RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Cerema

DYNAMIQUES ET ÉVOLUTION DU LITTORAL

SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES

de La Réunion

Actualisation du Catalogue sédimentologique des côtes françaises

Fascicule 17

Collection | Connaissances

Dynamiques et évolution du littoral

Fascicule 17 : Synthèse des connaissances de La Réunion

Collection | **Connaissances**

Édition Cerema
Cerema Eau, mer et fleuves – 134, rue de Beauvais – CS 60039 – 60280 Margny-lès-Compiègne Tél : +33(0)3 44 92 60 00
Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

L'ouvrage est une œuvre collective réalisée sous la direction du Cerema.

Le pilotage général de la collection Dynamiques et évolution du littoral et sa coordination ont été assurés par Amélie ROCHE et Boris LECLERC (Cerema Eau mer et fleuves), avec la participation de Julian DAVID, Yann DENIAUD (Cerema Eau mer et fleuves).

Comment citer cet ouvrage :
Cerema. Dynamiques et évolution du littoral
Fascicule 17 : Synthèse des connaissances de La Réunion
Cerema, 2020. Collection : Connaissances. ISBN : 978-2-37180-345-9

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Avant-propos

Comprendre les mécanismes d'évolution du littoral est un préalable indispensable à la gestion et à l'aménagement durables de ce milieu particulièrement attractif et complexe. À cet effet, le développement et le partage de la connaissance disponible sur ces phénomènes et les facteurs qui y contribuent constituent une priorité de la Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte et de ses programmes d'actions successifs.

Ces éléments d'information étaient disponibles jusqu'à présent en métropole au travers des documents de synthèse constitutifs du « Catalogue sédimentologique des côtes françaises » établi entre 1985 et 1995 par les grands laboratoires d'hydraulique (LCHF, LNH, Sogreah), le BRGM en Corse et l'Université de Bordeaux I. Partant du double constat d'un éparpillement des données et d'une multiplication des acteurs sur le littoral, une enquête réalisée en 2012 a confirmé l'intérêt d'une actualisation de ces documents et de leur extension sur les outre-mer. Ainsi, 17 documents locaux, 10 métropolitains et 7 ultramarins, sont établis. Ils présentent les principales données et études de référence dans une nouvelle collection « Dynamiques et évolution du littoral ». Ils sont complétés par un fascicule national permettant d'illustrer les spécificités et caractéristiques des littoraux français. Chaque fascicule a été réalisé par un comité de rédaction, sous la direction conjointe d'un membre du Cerema et d'un acteur local de référence sur le littoral.

Résumé

La collection **« Dynamiques et évolution du littoral »** rassemble et synthétise les connaissances disponibles afin de faire ressortir, à partir de leur examen, les points essentiels explicatifs de l'évolution du littoral français. Elle comprend ainsi **10 fascicules métropolitains** et **7 fascicules ultramarins** correspondant aux « provinces sédimentaires françaises », et un fascicule de synthèse national. Chaque fascicule local est organisé en cinq grands chapitres thématiques, présentant **le contexte physiographique** de la province (principales caractéristiques géologiques et morphologiques et habitats naturels participant à l'évolution du littoral), **les facteurs hydrodynamiques** (principaux facteurs exogènes tels que les paramètres climatiques, les niveaux et courants marins, les vagues et l'hydrologie des principaux cours d'eau), **les données sédimentologiques** (nature et répartition des sédiments sur les côtes et les fonds marins, ainsi que leurs mouvements le long du littoral), **l'impact des activités anthropiques** (principaux aménagements réalisés sur les côtes et leur impact sur l'évolution du littoral, ainsi que les mesures prises pour limiter ces impacts) et enfin **l'évolution du littoral et des fonds** (bilan des tendances passées d'évolution, ainsi que mouvements sédimentaires ponctuels liés au passage d'événements tempétueux morphogènes). Ces chapitres traduisent l'état des connaissances actuelles et évaluent la sensibilité du littoral aux dérèglements climatiques en cours. Ces documents pointent également les secteurs et thématiques où les connaissances sont faibles ou en voie d'approfondissement.

La « Synthèse des connaissances de l'île de La Réunion » constitue le dix-septième fascicule de la collection « Dynamiques et évolution du littoral ». Il présente dans un document unique à la fois les caractéristiques de ces côtes, leurs évolutions passées et actuellement constatées mais se projette également dans l'avenir en proposant, sur la base des connaissances les plus récentes, une analyse prospective des évolutions à venir. L'objectif est d'offrir un socle de connaissances suffisant pour comprendre les phénomènes en cours sur le littoral et se préparer aux évolutions de demain.

Conseil au lecteur

La lecture et l'exploitation de ce document technique nécessitent de disposer de connaissances préalables sur le fonctionnement des littoraux, telles que celles exposées dans l'ouvrage de référence « La gestion du trait de côte » (MEEDDM, 2010) ou dans les fiches techniques du fascicule national de la collection « Dynamiques et évolution du littoral ». Ces éléments sont disponibles sur les sites Internet du ministère en charge de l'environnement (https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr), du Cerema (http://www.cerema.fr/) ou le portail Géolittoral (www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr). Par ailleurs, toutes les cartographies présentées dans ce document sont disponibles en ligne sur le site Géolittoral dans un atlas cartographique et dans une cartographie dynamique. Avertissement : certaines figures qui illustrent ce document peuvent être de moindre qualité à l'impression, elles ont toutefois été conservées au vu de leur intérêt.

Remerciements

Organisation du projet

Le Ministère en charge de l'environnement a confié la réalisation de la collection « Dynamiques et évolution du littoral. Synthèse des connaissances des côtes françaises » au Cerema. Le pilotage général de la collection et sa coordination ont été assurés par Mme Amélie ROCHE et M. Boris LECLERC (Cerema Eau, mer et fleuves), avec la participation de MM. Julian DAVID, Yann DENIAUD du Cerema, Eau mer et fleuves.

L'atlas cartographique et la cartographie dynamique accompagnant le projet ont été réalisés et coordonnés par M. Pierre VIGNE, M. Maxime JOBIN et Mme Fanette BARRAQUET-PORTE du Cerema Normandie-Centre et Mme Isabelle ROUX du Cerema Méditerranée.

M. Franck BARAER a coordonné la contribution apportée au projet par Météo-France. Mmes Bénédicte EZVAN et Agnès LAURE ont coordonné la contribution apportée au projet par le Shom. Mme Laure SIMPLET et M. Mickaël VASQUEZ ont coordonné la contribution apportée au projet par l'Ifremer.

L'ensemble des publications et des cartographies ont fait l'objet d'une relecture et vérification par le Comité scientifique de la Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte qui a suivi, de 2012 à 2016, l'ensemble des réalisations scientifiques et techniques de l'axe A du programme d'actions 2012-2015 de cette stratégie. Ce comité, présidé par M. Stéphane COSTA, professeur de géographie de l'université de Caen-Normandie, a associé (par ordre alphabétique) : Mme Maëlle ALLAIN (MEEM/DGALN/DEB), Mme Yvonne BATTIAU-QUENEY (EUCC-France), M. Eric BRUN (MEEM/DGEC-ONERC), Mme Florence CAYOCCA (Ifremer), M. Christophe DELACOURT (univ. Bretagne Occidentale), Mme Virginie DUVAT (univ. La Rochelle), M. Jérôme DUVERNOY (MEEM/DGEC-ONERC), M. Gérald GARRY (MEEM/DGALN/DHUP), M. Loïc GOUGUET (ONF), M. David GOUTX (Météo-France), M. Pol GUENNOC (BRGM), M. Thierry HUBERT (MEEM/DGPR), Mme Gwenaële JAN (Shom), M. Boris LECLERC (MEEM/DGPR), M. Sylvain MONDON (MEEM/DGEC-ONERC), Mme Hélène MONTELLY (MEEM/DGALN/DEB), Mme Sabine MORAUD (MEEM/DGALN/DEB), M. Carlos OLIVEROS (BRGM), Mme Laure SIMPLET (Ifremer), M. Pierre VIGNE (Cerema) et M. Patrice WALKER (Créocéan).

Réalisation du fascicule 17

Ce document « Synthèse des connaissances de l'île de La Réunion » a été coordonné par :

M. Sylvain LENDRE du Cerema – DtecEMF/ER/RHA ;
M. Frédéric PONS du Cerema – DterMED/DREC/SLIRH.

Ils ont animé de 2017 à 2019 le comité de rédaction « La Réunion » qui avait en charge la réalisation de ce fascicule. Ce comité a recueilli les contributions de plusieurs experts et scientifiques intervenant sur l'île de La Réunion et l'océan Indien.

Contributeurs du fascicule 17

Le Ministère en charge de l'environnement, MM. Sylvain LENDRE, Frédéric PONS et Mme Amélie ROCHE remercient l'ensemble des coordonnateurs de chapitre, rédacteurs, relecteurs, fournisseurs de données, de références bibliographiques et d'illustrations pour leur contribution à l'établissement de ce document de référence.

Pour la production de la collection Dynamiques et évolution du littoral le Cerema a pu compter sur la participation des institutions suivantes sur l'ensemble du territoire :

Pour la rédaction de ce fascicule le Cerema a pu compter sur la participation de :

1 Présentation

La collection « Dynamiques et évolution du littoral » a pour but de rassembler les connaissances disponibles actuellement et de faire ressortir, à partir de leur examen, les points essentiels explicatifs de l'évolution du littoral français. Ce fascicule relatif à l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon, synthétise les principales études et données existantes sur ce territoire afin de poser un diagnostic partagé de l'évolution de l'unique territoire français d'Amérique du Nord. Ce document pointe également les zones d'étude et les thématiques où les connaissances sont faibles ou en cours d'approfondissement.

Devenue définitivement française en 1642, La Réunion fait aujourd'hui partie des cinq Départements et Régions d'Outre-mer que compte la France. L'île, localisée dans le sud-ouest de l'océan Indien à environ 700 km à l'est de Madagascar, est distante de plus de 9 380 km de Paris et de 170 km de l'île la plus proche, l'île Maurice. D'une superficie de 2520 km², il s'agit là de la partie émergée d'un des plus grands et des plus actifs volcans du monde.

L'île volcanique tropicale offre un linéaire cumulé de 256 km de côtes diversifiées et présente à la fois des petites falaises basaltiques et des bandes de galets approvisionnées en matériel alluvial, à l'exception de la côte occidentale qui abrite des plages de sable blanc corallien protégées par des récifs frangeants.

Globalement orientée nord-ouest – sud-est, l'île peut se diviser en trois grandes unités morphosédimentaires : la façade nord et est avec des zones meubles dominantes qui correspondent majoritairement aux formations géologiques du massif du Piton des Neiges, depuis le cap la Houssaye (Saint-Paul) à la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) ; la façade sud et est avec des zones rocheuses basaltiques continues qui correspondent aux formations géologiques les plus récentes du massif de la Fournaise, depuis la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste du Piton de Grande Anse (Petite-Île) ; la façade ouest avec des zones récifales coralliennes discontinues formées par des récifs frangeants de taille variable à l'ouest et au sud-ouest de l'île, depuis le cap Auguste au cap la Houssaye.

Les côtes réunionnaises évoluent encore naturellement sur la majeure partie du territoire (86 %), où seuls quelques secteurs artificialisés, majoritairement localisés sur les façades ouest et nord, viennent se substituer au linéaire côtier (14 %). Sur les dernières décennies, près des six dixièmes des côtes de l'île ne semblent pas avoir évolué de façon perceptible. Cependant, ces chiffres masquent des différences très marquées selon les types de côte considérés : bien que 62,7 % des côtes meubles semblent demeurer stables ou avoir progressé, ce sont pas moins de 63 % des côtes mobiles qui sont en érosion.

Les cordons de galets et les plages sableuses de La Réunion sont parcourus par un transit littoral à la source de dynamiques et d'instabilités caractéristiques des côtes basses. Les flux sédimentaires longitudinaux s'exercent principalement du sud/est vers le nord/ouest le long du littoral et sont convergents au niveau du cap la Houssaye et de la pointe des Galets. Régulièrement exposées à une agitation océanique très énergique (houles australes) et traversées par des cyclones ou des tempêtes tropicales, les côtes meubles évoluent sensiblement d'une année à l'autre, et leur tracé est d'une extrême mobilité.

L'île bénéficie essentiellement d'apports sédimentaires d'origine fluviatile, en majeure partie transportés sous régime torrentiel par les cours d'eau ; mais aussi d'origine terrestre, liés au recul des côtes à falaises et à l'érosion du littoral, dont le matériel est par la suite remobilisé par les courants océaniques. La dérive redistribue également du matériel biogène provenant des sécrétions calcaires biodétritiques des récifs coralliens du sud et de l'ouest.

Les perspectives d'élévation rapide du niveau de la mer, liées au changement climatique, laissent craindre une fragilisation d'espaces littoraux déjà contraints et un laps de temps insuffisant à l'adaptation des habitats naturels côtiers. Cependant, les évolutions en cours sont soumises à de nombreuses incertitudes et les efforts de mesure et de capitalisation des connaissances sur le devenir de ces territoires littoraux doivent être poursuivis pour adopter des stratégies de gestion locales durables.

Pour faciliter la lecture et les éventuelles comparaisons avec d'autres secteurs, les caractéristiques des côtes et des fonds, le régime sédimentologique et les influences naturelles et anthropiques qui s'y exercent sont présentés de la même façon dans tous les fascicules de la collection « Dynamiques et évolution du littoral », en cinq chapitres thématiques :

- le Chapitre 2 « Contexte physiographique » présente les principales caractéristiques morphologiques du territoire fondées sur la géologie, la géomorphologie terrestre et marine et les habitats naturels participant à l'évolution du littoral ;
- le Chapitre 3 « Facteurs hydrodynamiques » présente les principaux facteurs exogènes participant à la dynamique du littoral tels que les paramètres climatiques atmosphériques et océaniques, les niveaux marins, les vagues ou états de mer et l'hydrologie des principaux cours d'eau ;
- le Chapitre 4 « Données sédimentologiques » décrit la nature et la répartition des sédiments sur les côtes et les fonds marins, ainsi que leurs mouvements dans le profil de plage ou le long du littoral ;
- le Chapitre 5 « Impact des activités anthropiques » identifie les principaux aménagements réalisés sur les côtes et

leur impact sur l'évolution du littoral, ainsi que les mesures prises pour limiter ces impacts ;

- le Chapitre 6 « Évolution du littoral et des fonds » dresse le bilan des tendances passées d'évolution du littoral et des fonds, ainsi que les mouvements sédimentaires ponctuels liés au passage d'événements tempétueux morphogènes.

Les liens entre les différents chapitres sont illustrés dans la figure suivante :

À chaque chapitre correspond une couleur, correspondant au contour et aux titres des cadres sur la figure. Cette couleur est utilisée tout au long du document pour identifier les éléments rattachés à ce chapitre qu'il s'agisse de cartes ou de texte. Elle est identique dans tous les fascicules et dans l'atlas cartographique.

Les couleurs de fond des cadres de la figure suivante correspondent :

- pour le jaune, à des phénomènes naturels ;
- pour le mauve, à des impacts anthropiques ;
- pour l'orange, aux conséquences de ces phénomènes et impacts sur les mouvements sédimentaires et l'évolution du littoral et des fonds.

Il est proposé en Chapitre 7 un Bilan Sédimentaire Général, récapitulant les principales caractéristiques et principaux facteurs d'évolution de l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon. La sensibilité du littoral aux dérèglements climatiques en cours est également évaluée.

La lecture et l'exploitation de ce document technique nécessitent de disposer de connaissances préalables sur le fonctionnement des littoraux, telles que celles exposées dans l'ouvrage de référence « La gestion du trait de côte » (MEEDDM, 2010) ou dans les fiches techniques du fascicule national de la collection « Dynamiques et évolution du littoral ». Ces éléments sont disponibles sur les sites Internet du ministère de l'environnement (www.developpement-durable.gouv.fr), du Cerema (http://www.cerema.fr) ou le portail Géolittoral (www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr). Par ailleurs, toutes les cartographies présentées dans ce document sont disponibles en ligne sur le site Géolittoral dans un atlas cartographique et dans une cartographie dynamique.

Contributeurs du fascicule 17

Chapitre 1 Présentation	**Rédacteurs**	Sylvain LENDRE (Cerema, DtecEMF)
	Relecteurs	Boris LECLERC (Cerema, DtecEMF)
	Contributeurs	Amélie ROCHE (Cerema, DtecEMF)
Chapitre 2 Contexte général : données physiographiques	**Rédacteurs**	Sylvain LENDRE, Jérémy LARROQUE (Cerema, DtecEMF)
		Frédéric PONS (Cerema, DterMED)
	Relecteurs	Boris LECLERC (Cerema, DtecEMF)
		Alice MAILLOT (ONF)
		Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)
		Gwenaëlle PENNOBER, Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)
	Contributeurs	Pascal TALEC, Florent BABY (DEAL Réunion)
		Alice MAILLOT (ONF Réunion)
		Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)
		Gwenaëlle PENNOBER, Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)
Chapitre 3 Facteurs hydrodynamiques	**Rédacteurs**	Sylvain LENDRE, Gaëtan JOLLY (Cerema, DtecEMF)
	Relecteurs	Boris LECLERC, Xavier KERGADALLAN (Cerema, DtecEMF)
		Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)
		Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)
	Contributeurs	Xavier KERGADALLAN (Cerema, DtecEMF)
		Denis ROY, François BONNARDOT, Emmanuel CLOPET (Météo-France)
		Isabelle ROCHET (DEAL Réunion)
Chapitre 4 Données sédimentologiques	**Rédacteurs**	Sylvain LENDRE, Jérémy LARROQUE (Cerema, DtecEMF)
		Frédéric PONS (Cerema, DterMED)
	Relecteurs	Boris LECLERC (Cerema, DtecEMF)
		Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)
	Contributeurs	Rémi BELON (BRGM Réunion)
		Marine DEDEKEN (RNMR)
		Bruno GODEFROY (DEAL Réunion)
		Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)
		Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)
Chapitre 5 Interventions humaines le long du littoral	**Rédacteurs**	Sylvain LENDRE (Cerema, DtecEMF)
	Relecteurs	Boris LECLERC (Cerema, DtecEMF)
		Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)
	Contributeurs	Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)
		Pascal TALEC, Florent BABY (DEAL Réunion)
		Rémi BELON (BRGM Réunion)
		Marine DEDEKEN (RNMR)
		Alice MAILLOT (ONF Réunion)
Chapitre 6 Évolution générale du littoral et des fonds	**Rédacteurs**	Sylvain LENDRE, Gaëtan JOLLY (Cerema, DtecEMF)
	Relecteurs	Boris LECLERC (Cerema, DtecEMF)
		Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)
	Contributeurs	Rémi BELON (BRGM Réunion)
		Bruno GODEFROY (DEAL Réunion)
		Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)
Chapitre 7 Conclusion	**Rédacteurs**	Sylvain LENDRE (Cerema, DtecEMF)
		Boris LECLERC (Cerema, DtecEMF)
	Contributeurs	Rémi BELON (BRGM Réunion)
		Pascal TALEC, Florent BABY, Bruno GODEFROY (DEAL Réunion)
		Denis ROY, François BONNARDOT, Emmanuel CLOPET (Météo-France)
		Marine DEDEKEN (RNMR)
		Alice MAILLOT (ONF Réunion)
		Gwenaëlle PENNOBER, Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)
		Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)

Table des matières

1 Présentation 5

2 Contexte général : données physiographiques 16

2.1 Géographie 16

2.2 Géologie des côtes et des fonds marins 24

2.2.1 Un complexe volcanique 24

2.2.2 Évolution géologique 27

2.2.3 Caractéristiques géologiques par secteur de côte 30
2.2.3.a Massif du Piton des Neiges 30
2.2.3.b Massif du Piton de la Fournaise 32

2.3 Géomorphologie 34

2.3.1 Géomorphologie terrestre 34
2.3.1.a Description géomorphologique générale 34
2.3.1.b Description géomorphologique depuis le cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance 36
2.3.1.c Description géomorphologique de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste 37
2.3.1.d Description géomorphologique du cap Auguste au cap la Houssaye 39

2.3.2 Géomorphologie sous-marine 42

2.4 Habitats naturels 45

2.4.1 Habitats des substrats rocheux 47

2.4.2 Habitats des substrats sableux 52

2.4.3 Habitats des zones humides 54

2.5 Facteurs et mécanismes d'évolution du littoral 56

2.5.1 Facteurs et mécanismes d'évolution des côtes basses d'accumulation 57

2.5.2 Facteurs et mécanismes d'évolution des côtes rocheuses 60

3 Facteurs hydrodynamiques 64

3.1 Climatologie 64

3.1.1 Climatologie atmosphérique 64
3.1.1.a Climatologie atmosphérique générale 66
3.1.1.b Typologie des perturbations 70
3.1.1.c Caractérisation des vents et pressions 75
3.1.1.d Précipitations 78

3.1.2 Climatologie océanique 80
3.1.2.a Température de l'eau 80
3.1.2.b Salinité de l'eau 81

3.2 Facteurs océanographiques 82

3.2.1 Niveau marin 82
3.2.1.a Source des données 82
3.2.1.b Niveau moyen 83
3.2.1.c Marée astronomique 85
3.2.1.d Surcote / décote 86
3.2.1.e Plus hauts niveaux marins observés et niveaux extrêmes 90

3.2.2 États de mer 90
3.2.2.a Climatologie moyenne et valeurs extrêmes 90
3.2.2.b Propagation du large à la côte 100

3.2.3 Courants 100
3.2.3.a Courants généraux 100
3.2.3.b Courants de marée 103

3.2.3.c Courants de houle 104
3.2.3.d Courants de surface et courants liés au vent 104

3.3 Hydrologie 106

3.3.1 Les principaux cours d'eau 106
3.3.1.a Caractéristiques hydrologiques 106
3.3.1.b Débits liquides des principaux cours d'eau 108
3.3.1.c Apports solides des principaux cours d'eau 110

3.3.2 Les étangs et lagunes 113

3.4 Changement climatique et impacts sur les facteurs hydrodynamiques 114

3.4.1 Évolution des paramètres climatiques 114
3.4.1.a Températures 115
3.4.1.b Vents et tempêtes 116
3.4.1.c Précipitations et sécheresse 117
3.4.1.d Température, salinité et pH de l'eau 119

3.4.2 Évolution des paramètres hydrodynamiques 121
3.4.2.a Niveau marin 122
3.4.2.b États de mer 125
3.4.2.c Courants marins 126
3.4.2.d Débits liquides et solides des cours d'eau 126
3.4.2.e Hydrologie des marais et lagunes 126

4 Données sédimentologiques 130

4.1 Nature et répartition des sédiments 130

4.1.1 Répartition générale sur le plateau continental 130

4.1.2 Lithologie des sédiments sur la bande côtière 132
4.1.2.a Unité morphosédimentaire du cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance 135
4.1.2.b Unité morphosédimentaire de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste 137
4.1.2.c Unité morphosédimentaire du cap Auguste au cap la Houssaye 137

4.2 Origine des sédiments 139

4.2.1 Apports terrestres 139

4.2.2 Apports fluviatiles 140

4.2.3 Apports d'origine faunistique ou floristique 142

4.3 Mouvements des sédiments 144

4.3.1 Modes et agents de transport à la côte 144

4.3.2 Unité morphosédimentaire du cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance 146
4.3.2.a Sens et intensité des mouvements longitudinaux de sédiments 147
4.3.2.b Sens et intensité des mouvements de sédiments dans le profil 149

4.3.3 Unité morphosédimentaire de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste 150
4.3.3.a Sens et intensité des mouvements longitudinaux de sédiments 150
4.3.3.b Sens et intensité des mouvements de sédiments dans le profil 150

4.3.4 Unité morphosédimentaire du cap Auguste au cap la Houssaye 151
4.3.4.a Sens et intensité des mouvements longitudinaux de sédiments 152
4.3.4.b Sens et intensité des mouvements de sédiments dans le profil 154

4.4 Puits de sédiments 156

4.4.1 Pertes de sédiments définitives 156

4.4.2 Dépôts temporaires et remobilisables 157

4.5 Bilan sur les mouvements de sédiments 157

5 Interventions humaines le long du littoral 166

5.1 Aménagements côtiers, ouvrages de défense et ouvrages portuaires 168

5.1.1 Secteur 1 : du cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie 170
5.1.2 Secteur 2 : de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance 174
5.1.3 Secteur 3 : de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste 176
5.1.4 Secteur 4 : du cap Auguste au cap la Houssaye 178

5.2 Extractions 187

5.3 Dragages et clapages 188

5.4 Autres activités humaines 192

5.4.1 Activités de pêche et cultures marines 194
5.4.1.a Activités de pêche 194
5.4.1.b Cultures marines 196
5.4.2 Activités de loisir et de tourisme 197
5.4.2.a Le tourisme 197
5.4.2.b Activités de loisir 197
5.4.2.c La plaisance 202
5.4.3 Urbanisation, équipements côtiers, transports et agriculture 202
5.4.4 Énergies marines renouvelables 206
5.4.5 Sources de pollution et de dégradation potentielles 207
5.4.5.a Macrodéchets 208
5.4.5.b Rejets d'hydrocarbures 208
5.4.5.c Dégradations de l'environnement 210
5.4.6 Protection de l'environnement 211
5.4.6.a Les Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique 217
5.4.6.b L'intervention du Conservatoire du Littoral 219
5.4.6.c Les Réserves Naturelles de La Réunion 219
5.4.6.d Les Arrêtés Préfectoraux de Protection de Biotope 220

