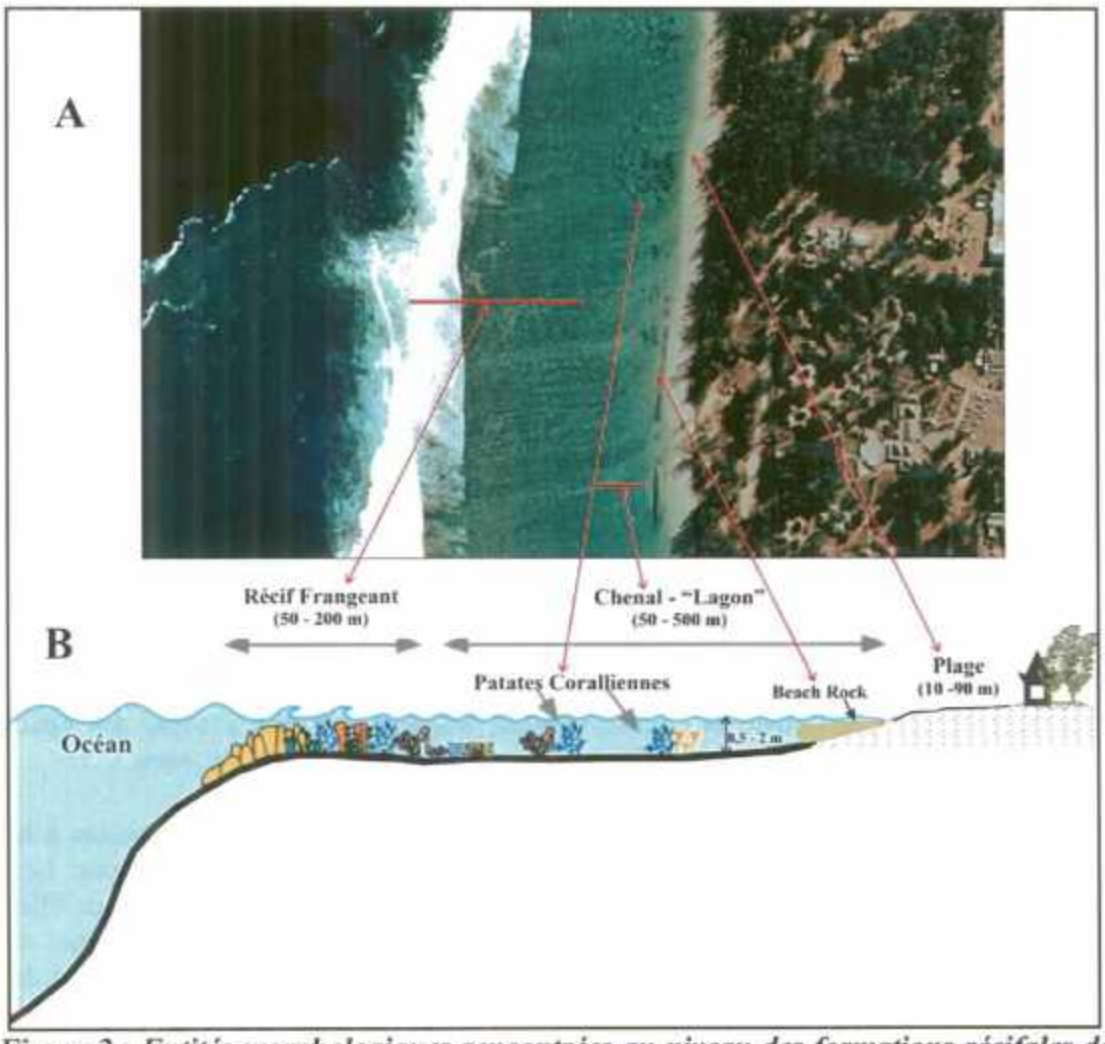


Figure 2 : Entités morphologiques rencontrées au niveau des formations récifales de la Réunion. A : vue aérienne (IGN de 1997). B : coupe longitudinale.

Nous pouvons distinguer de l'océan vers la terre :

- ***Le récif*** : il est de type **frangeant** car il est séparé de la côte par un "lagon" de faibles dimensions. Dans certains cas, il peut être directement accolé à la terre émergée. Cette bande récifale, dont la largeur varie entre 50 et 200 m, peut être interrompue par des "**passes**" qui sont des lieux d'échanges privilégiés entre l'océan et le "lagon".

- ***Le chenal*** : il est de faible profondeur (0,5 à 2 m) et d'une largeur variant de 50 à 500 m. Ce secteur est aussi appelé localement "**lagon**". Ce terme est impropre car il est réservé pour des dépressions atteignant plusieurs dizaines de mètres de profondeur et s'étendant sur plusieurs kilomètres de largeur. Il est commun de retrouver dans ce milieu des "**Patates coralliennes**" qui sont de petites formations coralliennes isolées ainsi que des "**beach rocks**" ou **grès de plage**.
- ***La plage*** : elle se compose généralement de sables coralliens et/ou volcaniques ainsi que de fragments coralliens pluri-centimétriques. Les zones à proximité des cap

rocheux et des ravines sont caractérisées par la présence de blocs et galets d'origine volcanique. La largeur de la plage varie entre 5 et 90 m (à marée basse) en fonction des sites. En arrière de la plage, il se développe généralement une végétation rampante dite "**Patates à Durand**" (*Ipomoea pes-caprae*) associée, par endroits, à des arbustes et des forêts de **Filaos** (*Casuarina equisetifolia*) comme, par exemple, au sud du site 1. Sur les secteurs très touristiques, l'arrière plage est fortement aménagée (promenades, centre de loisirs, restauration, murs de protection, etc.).

Les entités morphologiques (dunes, plaquages sableux, croissants de plage, bancs de grès de plage, etc.) les plus communément présentes sur les sites étudiées sont détaillées paragraphe 3.2.2.

2.2. CADRE DYNAMIQUE

Le contexte dynamique du littoral de la Réunion c'est-à-dire le vent, la houle et la marée ont les caractéristiques suivantes :

- ***Le vent*** : les vents dominants proviennent du secteur ESE. Au cours d'une année, ces vents sont de direction constante, notamment en saison sèche. Il s'agit alors des **alizés**. L'intensité de ces vents permet la mise en mouvement des sédiments favorisant ainsi la formation d'accumulations éoliennes. Il peut y avoir des vents particulièrement violents et tourbillonnaires qui sont associés aux cyclones.

- ***La houle*** : selon Robert (1980), trois grands types de houles sont présentes à la Réunion : les houles d'alizés, les houles australes et les houles cycloniques. Les houles d'alizés sont d'amplitude faible à modérée provenant du secteur ESE de l'île. Les houles australes se caractérisent par d'importantes longueurs d'onde et amplitudes et une direction privilégiée de SO. Elles se propagent depuis le sud de l'Afrique du Sud et n'affectent que les côtes ouest et nord de l'île. Les houles cycloniques correspondent à des épisodes très énergétiques, leurs direction dépend de la trajectoire du cyclone. En général, elles affectent les côtes nord et est de l'île.

- ***La marée*** : elle est de type semi-diurne à inégalité diurne, c'est à dire qu'il y a deux pleines mers et deux basses mers par jour, mais les hauteurs des pleines mers ou des basses mers consécutives peuvent être très différentes. En outre, la marée est de type microtidale puisque le marnage lors des vives-eaux n'est que de 0,7 m.

2.3. CADRE CLIMATIQUE : EPISODES EXTREMES

La Réunion est régulièrement soumise à des cyclones fortement dévastateurs capables de remodeler la frange côtière en quelques heures. Il est donc indispensable de tenir compte de ces épisodes hautement énergétiques lorsqu'on s'intéresse à l'évolution des côtes. La saison cyclonique s'étend de Novembre à Avril. Les cyclones se présentent selon trois types de trajectoires relativement classiques : type parabolique, débutant généralement au nord-est de La Réunion pour finir vers le sud-est, type zonal est-ouest, et type méridien nord-sud. Au cours des 54 dernières années, neuf événements

significatifs ont eu lieu. Il s'agit des cyclones de 1948, 1962 (Jenny), 1980 (Hyacinthe), 1981 (Florine), 1987 (Clotilda), 1989 (Firinga), 1993 (Colina), 1994 (Hollanda) et le tout dernier (Dina), datant de janvier 2002 (source Météo France).

3. Méthodologie et moyens mis en œuvre pour la cartographie du littoral

Dans ce paragraphe serons évoqués les moyens mis en œuvre, les indicateurs du comportement du littoral observés sur le terrain ainsi que le mode opératoire employé pour cartographier de façon détaillée les plages sableuses d'arrière récif de la Réunion.

3.1. MOYENS UTILISES

Les documents, le matériel ainsi que les logiciels utilisés dans cette étude sont décrits ci-dessous.

3.1.1. Les documents

Les documents utilisés sont :

- **3 cartes topographiques IGN au 1/25000ème** (4401 RT, 4404 RT, et 4405 RT) afin de repérer les sites, de planifier les levés, d'estimer les durées pour se rendre sur zone, etc.;
- **la BDTOPO au 1/5000ème de la Réunion** (source IGN) : c'est une base de données au format numérique contenant l'ensemble de données figurant généralement sur les cartes IGN (routes, bâtiments, courbes de niveau, etc.). Elle a servi à établir des fonds de cartes pour reporter les différentes observations de terrain. Les couches utilisées sont celles correspondant aux routes, bâtiments et courbes de niveau. Le système de projection utilisé est le Gauss Laborde Réunion;
- **les Ortho-photos à 1m** (source IGN) : elles correspondent aux photographies de la campagne aérienne IGN de 1997 qui ont été numérisées, corrigées géométriquement et finalement géoréférencées par les services de l'IGN selon la projection Gauss Laborde Réunion. Elles ont été d'une grande aide pour délimiter les entités "pérennes" comme les ouvrages côtiers ou les beach rocks mais aussi l'extension de la végétation en limite de haut de plage.
  Il est à noter que la **DDE** a mis à notre disposition 3 campagnes photographiques aériennes IGN de façon à compléter la cartographie des plages récifales de la Réunion :
  - Mission 1978 REU 103/250 P (1/25 000ème), noir et blanc;
  - Mission 1989 REU 112/200 P (1/20 000ème), couleur;
  - Mission 1997 REU 119/300 P (1/30 000ème), couleur ;
- **la campagne de mesures topographiques effectuée par le Cabinet Talibart** : celle-ci s'est déroulée du 02 avril au 07 mai 2002. Elle concerne les lagons de Saint Gilles, Saint Leu, Etang Salé et Saint Pierre. Le détail de la campagne figure en annexe 1. Les différents levés topographiques effectués furent intégrés dans un logiciel d'interpolation afin de calculer les pentes des plages des secteurs concernés (voir paragraphes 3.1.3 et 3.2.2).

3.1.2. Le matériel

Il est composé de :

- **1 GPS GARMIN 12** : pour se repérer et reporter les observations de terrain effectuées lors des levés des 4 sites d'étude. Il a été utilisé pour effectuer de façon systématique un suivi de la ligne de rivage et de la limite de haut de plage (matérialisée par le début de la végétation, clôtures, etc.) ainsi que pour positionner les points caractéristiques (ouvrages, entités morphologiques, changement de faciès granulométrique et de végétation, etc.). Ce GPS fonctionnant en mode naturel offre une précision théorique meilleure que 10 m (depuis que le signal GPS n'est plus brouillé). Cette précision a été vérifiée en effectuant des mesures en continu sur un point fixe sur des durées de plusieurs dizaines de minutes avec un pas d'échantillonnage de 4 secondes et en revenant sur le même point le lendemain. Ces tests montrent que la précision du GPS est meilleure que 3 m pour 95% des enregistrements. Pour illustrer ces constatations, nous avons reporté sur l'ortho-photo à 1 m de l'IGN (1997) du port de Saint Pierre, les enregistrements GPS effectués au niveau du ponton ouest (Figure 3). Il est possible de constater que les mesures sont calées de manière très satisfaisante par rapport au ponton dont la largeur est de 6 m.

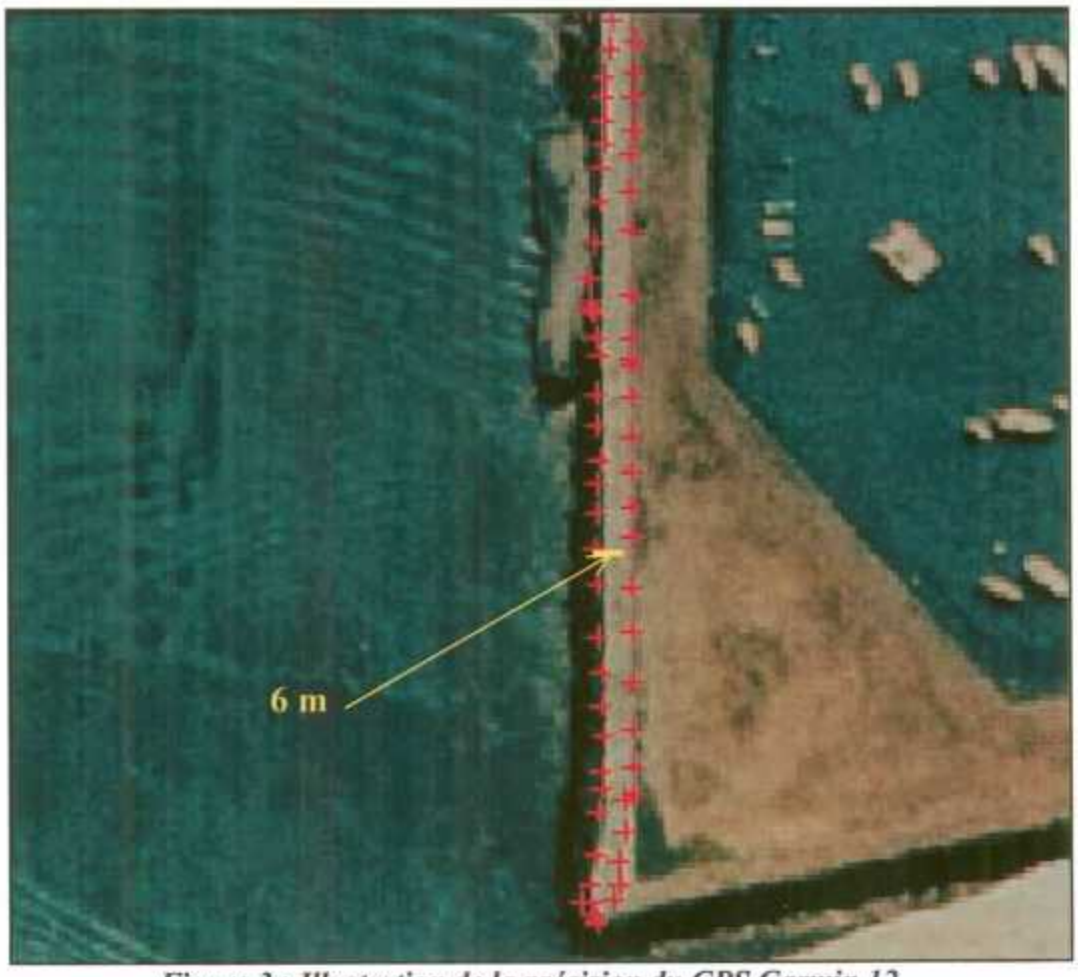


Figure 3 : Illustration de la précision du GPS Garmin 12.

- **1 Appareil photographique numérique haute résolution Olympus** : Les observations de terrain ainsi que les mesures GPS ont été complétées par des prises

de vues effectuées grâce à cet appareil : changements de faciès sédimentaires, vues d'ensemble, détails des entités morphologiques, etc. La position de chacune des photographies a été levée grâce au GPS de façon à les intégrer dans un éventuel futur SIG.

3.1.3. Les logiciels

Les logiciels employés sont les suivants :

- **Waypoints+** : servant à transférer les données enregistrées par le GPS dans un ordinateur PC.
- **Circé2000-Réunion** : il permet de passer du système de projection WGS84 (latitudes et longitudes, enregistrées par le GPS) vers le système de projection métrique local, Gauss Laborde Réunion. Il s'agit d'un logiciel développé exclusivement pour cette tâche par l'IGN. C'est le seul à offrir une erreur moyenne inférieure au mètre lors des conversions. Les algorithmes employés par d'autres types de logiciels induisent des erreurs au sol proches de 10 mètres, ce qui très important si l'on considère la largeur des plages de la Réunion ainsi que la précision du GPS.
- **Surfer 7 :** il sert à créer des modèles numériques de terrain à partir de semis de points. En outre, ses modules de calcul permettent divers traitements : calcul de volumes, extractions des pentes, etc. C'est ce logiciel qui a été utilisé pour déterminer les pentes moyennes des plages à partir des suivis topographiques effectués par le cabinet de géomètres Talibart.
- **MapInfo 6.5** : c'est le logiciel de SIG utilisé pour compiler l'ensemble des observations recueillies.
- **Logiciel de calcul de la marée établit par le SHOM** : celui-ci est disponible sur internet (*http://www.shom.fr/fr_page/fr_serv_prediction/ann_marees_f.htm*). Il est possible d'y trouver l'évolution horaire du niveau théorique de la marée à la Pointe des Galets et à Saint Pierre sur une période de temps quelconque. Ces données ont permis de déduire la hauteur du plan d'eau au niveau des sites étudiés lorsque les levés ont été effectués.

3.2. INDICATEURS OBSERVES

La cartographie des plages récifales de l'île de la Réunion a pour but de déterminer les zones en érosion, les zones stables et en accrétion. Plusieurs indicateurs décrits ci-dessous sont utilisés pour caractériser l'état des plages.

3.2.1. Position de la ligne de rivage

Elle peut être obtenue grâce à des mesures directes (suivis GPS, tachéomètre) ou extraite à partir de l'analyse de photographies aériennes ou des images satellitales. La comparaison de la position de la ligne de rivage à différentes époques, permet d'obtenir directement des informations sur l'évolution du linéaire côtier au cours du temps. Les zones en érosion et en accrétion peuvent alors être cartographiées. Dans le cas présent, nous avons utilisé un GPS pour suivre la ligne de rivage, la latitude et la longitude étant

enregistrées en continu toutes les 5 mètres en moyenne. La ligne de rivage ainsi relevée est dite instantanée car sa position sur le plan horizontal n'est pas corrigée des effets de la marée et des conditions environnementales. Etant donné le très faible marnage, la forte pente des plages et les conditions "calmes" de houle et de vent constatées lors de nos suivis, l'erreur sur le plan horizontal par rapport au niveau le plus bas du plan d'eau, est proche de la précision du GPS, c'est à dire d'environ 3 m. En ce qui concerne le trait de côte associé aux linéaires rocheux séparant des plages sableuses situées à proximité, il a été positionné grâce aux ortho-photos de 1997.

3.2.2. Morphologie

Les différents compartiments caractéristiques d'une plage sont détaillés sur la Figure 4. Il est possible de distinguer de l'océan vers la terre :

- **la plage sous-marine** : c'est la zone qui est en permanence immergée et qui subit l'influence de la houle. Dans le cas du littoral étudié, cette zone se situe au niveau du "lagon" ;
- **la plage** (sens strict) qui est composée du **bas de plage et du haut de plage**. Le premier de ces compartiments correspond à la zone des balancements des marées, c'est à dire la zone de la plage comprise entre la basse et la haute mer. Etant donné le faible marnage (différence d'altitude du plan d'eau entre les marées basses et hautes) caractéristique de l'île, la largeur de cette zone est très limitée, sauf dans les secteurs à très faible pente. Le haut de plage se situe au-delà de la laisse de haute mer et est la plupart du temps émergé. Il n'est atteint que par les houles de tempêtes ;
- **l'arrière plage** : c'est la zone contiguë au haut de plage qui est toujours émergée. Elle est soumise aux embruns et aux apports sédimentaires éoliens provenant de plage. Lors d'évènements particulièrement énergétiques comme les cyclones, cette zone peut être directement soumise à l'action marine.

D'un point de vue purement hydrodynamique, deux compartiments peuvent être différenciés :

- **la zone de déferlement** : à l'approche de la côte, au fur et à mesure que la profondeur diminue, la houle se raidit jusqu'à un point de rupture où elle déferle en dissipant de l'énergie, engendrant des courants littoraux et provoquant une surélévation du niveau moyen du plan d'eau. Ce point de rupture est atteint lorsque la profondeur et la hauteur de la houle ont des valeurs similaires. Par la suite, les vagues se réorganisent et se propagent jusqu'à la plage. C'est cette région où la houle se raidit, déferle, se réorganise et atteint la plage qui est appelée zone de déferlement. Son extension varie principalement en fonction de l'amplitude des houles incidentes et de la marée. La limite terrestre de cette zone peut se prolonger jusqu'à proximité de la laisse de haute mer.
- **la zone de jet de rive** : cette zone se caractérise par le mouvement ascendant-descendant d'une nappe d'eau de quelques centimètres d'épaisseur qui s'effectue au niveau du bas de plage et de la partie inférieure du haut de plage. Dans un premier temps, cette nappe gravit la plage sous l'impulsion de la vague qui a déferlé et

suivant sa direction. Une fois que l'impulsion initiale est annulée par l'effet de la pente, l'eau redescend par gravité en suivant la plus grande pente de la plage.

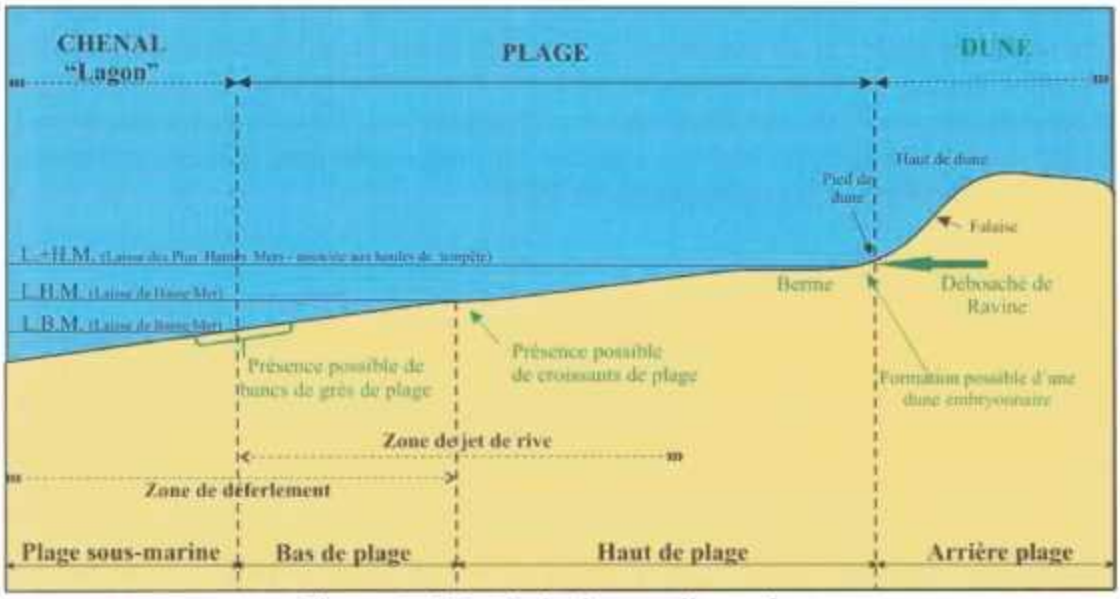


Figure 4 : Morphologie type d'une plage.

Les diverses morphologies que l'on peut retrouver sur les plages réunionnaises étudiées sont signalées en vert sur la Figure 4. Il est important de les identifier sur le terrain et de les répertorier car elles témoignent du régime hydraulique et sédimentaire auquel est soumis le secteur concerné. Il s'agit, toujours de l'océan vers la terre, de :

- **bancs de grès de plage (beach rocks) :** ils correspondent à des roches sédimentaires résultant de la cimentation des sables coralliens et volcaniques lors de la précipitation par évaporation des fluides interparticulaires chargés de carbonates. Ils se développent donc à proximité de la ligne de rivage, là où la profondeur de la tranche d'eau est faible. Lorsque les grès de plage sont présents dans le lagon, à quelques dizaines de mètres du rivage actuel, ils matérialisent en fait une ancienne ligne de rivage (Figure 5). Ils témoignent ainsi d'un secteur en recul résultant du déséquilibre entre le forçage dynamique et la faible disponibilité en sédiments.

Figure 5 : Utilisation des grès de plage comme indicateurs de la ligne de rivage (J.P. Pinot, 1999).

- **croissants de plage (beach cusps)** : ce sont des structures périodiques présentes au niveau du sommet de la zone de jet de rive de plages de sables, de graviers ou de galets (Figure 6). Elles résulteraient des interférences qui se produisent lorsque deux trains de vagues incidentes, de directions et de périodes différentes, se propagent vers la côte. Elles correspondent à des formes d'accrétion.

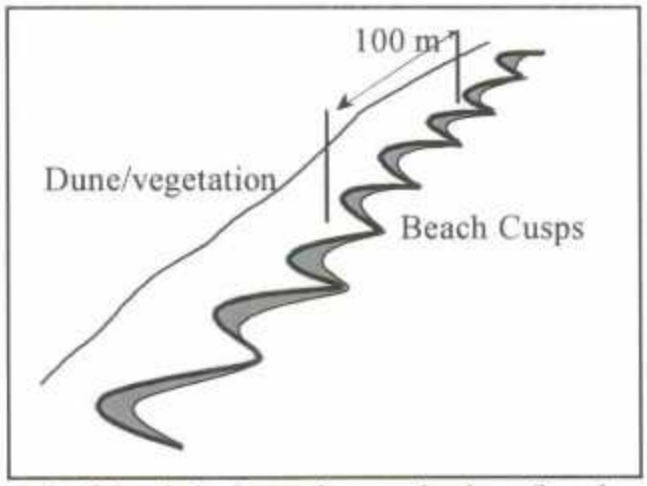


Figure 6 : Géométrie des croissants de plage (beach cusps).

- **berme** : lorsqu'elle est présente, elle est située en haut de plage. Elle se caractérise par un replat se prolongeant, coté terre, jusqu'à l'arrière plage et limitée, coté océan, par escarpement dominant le reste de la plage (Figure 4). C'est une forme spécifique des hauts de plage en voie d'engraissement. Elle indique une disponibilité en sédiments ainsi que des conditions de houle peu énergétiques.

- **dunes (et dunes embryonnaires) :** elles se situent au niveau de l'arrière plage. Le point de départ correspond à une berme qui a demeuré suffisamment longtemps à l'abri des attaques marines pour être colonisée par une végétation halophile. Cette végétation stabilise, d'une part, la berme (les sédiments ne sont plus érodés par l'action éolienne) et favorise, d'autre part, le piégeage des sédiments éoliens provenant de la plage. Cela donne naissance à des corps sédimentaires en forme de banquette ou de terrasse. C'est le stade de dune embryonnaire. Si cet édifice se maintient à l'abri de l'érosion marine et si les apports sédimentaires en provenance de la plage perdurent dans le temps, alors il se développe en largeur et en hauteur, devenant ainsi une dune bordière.

- **débouchés des ravines :** les ravines sont des dépressions, plus ou moins linéaires et profondément incisées dans le paysage, creusées par les eaux de ruissellement. Elles sont caractéristiques des régions ayant un relief fortement accidenté comme l'île de la Réunion. Les cours d'eaux qui empruntent ces dépressions se caractérisent par des débits rapides et très irréguliers, à crues subites et violentes capables de charrier des matériaux de grande taille. C'est pourquoi il est commun de retrouver des cônes de déjection au débouché d'une ravine. Il est important de lever sur le terrain les exutoires des ravines car c'est à ce niveau que le littoral est alimenté en sédiments d'origine volcanique.

Outre les morphologies qui viennent d'être décrites (bancs de grès de plage, croissants de plage, bermes, dunes et débouchés de ravines), deux autres aspects plus généraux de la plage seront cartographiés lors de nos levés de terrain :

- **la largeur :** elle nous informe sur le degré de fragilité du secteur concerné. A pente égale, une plage étroite sera plus exposée à l'action d'une tempête qu'une plage plus large. Ce paramètre est déduit grâce aux suivis GPS de la ligne du rivage, et de la limite de haut de plage de chacun des sites d'étude.

- **la pente de la plage** : elle dépend de la granulométrie (plus la taille des sédiments est importante, plus elle est importante), des conditions hydrodynamiques et de la disponibilité en sédiments. En cas de conditions hydrodynamiques calmes et d'apports sédimentaires importants, la plage s'élargie suivant une pente globale douce. Des corps sédimentaires peuvent se développer (croissants de plage, berme, dune embryonnaire, etc.) modifiant ainsi localement le profil de la plage (présence de reliefs plus ou moins accentués). Quand les conditions de houle sont plus énergétiques, la plage se rétrécit, les pentes deviennent plus importantes et le profil se lisse. L'accentuation de la pente permet à la plage d'amortir plus vite l'énergie de la houle. Cela se traduit par une plus faible largeur de la zone de jet de rive, la partie supérieure du haut de plage demeure, donc, au sec. Si les conditions très énergétiques persistent et si les apports sédimentaires sont insuffisants, alors la pente diminue : la plage est alors très étroite est quasi horizontale. La zone de jet de rive occupe la totalité de la largeur de la plage. Cette dernière est donc très exposée aux surcotes.

  Les pentes des plages ont été :
  - d'une part, systématiquement évaluées visuellement lors des levés de terrain,
  - d'autre part, calculées grâce au logiciel **Surfer7** au niveau des secteurs concernés par les mesures topographiques du cabinet Talibart.

  En combinant ces deux types d'information qualitative et quantitative, il a été possible de classer les pentes suivant 7 catégories. Elles font correspondre les valeurs calculées aux appréciations de terrain (en gras) :
  - entre 0° et 2° : ***faible***
  - entre 2° et 4° : ***faible à moyenne***
  - entre 4° et 6° : ***moyenne***
  - entre 6° et 8° : ***moyenne à forte***
  - entre 8° et 10° : ***forte***
  - entre 10° et 12° : ***forte à très forte***
  - > 12° : ***très forte***

3.2.3. Granulométrie et composition lithologique des sédiments

Il est important de connaître la granulométrie des sédiments car elle révèle les conditions hydrodynamiques du milieu lors de la mise place des dépôts sédimentaires. La présence de sables fins, par exemple, témoigne de conditions hydrodynamiques faibles alors que la présence de graviers correspond à des régimes hydrauliques plus énergétiques. Quant à la composition des sédiments, elle nous informe sur l'origine de la source sédimentaire. Des sables carbonatés indiquent, par exemple, une alimentation récifale alors que des sables riches en olivine témoignent d'une alimentation volcanique et donc terrestre. Une fois la source sédimentaire identifiée, il est important de déterminer si elle est toujours active et si c'est le cas, quel est son régime d'alimentation. Les observations de terrain ont permis de définir 11 classes en fonction de la taille et de l'origine des sédiments :

- Sables moyens à dominante corallienne *(0,315 à 0;63 mm)*
- Sables moyens à dominante volcanique *(0,315 à 0;63 mm)*
- Sables grossiers à dominante corallienne *(0,63 à 1,25 mm)*
- Sables grossiers à dominante volcanique *(0,63 à 1,25 mm)*
- Sables très grossiers à dominante corallienne *(1,25 à 2 mm)*
- Sables très grossiers à dominante volcanique *(1,25 à 2 mm)*
- Graviers et sables à dominante corallienne *(2 à 63 mm)*
- Graviers et sables à dominante volcanique *(2 à 63 mm)*
- Galets et sables à dominante corallienne *(63 à 250 mm)*
- Galets et sables à dominante volcanique *(63 à 250 mm)*
- Blocs *(> 250 mm)*

De plus, les ***fragments coralliens*** pluri-centimétriques qui peuvent être associés à chacune de ces classes ont été répertoriés en fonction de leur densité et distribution spatiale.

3.2.4. Limite de la couverture végétale

La présence d'une couverture végétale en limite supérieure du haut de plage est un indicateur de la stabilité du milieu. Si la plage subit une érosion intense ou bien si elle perdure dans le temps, alors la végétation peut disparaître. Au contraire, elle peut se développer si la plage est stable ou s'engraisse. Cette évolution est quantifiable grâce à des suivis de terrain et/ou à des comparaisons de missions aériennes multi-dates. La limite de végétation relevée au cours des observations de terrain a été comparée à celle des ortho-photos de 1997 ce qui a permis d'observer l'évolution de cette limite sur 5 ans et ainsi d'obtenir un indice supplémentaire de la stabilité ou non des plages. La chute d'arbres ou bien l'affouillement au niveau de leurs racines témoignent quant à eux d'une intense érosion de l'estran. Lors des suivis, les limites entre le haut de plage et 3 types de végétation ont été répertoriées :

- la forêt, essentiellement des "Filaos"
- les arbustes
- la végétation rampante, "Patates à Durand"

3.2.5. Ouvrages de protection et autres aménagements

Les zones côtières à fort attrait touristique sont souvent fortement aménagées : promenades et routes de bord de mer, clubs de loisirs, marina et zones portuaires, habitations secondaires, hôtels, restaurants, etc. Ces infrastructures nécessitent un milieu stable. C'est pourquoi, il est courant de stabiliser le trait de côte en érigeant des ouvrages de protection comme des enrochements, épis, brise lames, murs de protection, etc. Ces ouvrages tout en jouant leur rôle de protection peuvent parfois avoir un impact négatif car ils influencent à leur proximité les courants et la circulation des sédiments. Ils ont été regroupés en 5 grandes familles :

- Murs, murets et clôtures
- Promenade en bois ou non revêtue

- Epis et enrochements
- Constructions portuaires
- Constructions légères (kiosques, restauration, etc.)

3.3. MODE OPERATOIRE

Toutes les données existantes et acquises sur le terrain ont été numérisées pour pouvoir être comparées sur une même base. De plus, celles-ci pourront être complétées et mises à jour lors d'éventuelles mesures complémentaires et être intégrées dans un futur SIG.

3.3.1. Détection et correction des erreurs

Chaque point d'observation terrain a été positionné grâce au GPS. Certains de ceux-ci se sont révélés aberrants lorsque la couverture satellitale était insuffisante ou lorsque les satellites étaient masqués par des obstacles (couverture végétale dense, murs, ouvrages, etc.). Dans ce cas, les points ont été écartés.
Par ailleurs, lors du report des données sur les ortho-photos, un décalage systématique atteignant jusqu'à 10 m a été observé (Figure 7) : les données représentées par les losanges sont mal positionnées par rapport au port de Saint Gilles. En fait, il s'agit d'un problème dans la transformation des coordonnées WGS84 (données GPS) en Gauss Laborde Réunion (ortho-photo) et non de couverture satellitale car le port est bien représenté, seule sa position absolue est erronée. Ce problème a été résolu en utilisant le logiciel Circé2000-Réunion pour cette transformation. Les points représentés par des croix, issus de ce traitement, sont cette fois-ci bien positionnées par rapport au port.

Figure 7 :Report des données terrain (GPS) sur l'ortho-photo du port de Saint Gilles illustrant le problème de conversion des coordonnées.

3.3.2. Représentation et interprétation de l'information recueillie

L'ensemble des observations ainsi que les interprétations ont été compilées dans deux **cartes thématiques :** la planche 1 (hors texte) concerne le site 1 et la 2ème regroupe les sites de Saint Leu, de l'Etang Salé et de Saint Pierre. Ces cartes contiennent les indicateurs observés sur le terrain (décrits paragraphe 3.2) associés en fond de plan aux couches "Routes" et "Bâtiments" issues de la BDTOPO. Au niveau des secteurs couverts par les mesures topographiques (cabinet Talibart), une deuxième représentation de la plage consacrée aux pentes a été accolée à la représentation principale.
En combinant ces informations et en utilisant les observations directes sur le comportement de l'estran (marques d'érosion, accumulations sédimentaires, etc.), il a été possible de dresser un bilan sur **l'état des plages** d'arrière récif de la Réunion en termes d'érosion et d'accrétion. Le linéaire côtier a été segmenté suivant 5 classes correspondant à :

- **une accrétion** : ce sont des zones fortement alimentées en sédiments. La plage est alors très étendue et généralement de pente faible ;
- **un secteur stable** : la végétation rampante est bien établie voire progradante par rapport aux ortho-photos de 1997, les plages sont plus larges et de pentes faibles, la présence d'entités morphologiques comme des croissants de plage par exemple, témoignant d'une disponibilité en sédiments, etc. ;
- **une zone de transition** : le comportement de ces zones varie beaucoup d'un point de vue spatial (portions en érosion et stables qui se succèdent sur des secteurs de quelques centaines de mètres seulement) ou temporel (la morphologie de la plage peut complètement changer dans un lapse de temps très court, zone de débouché de ravine par exemple) ;
- **une érosion faible** : les plages sont étroites et de pentes moyennes. Lorsque les bancs de grès de plage sont présents, ils sont situés dans le lagon et éloignés de plusieurs dizaines de mètres de la ligne de rivage. La couverture végétale de haut de plage est clairsemée, voire inexistante ;
- **une érosion prononcée** : caractérisée par une plage très étroite associée à une pente faible, par la présence d'arbres ayant leurs racines qui affouillent, ou bien des marques d'érosion visibles au niveau des ouvrages ou des constructions légères de bord de mer.

Cette segmentation figure aussi sur les planches 1 et 2. Elle est matérialisée sur une troisième ligne de rivage placée à gauche des deux autres qui, rappelons-le, concernent les levés de terrain et la représentation des pentes des plages. Il est important de signaler que les coordonnées et le quadrillage présents sur ces cartes se réfèrent uniquement aux observations de terrain. La légende associée à ces cartes est représentée Figure 8.

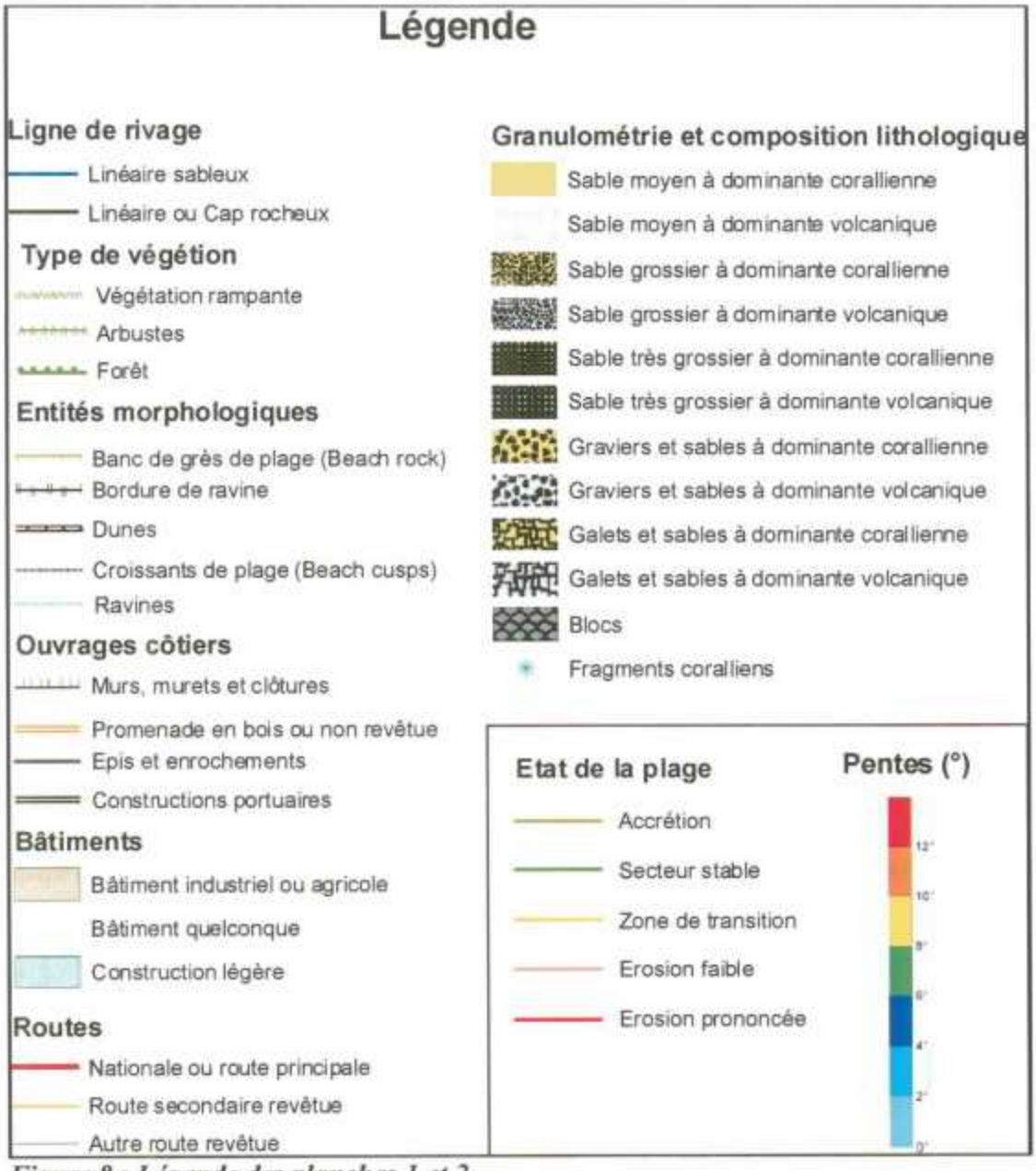


Figure 8 : Légende des planches 1 et 2.

La segmentation du trait de côte obtenue par cette méthode doit être nuancée car les indicateurs utilisés pour le classement ont des temps de réponse par rapport à l'érosion qui diffèrent. Ainsi une tempête tropicale causera d'importants dégâts en haut de plage, au niveau de la végétation rampante et/ou de la forêt de Filaos. Le temps pour la recolonisation de ce secteur sera bien plus important que celui nécessaire à la plage pour sa reconstruction. Si bien qu'il est possible d'observer, dans ce cas, 2 tendances opposées : des racines de Filaos qui affouillent à l'air libre témoignant d'une érosion prononcée et des accumulations sableuses récentes en bas de plage correspondant à une accrétion sédimentaire de la plage. C'est cette dernière tendance qui a été représentée sur les cartes thématiques.

4. Les sites étudiés

Après avoir abordé en détail la méthodologie adoptée pour cartographier la frange littorale d'arrière récif, ce paragraphe se consacre aux 4 secteurs d'étude. Dans un premier temps, le calendrier des interventions ainsi que les conditions environnementales associées sont précisées.

4.1. CALENDRIER DES LEVES ET CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES ASSOCIEES

Une première visite de terrain fut effectuée le lundi 17 juin avec **M. Rolland Troadec**, professeur, associé au **L**aboratoire des **S**ciences de la **T**erre de l'**U**niversité de la **R**éunion (**LSTUR**). Il s'agissait de faire une reconnaissance du site pilote situé de part et d'autre de la passe de l'Ermitage.

	Date	Tronçon	Hauteur marée (m)	Conditions météorologiques	Conditions de houle estimées
Site 1	19/06/2002	Cap la Houssaye Cap Boucan Canot	0,55	Ciel nuageux. Pas de vent	Houle très faible (< 0,25 m)
		Cap Boucan Canot Cap Homard	0,40	Idem + légère brise marine	
		Cap Homard Pointe des Aigrettes	0,28	Idem	
		Plage des Roches Noires	0,37	Ciel très couvert. **Brise marine**	Houle faible (0,25 - 0,5 m)
	20/06/2002	Nord P. des Roches Noires **Pointe des Aigrettes**	**0,60**	Ciel dégagé. Légère brise marine	Houle très faible (<0,25 m)
		Port St. Gilles **Villa Bourbon**	0,40		
		Villa Bourbon - Passe de l'Ermitage	0,30		
	21/06/2002	Trou d'Eau Passe de l'Ermitage	0.63	Ciel dégagé. Vent faible de SSO	Houle très faible (<0,25 m)
		Trou d'Eau Pointe des Trois Bassins	**0,53**		
	26/0/2002	Pointe des Trois Bassins Passe des Trois Bassins	0,65	Ciel couvert avec des éclaircies. Pas de vent	Houle très faible (<0,25 m)
Site 2	24/06/2002	Pointe des Châteaux Port de St. Leu	0,55	Ciel dégagé. Vent faible de OSO	Houle faible (0,25 - 0,5 m)
		Port de St. Leu - Ravine du Cap	**0,62**	**Ciel couvert avec des éclaircies. Vent moyen de** OSO	**Houle faible à moyenne** (0,5 - 0,75 m)
	25/06/2002	Ravine du Cap Quatre Robinets	0,30	Dégagé. Vent faible de SE	Houle moyenne (0,75 - 1 m)
		Pointe au Sel	0,50		
Site 3	25/06/2002	Pointe des Avirons **Pointe de l'Etang Salé**	0,57	Ciel couvert. Vent de SE **soufflant par rafales**	Houle moyenne à forte (1 - 1,5 m)
Site 4	26/06/2002	**Pte. De la Ravine Blanche** Port de St. Pierre	0,40-0,61	**Ciel nuageux avec des** éclaircies. Vent fort de SE	Houle moyenne à forte (1 - 1,5 m)

Le mardi 18 juin fut consacré à une réunion de travail avec nos partenaires du **LSTUR** ainsi qu'à la préparation des levés de terrain (édition des minutes de terrain, préparation des itinéraires, etc.).
Les levés proprement dit se sont déroulés du 19 au 26 juin selon le détail indiqué Tableau 1. Sur celui-ci, les conditions environnementales observées (conditions météorologiques et de houle) ainsi que les hauteurs de marée ont été consignées car elles peuvent avoir une influence sur les levés, notamment en ce qui concerne le suivi de la ligne de rivage. Les hauteurs de marée théoriques ont été calculées à partir de prévisions horaires effectuées par le **SHOM** au niveau de la Pointe des Galets et du Port de Saint Pierre (voir paragraphe 3.1.3).

4.2. SITE 1 : CAP LA HOUSSAYE A LA PASSE DES TROIS BASSINS

Chacun des sites sera abordé selon les rubriques suivantes : généralités, restitution des observations et état des plages, état du site.

C'est le site le plus étendu des quatre s'étalant sur près de 15 km depuis le Cap de la Houssaye au nord, à la passe des Trois Bassins au sud. Il est constitué de nombreuses plages, pour la plupart, de sables coralliens délimitées par des cap rocheux et protégées des houles océaniques par un récif frangeant. L'orientation des côtes est très variable : NE -SO pour le secteur de Cap de la Houssaye à la Pointe des Aigrettes, proche du nord entre le Port de Saint-Gilles et le village de vacances et NO-SE pour les secteurs au sud de la passe de l'Ermitage, par exemple.
C'est un secteur à fort attrait touristique avec des plages très aménagées comme celles de Boucan Canot et des Roches Noires, par exemple et d'autres à évolution plus libre comme la plupart des plages situées au sud du port de Saint-Gilles.

Les valeurs extrêmes du niveau théorique de la marée se situent entre 0,28 et 0,65m lors de nos observations et les conditions environnementales sont caractérisées par un vent léger voire absent et une très faible houle.

Les données disponibles concernent les enregistrements effectués au GPS, les prises de vues du terrain ainsi que les ortho-photos utilisées pour établir les cartes thématiques.

Enregistrements GPS	4030 points
Nombre de photographies	34
Ortho-photos utilisées	**6** : 97-A8; 97-A9; 97-A10; 97-A11; 97-B11; 97-B12

Comme pour les autres sites, l'ensemble des observations effectuées sur le terrain ainsi que les interprétations sur le comportement des plages qui en découlent ont été respectivement synthétisées sur les cartes thématiques "Granulométrie, composition lithologique et morphologie des plages" (annexe 2) et "Etat actuel des plages" (annexe 4) présentes en annexe.
Les indicateurs ainsi que les interprétations sur l'état actuel des plages sont abordés suivant les portions de littoral composant chacun des sites. Celles-ci sont délimitées par les caps rocheux, les ports, les passes ou les ravines de grande importance. Ce premier site se décompose en 7 secteurs :

- Rocher du Chien au Cap Boucan Canot (760 m de longueur)
- Cap Boucan Canot au Cap Homard (750 m)
- Cap Homard à la Pointe des Aigrettes (500 m)
- Pointe des Aigrettes au Port Saint-Gilles (2300 m)
- Port Saint-Gilles à la Passe de l'Ermitage (3300 m)
- Passe de l'Ermitage au Trou d'Eau et plage de Bellevue (2957 et 686 m)
- Pointe des Trois Bassins à la Passe de Trois Bassins (970 m)

Chacun d'eux sera décrit selon la même logique : du nord au sud.

Les indicateurs détaillés sont ceux présentés paragraphe 3.2 à l'exception de "position de la ligne de rivage". Dans cette étude, il est surtout utilisé pour délimiter l'estran et ainsi déterminer la largeur des plages et les contours des faciès granulométriques et des pentes. Ce n'est que lors de la prochaine phase (devant commencer l'année prochaine) qu'il sera directement utilisé pour définir les tendances évolutives du littoral en le comparant aux autres lignes de rivage extraites des photographies aériennes multi-dates.

4.2.1. Rocher du Chien au Cap Boucan Canot

Observations

La largeur de la plage : elle est assez homogène jusqu'au Cap Champagne variant entre 14 et 16 m. Elle s'accroît progressivement jusqu'au Cap Boucan Canot en atteignant des valeurs proches de 30m. Le bas de plage n'occupe qu'une largeur très limitée ne dépassant pas les 3m.
Les pentes : uniquement des estimations visuelles sur les pentes peuvent être avancées pour les zones situées au nord de ce site (le Cabinet Talibart n'ayant pas effectué des levés sur ce secteur).
Les observations sur cette portion de littoral indiquent, pour le haut de plage, des pentes faibles à moyennes au nord du Cap Champagne et moyennes au sud de celui-ci. Celles-ci sont plus importantes au niveau du bas de plage.
La granulométrie et la composition lithologique : sur les 50 m situés au sud du Rocher du Chien, la plage est couverte de galets basaltiques d'un diamètre variant entre 10 et 50 cm. Les fragments de corail sont rares, voire absents.
Entre ce point et le Cap Champagne, la granulométrie diminue. Elle est constituée de sables très grossiers à proximité du bas de plage, et de sables moyens, bien classés, en haut de celle-ci. Les fragments coralliens ne sont présents que dans ce dernier compartiment. Sur le reste du secteur, la taille des sédiments s'uniformise, on ne retrouve plus que des sables moyens bien classés. En outre, la densité des fragments coralliens présents sur la partie supérieure de la plage augmente. Les sédiments de ce secteur résultent essentiellement de l'altération mécanique des apports coralliens.
Les morphologies particulières : lors de notre levé de terrain, aucune entité morphologique particulière ne fut observée sur ce secteur.
La végétation : on distingue quelques massifs d'arbustes éparpillés jusqu'au Cap Champagne pour devenir, plus au sud, compacts et continus jusqu'au niveau des premières habitations. C'est alors que la végétation rampante prend la relève.

Les ouvrages et autres aménagements : jusqu'au Cap Champagne, la limite du haut de plage est bordée par un mur de protection de la route nationale 1.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

L'importante taille des sédiments situés au nord du cap Champagne indique que cette zone est soumise à des conditions hydrodynamiques intenses. Néanmoins toute l'énergie de la houle est dissipée au niveau du bas de plage puisque quelques massifs d'arbustes se sont développés en haut de celle-ci (Figure 9). De plus, le mur de protection ne présente pas de signes d'érosion marine. En outre, les fragments coralliens présents dans la zone, vont s'altérer avec le temps et alimenter ainsi régulièrement la plage en sédiments. Donc, malgré une hydrodynamique intense, ce secteur est stable. Cette stabilité est encore plus évidente au sud du Cap Champagne. L'action des vagues se limite à une portion plus réduite de la plage indiquant que le récif frangeant amorti d'avantage la houle. Les fragments coralliens sont plus nombreux et la végétation du haut de plage a progradé depuis 1997.

Figure 9 : Vue de la plage depuis le Cap Champagne (vers le NE).

4.2.2. Cap Boucan Canot au Cap Homard

Observations

La largeur de la plage : 2 zones peuvent être distinguées. Sur les premiers 400 m situés au sud du Cap Boucan Canot, la largeur globale de la plage est importante. Elle est en moyenne de 40 m et peut atteindre 55 m. Le bas de plage occupe une largeur de 15 à 20 m. C'est dans cette zone que se concentrent la plupart des baigneurs.
Au sud de cette première zone sur une longueur de 350 m, la plage devient plus étroite. La largeur moyenne étant de 14m. Le bas de plage n'occupe alors qu'une largeur de 6-7m.

Les pentes : celles du bas de plage sont moyennes à fortes, surtout en ce qui concerne la partie nord du secteur. Celles du haut de plage, sont faibles à moyennes.
La granulométrie et la composition lithologique : cette zonation concerne aussi la granulométrie car on retrouve des sables moyens en bas de plage et des sables grossiers en haut de celle-ci. Les sédiments de ces deux faciès étant bien classés et essentiellement d'origine corallienne.
Il est à noter l'absence totale de tout fragment corallien sur le secteur nord de la plage, c'est à dire la zone la plus fréquentée. On retrouve quelques-uns à proximité du Cap Homard, au sud du secteur.
Les morphologies particulières : ce secteur est caractérisé par la présence de la Ravine et de la Passe de Boucan Canot ainsi que celle de croissants de plage (beach cusps).
La végétation : en dehors des zones aménagées, la limite de haut de plage est surtout colonisée par des "Patates à Durand". Ceci est particulièrement évident sur la partie sud du secteur.
Les ouvrages et autres aménagements : le front de mer de ce secteur très touristique est aménagé par une promenade et au nord de la ravine, par une série de petites terrasses sableuses délimitées par des rangées de piquets en bois. De plus, un terrain sur la plage a été aménagé servant à la pratique du volley-ball.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

La partie la plus touristique correspond à la portion la plus large de la plage ce qui lui permet d'absorber la totalité de l'énergie des fortes houles. D'ailleurs, les petites terrasses aménagées en haut de plage ainsi que la promenade ne montrent aucun signe d'érosion. De plus, la ravine présente dans cette zone assure occasionnellement une alimentation de la plage en sédiments terrestres. Bien que très touristique, cette zone est stable.

Figure 10 : Vue de la plage depuis le Cap de Boucan Canot (vers le S).

Ceci est valable pour la portion sud. Malgré le fait qu'elle soit plus étroite, l'abondante végétation présente en haut de plage indique qu'elle ne subit pas d'érosion marine.

4.2.3. Cap Homard à la Pointe des Aigrettes

Observations

La largeur de la plage : elle est maximale à proximité du Cap Homard (environ 50m), diminuant progressivement vers le sud pour n'atteindre que 5m à l'approche de la pointe des Aigrettes. Le bas de plage occupe près du tiers de cette largeur totale.
Les pentes : elles sont faibles atteignant rarement les 4°.
La granulométrie et la composition lithologique : cette plage est constituée de sables moyens, bien classés. Ils sont majoritairement d'origine corallienne. Les fragments coralliens sont présents sur la totalité de la plage en fort pourcentage.
Les morphologies particulières : seule la Passe Homard a été observée.
La végétation : sur les 280m les plus au nord, la limite de haut de plage est colonisée par une couverture végétale rampante laissant place, au sud, à des arbres.
Les ouvrages et autres aménagements : sur la partie la plus étroite du secteur, un mur a été érigé afin de protéger les habitations situées à proximité immédiate de la plage.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

Sur les premiers 330 m de ce secteur, le récif frangeant dissipe la plus grande partie de la houle arrivant à la côte. La plage est donc protégée comme en témoigne l'abondante couverture végétale présente en haut de celle-ci (Figure 11). Les nombreux fragments coralliens constituent un apport sédimentaire régulier. Ce segment ne présente pas de marque d'érosion et est donc considéré comme stable.

Figure 11 : Vue de la plage depuis le Cap Homard (vers le SO).

Ce n'est pas le cas du segment de 170 m de long situé à proximité de la pointe des Aigrettes. La houle pénètre au niveau de la passe du Cap Homard pour atteindre directement la plage. Celle-ci n'est pas suffisamment large (surtout l'extrémité sud) ni pentue pour absorber complètement l'énergie des vagues. Cela se traduit par un affouillement des racines des arbres et une détérioration des murs de protection des habitations. Ce segment est en déséquilibre. Il présente une érosion, qui pour l'instant, est faible.

4.2.4. Pointe des Aigrettes au Port Saint Gilles

Observations

La largeur de la plage : la partie nord du site, orientée NNE-SSO et qui s'étend sur près de 330 m, est assez homogène possédant une largeur moyenne de 22 mètres. Le bas de plage atteint alors 7m environ. Par la suite, la zone change d'orientation devenant NO - SE sur 1700 m. Cette frange est très étroite avec une largeur moyenne de 11m. Son maximum se situe au niveau du cimetière (19 m) mais certaines portions peuvent se réduire à 5-6 mètres. Le bas de plage se limite alors à quelques mètres. Enfin, la zone la plus au sud, correspondant à la plage des Roches Noires s'étend sur des largeurs variant entre 25 et 40 m.
Les pentes : la frange littorale présente, sur toute sa largeur, des pentes moyennes à fortes à l'exception de la zone des Roches Noires où la pente du haut de plage est faible à moyenne et forte dans sa partie inférieure.
La granulométrie et la composition lithologique : entre le sud du cimetière et le port de Saint-Gilles, la plage est constituée de sables moyens bien classés. Le reste de la zone se compose de sables très grossiers. Ces deux faciès étant essentiellement d'origine corallien.
Les fragments coralliens sont absents de ce secteur, hormis une zone d'une cinquantaine de mètres de longueur située à proximité de la Pointe des Aigrettes où ils sont très nombreux.
Les morphologies particulières : la presque totalité du rivage est bordée par des beach rocks (bancs de grès de plage) qui sont décalés d'environ 7m en direction du récif, sauf au niveau des Roches Noires où il existe un spot de surf. De plus, la Ravine Grand Fond gagne la côte à environ 230m au sud de la pointe des Aigrettes.
La végétation : hormis les zones aménagées, la végétation rampante est omniprésente en limite de haut de plage.
Les ouvrages et autres aménagements : mis à part un mur de protection de 130m de long situé au niveau du Cap à Paul, l'essentiel des constructions se concentre à proximité des Roches Noires : murs et murets de protection, promenade de bord de mer, épis et aménagements portuaires.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

Le premier segment de 345 m de long correspond à une portion de plage qui est large et alimentée occasionnellement en sédiments par les exutoires des deux ravines. Il est protégé de la houle par le récif. C'est une zone stable comme en témoigne la végétation du haut de plage qui a progressé depuis 1997.
Le segment suivant de 371 m correspond au changement d'orientation de la côte (NNE-SSO vers NO-SE) qui engendre la diffraction de la houle. Celle-ci s'engouffre jusqu'à la plage au niveau du mur de protection. Le banc de beach rock situé à proximité de la ligne de rivage ne suffit pas à absorber complètement toute l'énergie de la houle et donc à éviter l'érosion de la plage. Ce n'est pas le cas de la portion juste au nord du mur. Etant moins exposée aux vagues, elle a un comportement plus stable. Dû à la succession de ces zones sur une faible distance et à la complexité de la circulation hydrodynamique, ce segment a été classé comme étant de "transition".

A long terme, le 3ème segment de 1284 m peut être considéré comme étant en érosion car l'actuelle ligne de rivage est en recul par rapport à l'ancienne, matérialisée par les bancs de grès de plage. Or, bien que la plage soit étroite, les pentes sont moyennes à fortes et le récif dissipe, actuellement, la plus grande partie de l'énergie de la houle (Figure 12). De plus, les bancs de grès de plage agissent comme une protection supplémentaire. Cela permet à la végétation de coloniser le haut de plage. C'est pourquoi ce segment a été considéré comme étant stable.

Figure 12 : Vue de la plage depuis le sud du cimetière (vers le SE).

Le 4ème segment, de 146 m de long, est directement exposé à l'action des vagues. Il n'est plus protégé par le récif et se situe en dehors de l'influence du port de Saint Gilles. La plage, étant très étroite, ne peut pas absorber toute l'énergie et de ce fait les différents ouvrages présents dans cette zone sont soumis à rude épreuve (Figure 13). Cette portion très touristique connaît une érosion prononcée.

Figure 13 : Etat des ouvrages du nord de la plage des Roches Noires.

Le dernier segment de 157 m est situé dans une zone "d'ombre" à l'abri du port et du récif. Il est donc stable.

4.2.5. Port de Saint Gilles à la Passe de l'Ermitage

Observations

La largeur de la plage : le secteur est caractérisé par une alternance de zones relativement larges et d'autres plus étroites. La partie nord du secteur correspond à une zone large (40 m en moyenne) s'étendant jusqu'à la villa Bourbon. A partir de ce point et jusqu'au sud du Village de vacances, la plage se rétréci ne faisant en moyenne que 20 m de large et se réduisant par endroits à 8m. A la suite de quoi, la plage atteint jusqu'à 40 m de large sur une portion de 700 m de long. Une dernière portion étroite de 15 à 5 m de large longe les constructions légères (servant à la restauration) jusqu'au Poste de secours pour atteindre finalement le banc de l'Ermitage où la largeur est maximale (95 m).
La largeur du bas de plage peut varier entre 1/5 et 4/5 de la largeur totale de la plage en fonction de la pente.
Les pentes : c'est le premier des secteurs a être complètement couvert par les mesures du cabinet de géomètres Talibart. Sur les 470 m les plus au nord du secteur, la rupture de pente entre le haut et le bas de plage est très nette. Le premier de ces compartiments se caractérise par des pentes faibles à moyennes (inférieures à 6°). Le deuxième, par des pentes plus importantes entre 6 et 10°. Par la suite, cette rupture disparaît et, sur environ 200 m, on distingue une même pente (4-6°) sur toute la largeur de la plage. Sur les 2090 m suivants la différentiation des pentes entre le haut et le bas de plage réapparaît mais cette fois-ci, les tendances sont inversées : la pente est de 6 à 10° en haut de plage et inférieure à 4° en bas de celle-ci. Enfin sur les derniers 540m, la pente de la plage varie majoritairement entre 4 et 6° à l'exception d'une bande située en limite de haut de plage où elle est plus importante (6-8°).
C'est à proximité immédiate du port de Saint-Gilles (en haut de plage) et au niveau du banc de l'Ermitage que les pentes sont les plus faibles (inférieures à 2°). Les plus importantes, dépassant les 10°, se situent au niveau du premier changement de l'orientation de la côte (coordonnée nord 57 850 m), au sud de la Villa Bourbon, au nord de la case Coralia (coordonnée nord 55 750 m) et au niveau de la case de location de kayaks (coordonnée nord 55 430 m).
La granulométrie et la composition lithologique : les sédiments sont essentiellement d'origine corallienne. Outre le banc de l'Ermitage où l'on retrouve des graviers et des sables grossiers, le reste du secteur est constitué de sables moyens bien classés.
Les fragments coralliens sont très présents sur tout le secteur et en particulier sur une portion de plage longue de 100 m et située à 150 m au nord de la Villa Bourbon.
Les morphologies particulières : des bancs de grès de plage (beach rocks) de longueurs variables allant de 25 à 100 m ont été observés à proximité de la ligne de rivage au niveau du Village de vacances et au nord de la case Coralia.
Ce secteur se caractérise, en outre, par la présence du banc de l'Ermitage. Il se situe en bordure nord de la ravine du même nom. Une partie des sédiments est ici expulsée vers l'océan par la passe de l'Ermitage, contigu au banc, et qui entaille la barrière récifale.
La végétation : jusqu'au sud de la Villa Bourbon, la végétation en limite de haut de plage est dominée par la présence de "Patates à Durand" pour laisser place par la suite et jusqu'à la passe de l'Ermitage, à une forêt de Filaos. Il est possible d'observer par intermittence, sur la partie nord de la forêt, des zones où les racines de la première

rangée de Filaos affouillement. Cet affouillement devient de plus en plus marqué et continu au fur et à mesure que l'on se déplace vers le sud.
Les ouvrages et autres aménagements: ils sont très diversifiés dans le secteur. On note la présence :

- d'un enrochement (d'origine volcanique) parallèle à la côte, débutant au niveau de la digue sud du port de Saint-Gilles et s'étendant sur 74 m,
- d'un mur de 295 m de long protégeant des vagues les habitations situées au sud de la Villa Bourbon,
- un épis, long de 8 m, constitué de roches basaltiques à 50 m du mur précédent,
- de 2 pontons non entretenus d'une quinzaine de mètres de long, à 142 m respectivement au sud de l'épis et au nord de la case Coralia,
- 2 constructions légères de location de canoë et de kayaks,
- une série de 4 restaurants (constructions légères) étalés sur 240 m en limite de haut de plage, le plus au nord étant situé à 480 m du poste de secours,
- 1 bâtiment en dur correspondant au poste de secours.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

Les observations de terrain ainsi que l'examen des ortho-photos mettent en évidence, sur ce secteur, un gradient d'érosion très marqué qui croît vers le sud. Le premier segment, de 850 m de long, correspond à une portion de plage large (valeur minimale de 14 m). Le bas de plage est étroit et de forte pente (allant jusqu'à 10°), indiquant que les vagues sont rapidement amorties. Elles atteignent rarement la partie supérieure du haut de plage car le couvert végétal s'est beaucoup développé depuis 1997. La présence des fragments coralliens assure une alimentation régulière en sédiments. Pour ces raisons, cette zone est considérée comme étant stable.
A partir de la villa Bourbon, la plage devient plus étroite. La pente du bas de plage tend à diminuer et celle du compartiment supérieur à augmenter. La partie sèche de la plage est lors très limitée (Figure 14). L'examen de la végétation du haut de plage constituée essentiellement de Filaos indique l'alternance, sur une portion de littoral d'environ 2760 m de long, d'une multitude de zones faiblement érodées et d'autres plus stables. Il s'agit donc d'un faciès de transition. Parmi les zones érodées, 5 segments se démarquent par leur longueur de 377, 37, 220, 139 et 251 m respectivement (du nord au sud). Ils ont été répertoriés et figurent donc en annexe 4 (hors texte).

Figure 14 : Etat de la plage à proximité de la Villa Bourbon (vers le S).

Le segment suivant de 743 m de longueur se caractérise par un recul net du trait de côte comme en témoignent les racines des Filaos qui affouillent sur près d'un mètre de hauteur et l'état des restaurants de bord de plage (Figure 15).

Figure 15 : Erosion prononcée au niveau des restaurants de bord de plage à proximité du banc de l'Ermitage.

Le dernier segment long de 125 m correspond au banc de l'Ermitage. Son importante extension latérale ainsi que sa pente douce indiquent qu'il est phase d'accrétion.

Ce secteur se comporte comme si la transformation de la houle, suite au passage du récif, conjuguée à l'action favorable du vent engendrait au niveau du chenal un courant résiduel orienté vers le nord. Ce courant serait capable d'éroder les sédiments situés en

dehors de la zone d'influence de la passe de l'Ermitage et de les transporter vers le nord jusqu'à proximité de la digue du port de Saint Gilles, où ils se déposeraient. Evidemment cette hypothèse nécessite d'être démontrée par des mesures de terrain (courantologie et flux sédimentaires).

4.2.6. Passe de l'Ermitage au Trou d'Eau et plage de Bellevue

Observations

La largeur de la plage : jusqu'au poste de secours on observe 4 zones dont la largeur maximale varie entre 25 et 35 m : nord du Club de vacances, zone du camping, nord du Copa Cabana et zone du Planche Alizée. Celles-ci sont séparées par des portions de plage étroites (4 à 10 m) et de faible extension : Club de vacances, sud du camping, club Copa Cabana et poste de secours. Par la suite, la largeur de la plage s'homogénéise atteignant une valeur moyenne de 18 m jusqu'au niveau de la ravine du Trou d'Eau. Puis, on retrouve la succession d'une portion étroite (6-7 m) s'étendant sur 70 m, d'une autre plus large (15-22 m) au niveau du club de Kayak et finalement une nouvelle portion étroite variant entre 5 et 7 m.
La plage du lotissement Bellevue se caractérise par une partie centrale large d'une trentaine de mètres encerclée au nord et au sud par des zones de largeur moyenne de 15 m.
Le bas de plage n'excède pas le tiers de la largeur globale de la plage.
Les pentes : du haut de plage sont plus importantes que celles du bas sur tout le linéaire considéré. Elles peuvent varier entre 8 et 10° à proximité de la passe de l'Ermitage et entre le Copa Cabana et le sud du poste de secours et atteindre jusqu'à 12° au niveau du Club de vacances et du club de kayak. Sur les autres zones, elles n'excédent pas les 6°. En ce qui concerne la plage du lotissement Bellevue, les pentes peuvent être supérieures à 12° sur certains endroits en limite de haut de plage.
La granulométrie et la composition lithologique : la plage située entre la passe de l'Ermitage et le Trou d'Eau possède une granulométrie assez homogène. Il s'agit de sables moyens biens classés ayant essentiellement une origine corallienne. La densité des fragments coralliens est très importante, tant en haut qu'en bas de plage et en particulier au nord de la jetée et au sud du camping. Par contre, ils ont été enlevés au niveau du Copa Cabana et de Planche Alizée. Il est à noter qu'en face du camping, on retrouve un nombre important de blocs de corail pluridécimétriques (30 à 60 cm).
Sur la plage du lotissement Bellevue, l'origine des sédiments est toujours essentiellement corallienne et leur taille augmente au fur et à mesure que l'on se dirige vers le sud (granoclassement croissant). Dans un premier temps, l'ensemble de la plage est constitué de sables moyens. A environ 80 m au sud de l'épis, la granulométrie se différencie entre le haut et le bas de plage. On retrouve respectivement des sables moyens et des sables très grossiers. Enfin, les derniers 175 m du segment sont composés d'un mélange de galets et de sables très mal classés.
Les morphologies particulières : sur une portion de 690 m située au sud du poste de secours il existe, en limite de haut de plage, des accumulations sableuses sous forme de banquettes colonisées par une dense couverture végétale rampante (essentiellement composée de "Patates à Durand"). Celles-ci prennent fin au niveau de la Ravine du Trou

d'Eau où se développe un petit banc sableux. Il résulte du dépôt des sédiments apportés par cette dernière.
Un autre banc sableux de dimensions plus importantes se développe au niveau de la Ravine des Trois Bassins (limite sud du secteur d'étude). Sur le prolongement de celle-ci, la frange récifale décrit une dépression par laquelle la houle pénètre en se dissipant jusqu'à la plage. Pour terminer, des falaises d'érosion d'une hauteur moyenne de 1,5 m ont été observées en limite de haut de plage au niveau du mur de protection de la plage du lotissement Bellevue.
La végétation : hormis les segments nord du club de Vacances et sud du club de kayak, où se développe une forêt de Filaos, la quasi-totalité de la limite de haut de plage est colonisée par une couverture dense plus ou moins étendue et composée essentiellement de "Patates à Durand".
Les ouvrages et autres aménagements : en limite de haut de plage on retrouve des constructions aménagées pour les loisirs (clubs de voile et de kayak), la restauration et la détente (Copa Cabana et Planche Alizée) ainsi que pour l'assistance (poste de secours) des vacanciers. Deux murs de 215 et 105 m respectivement ont été érigés pour protéger les habitations situées à proximité de la passe de l'Ermitage et entre le club de voile et le poste de secours. De plus, au nord du Club de vacances, il existe un ponton de 25 m de long.
Sur la plage du lotissement Bellevue ont été observés un épis de 18 m de long et 2 pans de mur de 87 et 121 m respectivement séparés par une canalisation d'eaux usées. Il est à noter que des parties entières du mur le plus au sud sont très détériorées et menacent de tomber.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

Le 1er segment de 490 m de long, correspond à une plage étendue, le haut de celle-ci étant bien développé et riche en fragments coralliens. La pente globale est importante (de 6 à 8°) et la végétation qui se développe à la limite inférieure de l'arrière plage ne présente pas de marques d'érosion. C'est pourquoi ce segment est considéré comme stable.
Le 2ème segment (254 m de longueur) se situe au niveau du Club de vacances, là où la plage est très étroite et les pentes fortes. A cet endroit il existe une petite passe, au niveau du récif, par laquelle les sédiments sont expulsés vers le large. Cette configuration témoigne d'un déséquilibre dans le bilan sédimentaire de la plage. Elle est en faible érosion.
Le 3ème segment de 425 m de long présente les mêmes caractéristique que le 1er, quoique les pentes sont moins prononcées. C'est une zone stable.
Le segment suivant (171 m) se situe au niveau du Copa Cabana. La plage est ici étroite, et de pente moyenne à forte. Les fragments coralliens sont rares. Cette zone subit une légère érosion.
Le 5ème segment se prolonge sur 910 m. Le haut de plage est bien développé et riche en fragments coralliens. La végétation rampante s'est beaucoup développée depuis 1997. C'est une zone stable.
Le 6ème segment (204 m de long) correspond à un stade plus évolué du précédent puisqu'une banquette colonisée par des "Patates à Durand" s'est développée en limite inférieure de l'arrière plage, témoignant ainsi d'apports réguliers en sédiments (Figure

16). C'est sans doute la Ravine du Trou d'Eau qui contribue à l'alimentation sédimentaire. Ce segment est en accrétion.

Figure 16 : Banquette colonisée par des "Patates à Durand" au nord de la Ravine du Trou d'Eau (vers le SE).

Le segment suivant de 426 m de long débute au niveau du club de Kayak La plage devient rapidement très étroite en se dirigeant vers le sud. La pente du bas de plage reste inférieure à 6°. Cette zone est donc fragilisée comme l'indiquent les racines des Filaos qui affouillent sur quelques dizaines de centimètres. Elle subit une érosion faible.

Cinq segments peuvent être identifiés au niveau de la plage Bellevue. Le 1er, de 268 m de long, est caractérisé par un haut de plage étendu et par une végétation qui a progradé depuis 1997 caractéristique d'une zone stable.
La portion suivante, longue de 117 m, est encore plus étendue que la précédente et présente une pente douce. Il s'agit d'une zone en accrétion.
Le 3ème segment (105 m de long) possède des caractéristiques similaires au précédent hormis la présence, en limite de haut de plage, de falaises d'érosion et d'un mur de protection très détérioré qui indiquent une érosion récente (Figure 17). Ce secteur peut être directement atteint par les vagues qui pénètrent dans le lagon au niveau du chenal situé dans le prolongement de la Ravine des Trois Bassins.

Figure 17 : Falaises d'érosion au niveau du haut de plage. Plage de Bellevue.

Le 4ème segment (141 m de long) se caractérise par des pentes plus importantes (aux alentours de 10°) qui permettent de dissiper l'énergie des vagues sur une faible étendue protégeant, ainsi, le haut de plage, si bien que la végétation s'est développée depuis 1997. Cette zone connaît donc une certaine stabilité

Le dernier segment (49 m de long) correspond à la rive nord de la Ravine des Trois Bassins. Cette dernière étant très active, elle évolue rapidement (phases d'accrétion/érosion), c'est pourquoi elle a été classée comme une zone de transition.

4.2.7. Pointe des Trois Bassins à la Passe de Trois Bassins

Observations

La carte thématique des observations concernant ce secteur est représentée Figure 18.

La largeur de la plage : en 132 m la largeur de la plage passe très vite de 6 à 48 m. Cette tendance s'inverse car sur les prochains 183 m, cette valeur décroît progressivement jusqu'à 10 m. Par la suite, la plage conserve cette largeur moyenne sur une portion de près de 545 m. Le dernier segment de 110 m de long, double de largeur avec une valeur de 20 m.

Les pentes : le profil de la plage est régulier (4 à 6°) jusqu'au niveau de la première ravine. Par la suite, cette dernière conditionne le relief de la plage sur un rayon de 70 m approximativement. Les bordures nord et sud de la ravine présentent des pentes très fortes (supérieures à 12°) alors que celles du chenal sont faibles à moyennes (inférieures à 4°) en haut de plage et deviennent moyennes (4 à 6°) à proximité de la ligne d'eau. Puis la pente de l'ensemble de la plage s'accentue variant entre 6 et 10° et parfois atteignant 12° jusqu'à la Ravine de la Souris Chaude. A ce niveau, seules les pentes du haut et de l'arrière plage sont importantes (supérieures à 12°), celles proches de la ligne de rivage ne dépassant pas les 4°. Au sud de cette ravine, la pente générale de la plage augmente variant généralement entre 6 et 10°. Sur les derniers 175 m, les pentes du haut et du bas de plage sont très contrastées étant, respectivement, supérieures à 12° et inférieures à 6°.

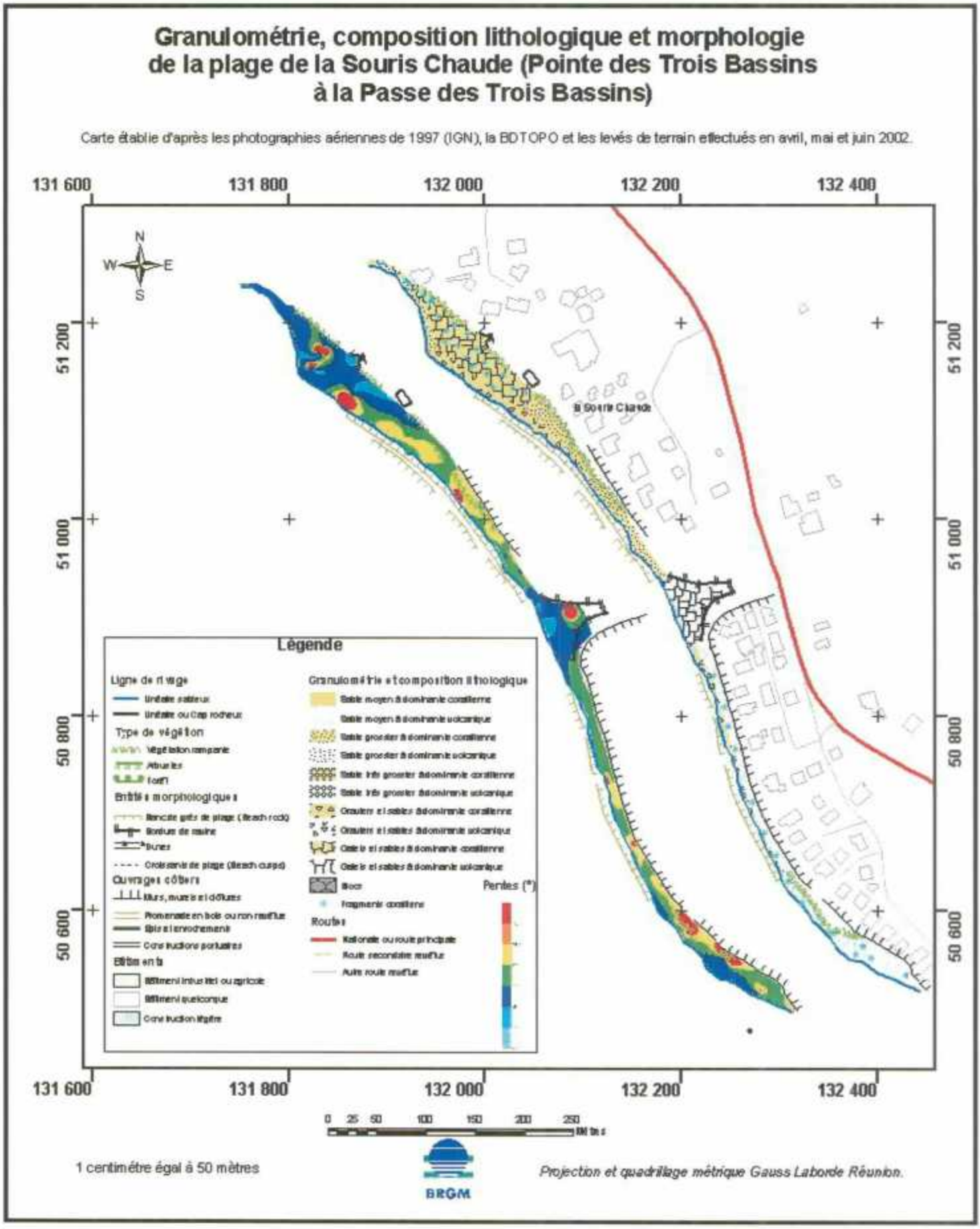


Figure 18 : Granulométrie, composition lithologique et morphologie de la plage de la Souris Chaude.

La granulométrie et la composition lithologique : sont très variées sur ce secteur. D'une façon générale, la composition des sédiments est dominée par les apports coralliens au nord de la Ravine de la Souris Chaude et par les apports volcaniques au sud de celle-ci. Dans ce dernier compartiment, seule une étroite bande située à proximité immédiate de la ligne de rivage présente une composition légèrement plus "corallienne". Elle est constituée de sables grossiers et de graviers. Les sédiments de la ravine, elle-même, correspondent à un mélange de galets et de sables. Le reste de cette zone, dominée par les apports volcaniques, est constitué essentiellement par des sables moyens.
Dans la zone nord, dominée par les apports coralliens, on retrouve les sédiments les plus grossiers au niveau de la ravine. Il s'agit d'un mélange de galets et de sables en haut de plage et d'un mélange de graviers et de sables en bas de celle-ci. Le reste de cette zone est constitué de sables grossiers.
Les morphologies particulières : ce secteur est caractérisé par la présence des exutoires de deux ravines, de la passe des Trois Bassins et de bancs de grès de plage (beach rocks). Ceux-ci se disposent suivant une première ligne quasi continue, parallèle et très proche de la ligne de rivage (écart maximal de 7 m). Il est possible d'observer sur la partie nord de la zone, une deuxième ligne discontinue et distante de 7 à 10 mètres de la première.
La végétation : elle est surtout présente dans la partie nord de ce secteur. Il s'agit essentiellement de couvertures de "Patates à Durand" peu étendues.
Les ouvrages et autres aménagements : des murs de protection pour les habitations ont été érigés en limite du haut de plage, en particulier au sud de la Ravine de la Souris Chaude. On note aussi la présence de quelques canalisations provenant des habitations qui affleurent sur la plage. Enfin, un terrain pour la pratique du volley-ball a été aménagé au niveau du village des vacances.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

La carte thématique de ce secteur est présentée Figure 19.
La morphologie du 1er segment (183 m de longueur) est directement liée à la présence de la première ravine qui déverse, sur le haut de plage, d'importantes quantités de sédiments. Comme ce régime d'alimentation est par nature irrégulier et violent, le segment peut évoluer rapidement. C'est pourquoi il a été classé comme une zone de transition.
Le segment suivant, long de 240 m se caractérise par la présence d'un banc de grès de plage, parallèle à la côte et distant d'environ 15 m du rivage actuel. Il matérialise l'ancienne ligne de rivage. Cette tendance érosive se maintient actuellement puisqu'un 2ème banc de grès de plage affleure à proximité de la laisse des basses mers. Ce segment subit, donc, une érosion faible et durable.
Le 3ème segment (118 m de long), à l'image du 1er, est modelé par la présence d'un débouché de ravine. Il correspond donc à une zone de transition.
Le 4ème segment de 202 m de long correspond à une zone plus étroite située à proximité immédiate de la deuxième ravine qui l'alimente en sédiments (composition lithologique de la plage dominée par les apports volcaniques). Les bancs de grès de plage proches du rivage ainsi que les pentes moyennes à fortes de la plage contribuent à dissiper

efficacement l'énergie de la houle si bien qu'aucune trace d'érosion n'est visible au niveau des murs de protection. Cette zone est actuellement stable.

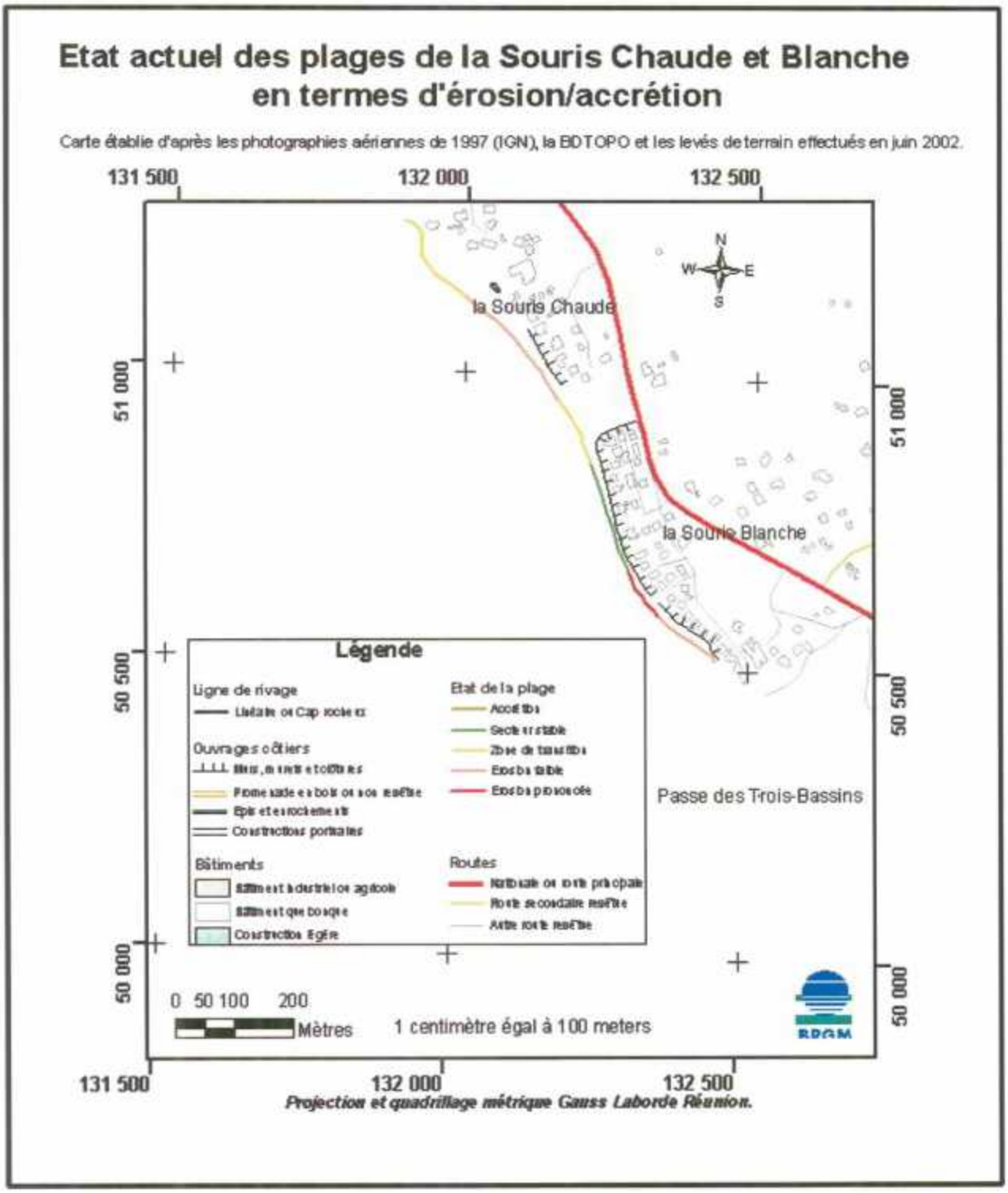


Figure 19 : Etat actuel de la plage de la Souris Chaude en termes d'érosion/accrétion.

Ce n'est pas le cas du segment suivant (94 m de longueur). Le déchaussement de la base du mur de protection indique une érosion prononcée (Figure 20).

Figure 20 : Traces d'érosion à la base des murs de protection. Sud de la plage de la Souris Chaude.

Les traces d'érosion, visibles sur les ouvrages de protection du dernier des segments (124 m de long), sont moins prononcées. L'érosion est donc plus faible.

4.2.8. Comportement général du site

Le tableau suivant résume le comportement global du site en tenant compte des secteurs aménagés (présence d'ouvrages de protection, promenades, constructions légères de bord de mer, etc.) et non aménagés (évolution libre de la plage). Il contient les pourcentages des zones en accrétion, stables, en transition, en érosion faible et en érosion prononcée qui ont été recensées.

	Accrétion	Stable	Transition	Erosion faible	Erosion prononcée
Zones aménagées (40%)	0%	41%	7,6%	39%	12,4%
Zones non aménagées (60%)	4,5%	66%	14,1%	8,8%	6,6%
Tout le site	2,7%	56%	11,5%	20,8%	9%

Tableau 2 : Bilan de l'état des plages du site 1.

Les secteurs aménagés représentent 40% du site. Sur ces 40% de côte, 51,4% sont en érosion, dont 12,4% en érosion prononcée. Le reste présente un comportement majoritairement stable (41%). Seuls 7,6% sont en transition.

Cette tendance s'inverse lorsque l'on considère les secteurs non aménagés (60% du site) : seuls 15,4% des plages sont en érosion (dont 6% en érosion prononcée), 66% sont stables, 4,5% en accrétion et 14,1% en transition.
Sur l'ensemble du site (zones aménagées et non aménagées), ce sont les zones stables qui sont les plus nombreuses (56%). L'érosion, l'accrétion et les zones de transition représentent, respectivement, 29,8%, 2,7% et 11,5% des cas.

4.3. SITE 2 : SAINT LEU

Ce site s'étend depuis la Pointe des Châteaux au nord, jusqu'à la Pointe au Sel au sud. Cela représente près de 6,3 km. Il s'agit d'un littoral morcelé par de nombreuses ravines. La granulométrie présente plusieurs modes allant des sables moyens aux blocs. En fonction des secteurs, la composition des sédiments peut être dominée par les apports coralliens ou bien volcaniques. L'orientation de la côte est NO - SE entre la Pointe des Châteaux et le nord de la ville de Saint-Leu alors que le reste de la zone est quasiment parallèle au nord.
La portion située au nord de la Ravine des Poux contraste avec celle du sud par la présence de nombreux ouvrages : épis, enrochements, murs de protection, promenades et aménagements portuaires.

Les 6,3 km du site ont été couverts en 1 jour et demi. Ils sont caractérisés par des niveaux de marée compris entre 0,30 et 0,60 m, des vents faibles à moyens (ces derniers provenant de l'OSO) ainsi qu'une houle variant entre 0,5 et 1 m.

Les données disponibles concernent :

Enregistrements GPS	2377 points
Nombre de photographies	20
Ortho-photos utilisées	**6** : 97-B13; 97-B14; 97-C13; 97-C14; 97-C15; C-16

Les secteurs composant ce site sont :
- Pointe des Châteaux au sud de la Ravine de Fontaine (1780 m de longueur)
- Port de Saint Leu au nord de la Ravine des Poux (1330 m)
- Ravine des Poux à la Ravine du Cap (888 m)
- Cimetière au lotissement les Quatre Robinets (1053 m)
- Plage de la Pointe au Sel (351 m)

4.3.1. Pointe des Châteaux au sud de la Ravine de Fontaine (1780 m)

Observations

La largeur de la plage : au niveau de la ferme corail et de Cayenne, la largeur de la plage est assez régulière d'une valeur moyenne de 17 m. Par la suite, elle se rétrécit considérablement ne faisant que 6 à 8 m sauf au niveau des exutoires des ravines de la Chaloupe et de Fontaine où elle peut atteindre 33 m. La largeur du bas de plage varie entre 1/3 et 1/2 de la largeur globale en fonction des zones.

Les pentes : les mesures effectuées par le cabinet Talibart ne couvrent pas ce secteur. Sur le terrain, des pentes moyennes ont pu être observées au niveau des plages de la ferme corail et de Cayenne. Entre ce point et la Ravine de la Chaloupe, la pente devient plus faible. Finalement, au niveau des plages situées au sud de cette ravine, elle s'accentue (moyenne à forte).

La granulométrie et la composition lithologique : au niveau de ce secteur, seuls les premiers 537 m de la plage de la ferme corail sont composés de sédiments d'origine majoritairement corallienne. Il s'agit de sables très grossiers présents dans la partie nord et d'un mélange de galets et de sables présent au sud. Sur le reste du secteur se sont les apports volcaniques qui prédominent. Les derniers 182 m de la plage de la ferme corail sont constitués de sables moyens. Sur le compartiment supérieur de la plage Cayenne on retrouve des graviers et des sables; sur le compartiment inférieur, des sables très grossiers. Par la suite, une zone de sables moyens et une autre de graviers et de sables se succèdent jusqu'à la Ravine de la Chaloupe. A ce niveau c'est un mélange de galets et de sables qui prédomine. Des blocs sont présents à l'extrémité ouest du banc formé par les apports de la ravine. Ensuite sur une portion de 107 m environ, le mélange de galets et de sables persiste en bas de plage alors que dans la partie supérieure on retrouve des sables grossiers. Cette différentiation cesse d'exister sur une longueur de 50 m puisque l'ensemble de la plage est couvert par le mélange de galets et de sables. Sur la portion allant jusqu'à la Ravine Fontaine, le bas de plage est constitué de sables moyens et le haut, du même mélange de galets et de sables que précédemment. Cette tendance s'inverse à partir de cette ravine car les sables moyens se situent, cette fois-ci, en haut de plage et les galets et les sables, en bas de celle-ci.

Les morphologies particulières : des bancs de grès de plage (beach rocks) sont présents au nord de ce secteur. Un premier banc se situe à une distance maximale de 5 m de la ligne de rivage alors qu'un deuxième banc, plus étendu que le premier, se situe à environ 8 m de celle-ci.

La zone délimitée par les deux ravines est caractérisée par la présence de croissants de plage (beach cusps). Ceux-ci se situent à la limite supérieure du bas de plage et s'étendent sur près de 230 m sur des portions recouvertes de galets et de sables moyens.

La végétation : elle est quasi omniprésente en limite de haut de plage. Il s'agit essentiellement d'une étroite couverture de végétation rampante ("Patates à Durand").

Les ouvrages et autres aménagements : il y a des murs de protection au niveau de toutes les zones : nord de la plage de la ferme de corail (189 m de long), sud de la plage Cayenne(61 m), au nord de la Ravine de la Chaloupe (82 m) auquel sont associés des enrochements, et entre les deux ravines (Chaloupe et Fontaine, 380 m). De plus un pont permet de traverser la Grande Ravine.

A proximité de la ferme corail se trouvent deux jetées de 11 et 33 m respectivement. Enfin, un épis de roches basaltiques de 45 m de long a été érigé au sud de la ravine de Fontaine.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

Le banc de grès de plage relique (à une dizaine mètres du rivage actuel) présent sur les premiers 208 m de la plage de la Ferme Corail atteste du recul du trait de côte. Celui-ci se poursuit actuellement puisqu'un autre banc de grès de plage affleure à proximité de la

laisse de basse mer. Cela est, en outre, confirmé par la quasi-absence de végétation en limite supérieure du haut de plage. Cette zone subit une faible érosion.
La portion restante de cette plage, longue de 513 m, est stable. La plage est large et la végétation du haut de plage s'est bien développée depuis 1997.
C'est aussi le cas pour les 203 m de la plage Cayenne et le segment de 120 m suivant. Ils présentent les mêmes caractéristiques de stabilité.
La stabilité du littoral est interrompue sur une longueur de 83 m. La plage est étroite (largeur inférieure à 10 m) et soumise à une forte érosion comme l'indique le mauvais état du mur de protection qui, de plus, doit être renforcé par des enrochements pour contenir les assauts des vagues.
Le segment suivant de 165 m de long correspond à l'exutoire de la Ravine de la Chaloupe. Il s'agit donc d'une zone de transition.
Le 7ème segment correspond à une petite anse de 163 m de long où la présence de croissants de plage atteste d'une grande disponibilité en sédiments. Cependant la très faible largeur de la plage (5 m en moyenne) ainsi que le léger recul de la végétation par rapport à 1997 indiquent que la zone est en légère érosion (Figure 21). L'examen des vues aériennes révèle, en fait, que ce secteur est très exposé aux vagues. Celles-ci se propagent localement jusqu'à la plage après avoir pénétré dans le lagon au niveau d'une interruption ou d'une dépression du récif.
Le segment suivant de 117 m de long est, quant à lui, protégé des vagues par le récif. C'est une zone stable comme en témoigne la progression de la couverture végétale en haut de plage depuis 1997.
La portion de plage suivante (87 m de long) a été classée comme une zone de transition puisqu'elle coïncide avec le débouché de la Ravine de Fontaine.
Le dernier segment (78 m de long) correspond à l'élargissement de la plage située au sud de l'épis. Il s'agit, en fait, de la zone d'accumulation sableuse se développant à l'ombre de ce type de structure. Il existe donc, à ce niveau, une circulation sédimentaire résiduelle orientée sud-nord. C'est une zone en accrétion.

Figure 21 : Vue de la plage située au sud de la Ravine de la Chaloupe (vers le sud).

4.3.2. Port de Saint-Leu au nord de la Ravine des Poux

Observations

La largeur de la plage : la partie nord du pont est complètement aménagée et la plage est inexistante. Au sud de celui-ci, la largeur de la plage varie en moyenne entre 15 et 20 m. Elle peut atteindre 33 m à proximité immédiate du port se réduire sur certaines portions à 8 m. La largeur du bas de plage varie aux alentours des 5 m.
Les pentes : la faible densité des mesures du cabinet Talibart effectuées au nord du premier accès de voitures empêche de distinguer des pentes faibles à moyennes (inférieures à 4°) sur le haut de plage et des pentes plus importantes sur le bas de celle-ci (8 à 12°). Par la suite, la pente générale de la plage s'accentue (6 à 10°) pour atteindre des valeurs supérieures à 12° à proximité immédiate du deuxième accès de voitures.
La granulométrie et la composition lithologique : seuls les premiers 70 m du secteur sont composés de sédiments ayant une part "corallienne" prédominante par rapport à la part volcanique. Ce sont des sables moyens bien classés. Les 120 m de plage restants jusqu'au premier accès de voitures sont constitués de sables grossiers. Par la suite, on retrouve sur le bas de plage un mélange de graviers et de sables et en haut de celle-ci, des sables grossiers. Au niveau de la Ravine des Poux, des blocs sont présents à proximité de la ligne d'eau.
Les morphologies particulières : ce site se caractérise par la présence de l'exutoire de la Ravine des Poux ainsi que par le débouché, situé au sud du port, correspondant à la confluence des ravines du Grand et du Petit Etang.
La végétation : elle est absente en limite du haut de plage.
Les ouvrages et autres aménagements : ce secteur est très urbanisé. Il existe une promenade qui longe le bord de mer jusqu'au niveau du port. Celle-ci est protégée, côté océan, par un muret ainsi que par des enrochements. Sont évidemment présentes les constructions liées au port lui-même (digues, enrochements, cale de mise à l'eau, etc.).
La quasi-totalité de la plage située au sud du port est bordée par un mur protégeant les habitations de l'assaut des vagues. Un épis de 23 m de long, constitué de roches basaltiques, se situe tout au nord de cette plage. On retrouve, en outre, des enrochements se prolongeant sur 96 m en bordure de la ligne de rivage. Il est noter que cette zone est interrompue par deux terrassements surplombant la plage et servant d'accès aux véhicules.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

La plage est inexistante sur les premiers 738 m de ce secteur, c'est pourquoi elle n'a pas été classée. On retrouve, sur ce linéaire côtier, une promenade de bord de mer protégée par des enrochements ainsi que le port de Saint Leu.
Le 1er segment débute au sud de l'épis. Il fait 55 m de long et correspond à la zone de piégeage sédimentaire de cet ouvrage. La zone est en accrétion.
Le segment suivant, de 70 m de long, se caractérise par une pente de bas de plage plus accentuée et un compartiment supérieur plus étroit que celui des zones l'encadrant. La circulation induite par la houle est, donc, localement plus énergétique favorisant l'érosion de la plage. Cette tendance est confirmée par la quasi-disparition de la végétation rampante du haut de plage visible sur l'ortho-photo de 1997.

Le 3ème segment (216 m de longueur) correspond une plage large (20 m en moyenne), stabilisée, au nord, par des enrochements. Il n'y a pas de marques d'érosion au niveau des murs de protection. C'est donc une zone stable.
Ce n'est pas le cas du segment suivant (104 m de longueur) puisque le haut de plage est, ici, quasi inexistant. La plage d'une largeur moyenne de 10 m se limite à la zone de jet de rive, c'est-à-dire qu'elle est la plupart du temps mouillée, les vagues atteignant régulièrement la base des murs de protection (Figure 22). Cette zone subit une érosion prononcée.
Le dernier segment (117 m de long) se révèle stable : la plage s'élargit et les murs de protection ne présentent pas de marques d'érosion.

Figure 22 : Vue de la plage située au nord de la Ravine des Poux (vers le N).

4.3.3. Ravine des Poux à la Ravine du Cap

Observations

La largeur de la plage : sur les 125 m situés juste au sud de la Ravine des Poux, il y a un élargissement de la plage pouvant atteindre jusqu'à 45 m. Par la suite, la largeur moyenne de celle-ci varie entre 15 et 20 m à l'exception d'une portion de 80 m, située en face du four à chaux, qui est plus étroite. Elle ne fait que 7 à 9 m de largeur.
La largeur du bas de plage varie en moyenne entre 1/3 et 1/2 de la largeur globale.
Les pentes : hormis les parties nord et sud de la plage, où l'on peut rencontrer des pentes faibles (inférieures à 2°), le reste de la plage possède des pentes variant en moyenne entre 6 et 10° et atteignant 12° et plus au niveau du four à chaux et de la gendarmerie.
La granulométrie et la composition lithologique : seuls les sédiments constituant le bas de plage d'un tronçon de 297 m de long, situé au sud de la Ravine des Poux, présentent une composition dominée par les apports coralliens. Ce sont des sables moyens bien classés. Quelques fragments coralliens sont associés à ces sédiments.

Sur le reste du secteur, dont la composition des sédiments est dominée par les apports volcaniques, il existe un gradient croissant de la granulométrie en se dirigeant vers le

sud. Le haut de plage de la zone qui vient d'être décrite est constitué de sables moyens bien classés. Il s'en suit une première zone de 330 m de long dont le haut et le bas de plage sont constitués, respectivement, de sables grossiers et d'un mélange de galets et de sables. Elle laisse place à une dernière zone de 260 m de long dont le haut de plage est composé d'un mélange de galets et de sables et le bas de celle-ci, de blocs. Les fragments coralliens sont quasiment absents dans cette partie du secteur.
Les morphologies particulières : on retrouve le débouché de la Ravine du Cap.
La végétation : à l'exception des 200 m les plus au sud du secteur, le reste de la plage est bordé par une forêt de Filaos plus au moins dense. A partir de 210 m de la Ravine des Poux, les racines de ces arbres commencent à affouiller sur des hauteurs de plus en plus importantes (néanmoins inférieures à 0,70 m) lorsqu'on se dirige vers le sud.
Les ouvrages et autres aménagements : la plage correspondant à ce secteur est dépourvue de tout aménagement ou ouvrage en dur. Lors du levé, il a été possible d'observer comment les fragments coralliens présents dans la partie nord du secteur étaient rassemblés pour être et enterrés par la suite en haut de plage.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

Le premier segment (76 m de long) correspond au débouché de la Ravine des Poux et à sa zone d'influence, c'est pourquoi il a été classé comme étant de transition.
Le segment suivant, d'environ 150 m de long, se caractérise par une plage très large, le haut de plage étant particulièrement développé. C'est une zone stable.
Par la suite, la plage se rétrécit et sur une portion de près de 464 m de long, il est possible d'observer l'affouillement des racines des Filaos sur quelques dizaines de centimètres, indiquant que la zone subit une érosion faible (Figure 23).
Sur les 265 m restants, la granulométrie ainsi que la pente générale de la plage augmentent considérablement. Elles contribuent à atténuer rapidement l'énergie des vagues puisque la largeur de la zone de jet de rive est faible. Le haut de plage est hors de portée des attaques marines comme en témoignent le bon état de la forêt de Filaos au nord, et les berges complètement stabilisées de la route qui longe le littoral, au sud. Il s'agit donc d'une zone stable.

Figure 23 : Vue de la plage située à 500 m au sud de la Ravine des Poux (vers le N).

4.3.4. Cimetière au lotissement les Quatre Robinets

Observations

La largeur de la plage : les parties nord, centrale et sud correspondent aux zones les plus larges de ce secteur. Elles atteignent respectivement 29, 32 et 40 m. La largeur du reste de la plage varie entre 12 et 15 m.
La largeur du bas de plage correspond, en moyenne, au tiers de la largeur globale.
Les pentes : ce secteur n'a pas été couvert par les mesures du cabinet Talibart. Les observations de terrain permettent d'estimer les pentes comme étant moyennes à fortes dans la partie nord du secteur et faibles à moyennes dans la partie sud.
La granulométrie et la composition lithologique : ce secteur se caractérise par une grande alternance dans la composition lithologique des faciès sédimentaires. Les premiers 42 m, situés à proximité de la Ravine Fond Bagatelle, sont constitués de sables moyens dont la part « volcanique » domine sur la « corallienne ». Cette tendance est inversée (composante corallienne dominante) dans les 305 m suivants, où l'on retrouve du sable moyen en haut de plage et un mélange de graviers et de sables en bas de celle-ci. Ensuite, il y a une zone de 25 m de long constituée de blocs qui occupe la plage sur toute sa largeur. Celle-ci fait place à une zone longue de 255 m dite « mixte » puisque le bas de plage est constitué d'un mélange de graviers et de sables à « dominante corallienne » et le haut de sables moyens à « dominante volcanique ». Dans la zone qui suit d'une longueur de 215 m, la part volcanique est majoritaire partout. Aussi bien, au niveau de l'étroite bande de bas de plage (longue de 100 m) qui est composée d'un mélange de graviers et de sables, que sur le reste de la zone constitué de sables moyens. Les derniers 220 m correspondent à une nouvelle zone « mixte ». Le bas de plage présentant une dominante corallienne et le haut, une dominante volcanique. Dans ces deux compartiments, on retrouve des sables moyens.
Il y a une densité plus ou moins importante de fragments coralliens se concentrant essentiellement au niveau du bas de plage des extrémités nord et sud du secteur.
Les morphologies particulières : les bancs de grès de plage sont très présents sur ce secteur. Il existe une ligne de bancs plus ou moins discontinue à proximité immédiate de la ligne de rivage sur presque tout le secteur. Par endroits, d'autres bancs plus réduits affleurent de façon plus ou moins parallèles aux premiers et à une distance comprise entre 7 et 18 m de ceux-ci.
Ce secteur se caractérise la présence de dunes éoliennes à la limite du haut de plage. Leur hauteur est faible dans la partie nord du secteur. Elle s'accroît progressivement vers le sud pour atteindre jusqu'à près de 10 m.
La végétation : elle est quasi omniprésente sur l'ensemble du secteur. Il s'agit essentiellement de massifs plus ou moins développés de "Patates à Durand" associés à des arbustes. Cette couverture végétale colonise aussi bien la limite du haut de plage que les dunes éoliennes situées juste au-dessus.
Les ouvrages et autres aménagements : au niveau de l'extrémité nord du secteur, un mur de 96 m de long a été érigé afin de protéger la route Nationale 1.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

Seule la portion de plage la plus au sud (149 m de long) est actuellement stable. Le reste du secteur présente un budget sédimentaire déficitaire. Cela se manifeste par les bancs de grès de plages reliques témoignant du recul successif du trait de côte, des falaises dunaires souvent vives et très abruptes ainsi qu'une régression généralisée du couvert végétal depuis 1997 (Figure 24). L'érosion est particulièrement prononcée sur un segment de 537 m de long. Les segments de 211 et 156 m, situés respectivement au nord et au sud de ce dernier, présentent une érosion plus faible.

Figure 24 : Etat de la plage au sud du cimetière (vers le S).

4.3.5. Plage de la Pointe au Sel

Observations

La largeur de la plage : elle est assez homogène sur les premiers 225 m variant entre 13 et 16 m. La largeur du secteur sud est accentuée par la présence de blocs à proximité de la ligne de rivage. Elle atteint 48 m.
Le bas de plage occupe, approximativement, le tiers de la largeur globale de la plage.
Les pentes : ce secteur n'a pas été couvert par les mesures topographiques. Les observations de terrain révèlent des pentes moyennes.
La granulométrie et la composition lithologique : la composition lithologique des sédiments du secteur est dominée par les apports coralliens. Jusqu'au niveau du banc de blocs, le haut de plage est constitué de sables grossiers et le bas, d'un mélange de graviers et de sables. La portion de plage à l'abri des blocs est composée de sables moyens.
Le nombre des fragments coralliens est très important, en particulier à proximité du haut de plage.
Les morphologies particulières : un banc de grès de plage de 105 m de long et distant de 4 à 7 m de la ligne de rivage est présent au nord du secteur.

La végétation : elle est abondante en haut de plage. Elle se présente sous forme de massifs denses de "Patates à Durand".
Les ouvrages et autres aménagements : ils sont absents dans ce secteur (au niveau de la plage).

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

La partie nord de ce secteur (120 m de long) se caractérise par des grès de plage affleurant à quelques mètres de la ligne de rivage actuelle, en direction du lagon. De plus, le couvert végétal a légèrement diminué depuis 1997. Ce segment subit donc une légère érosion. Ce n'est pas le cas pour la portion de plage restante (longue de 237 m). Son comportement est stable.

4.3.6. Comportement général du site

Le zones aménagées représentent 31% de ce site (Tableau 3) parmi lesquels 50,4% sont en érosion (dont près d'un quart en érosion prononcée), 9,2% en accrétion, 34,4% stables et 6% en transition.
En ce qui concerne les zones non aménagées (69% du site), ce sont les secteurs stables qui sont majoritaires (49,5%). L'érosion atteint 43% des zones dont près de 40% de celles-ci sont très érodées. Les zones en accrétion et en transition ne représentent que 2,4% et 5,1% du site, respectivement.

	Accrétion	Stable	Transition	Erosion faible	Erosion prononcée
Zones aménagées (31%)	9,2%	34,4%	6%	37,5%	12,9%
Zones non aménagées (69%)	2,4%	49,5%	5,1%	26,2%	16,8%
Tout le site	4,5%	44,8%	5,5%	29,7%	15,5%

Tableau 3 : Bilan de l'état des plages du site 2.

La tendance générale (secteurs aménagés ou non) correspond à un état stable des plages (44,8% des cas). L'érosion est faible dans 29,7% et prononcée dans 15,5 % des cas. Les secteurs en accrétion et en transition ne représentent, respectivement, que 4,5% et 5,5% des plages de ce site.

4.4. SITE 3 : ETANG SALE

Il est limité au nord par la pointe des avirons et au sud, par la pointe de l'Etang Salé ce qui correspond à environ 2,74 km. Ce site présente deux zones bien distinctes :
- une partie nord ouverte à la houle océanique et dépourvue de tout aménagement,

- une partie sud très confinée, protégée par la barrière récifale et servant d'abris pour les embarcations de plaisance. Ce secteur est aussi caractérisé par la présence d'un mur continu protégeant les habitations.

Ces deux zones sont composées de sables moyens très bien classés à dominante volcanique. La côte est principalement orientée NO - SE.

Lors du levé, le niveau moyen de la marée atteignait 0,57 m. Les conditions environnementales étaient plus énergétiques que les jours précédents avec des vents du SE soufflant par rafales et une houle de 1,5 m (Tableau 1).

Les données disponibles sont :

Enregistrements GPS	1033 points
Nombre de photographies	14
Ortho-photos utilisées	**2** : 97-D18; 97-D19

Ce site est composé de 2 secteurs :
- Pointe des Avirons à la Pointe des Sables (2135 m de longueur)
- Bassin Pirogue (605 m)

4.4.1. Pointe des Avirons à la Pointe des Sables

Observations

La largeur de la plage : est assez homogène variant entre 30 et 40 m à l'exception des extrémités nord et sud du secteur. Ces deux zones d'une longueur de 170 m atteignent respectivement 60 et 100 m.
La largeur du bas de plage correspond approximativement au tiers de la largeur globale de la plage.
Les pentes : seules des observations visuelles sont disponibles car le secteur n'a pas été levé par le cabinet Talibart. Les pentes en bas de plage sont très fortes, parmi les plus importantes observées sur l'ensemble des plages étudiées. Elles sont moyennes dans la partie supérieure. Quant aux zones très larges situées aux extrémités nord et sud du secteur, elles possèdent des pentes faibles.
La granulométrie et la composition lithologique : le secteur est constitué de sables moyens très bien classés sauf au niveau de la deuxième ravine (en partant du nord) où l'on retrouve des blocs. La composition des sédiments est largement dominée par les apports terrestres, notamment l'olivine.
Les fragments coralliens sont totalement absents.
Les morphologies particulières : elles sont très diversifiées dans le secteur :
- développement d'un large banc sableux situé au sud du secteur, à l'abri du récif corallien;
- le bas de plage des 830 m les plus au sud du secteur est caractérisé par la présence de croissants de plage très développés;
- à 500 m au nord de la Pointe des Sables, un banc de grès de plage affleure sur environ 26 m. Il est situé en limite inférieure du haut de plage à une distance variant entre 5 à 9 m de la ligne de rivage ;

- de part et d'autre de la première ravine, un champ de dunes embryonnaires se développe en arrière de la plage sur une longueur de 130 m. Elles sont fixées par une couverture végétale rampante ;
- il existe sur la partie nord du secteur, une dune bordière s'étendant sur près de 856 m en limite supérieure du haut de plage. Elle est colonisée par des Filaos ainsi que par des "Patates à Durand";
- enfin, les débouchés de 3 ravines sont présents sur ce secteur.

La végétation : sur ce secteur se développe une importante forêt de Filaos. Celle-ci peut s'étendre jusqu'en limite supérieure du haut de plage. Par endroits, cette limite est colonisée par des couvertures très denses de végétation rampante ("Patates à Durand") qui se développent en avant de la frange forestière.

Les ouvrages et autres aménagements : le poste de secours situé au niveau du banc correspond au seul aménagement du secteur.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

Le 1er segment de 325 m de long correspond à la Pointe des Avirons. Il s'agit d'un secteur stable, très large caractérisé part la présence, en arrière plage, d'un champ de dunes embryonnaires (Figure 25). Dunes déjà présentes sur les vues aériennes de 1997.

Figure 25 : Vue de la Pointe des Avirons (vers le NO).

Sur le segment suivant (118 m de long), la dune a clairement reculé laissant à l'air libre les racines des arbres qui la fixaient (Figure 26). Cette zone subit une érosion prononcée.

Figure 26 : Erosion de la dune au sud de la Pointe des Avirons (vers le NE).

Le 3ème segment, long de 326 m, se caractérise par une dune bordière bien développée, fixée par une forêt dense. A l'avant de celle-ci, on retrouve des massifs de "Patates à Durand". C'est une zone en phase d'accrétion.
La portion de plage suivante, de 110 m de longueur, est une zone de transition car elle correspond à l'exutoire de la Ravine Mila.

La dune correspondant au 5ème segment (48 m de long) est soumise à une importante érosion, déstabilisant les arbres présents en bordure de celle-ci.
Le 6ème segment de 732 m correspond à une zone stable. Elle se caractérise par des croissants de plage, indiquant une disponibilité en sédiments et qui sont, en outre, déjà visibles sur les clichés de 1997. La végétation présente en limite supérieure du haut de plage, composée de Filaos ou bien de massifs de "Patates à Durand", ne présente pas de traces d'érosion (Figure 27).

Figure 27 : Vue de la plage située au nord de la Pointe des Sables (vers le SE).

Le segment suivant (51 m de long) subit une légère érosion. Celle-ci est matérialisée par l'affleurement d'un banc de grès de plage.
Le 8ème segment (283 m de long), à l'image du 6ème, se caractérise par la présence de croissants de plage et d'une végétation en bon état en limite de haut de plage. Il est donc stable.
Le dernier segment, de 210 m de long, est situé au niveau de la Pointe des Sables. Il s'agit d'une zone en accrétion qui se développe à l'abri de l'action directe des vagues. Elle est protégée par le récif.

4.4.2. Secteur du Bassin Pirogue

Observations

La largeur de la plage : elle est de 30 m à proximité immédiate de la Pointe des Sables. Ensuite, elle décroît rapidement vers le sud ; 70 m plus loin, elle n'atteint plus que 5 m. Cette faible largeur se prolonge encore sur une portion de plage de 50 m de long. Les valeurs sont plus importantes (11 à 19 m) sur le reste du secteur.
La largeur du bas de plage est considérable occupant parfois, la totalité de la plage. C'est le cas de la portion située au sud du secteur où le sable est en permanence mouillé.
Les pentes : elles varient en moyenne entre 6 et 8°, les valeurs minimales se situant au nord (inférieures à 4°) et les maximales au centre et au sud du secteur (supérieures à 10°).
La granulométrie et la composition lithologique : l'ensemble du secteur est composé de sables moyens bien classés d'origine volcanique. Les fragments coralliens sont absents.
Les morphologies particulières : elles n'ont pas été observées sur la plage.
La végétation : elle est absente en limite supérieure du haut de plage.
Les ouvrages et autres aménagements : des murs de protection sont présents tout le long de la limite supérieure de la plage. Il existe, en outre, une cale de mise a l'eau et un ponton de 25 m de long.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

Ce secteur a été divisé en quatre segments en fonction de la pente et de la largeur de la plage. Le 1er et le 3ème segment, de 115 et 130 m respectivement, présentent une érosion faible car la plage est étroite et la pente ne dépasse pas les 8°. Ils sont donc très exposés aux surcotes (Figure 28).
Ce n'est pas le cas des deux autres segments (2ème et 4ème), de 119 et 193 m respectivement, qui sont stables : les pentes dépassent les 10° et la plage est plus large.

Figure 28 : Vue de la partie nord du Bassin pirogue (vers OSO).

4.4.3. Comportement général du site

Les plages aménagées ne représentent que 20% du site (secteur du Bassin Pirogue) parmi lesquelles 56% sont stables et 44% en faible érosion (Tableau 4).
Les secteurs non aménagés sont majoritairement stables (60,9%). Un pourcentage important d'entre eux est en accrétion (24,3%). L'érosion ne concerne que peu de zones (2,3% en érosion faible et 7,5% en érosion prononcée), le reste étant en transition (5%).
Dans sa globalité, ce site est très stable (près de 60% des zones) et une partie importante des plages est en accrétion (19,4%). Seulement 16,7% des plages subissent une érosion.

	Accrétion	Stable	Transition	Erosion faible	Erosion prononcée
Zones aménagées (20%)	0%	56%	0%	44%	0%
Zones non aménagées (80%)	24,3%	60,9%	5%	2,3%	7,5%
Tout le site	19,4%	59,9%	4,0%	10,7%	6,0%

Tableau 4 : Bilan de l'état des plages du site 3.

4.5. SITE 4 : SAINT PIERRE

Ce site comprend près de 2 km de plages situées entre la Pointe de la Ravine Blanche et le Port de Saint-Pierre. Il est majoritairement composé de sables sauf quelques secteurs où prédominent les galets et les blocs. La plage à proximité du port est orientée E - O alors que le reste de la zone est orienté NO - SE.

C'est un secteur fortement aménagé par des murs de protection, des promenades ainsi que par les infrastructures portuaires. Il bénéficie d'une importante affluence touristique.

Les conditions environnementales sont caractérisées par un niveau moyen de la marée compris entre 0,40 à 0,61, des vents forts de SE ainsi qu'une houle de 1 à 1,5 m (Tableau 1).

Les données disponibles sont :

Enregistrements GPS	869
Nombre de photographies	15
Ortho-photos utilisées	**2** : 97-H22; 97-H21

Ce site est divisé en 2 secteurs :
- Ravine Blanche jusqu'au restaurant Bora Bora (1202 m de longueur)
- Restaurant Bora Bora au Port de Saint Pierre (831 m)

4.5.1. Ravine Blanche jusqu'au restaurant Bora Bora

Observations

La largeur de la plage : il y a deux plages sur ce secteur : la plage de la Ravine Blanche et celle située en face du cimetière. La largeur de la première d'entre elles est maximale au niveau des exutoires des ravines (56 m pour la Ravine Blanche, environ 30 m pour les deux autres). Entre celles-ci, la largeur de la plage varie entre 12 et 20 m. Il existe une portion de 38 m de long ne dépassant pas les 5 m de largeur. Elle est située à l'extrémité ouest de la plage.
Trois portions peuvent être distinguées au niveau de la plage du cimetière. Une première longue de 64 m et large de 8 m. Une portion intermédiaire de 100 m de long et variant entre 25 et 31 m de largeur. La dernière qui, sur une distance de 170 m, se rétrécit progressivement (20 m de largeur maximale) jusqu'à disparaître.
La largeur du bas de plage dépasse rarement le tiers de la largeur globale.
Les pentes : les zones à proximité des deux premières ravines n'ont pas fait l'objet de levés topographiques. Les observations de terrain font état de pentes faibles à moyennes.
En ce qui concerne la partie restante de la plage de la Ravine Blanche, les pentes varient principalement entre 6 et 8° pour le haut de plage et sont inférieures à 6° pour le bas de celle-ci. Les pentes peuvent être supérieures à 12° à l'extrémité ouest de la plage.
Au niveau de la plage du cimetière, les pentes sont globalement plus importantes, surtout en haut de plage où elles sont fréquemment supérieures à 8°.
La granulométrie et la composition lithologique : seules les zones à proximité des deux premières ravines ont une composition lithologique dominée par les apports volcaniques. Il s'agit, pour la Ravine Blanche, d'un mélange de blocs et de sables s'étendant sur 200 m de long. Au niveau de la deuxième ravine se développe une zone de 120 m de long composée d'un mélange de galets et de sables qui est bordée, au niveau de la ligne de rivage, par une étroite bande constituée d'un mélange de graviers et de sables.

Sur le secteur dont la part corallienne des sédiments est prédominante, on retrouve une première zone de 268 m de long qui est composée de sables moyens. En bas de plage des premiers 107 m de cette zone, il y a une bande très réduite d'un mélange de graviers et de sables. Ce dernier faciès devient, par la suite, majoritaire sur le reste de la plage de la Ravine Blanche.
La plage du cimetière se caractérise par un granoclassement croisant depuis l'ouest vers l'est : une portion de plage de142 m de long constituée de sables moyens précède une deuxième zone de sables grossiers. Cette dernière est, en partie, surmontée par une nouvelle zone riche en galets et en sables grossiers.
Les fragments coralliens sont très nombreux sur la plage à l'exception de la zone proche de la Ravine Blanche. Une accumulation particulièrement dense de ces fragments est associée au faciès riche en galets et en sables grossiers de la plage du cimetière.
Les morphologies particulières : outre l'existence des exutoires des trois ravines déjà mentionnées, ce site se caractérise par des bancs de grès de plage présents dans le lagon. Ils sont longs de 25 à 135 m et éloignés de la ligne de rivage d'une distance comprise entre 10 et 20 m.
La végétation : sur les limites supérieures du haut de plage non aménagées, il se développe une végétation dense composée essentiellement de "Patates à Durand".
Les ouvrages : la plage de la Ravine Blanche se caractérise par la présence, en arrière plage, d'une promenade non revêtue longue de 285 m. De plus, il existe un épis de 170 m de long, segmenté en 3 parties, qui se prolonge jusqu'au récif.
A l'est de la 2ème ravine, un imposant mur de près de 2,5 m de haut et 612 m de long a été érigé afin de protéger les habitations ainsi que la promenade en dur qui longe la plage du cimetière jusqu'au restaurant Bora Bora.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

Le 1er segment de 118 m de long correspond à une zone large, de pente faible et composée de blocs d'origine basaltique. En limite supérieure du haut de plage, on retrouve un couvert végétal très dense. Ces caractéristiques correspondent à une zone stable.
Le segment suivant, long de 117 m, coïncide avec le débouché de la Ravine Blanche. Il s'agit donc d'une zone de transition.
Le 3ème segment (249 m de long) se caractérise par une plage plus étroite et par la présence d'un paléo-rivage matérialisé par l'alignement de bancs de grès de plage affleurant à une quinzaine de mètres du rivage actuel. Ce secteur est en recul. Il est soumis à une érosion faible et régulière.
Le segment suivant (97 m de long) correspond à l'élargissement de la plage. De plus, la végétation s'est grandement développée depuis 1997. C'est donc une zone stable.
Le 5ème segment de 74 m de longueur est une zone de transition. Il coïncide avec l'exutoire de la 3ème ravine.
Le 6ème segment (longueur de 66 m) présente les mêmes caractéristiques que le 4ème. Il est donc stable.
Le segment suivant (276 m) subit une érosion prononcée. La plage est ici quasiment absente si bien que les vagues atteignent directement le mur de protection (Figure 29).

Figure 29 : Disparition de la plage à l'est du cimetière (vers l'E).

Le 8ème segment (98 m de long) se caractérise par la présence d'un banc de grès de plage à proximité du rivage actuel, révélant ainsi le recul du trait de côte. La zone subit une érosion faible et régulière.
Le dernier segment (194 m de long) est plus étroit que le précédant mais il possède des pentes plus importantes et il est fortement alimenté en fragments coralliens. Les bancs de grès de plage n'affleurent pas à ce niveau, ce qui atteste de la stabilité de la zone.

4.5.2. Restaurant Bora Bora au Port de Saint Pierre

Observations

La largeur de la plage : varie entre 5 et 9 m sur les premiers 265 m de côte. Ensuite, lorsque celle-ci change d'orientation et devient E-O, la plage s'élargie considérablement pour atteindre des valeurs comprises entre 19 et 30 m et cela sur près de 566 m de long.
La largeur du bas de plage représente approximativement le tiers de la largeur globale de la plage.
Les pentes : la portion étroite de plage (longue de 265 m) se caractérise par des pentes moyennes à fortes atteignant localement les 10°. Sur les 196 m suivants, la pente moyenne de la plage diminue, ne dépassant pas les 6°. Les pentes du reste de la plage (370 m de long) sont plus importantes, variant en moyenne de 6 à 8° et pouvant dépasser localement les 12°.
Aucune rupture de pente n'a été observée entre le bas et le haut de plage.
La granulométrie et la composition lithologique : les sédiments de ce secteur sont essentiellement composés d'apports d'origine corallienne.
Sur les premiers 100 m, de nombreux blocs basaltiques sont présents au niveau du bas de plage; le compartiment supérieur étant composé d'un mélange de graviers et de sables auquel s'associent des fragments coralliens. Sur la portion de 100 m suivante, la totalité de la largeur de la plage est couverte par des blocs basaltiques. Le reste du littoral se caractérise par un granoclassement croissant des sédiments. Il est matérialisé par la succession de 3 compartiments de 188, 237 et 206 m de long occupant toute la largeur de la plage et composés respectivement de sables grossiers bien classés, de

sables très grossiers et d'un mélange de graviers et de sables. Les fragments coralliens sont très nombreux dans ces compartiments. Une concentration particulièrement importante de ceux-ci caractérise la portion de plage de 70 m long située à proximité du port de Saint Pierre.

Les morphologies particulières : deux plaquages sableux bien développés ont été identifiés au niveau de la limite supérieure du haut de plage, à environ 400 m à l'ouest du port de Saint Pierre. C'est le piégeage, à ce niveau, des sables transportés par le vent depuis la plage qui est à l'origine de la formation de ces corps sédimentaires.

La végétation : elle est inexistante en limite supérieure du haut de plage.

Les ouvrages : au niveau du restaurant Bora Bora, le linéaire côtier a été aménagé sur une vingtaine de mètres par des enrochements d'origine basaltique. Un mur a été érigé tout le long du secteur. Il protège les habitations ainsi qu'une promenade en dur présente sur la quasi-totalité du bord de mer. Une deuxième promenade en bois de 110 m de long a été construite sur des pilotis, en avant du mur de protection, à proximité de la digue du port Saint Pierre.

Ce secteur se caractérise, évidemment, par la présence des aménagements portuaires.

Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion

Le 1er segment, long de 97 m, se caractérise par une érosion prononcée. Les vagues atteignent directement le restaurant Bora Bora si bien qu'il a dû être protégé par des enrochements. Des marques d'érosion sont aussi visibles à la base du mur de protection situé plus au sud.

L'érosion est moins marquée sur le segment suivant (195 m de long). Les blocs de basaltes présents, dans un premier temps, à proximité de la ligne de rivage et par la suite sur toute la plage, contribuent à amortir la quasi-totalité de l'énergie de la houle.

Le dernier segment de 575 m de long se caractérise par une zone de jet de rive étroite si bien que la partie sèche de la plage est très étendue. Cette dernière est la plupart du temps hors de portée des vagues puisque des accumulations sableuses peuvent se développer en limite supérieure du haut de plage (Figure 30). Il s'agit donc d'un secteur stable.

Figure 30 : Plage située à proximité du port de Saint Pierre (vers le NO).

4.5.3. Comportement général du site

La grande partie des plages de ce site sont aménagées (86%). Une moitié de celles-ci est stable (50,5%) et le reste connaît une érosion qui est faible dans 29,3% des cas et prononcée dans 20,2% des cas (Tableau 5).
Parmi les zones non aménagées(14% du site), 61,8% d'entre elles sont en transition, le reste (38,2%) étant stable.
C'est la stabilité qui prédomine (48,7% des plages) lorsque l'on considère tout le site. L'érosion concerne 42,4% des plages (25,1% en érosion faible, 17,3% en érosion prononcée). Enfin, les zones en transition ne représentent que 8,9% des cas et aucune portion de plage est en accrétion.

	Accrétion	Stable	Transition	Erosion faible	Erosion prononcée
Zones aménagées (86%)	0%	50,5%	0%	29,3%	20,2%
Zones non aménagées (14%)	0%	38,2%	61,8%	0%	0%
Tout le site	0%	48,7%	8,9%	25,1%	17,3%

Tableau 5 : Bilan de l'état des plages du site 4.

5. Conclusions

Les levés de terrain effectués sur les sites d'étude du Cap de la Houssaye à la Passe des Trois Bassins, de Saint Leu, de l'Etang Salé et de Saint Pierre, ont permis de cartographier divers indicateurs du comportement du littoral. Ceux-ci ont été compilés sur des cartes thématiques dites de "Granulométrie, composition lithologique et morphologie des plages" présentes, hors texte, en annexes 2 et 3.
En associant les observations de terrain à l'analyse des ortho-photos de 1997, il a été possible de segmenter les secteurs étudiés suivant 5 classes décrivant l'état actuel des plages vis-à-vis des phénomènes d'accrétion et de d'érosion. Ces classes caractérisent un état : en accrétion, stable, en transition, en érosion faible ou en érosion prononcée. Le littoral ainsi représenté figure sur la carte thématique "Etat actuel des plages en termes d'érosion/accrétion" présente en annexe 4 (hors texte). L'analyse de cette segmentation a permis conduit aux résultats suivants :

• Site 1 : les zones stables sont les plus nombreuses (56%). L'érosion est faible dans 20,8% des cas et prononcée dans 9% des plages. Les zones en accrétion sont très limitées puisqu'elles ne représentent que 2,7%. Les autres plages sont dans un état de transition (11,5%).
En considérant uniquement les zones aménagées (40% des plages du site), il est possible de constater que la proportion des plages en érosion est plus élevée puisque 39% d'elles connaissent une érosion faible et 12,4% une érosion prononcée. La stabilité ne concerne que 41% des zones.

• Site 2 : la tendance générale correspond à un état stable des plages (44,8% des cas). L'érosion est faible dans 29,7% et prononcée dans 15,5 % des cas. Les secteurs en accrétion et en transition ne représentent, respectivement, que 4,5% et 5,5% des plages de ce site.
En ce qui concerne les zones aménagées (31% des plages du site), le pourcentage des plages subissant une érosion intensive chute à 12,9% et il augmente (9,2%) pour les zones en accrétion. Toutefois, les zones soumises à une érosion faible sont bien plus nombreuses (37,5%). Les plages stables ne représentent alors que 34,4%.

• Site 3 : il est stable car près de 60% des zones le sont, une partie importante des plages est en accrétion (19,4%) et seulement 16,7% des secteurs subissent une érosion.
Les plages aménagées ne représentent que 20% du site, parmi lesquelles 56% sont stables et 44% en faible érosion.

• Site 4 : les plages sont stables à 48,7%. L'érosion concerne 42,4% de ce littoral (25,1% en érosion faible, 17,3% en érosion prononcée) et les zones en transition représentent 8,9% des cas. Aucune portion de littoral en accrétion n'a été observée.
La grande partie des plages de ce site sont aménagées (86%). Une moitié de celles-ci est stable (50,5%) et le reste connaît une érosion qui est faible dans 29,3% des cas et prononcée dans 20,2% des cas.

Cette étude a permis, suivant une approche qualitative, de décrire à haute résolution spatiale le comportement du littoral par rapport aux phénomènes d'accrétion et d'érosion. L'étape suivante consiste d'une part, à quantifier les tendances déjà mises en évidence (recul ou avancé du trait de côte, volumes sédimentaires déplacés, etc.) et d'autre part, à les mettre en relation avec l'hydrodynamique locale. Le premier de ces volets peut être abordé en traitant les profils topographiques pluriannuels réalisés par le LSTUR et en analysant les campagnes aériennes multi-dates. Le deuxième volet nécessite la mise en place, sur des zones ateliers, de mesures de houle (à l'extérieur du récif et dans le lagon) et de courants (dans le lagon) associées à des levés topographiques synchrones.

ANNEXE 1

Détail de la campagne de mesures topographiques et bathymétriques effectuée par le cabinet de géomètres Talibart

CAMPAGNE BATHYMETRIQUE DES LAGONS DE LA COTE OUEST DE L'ILE DE LA REUNION

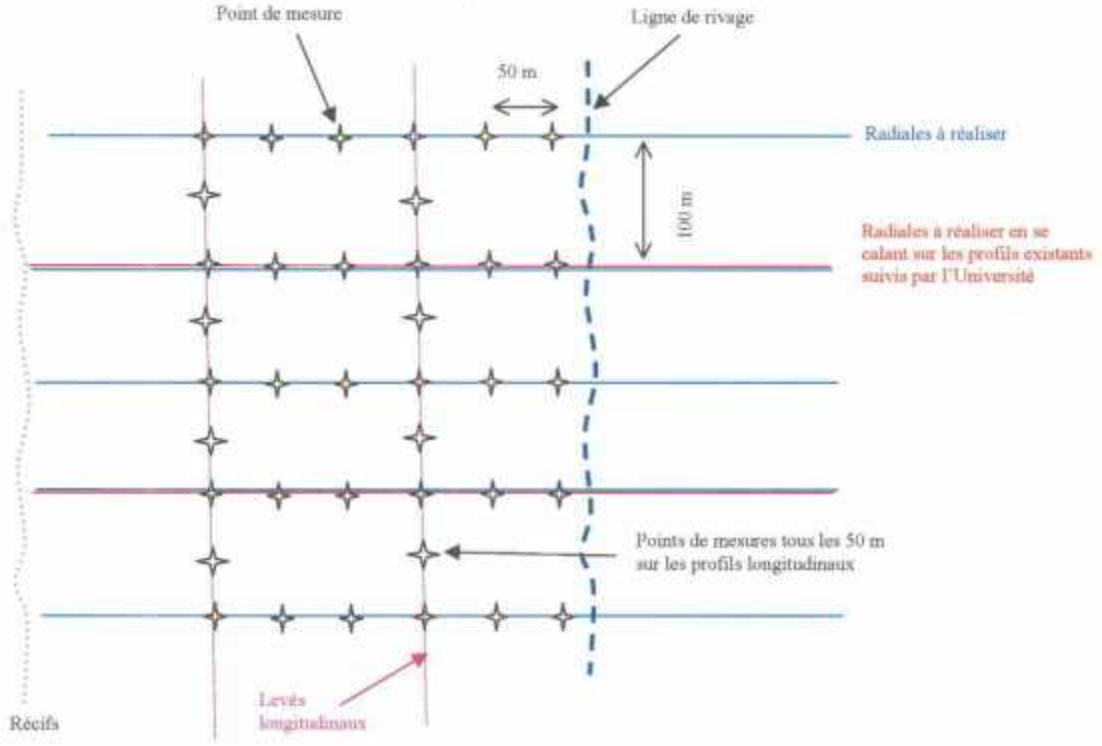
1. LOCALISATION DE LA ZONE

Cette campagne de bathymétrie a été réalisée par un cabinet de géomètre de 02 avril au 07 mai 2002 entre 7 h 00 et 16 h 00 dans le cadre du **projet "Dynamique sédimentaire en milieu corallien"**. Elle concerne les lagons de Saint-Gilles, Saint-Leu, Etang-Salé et Saint-Pierre.
Les levés ont été réalisés entre la plage aérienne (zone sous les filaos et la plage *sensu stricto*) et la limite du platier corallien.

2. METHODOLOGIE

2.1 Objet de la campagne

Le cabinet de géomètre a réalisé des points de mesure selon des profils tous les 100 m perpendiculaires à la côte avec sur chacun de ces profils un point de mesure tous les 50 m. Certains de ces profils ont été calés sur les profils de plage existants suivis par le Laboratoire des Sciences de la Terre (voir schéma ci-dessous) :



Lorsqu'un changement morphologique significatif du fond est apparu les points de mesure ont été rapprochés ; de même lorsque que des barres de déferlement ont pu être identifiées.

2.2 Moyens mis en œuvre

L'ensemble des points de mesure ont été enregistrés avec un tachéomètre Leica TC 1100.
Chacun de ces points a été rattaché en Z au NGR (système IGN 92) grâce à un cheminement fermé depuis des points NGR connus et en XY, au système Gauss Laborde Réunion à l'aide d'un GPS.

3. RESULTATS

Cette campagne a permis de récolter 1578 points de mesure. Ils se répartissent de la manière suivante :
- Plage des Roches Noires jusqu'à la Souris Chaude, 992 points
- Saint Leu, 230 points
- Etang Salé, 90 points
- Saint Pierre, 266 points

ANNEXE 2 (hors texte)

Planche 1 : Granulométrie, composition lithologique, morphologie et état des plages du site 1 (Cap la Houssaye à la Pointe des Trois Bassins)

ANNEXE 3 (hors texte)

Planche 2 : Granulométrie, composition lithologique, morphologie et état des plages de Saint Leu, de l'Etang Salé et de Saint Pierre

Granulométrie, composition lithologique, morphologie et état des plages du site 1

(Cap la Houssaye à la Pointe des Trois Bassins)

Etude morphologique des plages à l'arrière des formations récifales de la Réunion

décembre 2002-BRGM/RP-52047-FR

planche 1

BRGM - 3, avenue Claude Guillemin - BP 6009 - Orléans cedex 2 - France

Carte établie d'après les photographies aériennes de 1997 (IGN), la BDTOPO et les levés de terrain effectués en avril, mai et juin 2002.

Projection et quadrillage métrique Gauss Laborde Réunion.

0 50 100 200 300 400 500 Mètres

échelle 1:5000

N W E S

Etat de la plage

Pentes

Cap Champagne

Cap Bouc

Passe du Cap Boucan Canot

Boucan Canot

Résidence Champagne

les Coquillages

Cap Homard

Passe du Cap Homard

Pointe des Galets

Armagnac

Piton Bienvenue

Grand Fond

le Cap le Paul

les Cormorans

Domaine d'Anjou

Jardin d'Eden

les Remparts

Pentes

Plage des Roches Noires

Saint Gilles les Bains

Cap des Bouteux

Moulin Kader

Villa Bourbon

Etat de la plage

Pentes

Location Canoë Case Coralia

Location Kayak

les Filaos

Passe de l'Ermitage

Poste Secours

l'Ermitage les Bains

Camping

Club Cases Cabana

le Lagon

la Saline les Bains

Planche Alizée

Club de Voile

Poste Secours

la Saline les Bains

Pointe Trois Roches

Club Kayak

le Trou d'Eau

Débouché Egoût

Légende

Ligne de rivage
- Linéaire sableux
- Linéaire ou Cap rocheux

Type de végétion
- Végétation rampante
- Arbustes
- Forêt

Entités morphologiques
- Banc de grès de plage (Beach rock)
- Bordure de ravine
- Dunes
- Croissants de plage (Beach cusps)
- Ravines

Ouvrages côtiers
- Murs, murets et clôtures
- Promenade en bois ou non revêtue
- Epis et enrochements
- Constructions portuaires

Bâtiments
- Bâtiment industriel ou agricole
- Bâtiment quelconque
- Construction légère

Routes
- Nationale ou route principale
- Route secondaire revêtue
- Autre route revêtue

Granulométrie et composition lithologique
- Sable moyen à dominante corallienne
- Sable moyen à dominante volcanique
- Sable grossier à dominante corallienne
- Sable grossier à dominante volcanique
- Sable très grossier à dominante corallienne
- Sable très grossier à dominante volcanique
- Graviers et sables à dominante corallienne
- Graviers et sables à dominante volcanique
- Galets et sables à dominante corallienne
- Galets et sables à dominante volcanique
- Blocs
- Fragments coralliens

Etat de la plage
- Accrétion
- Secteur stable
- Zone de transition
- Erosion faible
- Erosion prononcée

Pentes (°)
12° 10° 8° 6° 4° 2° 0°

Granulométrie, composition lithologique, morphologie et état des plages de Saint Leu, de l'Etang Salé et de Saint Pierre

Etude morphologique des plages à l'arrière des formations récifales de la Réunion

décembre 2002-BRGM/RP-52047-FR **planche 2**

BRGM - 3, avenue Claude Guillemin - BP 6009 - Orléans cedex 2 - France

Carte établie d'après les photographies aériennes de 1997 (IGN), la BDTOPO et les levés de terrain effectués en avril, mai et juin 2002.