6 Évolution générale du littoral et des fonds 224

6.1 Évolution historique et récente du littoral et des fonds 224

6.1.1 Unité 1: du cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie 226
6.1.1.a Évolution historique 226
6.1.1.b Évolution récente 228
6.1.2 Unité 2 : de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance 233
6.1.2.a Évolution historique 235
6.1.2.b Évolution récente 236
6.1.3 Unité 3 : de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste 241
6.1.3.a Évolution historique 241
6.1.3.b Évolution récente 243
6.1.4 Unité 4 : du cap Auguste à la pointe de l'Étang-Salé 243
6.1.4.a Évolution historique 243
6.1.4.b Évolution récente 246
6.1.5 Unité 5 : de la pointe de l'Étang-Salé au cap la Houssaye 251
6.1.5.a Évolution historique 251
6.1.5.b Évolution récente 254

6.2 Évolution événementielle sur le littoral 257

6.2.1 Côtes basses d'accumulation 258
6.2.2 Falaises 262

6.3 Impact du changement climatique 263

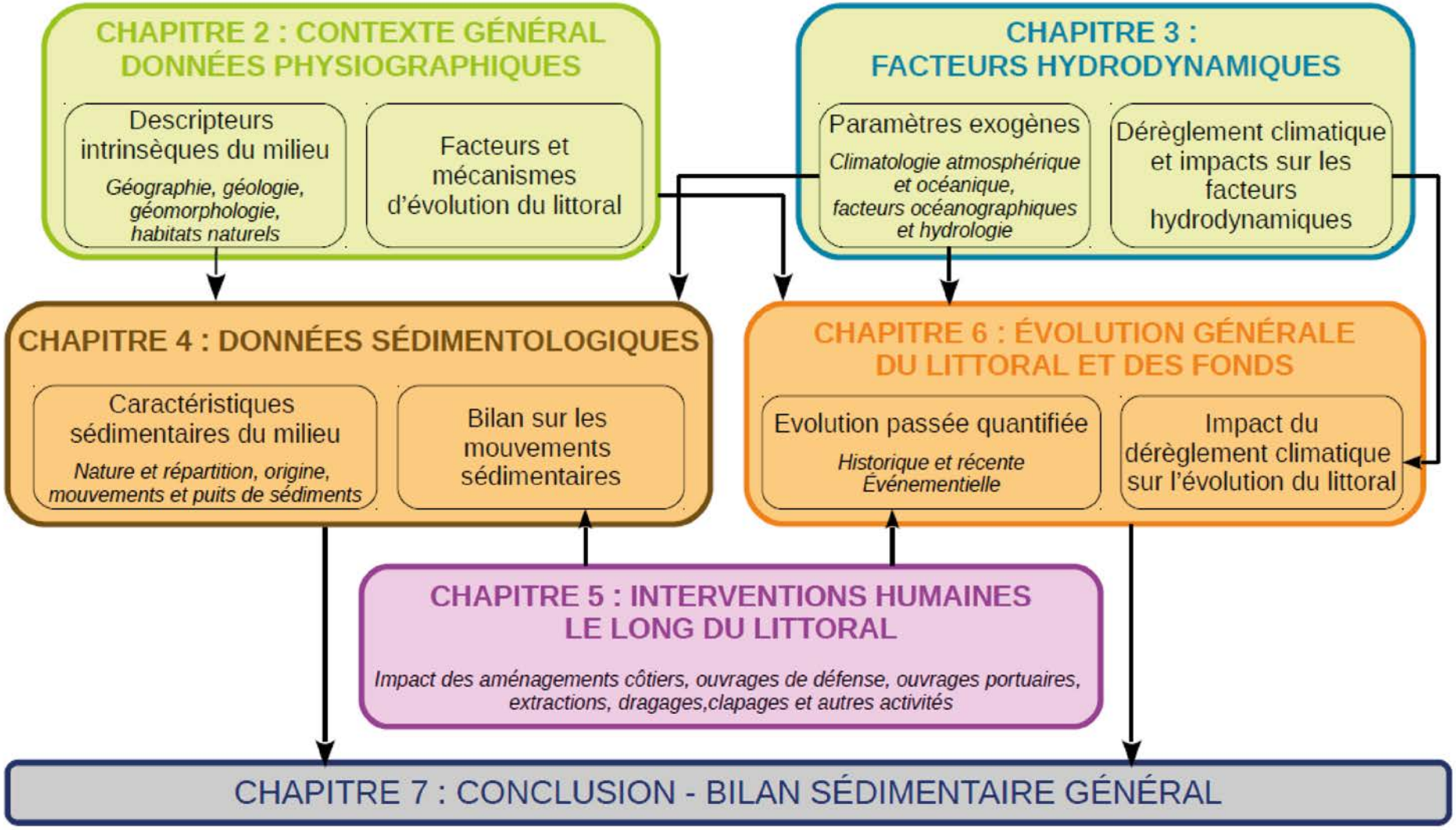
6.3.1 Côtes basses d'accumulation 264
6.3.1.a Plages et massifs dunaires 264
6.3.1.b Marais et lagunes 265
6.3.2 Côtes à falaises rocheuses 266
6.3.3 Habitats naturels 267

7 Conclusion : Bilan Sédimentaire Général 270

7.1 Bilan sédimentaire actuel 270
7.2 Évolution du littoral et des fonds 272
7.3 Prospective et impact du changement climatique 274
7.4 Perspectives 276
8 Annexes 280
8.1 Bibliographie 280
8.1.1 Chapitre 2 280
8.1.2 Chapitre 3 285
8.1.3 Chapitre 4 289
8.1.4 Chapitre 5 293
8.1.5 Chapitre 6 296
8.1.6 Chapitre 7 298
8.2 Description des champs de la base de données et méthode de renseignement des fiches OUVRAGE du BRGM 302
8.3 Analyse des données de simulations numériques des états de mer Anemoc-2 sur La Réunion 307
8.3.1 Introduction 307
8.3.2 Généralités 307
8.3.3 Point Réunion_C05531 309
8.3.4 Point Réunion_C06953 312
8.3.5 Point Réunion_C05514 316
8.3.6 Point Réunion_C05376 319
8.3.7 Point Réunion_C10671 323
8.3.8 Point Réunion_C07930 328
8.3.9 Synthèse 332
8.4 Mesure des états de mer du réseau CANDHIS 333
8.4.1 Candhis : 97401 - Baie de la Possession 334
8.4.2 Candhis : 97402 - Pointe du Phare 340
8.4.3 Candhis : 97403 - Rivière des Galets 341
8.4.4 Candhis : 97404 - Pointe du Gouffre 347
8.4.5 Candhis : 97405 - Saint-Pierre 352
8.4.6 Candhis : 97406 - Sainte-Rose 357
8.4.7 Candhis : 97407 - Vincendo 358
8.5 Fiches climatologiques de La Réunion (Météo-France) 361
8.6 Rapport météorologique suite au passage à proximité de La Réunion du Cyclone Tropical «BEJISA» (du 1er au 3 janvier 2014) 384
8.7 Rapport météorologique suite au passage à proximité de La Réunion de "DINA" (du 22 au 23 janvier 2002) 399

8.8 Rapport météorologique suite au passage à proximité de La Réunion de "GAMEDE" (du 24 au 28 février 2007) 413
8.9 Index des tableaux 425
8.10 Index des figures 426
8.11 Glossaire 437
8.12 Abréviations et Acronymes 442

DYNAMIQUE ET ÉVOLUTION DU LITTORAL



Chapitre 2
Contexte général :
données physiographiques

Rédacteur
Sylvain LENDRE (Cerema, DtecEMF)

Frédéric PONS, Jeremy LARROQUE (Cerema, DterMED)

Relecteurs
Boris LECLERC (Cerema, DtecEMF)

Alice MAILLOT (ONF)

Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)

Gwenaëlle PENNOBER, Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)

Contributeurs
Pascal TALEC, Florent BABY (DEAL Réunion)

Alice MAILLOT (ONF Réunion)

Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)

Gwenaëlle PENNOBER, Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)

Page de gauche : Plage de galets au nord de l'embouchure de la rivière des Roches © Cerema S. Lendre, 2019

2 Contexte général : données physiographiques

Les facteurs d'évolution du littoral, tels que la sédimentologie et l'hydrodynamisme (agitation marine et courants de marée), dépendent du contexte physiographique général dans lequel s'inscrit la province sédimentaire.

Ce chapitre introductif à l'explication des facteurs d'évolution de l'île de La Réunion, présente ses caractéristiques géographiques, géologiques et géomorphologiques. Il décrit également les habitats naturels de la province, témoins de certains mécanismes d'évolution du littoral.

2.1 Géographie

La Réunion est une île volcanique tropicale du sud-ouest de l'océan Indien. Elle fait partie des plus grands et des plus actifs volcans du monde. Située dans l'hémisphère sud, à 700 km à l'est de Madagascar par 21° de latitude sud et 55° de longitude est, l'île présente une forme elliptique, dont les dimensions sont d'environ 70 km de longueur sur 50 km de largeur, selon une orientation nord-ouest – sud-est (Figure 2.1).

Figure 2.1 : Localisation de l'île de La Réunion (De la Torre, 2010).

La Réunion est l'île la plus occidentale de l'archipel des Mascareignes. Elle est approximativement située à 170 km de l'île la plus proche, l'île Maurice. D'une superficie de 2520 km², il s'agit là de la partie émergée d'un édifice colossal d'environ 7000 m de hauteur, essentiellement sous-marin, et dont seulement 3 % du volume émergent (Figure 2.2).

Sa base, de 240 km de diamètre, réside sur le plancher de l'océan Indien, à l'extrémité méridionale de la crête des Mascareignes dont le plateau est bordé de fonds sous-marins dépassant les 4000 m de profondeur (Nehlig, Bucelle, 2005).

L'île de La Réunion se compose de deux entités basaltiques jumelées qui correspondent aux principales formations géologiques (Figure 2.2) : les massifs du Piton des Neiges et du Piton de la Fournaise.

Dans la partie nord-ouest, le Piton des Neiges (3069 m) est le plus haut sommet de l'océan Indien et domine les trois cirques de Cilaos, Salazie et Mafate qui l'enserrent. Ils sont le résultat de l'effondrement et de l'érosion des flancs de l'ancien volcan (Salvany, 2009 ; Salvany *et al.*, 2012). Au sud-est, le Piton de la Fournaise (2631 m) est un volcan actif, de type hawaïen. Il s'agit d'un volcan particulièrement actif, qui entre en éruption environ trois fois par an. La Plaine des Cafres et la Plaine des Palmistes, qui se rejoignent au col de Bellevue, assurent la liaison entre les deux massifs du Piton des Neiges et du Piton de la Fournaise (Bachèlery, Villeneuve, 2013).

Le relief de La Réunion est donc globalement très montagneux et accidenté. Les espaces côtiers sont les zones les plus planes de l'île. Entre la frange littorale et les Hauts, s'étend une région transitoire pentue, dont la dénivellation varie considérablement avant d'arriver sur les lignes de crêtes sertissant les cirques ou la caldeira du Piton de la Fournaise.

Le littoral réunionnais s'étend sur un linéaire côtier total d'environ 256 km[1], pour l'essentiel inhospitalier (source : www.outre-mer.gouv.fr). Les côtes décrivent un tracé relativement régulier caractérisé par une alternance de petites falaises et bandes de galets approvisionnées en matériel alluvial de part et d'autre des exutoires, à l'exception de la côte occidentale de l'île qui présente 25 km de plages de sable blanc protégées par des récifs coralliens frangeants (Figure 2.3). Les baies, particulièrement ouvertes, ne parviennent pas à protéger suffisamment le littoral contre la houle qui demeure la plupart du temps assez agressive face à une côte régulièrement soumise aux houles cycloniques et australes (voir Chapitre 3 Facteurs hydrodynamiques). Seule la baie de Saint-Paul offre un abri naturel pour la navigation.

Le découpage en unités morphosédimentaires retenu dans ce document s'articule en fonction du type de côte que présente le littoral réunionnais. Il se base sur des critères de géomorphologie et de géologie, de bathymétrie et de pressions anthropiques (Figure 2.3) :

- Unité morphosédimentaire de la façade nord et est avec zones meubles dominantes qui correspondent

1| Le trait de côte de référence Histolitt® (Shom-IGN), produit au 1/25000e, donne un linéaire pour La Réunion, dont la limite comprend des îlots et rentre profondément dans les estuaires, de sorte que le linéaire de trait de côte est fortement augmenté. Ainsi, un nouveau linéaire a été calculé à partir du trait de côte Histolitt® nettoyé des îlots inférieurs à 1 ha. Ce calcul donne un linéaire global de 256,420 km pour La Réunion et sert de base aux statistiques liées aux types de côte et à l'évolution du littoral dans la suite de ce document.

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Topographie - Bathymétrie *

*** MNT bathymétrie de La Réunion (résolution 100 m)**

Pics

Volcan

Trait de côte Histolitt

Réseau hydrographique permanent

Altimétrie en mètre

2 600 - 3 000
2 300 - 2 600
2 000 - 2 300
1 700 - 2 000
1 400 - 1 700
1 100 - 1 400
800 - 1 100
500 - 800
200 - 500
0 - 200

Profondeur en mètre (par rapport aux plus basses mers astronomiques)

0 à -15
-15 à -30
-30 à -40
-40 à -100
-100 à -125
-125 à -150
-150 à -1000
<-1000

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topographie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Trait de côte - Histolitt® - ©SHOM 2012
Occupation du sol - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI
SHOM, 2015 - MNT Bathymétrique de La Réunion (Projet Homonim)

Figure 2.2 : Carte topo-bathymétrique de l'île de La Réunion.

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Présentation de la province

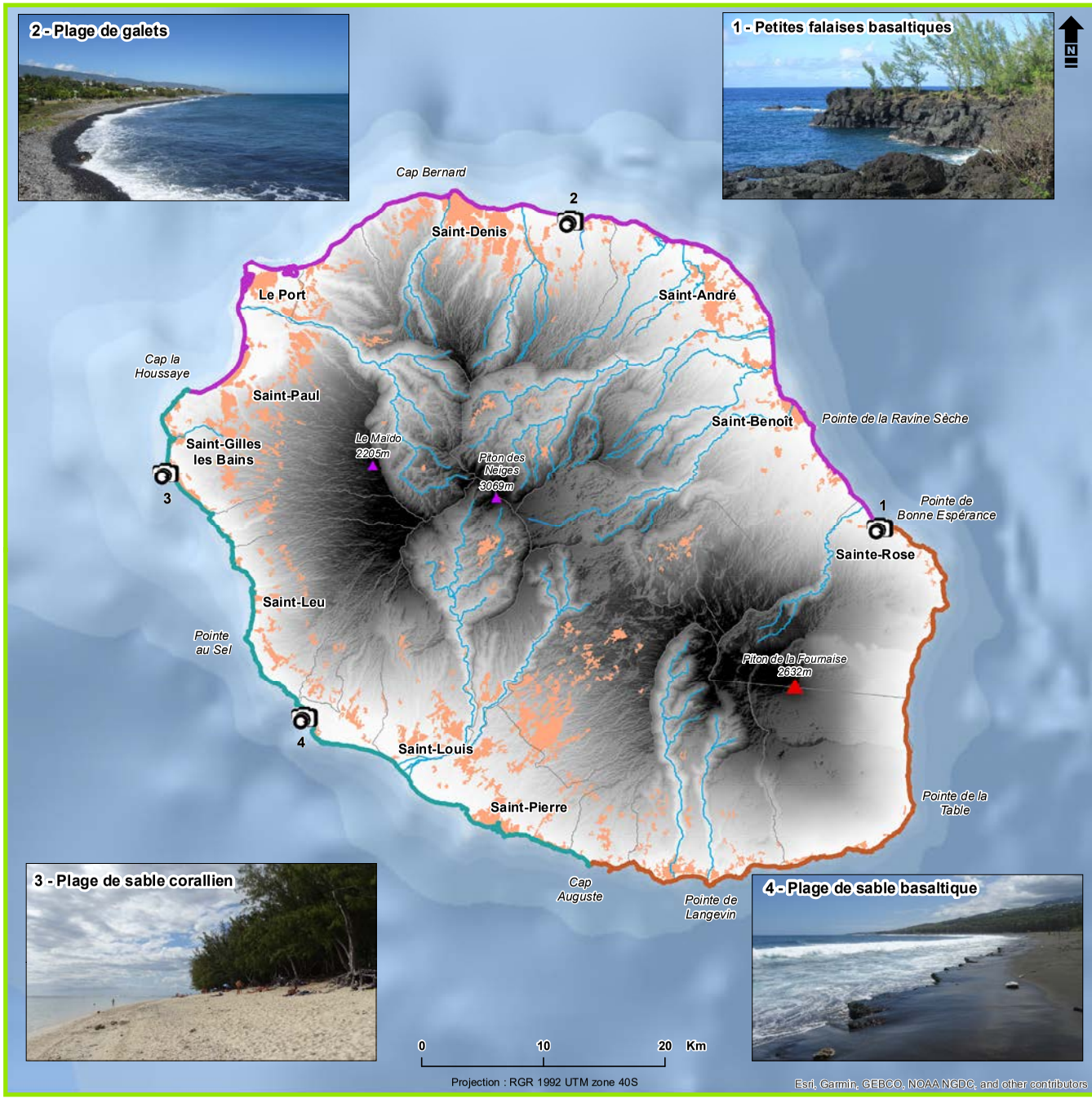


Photo et numéro correspondant

Pics

Volcan

Réseau hydrographique permanent

Bâti

Limite communale

Unité morphosédimentaire

Cap Auguste au cap la Houssaye

Cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance

Pointe de Bonne Espérance au cap Auguste

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Crédits photos :
© Cerema/M. Messager 2019
© Cerema/S. Lendre 2019

Figure 2.3 : Géographie sommaire et unités morphosédimentaires de l'île de La Réunion.

majoritairement aux formations géologiques du massif du Piton des Neiges, depuis le cap la Houssaye (Saint-Paul) à la pointe de Bonne Espérance, dont les falaises font face au port de Sainte-Rose. L'unité présente des formations meubles associées au réseau hydrographique des plaines alluviales créés par les principales rivières pérennes (Montaggioni, 1971) et des secteurs de côte artificialisés.÷;

- Unité morphosédimentaire de la façade sud et est avec zones rocheuses basaltiques continues qui correspondent aux formations géologiques les plus récentes du massif de la Fournaise, depuis la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste du Piton de Grande Anse (Petite-Île). L'unité présente des zones de substrats rocheux d'origine basaltique jusqu'à -100 m de profondeur ainsi que des petites zones où affleurent des substrats meubles issus d'un processus érosif récent.
- Unité morphosédimentaire de la façade ouest avec zones récifales coralliennes discontinues formées par des récifs frangeants de taille variable à l'ouest et au sud-ouest de l'île (Montaggioni, Faure, 1980 ; Battistini et al., 1975), depuis le cap Auguste au cap la Houssaye. L'unité présente des zones de substrats meubles (plaine littorale, arrière-récif, platier, pente externe) d'origine corallienne différentes de par leur nature et leur composition des zones de substrats meubles d'origine basaltique.

Reconnue tout d'abord par des navigateurs portugais en 1507, La Réunion était encore vierge de toute population quand elle est devenue possession de la France en 1642. Département français depuis la loi du 19 mars 1946, le régime juridique applicable à l'île de La Réunion relève désormais du statut des Départements et Régions d'Outre-mer (DROM), d'après la loi constitutionnelle du 28 mars 2003.

L'île est une région mono-départementale, dotée d'un Conseil général et d'un Conseil régional et compte 24 communes. Elle bénéficie également du statut de région ultrapériphérique européenne (RUP). La France assoit sa position stratégique dans le sud-ouest de l'océan Indien grâce à La Réunion, Mayotte et les Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF), dont la préfecture se trouve à Saint-Pierre, principale ville du sud de l'île (source : www.outre-mer.gouv.fr).

L'île de La Réunion totalisait, en 2016, 852 924 habitants avec une densité moyenne d'environ 338 hab/km² (INSEE, 2016 ; **Tableau 2.1**). La Zone Économique Exclusive (ZEE) de La Réunion s'étend actuellement sur 315 058 km² (Bouron, 2017).

La population est très jeune, puisque 42 % des Réunionnais sont âgés de moins de 25 ans. À l'inverse, seuls 12 % des Réunionnais ont plus de 60 ans. La croissance démographique a ralenti ces dernières années et se situe autour d'1 % par an. Cependant,

Tableau 2.1 : Communes de l'île de La Réunion en nombre d'habitants (d'après INSEE, 2016). Les communes en bleu sont littorales. Les communes en gris italique sont situées dans l'arrière-pays.

Nom de la commune	Population municipale
Les Avirons	11 471
Bras-Panon	12 722
Cilaos	5 403
Entre-Deux	6 894
L'Etang-Salé	14 230
Petite-Île	12 236
La Plaine-des-Palmistes	6 365
Le Port	34 810
La Possession	32 973
Saint-André	55 628
Saint-Benoit	38 142
Saint-Denis	147 920
Saint-Joseph	37 629
Saint-Leu	33 697
Saint-Louis	53 220
Saint-Paul	105 482
Saint-Philippe	5 235
Saint-Pierre	84 169
Sainte-Marie	33 160
Sainte-Rose	6 520
Sainte-Suzanne	23 224
Salazie	7 400
Le Tampon	77 283
Les Trois-Bassins	7 111
Total	**852 924**

le seuil symbolique du million d'habitants devrait être franchi avant 2040. En raison des contraintes géographiques importantes sur l'île et de son relief montagneux, la population vit très majoritairement à proximité du littoral (80 % sur la bande côtière allant de l'océan jusqu'à 400 m d'altitude d'après Nehlig, Bucelle, 2005) et notamment dans les grandes villes du département. Les communes de Saint-Denis (**Figure 2.4**), Saint-Paul et Saint-Pierre rassemblent à elles seules près de 40 % de la population (source : www.outre-mer.gouv.fr).

La Réunion s'illustre dans plusieurs domaines (voir **5.4** Autres activités humaines). L'agriculture et l'agroalimentaire occupent une place prépondérante dans l'occupation de son territoire et l'économie réunionnaise (**Figure 2.6**), en particulier la canne à sucre et ses produits dérivés (sucre, rhum). Le volcan actif du Piton de la Fournaise, qui connaît encore régulièrement des périodes d'éruption, freine néanmoins le développement des activités au sud-est de l'île qui demeure sauvage (IEDOM, 2015).

Figure 2.4 : Agglomération de Saint-Denis (chef-lieu de l'île de La Réunion) (© T. Caro, 2009).

Territoire alliant plages de sable blanc ou noir, récifs coralliens, imposantes montagnes, forêts et savanes sèches, La Réunion est une terre de choix pour le tourisme (voir 5.4.2 Activités de loisir et de tourisme). Elle a vu ses cirques, pitons et remparts être classés au patrimoine mondial de l'UNESCO en 2010, ce qui a permis de dynamiser encore davantage le secteur touristique (source : www.outre-mer.gouv.fr).

Le territoire réunionnais est très contrasté avec d'une part des plaines et un littoral très anthropisés, où l'agriculture, la pression croissante de l'urbanisation et les infrastructures se disputent un territoire exigu ; d'autre part le territoire classé des Hauts, peu peuplé et préservé de l'anthropisation par son caractère inaccessible (Figure 2.6).

Sur un espace insulaire de 250 370 ha, La Réunion anthropisée se concentre sur une ceinture littorale d'un peu plus de 100 000 ha. Ainsi en 2012, 40 % des territoires artificialisés sont situés à moins de 500 m des côtes et la densité de population dans cette même bande de 500 m est estimée à plus de 1 000 hab/km².

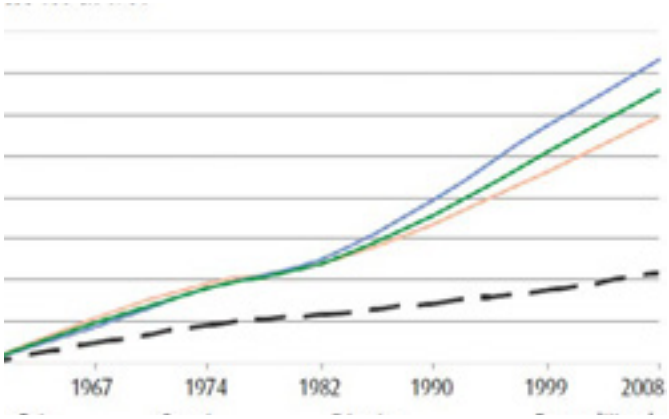


Figure 2.5 : Évolution de la population littorale de La Réunion de 1961 à 2008 (source : INSEE, RP).