Projection et quadrillage métrique Gauss Laborde Réunion.

0 50 100 200 300 400 500 Mètres

échelle 1:5000

Légende

Ligne de rivage
- Linéaire sableux
- Linéaire ou Cap rocheux

Type de végétion
- Végétation rampante
- Arbustes
- Forêt

Entités morphologiques
- Banc de grès de plage (Beach rock)
- Bordure de ravine
- Dunes
- Croissants de plage (Beach cusps)
- Ravines

Ouvrages côtiers
- Murs, murets et clôtures
- Promenade en bois ou non revêtue
- Epis et enrochements
- Constructions portuaires

Bâtiments
- Bâtiment industriel ou agricole
- Bâtiment quelconque
- Construction légère

Routes
- Nationale ou route principale
- Route secondaire revêtue
- Autre route revêtue

Granulométrie et composition lithologique
- Sable moyen à dominante corallienne
- Sable moyen à dominante volcanique
- Sable grossier à dominante corallienne
- Sable grossier à dominante volcanique
- Sable très grossier à dominante corallienne
- Sable très grossier à dominante volcanique
- Graviers et sables à dominante corallienne
- Graviers et sables à dominante volcanique
- Galets et sables à dominante corallienne
- Galets et sables à dominante volcanique
- Blocs
- Fragments coralliens

Etat de la plage
- Accrétion
- Secteur stable
- Zone de transition
- Erosion faible
- Erosion prononcée

Pentes (°) 12° 10° 8° 6° 4° 2° 0°

Site 2 : Saint Leu

Etat de la plage
Cayenne
Hôtel des Postes
Saint-Leu
Pentes
la Pointe au Sel

Site 3 : Etang Salé

Etat de la plage
Pointe des Avirons
la Gare
le Banc
Pentes
Pointe des Sables
Cale de mise à l'eau
Basse Brogue
la Roche aux Oiseaux

Site 4 : Saint Pierre

Pentes
Etat de la plage
Pointe de la Ravine Blanche
la Ravine Blanche
Pentes
Casabona

Document public

Dynamique sédimentaire en milieu corallien à l'Ile de La Réunion

Rapport BRGM/RP-52047-FR
2002 SGR/REU 24
décembre 2002

Université de la Réunion

Géosciences pour une Terre durable
brgm

CONVENTION

BRGM Réunion – LSTUR
RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : Professeur Jean COUDRAY
CO-DIRECTION : Roland TROADEC

Université de la Réunion

Contribution à l'étude du site pilote de l'Hermitage / La Saline les Bains pour la compréhension de la dynamique sédimentaire des plans d'eau coralliens à la Réunion

Avec la collaboration de Francky SAINT-ANGE (LSTUR), Nicolas VILLENEUVE (CREGUR), Emmanuel CORDIER (LSTUR).

Laboratoire des Sciences de la Terre
de l'Université de la Réunion (LSTUR)
Faculté des Sciences et Technologies
15 Avenue René Cassin
97715 Saint-Denis Messag Cedex 9

Novembre 2002

SOMMAIRE

CHAPITRE 1

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE : EVOLUTION DES CONNAISSANCES EN MATIERE D'EROSION SUR LE LITTORAL CORALLIEN A LA REUNION 3

I PÉRIODE ANTÉRIEURE À 1980 4

II PÉRIODE 1980 – 2002 6

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 1 15

CHAPITRE 2

ETUDE MORPHODYNAMIQUE ET SEDIMENTOLOGIQUE 17

INTRODUCTION 18

I MESURES GPS DES POINTS INITIAUX DES TRANSECTS DE PLAGES 18

II EVOLUTION MORPHODYNAMIQUE DES PROFILS DE PLAGES 20

II.1 GENERALITES SUR LES PLAGES 20

II.2 METHODOLOGIE 21

II.2.1 TECHNIQUE DE RELEVÉS ET APPAREIL DE MESURE 21

II.2.2 EXPLOITATION DES DONNEES 23

II.3 RESULTATS ET EXPLOITATIONS DES DONNEES 24

II.3.1 TYPES DE PROFILS TOPOGRAPHIQUES DES PLAGES CORALLIENNES 24

II.3.2 EVOLUTION DES BILANS SEDIMENTAIRES SAISONNIERS PAR SECTEURS DE PLAGES 26

II.3.3 EVOLUTION GLOBALE DES BILANS SEDIMENTAIRES DES RADIALES 30

III ETUDE GRANULOMÉTRIQUE DE LA PLAGE DE L'HERMITAGE/LA SALINE LES BAINS 32

III.1 MÉTHODOLOGIE 32

III.1.1 PRINCIPE 32

III.1.2 MISE EN ŒUVRE. 32

III.1.3 PRESENTATION DES RESULTATS. 32

III.2 ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS. 32

IV RÉPARTITION DES SÉDIMENTS EN SUBSURFACE SUR LA ZONE DE L'HERMITAGE/LA SALINE 36

IV.1 CONTEXTE GÉOLOGIQUE 36

IV.2 LE RECOUVREMENT SÉDIMENTAIRE 36

IV.3 ETUDE DE COUPES EN AFFLEUREMENT 37

CONCLUSION 40

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 2 42

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Appareil de mesure de levé de profil de plage 22

Figure 2 : Profils caractéristiques des morphotypes de plages coralliennes identifiées 25

Figure 3 : Exemple de variations saisonniers entre phases érosives et engraissantes ; il est à noter l'évolution inverse de St Pierre par rapport aux Roches Noires. Les numéros représentent les différentes dates de prélèvement, depuis juillet 1998 à juillet 2002 27

Figure 4 : exemple de profil oscillant autour d'un profil dit d'équilibre 29

Figure 5 : Exemple de courbes granulométriques 35

Figure 6 : Sondages effectués par le B.R.G.M sur la zone de l'Hermitage 37

Figure 7 : Photos des affleurements du petit Trou d'Eau (à gauche) et de la ravine de l'Hermitage (à droite) 38

Figure 8 : Photos prises sur le site du stade de La Saline au pied d'une dune de sable ; ici encore on note l'absence de sables fins coralliens 39

LISTE DES TABLES

Tableau 1: Bilans sédimentaires par zone de plage pour la période de février à juillet 2002 et bilan global depuis Juillet 1998 27

Tableau 2 : Bilans sédimentaires globaux depuis juillet 1998 30
pour chaque radiale 30

Tableau 3 : Présentation des médianes par profil de plage et des moyennes de médianes 34

CHAPITRE 1

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE : EVOLUTION DES CONNAISSANCES EN MATIERE D'EROSION SUR LE LITTORAL CORALLIEN A LA REUNION

Le pouvoir attractif des littoraux meubles et en particulier coralliens n'est plus à démontrer. Leur vulnérabilité face aux modifications non naturelles que leur imposent certaines formes du développement socio-économique fait qu'ils sont bien souvent victimes de leur succès. Le secteur géographique pilote choisi n'échappe pas à cette tendance évolutive. En parallèle à une expansion de l'occupation urbaine et des activités sur la frange côtière de l'Ouest de l'île, la région littorale de l'Hermitage a subi des remaniements sédimentaires et des effets érosifs ont été répertoriés dès le début des années 80. Il est donc ainsi possible de distinguer 2 périodes en matière de connaissances des évolutions sédimentaires des plages coralliennes de cette zone géographique :

- avant 1980
- dès 1980 et après.

I PERIODE ANTERIEURE A 1980.

Dans le cadre de leurs doctorats, **ROBERT (Thèse de 3e cycle, 1974) et MONTAGGIONI (Thèse d'Etat, 1978)** apportent les premiers descriptifs respectivement sur la géomorphologie côtière et sur la sédimentologie de la frange littorale et corallienne.

Dans une caractérisation et une répartition des faciès dynamosédimentaires, MONTAGGIONI signale pour les plages sableuses d'arrière récif « une prédominance de sédiments en dépôt momentané (37 à 52 % de l'ensemble) et mobiles lessivés (33 à 48 %). Cela souligne le caractère de *forte mobilité des matériaux constitutifs des plages concernées.*

Si au cours de cette période, aucun constat spécifique à l'érosion n'est dressé, MONTAGGIONI évoque cependant un recul littoral à travers l'analyse des « beach-rocks » ou grès de plage.

Le beach-rock doit sa formation à une consolidation des sables en profondeur dans la zone de balancement des marées. Dans les régions à faible marnage telle que les Mascareignes, MONTAGGIONI considère que « la partie basale d'une dalle donnée doit sensiblement correspondre à la position du niveau moyen des basses mers à laquelle la dalle était associée au moment de sa lithification ». Cette formation « intertidale » est ainsi un marqueur de lignes de rivage. La mise à nu de cette formation géologique devient ainsi un indice de recul de la ligne de côte. MONTAGGIONI précise : « il suffit de définir l'âge de la cimentation de la dalle la plus récente pour connaître, avec une approximation satisfaisante, le moment où a commencé le recul de la plage ». Sur la base de ces principes et en s'appuyant sur des données radiochronométriques confortées par une prise en compte des vitesses de croissance verticale des bioconstructions, MONTAGGIONI précise que « la lithification de ces dalles se serait prolongée jusqu'à 200 ans B.P. environ ; époque à laquelle aurait débuté la phase de recul de la plage et de mise à nu des dalles gréseuses correspondantes. L'étude référente porte cependant sur les grès de plage de « Poste de Flacq » à l'île Maurice *mais MONTAGGIONI se référant à d'autres travaux (MÖRNER, 1973 ; PIRAZZOLI, 1976) tend à généraliser le phénomène à l'ensemble des Mascareignes et retient un*

processus érosif qui serait la conséquence d'un mouvement positif de la mer, amorcé en l'an 1840, à la vitesse de 0,11 cm / an selon MÖRNER. Cette évolution s'intégrerait dans une suite d'oscillations eustatiques de très faible ampleur ayant marqué les deux derniers millénaires et autour d'une tendance à long terme à peu près stable du niveau marin. La pérennité de cette tendance fait aujourd'hui l'objet des plus vives interrogations dans le contexte du réchauffement climatique planétaire.

Au cours de cette période, les conséquences de la réalisation de deux aménagements sur le domaine maritime et un événement exceptionnel météomarin sont aussi à retenir. Leur responsabilité a été reconnue par la suite par de nombreux auteurs (DDE Réunion, CETE Méditerranée, R. ROBERT, C. GABRIE, R. TROADEC ...) dans les profondes modifications constatées du linéaire côtier. Il s'agit de la construction du premier port de Saint-Gilles, de celle du ponton situé au Sud de la passe de l'Hermitage (entre le camp ONF et les Villas du Lagon) et de l'action d'une houle d'importance exceptionnelle sur les rivages Ouest de l'île de La Réunion.

Le port de Saint-Gilles

Sa construction se réalise entre les années 1966 et 1968. La construction de la digue Sud en travers du transit littoral Sud-Nord dominant a entraîné une profonde modification des estrans situés au Nord de la ravine de l'Hermitage.

- Les constats : *l'engraissement de la plage au Sud du port (plage des Brisants) avec en parallèle le* développement d'un gradient érosif vers la passe de l'Hermitage.
- Les explications avancées :

  . par l'obstacle ainsi créé; intensification des courants du lagon lors d'épisodes de forte houlographie (sorte d'effet VENTURI dégarnissant les zones sédimentaires du Sud, en amont du transit dominant ...).

  . par effet d'épi ; accumulation de sable à l'aval du transit (plage des Brisants) et « avancée du front de la plage d'environ une vingtaine de mètres par rapport à la position de 1966 » (GABRIE, 1985).

Le ponton de l'Hermitage

Il n'apparaît pas sur les photographies IGN de la campagne 1966. Sa construction semble se situer dans la même période que celle du port de Saint-Gilles puisque les photographies aériennes effectuées dès le début des années 1970 montrent sa présence.

Ouvrage à piliers en béton et prolongé d'une vingtaine de mètres dans le plan lagonaire, il est en mesure de modifier l'hydrodynamique du plan d'eau. Sur des petits fonds, il peut déflecter la circulation courantologique littorale, déstabiliser et recentrer la construction corallienne et par voie de conséquence, induire de nouvelles focalisations érosives sur d'autres secteurs littoraux (TROADEC, 1994).

L'événement météomarin

- Relaté par les services météorologiques de La Réunion dans une brochure intitulée « Fortes houles et microséismes à La Réunion » (1968), il appartient à la mémoire de nombreux réunionnais.

- Entre le 21 et le 23 mai 1968, une houle d'une puissance exceptionnelle a frappé les rivages exposés au quart Sud Ouest. Le déséquilibre entre un cyclone sub polaire très creux et un fort anticyclone d'Afrique du Sud a construit un profond thalweg caractérisé par un très fort gradient de pression. L'activité et le déplacement du système vers l'Est Nord-Est a généré une houle qualifiée de « raz de marée » à La Réunion. L'effet paroxystique s'est exercé dans la nuit du 21 au 22 mai et à 3 h du matin, des lames de 8 à 9 m étaient encore enregistrées à la station météo de Saint-Pierre. *L'envahissement des plages de la côte Ouest s'est produit dès 18 h T.U. le 21 mai (submersion de la RN1 sur 10 cm sur une longueur de 150 m au P.K. 40 + 400).* La dénivellation des terrains en arrière plage sur le littoral de l'Hermitage a favorisé cet envahissement sous l'effet des surcotes et des forts déferlements dans le lagon.

- R. TROADEC, observateur de l'événement à l'époque, a pu faire les observations suivantes. Des phénomènes de battements amples de la masse d'eau lagonaire sur de grandes surfaces, sous la forme de vidanges et de surcotes, étaient visibles. De forts remaniements sédimentaires ont concerné tous les estrans et les fonds lagonaires de cette zone faisant apparaître un détritique grossier abondant. Des atteintes érosives sont constatées sous la forme du déchaussement des filaos dont les systèmes racinaires sont dégagés sur des hauteurs pluridécimétriques, en particulier sur le site du lieu-dit à l'époque « Père La Frite ».

- R. ROBERT (in GABRIE, 1985) signale « que la houle de 1962 a eu un effet très destructeur sur les herbiers ». Ces herbiers de Syringodium parsèment les petits fonds des lagons et sur des secteurs où le récif est étroit ; ils ont normalement un rôle protecteur contre les forces hydrodynamiques.

II PERIODE 1980 – 2002.

P. PUECH, dans un rapport de mission au Comité Régional de Tourisme (octobre 1980) traite de « l'Aménagement des plages dans l'île de La Réunion ». Dans son ensemble, l'étude propose des actions à mener « qui permettraient d'accroître le potentiel balnéaire et la capacité d'accueil des plages réunionnaises ». En matière de dégradations, hormis les contacts de pollution, *il n'est guère fait allusion à des problèmes d'érosion des littoraux meubles. On relève cependant qu'au Sud du port de Saint-Gilles, « la plage est en voie*

de régularisation » suite à la construction de la digue qui « gêne le courant de décharge vers la passe de Saint-Gilles ».

Une brochure du Conservatoire de l'Espace du Littoral « La Réunion entre Terre et Mer » (1980) signale « la forte occupation du littoral et la course à la mer » ; phénomènes générateurs de pollutions diverses, de ségrégation sociale et d'incidents relationnels entre les divers occupants et usagers.La grande préoccupation est le choix d'une politique d'exploitation du littoral et *si les notions de vulnérabilité et de fragilité sont implicites, il n'est fait aucune référence à une quelconque érosion des plages.*

A la même époque, une décision recherchant l'amélioration du produit d'appel que sont les plages, n'est pas sans conséquences graves.

Le « poids » d'un certain modèle touristique en matière de plage (« sable fin-cocotiers ») développé dans les années 70, conduit (et conduit toujours) de nombreux usagers et professionnels à demander la mise en place d'un tel « produit » au niveau des plages touristiques réunionnaises présentant naturellement un détritique grossier.

La fréquentation accrue des estrans coralliens, quant à elle, nécessite une qualité de propreté et d'hygiène de ce mêmes plages. Dès 1979, ***une technique de nettoyage mécanique*** *avec enlèvement des détritus d'origine domestique mais en même temps des débris et blocs coralliens, fut mise en place pour répondre à cette nécessité.*

En 1984-1985, C. GABRIE sous la direction scientifique de L. MONTAGGIONI (Laboratoire de Géologie de l'Université de La Réunion), dans une étude intitulée **« L'érosion des plages balnéaires à La Réunion »**, *constate et* ***officialise scientifiquement pour la première fois une attaque érosive*** *de certains littoraux particulièrement fréquentés. Parmi d'autres causes évoquées, le nettoyage mécanique est présenté comme un facteur fort.*

Initiée par la DDE Réunion, une réunion tenue le 30. 10 . 1987 sur le thème de « l'érosion des plages des lagons de Saint-Gilles » amène le C.E.T.E. Méditerranée à confirmer le fait dans son compte-rendu. *Le bureau d'étude estime à environ 1,5 cm l'épaisseur de matériaux coralliens retirés sur les 20 hectares chaque année. Cette technique mise en service en 1979 fut abandonnée en 1988 suite à ces constatations, après donc 9 ans de service ...*

Cette estimation est la **seule approche quantitative disponible jusqu'à l'étude 1992-1994 du LSTUR** et les suivantes. Toutes les autres approches des années 1980 restent dans le domaine de la typologie de l'érosion et sont d'ordre qualitatif.

Nous citons quelques extraits de la conclusion de l'étude de C. GABRIE sur « L'érosion des plages balnéaires à La Réunion » (1985) ; premier constat scientifiquement officialisé

« A La Réunion, comme sans les autres îles de l'Océan Indien, même si elle n'est pas toujours flagrante, l'érosion des plages existe.

« Alors qu'en temps normal, après une forte tempête, la plage a tendance à se restabiliser, on constate qu'à l'heure actuelle, certains secteurs ne se reconstituent plus ».

« Les conclusions de l'étude montrent que, si de rares secteurs sont en accrétion, certaines zones par contre sont en nette régression. Ce recul peut être très localisé, ou au contraire plus étendu et plus important ».

« Les problèmes les plus aigus se posent pour la plage de l'Hermitage, celle de l'Etang-Salé et celle de Saint-Pierre pour les plages étudiées, ainsi que celle de l'Etang du Gol (observations visuelles).

Certaines de ces observations, en particulier sur l'Hermitage, sont confirmées dans deux **rapports du C.E.T.E. Méditerranée en décembre 1987 et juillet 1991**.

Le travail de C. GABRIE avait pour but d'une part de rappeler les principales causes d'érosion des plages et d'autre part de faire un état initial des sites érodés. Pour chaque site, il a été réalisé une fiche descriptive de ces principales caractéristiques. En complément, est présentée une analyse comparative de profils de plages mesurés en 1984 et 1985 mais dont les points de référence ont été perdus pour la plupart.

Les deux rapports (Laboratoire de Géologie de La Réunion et C.E.T.E. Méditerranée) s'accordent sur un large éventail de causes probables, tant naturelles qu'anthropiques. L'évocation de leur responsabilité est davantage basée sur le constat de leur présence et sur la connaissance de leur phénoménologie dans le monde que sur des relations de causes à effet scientifiquement établies, faute de suivis et de données suffisantes.

Phénomènes naturels

- affaiblissement des récifs coralliens situés au droit des plages.
- lente remontée du niveau marin.
- accroissement possible du pouvoir destructeur des vagues.
- phénomènes cycliques exceptionnels : cyclones, fréquence rapprochée de fortes houles ou de vents forts, surcotes exceptionnelles du niveau de la mer résultant de dépressions atmosphériques.
- érosion des plages par les ravines ou le débordement des eaux en période cyclonique.

Causes d'origine humaine

- urbanisation des zones côtières limitant l'infiltration des eaux de pluies et favorisant l'écoulement superficiel générateur du ravinement des dunes littorales.
- pompages importants dans la nappe phréatique littorale responsables d'affaissement de la topographie.
- modifications du linéaire et des profils littoraux par des aménagements touristiques, portuaires, de protection des plages (murs notamment, reprofilage du haut de plage, destruction de la végétation fixée des dunes.
- exploitation des matériaux meubles sur les dunes, dans les lagons ou prélèvement de blocs.

- nettoyage mécanique des plages avec enlèvement des débris et blocs coralliens.
- dégradation des formations vivantes du récif corallien, liée pour partie aux actions anthropiques (apports terrigènes liés aux travaux littoraux ou en amont et véhiculés par les ravins ,apports polluants, piétinement des récifs, dragages dans les lagons) .

Citant R. PASKOFF (1991), C. GABRIE conclut sur la grande responsabilité des causes humaines (constructions de maisons ou de murs trop près de la plage, extractions de matériaux, dégradation de la plage, dégradation anthropique des récifs coralliens) qui se surajoutent à une conjoncture naturelle défavorable et accélèrent la récession des plages.

Le C.E.T.E. Méditerranée confirme :

- *une détérioration importante des hauts de plage (disparition de la végétation fixatrice des dunes).*
- *la présence importante de murs de protection aux effets négatifs en haut de plage.*

Le bureau d'étude propose un programme d'actions relatives à la protection des plages à différentes échéances.

En 1991, à la demande du Service Aménagement et Urbanisme de la DDE, ce même bureau d'étude engage une réflexion et sollicite le LSTUR, **dans le cadre de l'instruction du projet d'aménagement de la ZAC de l'Hermitage.** Une étude préliminaire (**MASSON, 1991**) met fortement en cause le piétinement lié à la fréquentation, la pollution affectant les platiers coralliens et les prélèvements de sable du nettoyage mécanique des dernières années.

Des facteurs aggravants pour l'avenir sont rappelés :

- la disparition progressive de la fonction protectrice du récif.
- la présence grandissante d'aménagements inducteurs de l'érosion (murets de protection).

D'autres liés au projet sont identifiés : à savoir la mise en œuvre d'aménagements (projet ZAC – RN1 ...) susceptibles de provoquer la perte de la fonction de stockage temporaire des débits de crues des ravines, d'accroître les ruissellements pluvieux par imperméabilisation des sols, de réduire la fonction décantation-autoépuration assurée par la zone d'épandage naturelle. Les modifications du régime hydraulique pouvant induire une fragilisation accrue du complexe récifal.

Suivent des propositions :

- à court terme, de reconstitution des hauts de plage dégradés.
- à long terme, avec différentes préconisations : mise en réserve naturelle du récif corallien ; arrêt du prélèvement des matériaux ; intégration d'un programme de gestion rationnelle des eaux pluviales ; création d'un ouvrage ralentissant l'évacuation des sables par la passe de l'Hermitage.

De 1992 à 1994, à la demande de la Cellule Locale de l'Environnement (CLOE), le LSTUR s'engage sur un plan de suivi et d'étude des plage à vocation touristique avec pour but de rechercher des solutions de nettoyage qui ne menacent pas leur pérennité.

Au cours de cette étude de « Suivi expérimental sur le nettoyage et la sauvegarde des plages balnéaires », (responsabilité scientifique de J. COUDRAY), R. MESPOULHE et R. TROADEC *mettent en évidence une crise érosive affectant les estrans coralliens de La Réunion.*

Pour la première fois, des mesures précises et répétées du profil des plages, au niveau de radiales témoins, permettent d'établir des bilans sédimentaires, c'est-à-dire de quantifier l'évolution dans le temps des apports et des départs naturels de sédiments.

Le constat général qui en résulte est que le plus souvent le bilan est négatif, c'est-à-dire que les plage s'amaigrissent.

Les causes probables de cet amaigrissement, tant naturelles qu'anthropiques, sont identifiées et discutées. Il est conclu qu'une grande responsabilité relèverait du mauvais état général des récifs nourriciers, aggravé par les actions anthropiques exercées sur les plages elles-mêmes et notamment les constructions mal maîtrisées et le ramassage inconsidéré des blocs coralliens.

Des solutions sont préconisées, relatives principalement au type de nettoyage à mettre en œuvre : l'usage de machine est proscrit ; le nettoyage doit être manuel et consister à débarrasser la plage de tous détritus d'origine humaine et lui restituer, après désagrégation partielle et par enfouissement, tous les débris minéraux d'origine naturelle.

Le nettoyage, réalisé dans un premier temps à titre expérimental, devra être scientifiquement suivi (poursuite de l'observation et des mesures des profils). En fonction des résultats de ce suivi, la méthode sera pérennisée en l'état ou corrigée et adaptée à chaque plage. L'objectif final étant non seulement d'éviter la poursuite de l'érosion des plages, mais de favoriser leur reconstitution. Des mesures d'accompagnement se révèlent nécessaires parmi lesquelles une revégétalisation appropriée des hauts de plage.

De 1994 à 1996, suite à cette étude, on assiste à **une prise de conscience plus marquée sur le risque érosif** de la part des institutionnels locaux. Elle se traduit en particulier par **la tenue de plusieurs réunions** mettant ou cherchant à mettre en place diverses actions de réhabilitation du haut de plage de l'Hermitage. Conduites par la DDE (division PROSPET), sur l'appui technique du CETE Méditerranée, les réflexions menées regroupent des représentants de la Cellule Locale à l'Environnement (CLOE), de la DIREN, de l'Université, de l'ONF, du CIRAD.

Quelques actions sont réalisées :

- changement des pratiques pour le nettoyage des plages prenant en compte les recommandations du rapport 1994 de l'Université.
- limitation de la circulation des véhicules sur les arrière-plages par la délimitation physique, sous forme d'alignements de plots en bois, des aires de stationnement (chantier de réinsertion de détenus et assistance technique de l'ONF).
- petite opération de reboisement en partie Sud de la plage la plus dégarnie et menacée (ONF).
- essais de rechargements en sables du haut de plage.

Les deux dernières actions, bien que méritoires, ne sont pas à l'échelle du problème au vu de l'importance des surfaces à traiter et de la dynamique sédimentaire qui les affecte. **Un rapport du CETE Méditerranée (provisoire, avril 1996 – définitif, décembre 1996) prenant largement en compte une réunion technique avec le LSTUR (novembre 1995)** conclut cette période *où il est reconnu que de nombreuses propositions visant à réduire l'effet érosif n'ont pu être mises en œuvre.* Pour l'essentiel, nous citons :

- *la suppression des obstacles en haut de plage*
- *les remodelages du haut de plage*
- *la maîtrise de la fréquentation humaine*
- *l'information de la population*
- *la constitution de réserves naturelles*
- *la mise en place d'une structure de gestion.*

Au niveau des propositions qui cherchent à combler ces manques, il est regretté que les enjeux d'une politique de protection de ce littoral ne soient pas clairement définis. Ils sont évalués différemment par les différents acteurs et de nombreux blocages persistent.

Deux approches sont proposées : minimaliste ou plus volontariste. La dernière s'appuie sur la réalisation du projet Parc Marin et la constitution de réserves naturelles pour permettre la mise en œuvre efficace, le suivi et la gestion de toutes les opérations nécessaires à la lutte contre l'érosion.

Confirmant les observations du LSTUR, l'évolution de l'érosion est considérée par le rapport, comme relativement inquiétante :

- *elle se poursuit, bien qu'à vitesse limitée*
- *elle s'accentue dans la partie moyenne du site.*

Des arbres du linéaire de haute plage sont nouvellement affouillés ou morts. Des affleurements de beach-rock s'étendent plus largement aujourd'hui.

Des analyses scientifiques du laboratoire d'Ecologie Marine (ECOMAR) révèlent la ***continuité des régressions dans l'activité biologique du récif corallien*** *depuis la fin des années 1970.*

Nous rappelons les points essentiels de ces analyses :

- un processus d'évolution régressive des peuplements de bioconstructeurs (BOUCHON et al., 1981 ; GUILLAUME et al., 1984 ; NAIM, 1989, 1993).
- une destruction des peuplements coralliens (CHABANET, 1994 ; NAIM, 1994).
- une pollution des eaux récifales (CUET, 1989, 1994) entraînant des perturbations du métabolisme dans les zones polluées (MIOCHE, 1994).
- une diminution de l'abondance et de la diversité des peuplements de poissons inféodés au récif corallien (LETOURNEUR, 1992 ; CHABANET, 1994).
- une diminution de l'abondance de certains juvéniles de poissons sur les platiers récifaux (CHABANET, 1989 ; CHABANET et LETOURNEUR, 1995).

En 1996, sur la base des menaces érosives, **la SEM balnéaire de Saint-Gilles-les-Bains** , consciente de la valeur touristique du littoral concerné, commande une étude sur **« L'aménagement de l'arrière-plage de l'Hermitage »**. **L'ONF** réalise deux avant-projets (1997 et 1998) et réalise une analyse détaillée du site. Le bureau **SODEXI (1997)** cherche à définir un schéma directeur d'aménagement qui soit avalisé par les différents intervenants.

En janvier 1997, pour le compte de la **DIREN, le bureau OCEA** réalise la cartographie des plages à vocation balnéaire de La Réunion offrant ainsi une limitation et une évaluation relativement précise des surfaces.

En août 1997 est créée l'Association Parc Marin (APM). Cette création officialise une structure interlocutrice principale des problématiques du littoral globalement « Sous le Vent » à l'île de La Réunion. Cette structure émet rapidement le besoin d'une reprise du suivi scientifique des plages coralliennes de La Réunion . L'étude, prévue pour durer 3 ans (1998 – 2001), est confiée au premier intervenant en la matière : le **LSTUR**. Cela d'autant plus que le laboratoire, dans sa tâche formative, a continué à faire travailler plusieurs étudiants (11) de Licence et de Maîtrise sur ce sujet, suite à l'étude de 1992 – 1994.

Les résultats obtenus offrent un suivi périodique de l'évolution topographique de la plupart des plages coralliennes et les données acquises enrichissent le rapport final intitulé **« Suivi de l'évolution du profil des plages coralliennes de La Réunion » (R.TROADEC et al, février 2002).**

L'étude développe une analyse fine de l'évolution des profils et des bilans sédimentaires tant saisonniers que globaux.

Plusieurs observations réalisées dans cette étude sont autant de reflets qui traduisent une ***atteinte érosive*** *des plages réunionnaises. Le maintien d'une relative pente basse et droite pour les profils, est un rare point positif qui semble traduire* ***une certaine résistance actuelle à l'accentuation d'une érosion*** *que des concavités plus accusées des estrans pourraient révéler.*

Parmi **les observations à valeur « d'indicateur d'érosion »**, et en plus des figures déjà souvent signalées (affouillements, déracinements...), on retiendra les points suivants :

- beaucoup de radiales sont courtes. Elles sont bien souvent amputées de leur arrière-plage, privatisée et cernée par des murs de propriétés. Les « réservoirs sédimentaires » représentés par ces arrière-plages, sont aujourd'hui piégés et ne participent plus aux échanges sableux entre les différents compartiments de la plage. Ces échanges sont pourtant fondamentaux pour compenser les impacts des régimes hydrodynamiques exceptionnels. On réalisera que parfois, l'avancée du bâti sur la plage est telle que cette dernière est réduite à une zone correspondant globalement à son simple estran inférieur.
- les grandes fluctuations de profils qui concernent certaines radiales. Elles traduisent la grande mobilité des sédiments constitutifs trop souvent déstructurés par des interventions humaines. Il est

évident que de tels secteurs de plage comportent un grand risque d'instabilité pour les constructions qui les jouxteraient de trop près (ou qui les jouxtent déjà ...).

- la grande dominance d'une forme de profil à la pente rectiligne, plate dans son extension concernant les plages suivies ; tant dans le temps que dans l'espace. Cela signifie que ces secteurs sont peu propices aux accumulations sédimentaires et sont régulièrement balayés en totalité par les déferlements des houles. Ils confirment en cela que ces plages (sens strict) apparentes d'aujourd'hui ne sont plus que les reliquats d'anciens estrans dont les parties les plus hautes et les arrières sont aujourd'hui « occupés ». La morphologie caractéristique et originelle n'est plus ; la plage est incomplète ...

On rappellera que ce type de profil « plat » traduit une **limite d'équilibre**, en deçà de laquelle la tendance à la concavité (visible sur certains profils) est la marque caractéristique de l'amaigrissement généralisé.

Cette caractéristique morphologique apparaît également pour des estrans dont les arrière-plages sont encore disponibles. Mais l'intense fréquentation, trop souvent « indisciplinée », imprime une action telle que la réserve sableuse de ces zones est remaniée au point de ne plus répondre convenablement aux échanges et à l'équilibre sédimentaire de la plage. Des jonctions plage – arrière-plage, quand elles existent, sont fortement perturbées et entamées par l'érosion anthropique. Elles relèvent d'un nécessaire remodelage.

Actuellement les plages à profil érodé semblent globalement stabilisées autour d'une ligne d'équilibre très « limite ». Les départs de sables sont freinés mais ce n'est pas pour autant que les déficits sédimentaires se combleront rapidement **surtout si les causes d'érosion demeurent**. En effet il n'y a aucune raison pour que les processus érosifs s'inversent dans des secteurs où la haute plage reste équipée par des ouvrages au fort pouvoir réfléchissant vis avis des déferlements...

Des causes naturelles peuvent être invoquées pour expliquer un phénomène d'érosion côtière reconnu dans le monde entier. On peut dans notre cas citer pour mémoire :

- une recrudescence de phénomènes exceptionnels (cyclones) et d'ondes de tempête
- le rôle discuté des épisodes « El Niño »
- des variations du niveau marin à plus ou moins grande période
- une dégradation des édifices coralliens liée au réchauffement des eaux marines.

Ces aspects ont été discutés dans la précédente étude du LSTUR (MESPOULHE, TROADEC, 1994) .

Ces causes sont à ranger dans le domaine d'un « probable » fortement discuté par la communauté scientifique.

Cela ne doit pas minimiser voire occulter **des responsabilités humaines bien réelles**, liées en particulier à **une appropriation de la bordure littorale** par un développement qui apparaît peu soucieux du « principe de précaution » et de la notion de la « durabilité » dans le respect des équilibres naturels.

Une étude conjointe des laboratoires LSTUR – ECOMAR : Relations entre l'équilibre sédimentaire des plages, la structure des communautés et le budget des carbonates dans l'écosystème corallien de La Réunion (D. MIOCHE, R. TROADEC, 2000) « a permis de montrer qu'il existait effectivement une relation entre la vitalité des platiers récifaux et l'équilibre sédimentaire des plages, dans un contexte particulier de récif étroit et exposé à des régimes houlographiques puissants. Les plages situées en arrière d'un platier caractérisé par une calcification nette élevée ont bénéficié d'un meilleur engraissement lors de l'installation des houles australes en régime général, et ont subi une plus faible érosion en régime cyclonique. Dans le premier cas, le platier récifal s'est comporté comme une source sédimentaire via une production suffisamment importante et renouvelable de sédiments carbonatés. Dans le deuxième cas, sachant que les actions houlographiques exceptionnelles sont les plus déterminantes, ce platier s'est comporté comme un brise-lame atténuant les effets dévastateurs des déferlements cycloniques ».

Ce travail laisse entendre combien la dégradation anthropique des récifs coralliens serait lourde à long terme pour la stabilité physique de ces littoraux.

A la suite de l'étude de 1994 (*R.Troadec et R.Mespouhle LSTUR*) des mesures de protection ont été prises et appliquées sur certaines plages du littoral réunionnais. Depuis, sur ces secteurs, le bilan est plutôt encourageant, mais il faut rester très vigilant et poursuivre les efforts entrepris.

Les aménagements comme la délimitation du stationnement des voitures, la plantation d'arbres, l'entassement des débris de coraux à la limite du sable et de la végétation rampante (patates à Durand) ou leur l'enfouissement, semblent des mesures efficaces qui freinent l'érosion.

Ces actions comme d'autres expérimentales (réarrangement des débris coralliens), bien que positives, ne sont pas suffisantes pour contenir le processus d'érosion. Les tentatives de rechargement, aux creux des racines des filaos et au pied des murs désensablés, avec les débris de coraux ne sont pas à l'échelle du problème (certains filaos sont déchaussés de deux mètres de haut à la plage de l'*Hermitage*). Des remodelages des hauts de plage associés à une végétalisation adaptée, sont donc à considérer.

On insistera sur le fait que les plages coralliennes de la Réunion sont peu nombreuses, peu étendues et d'une grande mobilité car dans l'ensemble très exposées à des régimes houlographiques pouvant être sévères.

Dans ce contexte, on mesurera toute l'importance de connaître au mieux les fonctionnements hydrodynamiques et sédimentaires en liaison avec les phénomènes saisonniers ; cela afin de pouvoir apporter toute l'aide nécessaire à un développement respectueux des équilibres des zones littorales concernées.

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 1.

ANONYME, 1968. Fortes houles et microséismes à La Réunion. *Météorologie Nationale. Service de La Réunion.*

ANONYME, 1980. Le littoral de La Réunion ; Aménagement et Environnement. *G.E.P. Direction Départementale de La Réunion.*

ANONYME, 1980. La Réunion entre Terre et Mer. *Conservatoire de l'espace et du littoral.*

ANONYME, 1998. Aménagement de l'arrière plage de l'Hermitage. Approche expérimentale. Avant-projet. *ONF, La Réunion.*

BONNEAU Sophie, 1997. Cartographie des plages à vocation balnéaire de La Réunion. *OCEA, DIREN Réunion.*

C.E.T.E. MEDITERRANEE, 1987. Problèmes d'érosion des plages des lagons de Saint-Gilles. Rapport interne. *Direction Départementale de La Réunion.*

FOURCADE J. N., 1998 / 1999. Suivi de l'évolution topographique des profils de plages coralliennes à l'île de La Réunion. Rapport de stage. *Université de La Réunion.*

GABRIE C., 1985. L'érosion des plages balnéaires de la Réunion. Contrat, *Université de la Réunion.*

GAUSSET M., 1998. Cartographie morphologique du récif corallien de la Saline et suivi des profils de plages coralliennes de l'île de la Réunion. Rapport de stage, *Université de la Réunion.*

GERMAIN N., 2000. Suivi de l'évolution des profils coralliens de plages coralliennes à l'île de La Réunion. Rapport de stage. *Université de La Réunion.*

HUYEZ A. et JANAUD A.M., 1984. Géomorphologie littorale. Bull. Labo. Géographie Physique. *Université de La Réunion.*

MASSON M., 1996. Protection de la plage de l'Hermitage à Saint-Gilles contre l'érosion, Etude complémentaire, *Direction Départementale De la Réunion.*

MIOCHE D., TROADEC R. et al., 2002. Relations entre l'équilibre sédimentaire des plages, la structure des communautés et le budget des carbonates dans l'écosystème corallien de La Réunion. Pôle Mer Littoral. *Le journal de la Nature. Tome 14, Bourbon Sciences.*

MONTAGGIONI L., 1978. Recherches géologiques sur les complexes récifaux de l'Archipel des Mascareignes (Océan Indien Occidental). Thèse (volume 1 et volume 2), *Université de Marseille.*

MONTAGGIONI L., FAURE G., 1980. Les récifs coralliens des Mascareignes (Océan Indien). *Université de la Réunion.*

PUECH P., 1980. L'aménagement des plages dans l'île de La Réunion. Rapport de mission. *CTR La Réunion.*

ROBERT R., 1974. Morphologie littorale de l'île de La Réunion. Thèse 3e cycle. *Univ. Montpellier.*

ROSOLEN G., 1997. Etude sédimentologique d'une partie de la plage de Saint-Gilles les bains et traitement mathématique des échantillons. Rapport de stage. *Université de la Réunion.*

ROZAUX E., BARRAU F.,1997/1998. Approche de la dynamique et du bilan sédimentaire des plages coralliennes à la Réunion. Rapport de stage. *Université de la Réunion.*

TROADEC R., MESPOULHE R., 1994. Suivi expérimental sur le nettoyage et la sauvegarde des plages balnéaires de la réunion. *Université de la Réunion.* (1 Rapport et 1 annexe).

TROADEC R. et al., 2002. Suivi de l'évolution des plages coralliennes de La Réunion. *APM / Univ. de La Réunion.*

CHAPITRE 2

ETUDE MORPHODYNAMIQUE ET SEDIMENTOLOGIQUE

INTRODUCTION.

Le littoral réunionnais est soumis depuis quelques années à de fortes pressions anthropiques. En particulier l'attrait des plages coralliennes, dites « de sables blancs », est à l'origine d'un développement massif sur le domaine côtier sans que le fonctionnement du complexe récifal ne fasse l'objet d'une prise en compte sérieuse.

La présente étude s'inscrit dans le souci d'une meilleure compréhension des interactions Côtes-Océan, exprimé par le Conseil Régional et la D.I.R.E.N, afin de répondre aux besoins de gestion et de suivi du littoral réunionnais.

Le travail effectué ici s'est déroulé en quatre étapes :

- un géoréférencement complet de tous les points de départ des radiales existantes ;
- un suivi des profils de plages ;
- un échantillonnage et une analyse granulométrique sur la zone témoin de l'Hermitage ;
- un essai de sondage « tarière » et une observation d'affleurement de dépôts sédimentaires marins.

I MESURES GPS DES POINTS INITIAUX DES TRANSECTS DE PLAGES.

Saint Leu :

Mesures réalisées le mardi 23 juillet 2002.

Point de référence : CLOU sur dernier bassin face à la maison d'exploitation de la station d'épuration de St Leu. Ce point à été mesuré depuis le point 9741302 de la Pointe au Sel.

Réf.	9741302	0001
Longitude	55 ° 16 ' 56,0790 ''	55 ° 17 ' 11,912424 ''
Latitude	-21 ° 12 ' 14,117 ''	-21 ° 11 ' 26,049228 ''
Altitude	14,95 m	11,7118 m

Résultats de la manip de Saint Leu : Les points sont ici donnés selon l'ellipsoïde de référence WGS84.

ID	LONG	LAT	He	RMSX	RMSY	RMSZ
LCIM	55 ° 17 ' 09,315276 ''	-21 ° 11 ' 27,57336 ''	11,07	0,074	0,052	0,041
LGEN	55 ° 17 ' 13,391088 ''	-21 ° 10 ' 47,04006 ''	8,89	0,123	0,099	0,078
LRON	55 ° 17 ' 12,916284 ''	-21 ° 10 ' 37,46442 ''	8,15	0,094	0,136	0,082
LFCS	55 ° 16 ' 45,141240 ''	-21 ° 09 ' 09,44208 ''	8,60	0,075	0,079	0,081
LFCN	55 ° 16 ' 38,421804 ''	-21 ° 09 ' 05,98568 ''	9,66	0,110	0,028	0,089

Résultats de la manip de Saint Leu : Les points sont ici donnés selon une modélisation sur le géoïde en coordonnées géographiques Piton des Neiges puis en coordonnées planes Gauss Laborde Réunion.

ID	LONG	LAT	X	Y	Altitude
LCIM	55 ° 17 ' 30,33505 ''	-21 ° 10 ' 42,61069 ''	134912,391	43134,330	6,609
LGEN	55 ° 17 ' 34,42210 ''	-21 ° 10 ' 02,07767 ''	135028,402	44381,145	4,243
LRON	55 ° 17 ' 33,95009 ''	-21 ° 09 ' 52,50167 ''	135014,339	44675,644	3,476
LFCS	55 ° 17 ' 06,20274 ''	-21 ° 08 ' 24,47075 ''	134209,586	47381,891	3,909
LFCN	55 ° 16 ' 59,48494 ''	-21 ° 08 ' 21,01257 ''	134015,577	47487,946	5,010

REMARQUE :

Le point LRON a fait l'objet d'une mesure déplacée d'un offset par rapport au début réel de la radiale :

DD : 23,40

Azimut (depuis le point) : N277

DALT : - 0,78 m

Saint Pierre :

Mesures réalisées le mercredi 24 juillet 2002.

Point de référence : Repère de nivellement dans la station météorologique de Terre Sainte (école). Ce point à été mesuré depuis le point 9740504 (PVHA) à Grande Anse.

Réf.	9740504	0002
Longitude	55 ° 54 ' 94,4067 ''	55 ° 48 ' 71,3965 ''
Latitude	-21 ° 36 ' 52,7008 ''	-21 ° 34 ' 43,4735 ''
Altitude	97,65 m	60,549 m

Résultats de la manip de Saint Pierre : Les points sont ici donnés selon l'ellipsoïde de référence WGS84.

ID	LONG	LAT	ALT	RMSX	RMSY	RMSZ
PGAS	55 ° 32 ' 49,113276 ''	-21 ° 22 ' 06,365964 ''	9,85	0,004	0,004	0,004
PGAN	55 ° 32 ' 44,171124 ''	-21 ° 22 ' 02,869932 ''	9,69	0,008	0,006	0,006
PGB1	55 ° 31 ' 43,129344 ''	-21 ° 21 ' 43,972056 ''	10,35	0,013	0,009	0,009
PGB2	55 ° 31 ' 48,39546 ''	-21 ° 21 ' 45,58986 ''	9,43	0,008	0,006	0,004
PGB3	55 ° 31 ' 57,035748 ''	-21 ° 21 ' 47,319516 ''	9,16	0,011	0,008	0,008
PGB4	55 ° 32 ' 01,584456 ''	-21 ° 21 ' 47,771964 ''	8,99	0,007	0,006	0,006
PGEN	55 ° 27 ' 55,44288 ''	-21 ° 20 ' 33,526752 ''	8,84	0,014	0,009	0,011
PMNS	55 ° 28 ' 24,547368 ''	-21 ° 20 ' 39,46884 ''	9,32	0,010	0,009	0,007
PRBA	55 ° 27 ' 37,20168 ''	-21 ° 20 ' 28,124016 ''	9,26	0,002	0,002	0,001

Résultats de la manip de Saint Pierre : Les points sont ici donnés selon une modélisation sur le géoïde en coordonnées géographiques Piton des Neiges puis en coordonnées planes Gauss Laborde Réunion.

Nom	Longitude	Latitude	x	y	Altitude
PGAN	55 ° 33 ' 04,92226 ''	-21 ° 21 ' 18,15447 ''	161870,605	23606,416	5,224
PGAS	55 ° 33 ' 09,86299 ''	-21 ° 21 ' 21,65188 ''	162012,950	23498,831	5,390
PGB1	55 ° 32 ' 09,15680 ''	-21 ° 21 ' 00,86008 ''	160263,844	24138,436	5,045
PGB2	55 ° 32 ' 03,89155 ''	-21 ° 20 ' 59,24092 ''	160112,131	24188,237	5,977
PGB3	55 ° 32 ' 17,79570 ''	-21 ° 21 ' 02,59189 ''	160512,763	24085,166	4,744
PGB4	55 ° 32 ' 22,34395 ''	-21 ° 21 ' 03,04555 ''	160643,815	24071,208	4,559
PGEN	55 ° 28 ' 16,24650 ''	-21 ° 19 ' 48,73692 ''	153551,902	26355,420	4,825
PMNS	55 ° 28 ' 45,34659 ''	-21 ° 19 ' 54,68636 ''	154390,568	26172,746	5,326
PRBA	55 ° 27 ' 58,00854 ''	-21 ° 19 ' 43,32942 ''	153026,252	26521,520	5,219

REMARQUE :

Le point PGB4 est incertain quant à se correspondance avec les études antérieures du fait de la destruction partielle du muret qui le reçoit.

- Le point PGEN a fait l'objet d'une mesure déplacée d'un offset par rapport au début réel de la radiale :

DD : 0

Azimut (depuis le point) : 0

DALT : - 0,355 m de la tache orange et – 0,425 m du clou

- Le point PMNS a fait l'objet d'une mesure déplacée d'un offset par rapport au début réel de la radiale :

DD : 0,125

Azimut (depuis le point) : N16

DALT : - 0

- Le point PRBA a fait l'objet d'une mesure déplacée d'un offset par rapport au début réel de la radiale :

DD : 6,46 m

Azimut (depuis le point) : N210

DALT : - 0,02 m

II EVOLUTION MORPHODYNAMIQUE DES PLAGES.

II.1 GENERALITES SUR LES PLAGES.

La plage, tel que l'entend le grand public, n'est que la partie aérienne et visible d'un ensemble sédimentaire soumis à l'agitation du plan d'eau dans sa partie marine. La plage est un milieu très fluctuant où la mobilité des sédiments est en liaison avec des facteurs géomorphologiques, climatiques, océaniques et anthropiques. L'ensemble sédimentaire plus ou moins étendue est l'héritage de phénomènes érosifs anciens et/ou actuels et d'origine géographique proche ou lointaine. Ces espaces littoraux caractérisés par leur abondance en sédiments non cohésifs, constituent l'interface évolutive entre les influences maritimes et terrestres variables selon leurs

contextes propres. Les particules constitutives et les formes sédimentaires très variées que l'on peut observer en sont les résultantes.

Une plage correspond donc à des zones de dépôts et de transferts de sédiments meubles incessants. Beaucoup d'études sur la morphodynamique des plages ont utilisé les variations de volumes de plages comme indicateurs de l'état de la plage (Allen, 1981 ; Benavente et al., 1999 ; Carr et al., 1982 ; Oyegun, 1991 ; Tom and Hall, 1991,...). Les variations de morphologie se traduisent par une perte ou un apport de matériels au gré des changements météorologiques. Ces mouvements se traduisent par des fluctuations de pentes et de lignes de rivages autour de profils d'équilibres.

Une plage répond ainsi aux différents régimes hydrodynamiques qui la concernent. Les différents profils des estrans qui en résultent apparaissent comme autant d'amortisseurs naturels vis-à-vis de la dynamique côtière influente.

II.2 METHODOLOGIE

II.2.1 TECHNIQUE DE RELEVES ET APPAREIL DE MESURE

La méthode employée consiste à mesurer le dénivelé d'une plage à partir d'un point de référence, par visées successives entre deux piges distantes d'un mètre, le long d'une radiale de direction connue. Le point de référence est un point fixe supposé stable dans l'espace et dans le temps (marche d'escalier, sommet d'un mur, etc....).

La première mesure le long du profil se fait toujours à partir de ce point. Le dernier point est mesuré, quand c'est possible (absence de grosse houle), au niveau du petit ressaut de marée basse.

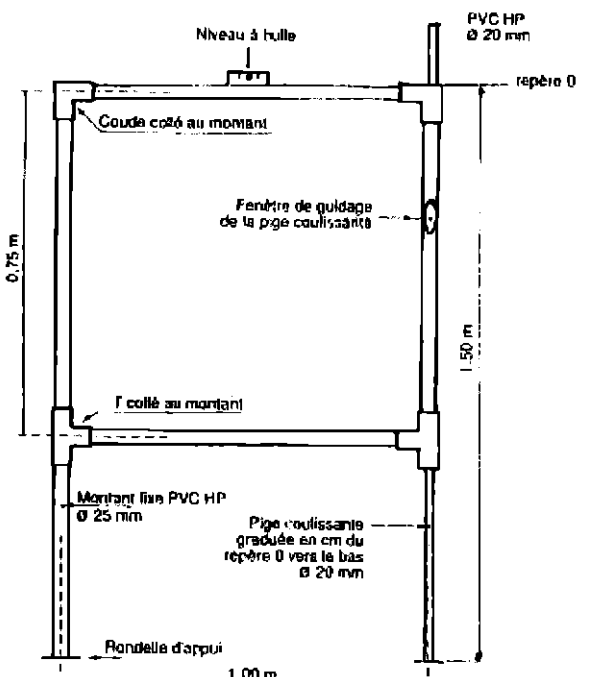
L'appareil de mesure (fig.1) est un appareil spécialement choisi et conçu pour ces études. Il répond à un certain nombre d'exigences : pouvoir l'utiliser dans le plus grand nombre de conditions météorologiques, seul, dans l'eau et avec rapidité. Il s'agit d'un cadre en PVC. Un des montants est coulissant et gradué tous les centimètres. La pige qui relie les deux montants est mise à niveau. Celui-ci permet de positionner correctement l'appareil avant chaque lecture. L'appareil est déplacé le long d'une corde tendu sur le sol suivant un azimut connu et perpendiculaire à la ligne de rivage.

La fiabilité de la méthode a été testée en 1997-1998 par E. Rozaux et F.Barrau. Pour les mesures rapportées à l'ensemble d'un profil, il apparaît qu'un même lecteur ne fait pas d'erreur significative lors de plusieurs passages sur la même radiale. Cependant, de faibles variations existent si l'on compare les résultats de deux lecteurs distincts, mais elles restent dans une marge d'erreur inférieure à 5%.

En ce qui concerne la précision de la mesure des dénivelés de plage, on estime la marge d'erreur sur la verticale à 0,5 cm.

PETIT APPAREIL DE MESURE DE LEVE DE PROFIL DE PLAGE

(L'appareil a fait l'objet d'une réflexion technologique et a été réalisé par des élèves de Bac S dominante "Sciences de l'ingénieur" du Lycée Examen de Parny de St Paul, La Réunion)



Les éléments horizontaux sont emboîtés à force dans les coudes et les T sont collés aux montants verticaux (démontage ainsi rendu possible pour le transport).

Principe de la mesure.

Le montant coulissant est positionné sur le point de référence (point 0) et le montant fixe est posé le long de la radiale. On fait coulisser le premier montant jusqu'à ce que le niveau indique l'horizontale et on effectue la lecture. Cette lecture, en centimètres, correspond au dénivelé entre la base du montant coulissant et la base du montant fixe. Ainsi cette mesure correspond au dénivelé entre le point 0 (ou point de repère) et le point 1 situé à un mètre du point de repère. Pour la seconde lecture, on place la base du montant coulissant sur le point 1 et la base du montant non coulissant le long de la radiale un mètre plus loin. La mesure correspond alors au dénivelé entre les points 1 et 2 de la plage.

Pour connaître la différence de niveau entre un point quelconque de la plage et le point 0, il suffit d'additionner toutes les mesures précédant ce point.

Quelques aspects méthodologiques

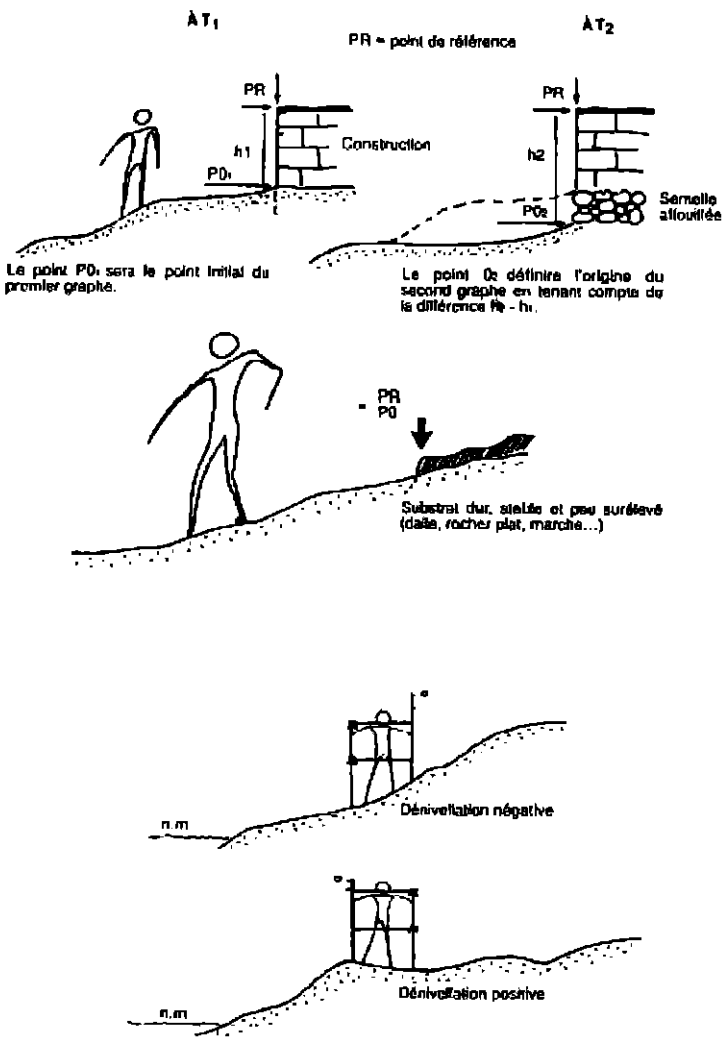


Figure 1 : Appareil de mesure de levé de profil de plage.

II.2.2 EXPLOITATION DES DONNEES

Les mesures de dénivelé réalisées sur le terrain ont été répertoriées et traitées dans un fichier excel. Les résultats sont présentés sous la forme de graphiques qui pour des raisons de commodités ont été placés en annexe.

Les différents profils réalisés par radiale ont été regroupés par année. Les bilans sédimentaires en m^3 ont été calculés pour chaque radiale en considérant ***une bande fictive d'un mètre de large le long du profil***. Une représentation en histogramme traduit l'évolution de ces bilans.

Les bilans sédimentaires sont calculés suivant les formules suivantes :

Bilan global pour le profil de plage (en m^3) :

$$B= \Sigma((R_{x+1}-R_x)/100)$$

Bilan par mètre linéaire (en $m^3/m.l$) :

$$B=(\Sigma((R_{x+1}-R_x)/100))/L$$

Avec

R_x : correspond à la mesure de la radiale à la date x

R_{x+1} : correspond à la mesure de la radiale à la date x+1

L : longueur de la radiale en mètre.

Le calcul des bilans saisonniers s'effectue pour la même radiale par recouvrements successifs des différents profils réalisés et s'arrête à la dernière mesure correspondant à la longueur de la radiale la plus courte. Le calcul des bilans globaux est obtenu par la moyenne des bilans saisonniers.

Remarque 1 : Dans le calcul des bilans sédimentaires, l'arrêt du calcul sur la dernière mesure de la radiale la plus courte ne permet pas de retenir les fluctuations des parties les plus basses du profil, dont les mesures correspondent à des prolongements variables en zone immergée. Ces volumes sédimentaires non pris en compte dans le calcul des bilans, pourraient être cependant révélateurs de l'influence du jet de rive dans le contrôle des apports et des départs de sables.

Remarque 2 : Les longueurs des radiales étudiées sont très différentes selon l'extension des plages où sont effectués les profils. Le calcul des bilans sédimentaires au m^3 par mètre linéaire ($m^3/m.l$) permet une approche comparative de l'évolution des différents profils, mais n'exprime pas pour autant le bilan sédimentaire réel de la plage dans son ensemble. Les résultats obtenus ne sont donc en aucun cas révélateurs de la quantification des volumes de sables déplacés sur la globalité des estrans concernés. Cependant, étant donné le rôle référent des profils choisis, leurs évolutions en termes de bilans sédimentaires fournissent des indications quant aux tendances des plages à s'éroder ou s'engraisser.

Toutes les interprétations ultérieures de résultats sont effectuées sur les calculs des bilans sédimentaires par mètre linéaire (m^3/m.l). La signification des bilans sédimentaires est calculée à partir de la précision de la mesure des dénivelés de plage qui est de 0,5 cm. Par conséquent, sur la bande fictive de 1 m de large le long du profil, on considèrera comme significatives les variations de volume supérieures à 0,005 m^3/m.l. On pose alors les règles d'interprétation suivantes :

- bilans sédimentaires <= 0,005 m^3/ml non significatifs ;
- 0,005 m^3/ml < bilans sédimentaires <= 0,010 m^3/ml peu significatifs ;
- 0,010 m^3/ml < bilans sédimentaires significatifs.

Ces chiffres sont à prendre en valeur absolue, c'est-à-dire que des valeurs positives indiquent un engraissement significatif et des valeurs négatives expliquent une érosion significative. Pour les valeurs non significatives (<= 0,005 m^3/ml en valeur absolue) il est déduit une situation de stabilité pour la radiale.

II.3 RESULTATS ET EXPLOITATIONS DES DONNEES

II.3.1 TYPES DE PROFILS TOPOGRAPHIQUES DES PLAGES CORALLIENNES

Il existe un lien notable entre la morphologie des plages et l'hydrodynamisme côtier. Six morphotypes de plages ont été définis à partir de la classification de Hegge (1994) (fig.2). Cette classification, qui est une fonction de la dimension et de la pente des plages, permet d'identifier les types de profils suivants :

- profils concaves à modérément concaves, caractéristiques d'un amaigrissement généralisé ;
- profils convexes à modérément convexes qui traduisent un engraissement ;
- profils « en escalier » montrant différents niveaux d'attaque de la houle ;
- profils plats qui représentent une limite d'équilibre de la plage.

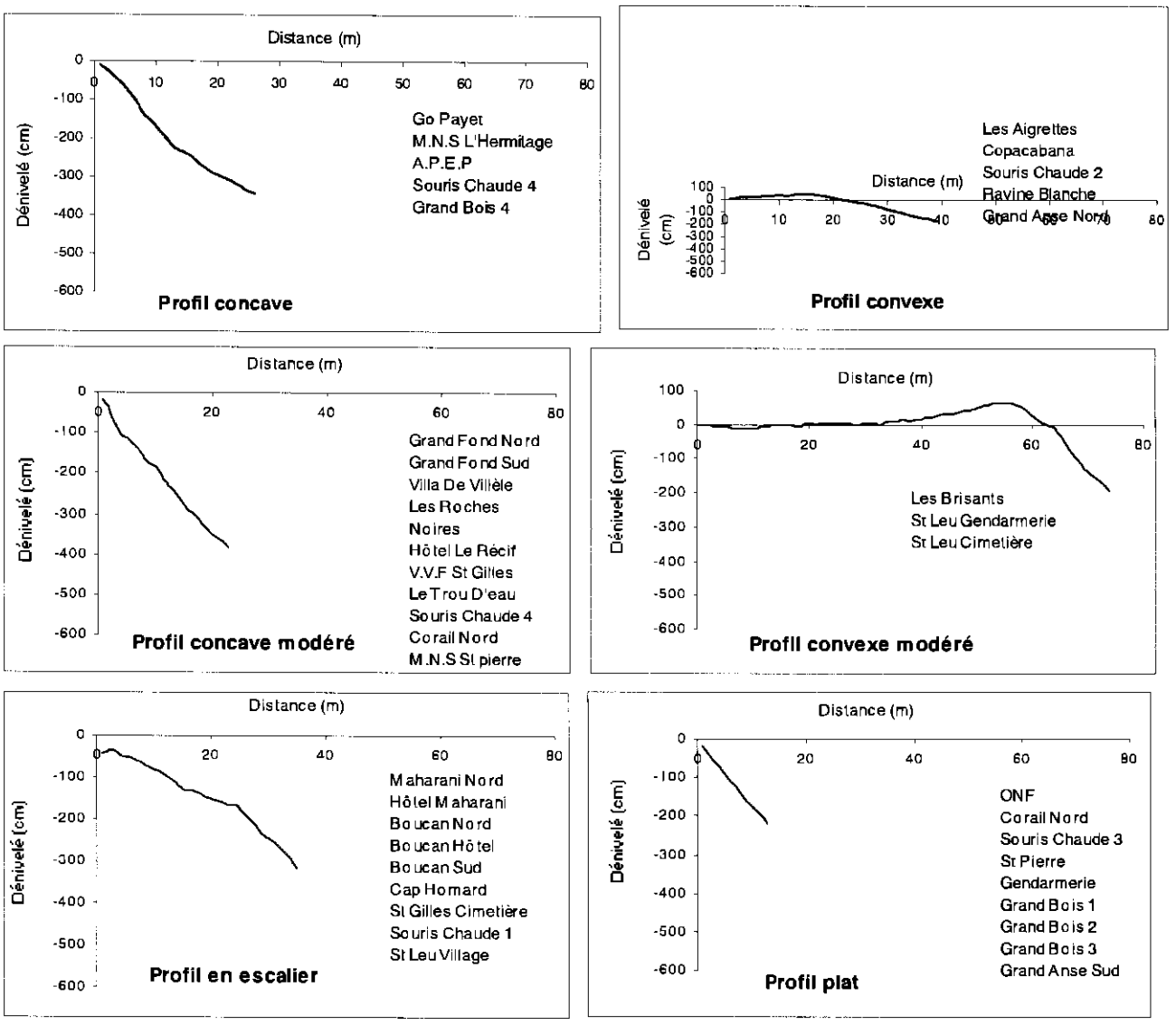


Figure 2 : Profils caractéristiques des morphotypes de plages coralliennes identifiées.

La morphologie de la plage est une fonction de son niveau de protection à l'océan. Ce niveau de protection est défini par la localisation de la plage sur le littoral, ainsi que par la présence ou non d'une structure récifale.

Les morphotypes dominants sur l'ensemble des radiales étudiées sont les types concaves (Go Payet, M.N.S l'Hermitage, A.P.E.P, Souris Chaude 4, Grand Bois 4) à modérément concaves (Grand Fond N et S, Villa de Villèle, Roches Noires, Hôtel le Récif, VVF, Trou d'Eau, Corail Nord, M.N.S St Pierre). Ces plages, modérément concaves à concaves, sont plus ou moins protégées par l'existence d'une structure récifale qui dissipe l'énergie des vagues incidentes.

Les profils dits « en escalier » (zone Maharani, zone Boucan, Cap Homard, Souris Chaude 1) traduisent une structure en « gradins » révélant différents niveaux d'attaques des déferlements houlographiques. Les structures récifales qui y sont présentes ont une configuration qui est relativement complexe.

Les profils convexes à modérément convexes traduisent une tendance à l'accumulation sédimentaire. Les profils reconnus (Les Brisants, Les Aigrettes, Copacabana, Grand Anse Nord, Souris Chaude 2) sont à différencier selon qu'ils concernent uniquement l'estran ou qu'ils sont étendus jusqu'aux arrières plages (Ravine Blanche, Saint Leu Gendarmerie, Saint Leu Cimetière). Seule la convexité d'estran est indice d'accumulation.

II.3.2 EVOLUTION DES BILANS SEDIMENTAIRES SAISONNIERS PAR SECTEURS DE PLAGES

On rappellera que ces bilans traduisent des changements volumétriques limités aux profils suivis ; chacun d'entre eux étant assimilés à une bande fictive d'un mètre de large. Les variations constatées sont susceptibles d'informer sur les tendances évolutives des secteurs de plages proches.

- Relevés d'octobre 2001 à février 2002 (Troadec et al, 2002)

D'octobre à décembre 2001, on remarque un engraissement significatif généralisé pour les profils des estrans dans la partie O/N.O, c'est à dire de Maharani au poste M.N.S de l'Hermitage, ainsi que pour ceux des secteurs de plage Corail et Grand Bois. A l'opposé, on observe un faible engraissement, voire un amaigrissement, pour les profils situés au sud de la passe de l'Hermitage (O.N.F à Trou d'eau), St Leu, St Pierre et Grande Anse.

A l'inverse, de décembre 2001 à février 2002, on constate pour la partie O/N.O. un amaigrissement de Maharani au poste M.N.S de l'Hermitage, de même que sur Grande Anse. Cependant, à partir du point « O.N.F » et ce jusqu'à Grand Bois, un engraissement relatif se maintient.

- Relevés de février à juillet 2002

Le phénomène de fonctionnement par grand secteur observé dans les deux paragraphes précédents semble se répéter mais avec quelques particularismes propres à chaque zone géographique. Le tableau 1 regroupe les radiales appartenant à des secteurs de plages proches. Nous pouvons alors constater, pour cette période de février à juillet, un engraissement des radiales de Maharani à Grand Fond (excepté Boucan plage) et, pour Saint Gilles Roches Noires, les Brisants, St Leu Cimetière et Grand Bois (tableau 1). On constate une érosion sur celles de toute la zone de l'Hermitage/La Saline, la Souris chaude et St Leu (exclu St Leu cimetière), St Pierre et Grande Anse.

On rappelle que le bilan global intègre les mesures de tous les relevés depuis le début des années d'étude (1998). Si l'on compare les bilans sédimentaires en $m^3/m.l$ pour la période de février à juillet avec les bilans sédimentaires globaux depuis juillet 1998, on remarque que 8 secteurs de plage se trouvent en situation inverse par rapport à la tendance globale depuis juillet 1998. Des secteurs de plages avec un bilan sédimentaire saisonnier positif (caractéristique d'une phase d'engraissement) tendent cependant, depuis le début des relevés, à un bilan sédimentaire global négatif (caractéristique d'une érosion). C'est le cas des radiales des secteurs de plages de Cap Homard, St Gilles Roches Noires et Grand Bois.

Cependant, on observe dans le tableau 1 une tendance saisonnière à l'érosion entre février et juillet puisque douze secteurs de plages sur vingt sont en déficit budgétaire. Il apparaît donc que la zone O/N.O des secteurs de

plages étudiés (excepté Boucan plage) a bénéficié d'un apport de sédiments, tandis que la partie O/S.O souffre d'un déficit en sables.

Zone	Bilan Février/Juillet 2002 en m^3	Bilan Février/Juillet 2002 en $m^3/m.l$	Bilan global depuis Juillet 1998 en $m^3/m.l$
Maharani	17,31	0,47	0,088
Boucan	-5,99	-0,32	-0,162
Cap Homard	17,65	0,38	-0,019
Les Aigrettes	11,36	0,32	0,055
Grand Fond	5,05	0,15	0,057
Saint Gilles	-12,45	-0,51	0,017
Saint Gilles R.N.	12,43	0,89	-0,016
Les Brisants	18,68	0,26	0,091
L'Hermitage N	-4,31	-0,20	0,024
L'Hermitage S	-1,41	-0,06	0,069
Souris Chaude N	-11,4	-0,52	0,057
Souris Chaude S	-0,89	-0,06	-0,027
Ferme Corail	-3,08	-0,11	-0,037
Saint Leu	-41,22	-0,92	-0,010
Saint Leu Cimetière	27,61	0,61	0,821
Ravine Blanche	-46,04	-1,02	0,133
Saint Pierre Gendarmerie	-27,26	-0,76	-0,044
Sait Pierre M.N.S.	-0,03	-0,001	-0,013
Grand Bois	10,81	0,47	-0,002
Grande Anse	-1,93	-0,03	0,002

Tableau 1: Bilans sédimentaires par zone de plage pour la période de février à juillet 2002 et bilan global depuis Juillet 1998.

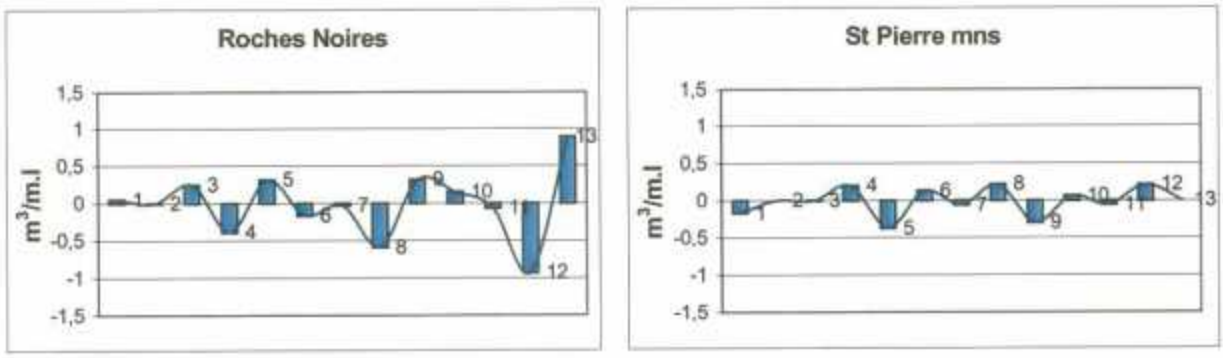


Figure 3 : Exemple de variations saisonniers entre phases érosives et engraissantes ; il est à noter l'évolution inverse de St Pierre par rapport aux Roches Noires. Les numéros représentent les différentes dates de prélèvement, depuis juillet 1998 à juillet 2002.

- Discussion

D'après les résultats présentés au tableau 1, une alternance entre les phases d'érosion et d'engraissement peut donc exister. Ce phénomène est bien montré par l'histogramme de la figure 3. On voit ici qu'un même contexte hydrodynamique (même saison) n'a pas les mêmes conséquences sur les différentes régions de plages.

Ainsi, entre octobre et décembre 2001, quand on a des apports dans la partie O/N.O, on hérite d'une érosion dans la partie O/S.O. La situation est inversée de décembre 2001 à février 2002.

Les changements globaux de décembre 2001 à février 2002 se sont déroulés lors de la saison cyclonique, alors qu'entre février et juillet 2002 on entre progressivement dans la saison hivernale fortement influencée par le régime des houles australes. De ce fait, on confirme que les houles liées au passage de perturbations cycloniques ou post cycloniques ont des répercussions variables sur les estrans suivant les contextes locaux de ces derniers. Les explications sont à rechercher dans la connaissance de ces aspects et de leurs interrelations.

Concernant les profils de plages, ces derniers oscillent autour d'un profil d'équilibre (fig.4) et ceci est particulièrement vérifiable dans la zone de l'Hermitage, là où les structures coralliennes sont particulièrement bien représentées.

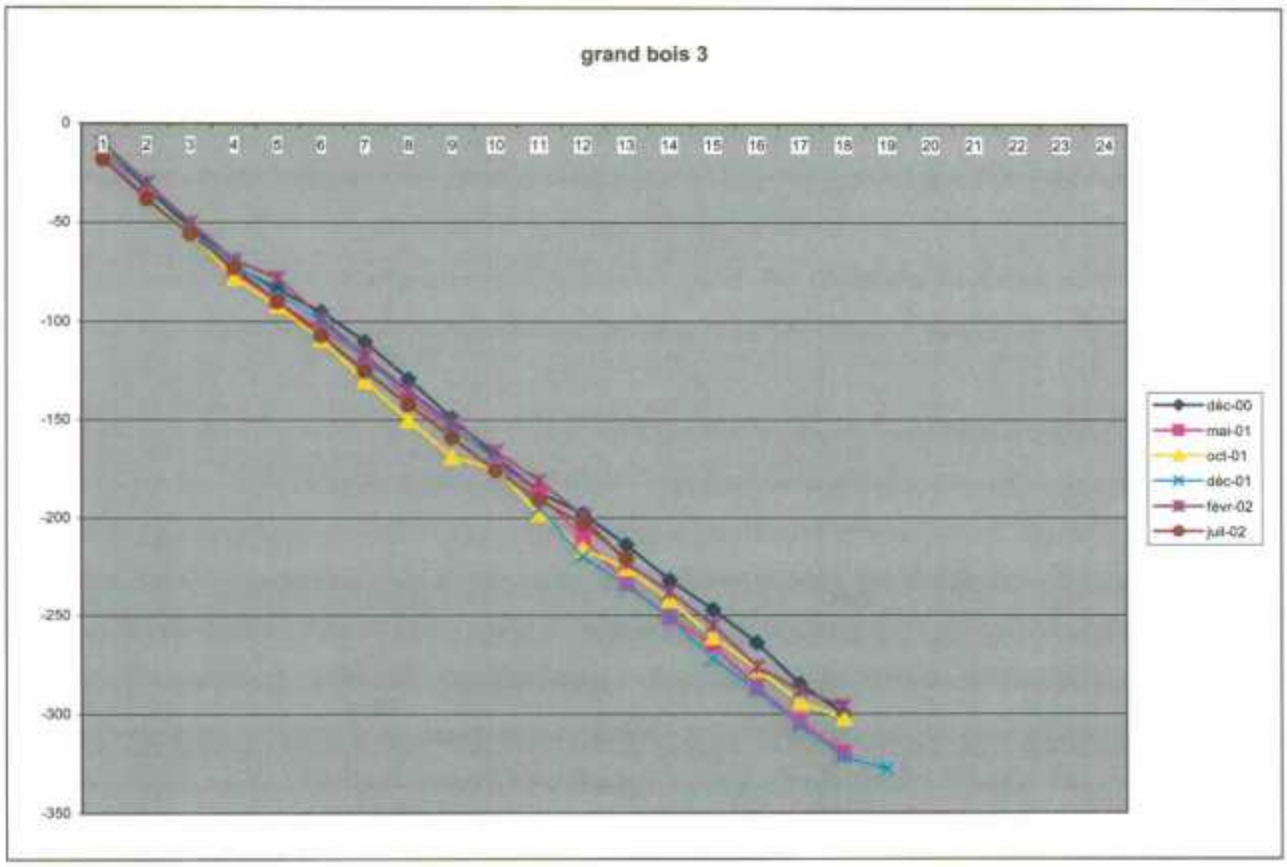
On peut aussi observer une remarquable stabilité de certains profils qui apparaît de manière générale pour les plages modérément protégées à bien protégées et pour lesquelles la morphologie générale évolue peu ou pas dans le temps. Il semble que les transferts de sables qui les concernent n'affectent pas la morphologie générale.

Sur ces constats, quelques réflexions peuvent être menées. La présence du platier ou de la barrière récifale induit un déferlement précoce de la vague lié à une remonté rapide du fond marin. Lors du déferlement, la vague dissipe l'essentiel de son énergie et ne peut ainsi guère affecter la morphologie du littoral sableux. L'énergie du déferlement secondaire reste concentrée dans le « jet de rive ». Ce jet de rive apparaît comme le seul facteur primordial capable de faire évoluer la morphologie côtière. La zone de déferlement localisée à la limite du platier récifal et la faible mobilité de la zone de jet de rive en temps normal ne sont pas favorables à une évolution morphologique contrastée. Seules les vagues de grandes amplitudes liées à des phénomènes météo marins intenses peuvent influencer le modelé de l'estran. En effet, la surcharge d'eau apportée par ces régimes dans la zone d'arrière récif déplace la zone de jet de rive en amont et permet donc d'affecter les hauts de plage, voire les arrières plages.

L'angle d'incidence des houles joue aussi un rôle primordial dans le cycle engraissement/amaigrissement des plages. En effet il peut s'associer ou s'opposer à la dérive littorale résultante conditionnée par une géomorphologie parfois complexe. De ce fait, l'intensité et le sens du transport sédimentaire s'en trouvent affectés.

On peut s'interroger sur le point suivant. Si les morphotypes de plage varient peu dans le temps, il est possible de penser que le piétinement, pourtant important et omniprésent sur tous les sites, n'influe pas ou peu sur la topographie générale des estrans (sensu stricto).

On peut donc envisager la possibilité d'un suivi morphologique de la plage dans le temps, afin de définir et/ou préciser les interactions entre les différents compartiments de la plage.



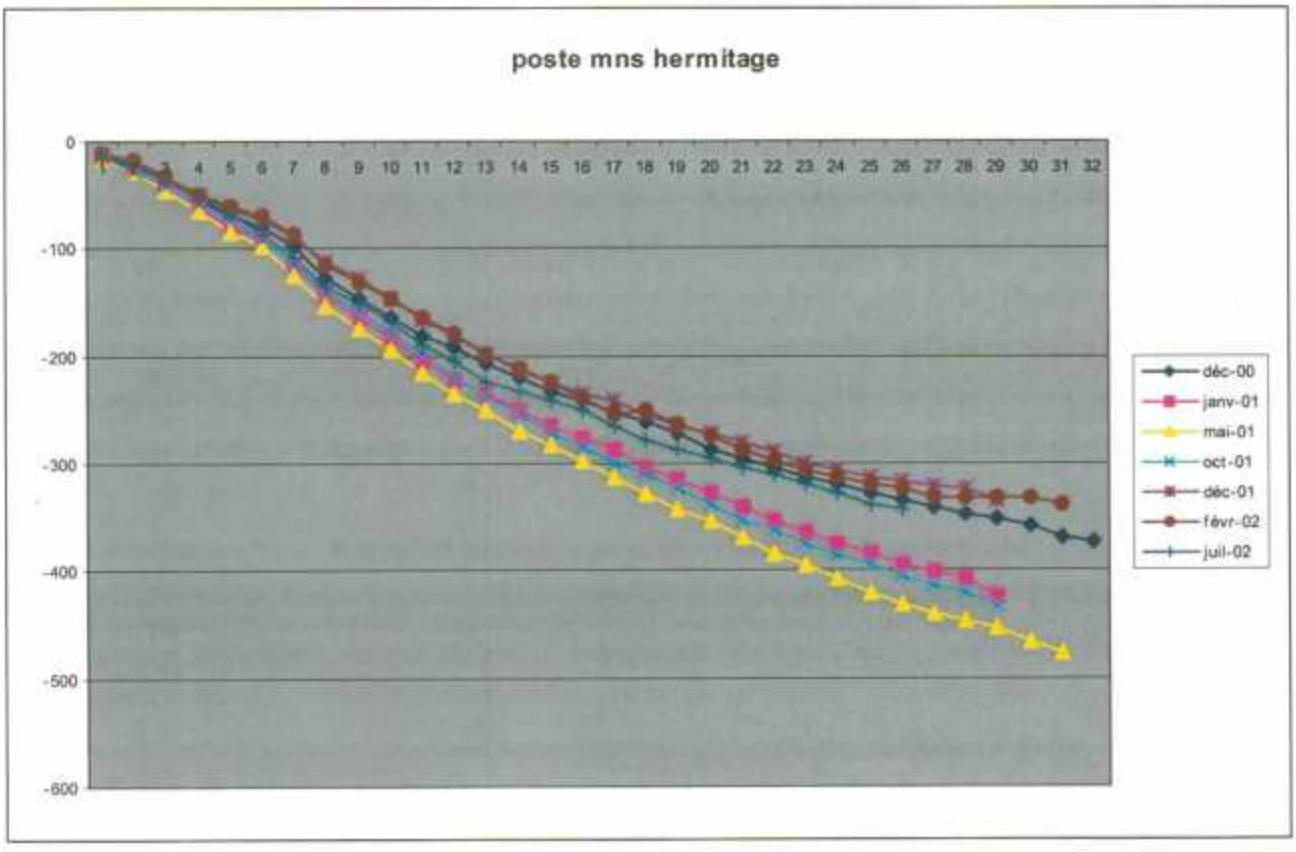


Figure 4 : exemple de profil oscillant autour d'un profil dit d'équilibre.

II.3.3 EVOLUTION GLOBALE DES BILANS SEDIMENTAIRES DES RADIALES

Remarque préliminaire : Le bilan global est un bilan sédimentaire dressé **sur l'ensemble des années d'études de juillet 1998 à juillet 2002.**

Radiales	bilan global en m^3	bilan global en $m^3/m.l$
Maharani nord	2,749	0,063
Hotel maharani	0,983	0,025
Boucan Canot Nord	-2,259	-0,093
Hotel Boucan	-1,623	-0,008
Boucan Canot Sud	-2,614	-0,061
Cap Homard	-1,809	-0,019
Les Aigrettes	2,179	0,055
Grand Fond	-1,075	-0,063
Grand Fond Sud	2,325	0,121
St Gilles Cimetiere	0,638	0,002
St Gilles Villa Créole 2	0,118	0,004
St Gilles Villa de Villèle	-0,087	-0,009
Roches Noires	-0,639	-0,016
Les Brisants	5,984	0,091
St Gilles Hotel Recif	-0,003	-0,001
St Gilles VVF	-0,842	-0,030
St Gilles Go Payet	1,101	0,037
Poste MNS Hermitage	0,581	0,018
Hermitage ONF	1,176	0,038
Copacabana	0,183	0,015
APEP	0,154	0,011
Trou d'eau	0,028	0,005
Souris Chaudes 1	0,831	0,027
Souris Chaudes 2	0,591	0,030
Souris Chaudes 3	0,057	0,006
Souris Chaudes 4	-0,815	-0,032
Corail Nord	-0,281	-0,007
Corail Sud	-0,455	-0,030
St Leu Village	-0,954	-0,024
St Leu Gendarmerie	0,841	0,014
St Leu Cimetiere	36,000	0,822
Ravine Blanche	-1,755	-0,042
St Pierre Gendarmerie	-1,636	-0,044
St Pierre Poste MNS	-0,377	-0,013
Grand Bois 1	1,108	0,052
Grand Bois 2	-0,346	-0,015
Grand Bois 3	-0,651	-0,042
Grand Bois 4	-0,038	-0,002
Grande Anse Nord	-0,408	-0,007
Grande Anse Sud	0,427	0,009

Tableau 2 : Bilans sédimentaires globaux depuis juillet 1998 pour chaque radiale.

Le tableau 2 représente les bilans sédimentaires globaux calculés pour chaque radiale. Selon une première approche basée uniquement sur le signe affecté aux bilans sédimentaires, 50 % des radiales sont en situation d'érosion et 50 % en engraissement.

Si l'on fait une analyse plus fine en se basant sur les règles d'interprétation que nous avons élaborées au paragraphe II.2.2, on constate que 14 radiales sont en situation d'érosion significative (bilans < - 0,010 m^3/m.l), 4 sont en situation d'érosion peu significative (-0,010 m^3/m.l <= bilans < -0,005 m^3/m.l) et 2 radiales seulement sont considérées comme stables (-0,005 m^3/m.l <= bilans) (Saint Gilles Hôtel Récif et Grand Bois 4). En situation d'engraissement significatif on compte 15 radiales (0,010 m^3/m.l < bilans), 2 radiales en engraissement peu significatif (0,005 m^3/m.l < bilans <= 0,010 m^3/m.l) et 3 radiales en situation de stabilité (bilans <= 0,005 m^3/m.l) (St Gilles Cimetière, St Gilles Villa Créole et Trou d'eau). Ce qui nous amène aux résultats suivants :

- 45 % des radiales étudiées sont en situation d'érosion ;
- 42,5 % des radiales sont en situation d'engraissement ;
- 12,5 % des radiales sont en situation de stabilité.

Nous avons vu au paragraphe II.3.2 qu'il peut exister une alternance entre phases d'érosion et d'engraissement (cf. figure 3). Par conséquent, on peut s'attendre à une inversion de la situation générale à la saison suivante. Cependant, malgré l'alternance saisonnière des bilans sédimentaires, on peut noter, sur l'ensemble des secteurs étudiés, une tendance globale à l'érosion depuis le début des relevés (juillet 1998).

Sur ces secteurs étudiés, les échanges latéraux semblent prépondérants. Les cellules sédimentaires qui animent ces échanges restent encore méconnues et leur fonctionnement doit être précisé.

Il apparaît évident que les grands régimes hydrographiques jouent un rôle majeur dans l'évolution du littoral. Ces phénomènes influent directement sur le niveau du plan d'eau et donc sur la position du jet de rive. L'obliquité, l'incidence des houles vis à vis du linéaire côtier déterminent le caractère érosif ou engraissant.

III ETUDE GRANULOMETRIQUE DE LA PLAGE DE L'HERMITAGE/LA SALINE LES BAINS

III.1 METHODOLOGIE

III.1.1 PRINCIPE

La granulométrie c'est l'étude de la contribution en pourcentage de chaque dimension de particule à la masse totale de sédiment. La dimension des particules constitutives dépend des mécanismes hydrauliques et éoliens de transport et de sédimentation.

L'étude granulométrique comporte trois phases :

- prélèvements sur le terrain ;
- tamisages basés sur l'emploi de tamis de diamètres allant de 0,025 mm à 10,00 mm.
- Interprétation.

III.1.2 MISE EN ŒUVRE.

L'étude granulométrique est limitée à la zone de l'Hermitage/La Saline et, plus précisément aux profils topographiques suivis. Quatre échantillons de sables ont été prélevés par radiale, soit 32 échantillons au total. L'échantillon n°1 a été prélevé au pied du ressaut de marée sur l'avant plage. Il sert de point de départ pour les autres points de prélèvements. L'échantillon n°2 a été prélevé à 2 m du n°1, le n°3 à 8 m et le prélèvement n°4 à 16 m. Ces points se trouvent en bas de plage, milieu de plage et haut de plage pour les profils. Tous les prélèvements se sont faits à marée basse le 12 août 2002, par condition de mer calme.

III.1.3 PRESENTATION DES RESULTATS.

Les résultats des analyses granulométriques se présentent sous la forme d'un tableau, accompagné de courbes (mises en annexes) représentant les pourcentages cumulatifs de masses en g, en fonction des logarithmes X des dimensions des particules.

III.2 ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.

En première approximation, l'évolution granulométrique peut-être considérée comme définie par les variations de ce que l'on pourrait appeler l'indice moyen d'évolution granulométrique, lié à l'allure générale des courbes représentatives semi-logarithmiques et en particulier à l'orientation de leurs concavités.

Dans les zones d'apports où les conditions géomorphologiques locales atténuent l'action des vagues, les dépôts littoraux peuvent conserver plus ou moins longtemps et plus ou moins loin les caractères

granulométriques des matériaux dont ils dérivent. Les sédiments de plages ressemblent généralement à ceux des zones marines peu profondes immédiatement adjacentes mais, s'en différencient nettement par l'ablation plus ou moins totale du faible pourcentage d'éléments fins ou très fins que ceux ci contiennent encore (Barusseau et al., 1998).

L'allure des courbes traduit dans l'ensemble des sables moyennement classés à mal classés. On peut observer pour certains échantillons des tendances à l'enrichissement en particules fines (étirement du bas de la courbe vers les diamètres faibles).

Radiales	Points de prélèvement	Médiane	Moyenne des médianes
Hôtel Récif	1	0,87	0,65
	2	0,91	
	3	0,41	
	4	0,4	
VVF	1	1	0,66
	2	0,9	
	3	0,41	
	4	0,32	
Go Payet	1	1,1	0,67
	2	0,8	
	3	0,44	
	4	0,34	
M.N.S	1	2,5	1,135
	2	1,25	
	3	0,22	
	4	0,57	
O.N.F	1	1,6	0,75
	2	0,43	
	3	0,38	
	4	0,59	
Copacabana	1	0,35	1,39
	2	1,2	
	3	3,3	
	4	0,71	
A.P.E.P	1	0,84	0,61
	2	0,95	
	3	0,19	
	4	0,46	
Trou d'eau	1	0,45	0,41
	2	0,6	
	3	0,27	
	4	0,33	

Tableau 3 : Présentation des médianes par profil de plage et des moyennes de médianes.

Dans le tableau 3, les valeurs des médianes indiquent la présence de sable allant des granulométries fines à grossières, voire très grossières (granules). La tendance montre la présence de sables moyens à grossiers en estran inférieur (échantillons 1 et 2) et de sables fins en estran supérieur (échantillons 3 et 4). Ce granoclassement traduit la dispersion des particules sous l'action des tris hydrodynamiques et éoliens dans le sens des profils. Une radiale (Copacabana) traduit une tendance inverse. On peut rechercher une explication dans les forts remaniements sédimentaires liés à des actions humaines (regroupement des gros débris coralliens sur certains points des plages par des particuliers, à des fins de « confort »).

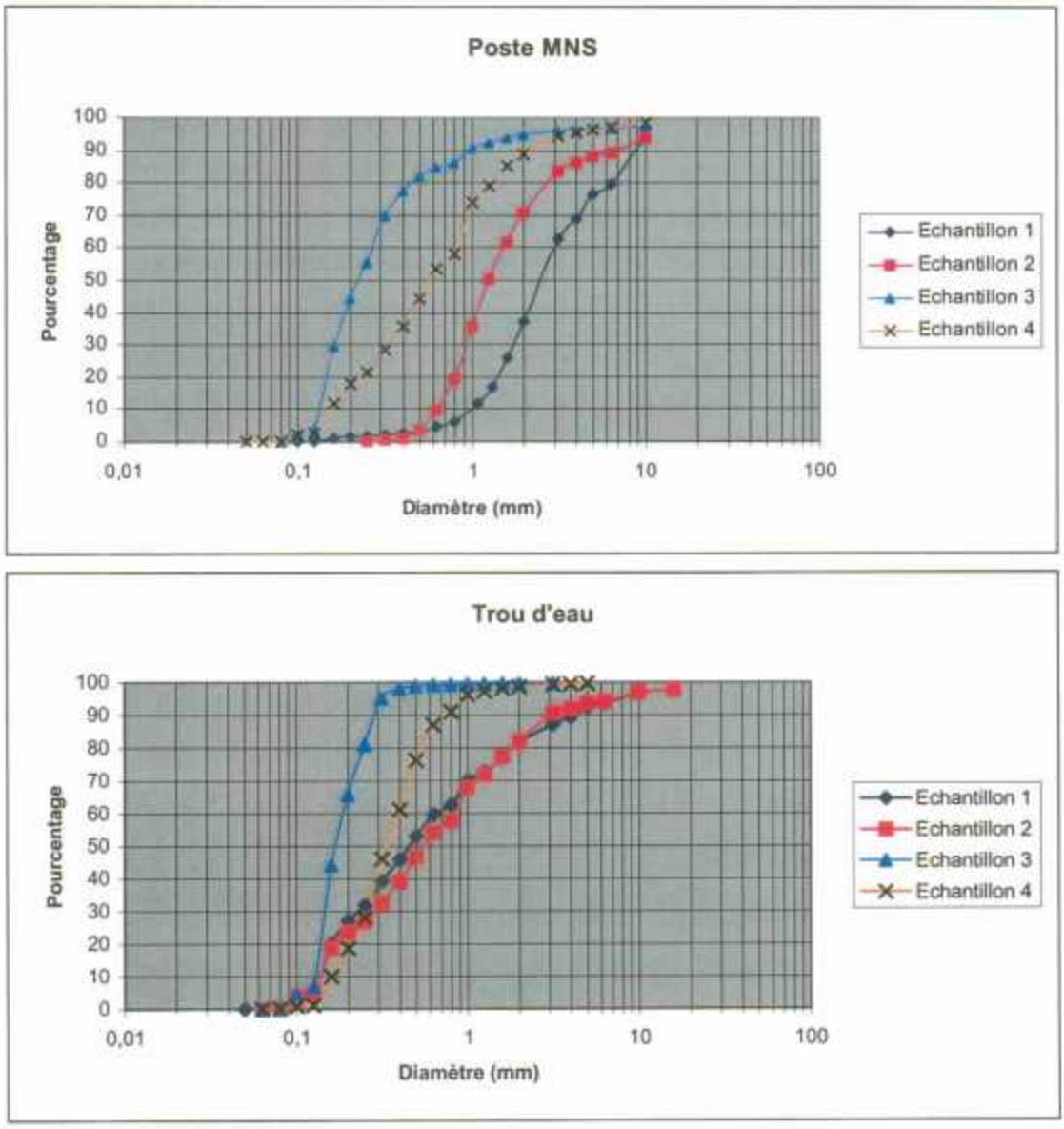


Figure 5 : Exemple de courbes granulométriques.

Les variations de pente visibles sur certaines courbes granulométriques sont un indicateur de granulométrie pluri-modale. Cet aspect de courbe granulométrique pourrait indiquer un mélange de stocks sableux de tailles différentes, souvent à la suite d'apports d'origine variée donnant une granulométrie complexe.

Les sédiments terrigènes à l'intérieur de la fraction sableuse, ne représentent qu'un pourcentage très faible de la masse totale du sédiment, mais existent presque toujours.

Le suivi des évolutions sédimentologiques (granulométrie, stocks sédimentaires, ...) et minéralogiques permettra de préciser les caractéristiques de la dynamique sédimentaire à l'origine d'évolutions déjà sensibles de cette étude :

- sédimentation grossière des stations « MNS Hermitage » et « Copacabana » ;
- gradients granulométriques entre « Hôtel Récif » et « Go payet » puis « Trou d'eau » et « Copacabana ».

Des apports importants et variés peuvent expliquer l'enrichissement d'un détritique grossier mais des phénomènes d'arrachement, de lessivage des petites particules, auront la même tendance. Il conviendra entre autres de les distinguer.

Les transits sédimentaires littoraux se matérialisent par des gradients granulométriques dont il conviendra également de préciser leurs modalités en liaison avec leurs forces génératrices.

IV REPARTITION DES SEDIMENTS EN SUBSURFACE SUR LA ZONE DE L'HERMITAGE/LA SALINE

IV.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE

La zone balnéaire comprise entre St Gilles et La Saline s'appuie sur une accumulation de sédiments coralliens en recouvrement du soubassement volcanique. La zone littorale est formée par le recouvrement d'une dizaine de mètres d'épaisseur de sables et galet de plages, avec des sables et débris coralliens dominant. Des niveaux de sables consolidés (beach rocks) apparaissent très localement dans cette formation. Join J.L. (1987), dans l'exploitation de certains sondages, précise quelques aspects de la couverture sédimentaire.

IV.2 LE RECOUVREMENT SEDIMENTAIRE

Les dépôts sédimentaires sont essentiellement d'origine récifale et péri récifale. D'une puissance variable, ils apparaissent sous la forme de comblements de paléoreliefs basaltiques, allant de 5 à 10 m (à 500 m du Lagon) à plus de 20 m de calcaire récifal construit et de sables coralliens (au niveau du sondage 12126-5X-002) (fig.6). Au niveau de la plaine côtière, on peut distinguer la série sédimentaire suivante de haut en bas :

- Un faible niveau de terre végétale sableuse 0,5m d'épaisseur,
- Un niveau de sables coralliens blanc granoclassé de bas en haut, granoclassement positif de 1m à 5m d'épaisseur environ,
- Des dépôts détritiques mal classés avec à la base des galets de basaltes provenant de l'érosion de la formation sous-jacente (paléoreliefs).

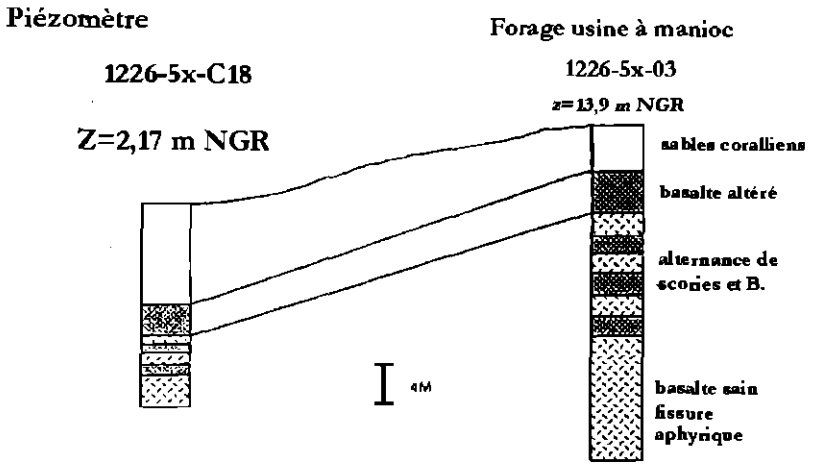


Figure 6 : Sondages effectués par le B.R.G.M sur la zone de l'Hermitage.

Les formations sableuses sont généralement meubles, toutefois localement et à différents niveaux, elles ont pu être indurées. Elles constituent alors des bancs de type beach rock. Les plages du Nord de Saint Gilles présentent actuellement de telles structures à l'affleurement. Des sables éoliens sont par ailleurs parfois représentés au sommet de la série.

La base de la série sédimentaire se comporte comme une surface d'érosion avec des sables graviers et galets d'origines volcaniques inclus dans une matrice argilo-limoneuse. Au niveau du lagon et en bord de récif (sondage 1226-5X-002, non présenté dans ce rapport), seul le sommet d'une épaisse série de sables et de débris coralliens non cohérente d'une dizaines de mètres d'épaisseurs suivi du relief corallien construit, a été rencontré. L'épaisseur du récif n'est pas connue mais, elle est vraisemblablement variable de plus ou moins 10 m, en fonction du relief support du récif.

IV.3 ETUDE DE COUPES EN AFFLEUREMENT

Divers affleurements ont été observés : Petit Trou d'eau, stade de La Saline, ravine de l'Hermitage et fouille archéologique de l'Hermitage. Les affleurements du petit Trou d'eau et de l'Hermitage sont des coupes naturelles apparues lors des dernières crues. Pour le point près du stade de La Saline, un petit fossé a été creusé pour des raisons de drainage.

Sur ces sites, des essais de sondages à la tarière ont été effectués mais se sont avérés infructueux, la tarière ne retenant pas les sédiments non cohésifs.

- Petit Trou d'Eau et ravine de l'Hermitage

Pour ces sites, 4 unités stratigraphiques ont pu être identifiées (fig.7). L'affleurement fait environ 90 cm d'épaisseur au petit Trou d'Eau et environ 70 à 80 cm pour l'Hermitage. La quatrième et dernière unité

stratigraphique correspond à une époque actuelle très récente. En effet, différents détritus d'origine anthropique (boîte de coca, morceaux de plastiques, petites fondations de galets de basaltes visibles sur la figure 7 au-dessus de l'unité 3) y ont été retrouvés. Elle relève d'un remaniement artificiel et n'est pas prise en compte.

Les trois strates sous-jacentes sont limitées à la base et au toit par des niveaux très grossiers, constitué de gros morceaux de coraux décimétriques. Pour chaque strate on a un granoclassement vertical décroissant du bas vers le haut. On part du matériel grossier vers du matériel fin pour les trois unités stratigraphiques. Les épaisseurs de ces unités sont plus ou moins équivalentes entre elles et entre les deux sites. La séquence formée par les trois unités les plus anciennes a une épaisseur comparable entre le petit Trou d'eau et la ravine de l'Hermitage (épaisseur de 57/58 cm). L'alternance de dépôts grossiers et moyens d'épaisseur quasi constante démontre une cyclicité dans la mise en place des dépôts sédimentaires.

La faible épaisseur sédimentaire, la pauvreté en éléments fins et la prépondérance des éléments grossiers appuient le fait que les plages coralliennes de la Réunion sont des plages à faible évolution et soumises à des régimes hydrodynamiques sévères.

Figure 7 : Photos des affleurements du petit Trou d'Eau (à gauche) et de la ravine de l'Hermitage (à droite).

- Le stade de La Saline

Ce point d'étude se situe au pied des dunes de sables et laisse apparaître l'affleurement d'une nappe phréatique (fig.8). Trois niveaux sédimentaires ont pu être mis à jour. On distingue de haut en bas :

- Un niveau de sables éoliens altérés,
- Un niveau de sables volcanodétritiques très fins,
- Un niveau de sables grossiers, rassemblant des débris coralliens plus ou moins importants.

- Site archéologique de l'Hermitage

Au niveau de ce site, plusieurs sondages à la tarière ont été effectués sur une profondeur de 1,5 m. Aucune lithification bioclastique n'a été rencontré. En revanche, de nombreux gros débris coralliens sont présents, rappelant les formations les plus profondes de l'affleurement de la Saline.

Figure 8 : Photos prises sur le site du stade de La Saline au pied d'une dune de sable ; ici encore on note l'absence de sables fins coralliens.

CONCLUSION

Les bilans sédimentaires de décembre 2001 (Troadec R., 2002) donnaient près de 50 % des radiales en amaigrissement. Huit radiales n'avaient pas renversées leur tendance érosive (Cap Homard, Grand Fond nord, Roches Noires, VVF, Corail Sud, St Leu ville, St Pierre Gendarmerie et Saint Pierre M.N.S.), et sept radiales avaient amélioré leur situation sédimentaire par rapport à 1994 (Boucan Nord, Saint-Gilles Cimetière, Récif, Go Payet, Hermitage MNS, St Leu Cimetière et Ravine Blanche). Aujourd'hui, sur l'ensemble des plages nommées ci dessus, seules quatre radiales affichent un bilan global positif (St Gilles Cimetière, Go Payet, M.N.S l'Hermitage et St Leu Cimetière).

Sur les quarante radiales étudiées, 45% connaissent encore un problème d'érosion, 42,5 % sont en engraissement et 12,5 % peuvent être considérées comme stables. Certaines radiales comme Les Aigrettes, St Gilles Cimetière, Souris Chaude 1 et 2, alternent fréquemment les phases d'érosion et d'engraissement, ce qui se traduit par des variations nettes du profil de plage. D'autres comme St Gilles Villa Créole, St Gilles Hôtel Récif , Trou d'eau et Grand Bois ont des variations de volumes moins marquées avec des valeurs de bilans sédimentaires globaux proches de 0 depuis mai 2001. Certaines plages comme Grand Bois 1 et 2 connaissent un engraissement régulier depuis 2001.

Nous remarquons également que les principaux régimes hydrodynamiques affectent les estrans de grands secteurs géographiques selon des tendances similaires. Ainsi, en 2002, à l'approche de l'hiver austral caractérisé par un régime de houles venant du sud-ouest, une tendance à l'engraissement dans la partie O/N.O. de l'île est adjointe à une phase d'érosion dans la partie O/S.O.. Cette situation était inversée en pleine période cyclonique (décembre 2001 à février 2002) sous l'influence de houles cycloniques venant du nord-ouest.

Sur la zone pilote de l'Hermitage/La Saline les Bains, on observe une alternance saisonnière de phases d'érosion et d'engraissement qui correspondent respectivement à la période cyclonique et la période hivernale. Cependant, on peut noter une tendance générale des profils étudiés à l'engraissement.

Une approche statistique du calcul des bilans sédimentaires reste à approfondir sur la base de l'acquisition d'un nombre de profils de plages de plus en plus significatif. L'évolution morphologique des radiales ne traduit pas l'évolution globale de la plage, mais plutôt une tendance qu'il conviendra de préciser. Il faudra par conséquent, lors des prochaines campagnes, resserrer les radiales afin de travailler sur des volumes de plages complets pour obtenir des bilans plus représentatifs de l'évolution des plages.

En matière de sédimentologie dynamique, les connaissances des relations hydro-sédimentaires dans la zone littorale et son avant côte souffrent encore d'une insuffisante définition du spectre complet des tailles de grains érodés, transportés et déposés sous l'action des agents mobilisateurs. Le problème est complexe car l'échantillonnage et le suivi de la totalité du matériel mobilisé en charriage en saltation et en suspension est difficile. Les études granulométriques concluent à un granoclassement peu marqué avec une tendance montrant

la présence de sables moyens à grossiers en estran inférieur et sables fins en estran supérieur. Les actions humaines sur certaines zones d'échantillonnage peuvent expliquer aussi les forts remaniements sédimentaires observés.

Les essais de sondages à la tarière n'ont pas été probants sur un matériel sédimentaire généralement sableux. L'observation des coupes stratigraphiques montre des séries comportant des sables coralliens en surface et des galets de basaltes à la base de la série. La présence fréquente dans les séquences sédimentaires de débris coralliens grossiers montre bien que les plages du littoral réunionnais sont à faible évolution et sont soumises à des régimes hydrodynamiques sévères à occurrence saisonnière.

Au vu des différents résultats, il est donc impératif de se donner les moyens de comprendre les phénomènes hydro-sédimentaires régissant la morphologie globale d'une plage. En effet, seule une étude approfondie et une meilleur compréhension du complexe récifal et de l'interaction entre les différents compartiments biologique, physique et géologique, permettra de mener une politique de prévention et d'action efficace contre l'érosion.

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 2

Allen, J.R., 1981. Beach erosion as a fonction of variations in the sediment budjet, Sandy Hook, New Jersey, USA. Earth Surf. Process. Land. 6, pp 139-150.

Barusseau, J.P., Mohamodoul, B.D., Bardonnie (de la), M., El Ghandour, N., 1998. Méthodologie pour une simulation des transformations granulométriques de sables de la zone d'avant-côte. Oceanol. Acta, Vol. 22-n°2, pp 179-191.

Benavente, J., Gracia, F.J, Lopez-Aguayo, F., 2000. Empiric model of morphodynamic beachface behaviour for low-energy mesotidal environments. Mar.Geol. 167, pp 375-390.

Carr, A.P., Blackley, M.W.L., King, H.L., 1982. Spatial and seasonal aspects of beach stability. Earth Surf. Process. Land. 7, pp 287-282.

Hegge, B.J., 1994. Low-energy sandy beaches of southwestern Australia: two-dimensional morphology, sediments and dynamics. PhD thesis, Department of Geography, The University of Western Australia.

Join J. L., Daesslé M., 1987. Comportement hydrodynamique d'une nappe côtière à l'arrière d'un lagon (la Réunion-commune de St Paul). Rapport de la Commission de Recherche CORDET-Programme 1985, B.R.G.M. – Laboratoire de Géologie Université de la Réunion.

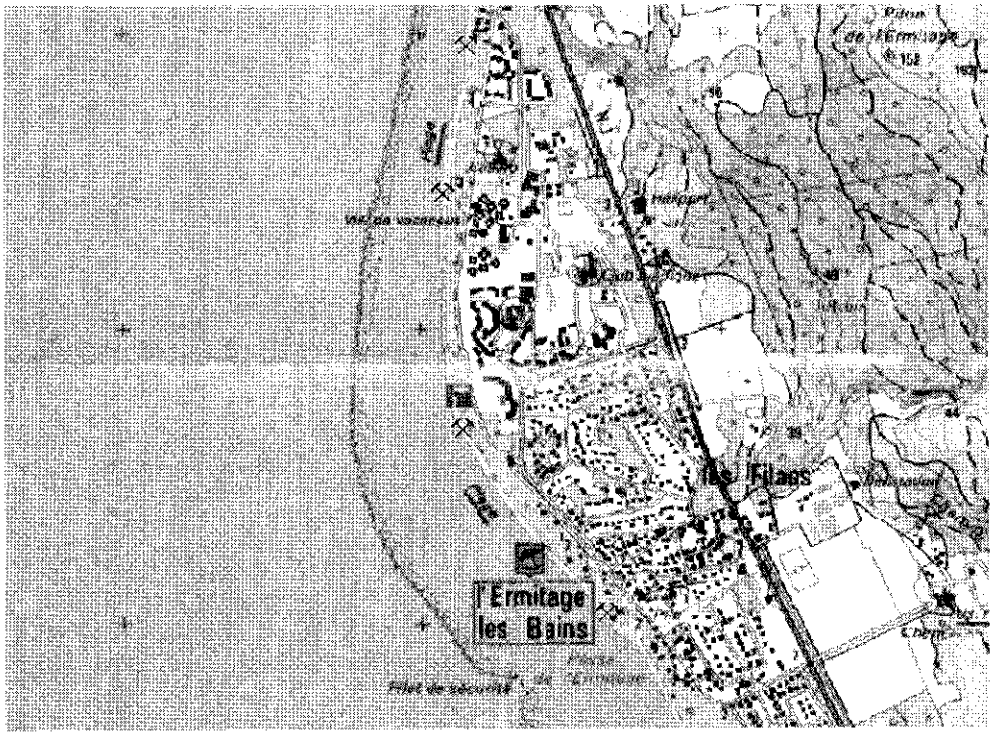
Oyegun, C.U., 1991. Spatial and seasonal aspects of shoreline changes at Forcados Beach, Nigeria. Earth Surf. Process. Land. 16, pp 293-305.

Thom, B.G., Hall, W., 1991. Behaviour of beach profiles during accretion and erosion dominated periods. Earth Surf. Process. Land. 16, pp113-127.

Troadec, R., 2002. Suivi de lévolution du profil des plages coralliennes de la Réunion 1998-2001. Convention Assoc. Parc Marin-Univ de la Réunion.

ANNEXES

Hermitage Nord

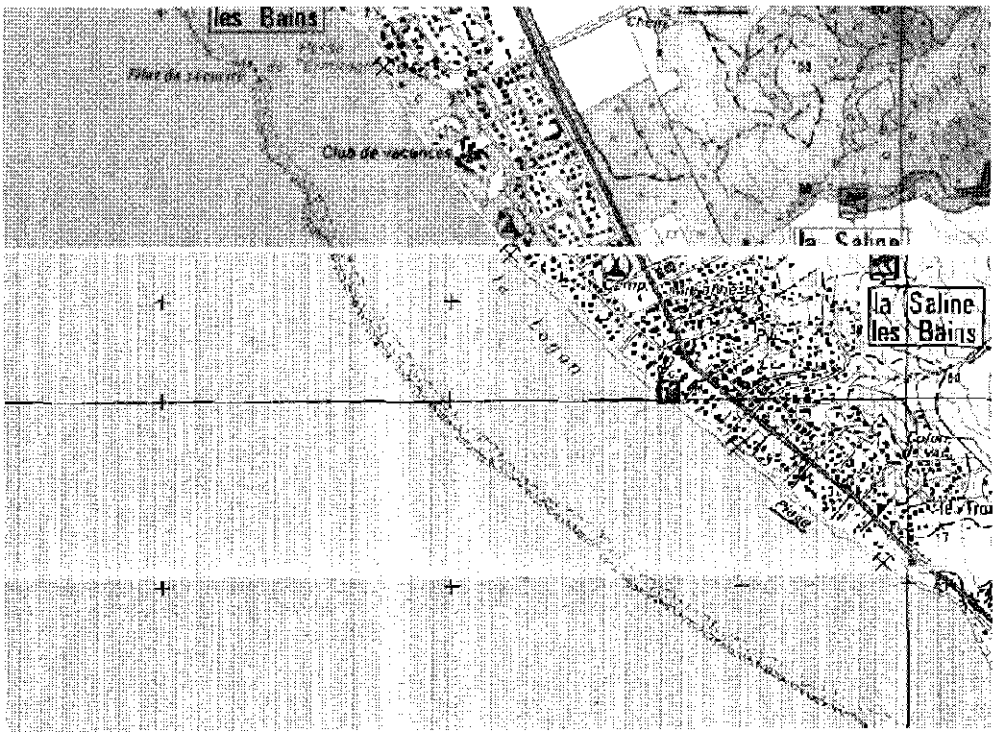


0.7 0 0.7 1.4 Kilometers

⚒ Localisation des radiales

N
W E
S

L'hermitage Sud

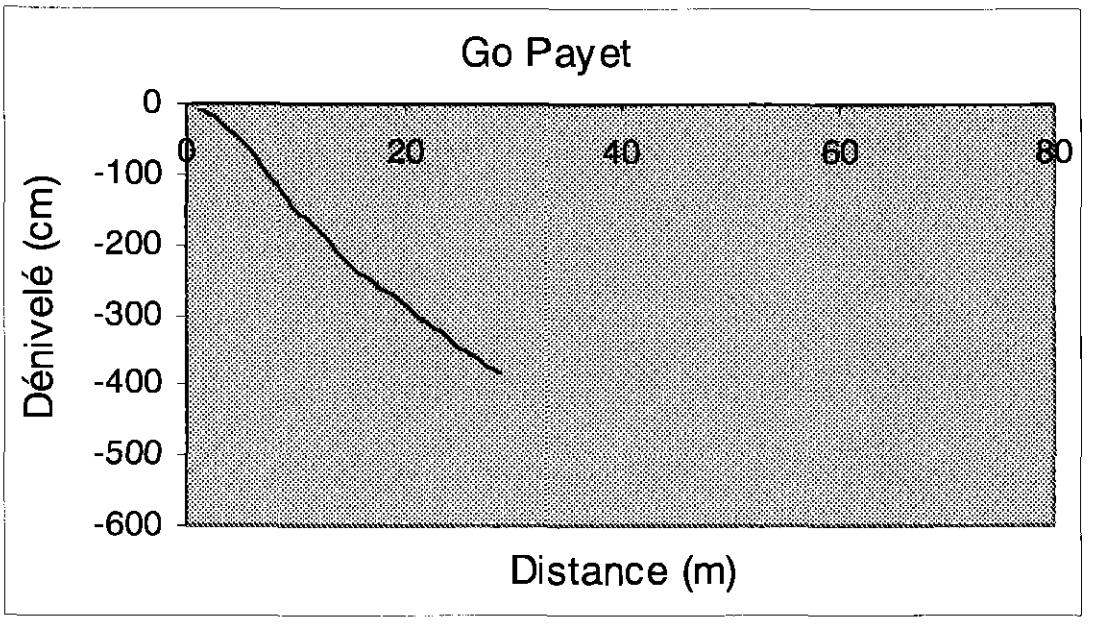


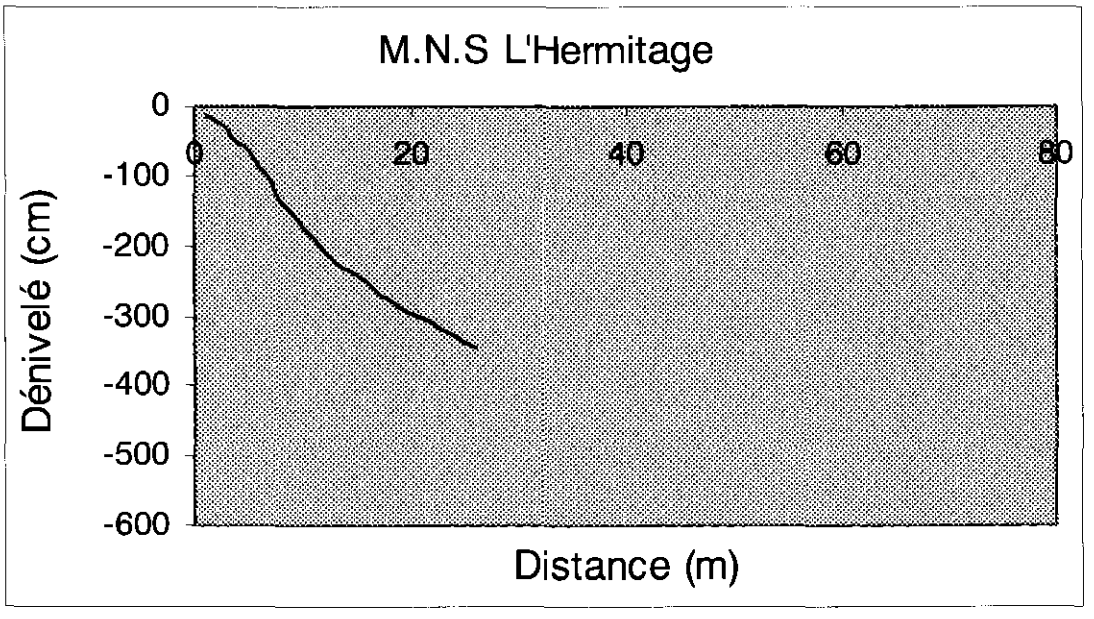
0.7 0 0.7 1.4 Kilometers

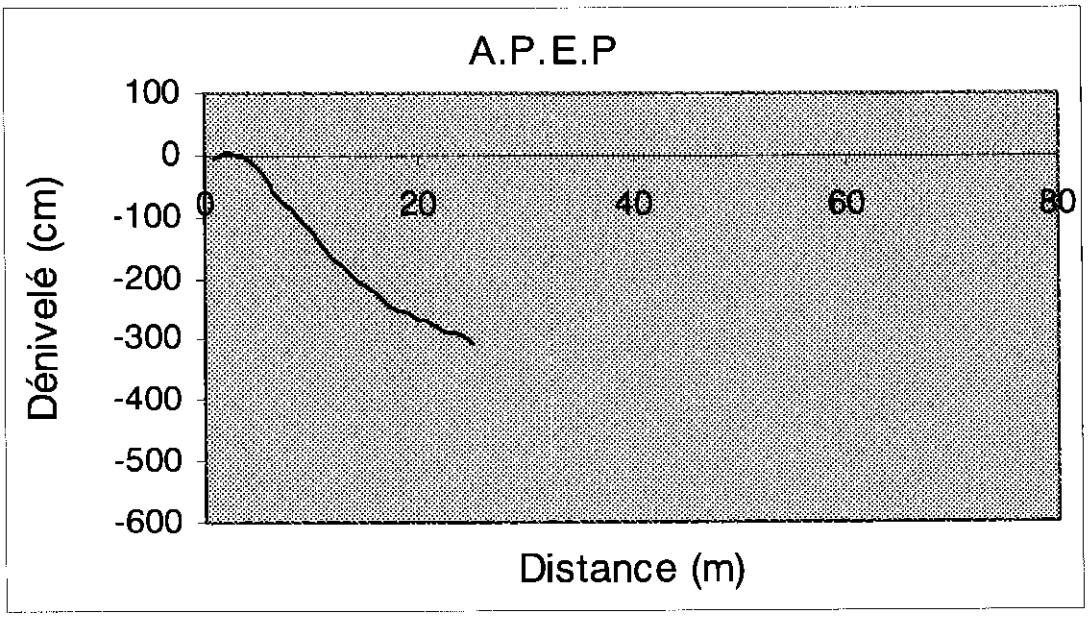
⚒ Localisation des radiales

N
W E
S

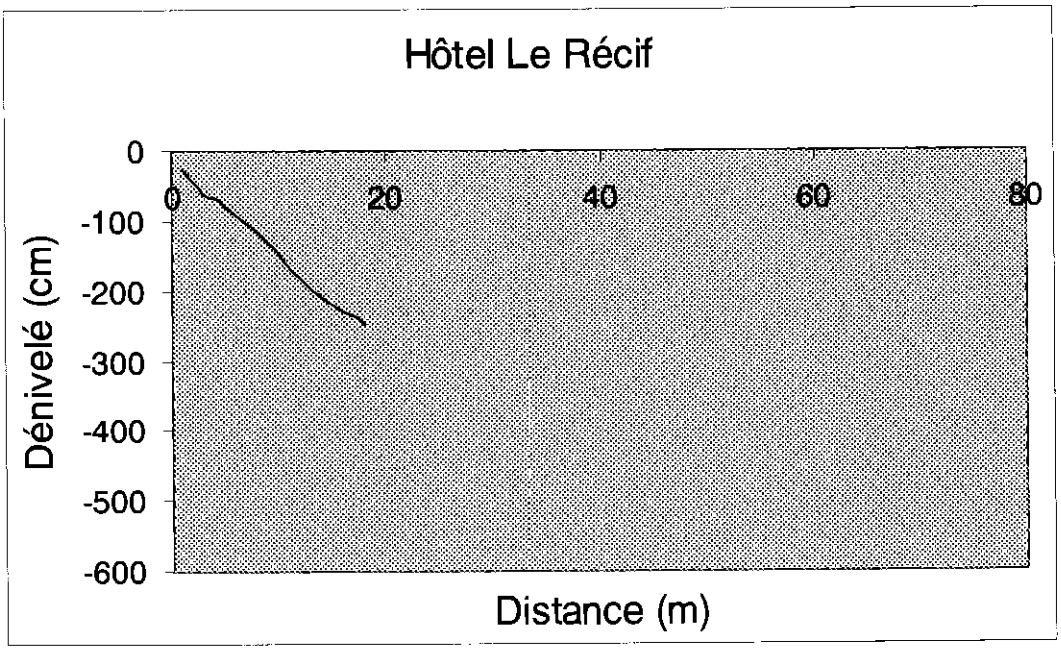
Profils concaves

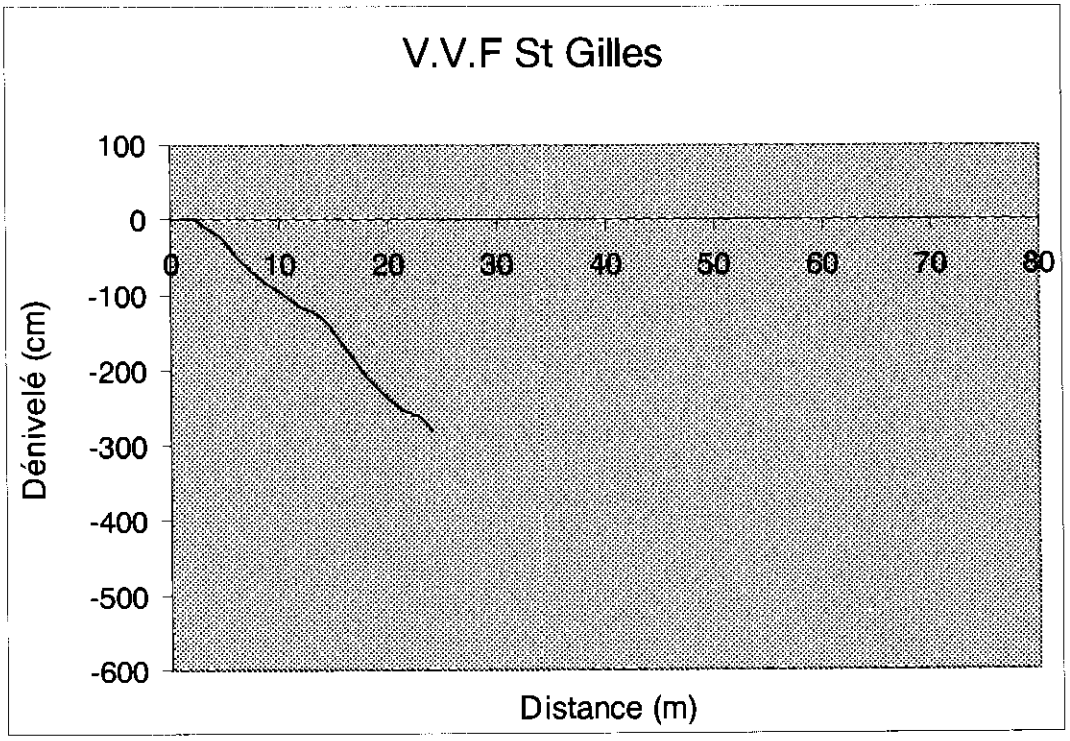


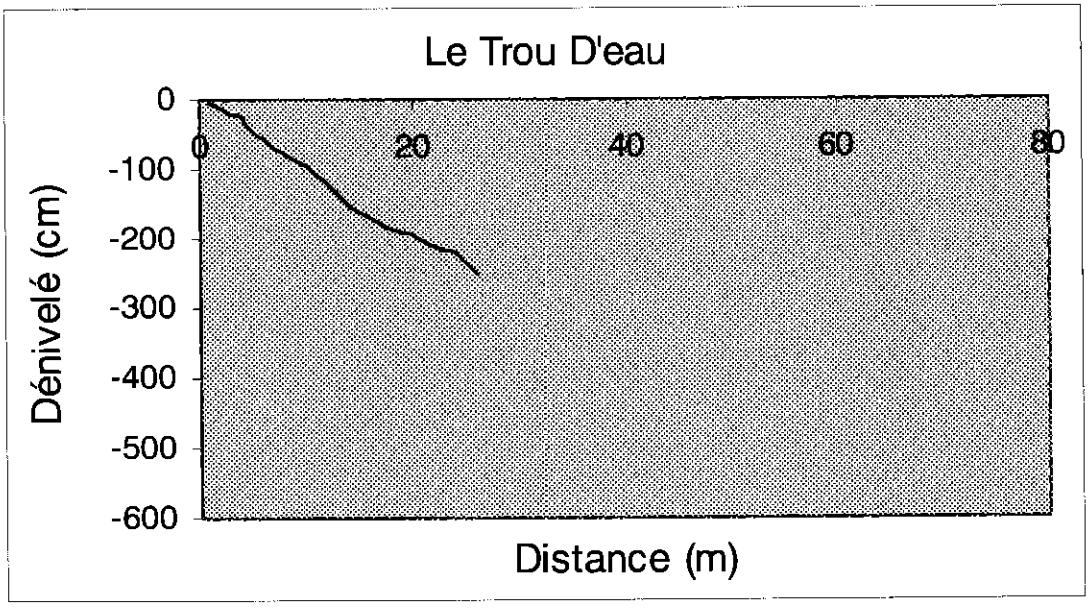




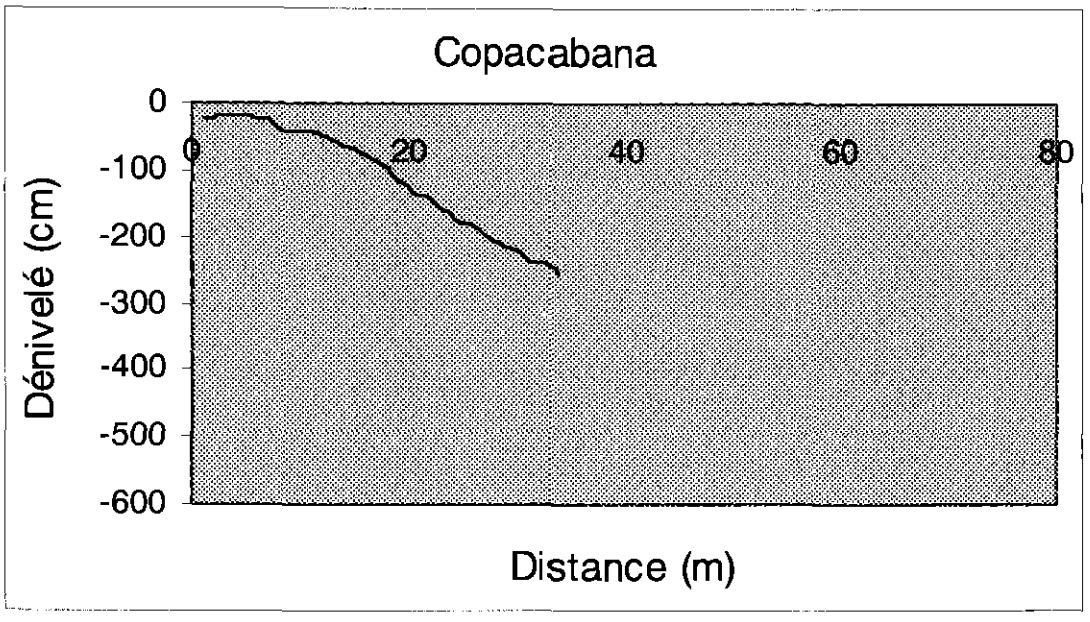
Profils à la concavité modérée



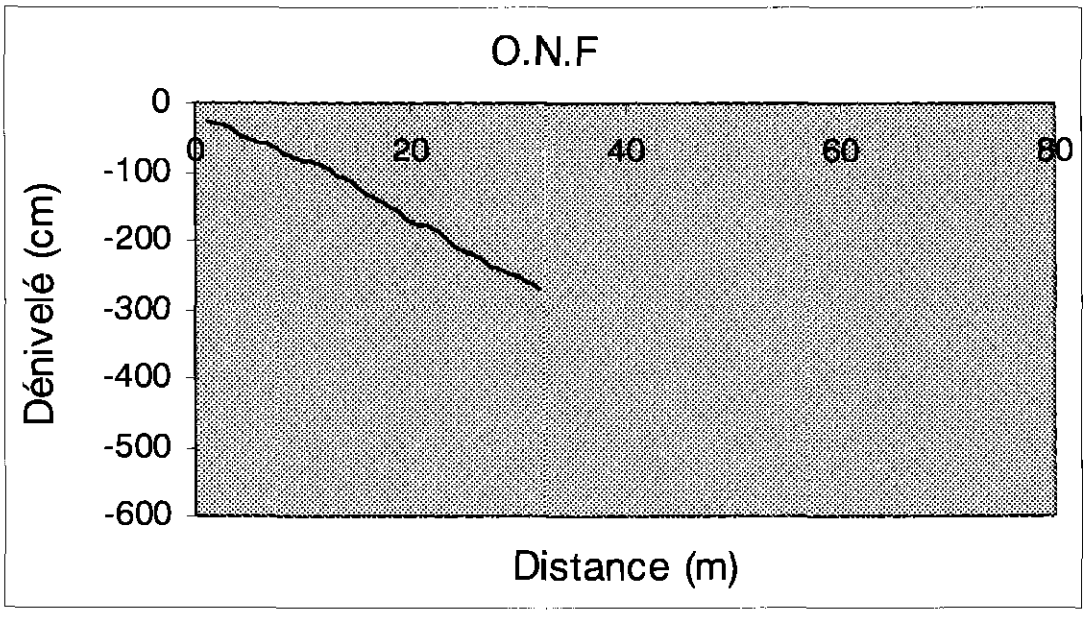

V.V.F St Gilles
100
0
-100
-200
-300
-400
-500
-600
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Dénivelé (cm)
Distance (m)


Le Trou D'eau
0
-100
-200
-300
-400
-500
-600
0
20
40
60
80
Dénivelé (cm)
Distance (m)