Entre 1961 et 1982, la population littorale augmente de manière égale sur l'île (Figure 2.5). À partir de 1982, la façade ouest se détache : son rythme de croissance devient plus dynamique que celui de la façade est et sa population la dépasse (Planchat *et al.*, 2012).

Au centre de l'île, le Parc National de La Réunion occupe 105 000 ha soit 42 % de la superficie de l'île. Avec 62 % de landes, forêts, sols boisés et naturels (cette proportion est de 40 % à l'échelon du territoire national), le foncier disponible à La Réunion pour les autres occupations du sol est très restreint et soumis à de nombreuses contraintes (Agreste La Réunion, 2015).

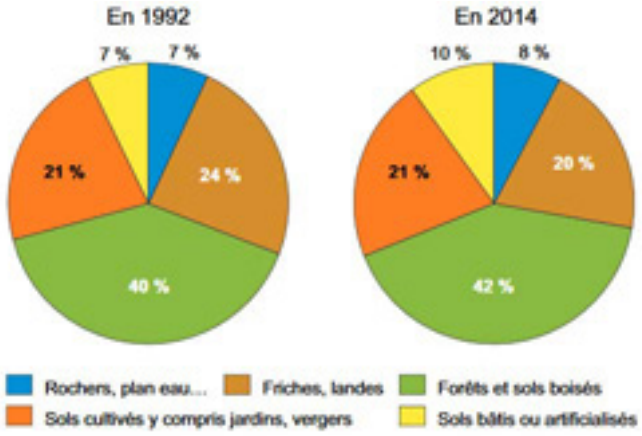


Figure 2.7 : Occupation physique du sol (source : DAAF La Réunion – Terruti-Lucas).

En 2014, les sols bâtis ou artificialisés représentent 10 % (9 % au niveau national) et les sols cultivés seulement 21 % contre 51 % au niveau national (Figure 2.7). Cette répartition a sensiblement évolué entre 2006 et 2014 : les sols bâtis ou artificialisés ont ainsi progressé de 2 486 ha, alors que dans le même temps les friches et landes ont régressé de près de 10 900 ha. Les sols

Figure 2.6 : Carte d'occupation du sol et principales villes côtières de l'île de La Réunion.

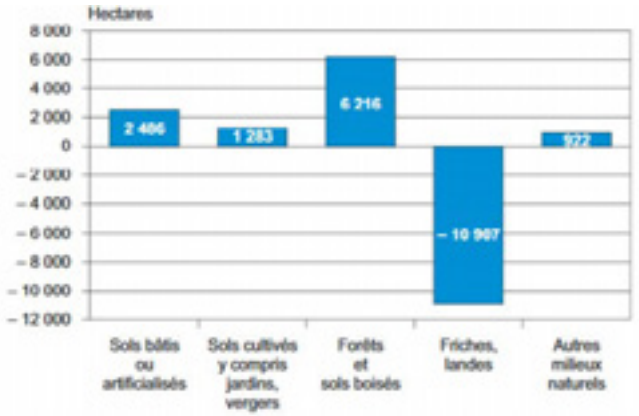


Figure 2.8 : Transfert d'occupation du sol entre 2006 et 2014 (source : DAAF La Réunion – Terruti-Lucas).

cultivés restent globalement stables, les forêts ont gagné 6 216 ha (Figure 2.8 ; Agreste La Réunion, 2015).

Entre 1992 et 2014, les changements d'occupation du sol illustrent les besoins importants liés à l'urbanisation (Figure 2.7). La croissance de la population (+8 500 hab/an) nécessite effectivement de nouveaux logements qui empiètent sur les surfaces planes du littoral. L'agriculture se développe par la conquête de nouvelles terres, bien souvent en friche et de faible potentiel agronomique (Agreste La Réunion, 2015). Sur la seule période de 2006 à 2014, une analyse plus fine montre que les friches et les landes sont utilisées pour l'urbanisation et l'agriculture ; et certaines d'entre elles évoluent naturellement vers des espaces boisés (Figure 2.8).

Les sols artificialisés poursuivent leur extension ; mais le rythme s'est néanmoins sensiblement ralenti. Alors que l'artificialisation des sols progressait de 440 ha/an entre 1992 et 2000 ; sur la période plus récente de 2006 à 2014, cette croissance se situe à un niveau plus modéré, estimé en moyenne à 310 ha/an (Agreste La Réunion, 2015). Cette tendance s'explique par les orientations en matière d'urbanisation, qui visent désormais à densifier la tâche urbaine, d'autant plus facilement ici que celle-ci est en effet particulièrement étalée à La Réunion où l'habitat individuel occupe plus de la moitié de l'espace urbanisé (source AGORAH : www.agorah.com). Cette politique de densification vise en outre à occuper prioritairement les nombreuses « dents creuses » ou zones vides (Agreste La Réunion, 2015).

L'érosion à La Réunion est une des plus fortes constatées dans le monde, elle est irréversible et structure les paysages et le relief typique de l'île. La côte orientale, dite « côte au vent », est très arrosée ; plusieurs rivières comme celles du Mât, des Marsouins et de l'Est y sont pérennes. La rivière du Mât est le plus long cours d'eau de La Réunion, avec 34,9 km (BD TOPO®, IGN, Tableau 2.2). La côte occidentale, dite « sous le vent », contraste avec le reste de l'île en présentant des terres plus arides (source : www.outre-mer.gouv.fr).

En raison des pluies très abondantes pendant la saison humide le réseau hydrographique de l'île est très dense. Sous l'effet d'une érosion violente, les pentes sont sillonnées par plus de six cents cours d'eau creusant des ravines. Celles-ci sont généralement profondes, et leurs torrents entaillent les flancs de montagne jusqu'à plusieurs centaines de mètres de profondeur, charriant un volume de matériaux important.

La majorité des cours d'eau présentent des débits irréguliers, liés à l'alternance de la saison des pluies et de la saison sèche. Toutefois, avec près de 7,6 milliards de mètres cube de précipitation moyenne par an, ce sont près de 1,6 milliards de mètres cube de ruissellement et 3,1 milliards de mètres cube d'infiltration qui intègrent chaque année en moyenne le cycle de l'eau réunionnais (source Office de l'Eau Réunion : donnees.eaureunion.fr).

Le suivi des milieux aquatiques s'appuie sur un découpage par masse d'eau. Il en existe 24 pour les cours d'eau, 3 pour les étangs, 27 pour les eaux souterraines et 12 pour les eaux côtières (dont 4 récifales). Parmi les 24 cours d'eau principaux (de 4 à 35 km), La Réunion compte 13 rivières pérennes qui évacuent l'eau des

Tableau 2.2 : Réseau hydrographique permanent de l'île de La Réunion (source : Office de l'Eau Réunion)

Nom du cours d'eau	Hydro-écorégion	Surface du bassin versant (ha)	Longueur (km)
Rivière Saint-Denis	versants nord intermédiaires	3 085	15,9
Rivière des Pluies	versants nord intermédiaires	4 595	23,3
Rivière Sainte-Suzanne	versants nord intermédiaires	3 032	19,6
Rivière Saint-Jean	versants au vent	4 331	14,9
Rivière du Mât	cirques au vent	13 448	34,9
Rivière des Roches	versants au vent	6 915	18,1
Rivière des Marsouins	versants au vent	10 952	30,6
Rivière de l'Est	versants au vent	4 328	20,2
Rivière de Langevin	cirques au vent	5 518	12,4
Rivière des Remparts	cirques au vent	6 568	26,6
Rivière Saint-Étienne	cirques sous le vent	804	5,8
Ravine Saint-Gilles	versants sud-ouest sous le vent	3 153	5,1
Rivière des Galets	cirques sous le vent	1 567	15,4

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Cours d'eau et bassins versants

Pics

Volcan

Réseau hydrographique permanent

Zones hydrographiques

- Bassin de l'Etang Saint Paul
- Bassin de l'Etang du Gol
- Bassin versant amont de la Rivière des Galets
- Bassin versant amont de la Rivière du Mât
- Bras Sainte Suzanne et aval de la Rivière des Galets
- Bras de Cilaos
- Bras de la Plaine et aval de la Rivière Saint Etienne
- Cours inférieur de la Rivière du Mât
- Cours moyen de la Rivière du Mât
- Grand Etang
- La Fournaise
- La Plaine des Palmistes
- Le Tampon et Saint Pierre
- Rivière de l'Est
- Rivière des Marsouins
- Rivière des Remparts
- Rivière des Roches
- Saint Philippe
- Saint Rose
- Secteur Nord
- Secteur Nord Est
- Secteur Nord Ouest
- Secteur ouest
- Rivière Langevin

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Cours d'eau - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Bassins versants - DEAL 974
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 2.9 : Carte du réseau hydrographique et des bassins versants de l'île de La Réunion./

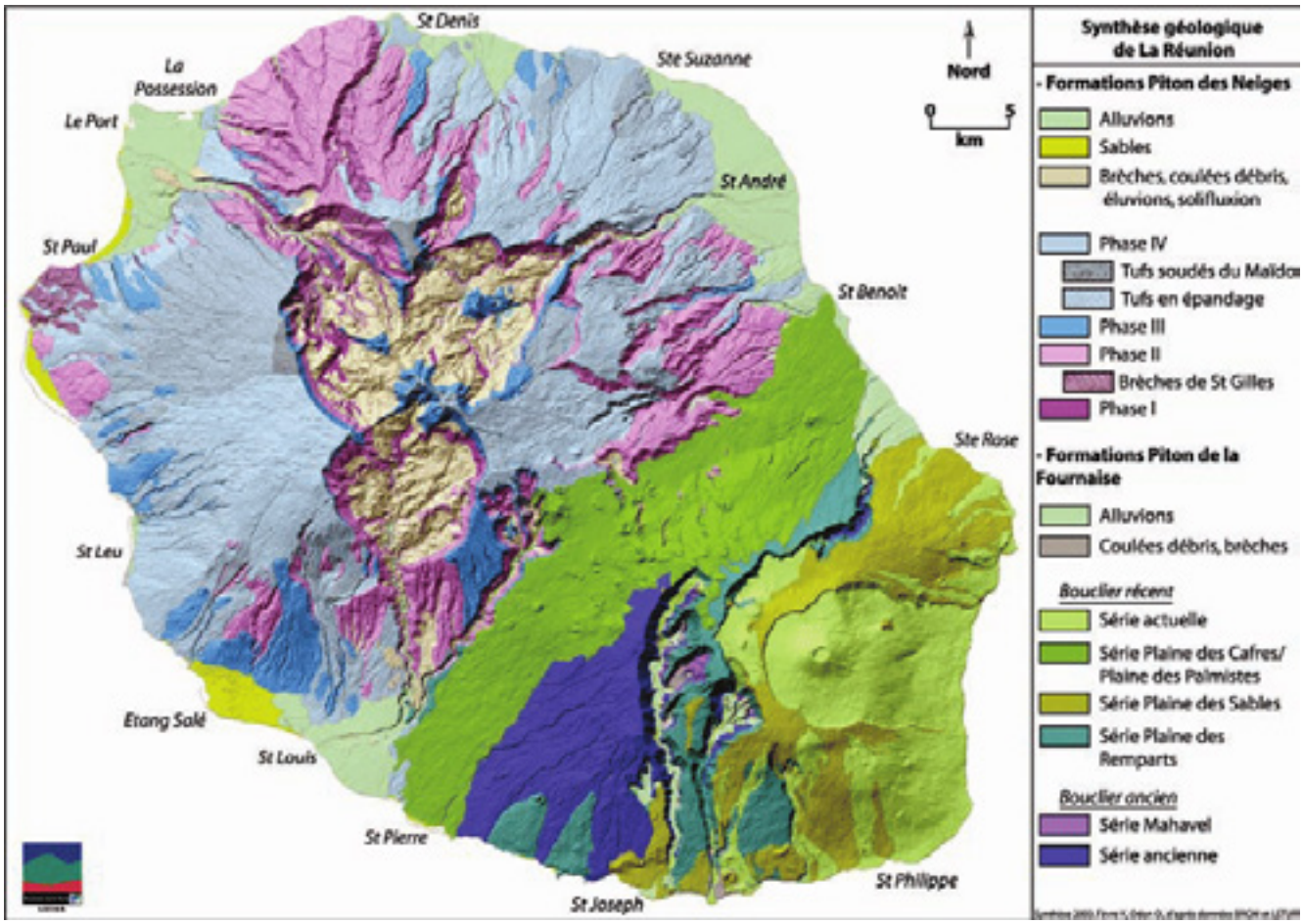


Figure 2.10 : Carte géologique simplifiée de La Réunion (Fèvre, 2005 d'après Billard, Vincent, 1974).

massifs du Piton des Neiges et du Piton de la Fournaise par une dense ramification de bras, ruisseaux et ravines, qui viennent alimenter ces rivières se déversant ensuite dans l'océan Indien (Figure 2.9).

Les bassins versants que forment les cirques constituent des masses d'eau importantes et complexes. La Réunion comporte trois plans d'eau naturels (DIREN, 2005) : le Grand Étang (62 ha), l'étang du Gol (11 ha) et l'étang de Saint-Paul (17 ha) (Figure 2.9).

2.2 Géologie des côtes et des fonds marins

2.2.1 Un complexe volcanique

La partie aérienne de l'île de La Réunion est un empilement, sur plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, d'une alternance de coulées de laves-scories (compartimentées par des dykes), de projections volcaniques et de brèches de démantèlement (Figure 2.10) (Billard, Vincent, 1974 ; Fèvre, 2005 ; Nehlig, Bucelle, 2005).

Le volcanisme actuel de La Réunion est de type effusif, c'est-à-dire qu'il émet calmement et fréquemment (une à plusieurs éruptions en moyenne par an) des laves très fluides. Le type polygénique que présente par exemple le Piton des Neiges montre bien l'ancienne forme en bouclier d'un volcan primitif, aux pentes très faibles, qui a été érodé (Nehlig, Bucelle, 2005 ; Salvany, 2009 ; Salvany *et al.*, 2012 ; Villeneuve *et al.*, 2014).

L'île se compose de deux massifs volcaniques principaux, le Piton des Neiges et le Piton de la Fournaise (Figure 2.11). Le Piton des Neiges est le massif le plus haut et le plus ancien (5 Ma). Occupant près des deux tiers du nord-ouest de l'île, le volcan, aujourd'hui éteint depuis 12000 ans, culmine à plus de 3069 m et présente à son sommet trois larges anfractuosités subcirculaires,

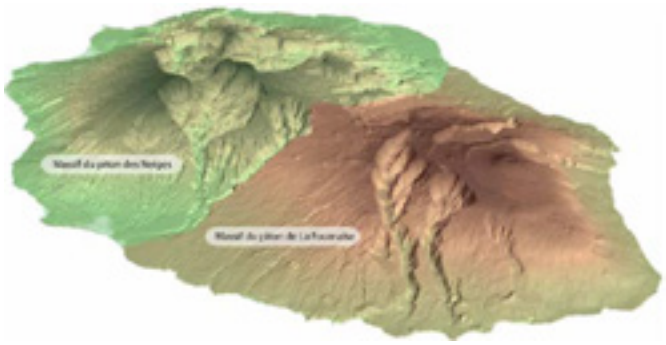


Figure 2.11 : Modèle Numérique de Terrain des deux massifs volcaniques de La Réunion : le Piton des Neiges et le Piton de la Fournaise (© IGN – 1997, modifié par le BRGM, 2005).

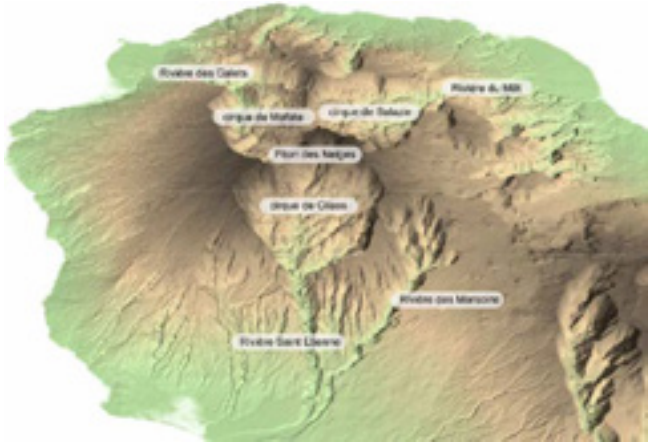


Figure 2.12 : Modèle Numérique de Terrain du Piton des Neiges et de ses trois cirques : Cilaos, Mafate et Salazie (© IGN – 1997, modifié par le BRGM, 2005)

coalescentes et profondes d'environ 1 000 m sur 10 km de largeur (Figure 2.12) : les cirques de Mafate au nord-ouest, de Cilaos au sud et de Salazie au nord-est. L'intérieur des cirques est profondément incisé par l'érosion et les rivières dont les ravines entaillent des pitons, des îlets et des crêtes escarpées (Nehlig, Bucelle, 2005 ; Salvany *et al.*, 2012).

Le Piton de la Fournaise culmine quant à lui à 2 631 m d'altitude et occupe le tiers sud et est de l'île. Construit sur le flanc oriental du Piton des Neiges, le Piton de la Fournaise est le massif volcanique le plus récent (2 Ma) et actuellement l'un des plus actifs sur Terre (Bachèlery, Villeneuve, 2013).

Son sommet présente les marques d'importants effondrements, à l'origine de l'édification du rempart des Sables et, plus à l'est, du rempart de l'Enclos Fouqué. Les remparts du Bois Blanc, au nord, et du Tremblet, au sud, lui confèrent une morphologique en U, dont les flancs sont inclinés d'une dizaine de degrés et ouverts sur la mer (Figure 2.13). Les flancs du Piton de la Fournaise s'achèvent généralement à la côte par des falaises d'une dizaine de mètres de hauteur et sont profondément incisés par des rivières et des cours d'eau (Nehlig, Bucelle, 2005 ; Salvany, 2009 ; Villeneuve *et al.*, 2014).

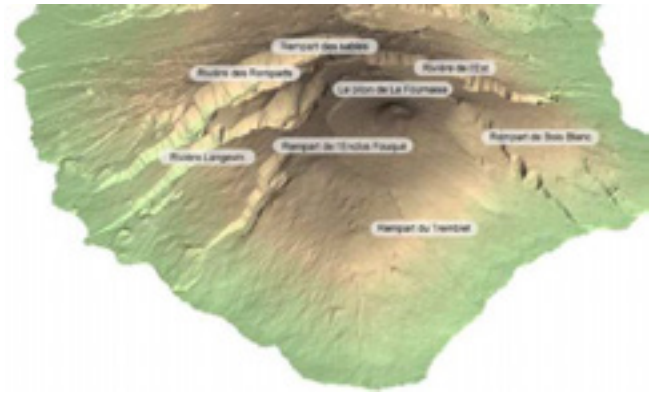


Figure 2.13 : Modèle Numérique de Terrain du Piton de la Fournaise, construit sur les flancs orientaux du Piton des Neiges (© IGN – 1997, modifié par le BRGM, 2005).

La géologie côtière de La Réunion se compose d'un substrat volcanique, localement recouvert de formations superficielles (coulées de boue, avalanches de débris, etc), qui constitue ses falaises et ses côtes rocheuses basses (BRGM, 2006). Les roches volcaniques qui édifient la partie aérienne de La Réunion montrent une assez grande diversité pétrologique comprenant des basaltes, des comendites, des hawaiites, des mugéarites, des benmoréites et des trachytes (Nehlig, Bucelle, 2005).

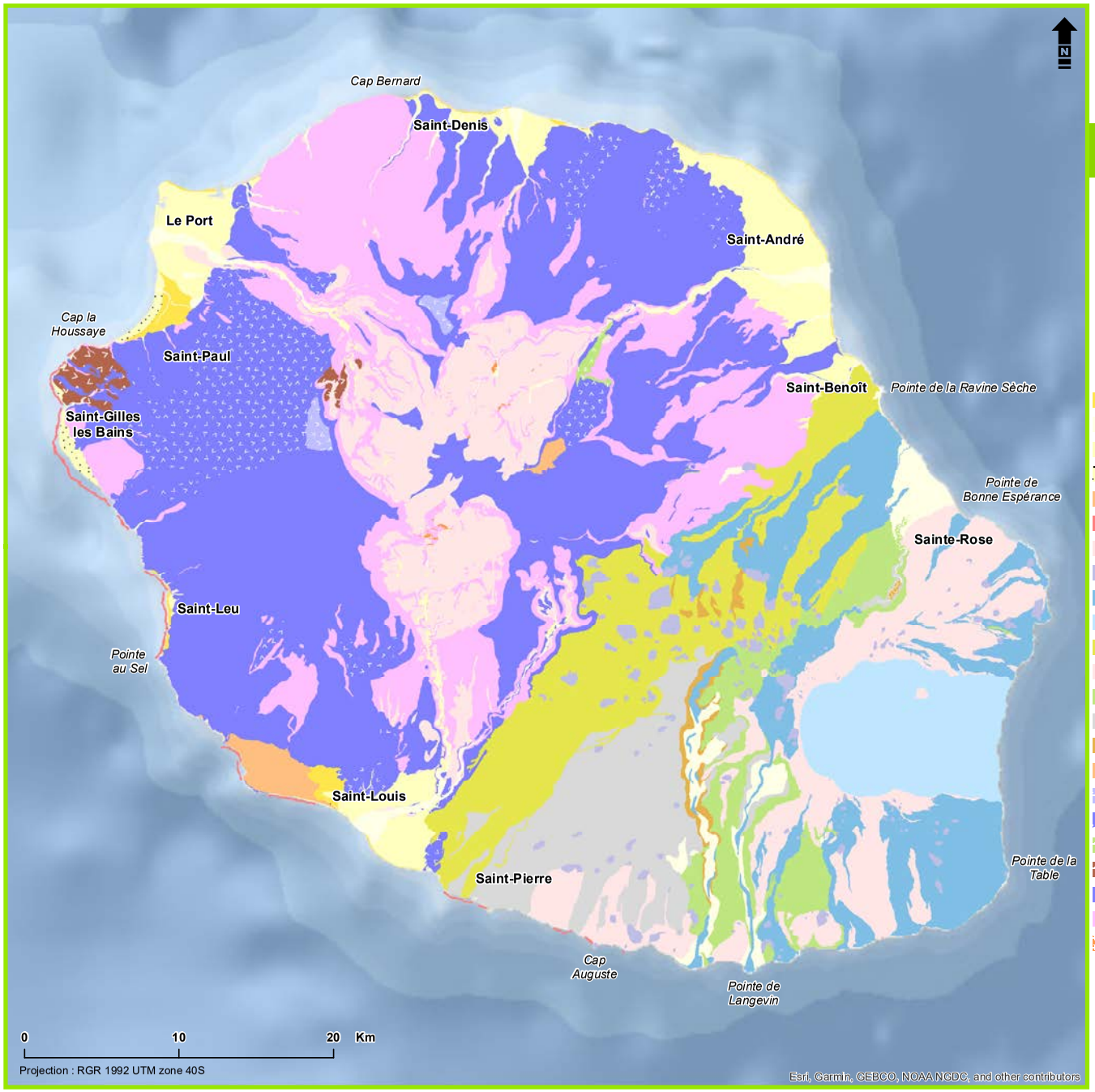
Toutefois, l'essentiel de l'édifice volcanique de l'île est constitué de basaltes à olivine, d'océanites et de basaltes aphyriques (Figure 2.14). Les basaltes se situent à tous les niveaux stratigraphiques, en dykes, en sills, en coulées et sous forme de projections, de la base de l'édifice à son sommet. Les laves différenciées (hawaiites, mugéarites, benmoréites, trachytes) présentent des volumes dix fois moins importants que celui des basaltes, mais comme il s'agit des derniers produits émis par le Piton des Neiges, ils recouvrent les basaltes antérieurs et ont donc tendance à être surreprésentés en surface (Nehlig, Bucelle, 2005).

Les roches volcaniques dépendent de paramètres intrinsèques du magma, mais elles sont également contrôlées par des facteurs externes comme la morphologie, la pente du volcan et notamment la présence d'un aquifère sur le trajet du magma (Join, 1991 ; Nehlig, Bucelle, 2005).

La configuration géologique de l'île présente des superpositions de laves et scories en séries rayonnantes à partir d'une zone centrale qui influence la paléogéographie par la présence de réseaux fracturés et fissurés, d'intrusions verticales et horizontales, induisant des circulations d'eaux souterraines très particulières (Figure 2.15). Lorsqu'elles sont suffisamment perméables et poreuses, les formations géologiques constitutives du sous-sol ont la capacité de permettre les écoulements verticaux et transversaux de l'eau et leur stockage : l'eau s'infiltre en surface sur les terrains volcaniques perméables, puis les écoulements sont interceptés par les formations géologiques imperméables ou semi-perméables.