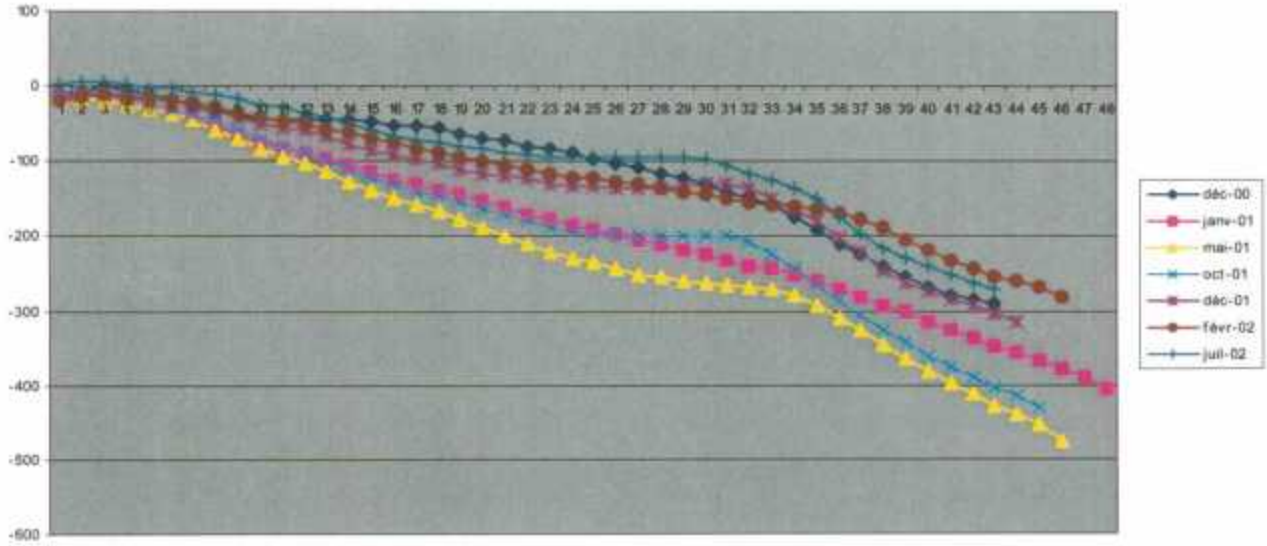
Profils convexes



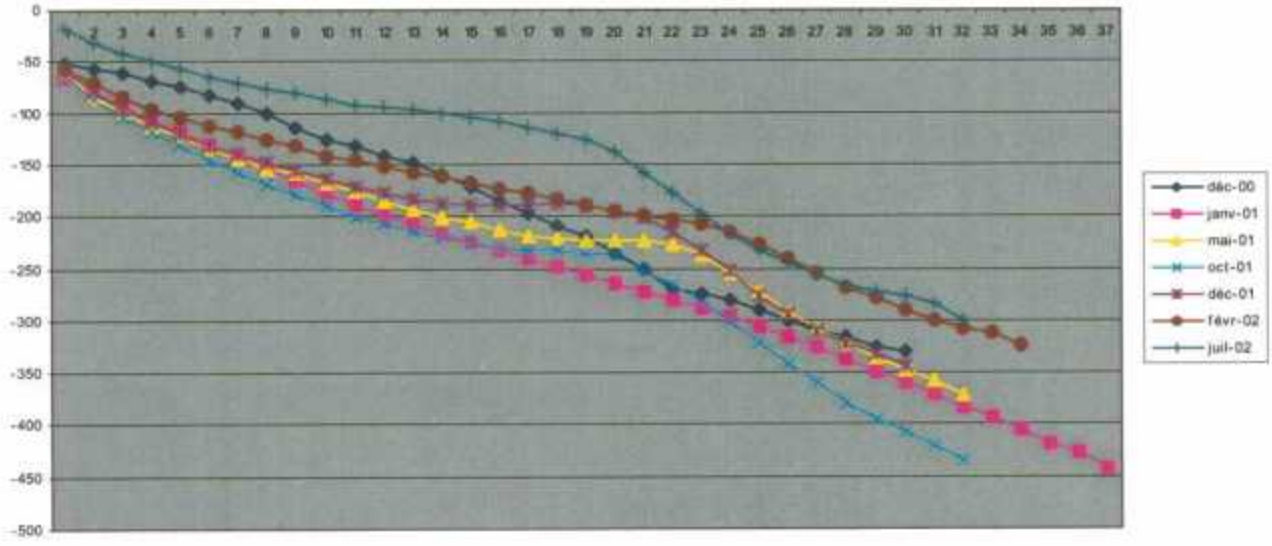
Profils plats



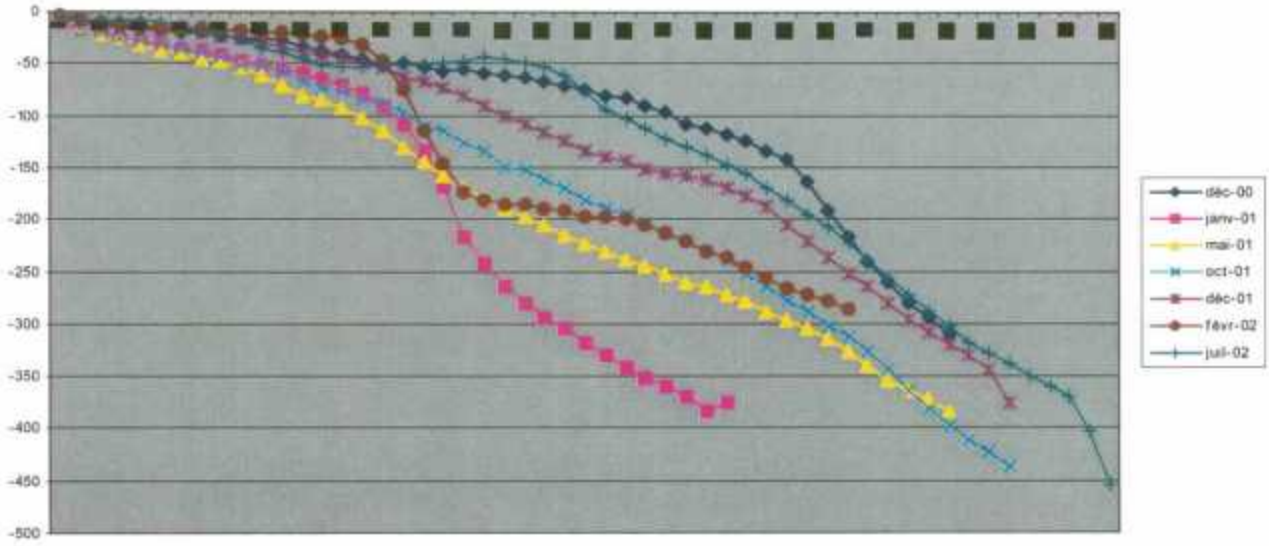
maharani nord



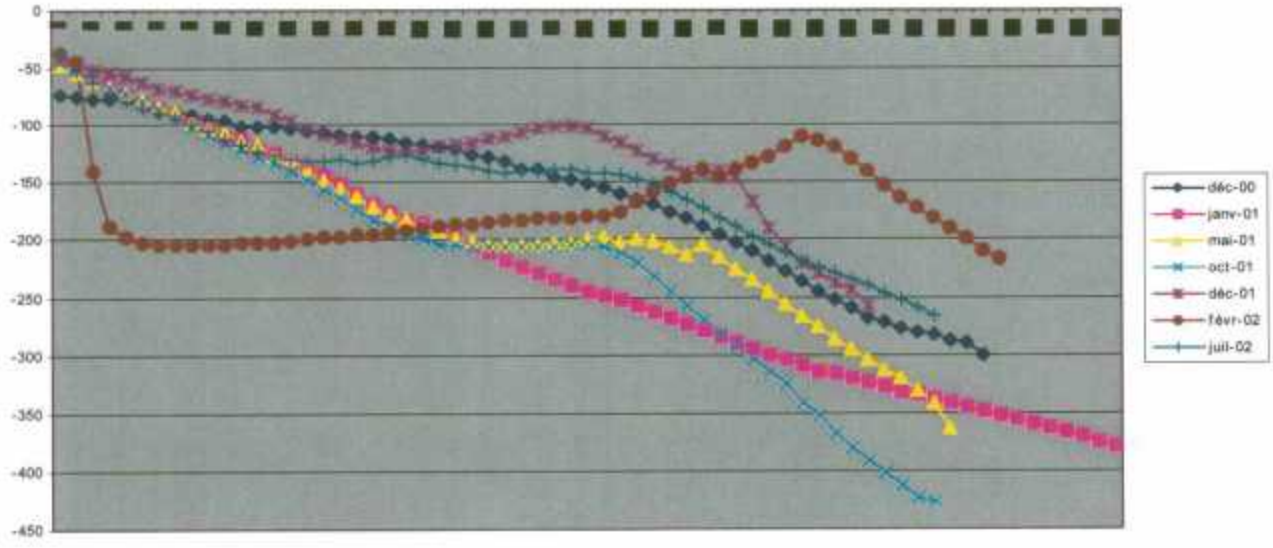
hotel maharani



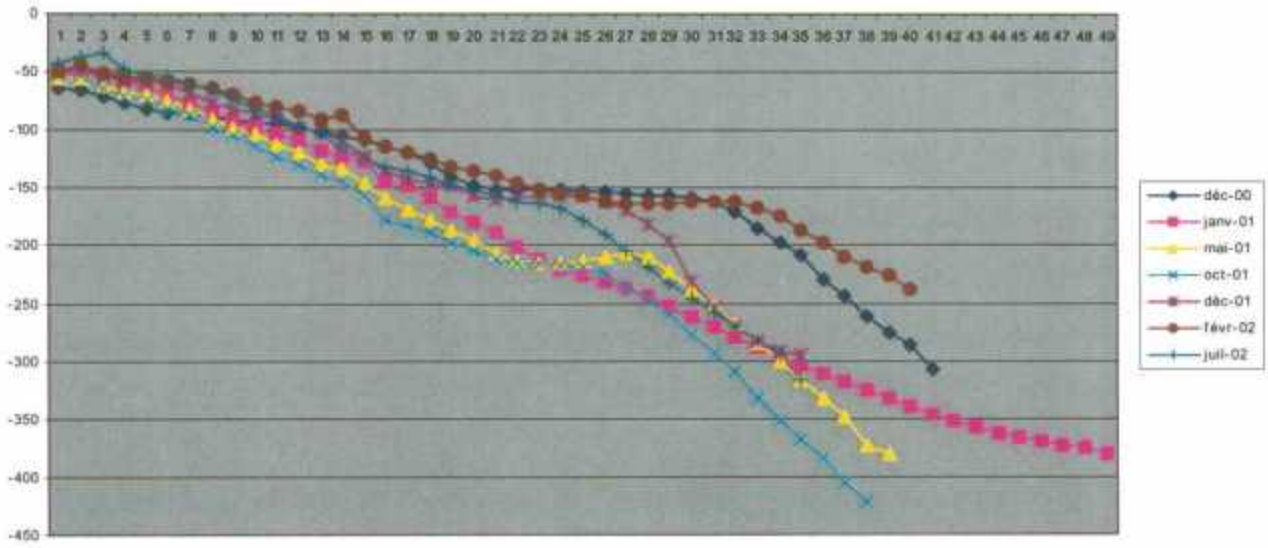
boucan canot nord



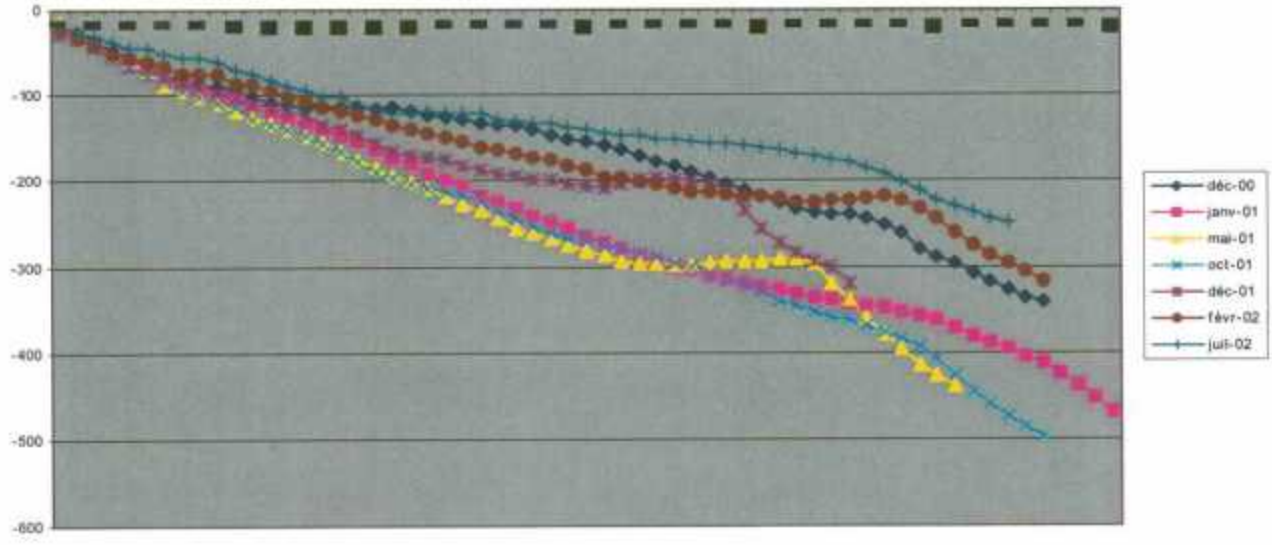
hotel boucan canot



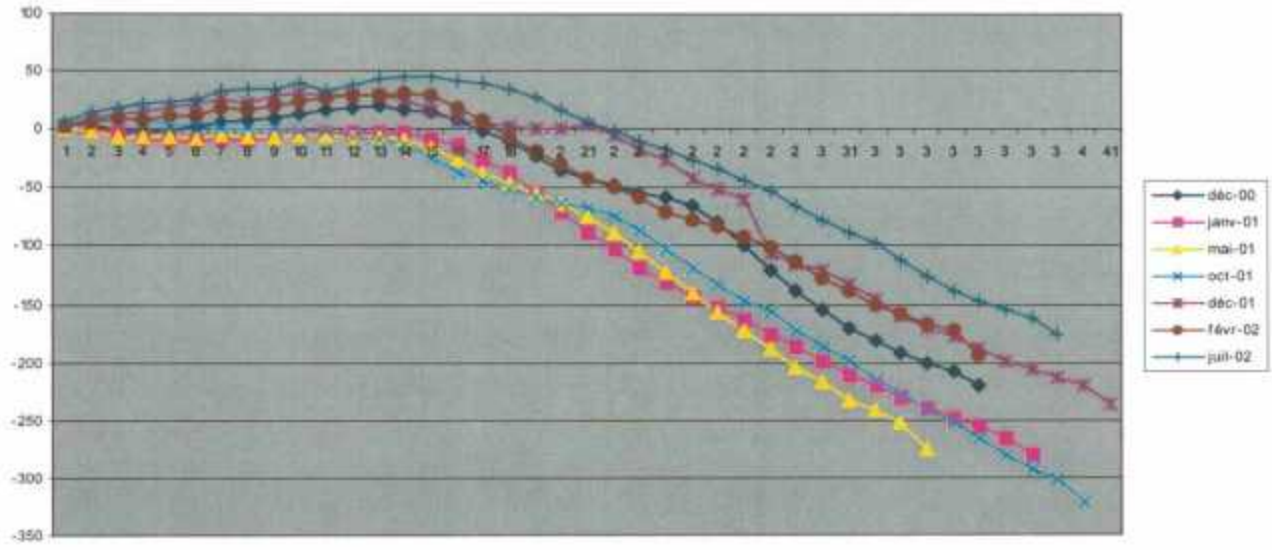
boucan canot sud



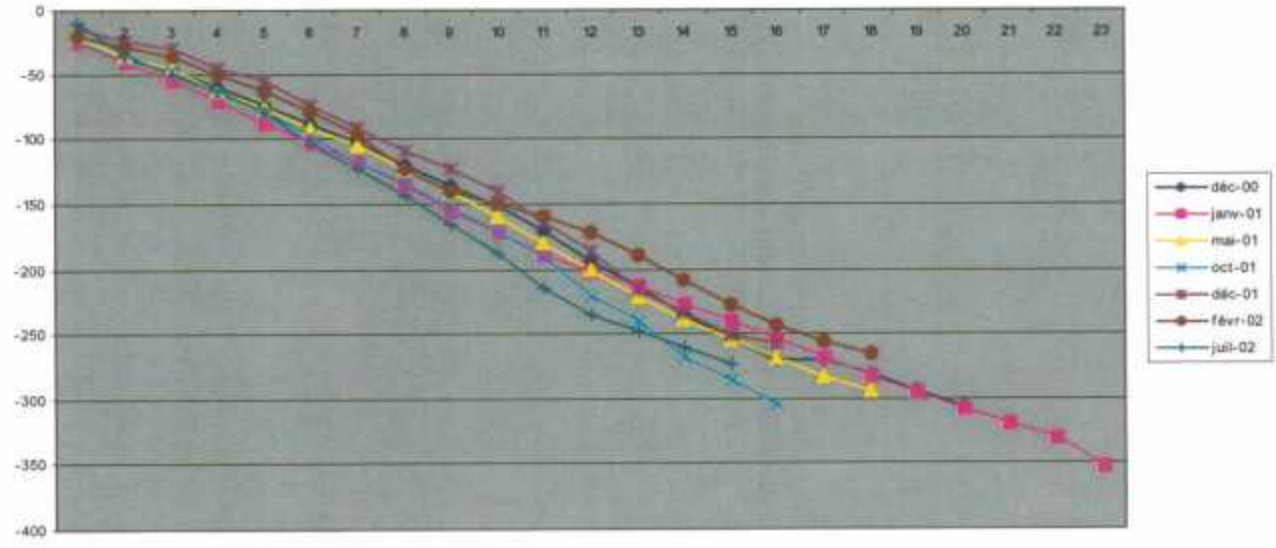
cap homard



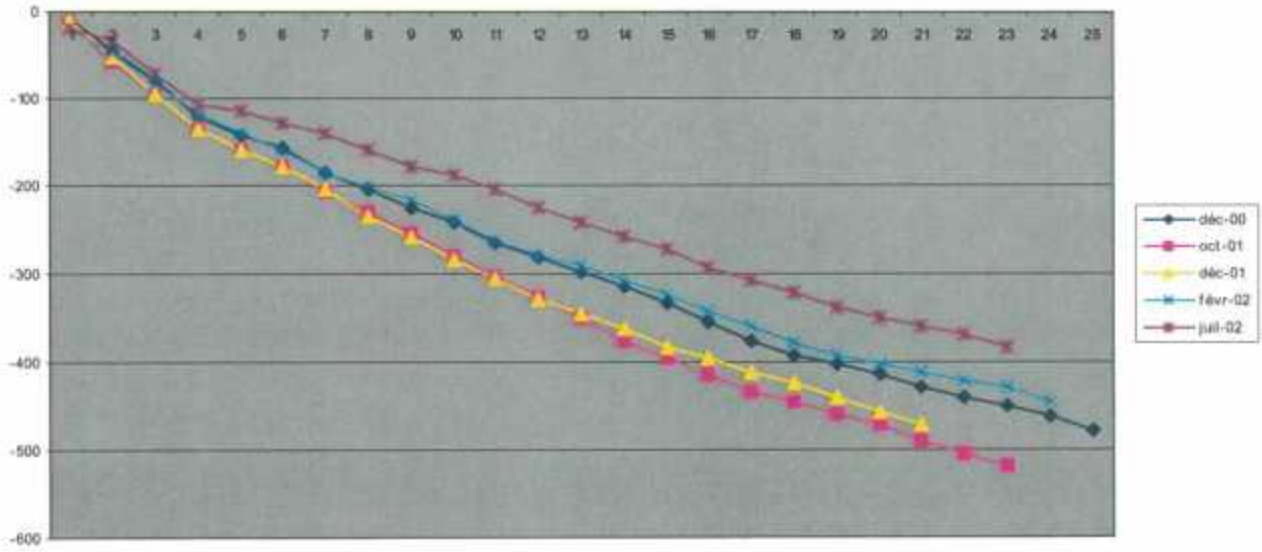
les aigrettes



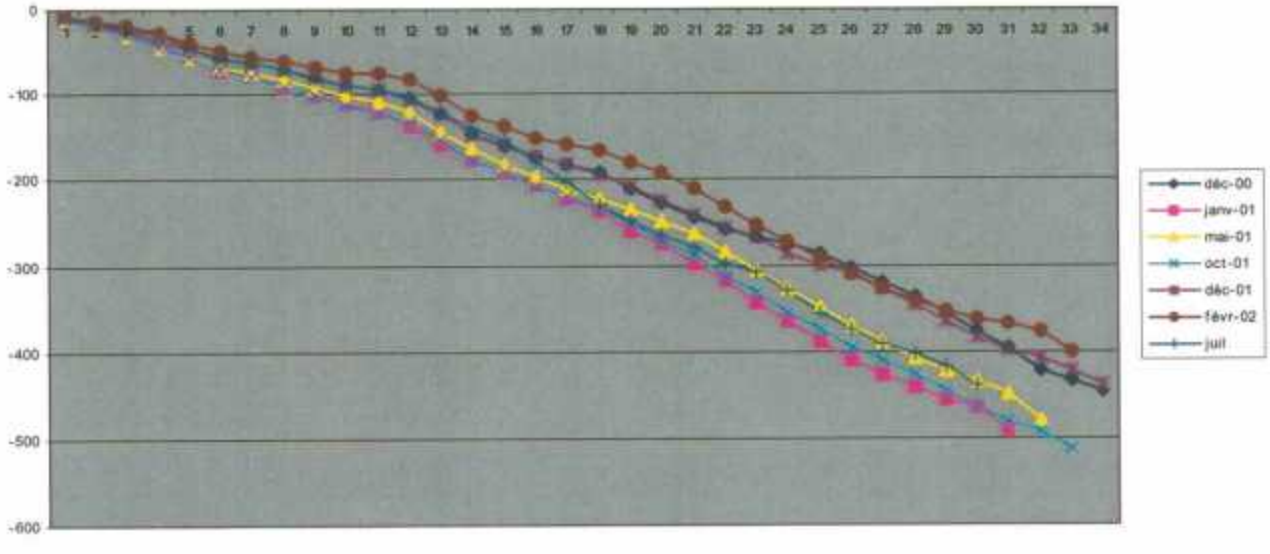
grand fond



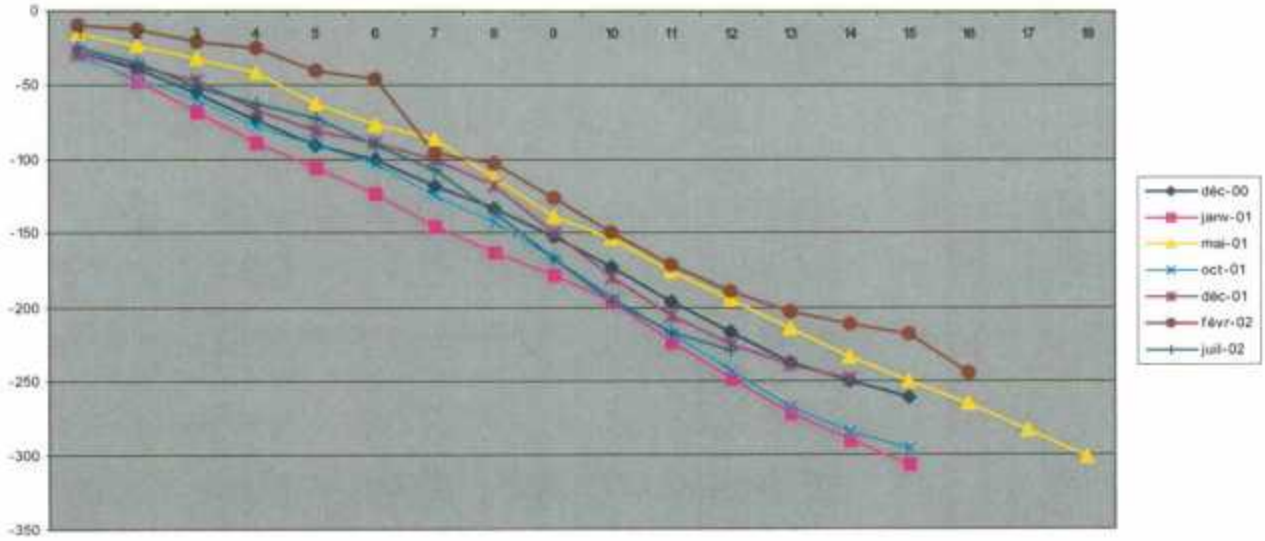
grand fond sud



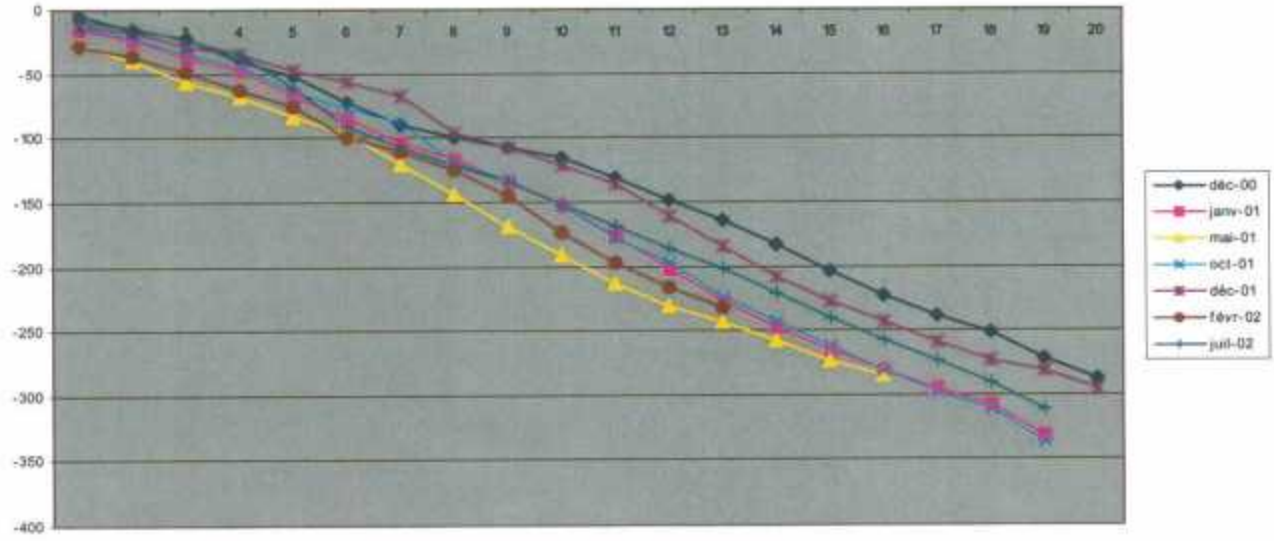
st gilles cimetiere



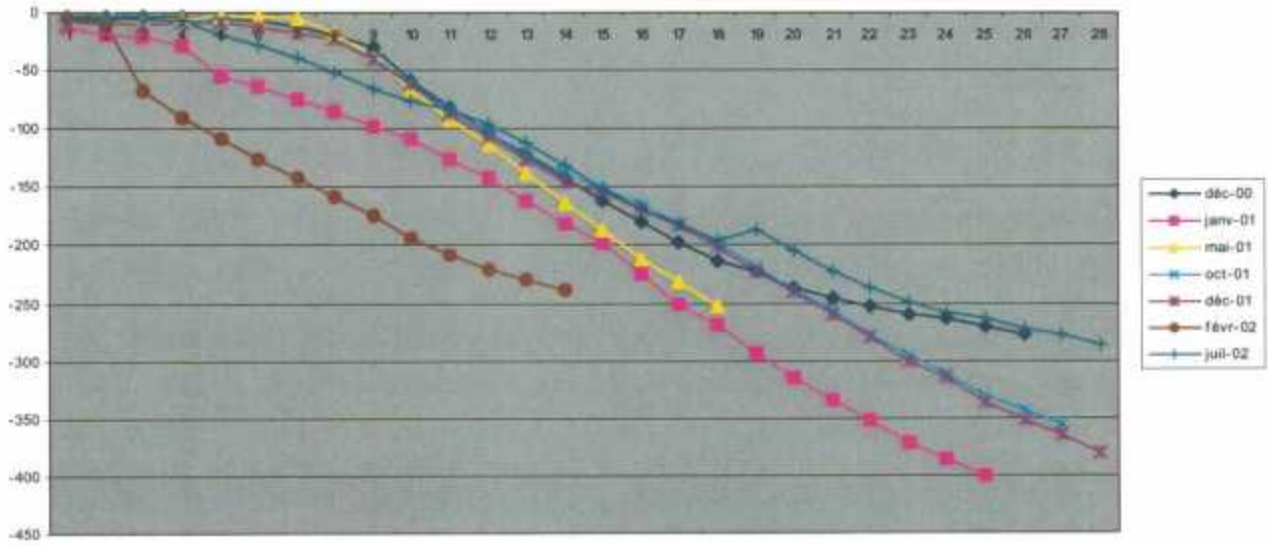
st gilles villa creole



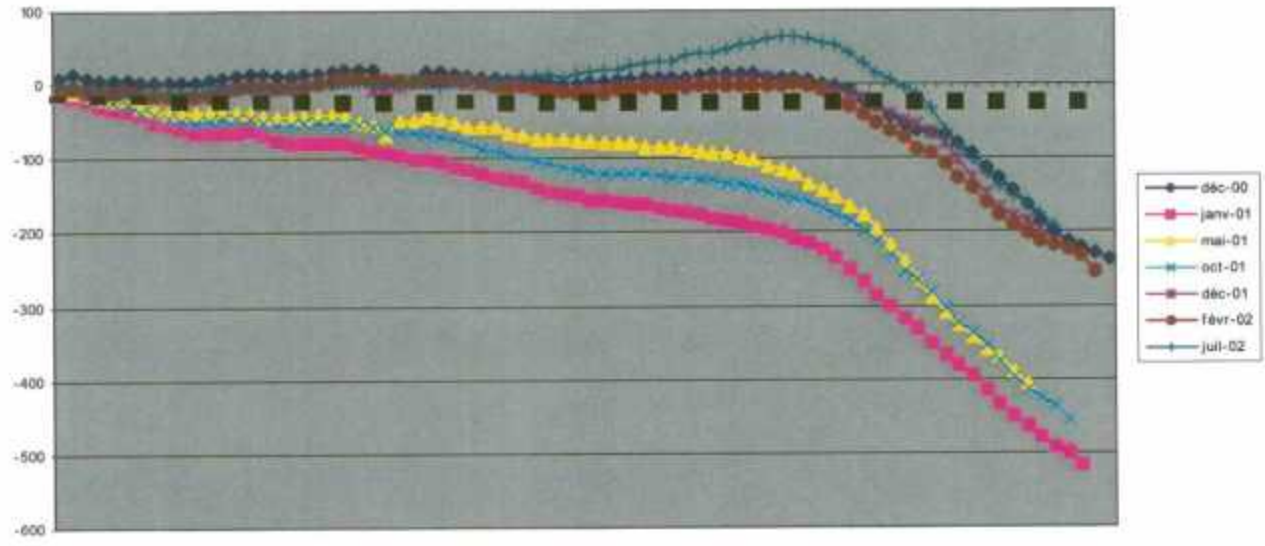
st gilles villa de villele



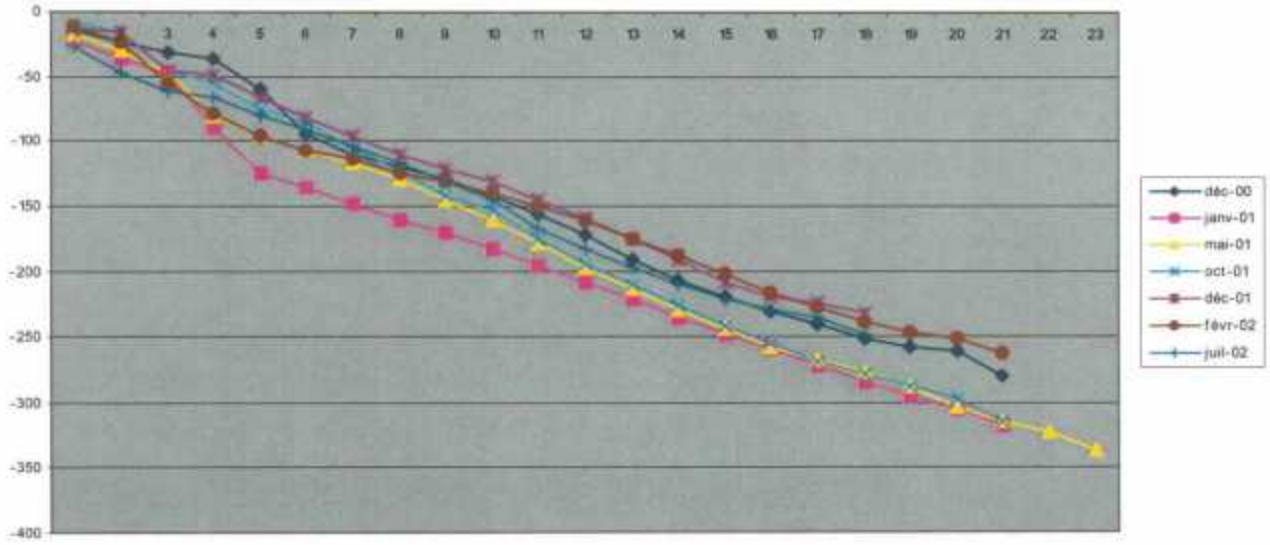
roches noires



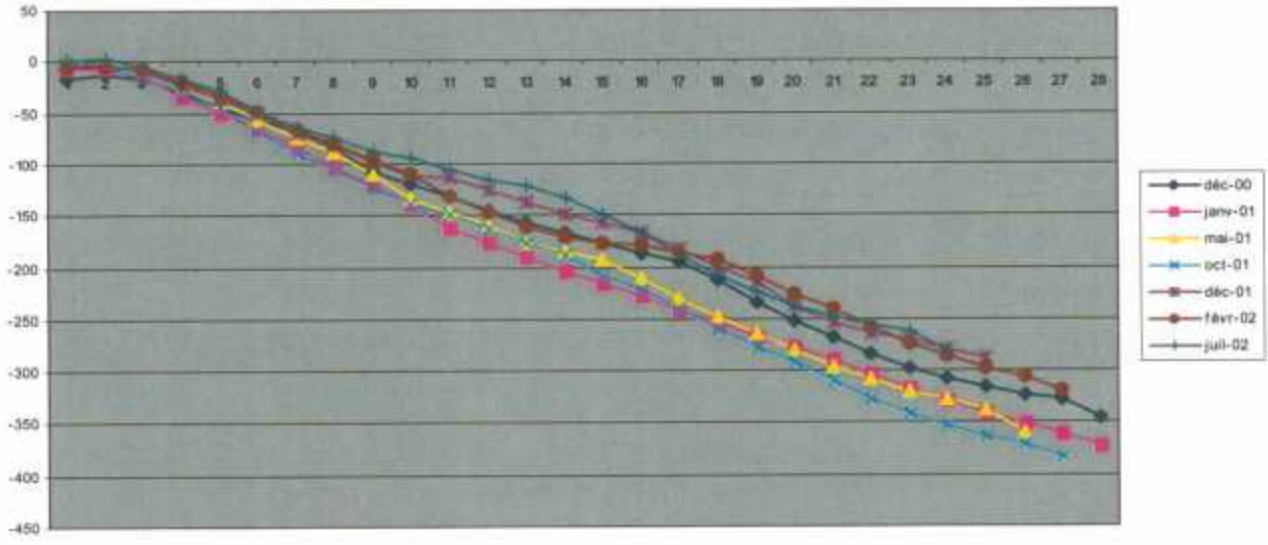
les brisants



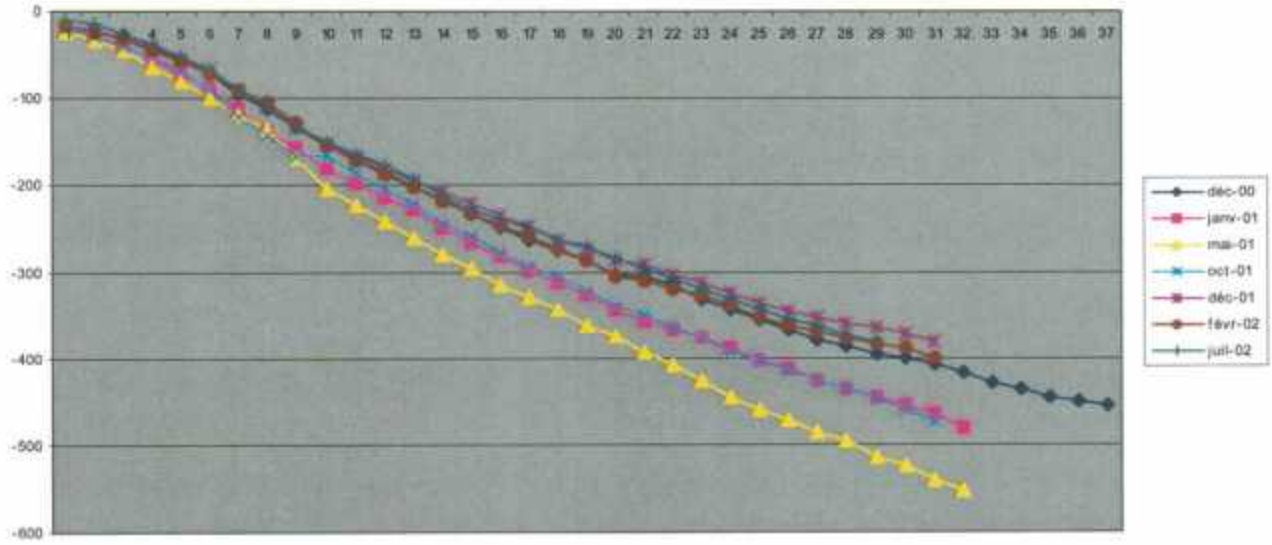
st gilles hotel recif



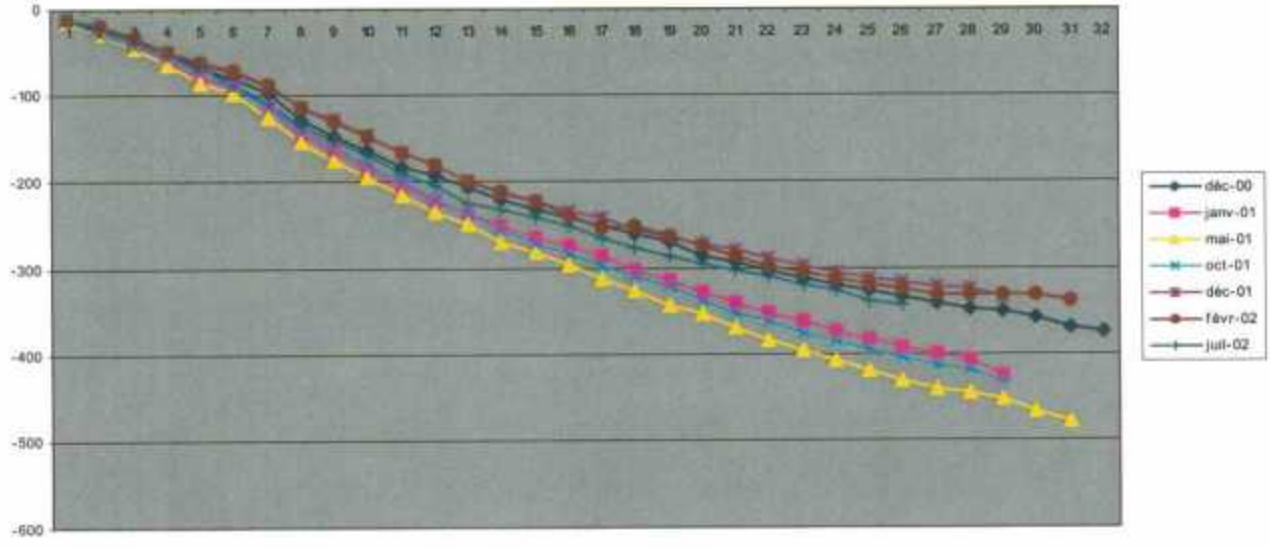
st gilles vvf



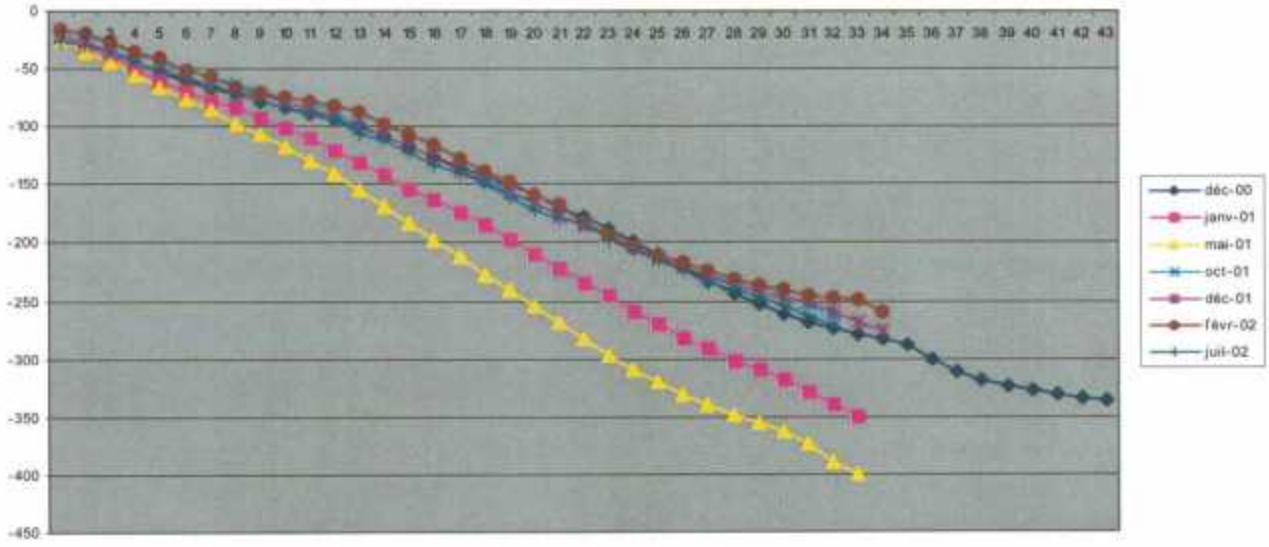
st gilles go payet



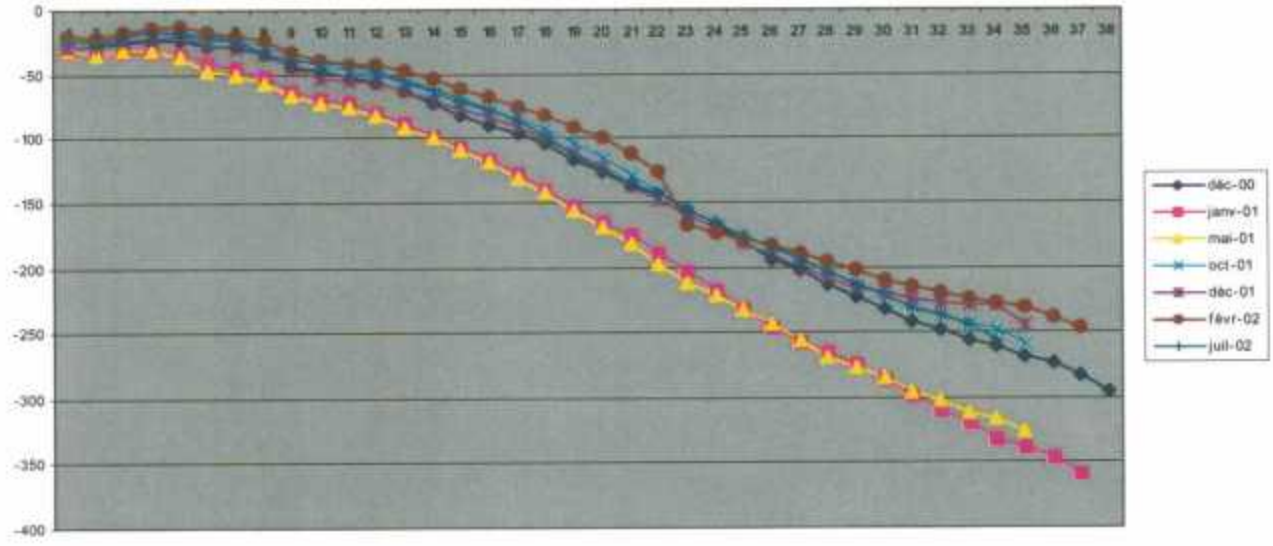
poste mns hermitage



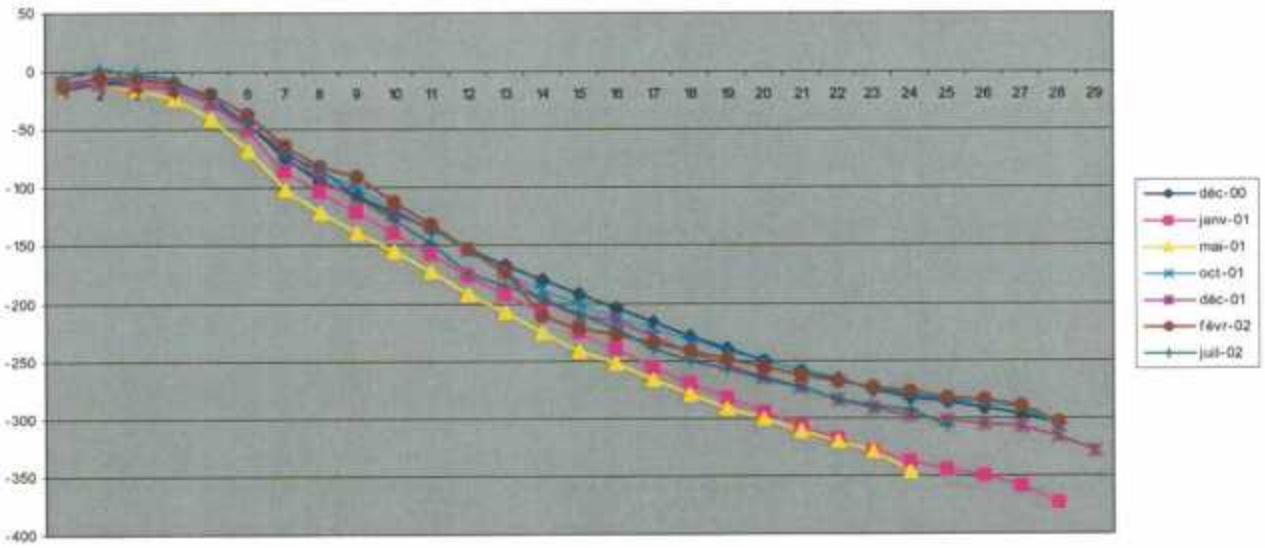
hermitage onf



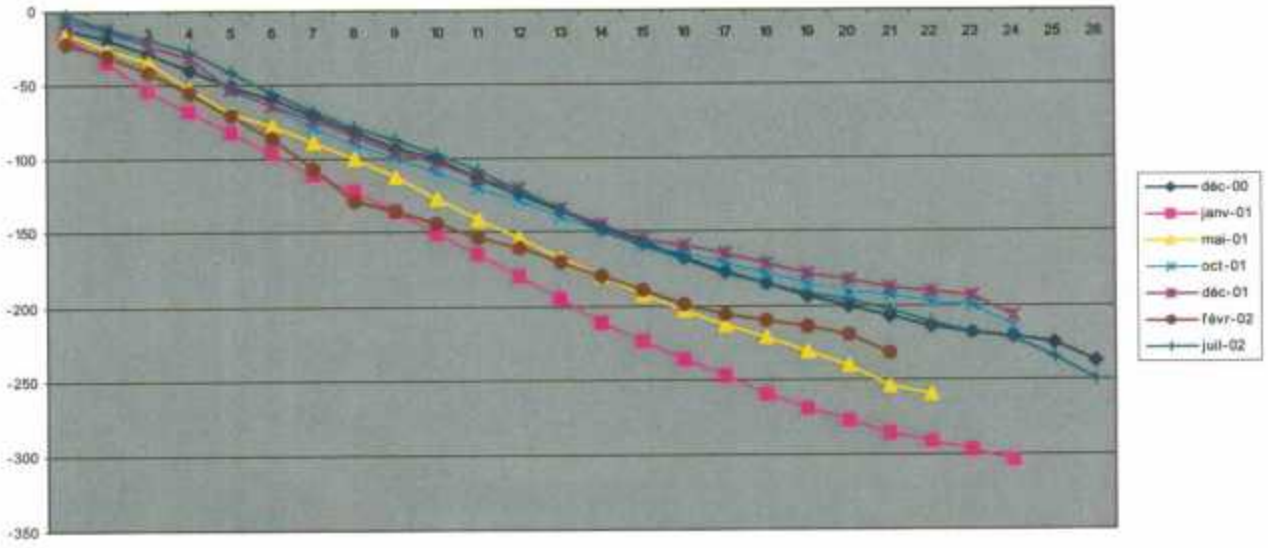
copa cabana



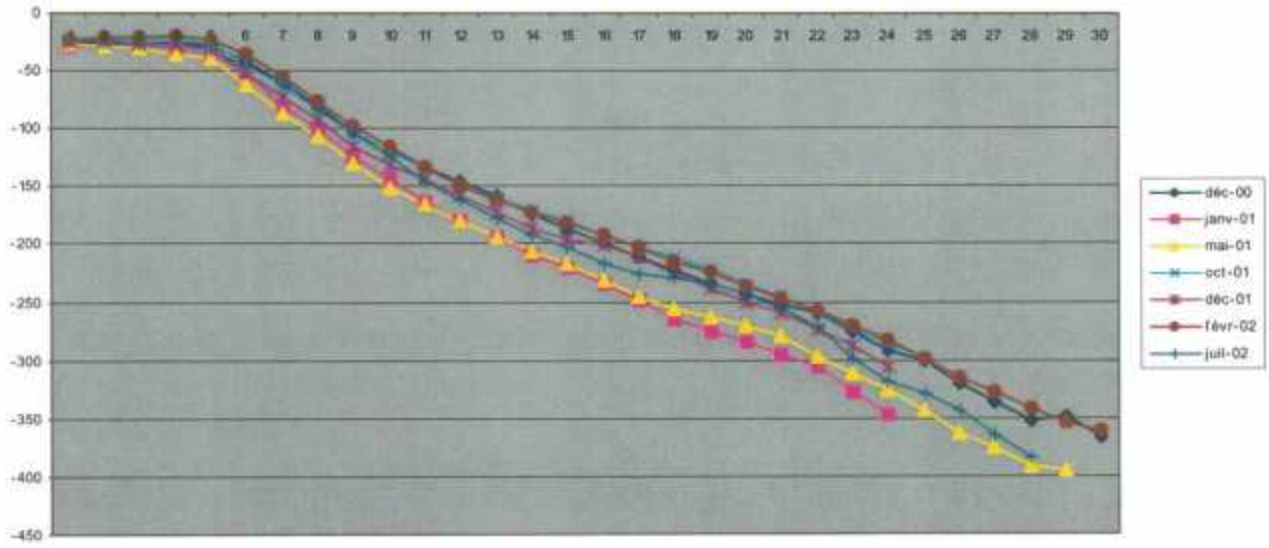
apep



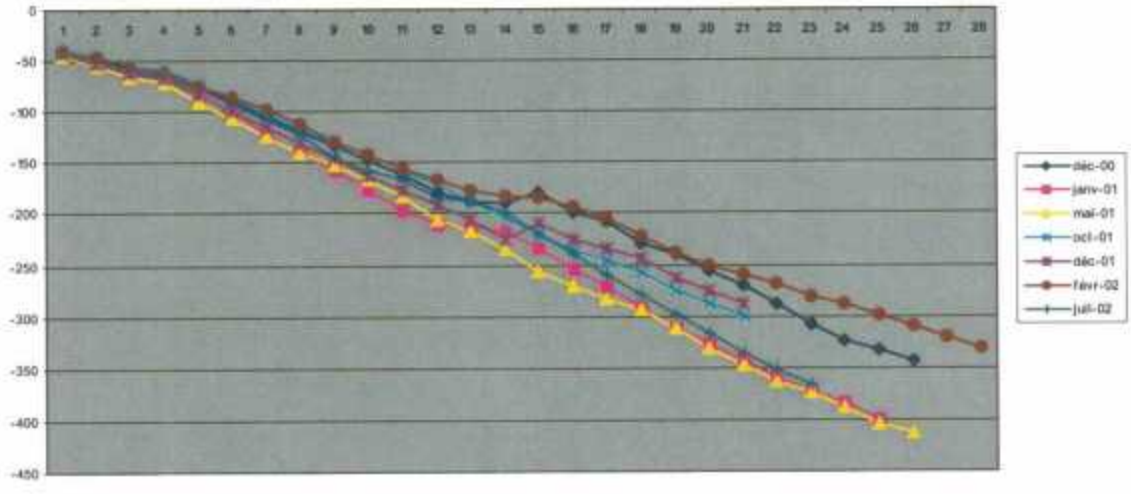
trou d'eau



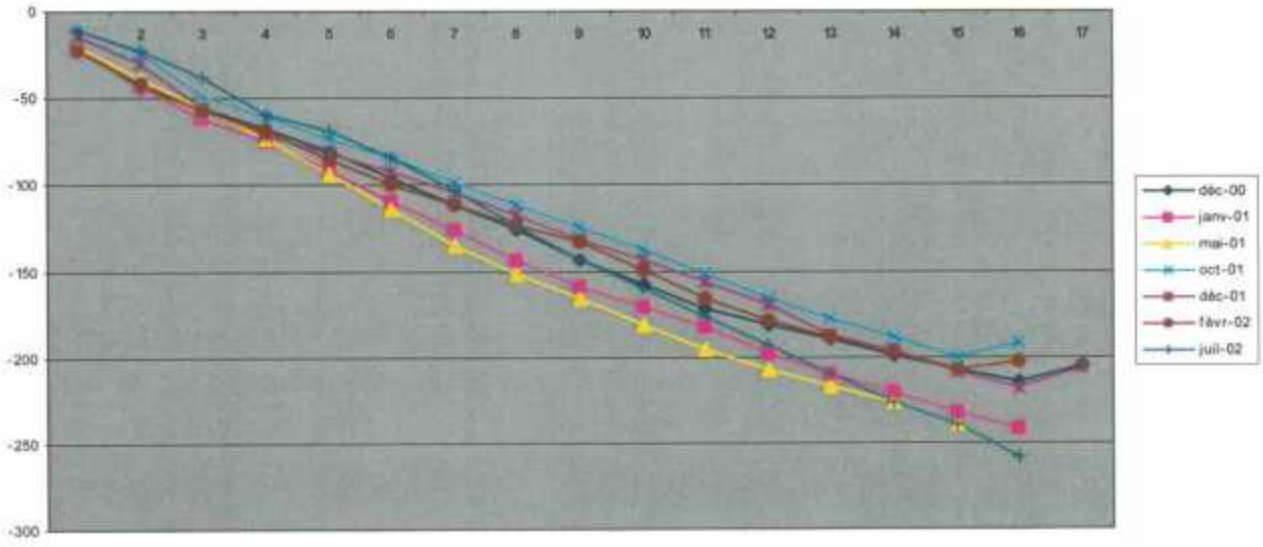
souris chaudes 1



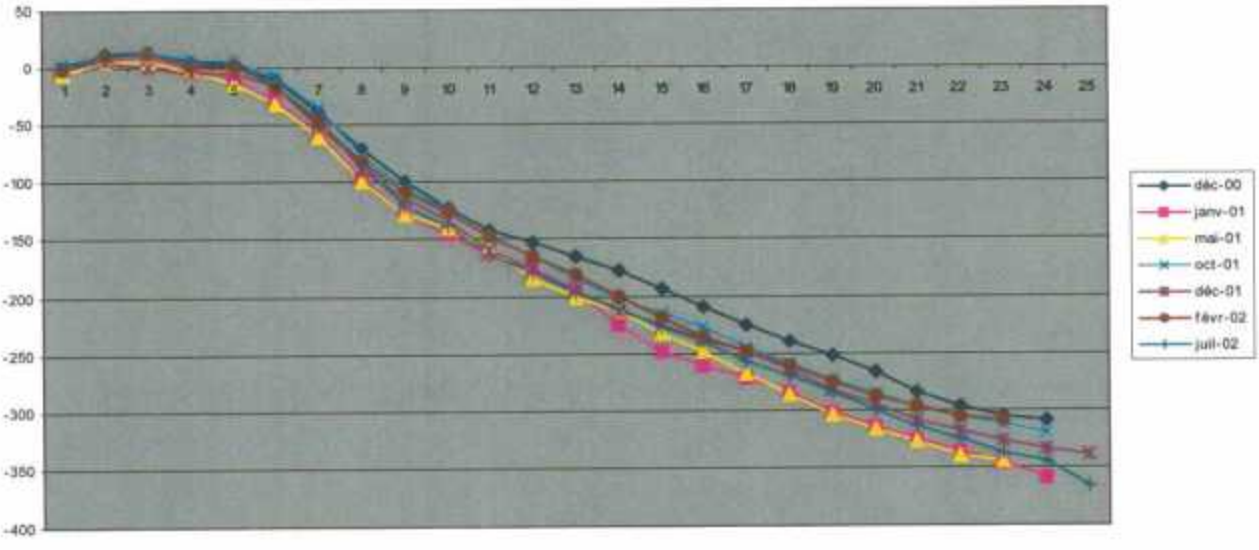
souris chaudes 2

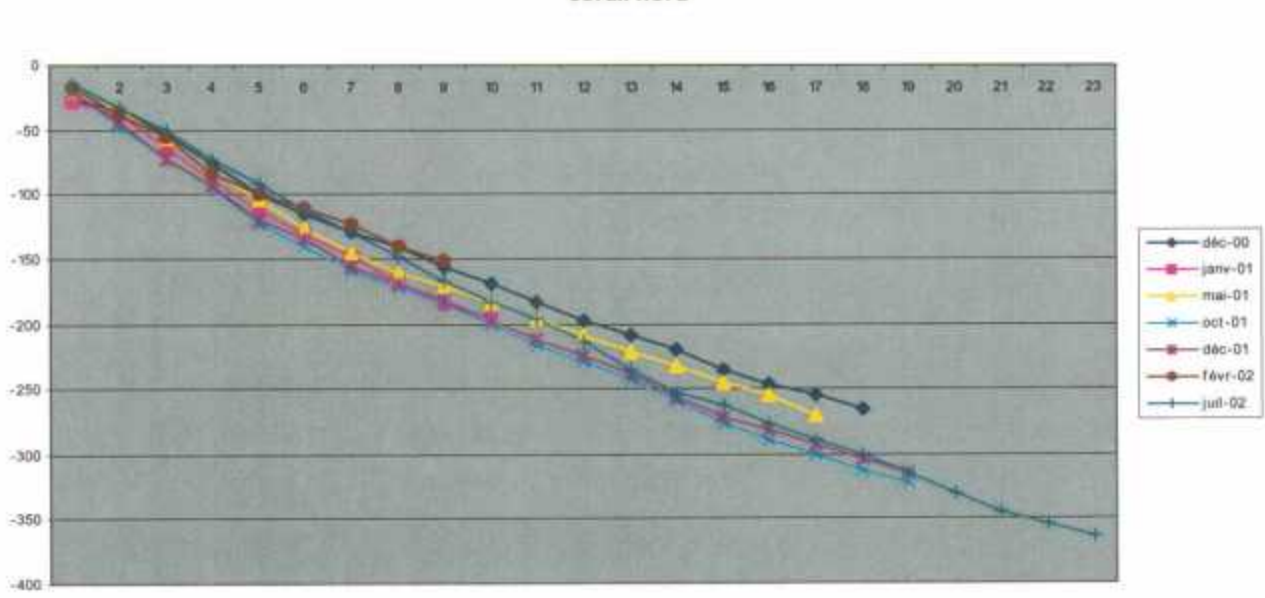


souris chaudes 3

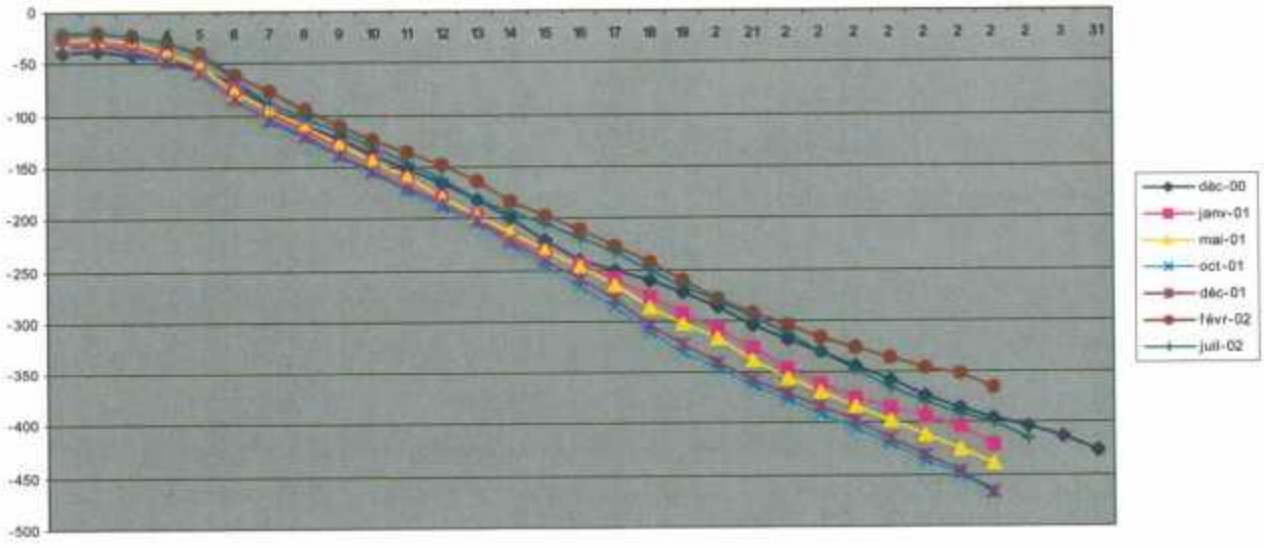


souris chaudes 4

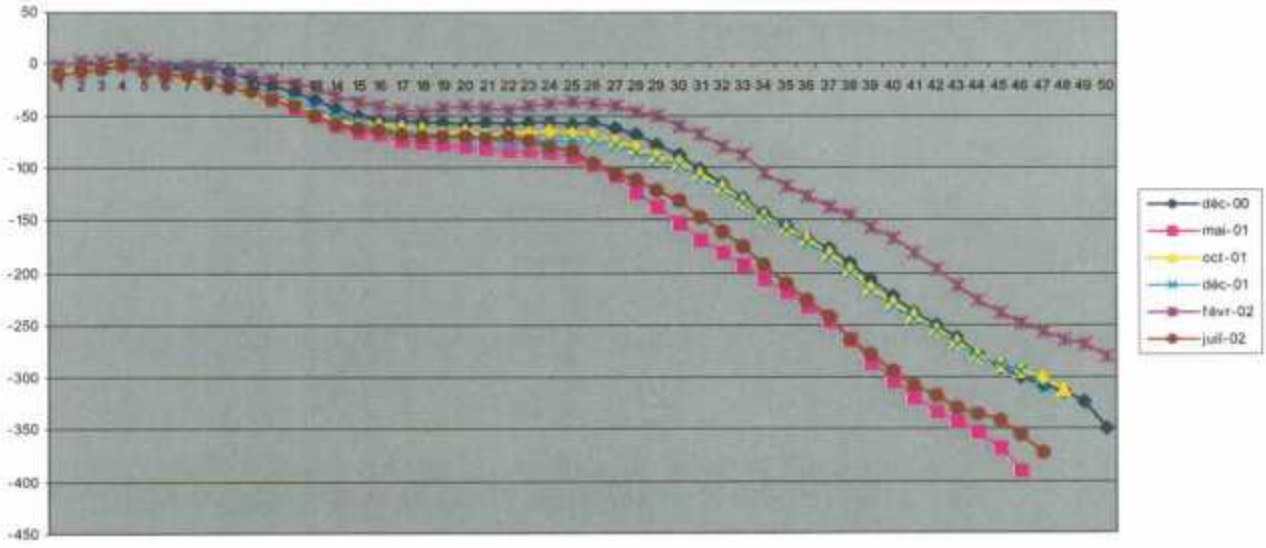



corail nord
0
-50
-100
-150
-200
-250
-300
-350
-400
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
déc-00
janv-01
mai-01
oct-01
déc-01
févr-02
juil-02

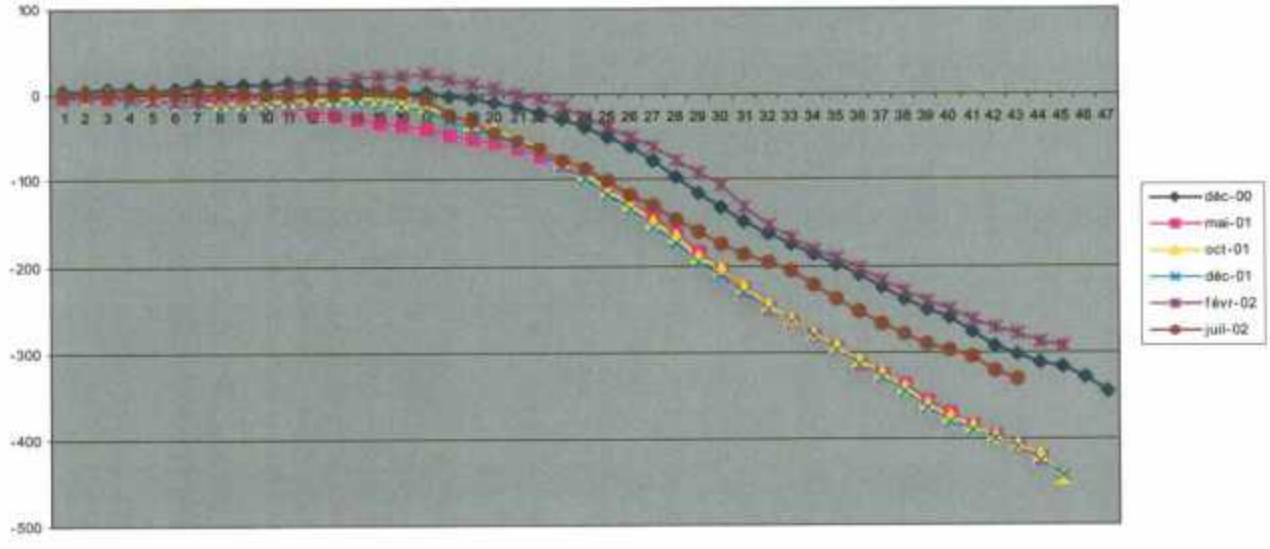
corail sud


0
-50
-100
-150
-200
-250
-300
-350
-400
-450
-500
déc-00
janv-01
mai-01
oct-01
déc-01
févr-02
juil-02

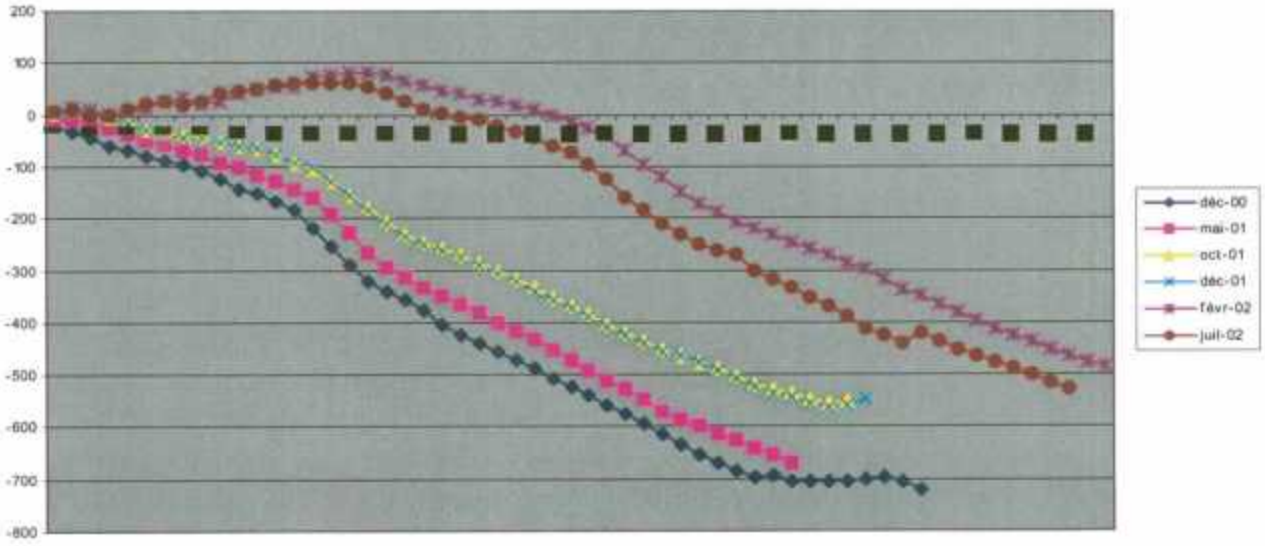
st leu village



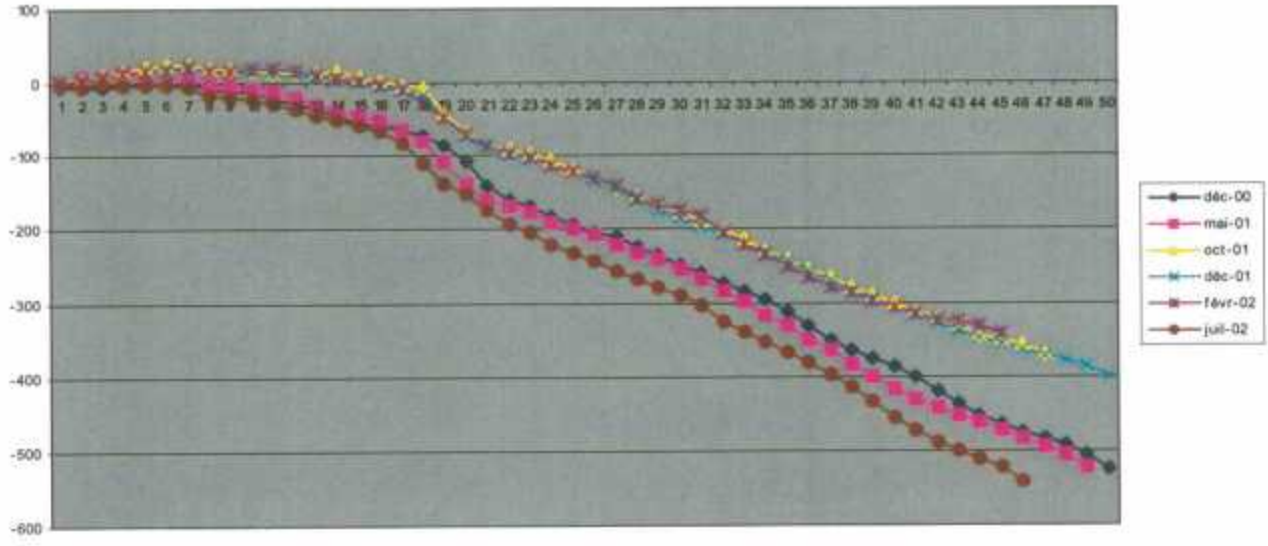
st leu gendarmerie



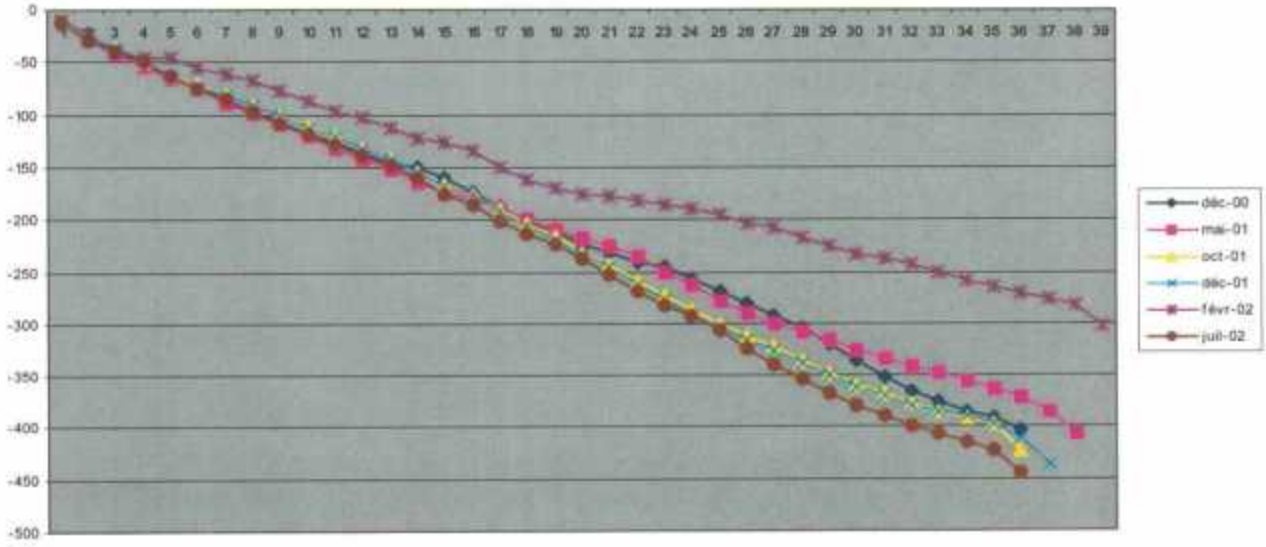
st leu cimetiere



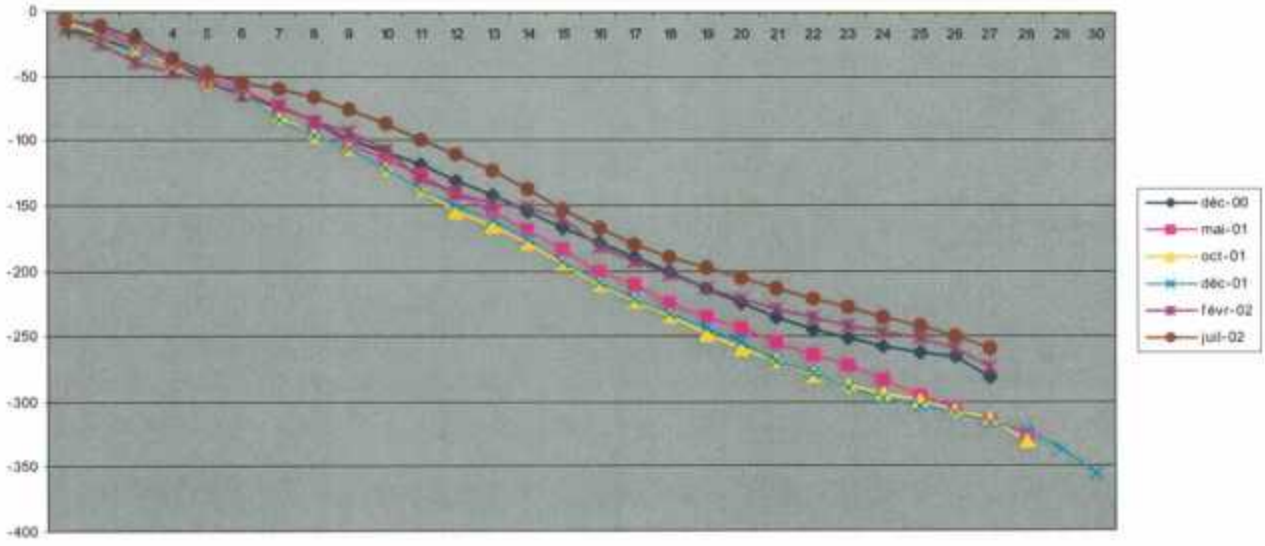
ravine blanche



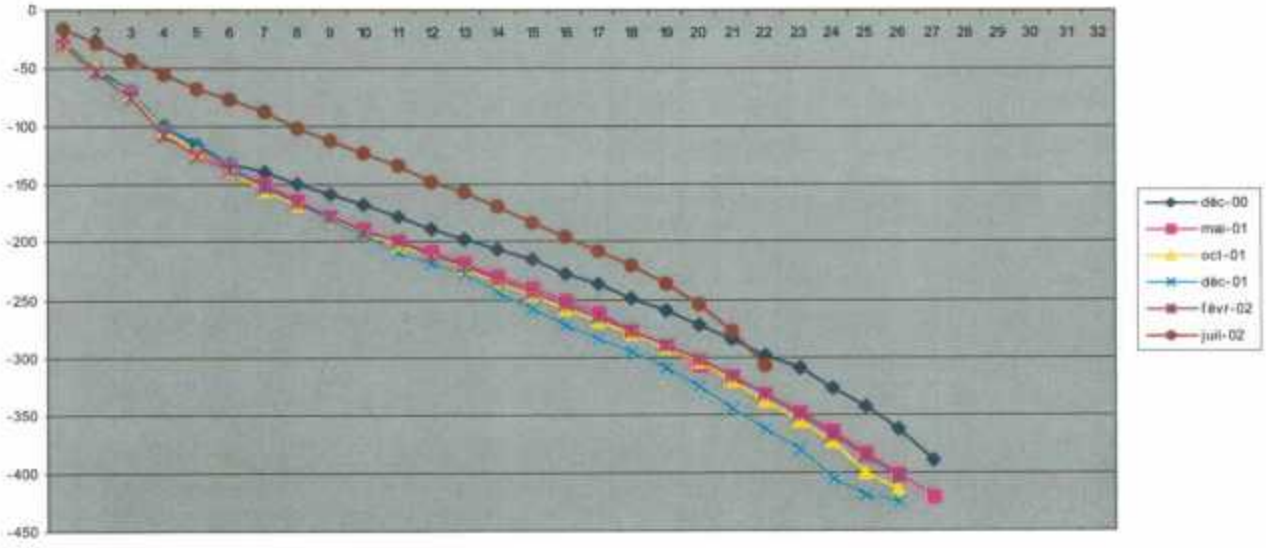
st pierre gendarmerie



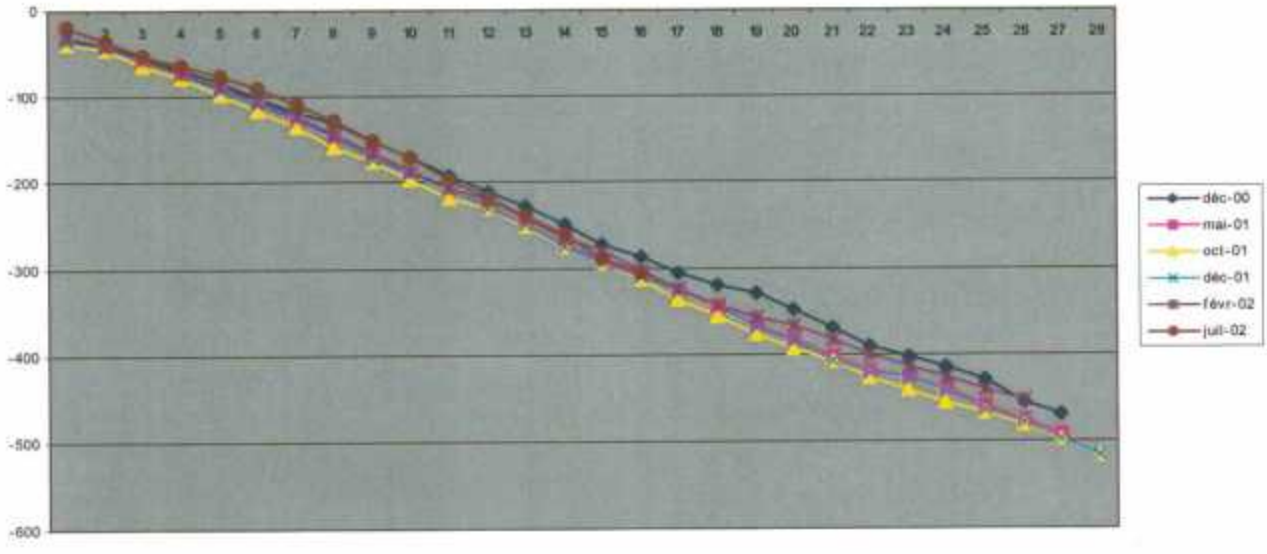
st pierre poste mns



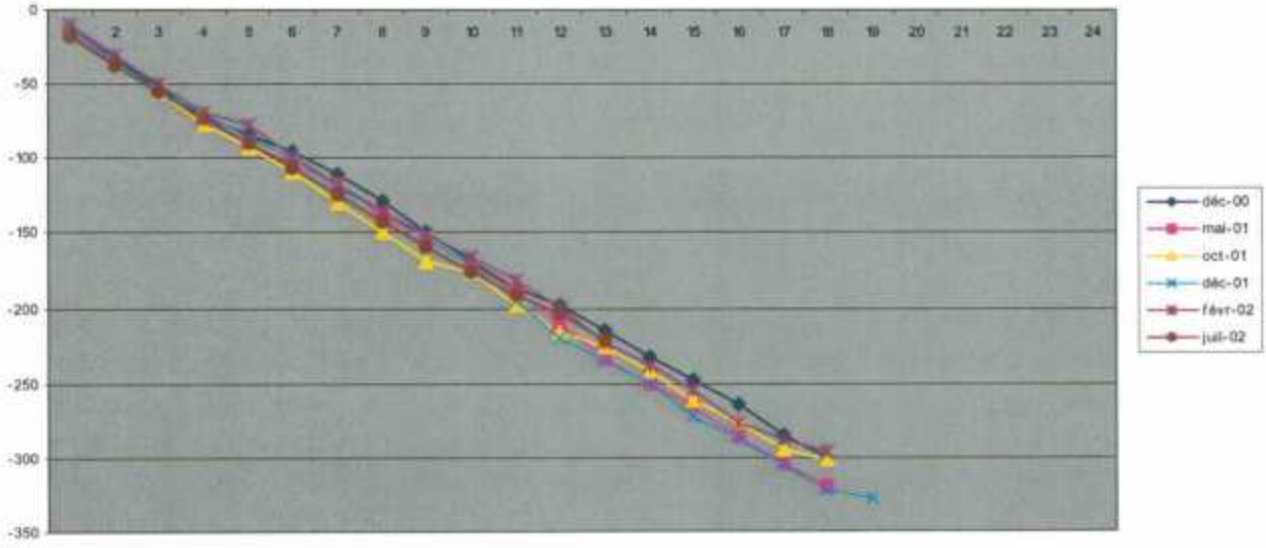
grand bois 1



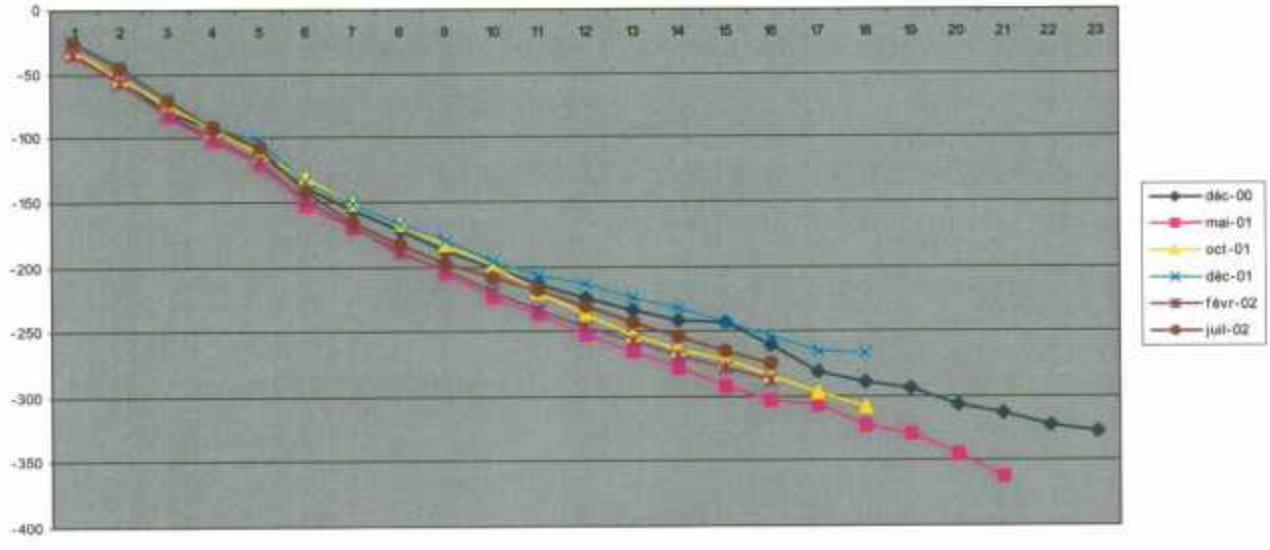
grand bois 2



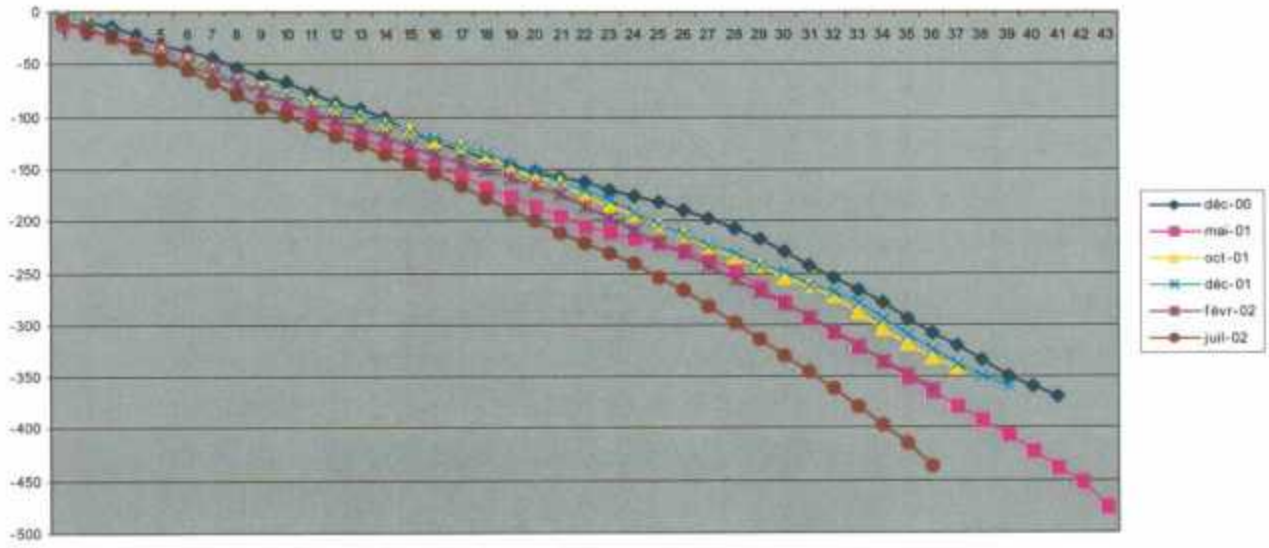
grand bois 3



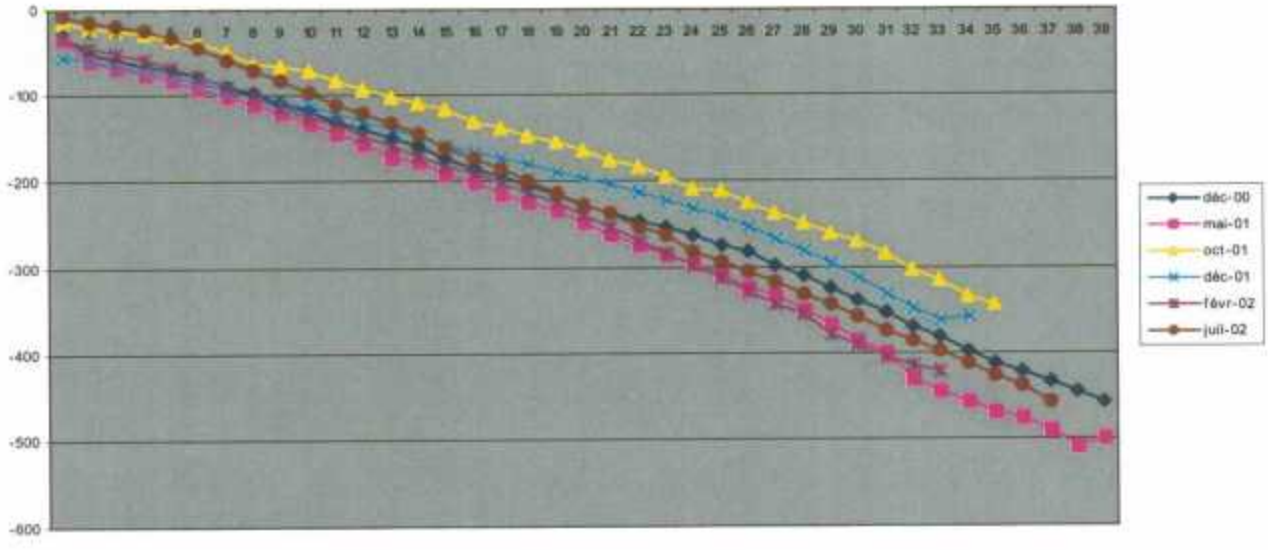
grand bois 4



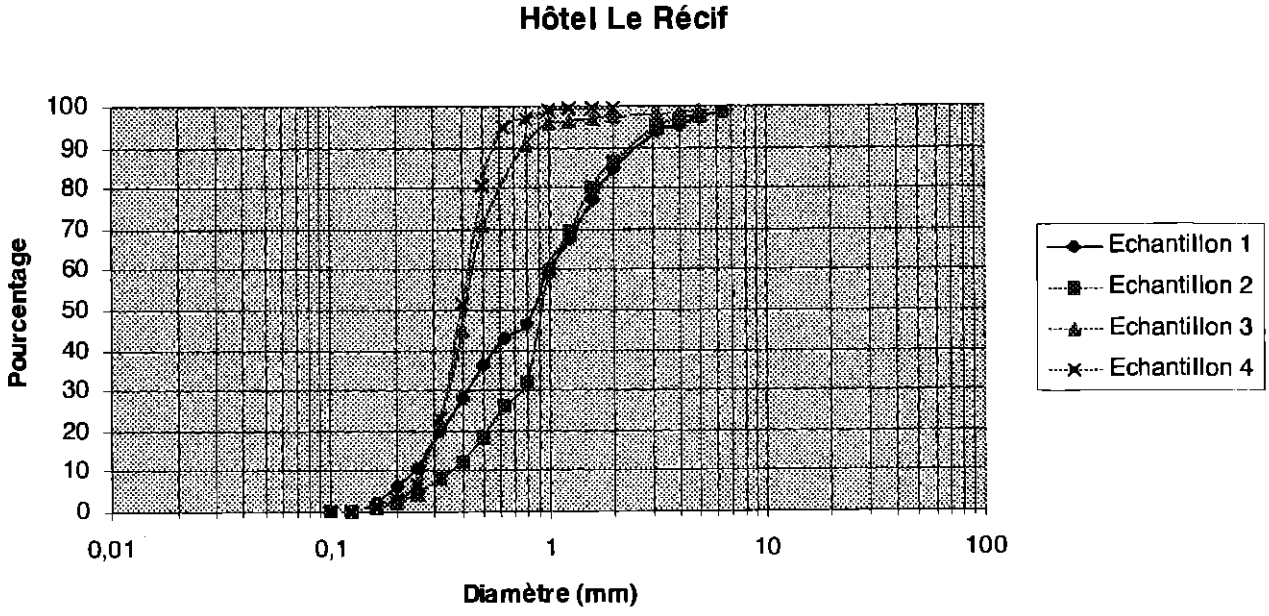
grande anse nord

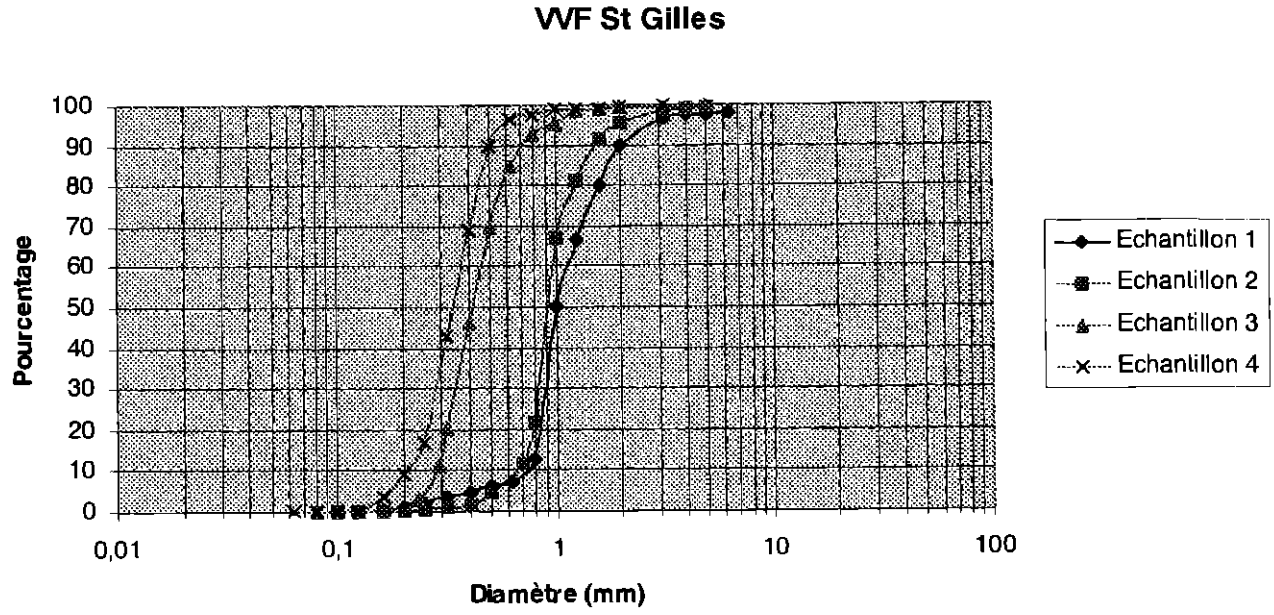


grande anse sud

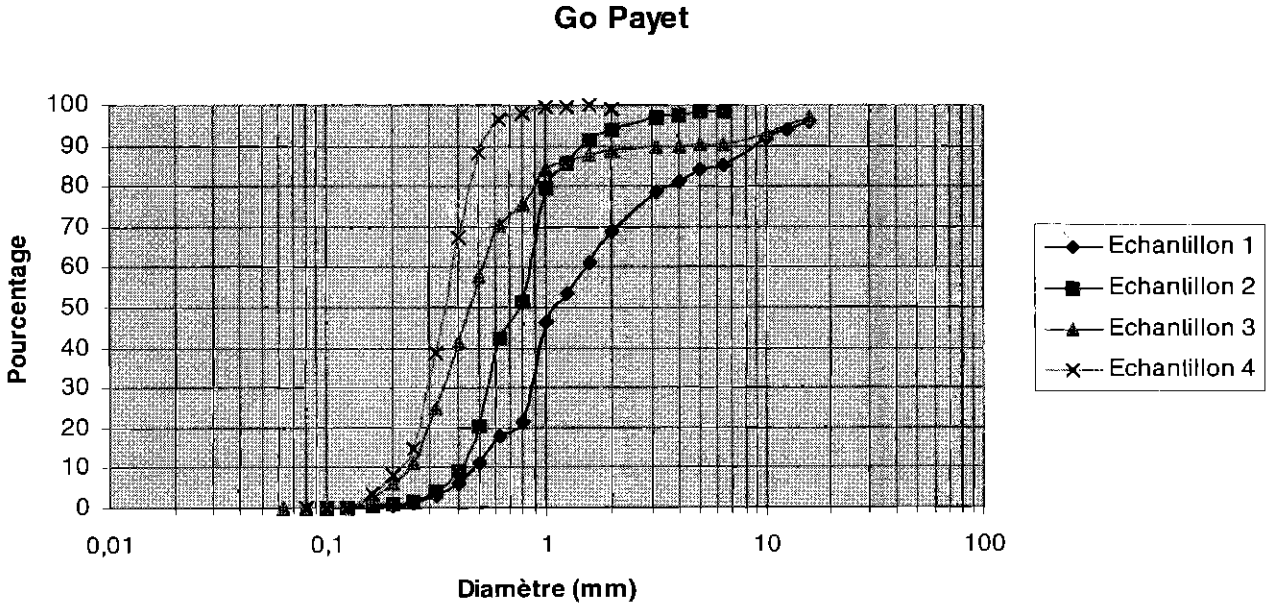


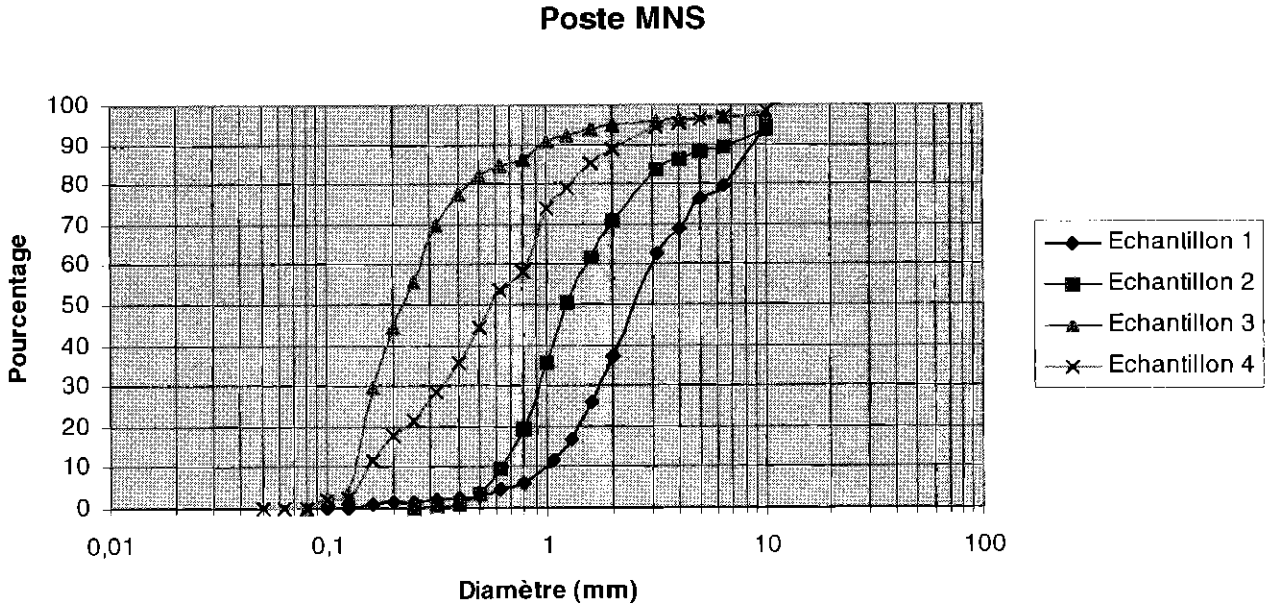
ANNEXE 4 : COURBES GRANULOMETRIQUES DE LA ZONE PILOTE DE L'HERMITAGE / LA SALINE LES BAINS.



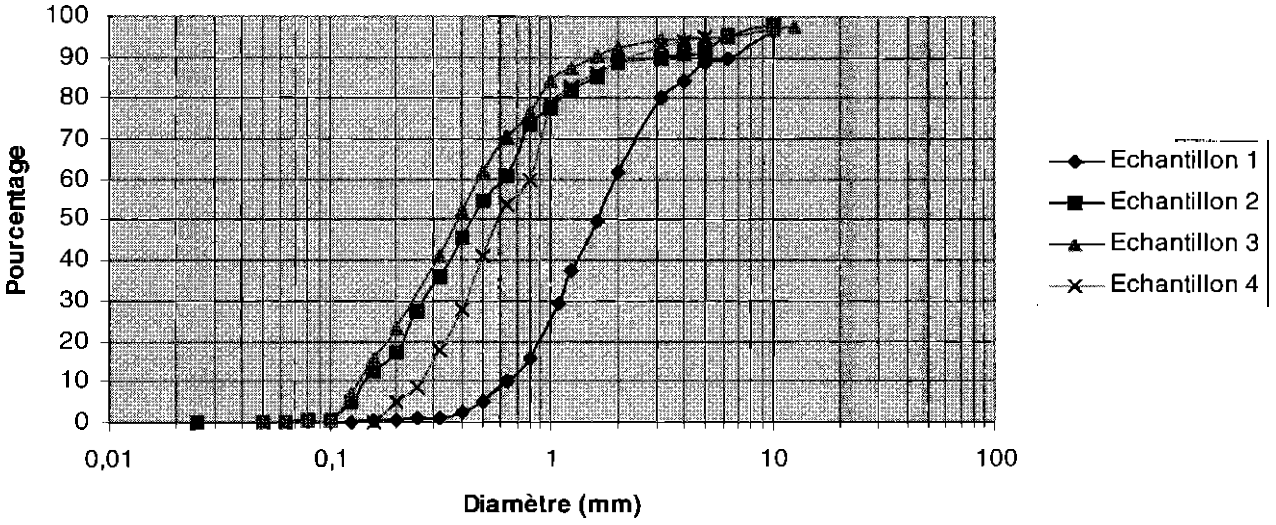


ANNEXE 4 : COURBES GRANULOMETRIQUES DE LA ZONE PILOTE DE L'HERMITAGE / LA SALINE LES BAINS.

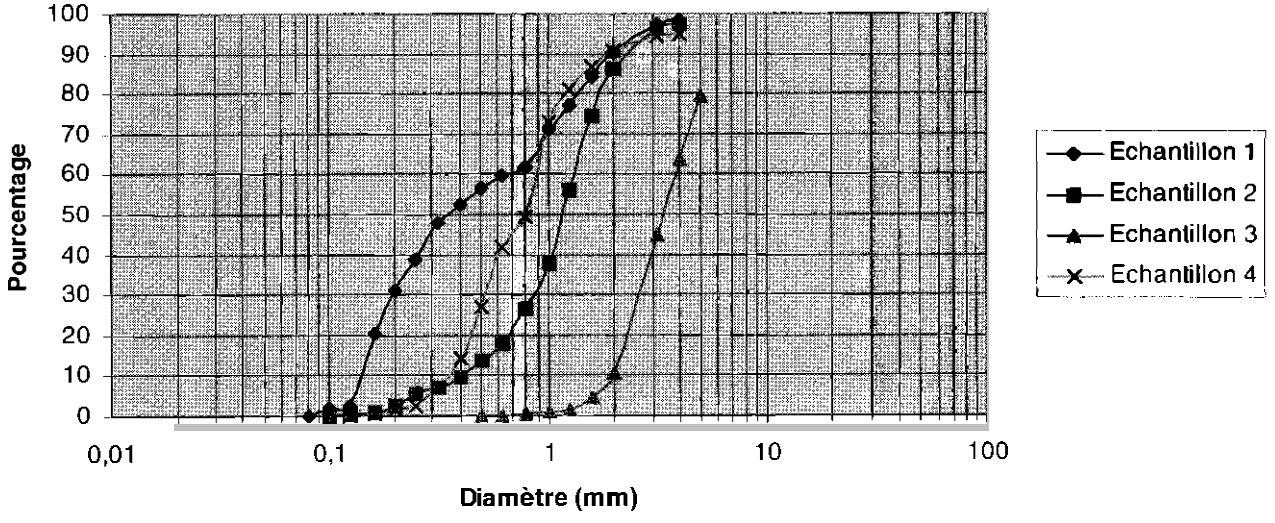




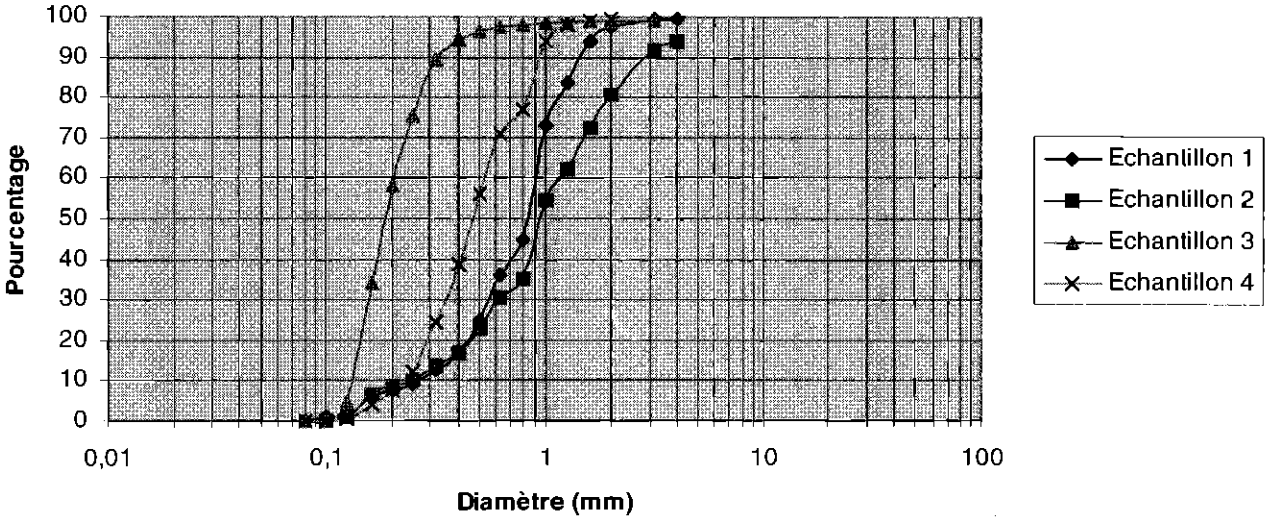
ONF



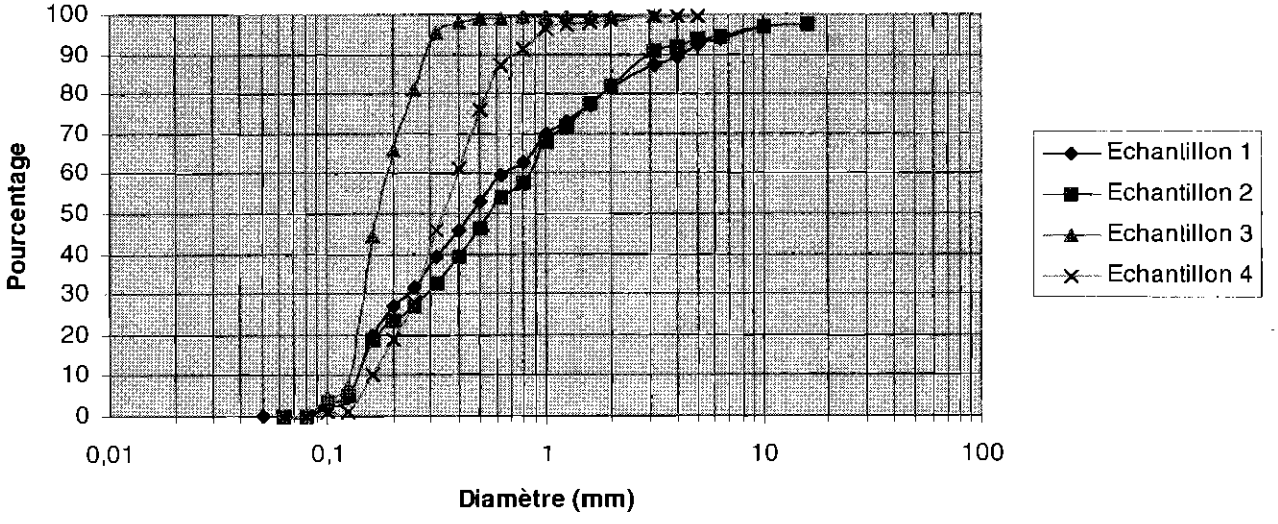
Copacabana



APEP



Trou d'eau



Document public

Dynamique sédimentaire en milieu corallien à l'Ile de La Réunion

Rapport BRGM/RP-52047-FR
2002 SGR/REU 24
décembre 2002

Université de la Réunion

Région Réunion

Liberté • Égalité • Fraternité
République Française

Ministère de l'Outre-Mer

Géosciences pour une Terre durable
brgm

GD ARGO

Association loi de 1901

Recherche** en **Géologie** et **Océanographie

Etude
en sismique réflexion monotrace
du
lagon de Saint-Gilles - La Réunion

Contrat BRGM/GD ARGO n° SG/DJ VB-02-036
du 07 Mars 2002

GD ARGO représenté par : ***Michel TESSON*** Professeur des Universités, Président.

BRGM représenté par : ***Jean-Philippe RANCON*** Directeur du Service Régional du BRGM

Perpignan le 24 septembre 2002

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION p. 3

1. OBJECTIFS GENERAUX p. 3

2. METHODOLOGIE p. 4

3. STRATEGIE p. 7

3.1. Déroulement des opérations p. 7

3.2. Localisation des profils sismiques p. 8

4. RESULTATS p. 9

4.1. Travaux effectués et fournis p. 9

4.2. Description des résultats « minisparker » p. 10

4.3. Description des résultats « boomer » p. 15

5. DISCUSSION – CONCLUSION p. 17

BIBLIOGRAPHIE TECHNIQUE

ANNEXES

Annexe A : Profils sismiques bruts sous format papier du Sparker
Annexe B : Profils sismiques bruts sous format papier du Boomer
Annexe C : CD comprenant
- le texte du rapport.
- les figures du rapport sous format Corel-Draw.
- les profils sismiques géoréférencés sous format numérique (Sparker et Boomer)
- deux cartes de positionnement Sparker et Boomer sous forme de fichiers ARCVIEW.

INTRODUCTION

Après avoir participé à la mise au point du cahier des charges d'une étude géophysique par sismique réflexion des lagons de la Réunion, à la demande du BRGM-Réunion, nous avons accepté, en insistant sur tous les risques présentés par ce type particulier d'étude, de réaliser les travaux sur le terrain et d'en effectuer une analyse des résultats.

Du fait des particularités de cette étude, que notre équipe avait bien pris garde de souligner, une première mission d'évaluation à été réalisée, à la demande du BRGM, afin de déterminer en concertation avec les autorités locales si le projet devait être conduit à terme.

A la suite de cette mission d'expertise, la décision a été prise de réaliser le projet en se limitant au lagon de Saint-Gilles et son récif associé. La mission s'est déroulée du 04 au 20 Avril 2002.

Les données obtenues ont, dans une première phase, été partiellement exploitées dans le cadre d'un rapport de fin de la Maîtrise des Sciences de l'Environnement de l'Université de Perpignan (Saint-Ange F., 2002) avec comme maître de stage le Prof. J. Coudray. Ce Rapport d'Etude en diffère cependant sensiblement et sera le seul sur lequel GD ARGO portera une responsabilité officielle.

Les travaux sur le terrain ont bénéficié de l'appui logistique du BRGM et de nombreux bénévoles sans lesquels nous aurions été en peine de réaliser ce travail. Nous remercions, à ce titre, Mr. R. Troadec qui en fut l'un des représentants les plus efficaces et un spécialiste des milieux littoraux de l'Ile de la Réunion.

1. OBJECTIFS GENERAUX

Le Lagon de St Gilles (**Figure 1**) fait l'objet d'une attention liée aux principaux aspects suivants :

- la fragilité de sa plage sableuse due à une pression anthropique forte et croissante et aux effets destructeurs des conditions cycloniques (houles). Il est donc important d'avoir une idée de la géométrie des matériaux meubles disponibles par zones, aussi bien parallèlement que perpendiculairement au rivage. Deux zones sont intéressantes potentiellement, d'une part la plage qui est l'objet fragile et pose problèmes, d'autre part le récif et l'arrière-récif que les gestionnaires-aménageurs pourraient considérer comme une éventuelle source de matériaux de recharge à exploiter.

- la présence de rivières ou ravines se jetant dans le lagon, avec des effets anthropiques actuels, mais aussi qui ont pu creuser des systèmes de chenaux enfouis et comblés par les dépôts en travers de tout le lagon. La connaissance de ces chenaux fossiles potentiels et de leur remplissage, qui peuvent constituer des drains souterrains permettant le transit de fluides indésirables vers l'aval ou vers l'amont, restait à documenter.

- l'organisation géométrique 3 D des différents constituants de ce type de système récifal jeune est actuellement totalement inconnue, les rares travaux effectués dans le monde ne concernant jamais des système jeunes et très faiblement immergés. Toute information fournirait un apport de connaissance appréciable.

2. METHODOLOGIE

Les outils de sismique réflexion monotrace disponibles pour l'étude des sédiments superficiels en milieu marin sont variés et possèdent des caractéristiques techniques particulières qui permettent d'obtenir des renseignements sensiblement différents sur les objets étudiés.
L'un et/ou l'autre de ces outils est utilisé en fonction des objectifs recherchés et des contraintes imposées par le terrain, à savoir les propriétés supposées du sédiments à étudier et les particularités logistiques.

Pour simplifier, un descriptif succinct de ces outils est présenté ci-dessous en s'appuyant sur nos divers travaux, conduits à travers le monde.

2.1. PRINCIPE COMMUN AUX OUTILS DE LA SISMIQUE REFLEXION MONOTRACE.

L'élément commun de tous ces outils est l'émission d'ondes acoustiques de compression-dilatation, dont les caractéristiques de la propagation sub-verticale à travers les différents milieux traversés lors de leur trajet aller-retour sont analysées (**Figure 2a**). Le mode opératoire consiste à effectuer des trajets sub-rectilignes (parallèles et/ou orthogonaux) au long desquels les caractéristiques de la propagation sont étudiées. Au long de chaque trajet, le résultat s'exprime par la visualisation des différents milieux traversés sous la forme de coupes verticales (sur papier ou écran d'ordinateur) qui ressemblent à ce que l'on observerait sur une falaise, avec des couches sédimentaires et leurs limites sommitales et basales, leurs formes générales et leurs caractéristiques internes. La différence est qu'il s'agit d'abord, pour nous, d'objets acoustiques. Le problème est similaire à ce qui est fait en milieu médical. La multiplication des trajets suivant une maille serrée peut permettre dans les cas favorables d'élaborer des modèles géométriques en trois dimensions, qu'il est aisé d'interpréter.

Un système de sismique réflexion monotrace, aussi complexe soit-il, comprend (**Figure 2b**) un système générateur d'énergie embarqué, un dispositif générant les ondes acoustiques dans l'eau, un système de réception des ondes retournées (réfléchies) dans l'eau (hydrophones assemblés dans une « flute ou streamer »), un dispositif embarqué d'enregistrement et traitement des ondes retournées.

Les différences essentielles portent sur les caractéristiques des ondes acoustiques émises et sur les moyens utilisés.

2.1. L'OUTIL 1 : LE MINISPARKER

Principe : la création d'un arc électrique dans l'eau de mer (conductrice) provoque une bulle par vaporisation, dont les oscillations créent des ondes de compression-dilatation se propageant dans les milieux, aquatique d'abord et sédimentaires ensuite.

La fréquence des ondes émises : les ondes émises couvrent un spectre décalé vers les basses fréquence (300-800 Hz).

La résolution : la résolution est la capacité à distinguer des objet de petite taille. Elle est globalement une fonction inverse de la fréquence. Les sparker ne sont donc pas les outils les mieux adaptés pour obtenir des informations détaillées, et le minispaker que nous utilisons a une résolution d'environ 1.5 mètres, considérée comme une excellente définition si l'on compare aux systèmes mis en jeu pour la prospection pétrolière en mer ou les techniques utilisées à terre.

L'énergie émise et transmise : l'énergie émise peut atteindre des puissance considérables (plusieurs centaines de milliers de Joules) et l'atténuation ou perte d'énergie lors du trajet est très progressive car les ondes basses fréquences sont peu sensibles à l'atténuation quelque soit la nature du milieu traversé. Notre minisparker est un appareil de très faible puissance (50 Joules), utilisé lorsque l'on cherche à avoir des informations en profondeur (de l'ordre de quelques dizaines ou centaines de mètres) dans les milieux étudiés.

Conditions d'utilisation : nous avons utilisé ce mini-sparker dans tous types de milieux (étangs du Languedoc-Roussillon, lacs de cratères en Afrique, récifs de Mer Rouge, baies littorales de Poitou-Charente, plate-forme continentale de Méditerranée). Quelque soit la nature du sédiment et la profondeur d'eau (0.5 à 400 m.) nous avons toujours eu une pénétration supérieure à 100 millisecondes temps-double, ce qui veut dire environ 100 mètres même à travers 70 mètres de sables. Sous plusieurs dizaines de mètres de sédiment nous avons même pénétré de près de 10 mètres dans des calcaires massifs du Mésozoïque. Dans les sédiments, l'information est donc toujours là, hormis en présence : de gaz, de niveaux de galets trop épais, de blocs serrés emballés dans le sédiment. En Mer Rouge les récifs n'ont pas pu être pénétrés.

2.2 L'OUTIL 2 : LE « BOOMER »

Principe : vibration contrôlée d'une membrane connectée à une bobine conductrice mobile, générant des ondes de compression-dilatation. La nature du milieu fluide est sans importance (eau douce ou eau salée).

La fréquence des ondes émises : ces ondes couvrent un spectre décalé vers de plus hautes fréquence (800-3000 Hz).

La résolution : la résolution est la capacité à distinguer des objet de petite taille. Elle est globalement une fonction inverse de la fréquence. Les « boomer »sont des outils mieux adaptés pour obtenir des informations détaillées et la résolution varie de 0.5 à 1.0 mètres environ.

L'énergie émise et transmise : l'énergie émise est limitée (souvent aux environs de 300 Joules avec un très faible rendement) et l'atténuation ou perte d'énergie lors du trajet est importante car les ondes hautes fréquences sont très sensibles à l'atténuation. La pénétration est très inférieure à celle d'un minisparker, surtout dans les milieux à sédiments grossiers dont les

sables. Le boomer est donc utilisé lorsque l'on cherche à avoir des informations détaillées sans que le critère de la pénétration soit primordial.

Conditions d'utilisation : nous avons utilisé le « boomer » dans divers milieux (étangs du Languedoc-Roussillon, baies littorales de Poitou-Charente, plate-forme continentale de Méditerranée). La pénétration dans les milieux sableux est rapidement limitée et là où nous pouvons traverser 100 mètres de sables avec le minisparker, le boomer ne fournit pas mieux que 25-30 m maximum. Le boomer est encore plus sensible à la présence : de gaz, de niveaux de galets trop épais, de blocs serrés emballés dans le sédiment.

2.3. L'OUTIL 3 : LE « MUD-PENETRATOR »

Principe : l'émission et la réception des ondes émises se fait par l'intermédiaire d'un dispositif unique (on parle de « dalle ») qui fonctionne alternativement selon chacun des modes. C'est le principe des sondeurs bathymétrique ou de pêche classiques émettant à des fréquences de l'ordre de dizaines ou de centaines de milliers de Hertz mais, pour les « mud-penetrator », l'émission est décalée vers de moins hautes fréquences.

La fréquence des ondes émises : ces ondes couvrent un spectre centré sur des fréquences variables autour de 2500 ou 3500 Hz. Des systèmes sophistiqués (« Chirp ») peuvent exploiter simultanément divers spectres, mais ne sont pas adaptés aux travaux en petits fonds.

La résolution : la résolution est la caractéristique la plus importante de ces systèmes et elle peut atteindre l'ordre de la dizaine de centimètres, le plus souvent 20 à 30 centimètres dans les sédiments fins vaseux.

L'énergie émise et transmise : l'énergie émise peut être assez forte (relativement aux boomer) et concentrée selon un faisceau étroit, mais l'atténuation ou perte d'énergie lors du trajet dans le sédiment est importante car les ondes hautes fréquences sont très sensibles à l'atténuation. L'absence de fréquence décalées vers le bas du spectre fait que ces systèmes ont une pénétration extrêmement faible en présence de sables massifs. Elle peut même devenir nulle, ce qui les limite à l'étude des dépôts vaseux, d'où leur surnom de « mud penetrator ».

Conditions d'utilisation : nous avons utilisé les « mud-penetrator » dans divers milieux. Les conditions d'utilisation (système immergé lourd et encombrant) réduisent leur emploi à des cas particuliers d'étude et ils ne sont pas adaptés à l'étude des milieux récifaux comme le lagon de St Gilles.

2.4. LES SYSTEMES SISMIQUES RETENUS POUR L'ETUDE.

L'hétérogénéité du milieux récifal nous a conduit à ne retenir que deux systèmes sismiques :

- le mini-sparker pour obtenir une pénétration permettant d'avoir la base des dépôts meubles pouvant représenter le prisme sableux littoral et éventuellement l'organisation du récif au-dessus de son substratum rocheux (basaltes ?) ;
- le boomer pour essayer d'avoir une résolution maximum dans les parties superficielles, avec l'objectif d'essayer d'évaluer les disponibilités en sable meuble.

Dans les deux configurations, les données sismiques ont été numérisées en temps réel en utilisant le logiciel Delph 2 de Triton Elics. L'acquisition du positionnement par GPS s'est faite simultanément et les données ont été récupérées par le logiciel Delph. Les lignes sismiques sont donc géoréférencées.

3. STRATEGIE

Le lagon de St Gilles se caractérise par deux critères importants, qui ont guidé le choix des systèmes acoustiques à utiliser et la planification des opérations :

- la faible profondeur d'eau et son extrême variabilité,
- l'hétérogénéité des milieux à étudier, présumée mais localement inconnue.

3.1. LE DEROULEMENT DES OPERATIONS.

La bathymétrie complexe et les très faibles profondeurs d'eau ne permettaient d'envisager de faire passer le bateau et le matériel sismique immergé que dans des couloirs à repérer. Il avait donc été fixé comme préalable de disposer d'une bathymétrie détaillée. Cette bathymétrie n'a pas été disponible au moment de la mission.

Nous avons dû, à pied et en canoë, consacrer les périodes de basse mer à l'exploration, au repérage et au balisage par flotteurs des trajets à explorer :

- les périodes de travail sismique ont été celles de haute mer et diurnes.
- les périodes de repérage/balisage et les périodes de travail sismique ont été alternées pour pallier au manque d'effectif sur le terrain et pour tenir compte de l'impossibilité matérielle de baliser et maintenir balisés tous les profils à la fois.

Le « timing » des opérations est résumé dans le **tableau** suivant.

Date	Opérations	Profils sismiques
05/04/02	Arrivée à la Réunion Dédouanement et déballage matériel	
06/04/02	Transport matériel à Saint Gilles	
07/04/02	Repérage terrain	
08/04/02	Arrivée bateau dans lagon Embarquement et installation du système Boomer Panne groupe électrogène	
09/04/02	Installation nouveau groupe Essai matériel Repérage et balisage Profils sismiques	BOOMER 01, 02 et 03
10/04/02	Repérage et balisage Profils sismiques	BOOMER 04 et 05

11/04/02	Repérage et balisage Profils sismiques	BOOMER 06, 07, 08, 09, 10, 11 1 13
12/04/02	Repérage et balisage Profils sismiques	BOOMER 14 et 15
13/04/02	Repérage et balisage Profils sismiques Incident sur plaque boomer	BOOMER16, 17, 18 19
14/04/02	Débarquement du système Boomer Démontage plaque Boomer	
15/04/02	Installation système Sparker Repérage et balisage Profils sismiques	SPARKER 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07,
16/04/02	Repérage et balisage Profils sismiques Incident sur électrode Sparker	SPARKER 08, 09, 10, 11
17/04/02	Débarquement matériel Sortie du bateau du lagon	
18/04/02	Transfert matériel à aéroport	
19/04/02	Départ la Réunion	

3.2. LA LOCALISATION DES TRANSECTS (Figure 3).

Un transect parallèle et très proche du rivage à été balisé puis exploré entre le sud de « Trou d'eau » où affleurent les basaltes du Planèze du Grand Bénard et le nord de la passe de l'Hermitage.

Six autres transects perpendiculaires au rivage ont été balisés et explorés.

L'ensemble des transects est présenté sur la **Figure 3** qui est une exportation sous format .jpeg, vers Corel-Draw (simple logiciel de dessin), du projet créé sous ARCVIEW. Dans ce dernier, la navigation, par type de sismique (sparker et boomer), a été introduite après extraction à partir des fichiers numériques d'acquisition de la sismique géoréférencée par le système DELPH 2 de Triton Elics.

3.3. L'ENCHAINEMENT DES OPERATIONS DE SISMIQUE

La logique voulait de chercher en premier lieu à obtenir l'information la plus complète (donc pénètration maximale) avec la meilleure résolution. Nous avons donc mis en oeuvre successivement le boomer 25 joules, le boomer 200 joules puis le minisparker. Le premier pouvait fournir la meilleure résolution possible, le dernier devait fournir la pénétration maximale.

4. RESULTATS

4.1. TRAVAUX EFFECTUES ET FOURNIS.

4.1.1. Exploration

Tous les transects ont été explorés, avec plus ou moins de casse matérielle, avec le système « boomer » et le système « minisparker ». Les résultats les plus importants ont été fournis par le minisparker et la description qui suivra inversera donc l'ordre de présentation.

4.1.1.1. Les transects minisparker

Ils sont numérotés SPARKER-01, SPARKER-02, SPARKER-03, SPARKER-04, SPARKER-05, SPARKER-06, SPARKER-07, SPARKER-08, SPARKER-09, SPARKER-10 et SPARKER-11 (inexploitable).

Leur position est présentée sur la **Figure 04**.

Les données fournies sont les suivantes :
- un jeu « brut » sous format papier
- un jeu « brut » sous format numérique sur CD

4.1.1.2. Les transects « boomer ».

Ils ont fait l'objet de deux passages successifs avec une puissance d'émission de 25 Joules puis de 200 Joules.

Les transects 25 Joules sont numérotés BOOMER-01, BOOMER-02, BOOMER-03, BOOMER-07, BOOMER-09, BOOMER-10, BOOMER-13, BOOMER-15, BOOMER-17 et BOOMER-16 (non exploitable).

Les transects 200 joules sont numérotés BOOMER-05, BOOMER-06, BOOMER-08, BOOMER-11, BOOMER-12, BOOMER-14, BOOMER-18 et BOOMER-19.

Leur position est représentée sur la **Figure 08**.

Les données fournies sont les suivantes :
- un jeu « brut », après traitement numérique, sous format papier
- un jeu « brut », non traité, sous format numérique sur CD

4.1.2. L'exploitation (cf. § Description des résultats)

Les profils ont fait l'objet des opérations suivantes :
- traitement numérique du signal (filtrage, amplitude, gain, échelles)
- sortie graphique sous Corel-Draw avec habillage
- analyse sismique : pointé et corrélation croisée dans les cas favorables
- interprétation-discussion.

4.2. DESCRIPTION DES RESULTATS « MINISPARKER ».

4.2.1. Le traitement du signal.

Les transects « minisparker » ont été traités avec le logiciels Delph2 afin d'optimiser les résultats.

Il a été appliqué un traitement des bruits parasites par un filtrage séquentiel qui a permis de passer, par un basse-bas et un passe-haut à 800 Hz et 320 Hz, du signal brut (**Figure 05a**) au signal filtré (**Figure 5b**).

Après des essais d'application d'une amplification de gain de type TVG (Time Variable Gain) puis de type « Exponential », nous avons retenu l'amplification de type « Decremental » avec une fenêtre à 1.00 (**figure 5c**).

4.2.2. La sortie graphique sous Corel-Draw.

Les profils, après traitement numérique puis habillage sous Corel-Draw, ont été sortis sur support papier sur imprimante A0 HP et sont fournis en Annexe n° A. Les fichiers Corel-Draw des profils sont localisés dans le dossier «Profils CDR » sur le CD.

4.2.3. L'analyse sismique.

L'analyse a été effectuée selon la méthodologie classique et universelle décrite par Mitchum et al., dans le mémoire AAPG n°26, adaptée aux circonstances. Le pointé, en effet, aurait dû être basé d'abord sur la mise en évidence des discontinuités physiques matérialisées par les terminaisons latérales des réflecteurs acoustiques. Dans le cas présent il a été nécessaire, au vu de la faible continuité latérale des réflecteurs, d'effectuer simultanément un pointé basé sur l'analyse des faciès sismique.
La phase de pointé a permis d'isoler des unités sismiques caractérisées par leur limites basales et sommitales, ainsi que par leur faciès sismique.
L'interprétation des résultats de la phase de pointé a permis de fournir un ensemble d'indications sur les épaisseurs, l'extension latérale et les caractéristiques lithologiques potentielles. Une discussion-conclusion termine le rapport.

4.2.4. Les résultats.

4.2.4.1. Parallèlement au rivage (profils longitudinaux, Figure 4).

La pénétration des ondes sismiques a été celle attendue sur les profils parallèles au rivage, avec un trajet vertical pouvant atteindre 60 ms (milli-secondes) temps-double. Sur une base hypothétique d'une vitesse de propagation moyenne des ondes proche de 2000 m/sec, cela avoisinerait les 60 mètres. Tout au long du texte les termes profondeur et épaisseur seront exprimés en ms (milli-secondes). Les principales discontinuités et unités sismiques peuvent être plus ou moins suivies, le long du rivage, du Sud (planèze du Grand Bénard) jusqu'au Nord de la passe de l'Hermitage.

L'organisation géométrique fondamentale est montrée sur la **Figure 6a** qui est le montage des profils SPARKER-02 (au Sud) et SPARKER-03 (au Nord) et sur la **figure 6b** qui représente le

profil SPARKER-04 qui s'étend de l'appontement jusqu'au Nord de la passe de l'Hermitage en contournant le mini-delta de la ravine de l'Hermitage. Ces deux figures montrent l'architecture globale des dépôts entre la planèze du Grand Bénard au Sud-Est et le Nord de la passe (et de la ravine) de l'Hermitage. Les principales discontinuités sont représentées en rouge continu ou discontinu selon le degré de certitude. Elles délimitent des unités sismiques présentant des caractéristiques internes spécifiques, comme par exemple certains réflecteurs pointés en jaune. Du sommet vers le bas il est distingué globalement 4 discontinuités majeures : FM (fond marin), S1, S2 et S3. Les 4 unités sismiques encadrées par ces discontinuités sont numérotées vers le bas U 0, U 1, U 2 et U 3.

Les discontinuités.

Le fond marin est identifié comme FM. Ce réflecteur est confondu avec l'onde d'arrivée directe (explication dans le § dédié aux profils « boomer »).

La discontinuité S1 est très marquée et assez régulière. Elle peut être pointée tout le long du rivage. Près de l'extrémité Sud-Est, elle se situe sur la ligne des 10 ms. En direction du Nord-Ouest, près d'un léger bombement, elle s'enfonce progressivement jusqu'à 20 ms au niveau de « Trou d'Eau » puis, à partir de la marque 45 de SPARKER-02, elle atteint un peu moins de 30 ms et s'y maintient tout au long du rivage.

La discontinuité S2 ne se distingue pas de S1 à l'extrémité SE. Elle s'en sépare juste avant Trou d'Eau (marque 15) et présente une topographie très irrégulière. Elle est généralement à moins de 10 ms sous la discontinuité S1. Elle redevient confondue avec S1 à la fin de SPARKER-02 (marque 48). Au nord-ouest de cet endroit il est difficile de distinguer S2 de S1.

La discontinuité S3 n'est pas clairement identifiable au niveau de l'extrémité Sud-Est où tout est confus. Le pointé est possible à partir de la marque 10. Elle dessine un grand S aplati et s'enfonce au niveau de Trou d'Eau à près de 60 ms. Plus vers le Nord-Ouest son pointé est parfois délicat et sa topographie devient irrégulière. Elle se situe entre 50 et 60 ms de profondeur.

Les unités sismiques.

L'unité sismique supérieure U 0, entre le fond marin (FM) et S1, est plus transparente que les autres (surtout au Sud-Est), riche en réflexions discontinues haute-fréquences dans sa partie sommitale et montrant de grandes réflexions continues, obliques ou mamelonnées dans sa partie basale. Sur cette base il est possible de proposer une distinction en deux sous-unités U 0a et U 0b (de haut en bas) séparées par une limite parfois peu distincte (en vert sur les profils). L'épaisseur globale de U 0 varie de quelques mètres au Sud-Est à près de 30 ms tout le long du littoral.

L'unité U 1 sous-jacente est limitée en extension et nettement caractérisée par des réflexions sub-horizontales à basse-fréquences et assez continues. Son épaisseur est variable et serait au maximum de 4-5 ms en face et au Nord-Ouest de Trou d'Eau.

L'unité U 2, la dernière géométriquement délimitée, est également riche en réflexions basse-fréquences localement continues et obliques (marques 25-30 et 45 de SPARKER-02). Entre les marques 35-40 de SPARKER-02, la corrélation latérale peut être critiquée. Plus au Nord-Ouest, à partir de la marque 25 de SPARKER-03, l'identification de U2 se perd, la discontinuité basale S3 disparaissant.

L'unité U 3, sous-jacente à l'ensemble, ne montre pas en général de structures organisées. Le faciès sismique est de type « chaotique », mélangé avec un fond « bruité » très fort, dû à l'amplification.

4.2.4.2. Perpendiculairement au rivage (profils transverses, Figure 4).

L'ensemble des profils transverses (**figures 7a à 7f**), à l'exclusion du profil SPARKER-01(**Figure 7a**) situé le plus au Sud-Est du lagon, fournit une information très difficile à interpréter.

Les discontinuités

La discontinuité S3 n'est observable que sur SPARKER-01.

La discontinuité S2 n'est clairement identifiable que sur SPARKER-01. Partout ailleurs elle est confondue avec S1.

La discontinuité S1 est observable sur SPARKER-01 et, partiellement, sur SPARKER-07, SPARKER-10 et SPARKER-08 (confondue avec S2).

Les unités sismiques.

L'unité U 2 est observable (limites inférieures et supérieures visibles) que sur la moitié du profil partant du rivage sur SPARKER-01 et peut être supposée présente sous la discontinuité S1 (confondue avec S2) sur toutes les parties proches du rivage sur les autres profils (SPARKER-06, 07, 10, 09, 08)

L'unité U 1 n'est observable que sur SPARKER-01 où elle est limitée par S2 à la base et S1 au sommet.

L'unité supérieure U 0 et ses sous-unités U 0a et U 0b sont observables sur toute l'étendue de SPARKER-01. Sa limite inférieure S1 y demeure presque constamment à 20 ms. La sous-unité inférieure U 0b se développe à partir du tir 150 (marque 3) et atteint environ les 10 ms au large. Elle est faiblement diffractante et la pénétration est bonne. La sous-unité supérieure U 0a, inversement, diminue d'épaisseur vers le large. Sur les profils SPARKER-06 et 07, la sous-unité supérieure ne représente la totalité de l'unité U 0 que sur une courte distance jusqu'au tir 75/100. Plus au large, la sous-unité inférieure U 0b devient très développée, avec une limite supérieure floue et très accidentée. La diffraction empêche toute pénétration. La sous-unité supérieure U 0a est peu discernable, son épaisseur très réduite et irrégulière. Sur le profil SPARKER-10, au niveau du littoral, la sous-unité inférieure U 0b est déjà puissante (près de 15 ms), riche en basses fréquences et assez peu diffractante (pénétration possible). A partir du tir 100 (marque 2) il n'y a plus de pénétration du tout et il est difficile de dire si la sous-unité supérieure U 0a est présente. Sur le profil SPARKER-09, au niveau du littoral la sous-unité U 0b est puissante (environ 20 ms sur les 30 ms de l'unité U 0). Vers le large il semble que les deux sous-unités ont alternativement une puissance importante, la limite les séparant devenant très accidentée. Le pointé est douteux. Enfin, sur le profil SPARKER-08, au nord de la passe de l'Hermitage, la sous-unité supérieure riche en hautes fréquences semble constituer la totalité de l'unité U 0 jusqu'au tir 200 (marque 4). Plus vers le large, elle est remplacée par la sous-unité inférieure U 0b, fortement diffractante. La base de l'unité U 0, la discontinuité S1 est, semble-t'il, assez nette à environ 30 ms de profondeur.

4.2.5. Discussion.

4.2.5.1. La calibration des vitesses.

Le premier souci est de transformer les durées de trajet aller-retour des ondes, exprimées en millisecondes, en distances exprimées en mètres. Pour cela, il faut connaître les vitesses de propagation des ondes. Dans les milieux en question il n'y a aucun repère. Il a été pris comme postulat, plus haut, de considérer des vitesses de l'ordre de 2000 mètres par seconde de trajet aller-retour (dans l'eau la vitesse est voisine de 1500 m/sec). Ce calcul n'est pas rigoureux. Cependant, comme il est plus aisé de parler de distances (horizontales et/ou verticales), on parlera maintenant en mètres, en sachant que les valeurs indiquées devront être corrigées quand une calibration précise sera disponible (forages).

4.2.5.2. La nature lithologique des unités sismiques.

Le second souci est de déterminer la nature lithologique des unités sismiques identifiées. Là encore, la calibration doit se faire par l'intermédiaire de forages ou de reconnaissance directe des unités lorsqu'on peut les observer à l'affleurement. Dans les autres cas, l'expérience et les hypothèses sont les seuls arguments avec leurs limitations.

L'unité U 0.

L'examen du prisme littoral sableux permet de considérer qu'il s'agit d'une formation constituée de débris bioclastiques et, dans une plus faible mesure, d'origine terrigène en ce qui concerne la sous-unité supérieure U 0a. Il s'agirait d'une formation sableuse, ce qui est en accord avec les caractéristiques acoustiques. La présence de quelques hyperboles de diffraction laisse penser que des fragments grossiers probablement récifaux sont emballés dans le sable surtout lorsque l'on s'éloigne vers le large sur le platier interne. Le sondage réalisé sur le platier par Montaggioni (1978) permet de penser que la sous-unité inférieure U 0b pourrait être majoritairement constituée de formations récifales, plus ou moins emballées dans un sable biogène, mais il ne faut pas exclure la possibilité d'une cimentation secondaire. Le caractère fortement diffractant et l'absence de pénétration qu'induit cette sous-unité dans les sections transverses en se dirigeant vers le large, font penser que la part du bio-construit doit y devenir importante.

Les unités U 1, U 2 et U 3.

Les seules informations pouvant nous aider à les interpréter sont fournies par :

- l'affleurement de basaltes de la planèze de Grand Bénard à proximité de l'extrémité Sud-Est du profil SPARKER-02 ;
- la possibilité, exprimée par Montaggioni que le toît des basaltes puissent être localisé à 1.0 mètre sous la base de son forage sur le platier (sans preuve concrète cette hypothèse ne peut être utilisée) ;
- l'observation directe, en plongée, de basaltes à l'affleurement sur le versant externe du récif par des profondeurs de mètres (R. Troadec, comm. Pers.).

La proximité des basaltes de la planèze de Grand Bénard, tout près de l'extrémité Sud-Est du profil SPARKER-02, pourrait faire penser que, sous l'unité U 0, les unités U 1 à U 3 pourraient être de nature basaltique. Deux problèmes se posent :

- ces basaltes hypothétiques ne montrent pas, à l'extrémité de SPARKER-02, une « image » acoustique caractéristique et indiscutable comme pourrait le faire une roche massive

(type basaltes à débit en orgues) qui fournirait une « image » de socle acoustique réfléchissant (au contraire, il y a une pénétration conséquente des ondes acoustiques et des réflexions internes très nettes quoique désorganisées) ;

- il n'y a pas de continuité latérale directe visible vers les unités U 2 et U 3.

Le problème posé par les unités U 2 et U 3 qui sont nettement identifiées sur SPK-02 à partir de la marque 15, c'est qu'elles permettent une pénétration importante et qu'elles montrent des réflexions internes qui sont absolument similaires à ce que peuvent fournir des dépôts sédimentaires détritiques grossiers (nous avons exactement la même réponse acoustique sous la plaine du Roussillon au niveau de la lagune de Salses-Leucate explorée en sismique minisparker). La mise en place de tels dépôts sédimentaires lors de la baisse de niveau marin du Würm et de la remontée qui suivit (l'Holocène n'en constituant qu'une partie), n'est pas un scénario impossible, les matériaux pouvant résulter du démantèlement par la houle de formations préexistantes et d'apports terrigènes massifs par les ravines et redistribués latéralement par la houle.
Il reste qu'alors les basaltes sous le platier pourraient être décalés beaucoup plus en profondeur que ce qui est supposé par Montaggioni.
Il faut donc voir ce qu'il en est exactement des affleurement basaltiques sur le versant externe du récif. S'ils sont confirmés à une profondeur très inférieure à 60 ms (soit près de 60 mètres), alors il faudra considérer que U 2 et U 3 puissent être des basaltes. Dans ce cas, leur réponse acoustique impliquerait que ces « basaltes » soient constitués essentiellement de formations scoriacées, stratifiées et légèrement inclinées vers le large. Il y aura aussi, dans ce cas, à considérer l'éventualité que la discontinuité S3 ne soit qu'un multiple de la discontinuité S1 et que l'unité U3 n'existe pas.

4.2.5.2. La distribution horizontale des diverses unités.

L'unité U 0, sédimentaire, est identifiable en sismique sur tout le linéaire côtier.
La sous-unité U0a correspond au prisme littoral sableux qui pourrait avoir une épaisseur moyenne avoisinant 10-15 ms. Elle est souvent réduite à quelques ms, et atteint très localement et sous réserve 25-28 ms. Son extension vers le large est localement très réduite puisque sur l'axe des profils transverses, choisis pour l'absence apparente de récifs du platier épars, il y a une réduction d'épaisseur brutale à moins de 100 mètres de la plage. Sur le platier interne cette formation est réduite à des plaquages, le plus souvent épais de quelques ms, avec de fortes diffractions montrant que la composante grossière est importante.
La sous-unité U 0b constitue une partie importante de la base de l'unité U 0 dès le prisme littoral, avec un développement croissant vers le Nord-Ouest. Vers le large elle devient dominante. Elle reposerait sur une surface basale S1 qui, sur la base du SPARKER-01, serait relativement plane et localisée à 30 ms sur toute l'étendue du platier prospecté.

L'unité U1, d'épaisseur réduite à 4-5 ms, semble localisée dans la moitié Sud-Est de SPARKER-02 et pourrait s'ouvrir en éventail vers le large par enfoncement de sa limite basale S2. Son épaisseur atteindrait 20 ms à l'extrémité de SPARKER-01.

Les unités U 2 et U 3, le long du littoral, ne sont plus clairement identifiables au Nord de l'appontement. Seule la limite supérieure de l'unité U 2, qui est la surface S2 (base de U 1), peut-être suivie.

4.3. DESCRIPTION DES RESULTATS « BOOMER ».

4.3.1. Le traitement du signal.

Les données brutes ont subi un filtrage séquentiel avec un passe-bas à 3600 Hz et un passe-haut à 1200 Hz et une amplification de type « Time Variable Gain » qui s'est avérée la meilleure.

4.3.2. La sortie graphique sous Corel-Draw.

Les profils sortis sous format papier sont fournis en Annexe n° B.
Les fichiers Corel-Draw sont localisés dans le dossier «Profils CDR » sur le CD.

4.3.3. L'analyse sismique.

Il a été suivi la même procédure standard que pour les données « minisparker ».

4.3.4. Les résultats.

Le sytème Boomer a été mis en œuvre dans le but d'obtenir une meilleure résolution que le Sparker dans les parties superficielles. Cependant plusieurs facteurs ont dégradé et/ou limité les possibilités du système :

- la nature particulière du matériau : la granulométrie grossière et les phénomènes probables de cimentation n'ont permis qu'une faible pénétration du signal haute fréquence du Boomer.

- la très faible profondeur d'eau : elle a entraîné l'arrivée quasi-simultanée de l'onde directe et de la première arrivée du fond car la longueur des trajets parcourus est très similaire. Cette interférence brouille l'image des premières réflexions dans les formations superficielles où le boomer parvient à pénétrer.

- le pédalage (ringing) : il s'agit de la répétition vers le bas de la première réflexion. Ce phénomène de réverbération est propre aux dispositifs boomer, tout particulièrement lorsque le contraste d'impédance acoustique est fort. C'est le cas ici, avec un contraste très fort entre le milieu aqueux marin et le sédiment grossier du fond. Comme pour le cas précédent, il est donc particulièrement gênant dans les premières millisecondes (premiers mètres) de l'enregistrement .

La pénétration du système Boomer 25 joules se montre très insuffisante après le traitement des données.

Le Boomer 200 joules se montre plus performant, mais la pénétration est encore limitée, dans le meilleur des cas, à la sous-unité U 0. La limite inférieure de l'unité U 0 n'est visible que dans la partie Sud-Est de la zone d'étude.

4.3.4.1. Parallèlement au rivage (profils longitudinaux, Figure 8).

Le profil BOOMER-05 illustre la totalité des caractéristiques des informations fournies par ce système (**Figure 9**).

La limite inférieure de l'unité U 0 (discontinuité S1) est constituée par un réflecteur situé entre 12 ms à la marque 0 et 25 ms à la marque 20. Au-delà, en direction du Nord-Ouest, elle n'est plus décelable sauf peut-être au niveau de la marque 35.

La plupart des réflecteurs relativement profonds observables (>10ms) est due au phénomène de ringing, qui reproduit cycliquement vers le bas la morphologie du réflecteur du fond.

Cependant un réflecteur « intermédiaire » situé à quelques millisecondes (2 à 5ms) sous le fond est net et continu du début du profil (au Sud-Est) jusqu'à la marque 80 un peu avant le ponton (au Nord-Ouest). Il est dans son ensemble relativement rectiligne avec, en certains points, une morphologie en mamelons (marques 7, 12, 15, 38/40)

4.3.4.2. Perpendiculairement au rivage (profils transverses, Figure 9)

La limite inférieure de l'unité U 0 (discontinuité S1), sur le profil BOOMER-11 (qui recoupe le profil BOOMER-05 à la marque 5), est située à 12 ms près du rivage et s'approfondit à 20 ms puis disparaît rapidement, à partir de la marque 5 en direction de la barrière.

Le réflecteur peu profond (quelques ms sous le fond) est surtout visible à proximité du rivage. Sur le profil BOOMER-11, il disparaît rapidement (marque 2) en direction de la barrière récifale.

4.3.5. Discussion.

4.3.5.1. La nature lithologique des unités sismiques.

D'une façon globale les profils Boomer indiquent indiscutablement que la pénétration est très limitée et que les sédiments superficiels sont de nature très réfléchissante et diffractante. Les matériaux meubles de l'unité U 0 sont donc grossiers et hétérométriques.

Sous les sables que l'on observe directement au fond et qui seraient plus homogènes, il y a probablement une forte part de débris ou blocs coralligènes. On peut penser que la limite est indiquée par le réflecteur observé à quelques millisecondes sous le fond du lagon.

4.3.5.2. La distribution horizontale.

Parallèlement à la plage, la partie sableuse supérieure de l'unité U 0 est probablement limitée à 2-3 mètres d'épaisseur au niveau du chenal, parfois peut-être moins. Elle peut s'accroître en face de la ravine de l'Hermitage. La limite inférieure doit s'étendre sous la plage moyenne-supérieure et sous le cordon littoral. Le stock n'est donc pas bien important.

Vers le large, la limite inférieure de cette partie sableuse remonte très rapidement. Le stock sableux doit être réduit à un plaquage et quelques poches. C'est le domaine du platier épars.

En dessous de cette limite, le Boomer est incapable de fournir plus de précisions.

DISCUSSION et CONCLUSION GENERALES

L'organisation « type » des formations.

En fusionnant les informations fournies par le Sparker et le Boomer on aboutirait au schéma suivant :

- à la base, un « substratum » de nature inconnue dont la limite supérieure remonte vers la surface au niveau de la Planèze de Grand Bénard et s'approfondit rapidement vers le large et le Nord-Ouest pour constituer, de façon générale, une surface assez plane quoique irrégulière aux alentours de 25 à 30 ms ce qui donnerait environ 25-30 mètres. Il est subdivisé en deux grandes unités superposées (U 3 à la base et U 2 au-dessus, avec une limite à 60 ms) montrant des réflexions internes obliques et chaotiques. Il a tous les caractères de formations sédimentaires meubles (pénétration sur 30 ms et plus, réflexions obliques internes), alors que plusieurs indices voudraient que l'on en fasse des basaltes (basaltes proches de la Planèze de Grand Bénard, basaltes supposés à quelques mètres sous le forage de Montagionni sur le platier, affleurements de basaltes sur le récif externe). L'explication pourrait être qu'il s'agirait de basaltes non compacts, donc de type scories, et stratifiés avec un léger pendage vers le large. Il faudrait préciser ce qu'il en est des affleurements sur le récif externe. Les estimations faites au niveau du forage peuvent être discutées. S'il ne s'agit pas de basaltes, il faudrait envisager qu'il s'agisse de formations sédimentaires mises en place en relation avec les derniers changements climatiques et du niveau des mers au Quaternaire terminal.

- au-dessus, mais d'extension limitée entre la limite Sud de Trou d'Eau et le Sud de Planch'Alizés, une formation de quelques mètres d'épaisseur, à fortes réflexions basses fréquences, sub-horizontales et continues, dont l'origine est complètement hypothétique (unité U 1).

- enfin une formation probablement sédimentaire et bioconstruite, l'unité U 0, dont la limite supérieure est le fond de la lagune. Sa limite inférieure est constituée par le toît du « substratum », qui remonte vers le Grand Bénard. Son épaisseur moyenne serait de l'ordre de 30 ms ou mètres, diminuant vers le Grand Bénard. Elle pourrait être constituée de trois unités superposées et d'épaisseur très variable :

→à la base, une unité pouvant être fortement diffractante, localement avec des structures mamelonnées, des réflexions chaotiques. Elle est moins épaisse au niveau du chenal longeant la plage sauf au niveau des indentations de la zone de récif épars. Par contre elle constitue rapidement la presque totalité de l'unité U 0 en s'éloignant vers le platier. Elle pourrait être largement bioconstruite et/ou cimentée.

→au-dessus, une unité intermédiaire mise en évidence par le boomer, réfléchissant et amortissant rapidement les ondes hautes fréquences. Elle est nette tout le long du chenal longeant la plage. On ne peut dire si c'est elle ou l'unité supérieure (qui va être décrite plus loin) qui s'étend en direction du platier sous une forme réduite à un plaquage ou à des poches. Assez transparente pour le sparker, réfractante pour le boomer, on peut la considérer comme un matériel biodétritique emballant des fragments grossiers de coraux et partiellement cimentée.