Certaines nappes ne sont pas en relation hydraulique directe avec celles du domaine littoral, elles sont dites « perchées » lorsqu'elles sont portées par une formation imperméable. Les eaux resurgissent sous la forme d'une source par déversement à la faveur de la topographie ou alimentent, en cascade de nappes perchées, les strates inférieures par le biais de discontinuités.

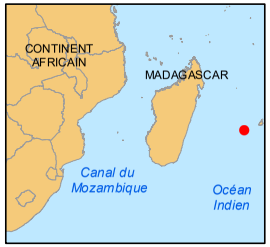
Le retour à l'océan des eaux souterraines en zone littorale s'effectue enfin à travers le « complexe



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Géologie



- Alluvions fluvio-marines - Dépôts littoraux et marins
- Alluvions récentes - Dépôts alluviaux
- Alluvions anciennes - Dépôts alluviaux
- Sables et galets de plage- Dépôts littoraux et marins
- Sables dunaires basaltiques- Dépôts littoraux et marins
- Récifs coralliens- Dépôts littoraux et marins
- Dépôts de glissements en masse, de coulées de débris, éboulis - Dépôts gravitaires
- Pitons et projections - Massif du Piton de la Fournaise
- Coulées basaltiques - Massif du Piton de la Fournaise - Série volcanique subactuelle
- Coulées basaltiques dans l'Enclos - Massif du Piton de la Fournaise - Série volcanique subactuelle
- Coulées basaltiques - Massif du Piton de la Fournaise - Série de la plaine des Cafres
- Coulées basaltiques - Massif du Piton de la Fournaise - Série de la plaine es Sables
- Coulées basaltiques - Massif du Piton de la Fournaise - Série des remparts
- Coulées basaltiques - Massif du Piton de la Fournaise - Série du bouclier ancien
- Coulées différenciées - Massif du Piton de la Fournaise - Série alcaline anté-fournaise
- Coulées trachytiques du plateau de Belouve - Massif du Piton des Neiges - Série différenciée
- Tufs soudés du Maïdo et de la Roche Écrite - Massif du Piton des Neiges - Série différenciée
- Tufs en épandages - Massif du Piton des Neiges - Série différenciée
- Coulées ignimbritiques - Massif du Piton des Neiges - Série différenciée
- Brèches d'avalanches de débris de Saint Gilles - Massif du Piton des Neiges - Série différenciée
- Coulées (basalte, hawaïtes, mugéarites) - Massif du Piton des Neiges - Série différenciée
- Coulées basaltiques à olivine - Massif du Piton des Neiges - Série des océanites
- Gabbros et syénites - Massif du Piton des Neiges - Intrusions

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Carte géologique 1/1000000 - BRGM
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 2.14 : Carte géologique de l'île de La Réunion (d'après la carte au 1/100 000e du BRGM)

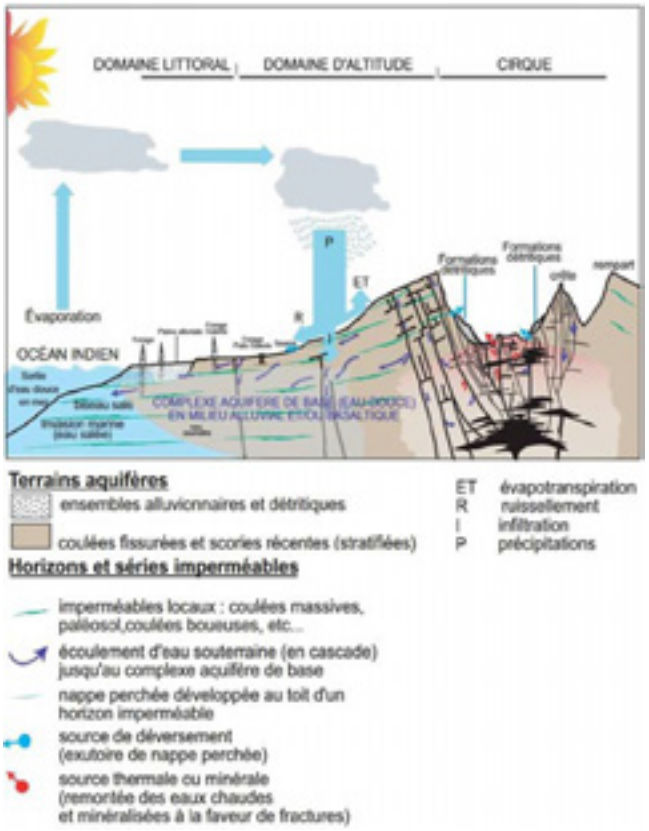


Figure 2.15 : Schéma conceptuel de l'hydrogéologie à La Réunion (© BRGM, d'après l'Atlas Hydrogéologique du BRGM, 1986 dans BRGM, 2006)

aquifère de base » constitué par une juxtaposition et une superposition de couches réservoirs saturées, indépendantes ou anastomosées, contrôlées par l'extension d'horizons imperméables (BRGM, 1986).

Deux systèmes hydrogéologiques sont distingués à La Réunion (BRGM, 2006) : le domaine littoral (où les nappes d'eau douces reposant sur les eaux marines forment le biseau salé) et le domaine d'altitude (où les nappes d'eau douce souterraines circulent en très grande profondeur). Les complexes aquifères ont été modélisés par Furet *et al.* (2012) de l'Office de l'Eau pour La Réunion (Figure 2.16).

2.2.2 Évolution géologique

La Réunion est une île volcanique jeune, dont l'émersion il y a 3 Ma (Pliocène) est relativement récente à l'échelle géologique (Figure 2.17). Au cours de son histoire, le volcan bouclier de La Réunion a été le siège d'une grande variété de dynamismes (intrusifs, effusifs, explosifs) qui ont mis en place des produits volcaniques d'aspects très divers et dont certains ont parfois été remobilisés par des processus gravitaires associés ou non à ceux de l'eau (lahars, avalanches de débris, etc). Les massifs volcaniques de La Réunion sont le résultat d'une histoire complexe pendant laquelle se sont produites de nombreuses éruptions souvent très différentes dans leurs dynamismes et leurs durées (Nehlig, Bucelle, 2005).

Il y a 5 Ma, à plus de 4000 m de profondeur sous l'océan Indien, un « point chaud » favorise la remontée de roches en fusion depuis le centre de la Terre à travers le plancher océanique fracturé. Cela conduit à une activité volcanique sous-marine intense : des coulées de lave s'épanchent sur le plancher océanique, en créant d'énormes empilements invisibles depuis la surface de l'océan. Ce phénomène se poursuit pendant près de deux millions d'années, de manière à bâtir un gigantesque cône. Puis, la lave finit enfin par atteindre la surface de l'océan. Il s'agit alors de la phase d'émersion : l'édifice volcanique poursuit son développement à l'air libre, donnant naissance à un énorme volcan bouclier de 2000 m au-dessus du niveau de l'océan (Bachèlery, Villeneuve, 2013).

La datation radiochronologique des roches anciennes de l'île indiquent 2,1 Ma (Pléistocène). Ces formations correspondent à la « série des océanites anciennes » – aussi appelées « série des brèches primitives » – et font partie du substratum du Piton des Neiges.

Entre 2,1 Ma et 450000 ans B.P., l'activité est essentiellement de type effusif et l'émission de laves fluides, représentant une épaisseur de plusieurs centaines de mètres, sont caractérisées comme des océanites récentes ainsi que des basaltes aphyriques et à olivine. Ces océanites se distinguent des séries anciennes par leur faible altération permettant

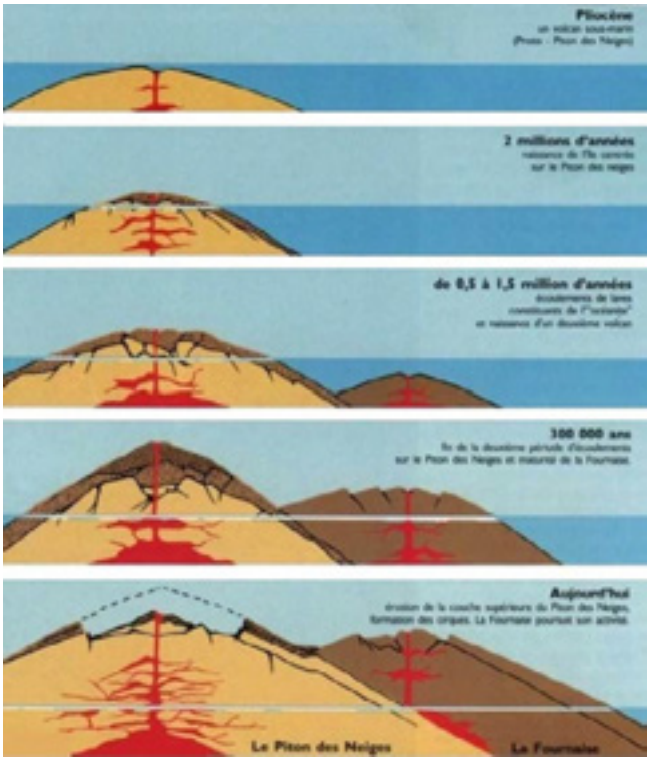


Figure 2.17 : Évolution géologique simplifiée des massifs volcaniques du Piton des Neiges et du Piton de la Fournaise (source : http://www.earth-of-fire.com/).

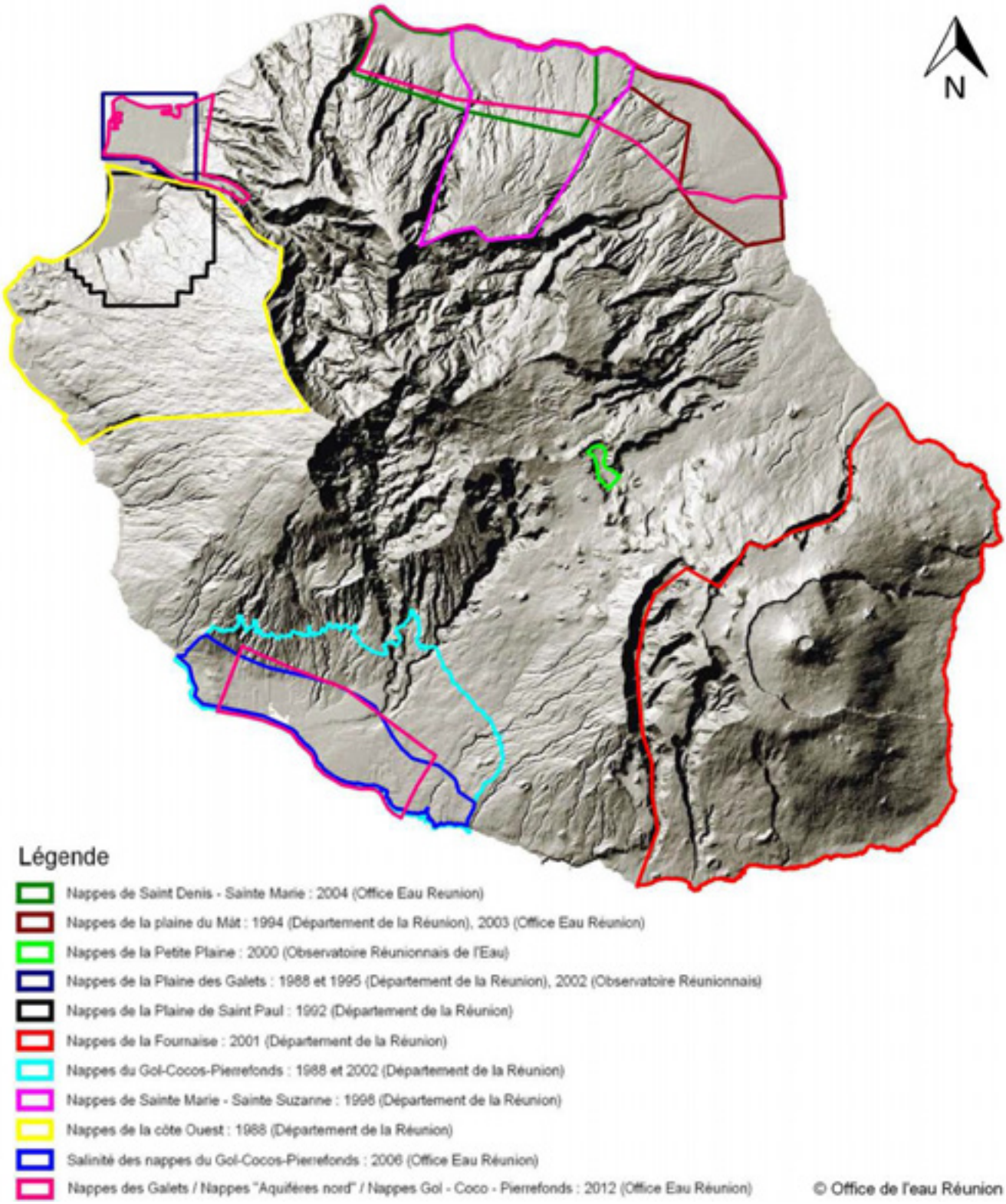


Figure 2.16 : Systèmes aquifères de La Réunion (© Office de l'Eau Réunion dans Furet et al., 2012).

l'observation de nombreuses figures : cordes, tubes, tunnels de laves (Salvany *et al.*, 2012 ; Villeneuve *et al.*, 2014).

Il y a 1 Ma environ, le premier massif volcanique (le Piton des Neiges) est secondé par un deuxième volcan qui se développe sur son flanc est (**Figure 2.17**). Ce massif volcanique primaire correspond au volcan des Alizés, dont le centre d'émission se situait vers le Grand Brûlé actuel.

Entre 450 000 et 150 000 ans B.P., se met en place le bouclier ancien du Piton de la Fournaise. Les laves du volcan des Alizés sont recouvertes par un épais empilement de coulées basaltiques, se répandant à partir d'un centre d'émission situé au niveau de la plaine des Sables. Cette édification s'achèvera par un accident tectonique majeur, dit du « Morne Langevin » il y a 150 000 ans, formant le sommet éponyme (Nehlig, Bucelle, 2005 ; Salvany, 2009).

Figure 2.18 : Répartition des principales formations coralliennes à La Réunion (Lemahieu, 2015).

Pendant ce temps, l'activité principale se situe au niveau de Rond du Bras Rouge, entre 340 000 et 29 000 ans B.P., sur le massif du Piton des Neiges. Un appareil volcanique s'érige jusqu'à environ 800 m de hauteur, en addition de plusieurs petits volcans secondaires. Ce phénomène est à l'origine de coulées pyroclastiques et ignimbritiques, datées aux alentours de 188 000 ± 25 000 ans B.P. par Gillot et Nativel (1982), marquant la fin de l'activité volcanique du Piton des Neiges.

Entre 150 000 et 4 700 ans B.P., l'activité volcanique du bouclier ancien du Piton de la Fournaise se déplace vers son lieu d'activité actuelle. De nombreuses coulées de lave se superposent à celles de l'ancien bouclier. L'effondrement du bouclier volcanique conduit à la formation de la première caldeira des Sables.

Entre 65 000 et 20 000 ans B.P., le Piton des Neiges et le Piton de la Fournaise sont en activité simultanée, chacun alimenté par ses propres réservoirs magmatiques. La dernière phase d'activité, il y a 4 700 ans, a construit le Piton de la Fournaise actuel, couronné par les Bory et Dolomieu (Nehlig, Bucelle, 2005).

L'île a également été soumise au cours de son histoire géologique à des variations du niveau marin comme le témoigne l'étude de forages réalisés dans des récifs coralliens des îles Maurice, La Réunion et Mayotte (Colonna, 1994, 1996, Camoin *et al.*, 1997, 2004 dans Sisavath, 2011).

Les estimations des variations du niveau marin s'étendent du dernier maximum glaciaire à l'Holocène. Le plus bas niveau observé est atteint durant le dernier maximum glaciaire vers 18 400 ans B.P. : entre -110 m (Camoin *et al.*, 2004 dans Sisavath, 2011) et -145 m (Colonna, 1996 dans Sisavath, 2011).

Entre 16 000 et 13 600 ans B.P., la remontée du niveau marin est modérée (Colonna, 1996), puis rapide à partir de 13 500 ans B.P. (Camoin *et al.*, 2004 dans Sisavath, 2011). Entre 10 000 et 7 250 ans B.P., la transgression ralentit jusqu'à se stabiliser au niveau actuel des mers il y a 2 500 ans (Sisavath, 2011).

L'île est bordée sur sa côte occidentale et méridionale par un récif frangeant (**Figure 2.18**). Son front récifal est situé au maximum à 500 m du linéaire côtier et encercle une étroite dépression dont la profondeur ne dépasse pas 2 m.

Le platier est colonisé par des mélobésiées concrétionnaires, des hydrocoralliaires et des madréporaires dont les polypes se sont fixés sur le substrat rocheux (par exemple sur des coulées volcaniques). Les zones arrière-récifales comprennent des platiers nécrosés où le courant a déposé les sables issus de l'érosion des récifs antérieurs (Montaggioni, Faure, 1980 ; Nicet *et al.*, 2016).

Les variations du niveau marin entre les cycles glaciaires-interglaciaires durant le Pléistocène et l'Holocène ont participé à la formation et à l'évolution des récifs dans l'océan Indien. Les premiers stades de l'élévation du niveau marin, entre 18 200 ans B.P. et 13 600 ans B.P., étaient modérés avec des taux

d'environ 2 mm/an. De 13 600 ans B.P. à environ 10 000 ans B.P., le niveau marin a augmenté rapidement atteignant des taux d'environ 25 mm/an. Entre 10 000 ans B.P. et 7 500 ans B.P., le taux d'élévation du niveau marin est d'environ 6 mm/an. Pendant ce temps, l'accrétion verticale des récifs était la plus rapide pour la période de l'Holocène avec des taux de croissance des récifs de 8 mm/an. Le niveau marin a augmenté d'environ 1,1 mm/an entre 7 500 et 2 500 ans B.P. Par la suite, le niveau marin s'est stabilisé autour de 2 500 ans B.P, l'accrétion du récif a ralenti à des taux d'environ 1 mm/an (Camoin *et al.*, 1997).

La montée du niveau de la mer a par conséquent favorisé la croissance du récif et l'individualisation d'une barrière en avant du rivage actuel. Les datations du récif de La Réunion montrent qu'il a débuté son édification au cours du Pléistocène et plus précisément il y a 8 500 ans, à une vitesse moyenne de croissance verticale de 0,4 cm/an (Montaggioni, 1970 ; Battistini *et al.*, 1975 ; Nehlig, Bucelle, 2005).

2.2.3 Caractéristiques géologiques par secteur de côte

La géologie côtière de La Réunion se compose d'un substrat volcanique, localement recouvert de formations superficielles (coulées de boue, avalanches de débris, etc), qui constitue ses falaises et ses côtes rocheuses. Il est bordé d'un étroit plateau insulaire dont l'extension ne dépasse pas 7 km (BRGM, 2006).

La Réunion se compose de deux massifs volcaniques principaux (**Figure 2.19**) : le Piton des Neiges, au nord-ouest, correspond aux formations géologiques les plus anciennes de l'île et le Piton de la Fournaise, au sud-est, correspond aux formations les plus récentes. Les caractéristiques géologiques par secteur de côte sont ici détaillées pour chacun des deux massifs qui peuvent être différenciés par une limite diagonale fictive établie entre la pointe du Diable, à Saint-Pierre, et le débouché de la rivière des Marsouins, à Saint-Benoît.

2.2.3.a Massif du Piton des Neiges

Les rivières qui alimentent les vastes plaines littorales (Saint-Louis, Le Port, Saint-Denis, Saint-André) sont à l'origine des accumulations d'alluvions fluviatiles dans certains secteurs de côte, au pied du Piton des Neiges. En dehors de ces cônes alluviaux, les pentes du massif se terminent par des plages de sable (L'Étang-Salé, Saint-Leu, L'Ermitage-les-Bains, Saint-Gilles-les-Bains, Saint-Paul) ou des falaises rocheuses d'origine volcanique, certaines pouvant atteindre 200 m de hauteur (Nehlig, Bucelle, 2005).

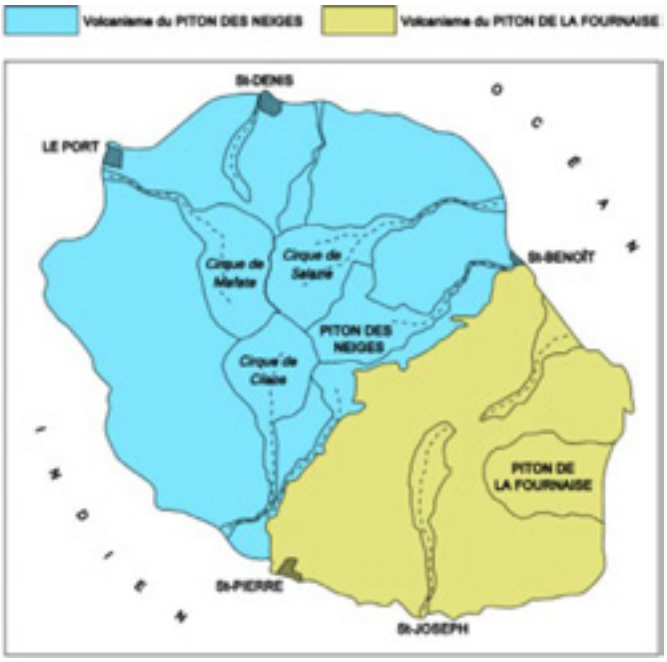


Figure 2.19 : Schéma d'ensemble du volcanisme de La Réunion (Nehlig et al., 2006).

Secteur ouest : de la pointe des Avirons à la pointe de la rivière des Galets

Le secteur d'étude est situé sur le flanc occidental du massif du Piton des Neiges. La zone côtière qui présente des faciès géologiques s'étend plus précisément de la ravine des Avirons au sud-ouest jusqu'au cap la Houssaye, au nord, tout au long du rempart du cirque de Mafate.

La base de ce système est constituée d'agglomérats et de brèches à ciment basaltique zéolitisés. Ces agglomérats sont attribués à la phase I du Piton des Neiges datant de 2,1 Ma. La phase II (environ 450 000 ans B.P) est constituée par un empilement de laves et de scories (basaltes aphyriques à olivine, océanites). La base de ces formations est zéolitisée[2] et affleure au pied de la partie ouest du cirque de Mafate, au fond de la ravine sous le recouvrement détritique du cirque (Nativel, 1978 ; Bret, 2002 ; Bret, Join, *et al.*, 2003).

La phase III (350 000 à 250 000 ans B.P) est formée par des empilements de bancs compacts de laves et de scories (leuco-basaltes, hawaïtes, mugéarites). Ces laves peuvent présenter un faciès à phénocristaux de feldspaths grands et abondants. La phase IV (230 000 à 20 000 ans B.P) débute par quelques coulées de laves aphyriques suivies d'une période de repos. Puis les coulées pyroclastiques font leur apparition dans la région de Saint-Pierre à Saint-Paul. Elles sont constituées d'éléments divers : ponces noires, basaltes à olivine, laves aphyriques ou à phénocristaux de feldspath, trachytes, roches grenues (Bret, 2002).

Les formations volcaniques de La Réunion sont aussi représentées par des dépôts volcanoclastiques qui

2| Transformation en minéral microporeux appartenant au groupe des silicates.

Figure 2.20 : Panorama des dépôts d'avalanches de débris au cap la Houssaye (© M. Kerneis, 2005)

Figure 2.21 : Faciès des dépôts d'avalanches de débris ou brèches de Saint-Gilles au cap la Houssaye le long de la RN1 (© BRGM, 2004 ; schéma dans Nehlig, Bucelle, 2005)

sont localement majoritaires, au cap la Houssaye par exemple (Figure 2.20). Les dépôts volcanoclastiques recouvrent l'ensemble des dépôts bréchiques de nature volcanique, indépendamment de leur origine (Figure 2.21). Ce sont des produits clastiques constitués exclusivement ou en partie de particules d'origine volcanique et dont le mode de fragmentation est lié à l'activité volcanique (Bachèlery *et al.*, 2003 ; Bret, Fèvre, *et al.*, 2003 ; Bret, Join, *et al.*, 2003 ; Fèvre *et al.*, 2003 ; Bachèlery, 2004a ; Nehlig, Bucelle, 2005).

Secteur nord-ouest : Route du Littoral RN1 de La Possession à Saint-Denis

Le massif de La Montagne correspond à la partie ancienne du massif volcanique du Piton des Neiges. Les formations ont des âges compris entre 430 000 ans et 2 100 000 ans B.P. (phase II de l'activité du Piton des Neiges). La fausse falaise littorale offre une coupe naturelle continue du massif et présente une homogénéité morphologique (Nédellec, Cruchet, 2008). Trois unités principales sont distinguées (Figure 2.22) :

- À sa base, des empilements homogènes de coulées basaltiques à olivine et de scories, localement zéolitisées. Vers Saint-Denis et vers la ravine à Malheur, ils sont traversés par des filons subverticaux qui compartimentent la falaise. Dans chacune de ces zones à forte concentration de filons, il est observé un épaississement des amas de scories allant de 1 à 3 m. Ce qui conforte l'idée que cette partie ancienne de l'île s'est faite par plusieurs appareils volcaniques avec des centres d'émission pouvant se situer en mer.
- L'unité intermédiaire se caractérise par des niveaux détritiques conglomératiques provenant de remaniements et de niveaux pyroclastiques.
- Des coulées de laves massives, épaisses et ennoyées dans des scories, qui se sont épanchées dans les paléovallées creusées au sein du premier relief volcanique. Certaines coulées pluridécamétriques (>30 m) arment le sommet de la falaise et sont suspendues à plus de 150 m au-dessus de la Route du Littoral (Nédellec, Cruchet, 2008).