→un corps superficiel sableux plus homogène, constituant probablement le prisme littoral dont la base serait à quelques mètres seulement sous le fond du lagon. Le stock réellement sableux serait donc très limité et réduit à la frange littorale du lagon. La possibilité de trouver un matériel similaire sur le platier semble peu probable et le cas échéant ce ne seraient que des plaquages épars et très peu épais, non discernés ici. Le stock semble un peu plus conséquent

au niveau du petit delta de la ravine de l'Hermitage. Il n'y a pas d'équivalent au niveau de la zone de Trou d'Eau.

Les conditions de genèse et stabilité des édifices actuels.

Le stock sableux meuble est apparemment très réduit et limité au prisme littoral. Il est peu probable que ce stock soit en équilibre avec la dynamique actuelle du système. Il s'est en grande partie constitué progressivement pendant toute la croissance du récif. Le volume de matériel qui est produit par le démantèlement du platier et qui vient s'y incorporer doit être réduit. Dans un récif en bonne santé, les apports doivent compenser les pertes dues aux agents dynamiques naturels paroxismaux (cyclones). Le platier en bonne santé amortit les houles et protège le prisme littoral, en même temps qu'il fournit le matériel qui peut compenser les pertes. Un platier en dégénérescence ne protège plus le prisme et ne le nourrit plus.

L'action anthropique n'est pas partie intégrante de ce processus de compensation, pas plus que les changements climatique éventuels. Il est absolument certain que les prélèvements de matériau et/ou les procédés de triage et d'élimination des blocs ne font qu'enlever du stock, sans compensation.

La possibilité de disposer d'un stock potentiel de matériau de recharge qui serait disponible sur le platier n'est pas prouvé par la sismique. Par ailleurs, à supposer que des procédés de récupération soient mis en œuvre, ils impliqueraient une atteinte à la vie et à la croissance du récif et inéluctablement à son rôle de barrière naturelle contre les cyclones.

Les meilleures conditions pour protéger le prisme littoral sont au contraire probablement de favoriser tout ce qui peut contribuer à développer la croissance du récif et sa bonne santé, en conjuguant cela avec une protection optimale du prisme littoral contre les atteintes liées à l'urbanisme.

BIBLIOGRAPHIE

Anselmeti F.S., Eberli P.G. (1987). Sonic velocity in carbonate sediments and rocks. In: Palaz I: Marfurt K.J. (Eds.). Carbonate seismology. *SEG Geophysical Development*, **6**, pp. 53-74.

Bargeas A. (1984). Apports de la simulation par modèles hydrologiques. Application à l'évaluation globale de la ressource en eau de l'île de La Réunion. *Thèse 3ème cycle, Univ. Bordeaux III,* 384 p.

Biais G., Kopp J. (1980). Etude courantologique au droit des passes du lagon de la Saline. *I.S.T.P.M La Réunion: rapport dactylographié,* 38 p.

Bosence D. (1989). Biogenic carbonate production in Florida Bay. *Bull. Mar. Sci* **44**, pp. 419-433.

Boss S.K., Rasmussen K.A. (1995). Misuse of Fisher plots as sea-level curves. *Geology* **23**, pp. 503-512.

Bouchon C. (1978). Etude quantitative des peuplements à base de Sclératiniaires d'un récif frangeant de l'île de La Réunion. *Thèse 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille II,* 140 p.

Camoin G.F., Colonna M., Montaggioni L.F., Casanova J., Faure G., Thomassin B.A, (1997). Holocene sea level changes and reef development in the southwestern Indian Ocean. *Coral Reefs* **16**, pp. 247-259.

Chaffaut I., Poitrinal D. (1988). Etude hydrogéologique de la ravine Saint-Gilles, première et deuxième phase – *Rapport BCEOM*, Département de La Réunion, 25 p.

Colonna M. (1994). Chronologie des variations du niveau marin au cours du dernier cycle climatique (0-140.000 ans) dans la partie sud occidentale de l'océan indien. Implications paléoclimatiques et paléocéanographiques. *Thèse 3ème cycle, Univ. Aix – Marseille I.*

Coudray J. (1983). Programme hydrogéologie: caractérisation hydrodynamique et hydrochimique des nappes aquifères types de La Réunion, étude des relations entre "nappes perchées" et "nappes de bases" – *Rapport d'activité*, convention Univ. de La Réunion/Conseil Régional, pp. 139 – 141.

Cuet P. (1990). Influence des résurgences d'eau douce sur les caractéristiques physico-chimiques et métaboliques de l'écosystème récifal à La Réunion. *Thèse de 3ème cycle, Univ. Aix – Marseille III,* 295 p.

Cuet P., Naïm O. (1989). Les platiers récifaux de l'île de La Réunion. *Rapport de l'Association pour les études d'aménagement et d'urbanisme (AUR).* Ile de La Réunion.

Daessle M., Join J.L. (1988). Cliché de salinité des nappes sous terraines de la côte Ouest de l'île de La Réunion – *Rapport BRGM* **88** *REU 05*, Ministère de l'Industrie et de la Recherche, 19 p.

Eberli G., Grammer G.M. (1999). Unfilled accomodation space - a fundamental problem for cyclostratigraphy. In: Gonzales, H.B. (Ed), *Am. Assoc. Petrol. Geol. Annual Convention*, San Antonio, TX, p. A36.

Eberli G.P., Kendall, C.G.S.C., Moore P., Whittle G.L., Cannon R. (1994). Testing a seismic interpretation of Great Bahama Bank with a computer simulation. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* **78**, pp. 981-1004.

Egenhoff S.O., Peterhänsel A., Bechstädt T., Zülke R., Grötsh J. (1999). Facies architecture of an isolated carbonate platform: tracing the cycles of the latemer (Middle Triassic, northern Italy). *Sedimentology* **46**, pp. 893-912.

Enoff P., Samankassou E. (1998). Lofer cyclothems revisited (Late Triassic, Northern Alps, Austria). *Facies* **38**, pp. 207-228.

Gabrié C. (1982). Sédimentologie de quelques récifs coralliens de la Mer Rouge et de l'Océan Indien. Traitement mathématique des données. *Thèse 3ème cycle. Univ. Aix Marseille II,* 128 p.

Gabrié C., Montaggioni L.F. (1985). L'érosion des plages balnéaires à La Réunion : généralités et définition de l'état initial et suivi des profils de plages. *Rapport Univ. de La Réunion,* 61 p.

Grammer G.M., Eberli G.P., Van Buchem F.S.P., Stevenson G.M., Homewood P. (1996). Application of high-resolution sequence stratigraphy to evaluate lateral variability in outcrop and subsurface – Desert Creek and Isamy intervals, Paradox Basin. In: Longman M.W., Sonnendfeld M.D.(Eds), Paleozoic Systems of the Rocky Mountain Region, *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. (Society for Sedimentary Geology), Tulsa, OK*, pp. 235-266.

Hillgärtner H. (1999). The evolution of the French Jura platform during the Late Berriasian to Early Valanginian: controlling factors and timing. Geofocus 1, *Ph.D. thesis Nr. 1240, Université de Fribourg.*

Join J.L. (1991). Caractérisation hydrogéologique du milieu volcanique insulaire – Le Piton des Neiges – Île de La Réunion. *Thèse de doctorat. Univ. Montpellier II,* 187 p.

Kennedy D.M., Woodroffe C.D. (2002). Fringing reef growth and morphology : a review. *Earth-Science Reviews*, 57, pp. 255-277.

Mitchum R.M., Vail P.R.,Sangree J.B. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: Payton, C.E (Ed.), Seismic Stratigraphy – Application to Hydrocarbon Exploration. *Am. Assoc. Petrol. Geol., Mem.* **26**, *Tulsa, OK*, pp. 117-133.

Mitchum R.M., Vail P.R., Thomson III S. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 2: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: Payton, C.E (Ed.), Seismic Stratigraphy -Application to Hydrocarbon Exploration. *Am. Assoc. Petrol. Geol., Mem.* **26**, *Tulsa, OK*, pp. 117-133.

Montaggioni L. (1978). Structure interne d'une récif corallien Holocène (Ile deLa Réunion, Océan Indien). Second Symposium Intern. Coraux et Récifs Coralliens Fossiles, Paris, Septembre 1975. *Mémoires B.R.G.M*, **n° 98**, pp. 456-466.

Montaggioni L. (1978). Recherches géologiques sur les complexes récifaux de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien Occidental). *Thèse Sciences, Marseille,* 217 p.

Montaggioni L. (2000). Postglacial reef growth. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 331, pp. 319-330

Montaggioni L., Faure G. (1980). Les récifs coralliens des Mascareignes. *Centre Univ. de La Réunion – Univ. Française de l'Océan Indien.* 151 p.

Naïm O. (1994). Structure des communautés benthiques et eutrophisation en milieu corallien. Environnement en milieu tropical. Paris. Coudray et Bougherra. ESTEM (ed.). 5 p.

Robert R. (1974). Morphologie littorale de l'île de La Réunion. *Coll. Trav. Centre Univ. La Réunion,* n°3 : pp. 1-282.

Saint-Ange F. (2002). Etude géologique d'un récif frangeant holocène : le complexe récifal de Saint-Gilles / La Saline. *Rapport de Stage de Maîtrise des Sciences de l'Environnement, Univ. Perpignan,* 43 p.

Sarg J.F. (1988). Carbonate sequence stratigraphy. In: Wilgus, B.S.H.C.K.,C.G.S.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C. (Eds.), Sea-level Changes – An Integrated Approach. *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Sp. Publi. 42, Tulsa OK*, pp. 155-181.

Satterley A.K. (1996a). Cyclic carbonate sedimentation in the Upper Triassic Daschtein limestone, Austria: The role of patterns of sediment supply and tectonics in a plateform reef-basin system. *J. Sediment. Res.* **66**, pp. 307-323.

Satterley A.K. (1996b). The interpretation of cyclic successions of the Middle and Upper Triassic of the Northern and Southern Alps. *Earth-Sci. Rev.* **40**, pp. 181-207.

Strasser A., Pittet B., Hillgärtner H., Paasquier J.B. (1999). Depositional sequences in shallow-water carbonate-dominated sedimentary systems: concepts for a high – resolution analysis. *Sediment. Geol.* **128**, pp. 201-221.

Troadec R. (1991). Courantologie et sédimentologie des baies de Saint-Paul et de la Possession à l'île de La Réunion. *Thèse de Doctorat. Centre d'Océanologie. Univ. Aix Marseille II,* 217 p.

Wendte J., Wong P.K., Muir I.D., Weissenberger J., Gilhooly M.G., Stoakes F.A. (1990). Devonian carbonate sequence evolution of Western Canada. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull*

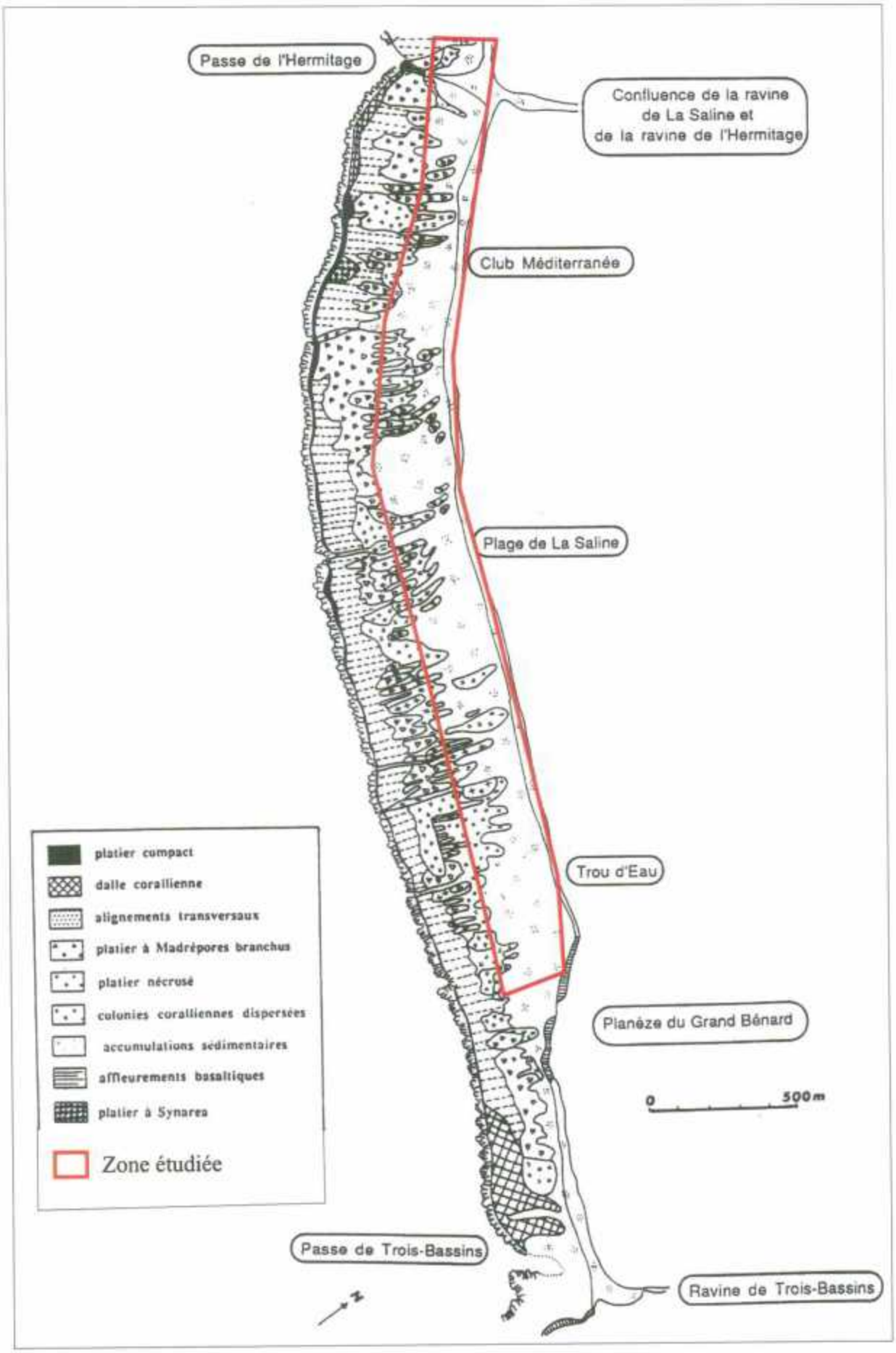
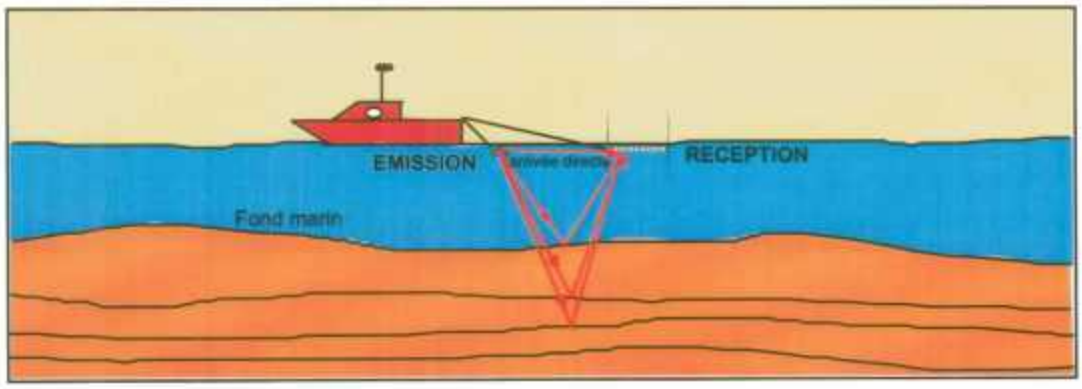
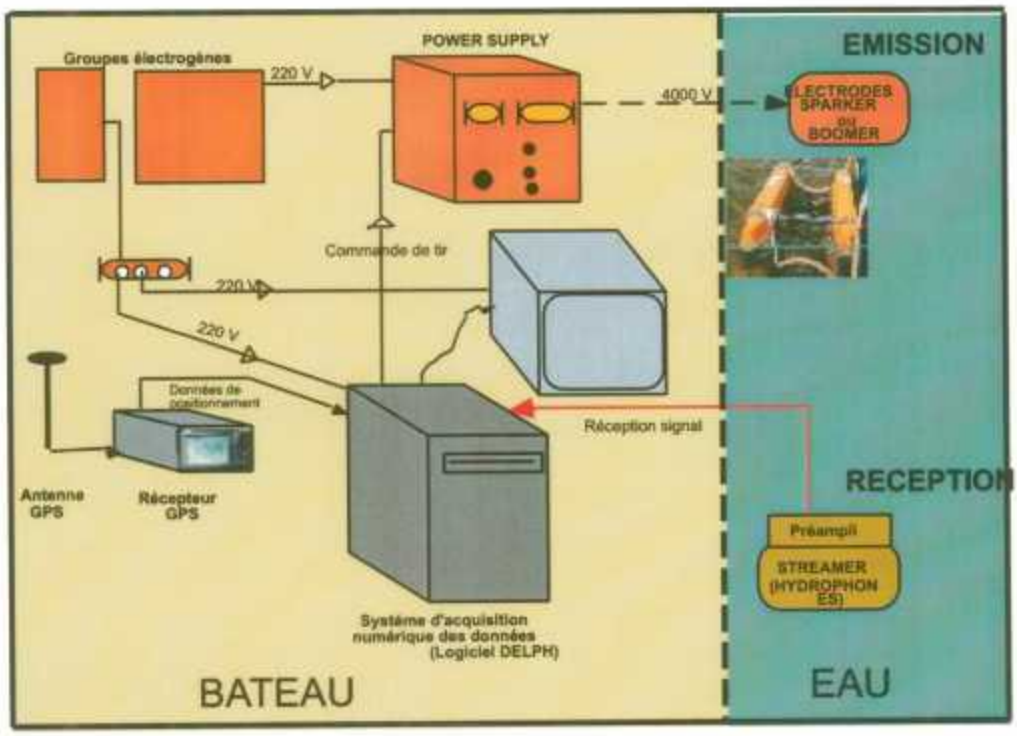


Figure 1 : Eléments physiographiques du lagon de Saint-Gilles (d'après Naïm, 1987)



A/ Propagation des ondes acoustiques.



B/ Le système embarqué.

Figure 2. Schéma synoptique du système d'acquisition des données de sismique réflexion.

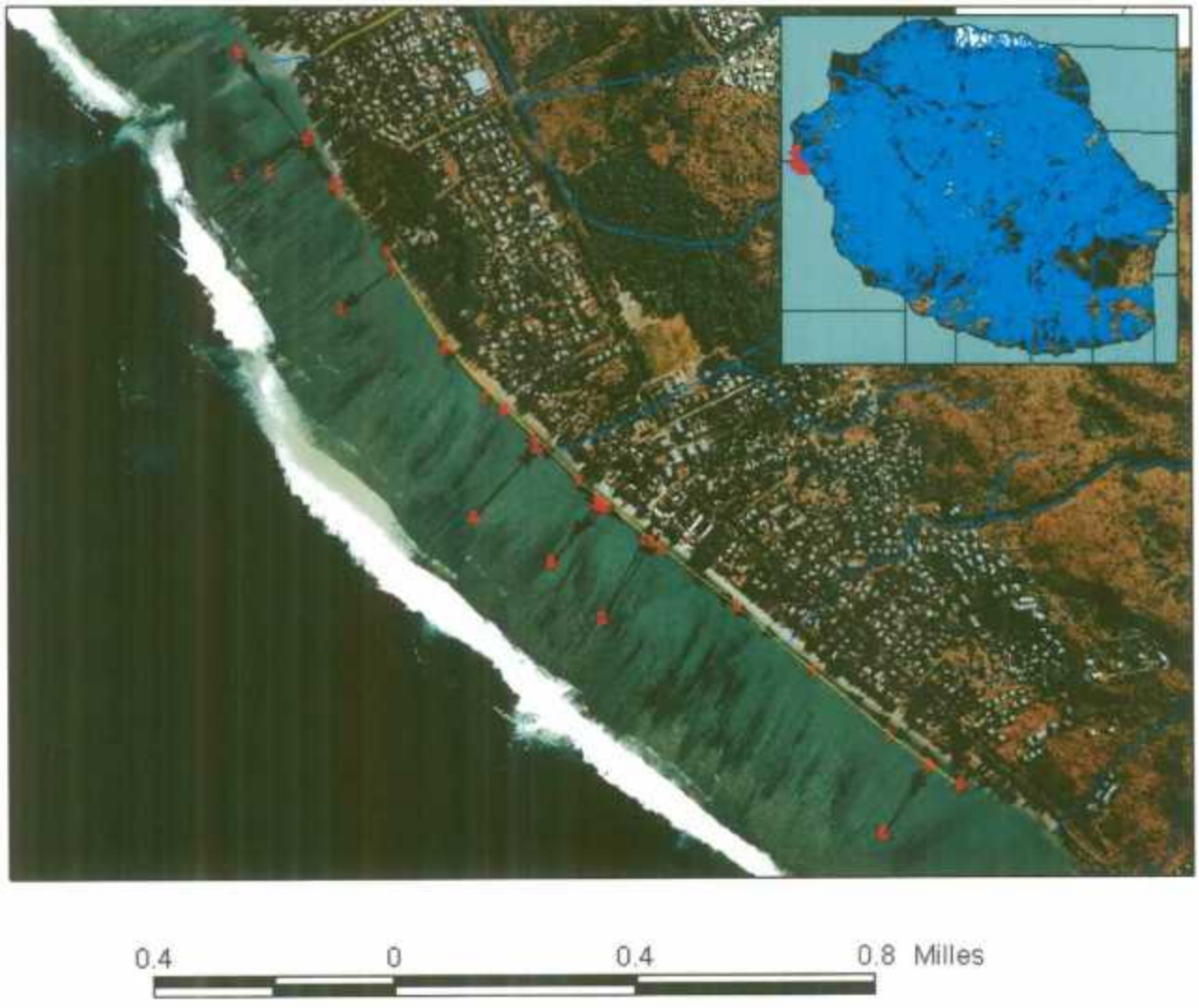


Figure 3. - Implantation des profils sismiques dans le lagon de Saint-Gilles.
Des plans de position détaillés sont fournis pour chaque type de matériel sismique utilisé.

Figure 4

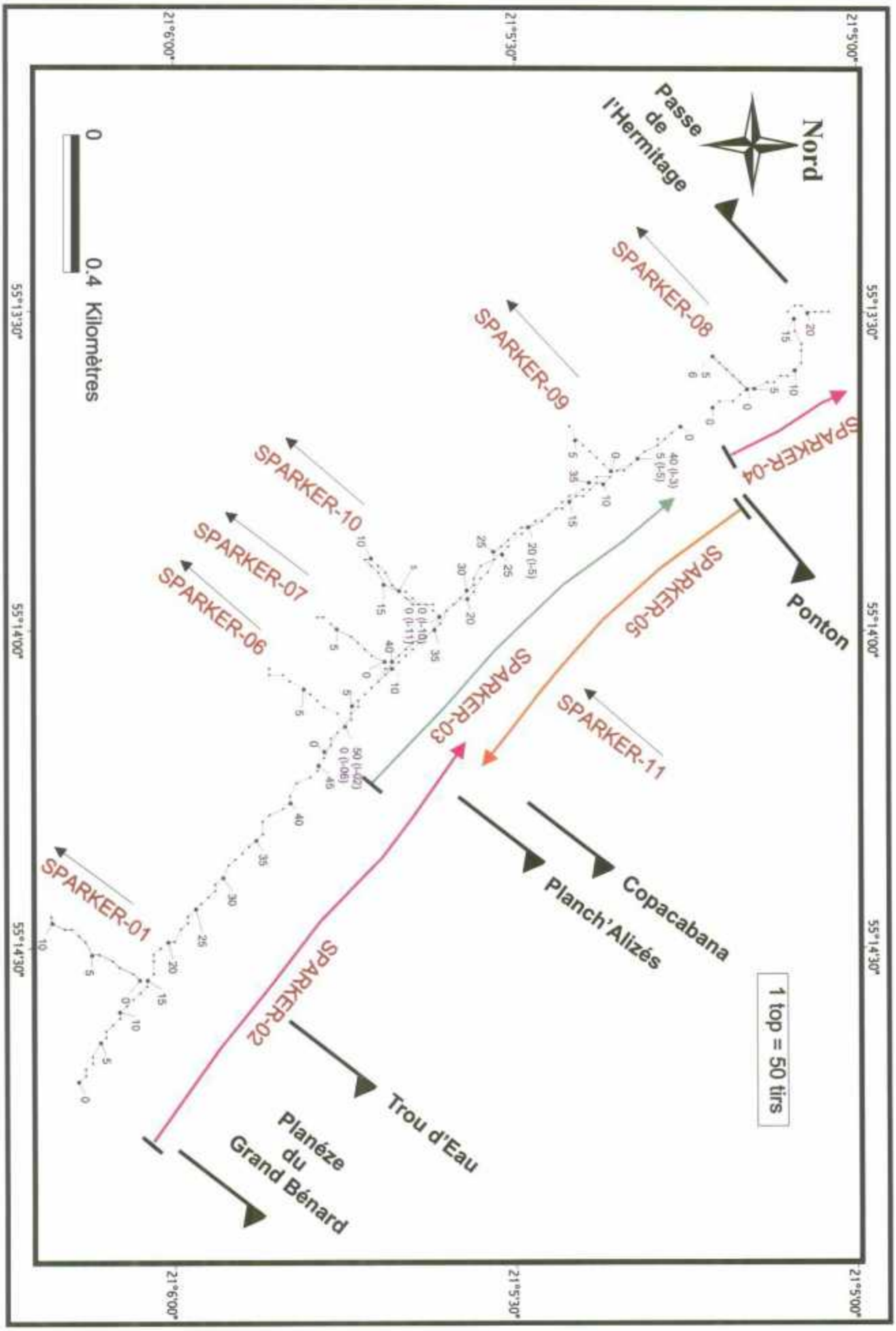
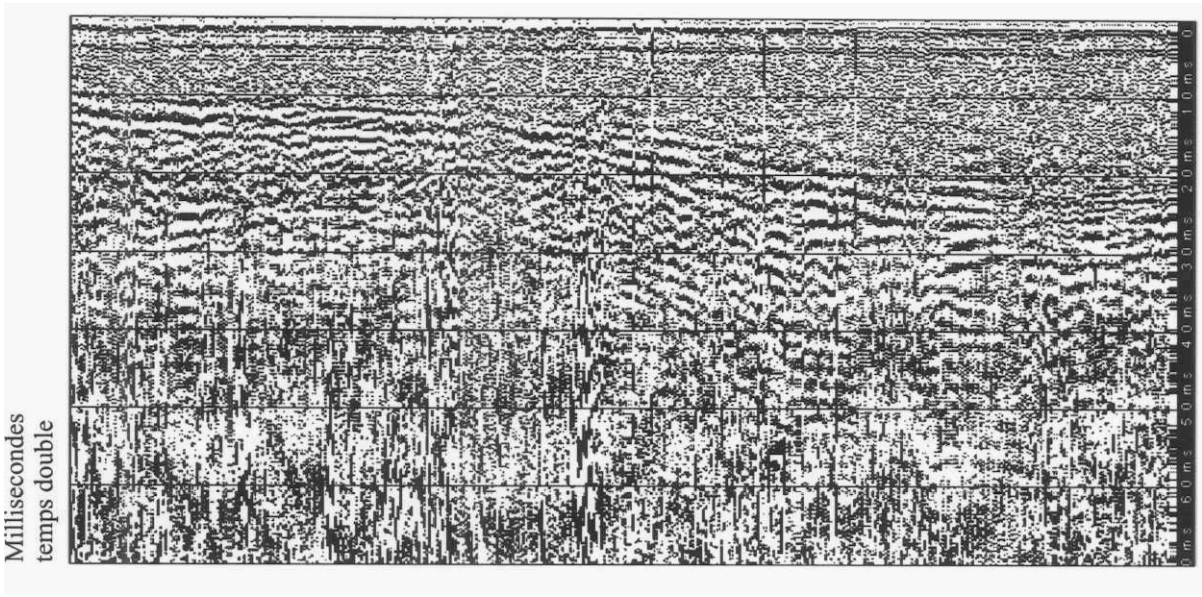
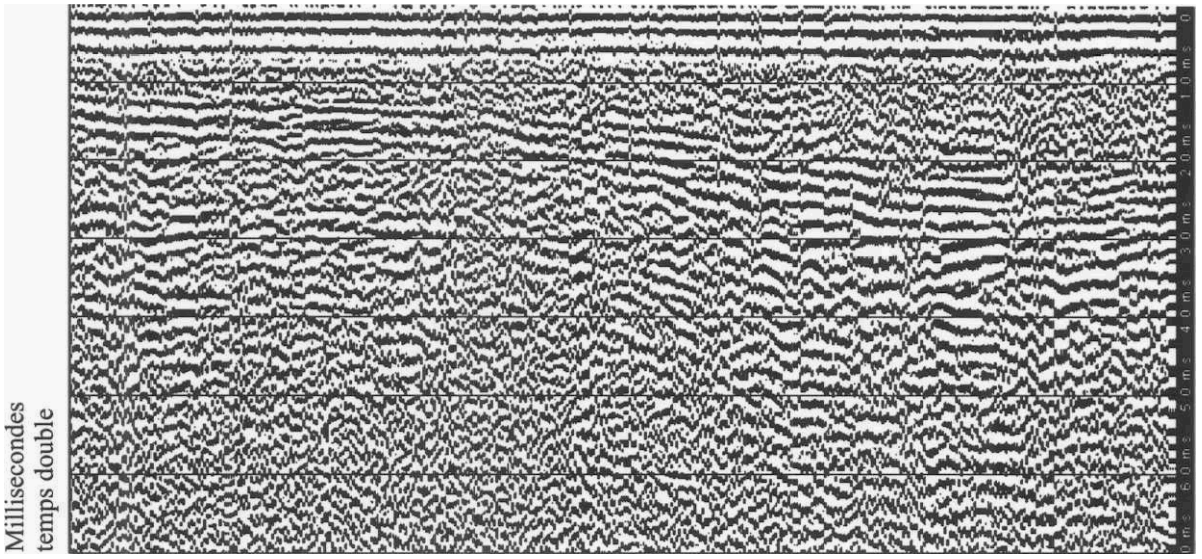


Figure 4. Plan de positionnement : minisparker 2002

A/ transect brut



B/ transect avec filtrage "séquentiel" ;



C/ transect avec filtrage séquentiel et gain de type "décrémentiel".

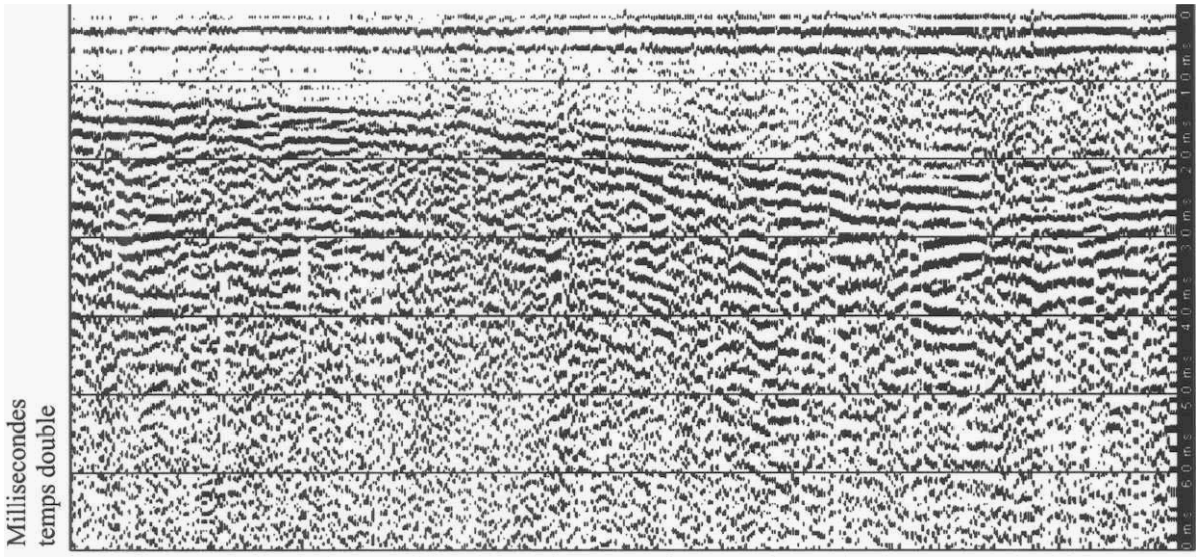


Figure 5 : Traitement numérique appliqué aux profils sismiques . Tous les profils sismiques "Sparker" seront traités selon le mode décrit en C.

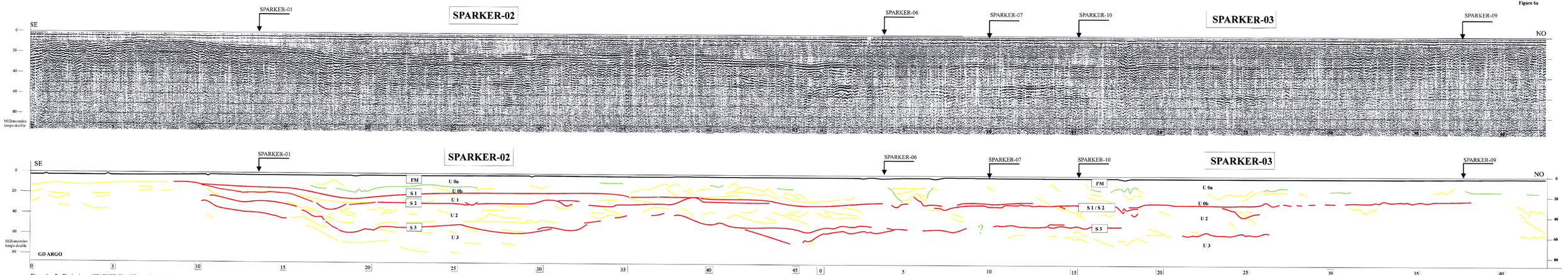


Figure 6a : Profils sismiques "SPARKER-02 et 03" montés et coupe interprétative.

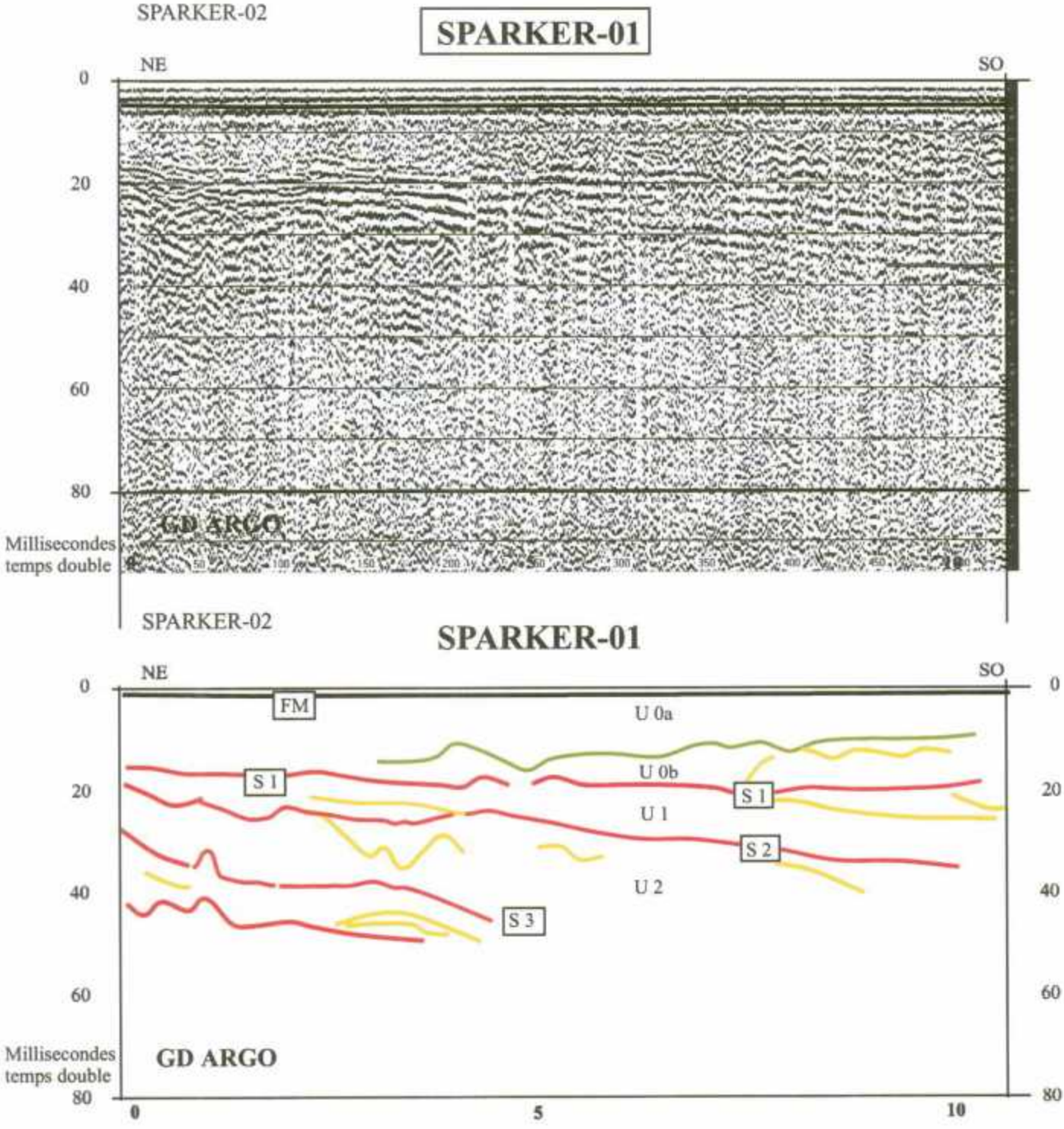


Figure 7a : Profil sismique "Sparker-01" et coupe interprétative.

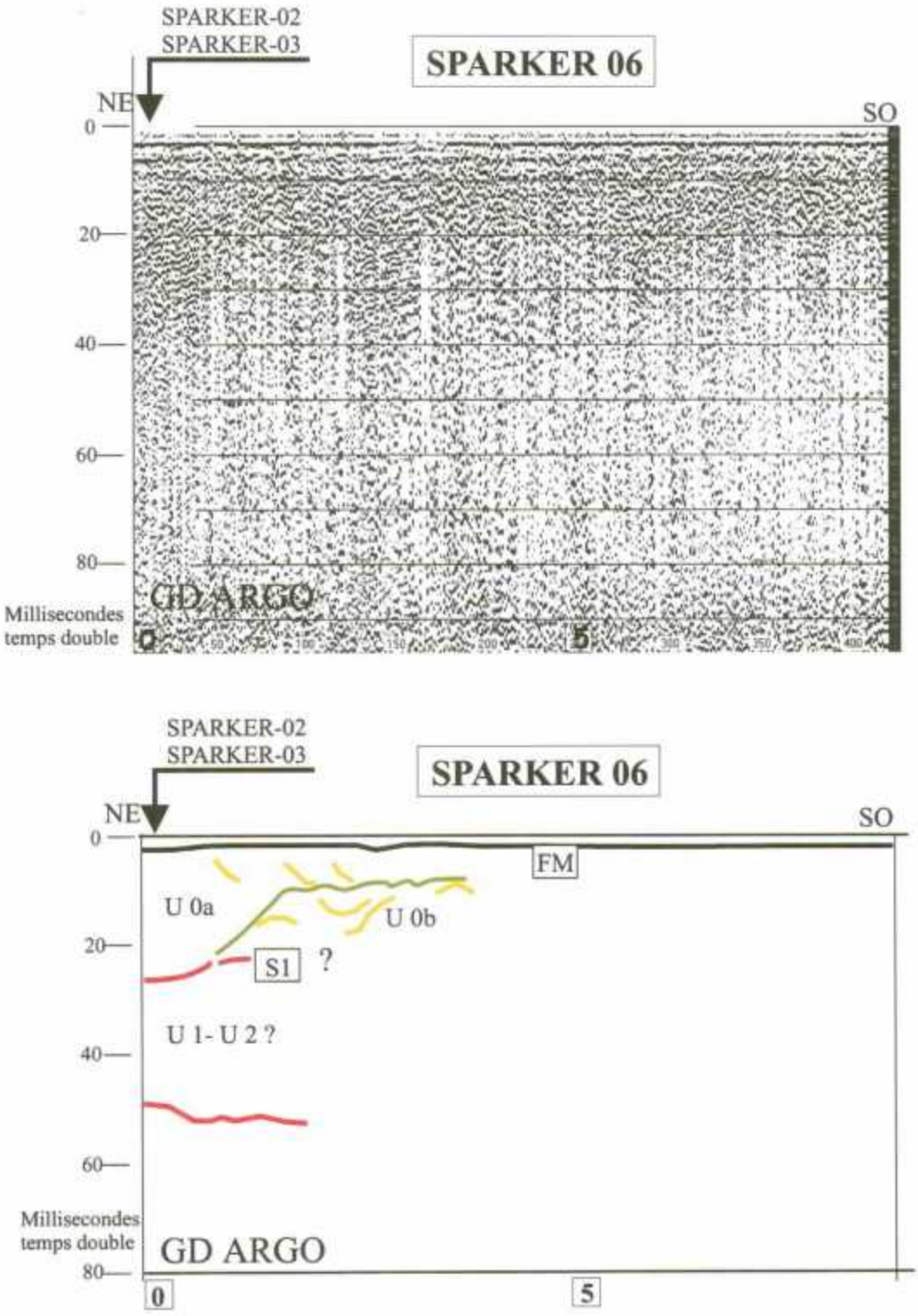


Figure 7b : Profil sismique "Sparker-06" et coupe interprétative.

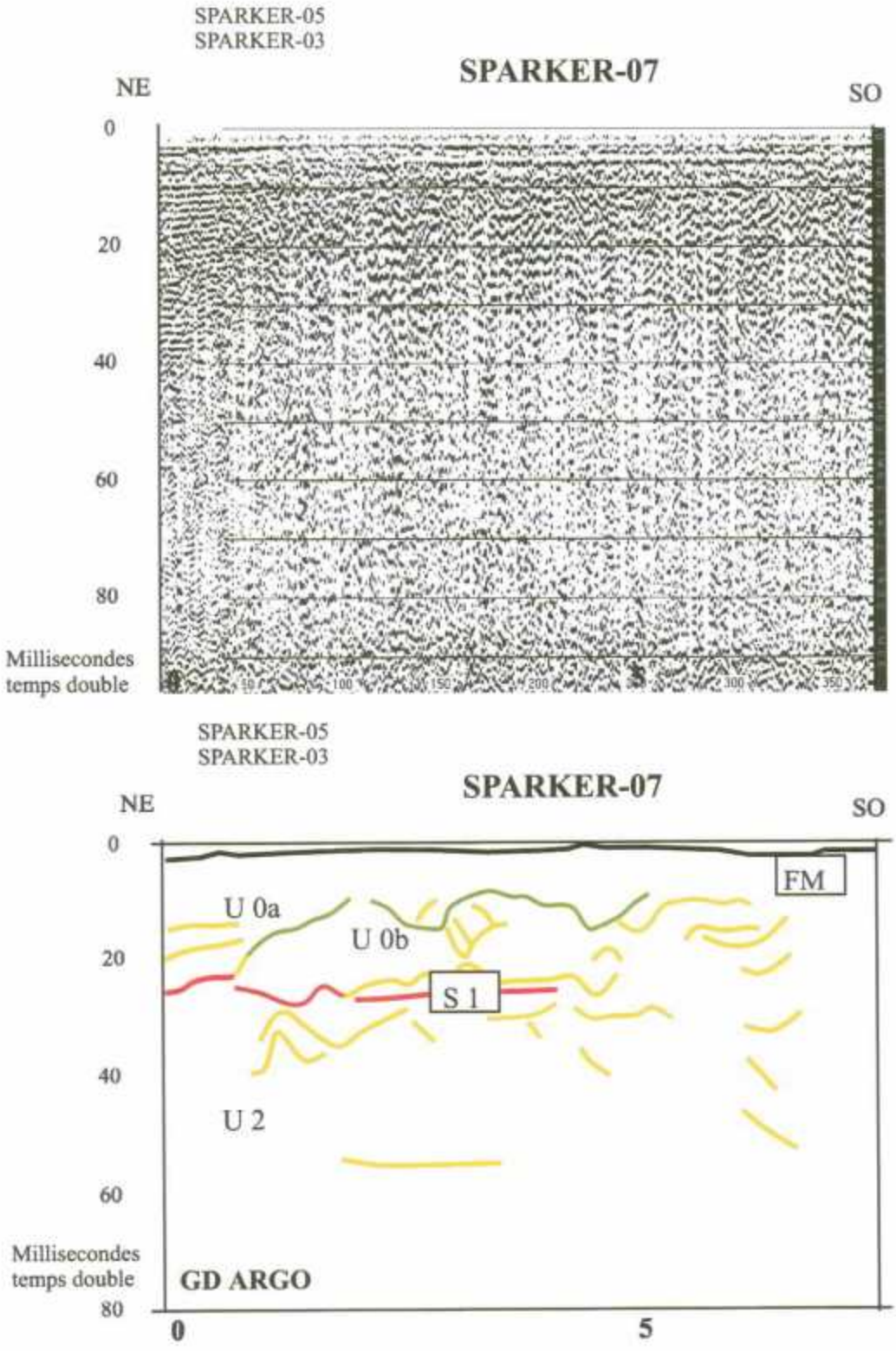


Figure 7c : Profil sismique "Sparker-07" et coupe intreprétative.

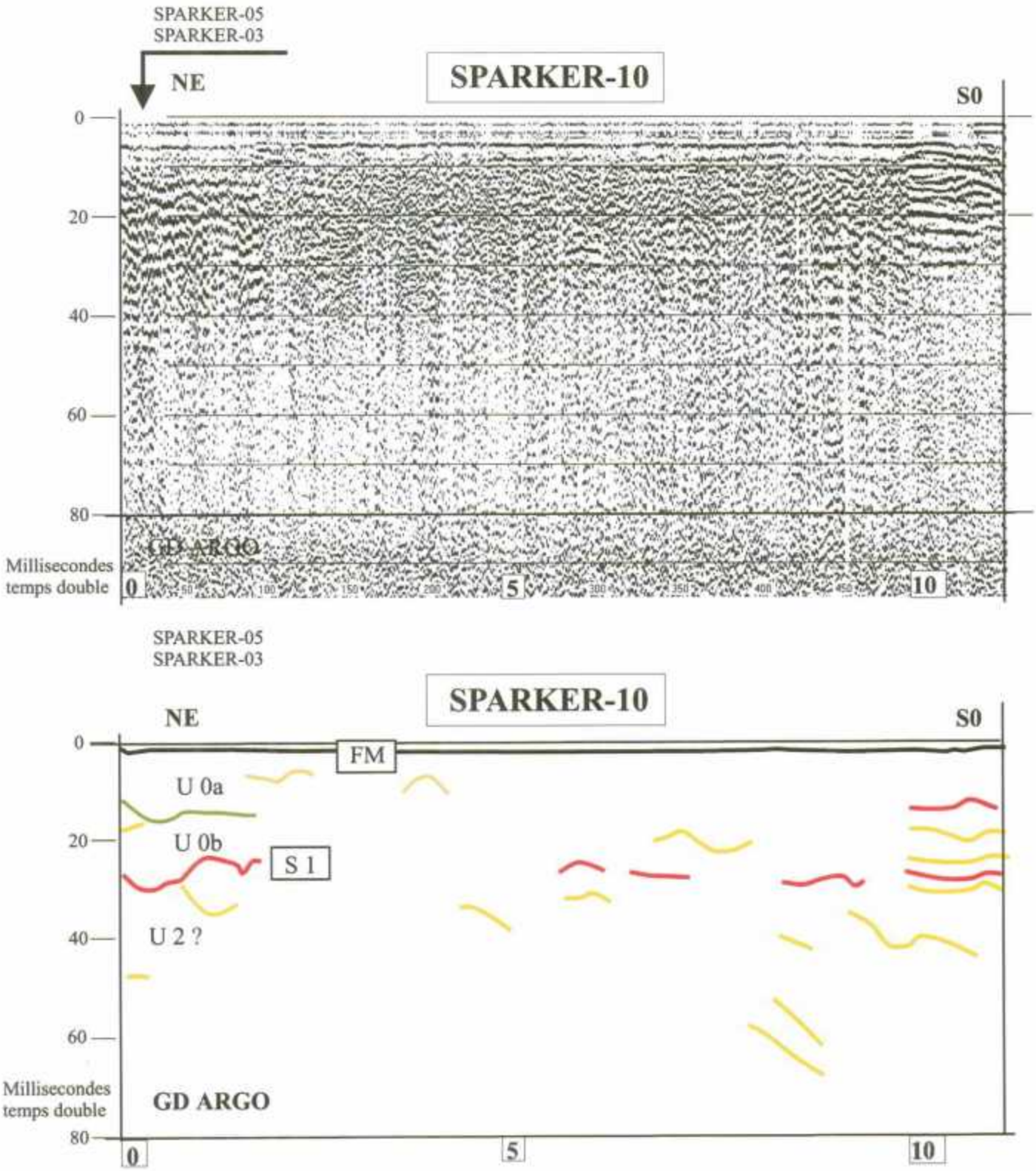


Figure 07d : Profil sismique "Sparker-10" et coupe interprétative

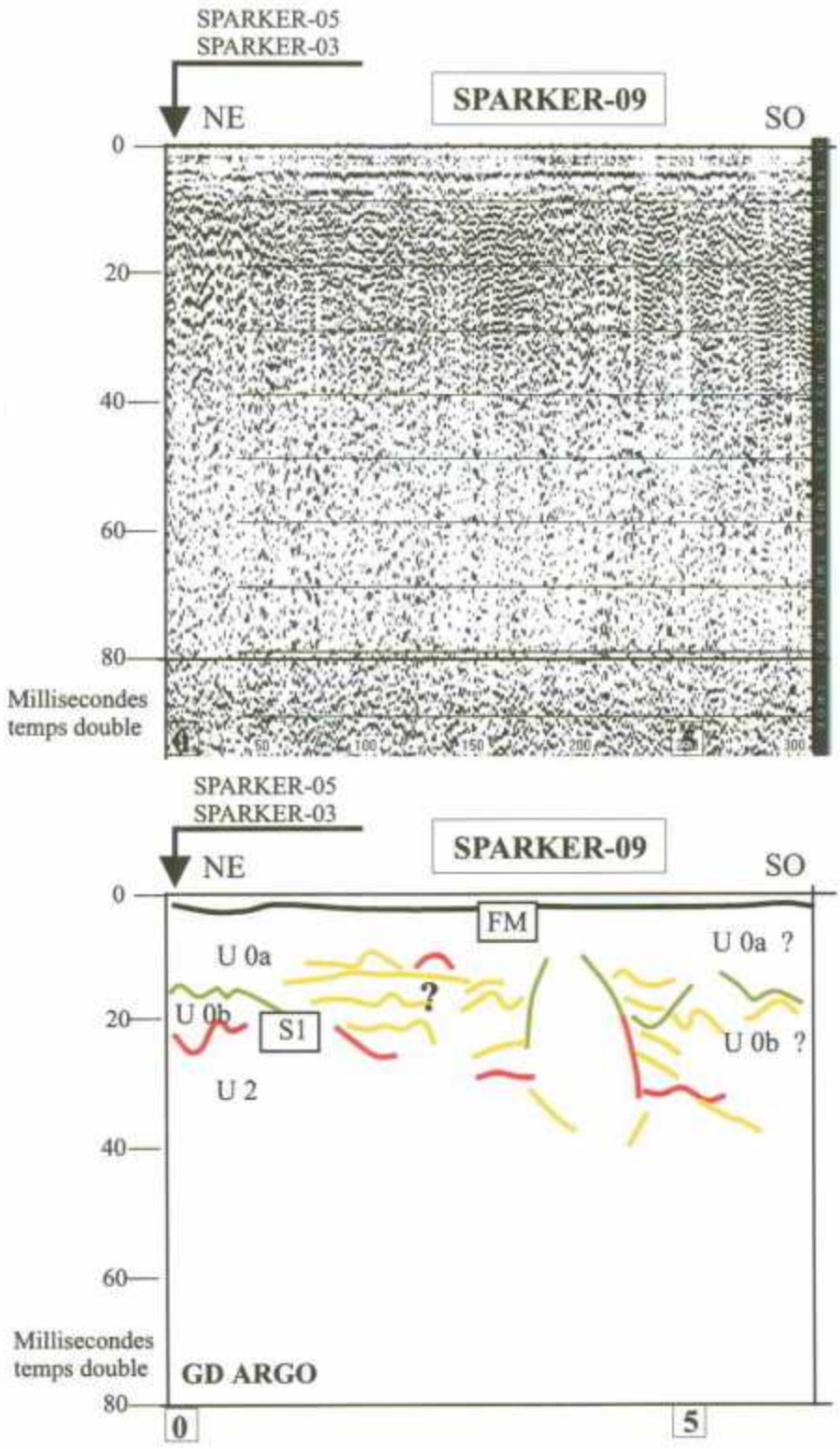


Figure 7e : Profil sismique "Sparker-09" et coupe interprétative.

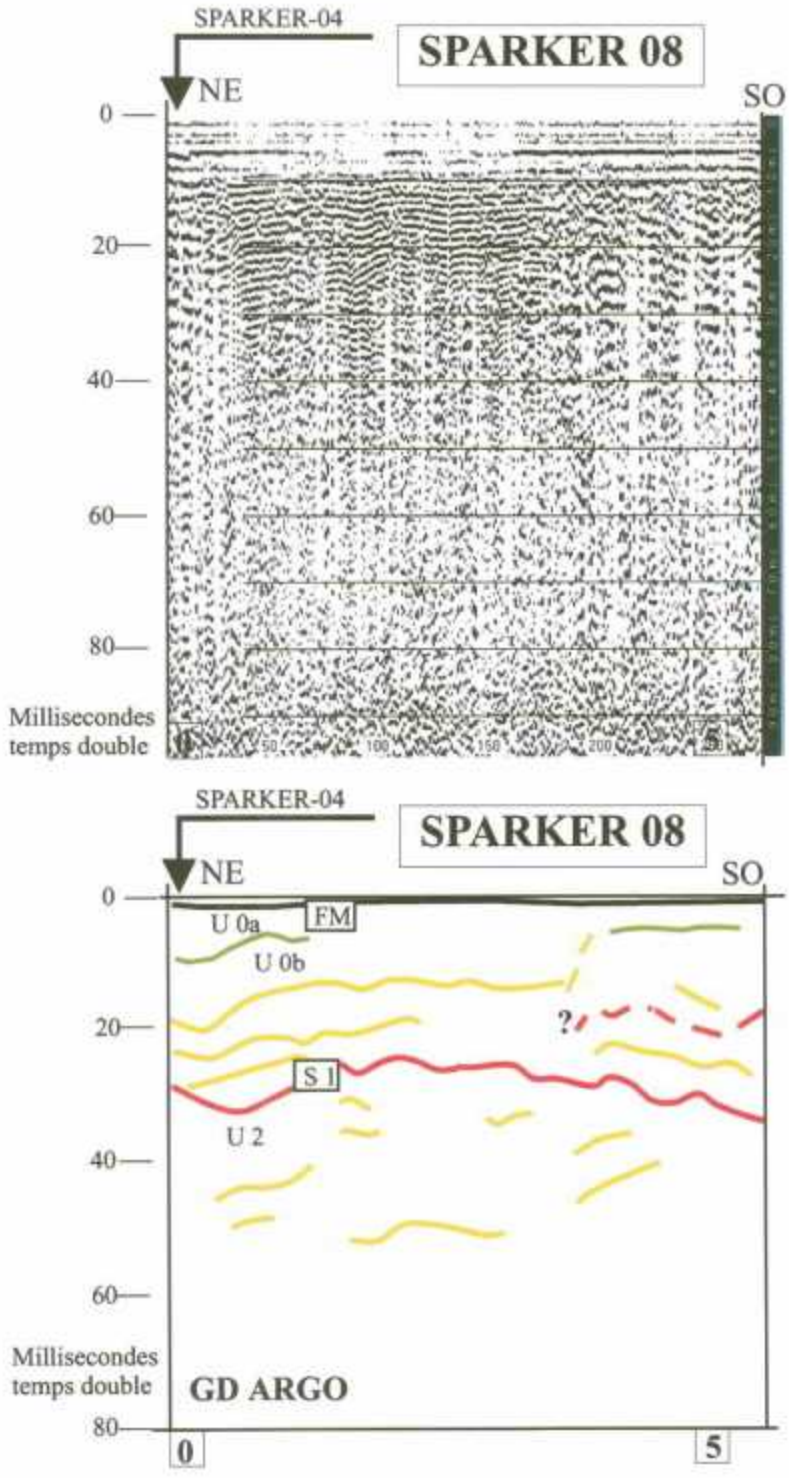


Figure 7f : Profil sismique "Sparker-08" et coupe interprétative.

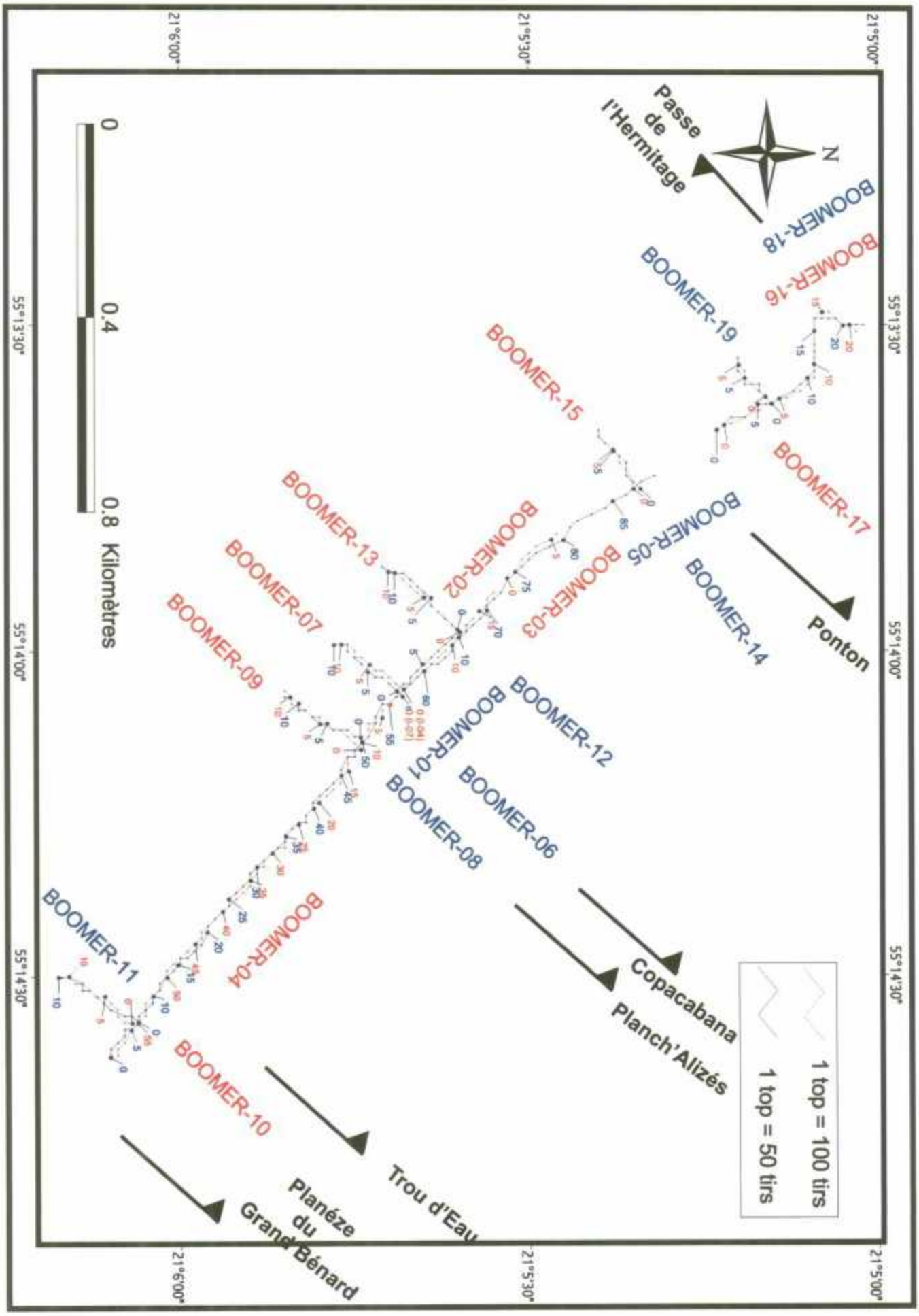


Figure 8. Plan de positionnement : Boomer 2002

Figure 9

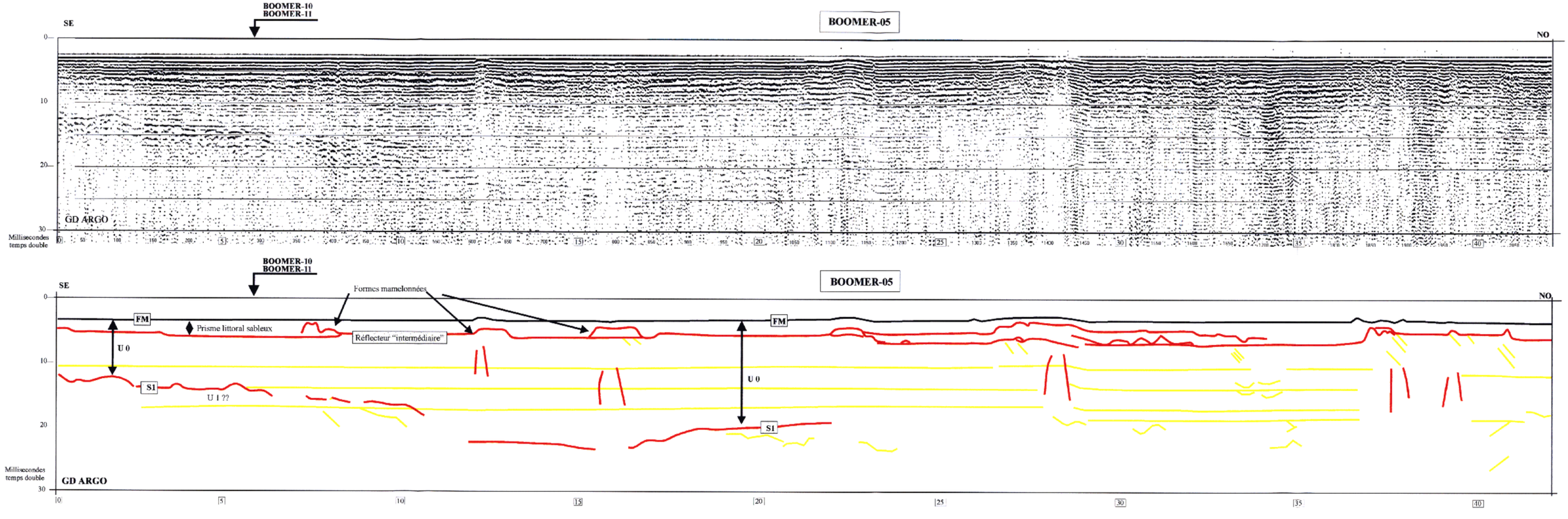


Figure 9 : Profil sismique "Boomer-05" et coupe interprétative.

Document public

Dynamique sédimentaire en milieu corallien à l'Ile de La Réunion

Synthèse des travaux réalisés par les partenaires du projet

BRGM/RP-52047-FR
2002 SGR/REU 24
décembre 2002

Etude réalisée dans le cadre des actions
de Service public du BRGM 02 LIT 217

S. Aubié
avec la collaboration de
R. Pedreros

Université de la Réunion

REGION REUNION

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots-clés : Plages coralliennes, Erosion, Engraissement, Dynamique sédimentaire, Suivis topographiques, Sismique haute résolution, Morphologie, Côte Ouest, Ile de La Réunion.

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

AUBIE 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 fig., 2 photos, 1 tab., 32 p.

© brgm, 2002, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du brgm

Synthèse

Le Conseil Régional et la DIREN ont exprimé des besoins en matière de gestion et de suivi du littoral réunionnais et, tout particulièrement, des plages coralliennes. Il a, ainsi, été demandé au brgm, dans le cadre de ses actions de Service public (fiche SP 02 LIT 217) de réaliser, en collaboration avec le laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de La Réunion (LSTUR) et le GDARGO de l'Université de Perpignan, une étude à caractère méthodologique sur la vulnérabilité des plages coralliennes à l'érosion, comprenant l'acquisition de données sédimentaires de base.

Différentes interventions ont été réalisées au cours de cette étude. Il s'est agit de la réalisation :

1. sur l'ensemble des plages coralliennes (27 km de linéaire côtier) :
   - d'une campagne de mesures topographiques effectuée par le cabinet Talibart ;
   - d'une étude morphologique des plages situées à l'arrière des formations récifales, effectuée par le brgm ;
   - de la poursuite du suivi des profils de plage (40 radiales) effectué par le Laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de La Réunion ;
2. sur le lagon de Saint-Gilles (site pilote) :
   - d'une campagne de mesures de géophysique marine effectuée par le GDARGO (Université de Perpignan) ;
   - de la synthèse des données existantes faite par le Laboratoire des Sciences de La Terre de l'Université de La Réunion.

A la lumière des résultats acquis et des constations faites dans cette étude, deux objectifs principaux s'imposent à nos yeux pour les années à venir car ils sont indispensables à une gestion durable du milieu corallien à La Réunion :

- **préciser la relation récif-plage** : c'est-à-dire décrire, comprendre et quantifier les mécanismes à la base du rôle de protection et de source sédimentaire que le récif a vis-à-vis de la plage ;
- **établir le bilan sédimentaire complet du domaine littoral à une échelle saisonnière et annuelle**.

Une réflexion générale est à conduire par les différents acteurs concernés, afin de préciser les moyens à mettre en œuvre pour accomplir ces objectifs. Cependant, il est d'ores et déjà possible:

- **d'exprimer la nécessité de se rapprocher de la communauté scientifique** travaillant sur les récifs en encourageant les études pluridisciplinaires ;

- **d'exprimer le besoin de constituer une base de données homogène** et exhaustive incluant aussi bien les recherches menées sur les plages que sur les récifs. Ces données devront être bien documentées (conditions des mesures, marges d'erreur, périodes couvertes, etc.) afin de faciliter leur utilisation. Cette base servira, entre autres, à constituer

un Système d'Information Géographique, utile à l'analyse des données et à la divulgation des recherches ;

- **d'améliorer les systèmes d'observation du milieu** :

  - ✓ **mesures *in situ*** : il est nécessaire d'établir ou de poursuivre un suivi régulier et pérenne des profils de plage et des paramètres physiques et hydrodynamiques tels que la température et la salinité de l'eau (dans le lagon), et l'amplitude, la direction et la période de la houle (extérieur du lagon), etc ;

  - ✓ **mesures aériennes et spatiales** : elles sont déjà très utiles pour la cartographie des différents milieux (récifal, estrans, végétation, etc.). Cependant, elles peuvent aussi nous renseigner sur la qualité du milieu (température, salinité, productivité, pollution, turbidité), les conditions dynamiques (vents à la surface de l'océan, champs de houle, courants de surface), sur l'état du récif et la bathymétrie. Un important travail doit être effectué pour identifier les capacités des capteurs embarqués (satellites et aéroportés) existants, récents et à venir et pour calibrer ces données avec les mesures *in situ*.

A court terme, il est envisageable de quantifier les tendances déjà mises en évidence (recul ou avancée du trait de côte, volumes sédimentaires déplacés, etc.) et d'autre part, de les mettre en relation avec l'hydrodynamique locale. Le premier de ces volets peut être abordé en traitant les profils topographiques pluriannuels réalisés par le LSTUR et en analysant les campagnes de photographies aériennes multi-dates. Le deuxième volet nécessite la mise en place, sur des zones ateliers, de mesures de houle (à l'extérieur du récif et dans le lagon) et de courants (dans le lagon) associées à des levés topographiques synchrones.

L'ensemble de ce programme d'étude justifierait de faire l'objet d'un projet pluriannuel.

SOMMAIRE

1. OBJET DE L'ÉTUDE 7

2. DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE 8

2.1 EXTENSION DE LA ZONE D'ETUDE 8
2.2 MOYENS MIS EN OEUVRE 8

3. ETUDES PRÉALABLES EFFECTUÉES SUR LE SITE DE L'HERMITAGE 10

3.1 ANTÉRIEUREMENT À 1980 : 10
3.2 PÉRIODE DE 1980 À 2002 : 10

4. PRÉSENTATION DES NOUVEAUX RÉSULTATS AXQUIS 14

4.1 CAMPAGNE DE MESURES TOPOGRAPHIQUES 14
4.2 CAMPAGNE DE MESURES GEOPHYSIQUES 16
4.2.1 Méthodologie *16*
4.2.2 Principaux résultats *17*
4.3 ETUDE DE LA MORPHOLOGIE COTIERE 19
4.3.1 Méthodologie *19*
4.3.2 Principaux résultats *21*
4.4 ETUDE MORPHODYNAMIQUE ET SÉDIMENTOLOGIQUE 24
4.4.1 Suivis topographiques et bilans sédimentaires des plages *24*
4.4.2 Granulométrie de surface et répartition sédimentaire en subsurface *25*

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 29

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des plages coralliennes à l'arrière des formations récifales 9
Figure 2 : Interpolation des mesures topographiques sur le lagon de Saint-Gilles 15
Figure 3 : Localisation des différents transects parallèles et perpendiculaires au rivage réalisés avec les outils sismiques 18
Figure 4 : Entités morphologiques rencontrées au niveau des formations récifales de La Réunion. A : vue aérienne (IGN de 1997). B : coupe longitudinale 19
Figure 5 : Morphologie-type d'une plage 21
Figure 6 : Extrait de la carte présentée en annexe n°3 « Granulométrie, composition lithologique, morphologie et état des plages » sur le site pilote 22
Figure 7 : Localisation des radiales sur le secteur de Saint-Gilles 26
Figure 8 : Localisation des radiales sur le secteur de Saint-Leu 27
Figure 9 : Localisation des radiales sur le secteur de Saint-Pierre 28

Liste des photographies

Photo 1 : Electrode du mini-sparker 16
Photo 2 : Plaque boomer installée sur le radeau et la flûte 16

Liste des tableaux

Tableau 1 : Pourcentage de linéaire côtier présentant des zones en accrétion, stabilité, transition et érosion plus ou moins prononcée 23

Liste des annexes hors texte

Annexe 1 : Levés topographiques des lagons de Saint-Gilles, Saint-Leu, Etang-Salé et Saint-Pierre, réalisés par le cabinet Talibart.