Des dykes (intrusions verticales de lave au sein des empilements de coulées de lave) apparaissent enfin en pied de falaise et recoupent les formations anciennes et plus rarement les séries récentes (unité supérieure). Les zones de forte concentration de dykes correspondent aux secteurs où l'unité inférieure est la plus haute en altitude sur les falaises du littoral (Nédellec, Cruchet, 2008).

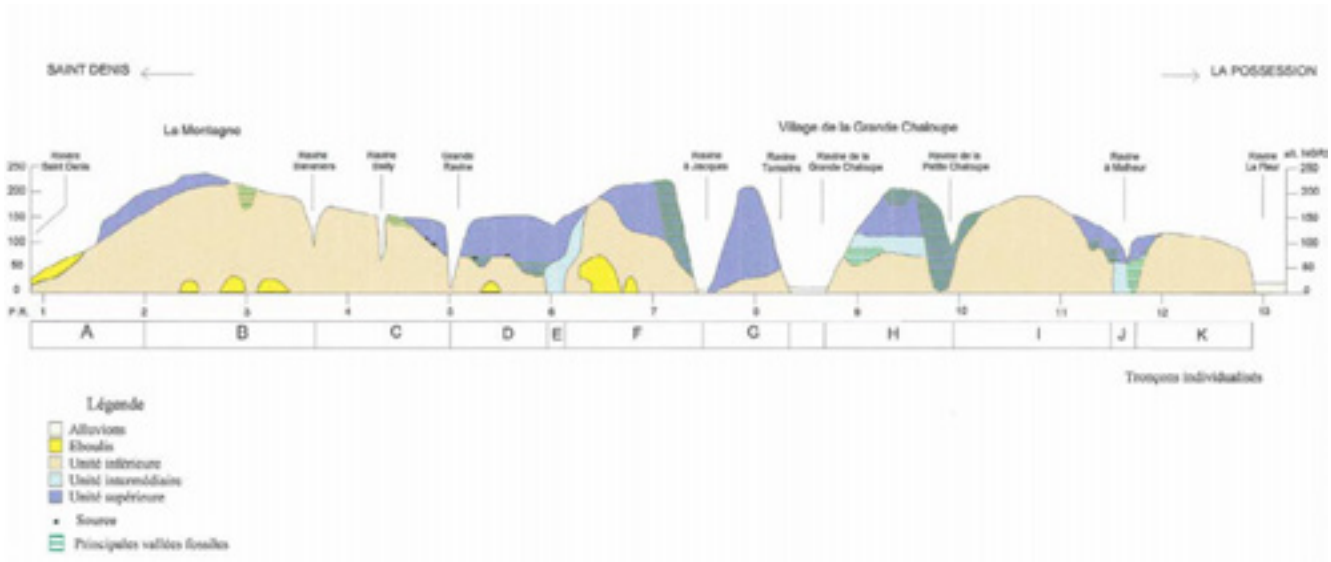


Figure 2.22 : Coupe géologique simplifiée de la fausse falaise bordant la RN1, entre La Possession et Saint-Denis (Nédellec, Cruchet, 2008 d'après Westercamp, 1981).

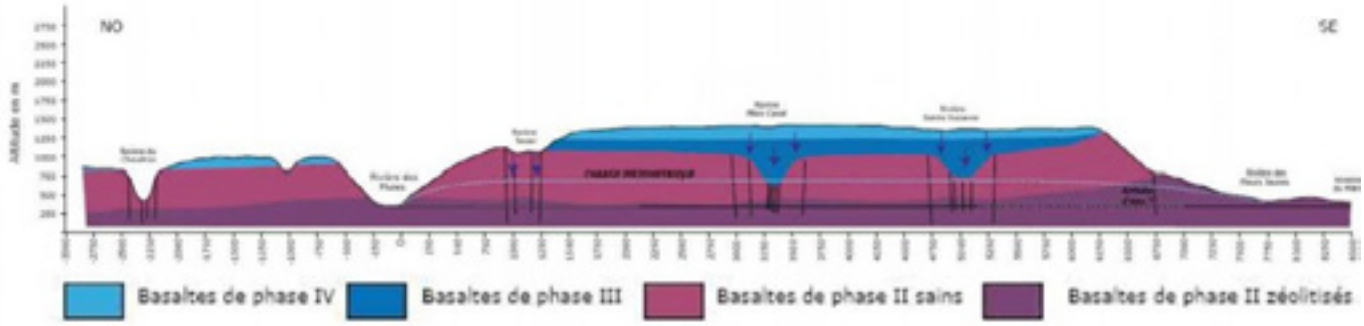


Figure 2.23 : Coupe géologique simplifiée de la falaise entre Saint-Denis et Saint-André (d'après le rapport ECSHY, 2010 dans Office de l'Eau Réunion, 2012).

Secteur nord : de Saint-Denis à Saint-André

D'après la carte géologique au 1/100 000 du BRGM (Figure 2.14), le secteur nord présente des alluvions d'âge et de nature différents en bordure littorale et des basaltes de phases II, III et IV sur les planèzes qui correspondent au flanc du volcan bouclier lors de sa mise en place.

La géologie profonde de la planèze de Saint-Denis, entre la rivière Saint-Denis et la rivière des Pluies, correspond aux coulées anciennes du volcan (phases I et II du Piton des Neiges). Ce sont des séries basaltiques épaisses de plusieurs centaines de mètres, constituées de coulées massives et de scories alternées, parfois intercalées localement par des paléosols, des épandages d'alluvions ou des tufs (Figure 2.23). L'alternance des coulées massives avec les scories s'observe particulièrement bien sur le long de la route côtière RN1 (Bret, 2002 ; Bachèlery, 2004b ; Office de l'Eau Réunion, 2012).

Les laves plus récentes de la plaine des Chicots et de la plaine des Fougères dans lesquelles coule la rivière des Pluies, se sont épanchées en grande partie a l'est de cette rivière. Elles ont également emprunté le lit de la rivière Saint-Denis pour s'épandre sur le littoral et former le substratum de l'actuelle ville de Saint-Denis (Bret, Fèvre, *et al.*, 2003 ; Office de l'Eau Réunion, 2012).

Le secteur de Saint-André représente le cône alluvial de la rivière du Mât. Il s'étend au nord, jusqu'à Sainte-Suzanne, et au sud, jusqu'à Bras-Panon. Une hauteur importante d'alluvions a pu être identifiée (jusqu'à 280 m au centre de la plaine, au niveau du forage Paniandy). En amont, des formations basaltiques ont été identifiées sous les alluvions à -46 m NGR. Plus en aval, des coulées de basalte à olivine sont identifiées à -100 m NGR (Office de l'Eau Réunion, 2012).

2.2.3.b Massif du Piton de la Fournaise

Le massif du Piton de la Fournaise occupe le tiers est de l'île. Il s'est formé sur le flanc sud-est du Piton des Neiges alors que ce dernier était encore en activité. Son sommet présente actuellement trois remparts d'effondrements successifs et concentriques ouverts vers l'est correspondant à des caldeiras d'effondrement gravitaire. Certaines limites de ces effondrements sont aujourd'hui occupées par des cours d'eau tels que la rivière des Remparts, la rivière Langevin et la rivière de l'Est (Bachèlery, 1981 ; Chevallier, Bachèlery, 1981 ; Bachèlery, Mairine, 1990 ; Bachèlery, Lénat, 1993 ; Barcelo, 1996 ; Bachèlery, 2004a, 2004b ; Salvany, 2009).

Le littoral de la côte au-vent de La Réunion provient principalement des coulées basaltiques du massif du Piton de la Fournaise. Raunet (1991) propose un découpage du secteur sud-est de l'île en trois zones géologiques, selon l'âge des coulées volcaniques qui se sont échelonnées sur les différentes périodes d'activité des six volcans du massif. Les figurés exposés en Figure 2.24 décrivent la légende des figures ultérieures Figure 2.25, Figure 2.26, Figure 2.27 :

Secteur est : de la rivière des Marsouins à la pointe de Bois Blanc

Entre les embouchures de la rivière des Marsouins (Saint-Benoît) et de la rivière de l'Est (Sainte-Rose), le linéaire côtier est composé d'alluvions récentes recouvrant principalement les coulées du quatrième volcan du massif de la Fournaise dont la limite orientale s'établit sur la rive gauche de la rivière de l'Est.

Plus au sud, le littoral de Bois Blanc (Sainte-Rose) a été élaboré à partir de coulées basaltiques de phase III localement recouvertes par des cendres de la Fournaise, dont l'épaisseur demeure moins élevée que pour les phases I et II. La coulée de Piton de Sainte-Rose, en 1977, est l'unique coulée issue du volcan actuel correspondant à la phase VI (Bachèlery, Montaggioni, 1983 ; Gillot *et al.*, 1990 ; Raunet, 1991).

Secteur sud-est : de la pointe de Bois Blanc à la Rampe de Basse Vallée

L'ensemble du secteur sud-est s'étendant de la pointe de Bois Blanc (Sainte-Rose) à la Rampe de Basse Vallée (Saint-Philippe) s'est très majoritairement construit à partir des coulées de laves récentes du massif du Piton

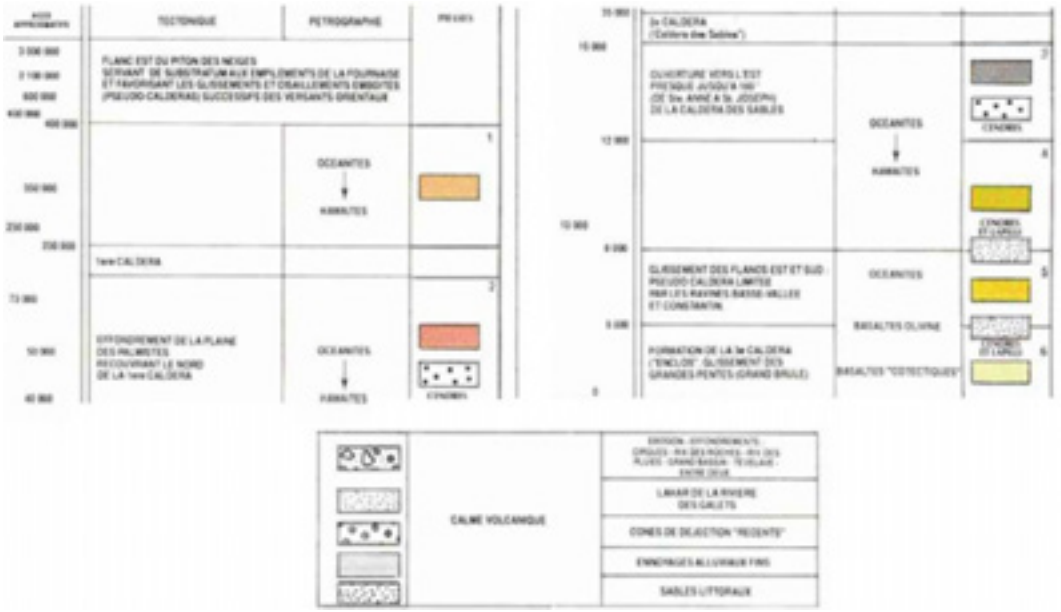


Figure 2.24 : Légende appliquée aux figures de zonation géologique pour les secteurs de la Figure 2.25., Figure 2.26 : et Figure 2.27 : (d'après Raunet, 1991)

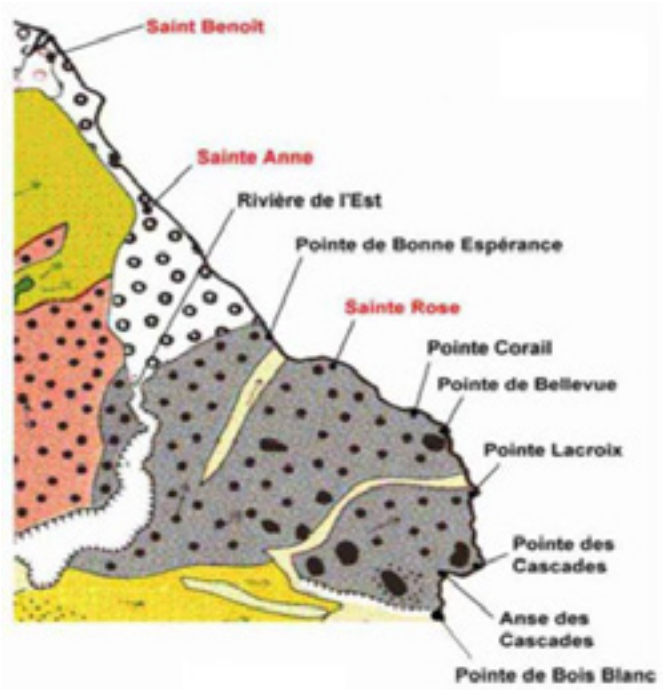


Figure 2.25 : Zonation géologique sur le secteur est : de la rivière des Marsouins à la pointe de Bois Blanc (d'après Raunet, 1991)

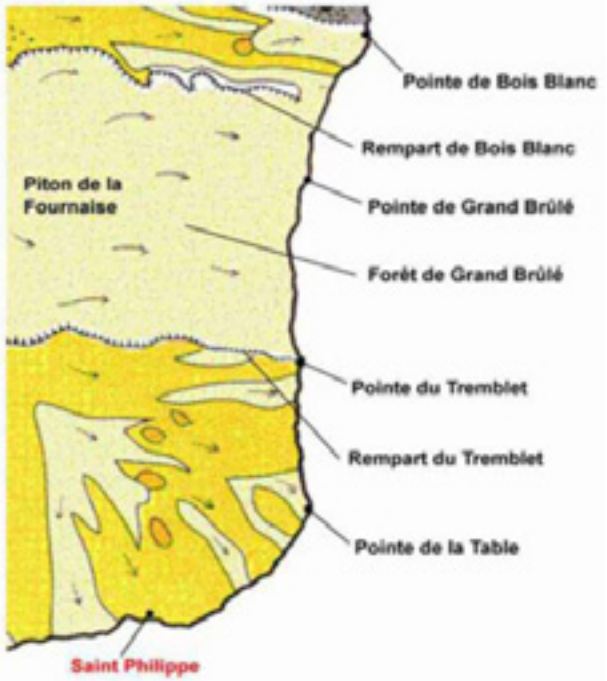


Figure 2.26 : Zonation géologique sur le secteur sud-est : de la pointe de Bois Blanc à la Rampe de Basse Vallée (d'après Raunet, 1991)

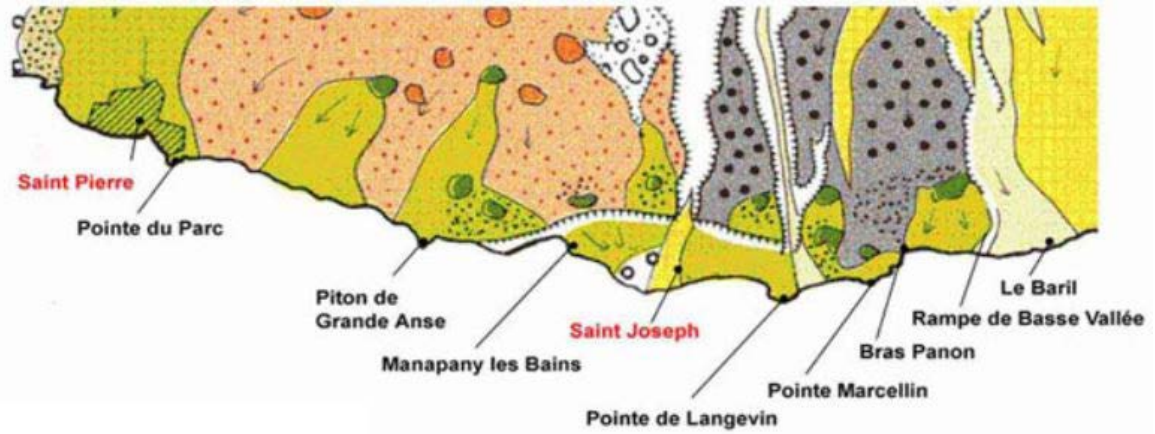


Figure 2.27 : Zonation géologique sur le secteur sud : de la Rampe de Basse Vallée à Saint-Pierre (d'après Raunet, 1991).

de la Fournaise et présente une certaine homogénéité géologique (Raunet, 1991).

La pseudo-caldeira qui se développe à l'est jusqu'à la mer est délimitée par le rempart de Bois Blanc au nord et le rempart du Tremblet au sud (Bachèlery, 1981). Les basaltes à olivine et les océanites de phase V et VI (hors enclos) apparaissent jusqu'au rempart de Bois Blanc, puis les basaltes dits « cotectiques » de phase VI (intra enclos) se généralisent jusqu'au rempart du Tremblet. Enfin, des basaltes de phase V et VI sont trouvés jusqu'à la Rampe de Basse Vallée (Gillot *et al.*, 1990 ; Raunet, 1991).

Secteur sud : de la Rampe de Basse Vallée à Saint-Pierre

Le secteur côtier compris entre la Rampe de Basse Vallée (Saint-Philippe) et Saint-Pierre décrit un littoral rocheux où affleurent les plus anciens épanchements de laves (phase I), en alternance avec des produits effusifs plus récents (phase IV).

Entre la Rampe de Basse Vallée et la ravine des Cafres (Saint-Pierre), le littoral est composé de basaltes de phase IV, à l'exception de la coulée de Commerson (dont les basaltes sont en principe de phase V) dans le lit de la rivière des Remparts (Gillot *et al.*, 1990) .

Un cône alluvionnaire à galets est présent au niveau de la rivière des Remparts, ainsi qu'un ensablement côtier dans le secteur de Grands Bois et du Piton de Grande Anse. Enfin, à partir de l'embouchure de la ravine des Cafres jusqu'à Saint-Pierre, le linéaire côtier se caractérise par des falaises basaltiques édifiées par le premier volcan du massif de la Fournaise (Rivals, 1989).

2.3 Géomorphologie

2.3.1 Géomorphologie terrestre

2.3.1.a Description géomorphologique générale

La morphologie de La Réunion est principalement volcanique et présente des formations d'érosion ainsi qu'une morphologie d'accumulations terrestres (plaines) et marines (plages coralliennes, cordons littoraux) (Robert, 1974).

Le littoral de l'île de La Réunion s'étend sur un linéaire d'environ 256 km, entrecoupé d'un réseau hydrographique dense alimentant les plages, les dunes et les cordons de galets situés de part et d'autre des exutoires dans les zones d'accumulation (BRGM, 2006). Le linéaire côtier présente quatre types de côte :

- les côtes rocheuses regroupent les falaises, les fausses falaises et les plate-formes rocheuses qui occupent principalement le sud et le sud-est de l'île ;
- les côtes alluvionnaires, constituées par l'accumulation de sédiments terrigènes, composent les cordons de galets et les plages de sable basaltique « noir et vert » d'origine fluviatile, particulièrement abondants à proximité des exutoires de cours d'eau et majoritairement remaniés par les actions marines tout autour de l'île ;
- les côtes coralliennes, associées à des récifs frangeants distribués le long de la façade sud et ouest de l'île, décrivent des plages abritées et approvisionnées en sable « blanc » biodétritique ;
- les côtes aménagées (ports, ouvrages de protection contre la mer et autres artificialisations du trait de côte) combinent différents stades d'artificialisation majoritairement développés dans les principales agglomérations sur les côtes ouest et nord de La Réunion (voir Chapitre 5 Interventions humaines le long du littoral).

Le linéaire côtier de l'île de La Réunion est à 86 % naturel (Cerema, 2015) : les côtes d'accumulation (constituées de sables, vases ou galets) sont proportionnellement majoritaires, car elles représentent 45 % du linéaire de l'île (Tableau 2.3). Les côtes paraissent relativement assez artificialisées avec près de 14 % de son linéaire anthropisé[3] (Figure 2.28).

3| Le trait de côte de référence Histolitt® (Shom-IGN), produit au 1/25 000, donne un linéaire pour La Réunion dont les limites rentrent profondément dans les embouchures des cours d'eau, suit le contour des canaux et des ouvrages à l'intérieur des ports, prend en compte les îlots et les récifs rocheux ou coralliens émergés. Elles couvrent donc un espace rétro-littoral et ultra-marin qui augmente le linéaire de trait de côte. Ainsi, un nouveau linéaire a été calculé à partir de l'emprise des informations géographiques du projet européen EUROSION (trait de côte produit au 1/100 000) projetées sur le trait de côte Histolitt® nettoyé des îlots inférieurs à 1 ha. Ce calcul donne un linéaire global de 256,420 km pour l'île et sert de base aux statistiques liées aux types de côte et à l'évolution du littoral dans la suite de ce document. Le caractère « artificialisé » est ici extrait de la base de données européenne EUROSION.

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Type de côte

Pics
Volcan
Etangs
Réseau hydrographique permanent
Bâti

Type de côte

Falaise et côte rocheuse supérieure à 20m
Falaise et côte rocheuse inférieure à 20m
Côte d'accumulation sableuse ou sablo-limoneuse
Côte artificialisée

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topographie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Géomorphologie du trait de côte - EEA & Cerema
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 2.28 : Les différents types de côte sur l'île de La Réunion

Tableau 2.3 : Linéaire côtier cumulé (en km) selon le type de côte rencontré sur l'ensemble de l'île de La Réunion (Cerema, 2015 d'après Histolitt®). Ces chiffres ne prennent pas en compte le linéaire des îlots pour une longueur globale cumulée du trait de côte de La Réunion de 256420 km (donnée fournie par Histolitt, cf. note de bas de page 3).

Falaises et côtes rocheuses		Côtes d'accumulation		Côtes artificialisées	Total (sans îlot)
> 20 m	< 20 m	Sableuses, sablo-vaseuses et galets	Vaseuses		
36,4	69,6	114,8	0,0	35,6	256,4
	106,0		**114,8**		

Tableau 2.4 : Linéaire côtier cumulé (en km) selon le type de côte rencontré entre le cap la Houssaye et la pointe de Bonne Espérance (Cerema, 2015 d'après Histolitt®). Ces chiffres ne prennent pas en compte le linéaire des îlots pour une longueur globale cumulée du trait de côte de l'unité morphosédimentaire de 97,9 km (donnée fournie par Histolitt)

Falaises et côtes rocheuses		Côtes d'accumulation		Côtes artificialisées	Total (sans îlot)
> 20 m	< 20 m	Sableuses, sablo-vaseuses et galets	Vaseuses		
1,0	1,2	67,7	0,0	28,0	97,9
	2,2		**67,7**		

2.3.1.b Description géomorphologique depuis le cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance

L'unité morphosédimentaire comprise entre le cap la Houssaye (Saint-Paul) et la pointe de Bonne Espérance (falaises en face du port de Sainte-Anne) correspond au littoral nord et est de La Réunion qui inclue la quasi-totalité des côtes d'accumulation alluvionnaire de l'île (Tableau 2.4).

En effet, les côtes alluvionnaires concernent 32 % des littoraux de l'île de La Réunion et sont constituées des sédiments terrigènes basaltiques produits par l'érosion des massifs volcaniques du Piton de La Fournaise et du Piton des Neiges, puis transportés sur le littoral par les rivières et les ravines (Louvat, Allègre, 1997 ; De la Torre *et al.*, 2012) : les côtes meubles du secteur concernent aussi bien des plages de sable « noir » (Figure 2.29) que des cordons de galets (Figure 2.30).

D'un point de vue minéralogique, il n'existe pas de sable purement siliceux à La Réunion. Les sables sont d'origine basaltique et comporte des lithoclastes, des minéraux ferromagnésiens (olivine, augite) et des oxydes métalliques en majorité d'où leur couleur noire, ou verte quand les cristaux d'olivine sont abondants (Nativel, 1978 dans Troadec, 1991).

Les alluvions, accumulées au droit des cônes deltas des cours d'eau, sont remobilisées par les vagues et les courants pour être redistribuées le long de la côte. Les matériaux les plus fins comblent par la suite les baies,

Figure 2.29 : Plage de sable noir à Saint-Paul (© Cerema/S. Lendre, 2019).

Figure 2.30 : Cordon de galets à Saint-Denis (© BRGM, 2003)

où se développent les plages de sable volcanique : les sables de la baie de Saint-Paul (Figure 2.29) proviennent de la rivière des Galets qui a drainé vers la mer les matériaux érodés, suite au creusement du cirque de Mafate. Les particules les plus fines sont finalement remaniées par le vent pour édifier les dunes (Billard, Vincent, 1974).

Dans le secteur présentement considéré, la plage de Bel-Air (au sud de l'étang du Gol, à l'Étang-Salé) et les plages de la baie de Saint-Paul sont constituées de sable fin, d'origine basaltique, sur une largeur d'environ 40 m. Plus au nord, de part et d'autre du Port, le sable fin se mélange à une forte proportion de galets provenant des déversements de la rivière des Galets. Côté terre, ces plages peuvent être surmontées d'une berme de haut de plage et d'une dune parfois végétalisée.

Facteur prédominant dans les processus d'érosion de l'île, les rivières et les ravines transportent une masse considérable d'alluvions (Figure 2.31). Les plus fines sont rapidement chassées par l'intensité des agents dynamiques ; les exutoires des cours d'eau sont régulièrement encombrés de galets.

Figure 2.31 : Embouchure et lit de la rivière du Mât, Bras-Panon / Saint-André (© C. Baboulene, 2015 – source : http://www.conservatoire-du-littoral.fr).

L'artificialisation (aménagements urbains et portuaires, ouvrages de protection côtière) s'est développée dans les principales communes de l'île et majoritairement sur la côte nord-ouest, au sein de l'unité morphosédimentaire du cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance, qui comptabilise le plus long linéaire cumulé de côtes artificialisées de l'île par rapport aux autres unités (28,0 km d'après le Tableau 2.4).

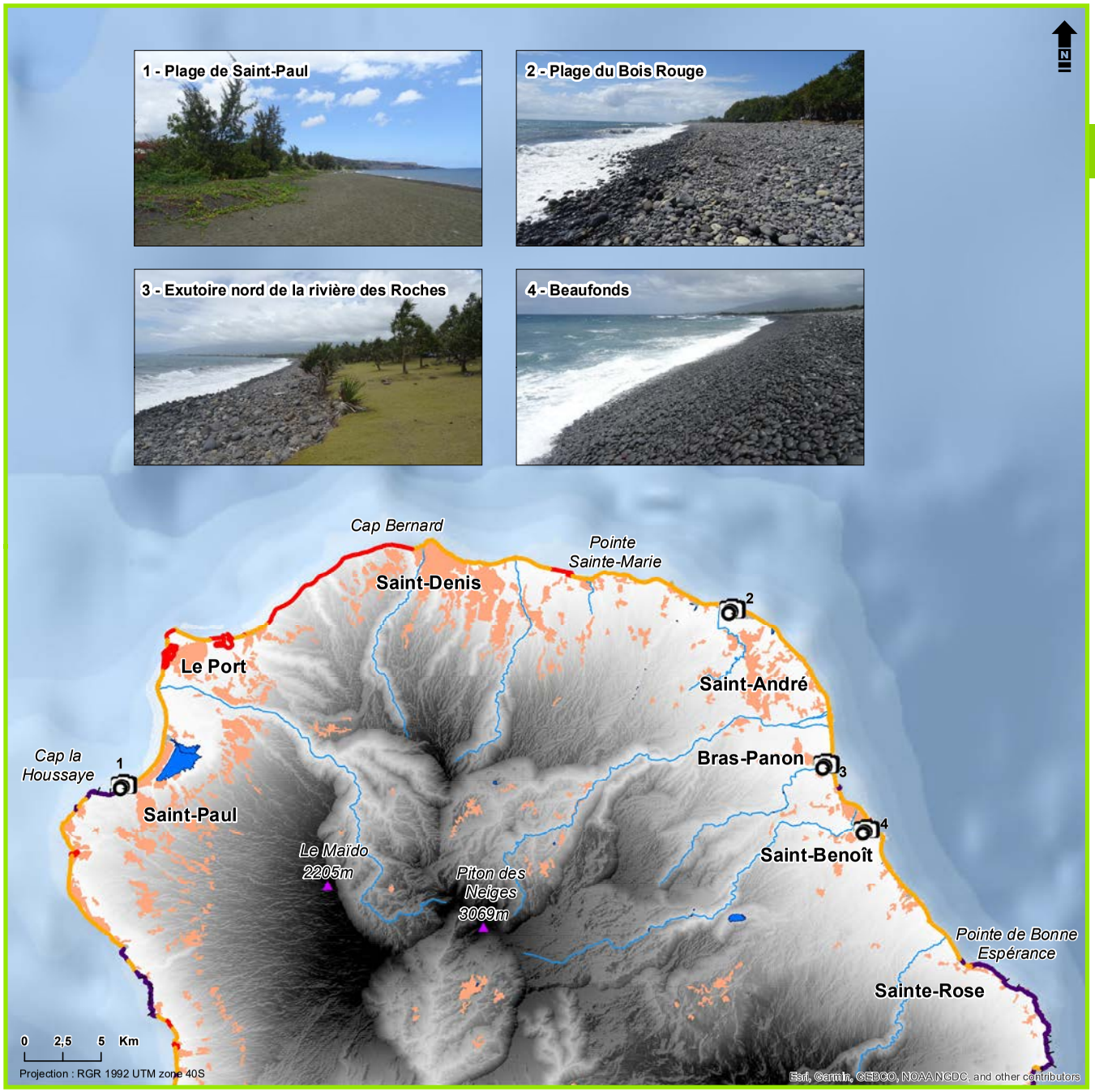
2.3.1.c Description géomorphologique de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste

Les côtes rocheuses représentent un peu plus de 41 % du linéaire côtier de La Réunion (Cerema, 2015 ; Tableau 2.3). Présentes essentiellement au sud et au sud-est de l'île (Tableau 2.5) au sein de l'unité qui s'étend entre la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) et le cap Auguste du Piton de Grande Anse (Petite-Île), les côtes rocheuses peuvent se trouver sous la forme de falaises (Cap Méchant, Figure 2.33. ; Piton de Grande Anse ; etc). Certaines formations basses sont également observées.

Tableau 2.5 : Linéaire côtier cumulé (en km) selon le type de côte rencontré entre la pointe de Bonne Espérance et le cap Auguste (Cerema, 2015 d'après Histolitt®). Ces chiffres ne prennent pas en compte le linéaire des îlots pour une longueur globale cumulée du trait de côte de l'unité morphosédimentaire de 79,1 km (donnée fournie par Histolitt).

Falaises et côtes rocheuses		Côtes d'accumulation		Côtes artificialisées	Total (sans îlot)
> 20 m	< 20 m	Sableuses, sablo-vaseuses et galets	Vaseuses		
26,5	44,6	7,2	0,0	0,8	79,1
	71,1		**7,2**		

Figure 2.33 : Falaises basaltiques du cap Méchant (Saint-Joseph) dans le Sud Sauvage (© S. Berrut, 2009 ; source : www.geo.fr)



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Type de côte

Cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance

Photo et numéro correspondant

Pics

Réseau hydrographique permanent

Etangs

Bâti

Trait de côte Histolitt

Type de côte

- Falaise et côte rocheuse < 20 m en Roches volcaniques
- Falaise et côte rocheuse > 20 m en Roches volcaniques
- Côte d'accumulation sableuse ou sablo-limoneuse
- Côte artificialisée

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topopgraphie - BDAllti® - ©IGN - Reproduction interdite
Géomorphologie du trait de côte - EEA & Cerema
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012
Fond bathymétrique : ESRI
Crédits photos :
© Cerema/S. Lendre 2019

Figure 2.32 : Les différents types de côte de l'île de La Réunion, détails du secteur du cap la Houssaye (Saint-Paul) à la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose).

Ces dernières correspondent à des deltas de lave (comme celui de la pointe de la Table à Saint-Pierre, Figure 2.34), dont les tunnels produisent les célèbres « souffleurs », ou à des plate-formes d'abrasion qui témoignent de l'ancienne position de la falaise.

Le plus souvent basaltiques (Figure 2.33), ces côtes rocheuses peuvent aussi être meubles ou mixtes (falaises de Sainte-Suzanne), avec des formations superficielles composées de matériaux plus tendres comme des scories, lahars, lapilli, coulées de débris : c'est notamment le cas de la pointe de Langevin, à Saint-Joseph.

La côte rocheuse au sud-est de l'île de La Réunion est très exposée aux vagues et aux houles cycloniques, à l'origine de divers faciès d'érosion. Des criques et de rares plages de sable noir (arènes basaltiques) très étroites bordent ponctuellement le littoral est, comme au niveau du Piton Sainte-Rose, de la pointe de la Table (Figure 2.34) ou du Grand Brûlé (Rivals, 1989).

Figure 2.34 : Pointe de la Table (source : www.cartedelareunion.fr)

Le littoral méridional de La Réunion présente localement à Saint-Joseph des plages de galets d'origine fluviale (rivière des Remparts). Les plages, plus ou moins remaniées par la mer, sont façonnées par les courants et les vagues qui projettent les galets en un talus très raide. Le cordon littoral qui en résulte à certains endroits peut atteindre 50 m de large, 2 à 3 m de haut, isolant et protégeant l'arrière-pays contre l'érosion marine (Rivals, 1989).

Figure 2.36 : Falaises mixtes de la pointe du Diable (© B. Navez, 2007)

Tableau 2.6 : Linéaire côtier cumulé (en km) selon le type de côte rencontré entre le cap Auguste et le cap la Houssaye (Cerema, 2015 d'après Histolitt®). Ces chiffres ne prennent pas en compte le linéaire des îlots pour une longueur globale cumulée du trait de côte de l'unité morphosédimentaire de 79,4 km (donnée fournie par Histolitt)

Falaises et côtes rocheuses		Côtes d'accumulation		Côtes artificialisées	Total (sans îlot)
> 20 m	< 20 m	Sableuses, sablo-vaseuses et galets	Vaseuses		
9,0	23,8	39,9	0,0	6,8	79,4
	32,8		**39,9**		

2.3.1.d Description géomorphologique du cap Auguste au cap la Houssaye

L'unité morphosédimentaire comprise entre le cap Auguste (Petit-Île) et le cap la Houssaye (Saint-Paul) se démarque des autres unités précédemment exposées, en raison de l'originalité de la côte ouest à présenter des plages de sable blanc bordées de récifs coralliens frangeants. En outre, l'unité comprend également des falaises mixtes basaltiques (Figure 2.36) et des côtes d'accumulation alluvionnaire (Figure 2.37 ; Figure 2.38 ; Figure 2.39) parmi ses paysages côtiers (Tableau 2.6).

Les plages de sable noir sont essentiellement constituées de lithoclastes (débris basaltiques), de minéraux ferromagnésiens (olivine et augite) et d'oxydes métalliques qui leur confèrent leur couleur

Figure 2.37 : Plage de sable noir volcanique à Saint-Leu, ravine des Sables (© BRGM, 2004)

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Type de côte

Pointe de Bonne Espérance au cap Auguste

Photo et numéro correspondant

Volcan

Réseau hydrographique permanent

Etangs

Bâti

Trait de côte Histolitt

Type de côte

Falaise et côte rocheuse < 20 m en Roches volcaniques

Falaise et côte rocheuse > 20 m en Roches volcaniques

Côte d'accumulation sableuse ou sablo-

Côte artificialisée

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topopgraphie - BDAllti® - ©IGN - Reproduction interdite
Géomorphologie du trait de côte - EEA & Cerema
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012
Fond bathymétrique : ESRI
Crédits photos :
© Cerema/S. Lendre 2019
© www.cartedelareunion.fr

Figure 2.35 : Les différents types de côte de l'île de La Réunion : détails du secteur de la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) au cap Auguste (Petite-Île)

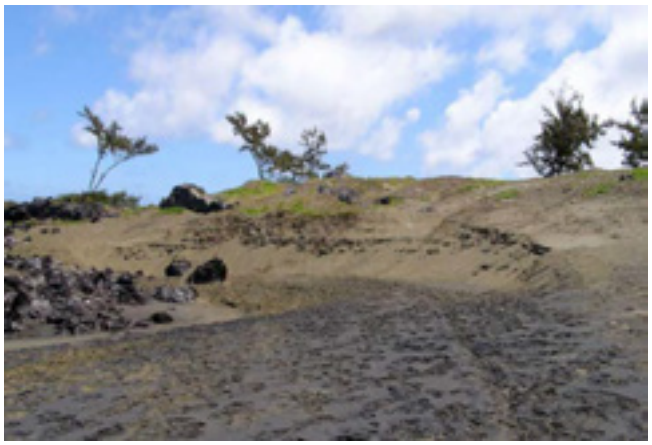


Figure 2.38 : Dune de sable vert chargée en olivine à la ravine des Sables (© BRGM, 2005)

noire (Figure 2.37), ou verte quand les olivines sont abondantes (Figure 2.38).

Rencontré dans la baie de Saint-Paul (voir 2.3.1.b Description géomorphologique du cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance), ce type de plage occupe aussi la côte ouest. Le remaniement des sédiments par la mer a conduit à la formation de cordons littoraux parfois éloignés de leur source d'origine. Par exemple, les dunes à l'image de celles de l'Étang-Salé (Figure 2.39) se sont formées lorsque les particules les plus fines ont été soulevées par le vent.

Dans l'ouest et le sud de l'île jusqu'à Grande Anse, les conditions locales « sous le vent » ont permis le développement de récifs coralliens frangeants qui protègent les plages de la houle et les ravitaillent en sable biodétritique. Ces plages dites de sable « blanc » (d'une longueur de 25 km pour 7 % du linéaire côtier) sont situées en arrière des récifs coralliens (Figure 2.40).

Les plages présentent diverses évolutions selon le type de récif. Les plateformes coralliennes qui bordent de très près les côtes sont dépourvues d'avant-plage. En revanche pour les récifs coralliens plus développés et avec une barrière située à une centaine de mètres du trait de côte, une avant-plage se prolonge dans la dépression d'arrière-récif. La plupart du temps délimitées par les exutoires de cours d'eau, les plages sont principalement alimentées en sables biodétritiques (coralliens et coquilliers). Les cours d'eau qui débouchent sur les plages où à proximité

Figure 2.39 : Plage de l'Étang-Salé (source : www.guide-reunion.fr)

Figure 2.40 : Plage de sable blanc corallien et récif frangeant de l'Ermitage (© S. Gélabert)

Figure 2.41 : Beachrocks de Grande Anse (source : www.randoreunion.fr)

de celles-ci sont à l'origine des plages de sables mixtes (biodétritiques et volcaniques) en contribuant aux apports de sable terrigène (Montaggioni, 1978 ; Troadec, 1991).

L'origine variée (biodétritique ou volcanique) des sables se traduit par une forte hétérogénéité granulométrique des plages qui peut localement être exacerbée par des dépôts grossiers (débris pluridécimétriques de coraux), quelquefois prélevés sur certains lieux touristiques pour en favoriser l'usage balnéaire. Leur apparence plus fine ne traduit donc pas toujours la réalité du fonctionnement hydrosédimentaire (Troadec, 2003).

La dépression d'arrière-récif de l'Ermitage (Figure 2.40) est communément appelée « lagon » à La Saline bien qu'un véritable lagon soit associé à un récif barrière, non à un récif frangeant (voir Catalogue Sédimentologique de Mayotte par exemple). Le sable des plages associé au récif est composé de débris coralliens et coquillés. Des dalles rocheuses, appelées *beachrocks* ou grès de plage (Figure 2.41), sont fréquemment rencontrées sur l'estran inférieur, elles sont composées de sables consolidés. En attestant souvent d'une position ancienne du trait de côte, les *beachrocks* sont considérés comme de véritables marqueurs de l'érosion.

Des dunes littorales ou bien de simples bourrelets sont également observés sur les compartiments supérieurs ou en arrière-plage. Ces formations doivent leur construction à des phénomènes éoliens, actuels ou anciens. La dune bordière a pour vocation de combler les pertes de sable sur la plage en cas de fortes houles cycloniques ou australes. À l'inverse, le vent emporte le sable déposé par les courtes houles sur l'estran pour reformer la dune. Elle est donc un élément essentiel dans le maintien du rivage (Réserve Naturelle Marine de La Réunion, 2012).

2.3.2 Géomorphologie sous-marine

Les 256 km de côtes qui caractérisent La Réunion sont marquées par une topographie très découpée et une zone littorale relativement abrupte qui se prolonge en mer par un plateau continental très étroit. Cette géomorphologie marine est à l'origine d'une diversité importante des milieux marins. Deux types de relief sous-marin sont principalement rencontrés (Figure 2.43) : les reliefs construits et les reliefs formés par les dépôts d'avalanche de débris (Oehler, 2005 ; Oehler *et al.*, 2008 dans Saint-Ange, 2009).

Les accumulations de débris issus de gigantesques glissements ont pu être révélées grâce à des relevés bathymétriques et acoustiques autour de l'île de La Réunion (Lénat, Labazuy, 1990 ; Labazuy, 1991 ; Oehler, 2005 dans Nehlig, Bucelle, 2005). Ces dépôts d'avalanche constituent l'essentiel des reliefs sous-marins et se répartissent suivant cinq axes (voir 4.1.1 Répartition générale sur le plateau continental) contraints par la présence de rifts volcaniques (Saint-Ange, 2009 ; Saint-Ange *et al.*, 2011 ; Sisavath *et al.*, 2011, 2012 ; Babonneau *et al.*, 2013).

Les transferts sédimentaires de la terre vers les fonds marins (Figure 2.44) s'établissent généralement pendant des événements climatiques ou géologiques extrêmes (crues torrentielles, séismes, tempêtes, cyclones, éruptions volcaniques), à l'origine de profondes modifications des morphologies terrestres et sous-marines (Bret, Fèvre, *et al.*, 2003 ; Garcin *et al.*, 2005 ; Korup, 2012 ; Babonneau *et al.*, 2013).

La géomorphologie sous-marine de La Réunion se distingue aussi par :

- Des zones de substrat meuble qui correspondent le plus souvent aux secteurs géologiques les plus anciens et sont associés aux systèmes de plaines alluviales créées par les principales rivières pérennes (Montaggioni, 1971 ; Babonneau et al., 2013). Les flux

Figure 2.42 : Les différents types de côte de l'île de La Réunion, détails du cap Auguste (Petite-Île) au cap la Houssaye (Saint-Paul)

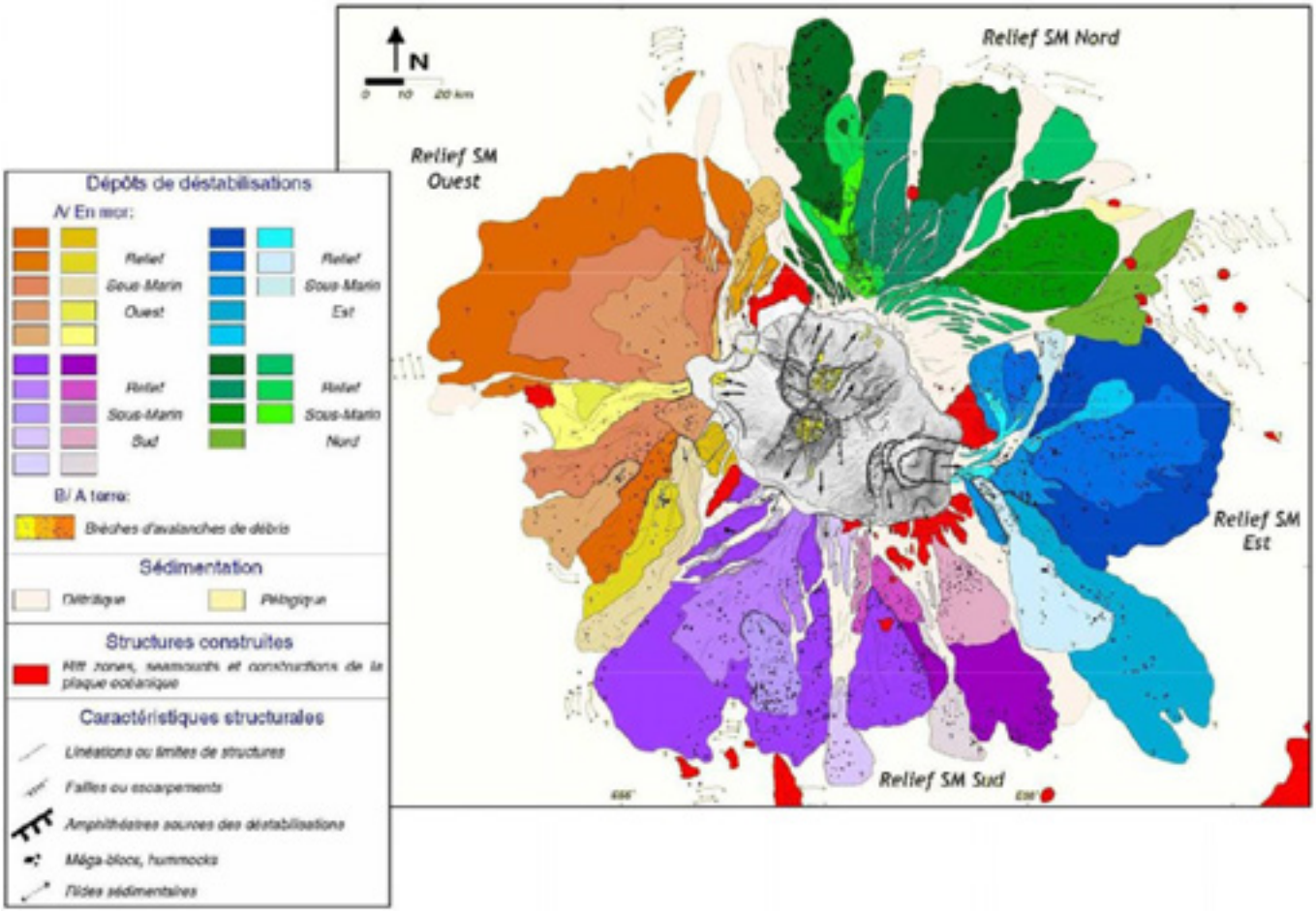


Figure 2.43 : Localisation des avalanches de débris et surfaces à hummocks sous-marines sur la carte bathymétrique de La Réunion (Oehler, 2005)

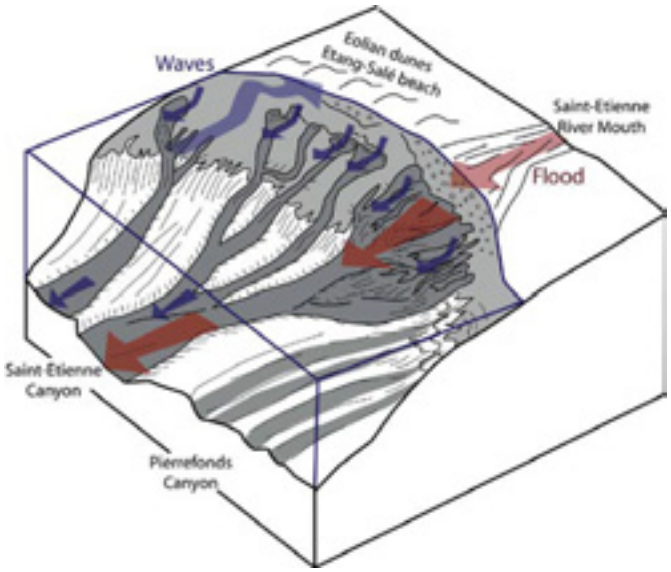


Figure 2.44 : Illustration schématique des transferts sédimentaires de la terre vers les fonds marins à l'origine des courants de turbidité au sein des canyons sous-marins (Babonneau et al., 2013). Exemple de la rivière Saint-Étienne : les flèches rouges illustrent les processus induits par les crues à l'origine des courants hyperpycnaux4 de turbidité ; les flèches bleues décrivent les processus générés par les houles de tempête (houles australes ou cycloniques)

sédimentaires depuis la côte vers l'océan profond se manifestent par un courant de turbidité empruntant les canyons sous-marins situés dans l'alignement des principaux cours d'eau (Reading, Richard, 1994 ; Piper, Normark, 2009 ; Sisavath et al., 2012 ; Saint-Ange et al., 2013 ; Mazuel et al., 2016).

Ces zones s'étendent majoritairement du nord-ouest au quart est-sud-est de l'île sur environ 100 km de côte (Letourneur, 1992). Si les zones de substrat meuble sont minoritaires en termes de linéaire côtier, elles représentent par contre plus de 60 % de la surface des fonds marins rencontrés entre –5 et –200 m de profondeur, autour de La Réunion (Robert, 1986).

- Des zones rocheuses basaltiques continues qui correspondent aux formations géologiques les plus récentes du massif de la Fournaise. Rencontrées majoritairement au sud-est de l'île entre Saint-Joseph et Sainte-Rose, ces zones s'établissent jusqu'à plus de -100 m de profondeur, même si localement, de petits affleurements de substrat meuble issu d'un processus érosif récent ont été observés (Bigot, 2006).
- Des zones récifales discontinues (12 km²) formées par des récifs frangeants de taille variable qui s'étendent à l'ouest, et au sud-ouest de l'île, sur un linéaire côtier d'environ 25 km (Battistini et al., 1975 ; Montaggioni, Faure, 1980).