Annexe 2 : Etude en sismique réflexion monotrace du lagon de Saint-Gilles, réalisée par le GDARGO.

Annexe 3 : Etude morphologique des plages à l'arrière des formations récifales de la côte Ouest de La Réunion, réalisée par le BRGM.

Annexe 4 : Contribution à l'étude du site pilote de l'Hermitage / La Saline les Bains pour la compréhension de la dynamique sédimentaire des plans d'eau coralliens à La Réunion, réalisée par le LSTUR.

1. Objet de l'étude

Le domaine littoral, zone de transition, mais aussi de confrontation entre terre et mer, constitue un attrait touristique important de l'île de La Réunion. Cependant, celui-ci est soumis à des agressions d'origine naturelle ou anthropique qui sont préjudiciables à sa conservation et à l'économie régionale. La connaissance de la dynamique sédimentaire (processus d'érosion, d'engraissement,...) est un préalable indispensable à la gestion, l'aménagement et la conservation du littoral.

Le Conseil Régional et la DIREN ont exprimé des besoins en matière de gestion et de suivi du littoral réunionnais et, tout particulièrement, des plages coralliennes. Il a, ainsi, été demandé au brgm, dans le cadre de ses actions de Service public (fiche SP 02 LIT 217) de réaliser, en collaboration avec le laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de La Réunion (LSTUR) et le GDARGO de l'Université de Perpignan, une étude à caractère méthodologique sur la vulnérabilité des plages coralliennes à l'érosion, comprenant l'acquisition de données sédimentaires de base.

Le financement de cette étude a été assuré à parts égales par le brgm sur sa dotation de Service public, le Conseil Régional (convention n° DEAT3/20011914 du 26 décembre 2001) et la DIREN (Convention n° 2001/1011 du 14 décembre 2001).

2. Déroulement de l'étude

2.1 EXTENSION DE LA ZONE D'ETUDE

Les plages coralliennes situées en arrière des constructions récifales (figure 1), s'étendent sur un linéaire côtier de 27 km environ, situé sur les côtes Ouest et Sud-Ouest de l'île. Elles se regroupent en quatre secteurs de plage :

- du Cap La Houssaye à la passe des Trois Bassins (secteur de Saint-Gilles), sur un linéaire de 15 km ;
- Saint-Leu, sur un linéaire de 6,3 km ;
- Etang-Salé, sur un linéaire de 2,7 km ;
- Saint-Pierre, sur un linéaire de 3,5 km.

Un site pilote a été identifié ; il se situe sur la commune de Saint-Gilles, depuis La Villa du Lagon jusqu'au Cap des Chameaux (lagon de Saint-Gilles), de part et d'autre de la passe de l'Hermitage, soit sur un linéaire de 5 km environ et une largeur moyenne de 400 m.

2.2 MOYENS MIS EN OEUVRE

Différentes interventions ont été réalisées au cours de cette étude. Il s'agit de la réalisation :

a) sur l'ensemble des plages coralliennes

- d'une campagne de mesures topographiques effectuée par le cabinet Talibart ; elle s'est déroulée du 02 avril au 07 mai 2002 sur les lagons de Saint-Gilles, Saint-Leu, Etang-Salé et Saint-Pierre ;

- d'une étude morphologique des plages situées à l'arrière des formations récifales, effectuée par le brgm. Les levés de terrain ont été réalisés entre le 19 et le 26 juin 2002 ;

- de la poursuite du suivi des profils de plage (40 radiales) effectué par le Laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de La Réunion. La campagne de mesures s'est déroulée au cours du mois de juillet 2002.

b) sur le site pilote

- d'une campagne de mesures de géophysique marine effectuée par le GDARGO (Université de Perpignan) qui s'est déroulée du 04 au 20 avril 2002. Elle a concerné une partie du lagon de Saint-Gilles et son récif associé qui s'étend de la passe de l'Hermitage au Trou d'eau (La Saline) ;

- de la synthèse des données existantes faite par le Laboratoire des Sciences de La Terre de l'Université de La Réunion.

Chacune de ces contributions fait l'objet d'un rapport distinct présenté en annexe.

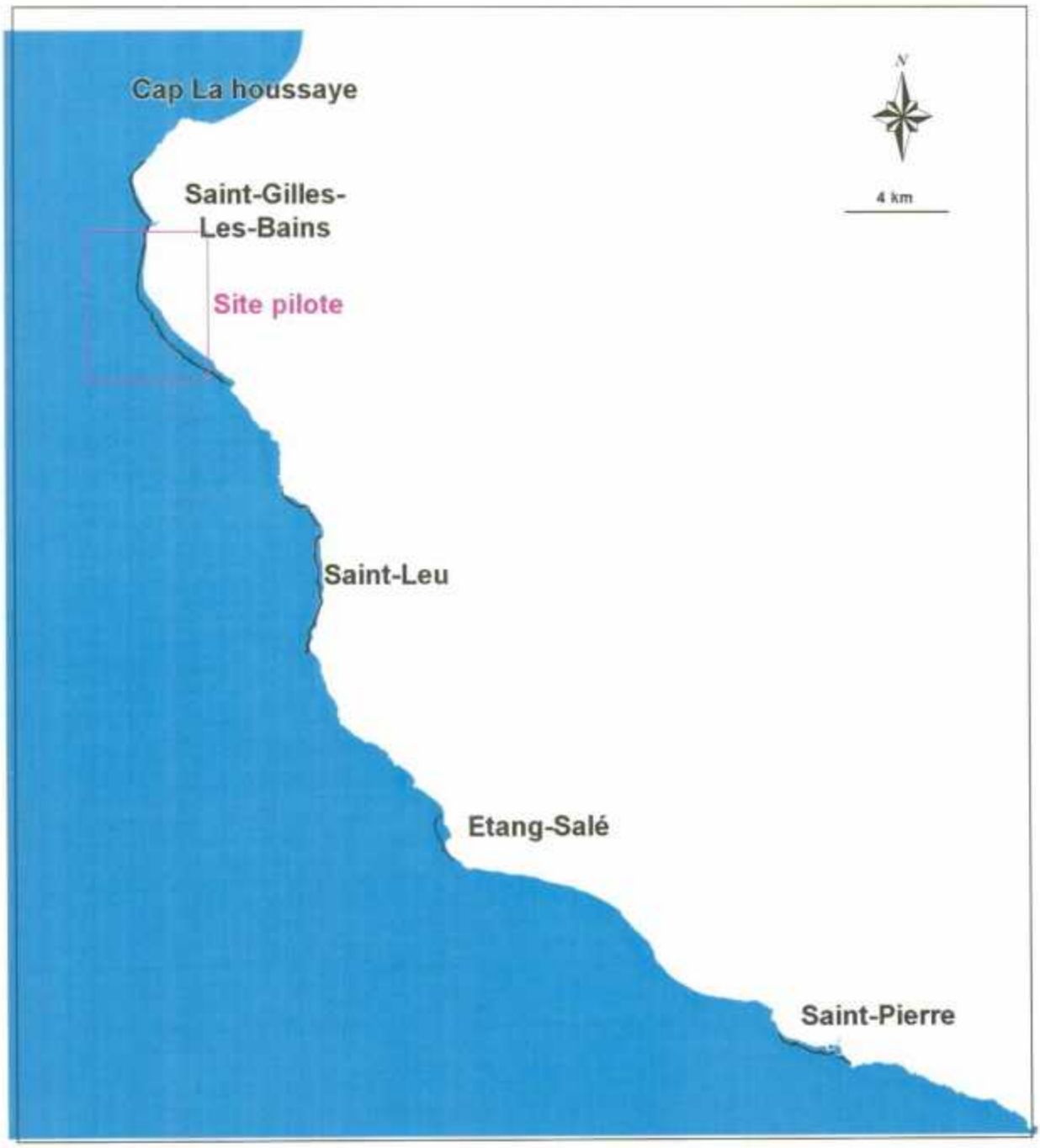


Figure 1 : Localisation des plages coralliennes à l'arrière des formations récifales

Le présent rapport correspond à une synthèse de ces différents travaux. D'une part, il rappelle les objectifs, les moyens, les méthodologies et les principaux résultats de chaque étude. D'autre part, il fait état des conclusions générales et des perspectives de recherche qui se dégagent.

3. Etudes préalables effectuées sur le site de l'Hermitage

Cette synthèse bibliographique a été effectuée par le LSTUR. Elle s'intéresse à l'évolution sédimentaire de la région de l'Hermitage à deux époques différentes : avant et après 1980.

3.1 ANTERIEUREMENT A 1980 :

- En datant les grès de plage (grâce à leur cimentation) et en les utilisant comme des marqueurs de la ligne de rivage, L. Montaggioni a estimé que l'érosion littorale à la Réunion aurait débuté aux environs de 1750.
- L'édification du port de Saint-Gilles entre 1966 et 1968 a entraîné une profonde modification des plages situées au nord et au sud de la ravine de l'Hermitage ; engraissement de la plage au sud du port et développement, en parallèle, d'un gradient érosif vers la passe de l'Hermitage.
- Le ponton de l'Hermitage érigé vers cette même époque, a modifié localement les courants et la circulation sédimentaire.
- Entre le 21 et le 23 mai 1968, un cyclone d'une puissance exceptionnelle provoqua un raz de marée qui a frappé les rivages exposés du quart Sud-Ouest de l'île. L'effet paroxystique s'est exercé dans la nuit du 21 au 22 mai ; des lames de 8 à 9 m ont été enregistrées à la station de Saint-Pierre causant le remaniement sédimentaire de toutes les plages et des fonds lagonaires, ainsi que le déchaussement des filaos sur plusieurs décimètres.

3.2 PERIODE DE 1980 A 2002 :

- Pour répondre à la fréquentation accrue des plages (besoins de propreté et d'hygiène) il fut mis en place, à la fin des années 1970 (1979), le nettoyage mécanique des estrans coralliens avec l'enlèvement des détritus domestiques et, en même temps, des débris et blocs coralliens.
- En 1984-1985, une première étude scientifique "officialise" qualitativement l'attaque érosive des littoraux particulièrement fréquentés. Parmi les causes évoquées, le nettoyage mécanique est présenté comme un facteur fort.
- Suite à une étude commandée par la DDE Réunion (1987) mettant en évidence que lors des opérations de nettoyage, près de 1,5 cm d'épaisseur de matériaux coralliens étaient retirés sur 20 hectares chaque année ; cette technique fut abandonnée en 1988.
- Une réflexion plus globale sur l'érosion des plages est initiée par la DDE en 1991. Les constats sont les suivants.
    - ✓ Quant aux causes, sont citées : le piétinement lié à la fréquentation, la pollution affectant les platiers coralliens, les prélèvements de sable du au nettoyage mécanique des années précédentes, les modifications du régime hydraulique pouvant induire une fragilisation accrue du complexe récifal (augmentation des ruissellements pluvieux par imperméabilisation des sols,

réduction de la fonction décantation-autoépuration assurée par la zone d'épandage naturelle, etc.).

- ✓ Les facteurs aggravants pour l'avenir sont rappelés :
  - la disparition progressive de la fonction protectrice du récif ;
  - la présence grandissante d'aménagements amplifiant l'érosion (murets de protection).
- ✓ Suivent des propositions :
  - à court terme, reconstitution des hauts de plage dégradés ;
  - à long terme, avec différentes préconisations : mise en réserve naturelle du récif corallien ; intégration d'un programme de gestion rationnelle des eaux pluviales ; création d'un ouvrage ralentissant l'évacuation des sables par la passe de l'Hermitage.

- De 1992 à 1994, à la demande de la Cellule LOcale de l'Environnement (CLOE), le LSTUR s'engage sur un plan de suivi et d'étude des plages à vocation touristique. Des mesures répétées du profil des plages au niveau de radiales témoins, permettent de quantifier, pour la première fois, l'évolution dans le temps des apports et des départs naturels de sédiments. Le constat général résultant correspond à un bilan négatif, c'est-à-dire que les plages s'amaigrissent. Parmi les causes avancées, on retrouve le mauvais état général des récifs nourriciers, aggravé par les actions anthropiques sur les plages (constructions mal maîtrisées et ramassage inconsidéré des blocs coralliens). Il est proposé de :
  - ✓ nettoyer manuellement les plages afin de les débarrasser de tous les détritus d'origine humaine et de rassembler les débris naturels pour les désagréger et les restituer ou bien pour les enfouir dans la plage ;
  - ✓ de revégétaliser les hauts de plage pour retenir les sédiments.

- Suite à cette étude, on assiste de 1994 à 1996 à une prise de conscience sur le risque d'érosion de la part des organismes et institutions locales. Les concertations conduites par la DDE et impliquant le CETE Méditerranée, CLOE, la DIREN, l'Université, l'ONF et le CIRAD ont permis la mise en place de diverses actions de réhabilitation du haut de plage de l'Hermitage :
  - ✓ adoption des pratiques de nettoyage des plages préconisées par l'Université (rapport de 1994) ;
  - ✓ limitation de la circulation des véhicules sur les arrière plages par la délimitation physique, sous forme d'alignements de plots en bois, des aires de stationnement ;
  - ✓ petite opération de reboisement en partie Sud du secteur de plage la plus dégarni et menacé (ONF) ;
  - ✓ essais de rechargement en sables du haut de plage.

  Ces deux dernières actions ont eu un impact très limité en raison de l'importance des surfaces à traiter et de la dynamique sédimentaire qui les affecte.

D'autres propositions n'ont pu être entièrement appliquées :

- ✓ la suppression des obstacles en haut de plage ;
- ✓ les remodelages du haut de plage ;
- ✓ la maîtrise de la fréquentation humaine ;
- ✓ l'information de la population ;
- ✓ la constitution de réserves naturelles ;
- ✓ la mise en place d'une structure de gestion.

Il est aussi fait état des études effectuées par le laboratoire d'Ecologie Marine (ECOMAR) sur le récif corallien depuis 1970 :

- ✓ processus d'évolution régressive des peuplements de bio-constructeurs ;
- ✓ destruction des peuplements coralliens ;
- ✓ pollution des eaux récifales entraînant des perturbations du métabolisme dans les zones polluées ;
- ✓ diminution de l'abondance et de la diversité des peuplements de poissons inféodés au récif corallien ;
- ✓ diminution de l'abondance de certains juvéniles de poissons sur les platiers récifaux.

- En 1996, la SEM balnéaire de Saint-Gilles-les-Bains commande une étude sur « L'aménagement de l'arrière-plage de l'Hermitage ». L'ONF réalise deux avant-projets (1997 et 1998) et réalise une analyse détaillée du site. Le bureau SODEXI (1997) cherche à définir un schéma directeur d'aménagement qui soit avalisé par les différents intervenants.

- En janvier 1997, pour le compte de la DIREN, le bureau OCEA réalise la cartographie des plages à vocation balnéaire de La Réunion.

- En 1997 l'Association Parc Marin (APM) est créée. Elle se positionne comme l'interlocutrice principale des problématiques du littoral « Sous le Vent » à La Réunion. Elle est à la base de la reprise des suivis topographiques des plages coralliennes pendant une période de 3 ans (1998-2001), qu'elle confie au LSTUR. Cela a permis d'établir des bilans sédimentaires, tant saisonniers que globaux, traduisant une atteinte érosive des plages réunionnaises. Les principales observations de cette étude montrent :
  - ✓ que les profils sont souvent amputés de leur arrière-plage, privatisée et cernée par des murs de propriétés. Les « réservoirs sédimentaires » représentés par celles-ci, sont aujourd'hui piégés et ne participent plus aux échanges sableux entre les différents compartiments de la plage qui sont indispensables pour compenser les impacts des régimes hydrodynamiques exceptionnels. L'avancée du bâti sur la plage est parfois telle que seule persiste une zone très étroite et constamment mouillée ;
  - ✓ les grandes fluctuations des profils visibles sur certaines radiales comportent un grand risque d'instabilité pour les constructions qui les jouxteraient de trop près ;
  - ✓ une grande dominance spatio-temporelle de profils de plage sans reliefs et à faible pente. Ils correspondent à des secteurs peu propices aux accumulations sédimentaires qui seraient régulièrement balayés sur toute leur largeur par le

déferlement des vagues. Ce type de plage actuel (au sens strict) correspondrait au reliquat d'un ancien estran dont la partie supérieure et l'arrière-plage sont aujourd'hui « occupées ».

Les causes avancées concernent aussi bien les impacts du changement climatique que ceux directement imputables aux interventions humaines.

- Une étude conjointe des laboratoires LSTUR et ECOMAR datant de 2000 a permis de montrer qu'il existait une relation entre la vitalité des platiers récifaux et l'équilibre sédimentaire des plages. Les récifs en bonne santé joueraient un rôle de protection vis-à-vis des événements hydrodynamiques extrêmes et aussi de source sédimentaire pour les plages. Ce travail montre combien la dégradation des récifs coralliens serait, à long terme, lourde de conséquence pour la stabilité physique de ces littoraux.

4. Présentation des nouveaux résultats axquis

4.1 CAMPAGNE DE MESURES TOPOGRAPHIQUES

Cette campagne a été réalisée par le cabinet de géomètre Talibart, au Tampon. Elle concerne les quatre lagons principaux. Les levés ont été réalisés entre la plage aérienne (zone sous les filaos et la plage *sensu stricto)* et la limite du platier corallien.

Cette campagne a permis de récolter 1578 points de mesure. Chacun de ces points a été rattaché en Z au NGR (système IGN 92) grâce à un cheminement fermé depuis des points NGR connus et en XY, au système Gauss - Laborde Réunion, à l'aide d'un GPS. La méthodologie et l'ensemble des mesures sont présentés en annexe 1.

Ces mesures ont été utilisées pour calculer les pentes des plages sur la majorité du linéaire côtier (cf. étude brgm de la morphologie côtière en annexe 3). Une interpolation de ces mesures a été réalisée à partir du logiciel Surfer 7. La figure 2 présente la bathymétrie du lagon de Saint-Gilles.

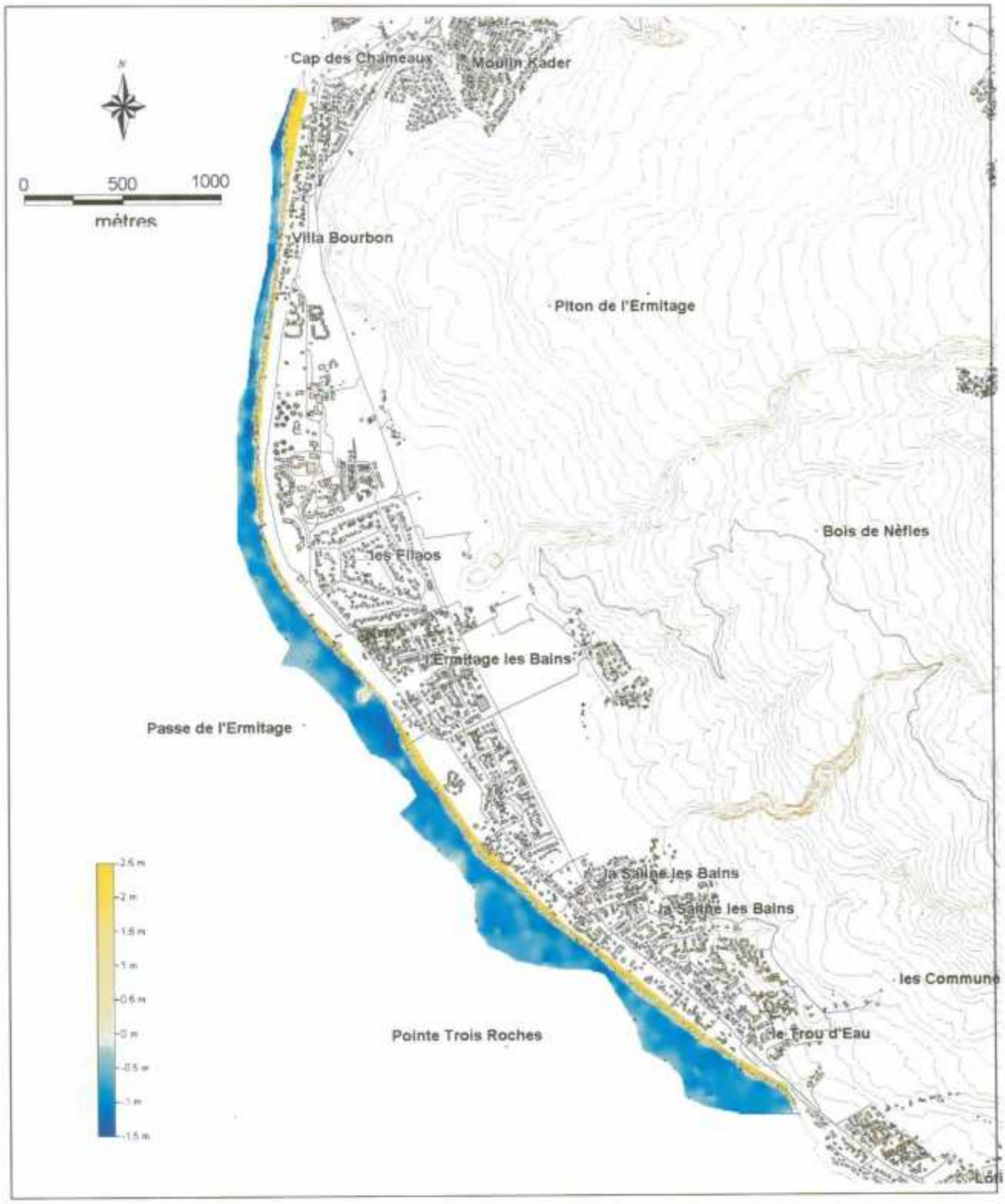


Figure 2 : Interpolation des mesures topographiques sur le lagon de Saint-Gilles

4.2 CAMPAGNE DE MESURES GEOPHYSIQUES

La campagne de géophysique marine réalisé par le GDARGO (Université de Perpignan) fait l'objet d'une étude à part entière présentée en annexe 2.

4.2.1 Méthodologie

La campagne de mesures géophysiques a été réalisée sur une partie du site pilote, de la passe de l'Hermitage à Trou d'Eau, où les conditions environnementales étaient favorables (profondeur d'eau suffisante pour la mise en œuvre des opérations).
L'hétérogénéité du milieu récifal a conduit le GDARGO à retenir deux systèmes sismiques :

- le *mini-sparker* pour obtenir une pénétration permettant de toucher **la base des dépôts meubles** pouvant représenter le prisme sableux littoral et éventuellement l'organisation du récif au-dessus de son substratum rocheux ;

Photo 1 : Electrode du mini-sparker

- le *boomer* pour essayer d'avoir une résolution maximale dans les parties superficielles. Cette technique autorise l'acquisition d'informations détaillées permettant de distinguer les différents faciès sédimentaires dans les parties superficielles.

Photo 2 : Plaque boomer installée sur le radeau et la flûte

Trente transects ont été réalisés (figure 3). Ils se répartissent parallèlement et perpendiculairement au rivage.

4.2.2 Principaux résultats

Les formations géologiques suivantes ont été mises en évidence depuis la base vers le sommet de la coupe :

- un **substratum** dont la limite supérieure est située entre 25 et 30 m de profondeur. Son épaisseur probable est de 30 m, voire plus. Cette formation pourrait correspondre :

  - ✓ soit à des **dépôts sédimentaires détritiques grossiers,** mis en place lors de la baisse du niveau marin du Würm (- 25000 ans à – 18000 ans) et de la remontée qui s'en suivit, les matériaux pouvant résulter du démantèlement par la houle de formations préexistantes et d'apports terrigènes massifs par les ravines et redistribués latéralement par la houle ;

  - ✓ soit à **des basaltes non compacts, par exemple de nature scoriacée** et stratifiés avec un léger pendage vers le large. Ceci pourrait être corrélé avec les résultats acquis dans le forage réalisé par L. Montagionni (1978) dans le lagon, où il est supposé que les basaltes se situeraient à quelques mètres sous le forage (ceci peut être discuté). Il faudrait préciser ce qu'il en est des affleurements sur le récif externe.

- **au dessus de ce substratum** : une formation de quelques mètres d'épaisseur et d'extension limitée entre la limite Sud de Trou d'Eau et le Sud de Planche-Alizés, dont l'origine est encore hypothétique (il pourrait s'agir d'une formation de nature basaltique) ;

- enfin, une **formation probablement sédimentaire et bio-construite** dont la limite supérieure est le fond du lagon. Son épaisseur moyenne serait de 30 m et composée de 3 unités distinctes, qui pourraient être de bas en haut :
  - ✓ une formation largement **bio-construite et / ou cimentée** ;
  - ✓ une formation correspondant à **du matériel bio-détritique emballant des fragments grossiers de coraux ;**
  - ✓ un **corps sableux plus homogène** constituant probablement le prisme littoral dont la base serait à **quelques mètres seulement** sous le fond du lagon. Le stock réellement sableux serait donc très limité et réduit à la frange littorale du lagon. La possibilité de trouver un matériel similaire sur le platier semble peu probable et le cas échéant, il ne s'agirait que de placages épars et de faible épaisseur, non discernés ici.

Il en résulte que les stocks sableux identifiés par la sismique et pouvant participer à la reconstruction des plages, sont très limités.

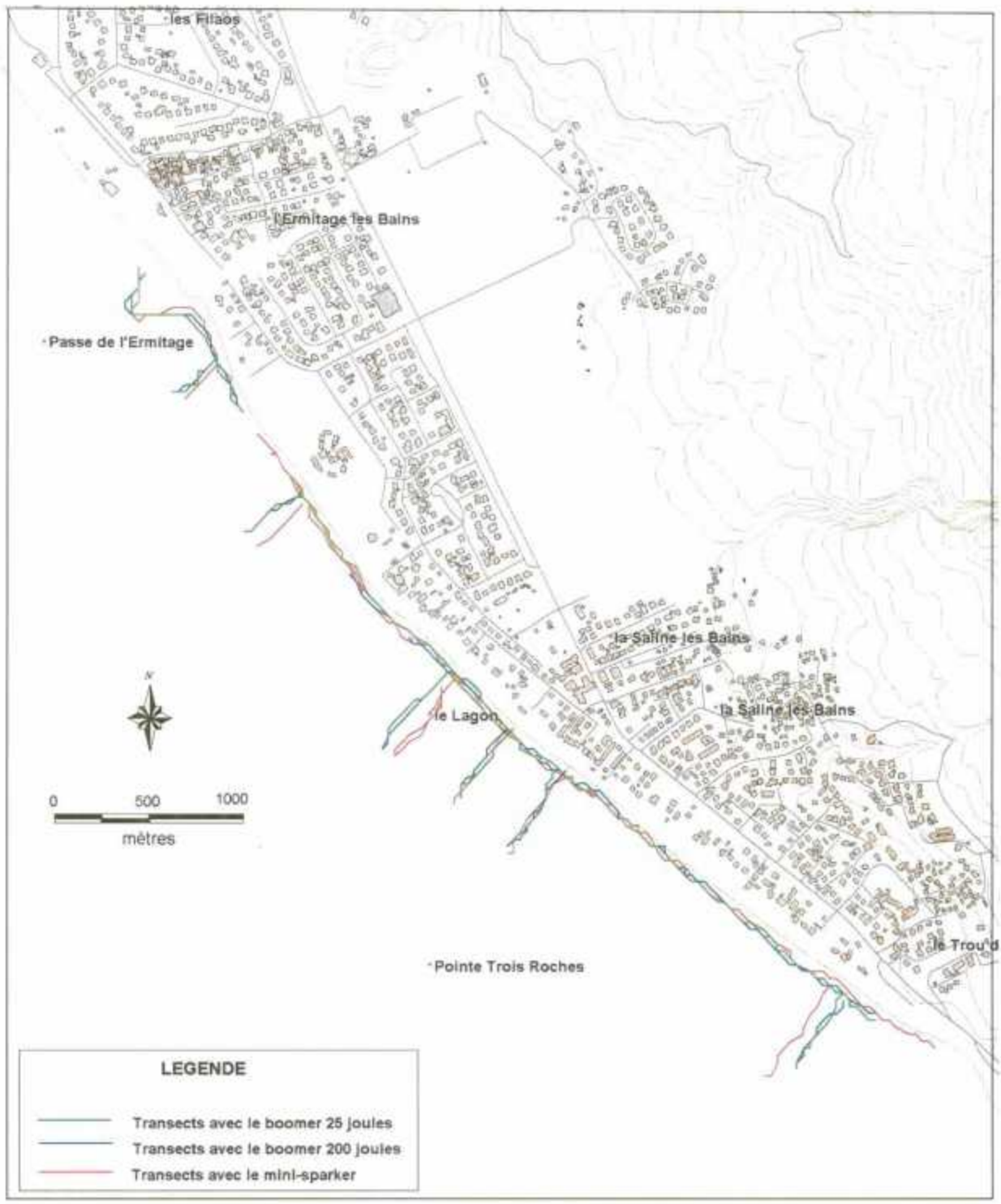


Figure 3 : Localisation des différents transects parallèles et perpendiculaires au rivage réalisés avec les outils sismiques

4.3 ETUDE DE LA MORPHOLOGIE COTIERE

Cette étude fait l'objet d'un rapport détaillé présenté en annexe 3.

4.3.1 Méthodologie

La zone concernée par cette étude s'étend sur un linéaire de 27 km environ et englobe la totalité des plages coralliennes situées en arrière des formations récifales (Saint-Gilles, Saint-Leu, Etang-Salé et Saint-Pierre).

Les **entités morphologiques** communes aux quatre lagons sont représentées sur la figure 4.

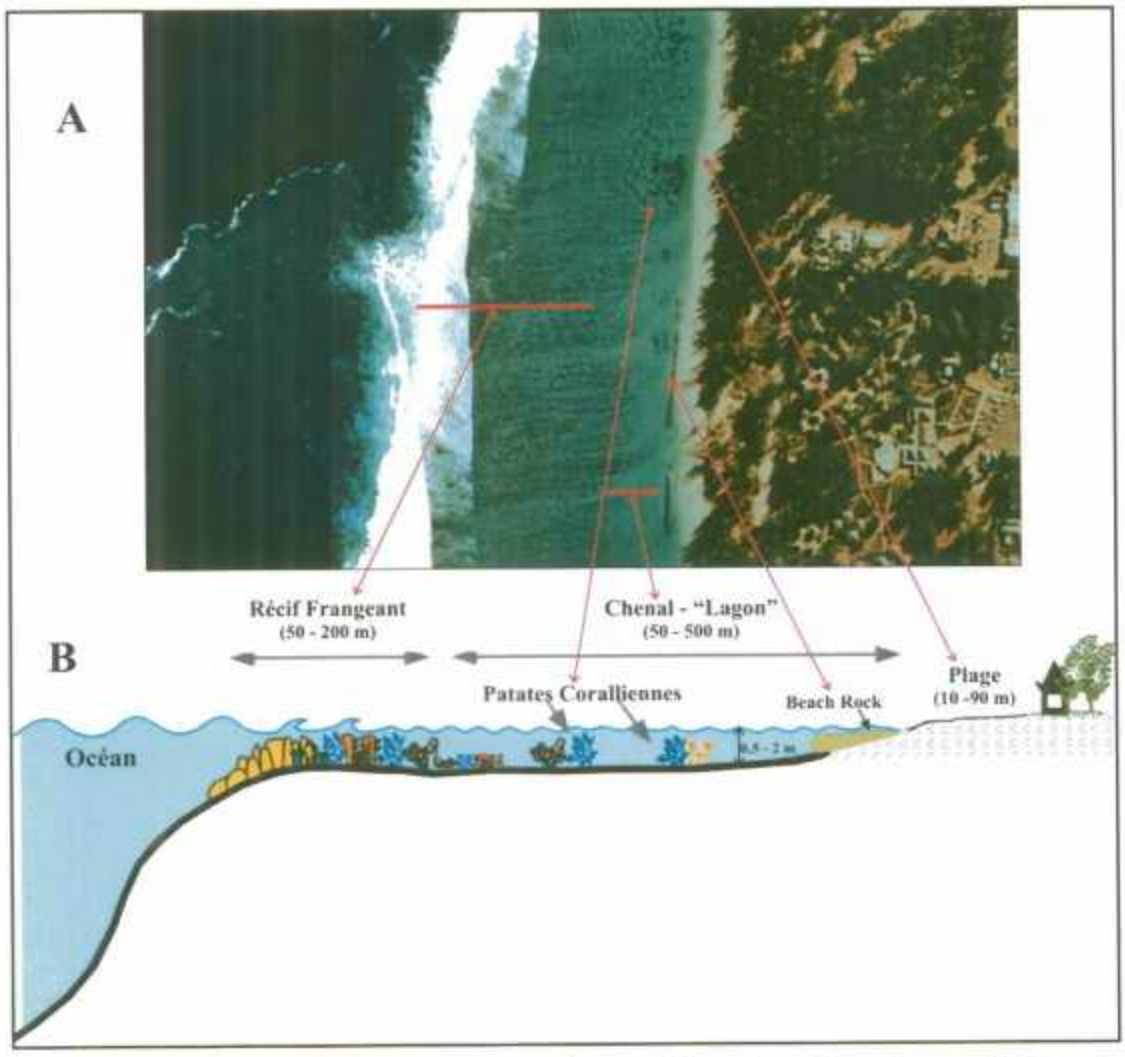


Figure 4 : Entités morphologiques rencontrées au niveau des formations récifales de La Réunion. A : vue aérienne (IGN de 1997). B : coupe longitudinale.

Nous pouvons distinguer de l'océan vers la terre :

- ***le récif*** : il est de type **frangeant** car il est séparé de la côte par un "lagon" de faibles dimensions. Dans certains cas, il peut être directement accolé à la terre émergée. Cette bande récifale, dont la largeur varie entre 50 et 200 m, peut être interrompue par des "**passes**" qui sont des lieux d'échanges privilégiés entre l'océan et le "lagon" ;

- ***le chenal*** : il est de faible profondeur (0,5 à 2 m) et d'une largeur variant de 50 à 500 m. Ce secteur est aussi appelé localement "**lagon**". Ce terme est impropre car il doit être réservé à des dépressions atteignant plusieurs dizaines de mètres de profondeur et s'étendant sur plusieurs kilomètres de largeur. Il est commun de retrouver dans ce milieu des "**patates coralliennes**" qui sont de petites formations coralliennes isolées, ainsi que des "**beach rocks**" ou **grès de plage** ;

- ***la plage*** : elle se compose généralement de sables coralliens et/ou volcaniques, ainsi que de fragments coralliens pluri-centimétriques. Les zones à proximité des caps rocheux et des ravines, sont caractérisées par la présence de blocs et galets d'origine volcanique. La largeur de la plage varie entre 5 et 90 m (à marée basse) en fonction des sites. En arrière de la plage, il se développe généralement une végétation rampante dite "**patates à Durand**" associée, par endroits, à des arbustes et des forêts de **filaos**. Sur les secteurs très touristiques, l'arrière-plage est fortement aménagée (promenades, centres de loisirs, restauration, murs de protection, etc.).

La cartographie des plages récifales a pour but de déterminer les zones en érosion, les zones stables et en accrétion. Plusieurs indicateurs ont été utilisés pour caractériser l'état des plages :

- la position de la ligne de rivage : le linéaire sableux a été suivi à l'aide d'un GPS et le trait de côte associé au linéaire rocheux a été positionné grâce aux ortho-photographies 1997 de l'IGN ;

- la morphologie de la plage : les diverses morphologies que l'on peut retrouver sur les plages réunionnaises étudiées, sont signalées en vert sur la figure 5. Il est important de les identifier sur le terrain et de les répertorier car elles témoignent du régime hydraulique et sédimentaire auquel est soumis le secteur concerné. Il s'agit, toujours de l'océan vers la terre, de : bancs de grès de plage (*beach rocks*), croissants de plage, berme, dunes, débouchés des ravines ;

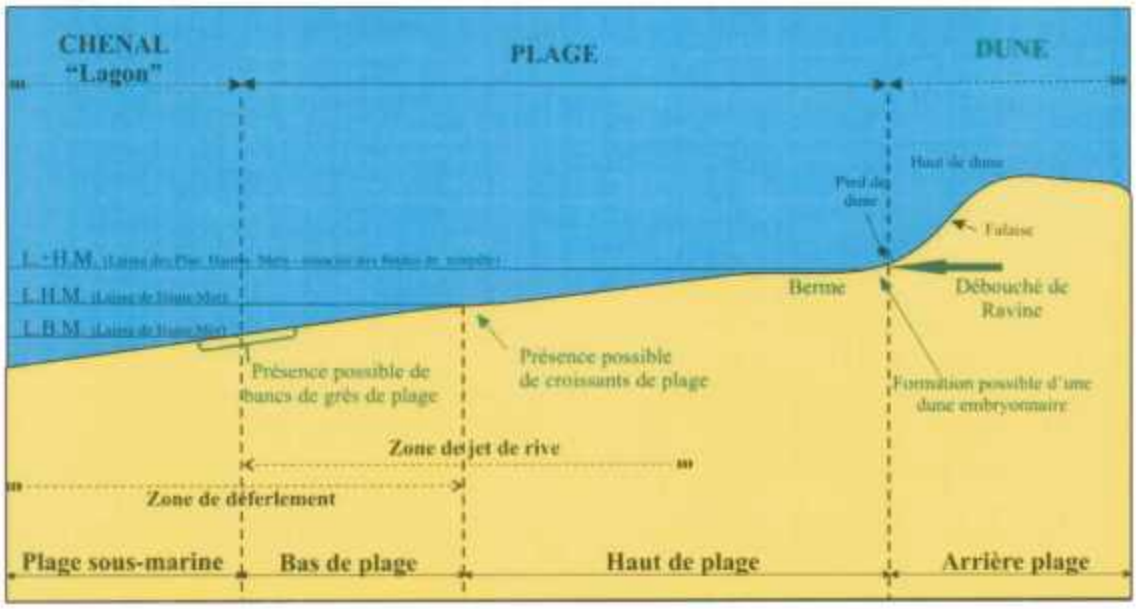


Figure 5 : Morphologie-type d'une plage.

- la granulométrie et la composition lithologique des sédiments qui renseignent sur les conditions hydrodynamiques du milieu lors de la mise en place des dépôts sédimentaires ;

- la limite de la couverture végétale est un indicateur de l'état du milieu. La limite de végétation relevée au cours des observations de terrain a été comparée à celle des ortho-photographies de 1997 ce qui a permis d'observer l'évolution de cette limite sur 5 ans et, ainsi, d'obtenir un indice supplémentaire de la stabilité ou non des plages ;

- les ouvrages de protection et autres aménagements de bord de mer qui influencent à leur proximité, les courants et la circulation des sédiments.

L'ensemble de ces observations de terrain associées à l'analyse des photographies aériennes ont permis de segmenter les zones étudiées en cinq classes qualifiant l'état actuel des plages en terme d'accrétion, de stabilité, de transition et d'érosion plus ou moins prononcée (figure 6). Les levés de terrain ont été reportés sur des cartes au format A0 à l'échelle du 1/5 000.

4.3.2 Principaux résultats

L'analyse des différents indices de l'évolution des plages a permis de mettre en évidence, au moment des levés, le pourcentage de plage présentant des zones en accrétion, stables, en transition, en érosion faible ou prononcée (cf. tableau 1).
Les zones en érosion se situent principalement dans les secteurs aménagés. Dans ce cas, on peut penser que l'érosion est en grande partie imputable aux aménagements côtiers. Dans les zones non aménagées, l'érosion est principalement liée aux conditions hydrodynamiques locales.

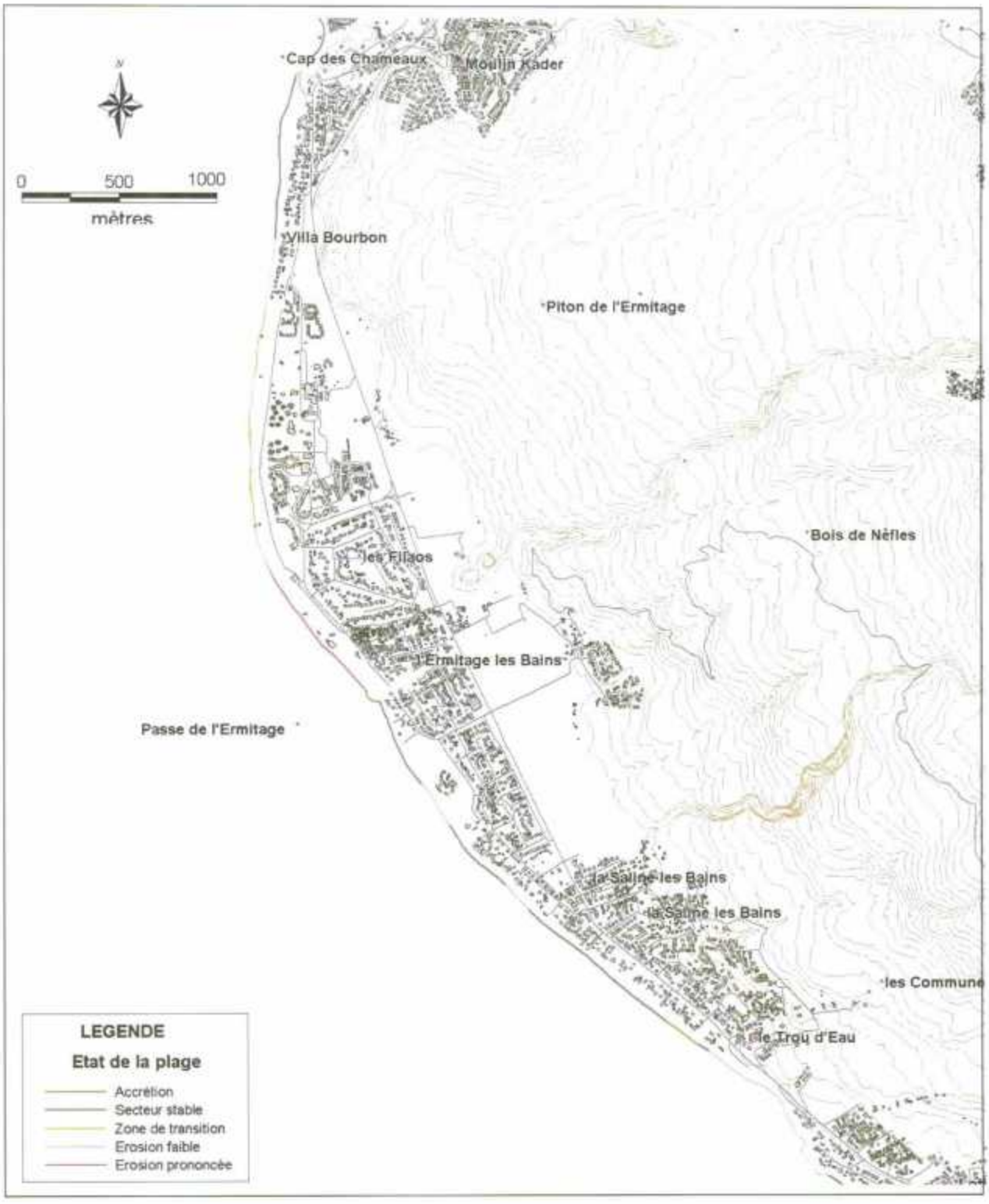


Figure 6 : Extrait de la carte présentée en annexe n°3 « Granulométrie, composition lithologique, morphologie et état des plages » sur le site pilote

	Du Cap La Houssaye à la passe des Trois Bassins (15 km)			**Saint-Leu (6,3 km)**			**Etang-Salé (2,7 km)**			**Saint-Pierre (3,5 km)**		
	Zones aménagées (40%)	Zones non aménagées (60%)	Tout le site	Zones aménagées (31%)	Zones non aménagées (69%)	Tout le site	Zones aménagées (20%)	Zones non aménagées (80%)	Tout le site	Zones aménagées (86%)	Zones non aménagées (14%)	Tout le site
Accrétion	0%	4,5%	2,7%	9,2%	2,4%	4,5%	0%	24,3%	19,4%	0%	0%	0%
Stable	41%	66%	56%	34,4%	49,5%	44,8%	56%	60,9%	59,9%	50,5%	38,2%	48,7%
Transition	7,6%	14,1%	11,5%	6%	5,1%	5,5%	0%	5%	4,0%	0%	61,8%	8,9%
Erosion faible	39%	8,8%	20,8%	37,5%	26,2%	29,7%	44%	2,3%	10,7%	29,3%	0%	25,1%
Erosion prononcée	12,4%	6,6%	9%	12,9%	16,8%	15,5%	0%	7,5%	6,0%	20,2%	0%	17,3%

Tableau 1 : Pourcentage de linéaire côtier présentant des zones en accrétion, stabilité, transition et érosion plus ou moins prononcée

4.4 ETUDE MORPHODYNAMIQUE ET SEDIMENTOLOGIQUE

Ce suivi fait l'objet du rapport présenté en annexe 4. L'étude réalisée concerne les bilans sédimentaires des différentes plages établis à partir des suivis topographiques, la granulométrie de surface du site pilote et la répartition des sédiments en subsurface en quelques points de sondage.

4.4.1 Suivis topographiques et bilans sédimentaires des plages

a) Méthodologie

Un ensemble de 40 profils a été implanté sur les 27 km du linéaire côtier étudié (Saint-Gilles, Saint-Leu, et Saint-Pierre, cf. figures 7, 8 et 9). Le LSTUR réalise le suivi de ces profils depuis 1992. Les derniers relevés ont été effectués en juillet 2002 et ont été comparés aux mesures de février 2002.

La méthode employée consiste à mesurer le dénivelé d'une plage à partir d'un point de référence, par visées successives entre deux piges distantes d'un mètre, le long d'une radiale de direction connue. Le point de référence est un point fixe supposé stable dans l'espace et dans le temps (marche d'escalier, sommet d'un mur, etc....).
La première mesure le long du profil se fait toujours à partir de ce point. Le dernier point est mesuré, quand c'est possible (absence de grosse houle), au niveau du petit ressaut de marée basse.

Cette méthodologie permet de calculer les bilans sédimentaires le long des profils, ce qui revient à quantifier les zones en érosion et en engraissement le long d'une radiale perpendiculaire à la plage pendant une période de temps bien précise. Cela diffère de l'approche qualitative menée lors de l'étude morphologique qui concerne l'ensemble de la plage (perpendiculaire et transversalement) et qui englobe des échelles de temps pouvant être saisonnières à pluriannuelles en fonction de la dynamique locale. Les différents levés effectués permettent d'évaluer le comportement des profils de plage à des échelles :

- saisonnières : grâce à la comparaison des derniers levés, à savoir en octobre et décembre 2001, février et juillet 2002 ;
- pluriannuelles : comparaison des levés de juillet 1998 et de juillet 2002.

b) Bilans sédimentaires saisonniers (regroupement de radiales)

- **octobre à décembre 2001** : on remarque un engraissement significatif et généralisé des estrans dans la partie N/NO, c'est-à-dire de Maharani au poste M.N.S de l'Hermitage, ainsi que pour les zones des plages Corail et Grand Bois. A l'opposé, on observe un faible engraissement, voire un amaigrissement, pour la partie sud de la passe de l'Hermitage (ON.F à Trou d'eau), St Leu, St Pierre et Grande Anse.
- **décembre 2001 à février 2002** : ce constat est inversé . On assiste pour la partie N/N.O. à un amaigrissement de Maharani au poste M.N.S de l'Hermitage, de même que sur Grande Anse.

Cependant, à partir du point « ONF » et ce jusqu'à Grand Bois, un engraissement relatif se maintient.

- **février à juillet 2002** : on constate un engraissement de Maharani à Grand Fond (excepté Boucan plage) et, pour Saint-Gilles Roches Noires, les Brisants, Saint-Leu cimetière et Grand Bois. Par contre, toute la zone de l'Hermitage/La Saline, la Souris chaude et Saint-Leu (Saint-Leu cimetière exclu) s'érode. C'est aussi le cas pour Saint-Pierre et Grande Anse. La tendance globale correspond à l'érosion, puisque douze portions de plages sur vingt sont en déficit sédimentaire. Il apparaît donc que le NO (excepté Boucan plage) a bénéficié d'un apport de sédiments, tandis que la partie O/SO s'érode.

Globalement ces données révèlent que, hors période cyclonique, la partie O/NO du linéaire étudié s'engraisse et que la partie O/SO s'érode. Cette tendance s'inverse lors de la saison cyclonique.

c) Bilan sédimentaire pluriannuel : juillet 1998 à juillet 2002

En comparant les radiales à quatre années d'intervalle, on peut espérer extraire la tendance générale du comportement des plages, c'est-à-dire en dehors des influences saisonnières. Les résultats montrent que :

- 45 % des radiales étudiées sont en situation d'érosion ;
- 42,5 % des radiales sont en situation d'engraissement ;
- 12,5 % des radiales sont en situation de stabilité.

De plus, on note une tendance globale à l'érosion sur l'ensemble des secteurs étudiés depuis 1998.

4.4.2 Granulométrie de surface et répartition sédimentaire en subsurface

L'étude granulométrique porte uniquement sur les 8 profils topographiques présents sur le site pilote. Au niveau de chaque radiale, 4 échantillons régulièrement espacés entre le bas et le haut de plage, ont été prélevés. Ceci correspond à un total de 32 échantillons, tous effectués le 12 août 2002.

L'analyse de ces prélèvements montre :

- qu'il existe presque toujours une fraction terrigène mais qu'elle est très minoritaire par rapport à la fraction corallienne ;
- la présence de sables grossiers en estran inférieur et de sables moyens dans la partie supérieure. Ce granoclassement traduit la dispersion des particules sous l'action des tris hydrodynamiques et éoliens dans le sens des profils.

Répartition sédimentaire en subsurface : les essais de sondage à la tarière n'ont pas été probants si bien que l'étude s'est limitée à l'analyse de quatre affleurements et de deux sondages déjà existants (effectués par le brgm). Ils révèlent l'existence de niveaux de galets de basaltes surmontés de séries de sables coralliens pouvant comporter des débris de coraux décimétriques. Ces séries sédimentaires indiquent que les plages du littoral réunionnais sont récentes et soumises à des régimes hydrodynamiques sévères à occurrence saisonnière.

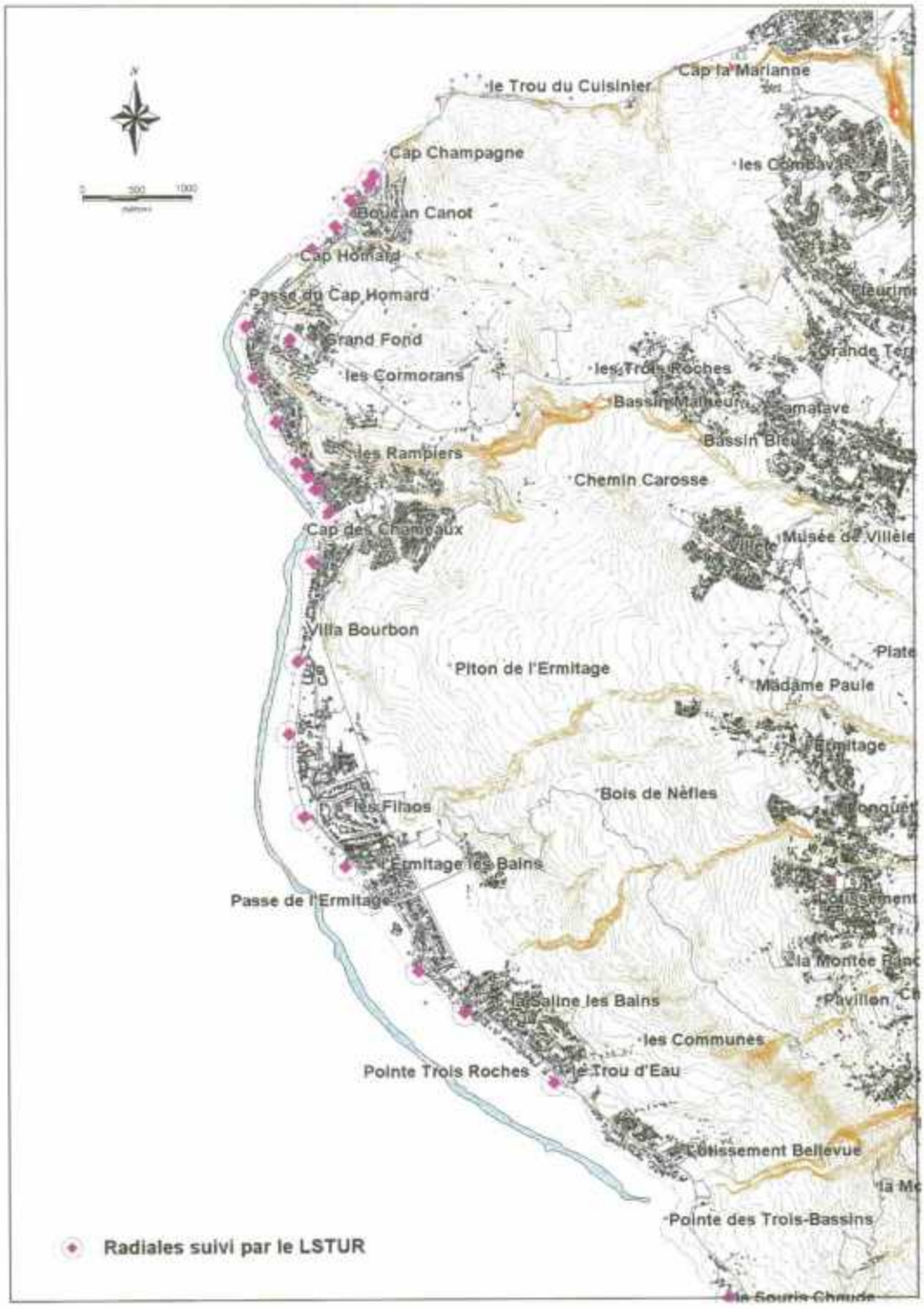


Figure 7 : Localisation des radiales sur le secteur de Saint-Gilles

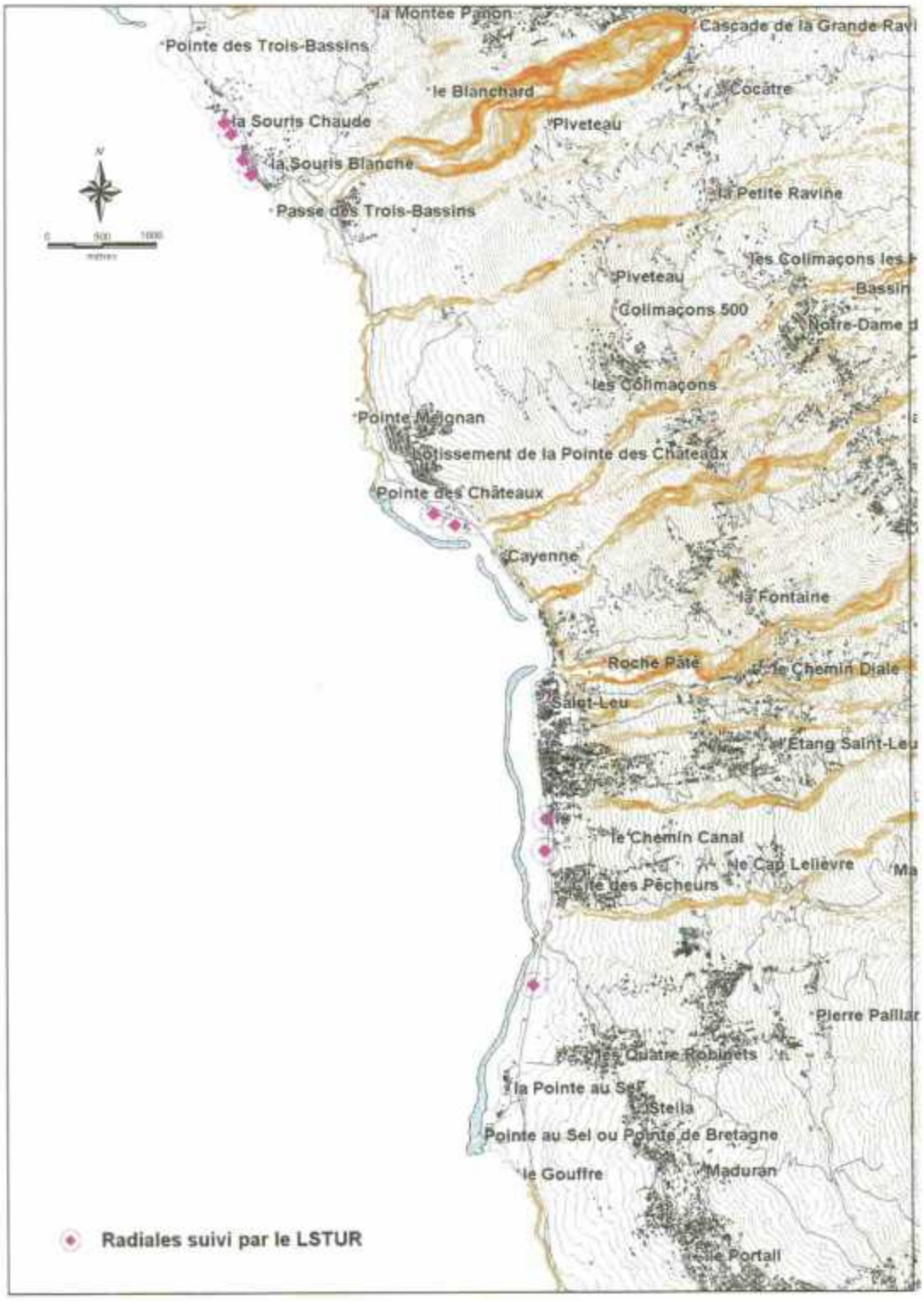


Figure 8 : Localisation des radiales sur le secteur de Saint-Leu

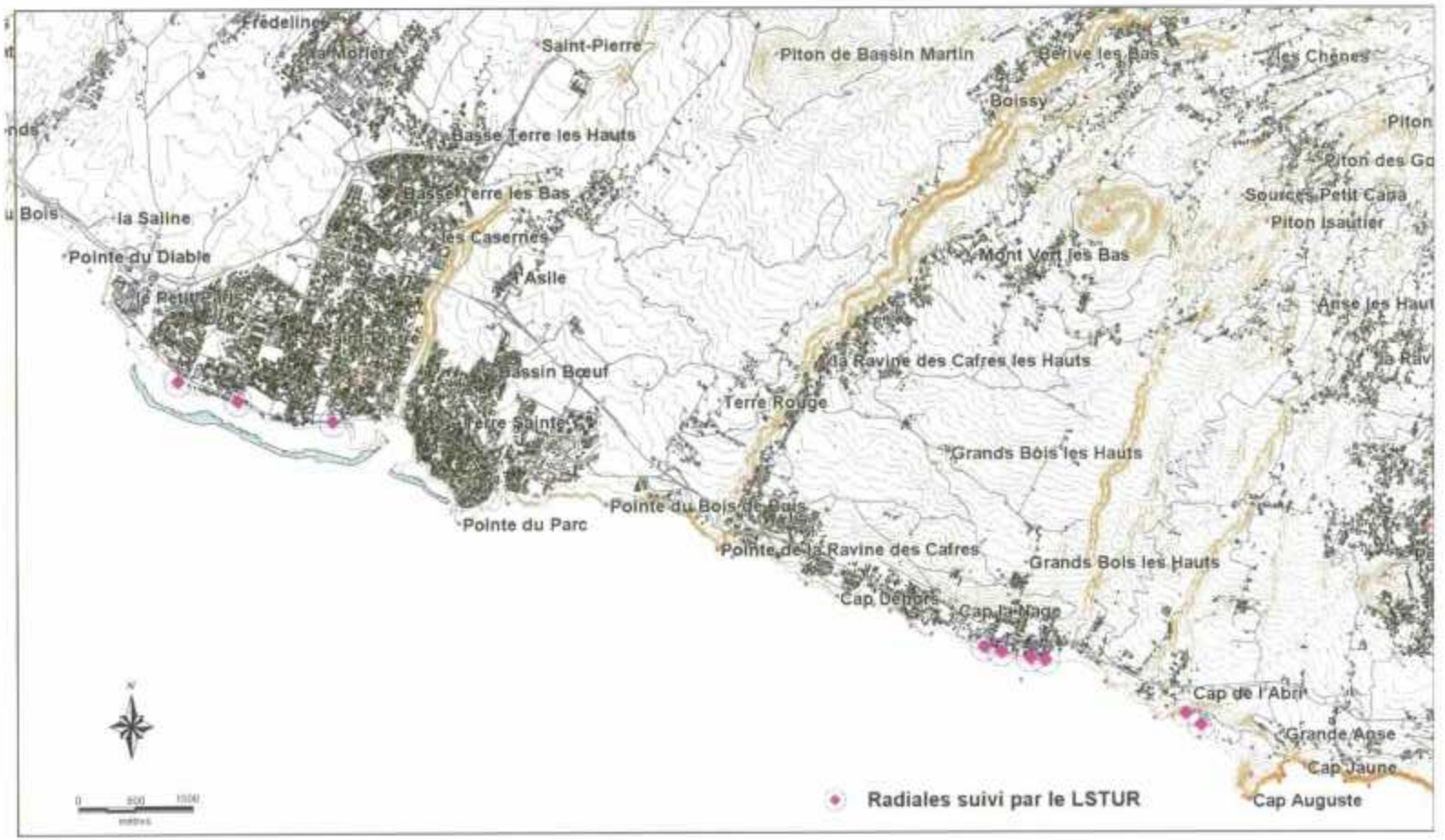


Figure 9 : Localisation des radiales sur le secteur de Saint-Pierre

5. Conclusions et perspectives

L'ensemble des résultats des différentes contributions de cette étude à caractère méthodologique mettent en évidence, sur **le site pilote de l'Hermitage/La Saline les Bains**, les points suivants :

1) **le stock sableux disponible est très réduit et limité au prisme littoral**. Il est peu probable que ce stock soit en équilibre avec la dynamique actuelle du système. Il s'est, en grande partie, constitué progressivement pendant toute la croissance du récif. Le volume de matériel qui est produit par le démantèlement du platier et qui vient s'y incorporer, doit être réduit. Dans un récif en bonne santé, les apports doivent compenser les pertes dues aux agents dynamiques naturels paroxysmaux (cyclones). Le platier en bonne santé amortit les houles et protège le prisme littoral, en même temps qu'il fournit le matériel qui peut compenser les pertes. Un platier en dégénérescence ne protège plus le prisme et ne le nourrit plus. Une étude conjointe des laboratoires LSTUR – ECOMAR a permis de montrer qu'il existait effectivement une relation entre la vitalité des platiers récifaux et l'équilibre sédimentaire des plages, dans un contexte particulier de récif étroit et exposé à des régimes houlographiques puissants. » **Les meilleures conditions pour protéger le prisme littoral sont probablement de favoriser tout ce qui peut contribuer à développer la croissance du récif et sa bonne santé, en conjuguant cela avec une protection optimale du prisme littoral contre les atteintes liées à l'urbanisme ;**

2) on observe une alternance saisonnière de phases d'érosion et d'engraissement qui correspondent respectivement à la période cyclonique et la période hivernale. Cependant, on peut noter une tendance générale des profils étudiés, à l'engraissement. **Une approche statistique du calcul des bilans sédimentaires reste à approfondir sur la base de l'acquisition d'un nombre de profils de plages de plus en plus significatif. L'évolution morphologique des radiales ne traduit pas l'évolution globale de la plage, mais plutôt une tendance qu'il conviendra de préciser. Il faudra par conséquent, lors des prochaines campagnes de mesures, resserrer les radiales afin de travailler sur des volumes de plages complets pour obtenir des bilans plus représentatifs de l'évolution des plages ;**

3) **les zones stables sont les plus nombreuses (56%)**. L'érosion est faible dans 20,8% des cas et prononcée sur 9% des plages. Les zones en accrétion sont très limitées puisqu'elles ne représentent que 2,7%. Les autres plages sont dans un état de transition (11,5%). En considérant uniquement les zones aménagées (40% des plages du site), il est possible de constater que la proportion des plages en érosion est plus élevée, puisque 39% d'elles connaissent une érosion faible et 12,4% une érosion prononcée. La stabilité ne concerne que 41% des zones.

Constat : le site pilote est actuellement stable, voire en légère accrétion. **Néanmoins cette tendance générale est amenée à s'inverser** et cela pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les stocks sableux pouvant participer à la reconstruction des plages sont très limités. D'autre part, l'état des estrans est fortement dépendant de la vitalité du récif, qui assure un rôle de protection et de source sédimentaire. Or, plage et récif constituent un milieu fragile car fortement exposé **aux interventions humaines** (pollution des eaux, progression du bâti, modification des conditions de ruissellement, etc.) et aux **conséquences du changement climatique**. Sur ce dernier point, il est important de signaler que depuis le dernier rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) datant de 2001 et faisant intervenir près de 2500 chercheurs, il existe désormais un consensus sur les causes et les conséquences potentielles du changement global. Parmi ces dernières, celles susceptibles d'influencer grandement les littoraux de l'île de la Réunion sont :

- **l'augmentation du CO2 dans l'atmosphère** : des observations récentes ont mis en évidence que la calcification des organismes récifaux dépendait du taux de saturation des carbonates dans l'eau de mer et que cette saturation avait tendance à chuter pour maintenir l'équilibre avec la concentration de CO2 atmosphérique qui est en hausse. Ces études prévoient sur plusieurs dizaines d'années une baisse du taux de calcification des récifs comprise entre 17 et 35%. En étant moins dense, la structure récifale sera plus vulnérable à l'action des vagues et à la bio-érosion ;

- **l'augmentation de la température de l'eau** : celle-ci prévue d'ici une cinquantaine d'années pourrait être néfaste à la survie des coraux puisque la limite de tolérance serait durablement dépassée. En outre, la hausse de la fréquence et de l'ampleur des événements particulièrement chauds (El Niño) qui est annoncée, renforcera les périodes de blanchissement des coraux, pouvant causer par endroits leur disparition ;

- **l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des cyclones** : elle est prévue avec une certitude de 66 à 90%. Ces événements extrêmes engendrent des houles hautement énergétiques et des surcotes marines dégradant fortement les récifs et les estrans. Les études montrent que la régénération des récifs détruits, de 50% à 100%, dépend de la capacité d'adaptation des coraux dominants et du régime hydrodynamique local. Le temps de régénération se situerait alors dans une fourchette de 5 à 40 ans ;

- **le niveau de la mer** : il devrait augmenter, d'après les projections qui ont été faites, suivant un taux variant entre 0,81 mm/an et 8 mm/an. Cette élévation peut, à moyen et long termes, être un facteur de stress pour les coraux, et renforcer l'impact des cyclones ;

- **le renforcement du cycle hydrologique** : l'augmentation des intensités moyenne et maximale des précipitations (66 à 90% de chances d'après les projections) aura pour effet de diminuer momentanément la salinité des eaux et d'accroître les apports en sédiments terrigènes qui sont deux facteurs supplémentaires de stress pour les récifs.

A la lumière des résultats acquis et des constatations faites dans cette étude, deux objectifs principaux s'imposent à nos yeux pour les années à venir car ils sont indispensables à une gestion durable du milieu corallien :

- **préciser la relation récif-plage** : c'est-à-dire décrire, comprendre et quantifier les mécanismes à la base du rôle de protection et de source sédimentaire que le récif a vis-à-vis de la plage ;

- **établir le bilan sédimentaire complet du domaine littoral à une échelle saisonnière et annuelle** : cela implique de quantifier les volumes sédimentaires qui sont injectés dans le système lagon-plage (en provenance des terres et des récifs), ceux qui sont perdus (en direction des terres et expulsés vers le large) et ceux qui transitent à l'intérieur de ce système en identifiant les zones de transport, de dépôt et d'érosion. Cela doit tenir compte des conditions environnementales saisonnières et moyennées sur plusieurs années.

Une réflexion générale est à conduire par les différents acteurs concernés afin de détailler les moyens à mettre en œuvre pour accomplir ces objectifs. Cependant, il est d'ores et déjà possible :

- **d'exprimer la nécessité de se rapprocher de la communauté scientifique travaillant sur les récifs** en encourageant les études pluridisciplinaires ;

- **d'exprimer le besoin de constituer une base de données homogène** et exhaustive incluant aussi bien les recherches menées sur les plages que sur les récifs. Ces données devront être bien documentées (conditions des mesures, marges d'erreur, périodes couvertes, etc.) afin de faciliter leur utilisation. Cette base servira, entre autres, à constituer un Système d'Information Géographique, utile à l'analyse des données et à la divulgation des recherches ;

- **d'améliorer les systèmes d'observation du milieu** :

  - ✓ **mesures *in situ*** : il est nécessaire d'établir ou de poursuivre un suivi régulier et pérenne des profils de plage et des paramètres physiques et hydrodynamiques, tels que la température et la salinité de l'eau (dans le lagon), et l'amplitude, la direction et la période de la houle (extérieur du lagon), etc. Ces mesures doivent être complétées par des campagnes de mesures ponctuelles, visant à mettre en évidence des phénomènes bien ciblés : circulation hydrosédimentaire en période cyclonique, amortissement de la houle par le récif, etc. Des moyens particuliers seront mis en œuvre lors de ces campagnes (déploiement de courantomètres, marégraphes, houlographes, stations multiparamètres, plongées sous-marines, etc.) ;

  - ✓ **mesures aériennes et spatiales** : elles sont déjà très utiles pour la cartographie des différents milieux (récifal, estrans, végétation, etc.). Cependant, elles peuvent aussi nous renseigner sur la qualité du milieu (température, salinité, productivité, pollution, turbidité), les conditions dynamiques (vents à la surface de l'océan, champs de houle, courants de surface), sur l'état du récif et la bathymétrie. Un important travail doit être effectué pour identifier les capacités des capteurs embarqués (satellites et aéroportés) existants, récents et à venir et pour calibrer ces données avec les mesures *in situ*.

A court terme, il est envisageable de quantifier les tendances déjà mises en évidence (recul ou avancée du trait de côte, volumes sédimentaires déplacés, etc.) et d'autre part, de les mettre en relation avec l'hydrodynamique locale. Le premier de ces volets peut être abordé en traitant les profils topographiques pluriannuels réalisés par le LSTUR et en analysant les campagnes de photographies aériennes multi-dates. Le deuxième volet nécessite la mise en place, sur des zones ateliers, de mesures de houle (à l'extérieur du récif et dans le lagon) et de courants (dans le lagon) associées à des levés topographiques synchrones.

L'ensemble de ce programme d'étude justifierait de faire l'objet d'un projet pluriannuel.