Ces ensembles récifaux comportent également des zones de substrat meuble (arrière-récif, platier et pente externe) d'origine corallienne. Les formations sableuses d'origine bioclastique sont cependant différentes, par leur nature et leur composition, des formations de substrat meuble d'origine basaltique rencontrées sur les autres secteurs sous-marins de l'île (Bigot, 2006).

2.4 Habitats naturels

Il existe différents habitats selon le milieu marin (étage supralittoral, médiolittoral ou infralittoral) et selon le substratum constituant le littoral. Leur répartition sur l'île touche trois grands ensembles d'habitats :

- les habitats des substrats rocheux (falaises maritimes et plages de galets),
- les habitats des substrats sableux (plages de sable) et habitats dunaires,
- les habitats des zones humides.

Seuls les habitats naturels ayant une influence notable sur la sédimentologie de l'île de La Réunion sont détaillés ci-après. En particulier, dans l'outre-mer tropical, les récifs coralliens et les herbiers sont en interrelation et jouent un rôle prépondérant dans les processus sédimentologiques, hydrodynamiques et biologiques de la zone littorale. Dépourvue de mangrove, les habitats naturels côtiers de l'île de La Réunion présentent uniquement quelques récifs coralliens frangeants et de rares herbiers de phanérogames le long de la côte sud et ouest (source : www.ifrecor.com).

La zone côtière est caractérisée par des habitats physiques (biotopes) hétérogènes. Ces habitats, marins et terrestres, sont répertoriés et numérotés dans une classification mise en place par le Système d'Information Européen sur la Nature (EUNIS). Le littoral de La Réunion présente une succession de plages sableuses, de falaises et de côtes à galets qui, combinée aux différences d'exposition entre les côtes au vent et sous le vent, permet d'expliquer la diversité des habitats littoraux.

Chacun de ces milieux constitue un type de liaison riche, fluctuante et fragile entre terre et mer. Ces habitats littoraux participent aux processus dynamiques côtiers et forment des écosystèmes singuliers à forte valeur patrimoniale, contribuant à la qualité de la ressource naturelle, qu'elle soit halieutique ou terrestre. Ils agissent ainsi en tant qu'infrastructures naturelles en fournissant des services indispensables à la gestion et à l'aménagement du littoral, notamment en matière d'érosion des côtes. En contrepartie, l'urbanisation importante et relativement dispersée en renforce la fragilité.

La diversité des biotopes sous-marins de La Réunion est relativement faible. La Réunion abrite deux types d'écosystème sous-marins que sont les récifs coralliens et les herbiers de phanérogames marines (**Figure 2.45**). La majorité des fonds marins côtiers de La Réunion est constituée de tombants rocheux et de fonds sédimentaires atteignant rapidement de grandes profondeurs (Hily *et al.*, 2010 ; Cuvilier, 2016).

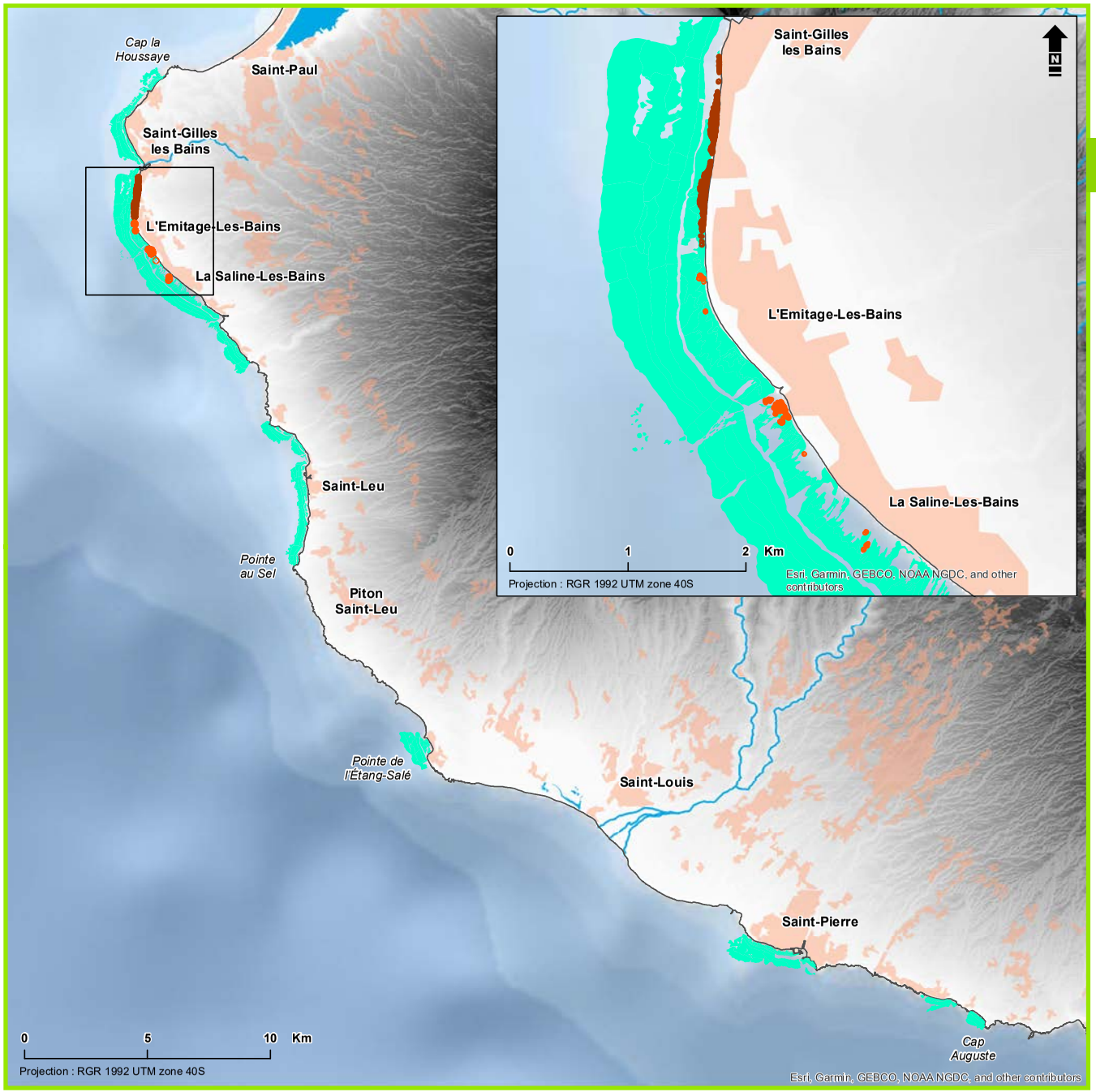
La Typologie Descriptive des Habitats de la Réunion (TDHR) compile une description succincte et illustrée de l'ensemble des postes typologiques des habitats naturels et semi-naturels réunionnais. Cette référence est destinée à des publics variés (services de l'État, bureaux d'études, aménageurs, gestionnaires d'espaces naturels, particuliers).

La TDHR (Lacoste *et al.*, 2014) est structurée en six chapitres en concordance avec les séries de végétation de La Réunion, à savoir : l'étage littoral, les zones humides, l'étage mégatherme semixérophile, l'étage mégatherme hygrophile, l'étage mésotherme et l'étage altimontain (ou oligotherme). Elle participe, avec les fiches habitats, plus axées sur les habitats élémentaires, à la diffusion et à l'appropriation des connaissances sur la notion « d'habitat » à La Réunion (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr).

Outils bien plus précis que la TDHR, les cahiers d'habitats réunionnais (habitats littoraux : Delbosc *et al.*, 2011 ; habitats des zones humides : Lacoste *et al.*, 2011) se déclinent par étage de végétation et ont pour objectif de fournir des états de référence de caractérisation des habitats et donc des outils fiables pour leur conservation. Ils regroupent, sous forme de fiches techniques, l'ensemble des habitats présents, en proposant une toposéquence (avec texte explicatif et photographies) montrant l'insertion des groupements de végétation observés pour chacun des sites, ainsi que les fiches descriptives de ces groupements (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr).

La cartographie des habitats littoraux et des zones humides est téléchargeable sur le site de la DEAL de La Réunion (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr) et se décline au 1/25 000 ou au 1/5 000, selon les secteurs nord, est, sud et ouest de l'île. Les cartographies d'habitats de La Réunion ont une portée très vaste en tant qu'outil de connaissance à vocation à la fois politique et technique. Aussi, elles sont extrêmement utiles et attendues pour mener à bien différents plans, projets, ou stratégies conservatoires et permettent (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr) :

- la délimitation des zones naturelles des PLU et des SCOT ou encore la délimitation des ZNIEFF ;
- un apport de connaissances essentiel pour les



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Habitats naturels

Réseau hydrographique permanent

Etang

Bâti

Habitats naturels marins

Récifs coralliens

Herbiers denses

Herbiers moyennement denses

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topopgraphie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012
Habitats naturels marins - Carmen
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 2.45 : Carte des habitats naturels sous-marins de l'île de La Réunion

Espaces Naturels Remarquables du Littoral (ENRL), les Espaces Boisés Classés (EBC), la Trame Verte et Bleue (TVB) ;

- un apport d'informations plus précises pour réaliser des choix dans les politiques à venir de protection par la maîtrise foncière (Conservatoire du Littoral, Espaces Naturels Sensibles, etc) ou pour la mise en place de nouveaux Arrêté Préfectoraux de Protection de Biotope (APPB), de Réserve Naturelle Régionale (RNR) ou de Réserve Naturelle Nationale (RNN) ;
- une gestion conservatoire optimisée des espaces déjà protégés, comme le Domaine Public Maritime (DPM), les sites du Conservatoire du Littoral (CdL), les Espaces Naturels Remarquables du Littoral (ENRL), les Espaces Boisés Classés (EBC), le Parc National de La Réunion (PNR), la Réserve Naturelle Nationale (RNN) ;
- un enrichissement important des bases de données naturalistes du Système d'Information sur la Nature et les Paysages (SINP) ;
- une information de porter à connaissance pour les projets d'aménagement ainsi qu'une référence et une aide à la décision pour l'ensemble des aménageurs et gestionnaires de l'espace.

Outre les cartes relatives aux cahiers d'habitats réunionnais, d'autres cartographies de milieux naturels existent également à La Réunion (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr) :

- la cartographie des séries de végétation avant l'arrivée de l'Homme (Cadet, 1980) au 1/250 000 ;
- la carte des milieux naturels de La Réunion (PNR, 2012) dont l'échelle d'utilisation maximale est au 1/50 000 ;
- des cartes produites par les gestionnaires d'espaces naturels (Département, CdL, ONF) dont l'échelle d'utilisation est variable selon les sites, du 1/5 000 au 1/25 000 ;
- certaines cartographies liées à des actions spécifiques : ABC de la Plaine des Palmistes dont l'échelle d'utilisation est au 1/5 000, actualisation de l'inventaire des ZNIEFF dont l'échelle d'utilisation est au 1/10 000.

L'élévation du niveau de la mer impactera les écosystèmes littoraux, avec la submersion de sites naturels remarquables, l'apparition ou l'extension de zones humides, la réduction des habitats sur l'estran. Outre leur intérêt faunistique et floristique, les végétaux constituant les habitats naturels côtiers, terrestres ou sous-marins, participent à la réduction de la concentration des gaz à effet de serre par absorption du carbone atmosphérique lors de la photosynthèse.

Ils participent également à la réduction des impacts de l'érosion côtière et de la submersion marine en dissipant l'énergie hydrodynamique sur la côte, en stockant une partie du matériel sableux (dans les cordons dunaires), en limitant les capacités de transport vers l'extérieur (limitation des pertes vers le large grâce aux herbiers marins, ou à terre grâce à la végétation dunaire) et en protégeant ainsi les zones basses en arrière-littoral contre la submersion marine.

Ils sont une des meilleures parades offertes par la nature pour atténuer les effets du changement climatique et participer à la résilience des systèmes côtiers. La dégradation des milieux naturels concourt donc à l'aggravation des impacts du changement climatique. Il sera intéressant de noter que La Réunion est le seul département d'Outre-Mer qui ne possède pas de mangrove (source : http://www.zones-humides.org).

2.4.1 Habitats des substrats rocheux

Les substrats rocheux sont caractérisés à La Réunion par des plages de galets, des côtes rocheuses, des trottoirs et des falaises basaltiques qui se distinguent par leur forme, leur structure et leur vitesse d'évolution. Ils sont caractéristiques d'une importante diversité de milieux géologiques offrant une grande richesse écologique des milieux et des paysages variés.

Les plages de galets sont très communes à La Réunion et plus particulièrement sur la côte « au vent » où elles façonnent le paysage littoral de la commune de Saint-Denis au nord à la commune de Sainte-Rose au sud-est. Les matériaux apportés provenant de l'érosion des roches basaltiques sont remaniés par la mer puis rapportés par les courants le long du trait de côte (Delbosc *et al.*, 2011).

Les plages de galets peuvent être occupées par (Lacoste *et al.*, 2014) :

- une végétation herbacée (hauts d'estran à *Ipomoea pes-caprae*, *Canavalia maritima* ; ourlets à *Stenotaphrum dimidiatum*, *Asystasia gangetica*, *Achyranthes aspera* variante velutina **Figure 2.46.** ; pelouses à *Cynodon dactylon* ; prairies subhumides à *Pennisetum purpureum* ; friches à *Panicum maximum* ; végétations rudérales à *Stachytarpheta urticifolia*, *Macroptilium atropurpureum*, *Mimosa pudica*, *Alternanthera brasiliana*) ;
- une végétation arbustive (fourrés à *Heliotropium foertherianum*, *Scaevola taccada*, *Schinus terebinthifolius*, *Coccoloba uvifera* ; boisements à *Pandanus utilis* **Figure 2.46**).

Les côtes à falaises rocheuses présentent de nombreuses variations dues à la géomorphologie du trait de côte, au gradient d'halophilie et au régime éolien. Sur la côte « au vent », les systèmes littoraux

Figure 2.46 : Ourlet à Achyranthes aspera var. velutina des plages de galets de Saint-Benoît (à gauche) et boisement à Pandanus utilis au Champ Borne, Saint-André (à droite) (© CBNM/P. Delbosc, 2014)

reposent sur des falaises basaltiques hygrophiles, débutant au sud de la commune de Saint-Pierre et se finissant au nord de la commune de Sainte-Rose. Sur la côte « au vent », localisées sur la commue de Sainte-Suzanne les systèmes littoraux reposent sur des falaises basaltiques hygrophiles où les sols sont plus évolués et de nature ferralitique. Les facteurs hygrométriques et halophiles y sont toujours aussi singuliers conditionnant les séquences de végétation. Sur la côte « sous le vent », les falaises semi-xérophiles de La Possession constituent le troisième système de végétation sur falaises. Sur la côte « au vent », il existe des falaises meubles formées de galets basaltiques et d'alluvions colmatées (Saint-Benoît) (Delbosc *et al.*, 2011).

Les falaises rocheuses, découpées par l'érosion marine et continentale des eaux de surface, décrivent des structures géologiques variées, favorisant la présence d'une flore et d'une faune spécifique. L'étagement des peuplements littoraux est directement lié aux conditions hydrodynamiques : marée, courants de marées, vagues et exposition de la côte aux houles. Le phénomène des marées conditionne l'installation des organismes littoraux, pour la quasi-totalité d'entre eux d'origine marine. Ainsi, dans la frange supra-littorale, atteinte par la mer uniquement lors des pleines mers de vives eaux, très peu d'organismes supportent les conditions d'émersion quasi permanentes. Plus bas, dans la zone intertidale, le substrat est largement peuplé. Enfin, sous les basses mers de vives eaux, c'est l'étage infralittoral. Les peuplements se modifient et comportent des espèces qui supportent très mal l'émersion.

Les trottoirs rocheux se distinguent des falaises par la hauteur moins élevée de leur promontoire (de l'ordre de quelques mètres contre une centaine de mètres notamment pour les falaises de La Possession). Les trottoirs rocheux se subdivisent en deux systèmes de végétation très distincts marqués par le gradient hygrométrique : les trottoirs hygrophiles entre Saint-Pierre et Sainte-Rose ; les trottoirs semi-xérophiles du nord de Saint-Pierre jusqu'à Saint-Paul (Delbosc *et al.*, 2011).

Les côtes rocheuses, trottoirs et falaises basaltiques peuvent être occupés pour (Lacoste *et al.*, 2014) :

- les systèmes semi-xérophiles par :
  - une végétation herbacée (pelouses littorales pionnières à *Fimbristylis cymosa*, *Chamaesyce goliana*, *Fimbristylis cymosa*, *Chamaesyce viridula*, *Fimbristylis cymosa* ; pelouses halophiles pionnières à *Delosperma napiforme*, *Delosperma napiforme* ; pelouses post-pionnières à *Trianthema portulacastrum*, *Portulaca oleracea*, *Chloris barbata*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Dactyloctenium ctenioides* ; voiles perhalins à *Ipomoea pes-caprae* sous-espèce *brasiliensis* ; pelouses oligohalines à *Cynodon dactylon*, *Tephrosia purpurea*, *Tephrosia pumila* variantes *aldabrensis*, *ciliata* ; pelouses savanicoles à *Botriochloa pertusa* ; savanes à *Dicanthium annulatum*, *Heteropogon contortus*) ;
  - une végétation arbustive (fourrés littoraux à *Scaevola taccada* ; fourrés secondaires à *Pithecellobium dulce*, *Leucaena leucocephala*, *Lantana camara*, *Desmanthus virgatus*, *Prosopis juliflora*, *Dichrostachys cinerea*, *Schinus terebinthifolius*, *Schinus terebinthifolius*, *Flacourtia indica*, *Vitex trifolia* ; groupements à *Monarrhenus salicifolius*) ;
  - une végétation arborée (forêts et fourrés à *Casuarina equisetifolia* Figure 2.47) ;
- pour les systèmes hygrophiles par :
  - une végétation herbacée (pelouses littorales pionnières à *Fimbristylis cymosa* ; pelouses halophiles pionnières à *Delosperma napiforme* ; voiles perhalins à *Ipomoea pes-caprae* sous-espèce *brasiliensis* ; pelouses halophiles à *Lepturus repens*, *Lepturus radicans*, *Zoysia matrella* Figure 2.47. ; végétations rupicoles à *Selaginella obtusa*,

Centella asiatica, *Ctenitis maritima*, *Selaginella salaziana* ; micro-roselières à *Acrostichum aureum* ; végétations à *Mariscus dubius* ; ourlets à *Stenotaphrum dimidiatum*, *Lycium mascarenense*) ;

- une végétation arbustive (fourrés subcoralliens à *Pemphis acidula* ; fourrés halophiles à *Psiadia retusa*, *Scaevola taccada*, *Ctenitis maritima* ; fourrés littoraux à *Scaevola taccada* ; fourrés adlittoraux à *Pandanus utilis* ; fourrés à *Coccoloba uvifera*, *Dendrolobium umbellatum*, *Pandanus utilis* et *Scaevola taccada*, *Stenotaphrum dimidiatum*, *Nephrolepis biserrata* ; fourrés secondaires à *Schinus terebinthifolius*, *Flacourtia indica*) ;
- ◦ une végétation arborée (bosquets arrière-littoraux à *Latania lontaroides* et *Pandanus utilis*, forêts et fourrés à *Casuarina equisetifolia*).

La côte rocheuse est une importante zone nourricière, de repos, de ponte ou de nurserie pour certaines espèces de poissons, d'oiseaux et de crustacés. Les falaises présentent généralement une grande diversité faunistique où l'avifaune y est particulièrement représentée. La végétation présente sur les falaises meubles et mixtes ralentit leur érosion. En effet, les racines retiennent les terrains et agrippent le substrat, les plantes freinent le ruissellement et favorisent l'accumulation de sédiments. La végétalisation des falaises est à ce sujet une des méthodes de lutte active contre l'érosion.

Les récifs coralliens regroupent enfin certains types d'habitat marin des substrats rocheux présents sur la côte ouest et sud de l'île de La Réunion. Les récifs coralliens se composent d'une armature formée d'organismes constructeurs et de sédiments détritiques carbonés issus de ces organismes. Leur distribution et leur développement sont limités par les exigences écologiques et physiologiques des organismes constructeurs qui composent les structures récifales, principalement les coraux hermatypiques, organismes symbiotiques associant des animaux (polypes) et des algues microscopiques (*zooxanthelles*) (Glynn, 1997 ; Spencer, Viles, 2002). Les récifs coralliens constituent une source de sédiments bioclastiques : ces sédiments sont partiellement exportés vers les littoraux adjacents et l'arrière-récif (Calhoun *et al.*, 2002 ; Mahabot, 2016).

De la haute mer vers la côte, on relève tout d'abord un front récifal qui résulte de l'écroulement du platier vivant battu par les vagues (**Figure 2.48**). La pente externe constitue la zone de croissance du récif vers le large. Elle comprend une dalle corallienne de l'horizon profond (25-50 m) recouverte d'une faible épaisseur d'algues et de divers invertébrés sessiles (Hydraires, Bryozoaires, Éponges) ; une zone mixte entre 20 et 25 m et une zone à « éperons/sillons » (0-20 m) qui demeure la zone la plus riche, notamment en madréporaires et en poissons.

Lui succède un platier récifal. Celui-ci débute par la zone frontale sur laquelle se brisent les vagues, essentiellement constituée d'algues calcaires encroûtantes et d'un hydrocoralliaire (*Millepora platyphylla*). Le platier est également colonisé par des mélobésiées concrétionnaires et des madréporaires. Les platiers (interne et externe) témoignent d'une grande diversité en coraux et poissons.

La partie arrière du récif comprend les platiers nécrosés. La dépression d'arrière-récif, le plus souvent large de quelques mètres (jusqu'à 200-300 m à La Saline), présente une faible profondeur comprise entre 1 m et 1,5 m en moyenne (Nehlig, Bucelle, 2005 et source : www.ifrecor.com).

La cartographie et la description des récifs coralliens ont été assurées par Montaggioni (1978), Bouchon (1979), Montaggioni et Faure (1980), Bouchon (1981), Faure (1982), Guillaume *et al.* (1983), Naim (1989, 1993, 1994), Cuet (1989, 1994), Naim et Cuet (1989), Chabanet

Figure 2.47 : Fourré à Casuarina equisetifolia sur trottoirs basaltiques massifs semi-xérophiles de la ravine des Cafres (à gauche) et pelouse halophile à Zoysia matrella sur les côtes rocheuses hygrophiles de Saint-Philippe (à droite) (© CBNM/P. Delbosc, 2014)

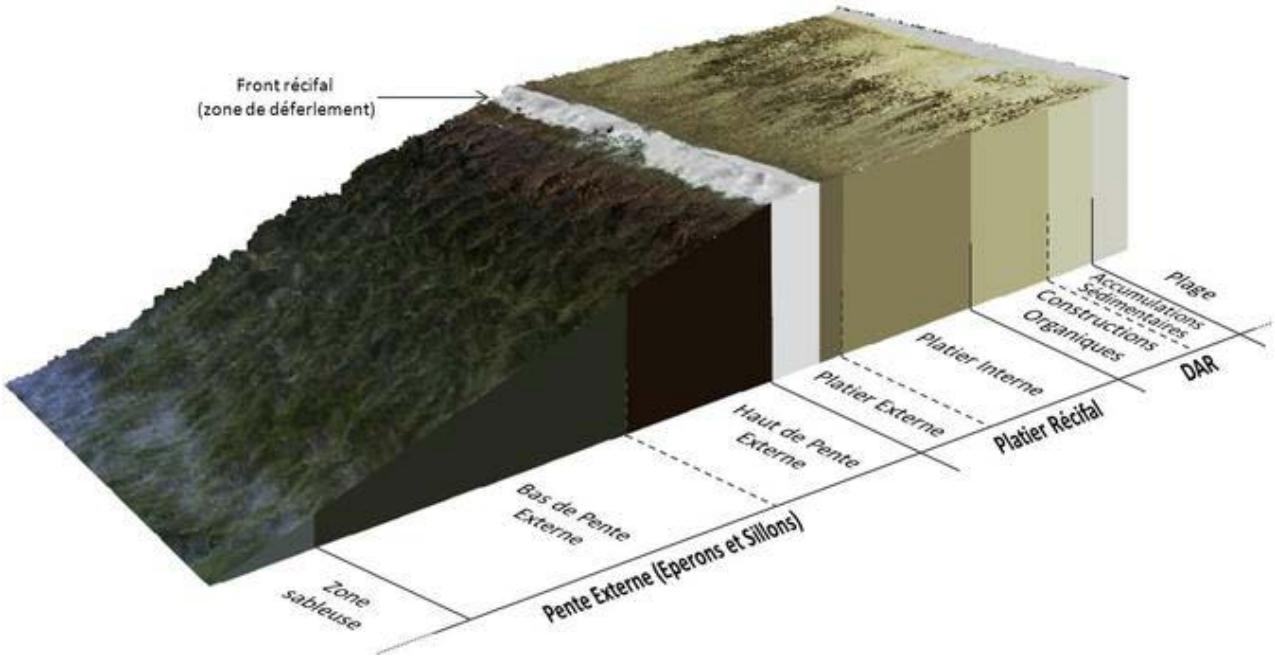


Figure 2.48 : Éléments de géomorphologie récifale des récifs frangeants de La Réunion (d'après les images hyperspectrales et Montaggioni, Faure, 1980 ; source : envlit.ifremer.fr)

(1989, 1994), Mioche (1998), Mioche et Troadec (2002), CAREX et ARVAM (2005), Nicet *et al.* (2016).

Considérés comme des écosystèmes juvéniles, les récifs ont une faible extension vers le large et se sont exclusivement développés au-dessus du socle rocheux. Ils présentent différentes classes d'habitat marin (dans Nicet *et al.*, 2016) :

- Pente externe à éperons et plateformes, sillons, travées, vallons rocheux basaltiques à couverture corallienne : les zones de pentes externes basaltiques jouxtent les édifices coralliens. Elles sont soumises à un fort hydrodynamisme et sont façonnées par l'action des houles qui leur confèrent un aspect en « éperons/ sillons » à relief très accentué, comparable à ceux rencontrés en zone récifale. Entre -5 et -10 m de profondeur, le substrat est colonisé par des formations coralliennes (10 % de recouvrement) souvent mono-génériques, et par des gazons algaux.
- Pente externe récifale – Dalle rocheuse profonde de glacis inférieur de pente externe : la dalle rocheuse basaltique profonde fait directement suite aux différents secteurs de pente externe récifale, dont elle constitue le soubassement en terme géomorphologique. Selon l'importance du développement des formations bio-construites de pente externe, la dalle forme une zone de faible pente constituée par une succession de substrats colonisés par des formations algales, des travées sableuses et des colonies coralliennes éparses. La diversité et le recouvrement corallien sont assez faibles (1 à 5 %) et formés par des espèces caractéristiques du milieu profond.
- Pente externe récifale – Zone à « éperons/sillons » marqués avec couverture corallienne moyenne à forte : la zone de pente externe à « éperons/sillons » constitue un des faciès les plus remarquables de l'écosystème récifal réunionnais. Entre -5 et -15 m de profondeur, cette zone corallienne à fort potentiel de bio-construction est caractérisée par un relief marqué propice à abriter de nombreuses espèces sessiles et vagiles (poissons). Caractérisée par une couverture corallienne moyenne (30 à 40 %), elle présente une diversité élevée en Scléractiniaires.
- Pente externe récifale – Zone à « éperons/sillons », pente faible avec couverture corallienne faible : la zone de pente externe à « éperons/sillons » caractérisée par la présence de failles plus ou moins marquées est liée au déferlement de la houle. Entre -6 et -10 m de profondeur, en retrait de la zone d'action directe des houles, cet habitat assez typique de l'environnement récifal réunionnais est marqué par une zone corallienne à fort potentiel de bio-construction. Caractérisée par des peuplements coralliens épars, sont taux de recouvrement varie entre 15 et 20 %.
- Pente externe récifale – Horizon supérieur de pente externe à colonies coralliennes denses : l'horizon supérieur de la pente externe compris entre -3 et -5 m est constitué par des massifs coralliens épars qui colonisent le substrat soumis au déferlement de la houle. Les éperons sont peu marqués et les courants importants. Le plus souvent, les formations coralliennes sont assez massives ou encroûtantes et forment un tapis corallien (recouvrement supérieur à 30 %) avec des espèces assez diversifiées.
- Platier récifal à alignements transversaux avec couverture corallienne moyenne : la partie médiane du platier récifal est contiguë au platier interne. Elle est ici caractérisée par une zone à relief marqué avec des travées perpendiculaires au front récifal. Ces

travées sont de taille variable selon les récifs et sont directement structurées par l'action de déferlement de la houle sur le platier (action érosive). Les massifs coralliens y sont de petite taille et le plus souvent épars. Les coraux (recouvrement de 30 à 50 %) sont caractérisés par des formes digitées (*Acropora ssp*) et sub-massives (*Porites spp.*, *Pocillopora spp*), associés localement à des coraux de feu (*Millepora spp*).

- Platier récifal à colonies coralliennes coalescentes : la partie interne du platier récifal qui est limitrophe avec la dépression d'arrière-récif est caractérisée par une zone à relief marqué. Les massifs coralliens y sont de grande taille et colonisent ce secteur du platier où la bio-construction est très importante. Les coraux y sont dominants (recouvrement de 20 à 40 %), avec des formes branchues (*Acropora ssp*) et sub-massives (*Pocillopora spp*). Les espèces sont assez diversifiées.
- Platier récifal compact avec cuvettes peu profondes et sillons sableux : la partie interne du platier récifal qui est limitrophe avec la dépression d'arrière-récif est soumise à une forte hydrodynamique. Les coraux colonisent ce secteur du platier (recouvrement de 30 à 80 %) où la bio-construction est très importante. Caractérisées par des formes digitées, branchues voire encroûtantes (*Acropora ssp*) et sub-massives (*Pavona sp.*, *Acropora sp.*, *Porites spp.*), les espèces sont assez diversifiées.
- Dépression d'Arrière-Récif à herbier dense discontinu ou réticulé (*Syringodium isoetifolium*) sur épandages détritiques : la partie interne du platier récifal qui est limitrophe avec la dépression d'arrière-récif est caractérisée par une zone à relief marqué. Les massifs coralliens y sont de grande taille et colonisent ce secteur du platier où la bio-construction est très importante. Les coraux y sont dominants (recouvrement de 20 à 40 %) caractérisés par des formes branchues (*Acropora ssp*) et sub-massives (*Pocillopora spp*), les espèces sont assez diversifiées.

Les formations coralliennes de l'île peuvent être divisées selon quatre unités spatiales (source : www.ifrecor.com), réparties à l'ouest de l'île (**Figure 2.49**) :

- la plus grande est l'unité de Saint-Gilles-La-Saline (**Figure 2.50**), formée par les plates-formes récifales du cap Homard, du cap Champagne, de Grand-Fond, de la Souris Chaude et du récif frangeant de Saint-Gilles-La-Saline ;

Figure 2.50 : Photographie sous-marine du « lagon » de l'Ermitage, à La Réunion (© P. Bourjon, 2014)

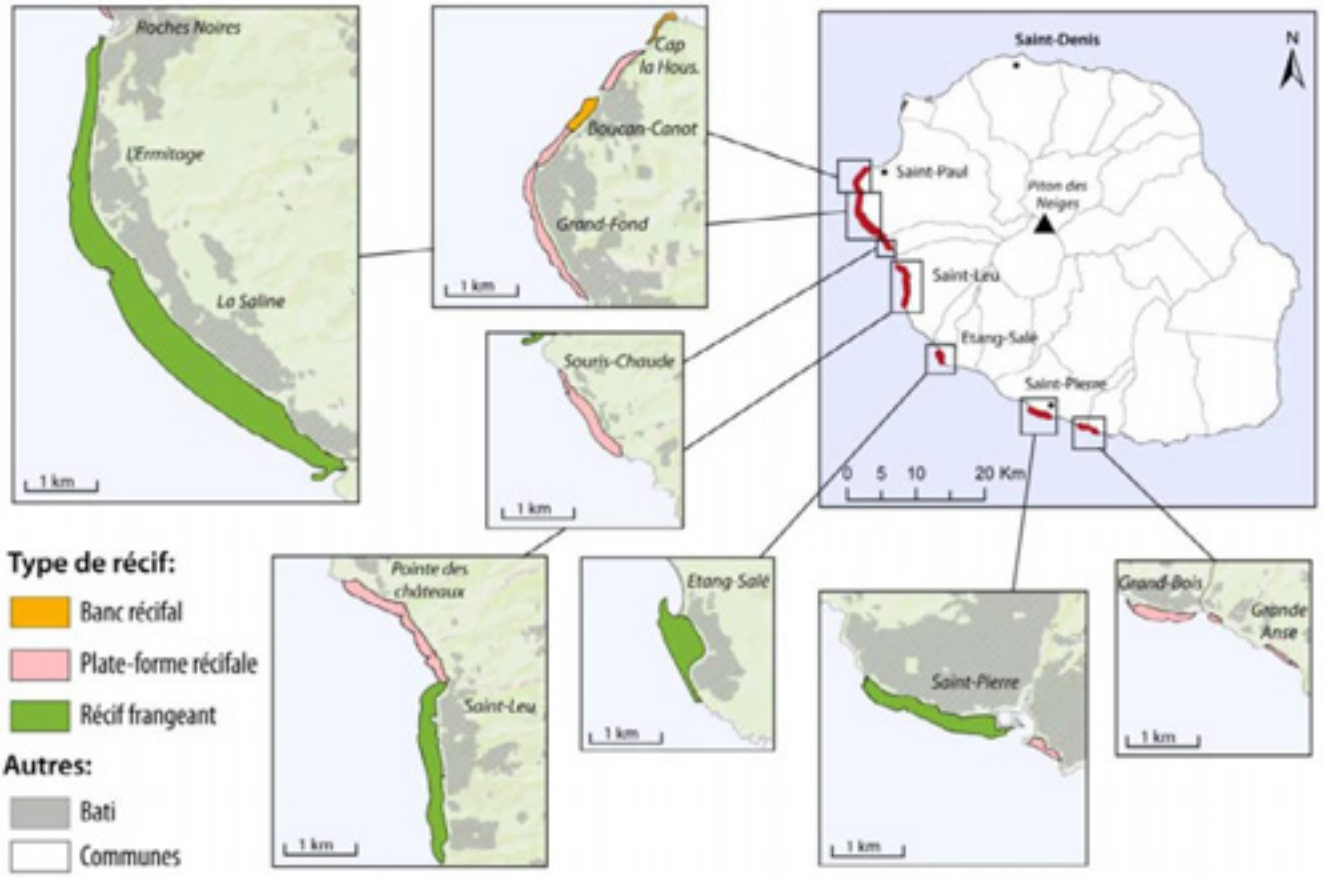


Figure 2.49 : Répartition des récifs coralliens de La Réunion (Lemahieu, 2015)

- l'unité de Saint-Leu est composée par les plates-formes récifales de la pointe des Châteaux, de la Chaloupe, de la Fontaine, de la pointe au Sel et du récif frangeant de Saint-Leu ;
- l'unité de l'Étang-Salé avec son récif frangeant ;
- l'unité de Saint-Pierre, formée par les plates-formes récifales de Grand Bois et de Grande Anse, ainsi que des récifs frangeants de Saint-Pierre et de Terre-Sainte.

Trois types de formation récifale sont rencontrés (Montaggioni, Faure, 1980 ; Faure, 1982) :

- les plates-formes récifales sont caractérisées par leur étroitesse (<100 m), un platier récifal en continuité avec les formations littorales et une absence de dépression d'arrière-récif. Correspondant aux « récifs frangeants embryonnaires », elles occupent une surface totale de 85 ha ;
- les récifs frangeants, plus larges, ont une différenciation morphologique du platier plus accentuée et la présence d'une dépression d'arrière-récif. Ils représentent la moitié des formations bioconstruites à La Réunion, dont les deux tiers sont le fait des complexes récifaux de l'Ermitage et de La Saline ;
- les bancs récifaux, correspondant à des dalles individualisées, sont des surfaces structurales de coulées volcaniques en position immergée secondairement colonisées par les coraux. Généralement de faible extension (2 à 5 m de large pour 10 à 30 m de long), ils occupent une superficie de 130 ha.

Du fait de la présence d'êtres vivants, les récifs coralliens ne peuvent être considérés comme de simples formes géomorphologiques littorales mais comme un ensemble vivant constitué d'éléments multiples et complexes dont la combinaison édifie les structures. Le front récifal est un véritable tampon entre l'océan et la côte. En effet, il dissipe l'énergie des vagues protégeant ainsi la côte de l'érosion. Le platier freine la propagation des ondes nées du déferlement des vagues contre le front récifal et dissipe aussi leur énergie (Cordier, 2007 ; Mirault, David, 2009).

L'écosystème corallien assure des fonctions d'enrichissement à partir des flux de matières vivantes et des matières mortes qui sont échangés entre le milieu terrestre et le milieu marin. La diversité des récifs coralliens offre des possibilités d'existence à des millions d'êtres vivants, végétaux et animaux, qui trouvent là de quoi se nourrir, se reproduire et se protéger des prédateurs. Les coraux sont les principaux producteurs benthiques de cet écosystème qui conditionnent la majeure partie de la vie qui s'y développe. Ils sont à la base d'un réseau alimentaire complexe et jouent le rôle de nurseries (Montaggioni, Faure, 1980 ; Bouchon, Bouchon-Navaro, 1982 ; Faure, 1982 ; Letourneur, 1992 ; Chabanet, 1994 ; Pinault, 2013).

L'océan Indien appartient à la province biogéographique de l'Indo-Pacifique la plus riche. Le centre de diversité maximum se situe dans la région indonésienne et cette diversité diminue de part et d'autre de ce centre d'une part vers le Pacifique est, d'autre part vers l'océan Indien occidental, où les transferts se font depuis la partie orientale de l'océan via le courant sud-équatorial. Mais ce schéma général est compensé par l'émergence d'espèces endémiques qui confèrent à l'ensemble de la région un fort intérêt en matière de biodiversité. Les îles des Mascareignes qui sont particulièrement isolées à l'est de la région présentent un endémisme marqué. À La Réunion, les dernières données issues de l'INPN font état, entre autres, de 250 espèces d'algues, 1955 espèces de mollusques et 1064 espèces de poissons (sources : www.ifrecor.com ; https://inpn.mnhn.fr).

2.4.2 Habitats des substrats sableux

Les rivages sableux proviennent de la sédimentation marine, de la remobilisation par la mer des apports fluviatiles ou de l'activité d'organismes (polypes de coraux, algues calcaires, faunes benthiques tels que les vers). Ils correspondent, le plus souvent, à des plages et des dunes, étroitement liées d'un point de vue paysager et fonctionnel.

La côte sableuse se distingue en quatre systèmes de végétation (Delbosc *et al.*, 2011 ; Lacoste *et al.*, 2014) :

- Les plages de sable corallien : système de plages de sable corallien (résultant de l'érosion du récif corallien) protégées par un récif. Ces plages se localisent essentiellement sur les communes de Trois-Bassins, Saint-Paul et Saint-Leu. Certaines parties légèrement abritées du régime éolien peuvent présenter un aspect hygrocline. Ces plages peuvent être occupées par :
  - une végétation herbacée (végétations perhalines de haut d'estran à *Canavalia rosea* et *Ipomoea pes-caprae* sous-espèce *brasiliensis* ; pelouses à *Cyperus stoloniferus*, *Dactyloctenium aegyptium*) ;
  - une végétation arbustive (fourrés subhalophiles à *Scaevola taccada*, *Heliotropium foertherianum* **Figure 2.51** ; fourrés secondaires à *Prosopis juliflora*) ;
  - une végétation arborée (boisements à *Pithecellobium dulce*, *Casuarina equisetifolia*).
- Les plages de sable basaltique : système de plages de sable basaltique (résultant de l'érosion de la roche basaltique) non protégées par un récif directement soumis au caractère marin. Ces plages s'observent principalement dans le sud de l'île à partir de l'Étang-Salé jusque dans l'est de l'île sur la commune de Saint-Benoît. Ces plages peuvent être occupées par :
  - une végétation herbacée (végétations perhalines de haut d'estran à *Canavalia rosea* et *Ipomoea*

Figure 2.51 : Fourré subhalophile à Heliotropium foertherianum sur les plages de sable corallien de l'Ermitage, Saint-Paul (à gauche) et boisement à Casuarina equisetifolia sur les plages de sable basaltique de la baie de Saint-Paul (à droite) (© CBNM/P. Delbosc, 2014)

pes-caprae sous-espèce *brasiliensis* ; pelouses mésohalines pionnières à *Cynodon dactylon* ; ourlets à *Stenotaphrum dimidiatum*) ;

- une végétation arbustive (fourrés à *Schinus terebinthifolius*) ;
- une végétation arborée (boisements à *Casuarina equisetifolia* Figure 2.51).

- Les plages de sables mixtes : plages situées à l'interface entre les systèmes de plages de sable corallien et les systèmes de plages de sable basaltique. Ces plages peuvent être occupées par :
  - une végétation herbacée (végétations perhalines de haut d'estran à *Canavalia rosea* et *Ipomoea pes-caprae* sous-espèce brasiliensis ; pelouses littorales pionnières à *Fimbristylis cymosa* ; pelouses à *Dactyloctenium aegyptium* Figure 2.52. ; ourlets à *Stenotaphrum dimidiatum*) ;
  - une végétation arbustive (fourrés subhalophiles à *Scaevola taccada* ; fourrés à *Schinus terebinthifolius*) ;
  - une végétation arborée (boisements à *Casuarina equisetifolia*, *Pandanus utilis*).
- Les dunes de sable basaltique : systèmes dunaires mobiles remaniés par le régime éolien. Ces dunes sont exceptionnelles à La Réunion et uniquement présentes sur la commune de l'Étang-Salé. Ces dunes peuvent être occupées par :
  - une végétation herbacée (végétations perhalines de haut d'estran à *Canavalia rosea* et *Ipomoea pes-caprae* sous-espèce *brasiliensis* Figure 2.52 ; pelouses mésohalines pionnières des arrières-dunes mobiles à *Cynodon dactylon* ; pelouses post-pionnières à *Dactyloctenium ctenioides*, *Chloris barbata*, *Dactyloctenium aegyptium* ; ourlets à *Achyranthes aspera* variante *velutina*, *Asystasia sp*. ; friches à *Panicum maximum*) ;
  - une végétation arbustive (fourrés secondaires à *Vitex trifolia*, *Schinus terebinthifolius*) ;
  - une végétation arborée (boisements arrière-dunaires à *Casuarina equisetifolia*, *Flacourtia indica*, *Pithecellobium dulce*, *Prosopis juliflora*).

La position des dunes, à la jonction entre la terre et la mer, contribue à la mise en place d'une large diversité de paysages et d'espèces. Des rudes conditions de

Figure 2.52 : Pelouse à Dactyloctenium aegyptium sur la plage de sables mixtes de la pointe au Sel, Saint-Leu (à gauche) et végétation perhaline à Canavalia rosea et Ipomoea pes-caprae subsp. brasiliensis sur les dunes mobiles de sable basaltique de l'étang du Gol, l'Etang-Salé (à droite) (© CBNM/P. Delbosc, 2014)

vie animale et végétale (salinité, mitraillage du sable) résultent une forte spécialisation des espèces.

Les dunes littorales constituent un paysage complexe composé d'une mosaïque d'écosystèmes élémentaires (ou habitats) étroitement imbriqués. Leurs limites ne sont pas fixes et chaque unité écologique se différencie par sa forme et sa végétation. Les espèces végétales qui peuplent les dunes permettent le maintien du sable et donc du cordon dunaire (**Figure 2.52**) ; mais cet écosystème linéaire est étroit, ce qui réduit sa capacité d'adaptation au recul des rivages, et accroît sa fragilité face aux pressions anthropiques.

Les trottoirs alluvionnaires sont peu nombreux à La Réunion et s'observent sur les littoraux de Pierrefonds (variante semi-xérophile) et de Saint-Paul (variante hygrocline). Ces trottoirs semi-xérophiles présentent un caractère exceptionnel à La Réunion (voir Delbosc *et al.*, 2011 ; Lacoste *et al.*, 2014 pour plus de détails).

Les herbiers de phanérogames marines constituent pour leur part un type d'habitat marin très peu répandu sur les substrats sableux coralliens de la façade ouest de La Réunion : ils demeurent notamment peu développés dans les zones abritées des dépressions arrière-récifales (**Figure 2.53**). Les pelouses à phanérogames marines sont situées en bordure de la dépression d'arrière-récif, sur des pentes sableuses souvent exposées aux vagues. Les herbiers ont une fonction de transit, de puits et de source pour les flux de matière et d'énergie dans les lagons (Hily *et al.*, 2010).

Le métabolisme global des herbiers affecte la dynamique du carbone et des sels nutritifs dans les milieux côtiers, ainsi que les concentrations d'oxygène dans la colonne d'eau et les sédiments. La structure de la canopée des feuilles d'herbier ralentit les courants et atténue l'impact des vagues, augmentant ainsi la sédimentation des particules et diminuant leur remise en suspension (Borum *et al.*, 2004 ; Larkum *et al.*, 2006 ; Hily *et al.*, 2010 ; Cuvilier, 2016).

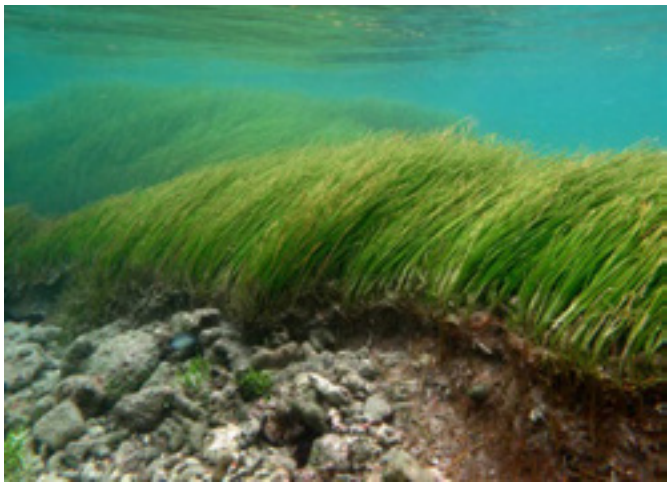


Figure 2.53 : Herbier de Syringodium isoetifolium à La Réunion (© P. Bourjon, 2012)

Les herbiers de phanérogames marines ont une importance écologique primordiale en tant qu'oxygénateur de la colonne d'eau grâce à leur activité photosynthétique (Réserve Naturelle Marine de La Réunion, 2012). Des espèces d'animaux lagonaires (poissons, invertébrés) trouvent refuge dans les herbiers de phanérogames : ce sont des lieux de reproduction essentiels, des sites de ponte et d'alimentation (Bigot, 2006). Sur l'ensemble des récifs réunionnais, il existe deux vastes zones d'herbiers de phanérogames marines au niveau du récif frangeant du sud de Saint-Gilles et de l'Ermitage (**Figure 2.54**).

L'herbier est monospécifique et peut couvrir de larges espaces de façon homogène ou bien se répartir en quelques taches très dispersées et observées localement, telles qu'à La-Saline-les-Bains. L'espèce de phanérogame marine (*Syringodium isoetifolium*) appartient à la famille des *Cymococeaceae*. L'espèce est majoritairement rencontrée dans la dépression arrière-récifale de l'Ermitage au nord et les quelques tâches qui existent au sud tapissent les fonds sableux et les fonds à débris coralliens. Les zones couvertes par les phanérogames constituent des espaces surélevés par accumulation de sédiments fins. Particulièrement sensibles aux fortes houles, surtout en bordure de la dépression d'arrière-récif, les herbiers décrivent une grande variabilité de leur couverture. Lorsqu'ils sont abondants, ils piègent les sables qui n'alimentent plus la plage (Hily *et al.*, 2010).

2.4.3 Habitats des zones humides

À La Réunion, les zones humides remarquables se répartissent essentiellement entre l'étang du Gol, l'étang de Saint-Paul (**Figure 2.55**) et l'étang de Bois-Rouge. Ces systèmes présentent à la fois une diversité d'habitats et une flore remarquable voire exceptionnelle. Alors que la côte ouest est fortement marquée par les activités humaines (urbanisation, boisement artificiel), elle présente néanmoins une grande diversité géomorphologique du trait de côte à l'origine d'une grande richesse en habitats et parfois en espèces végétales, comme c'est notamment le cas pour l'étang du Gol.

Les trois ensembles principaux sont situés dans les « angles morts » des trois grands cônes de déjection situés aux débouchés des cirques formant des avancées convexes en mer. Il s'agit des plaines suivantes (Lacoste, Picot, 2009) :

- la plaine de Sainte-Suzanne (575 ha dont 35 en marais), liée au cône de la rivière du Mât ;
- la plaine de Saint-Paul (595 ha dont 400 en marais), liée au cône de la rivière des Galets ;

Figure 2.54 : Distribution des herbiers de l'île de La Réunion (cartes issues de Réserve Naturelle Marine de La Réunion, 2010 d'après ARVAM, 2005 dans Hily et al., 2010)

- la plaine du Gol (650 ha dont 40 en marais), liée au cône de la rivière Saint-Étienne.

Des cordons littoraux éoliens se sont ancrés d'un côté sur le littoral rocheux, de l'autre sur le littoral alluvionnaire à galets. Les cônes de déjection et les cordons sableux ont ainsi isolé de la mer des plaines qui se sont peu à peu remblayées de colluvio-alluvions issues de l'érosion des cendres et altérations des planèzes en amont.

Les plaines, remblayées par les colluvio-alluvions argilo-limoneuses de couleur brune (de 0,5 à 2 m d'épaisseur), reposent sur une semelle de sables ou de galets d'origine marine. Une nappe phréatique reste le plus souvent à moins de 2 m de la surface. Douce en surface, elle peut être saumâtre en profondeur spécialement autour de l'étang de Saint-Paul (Figure 2.55). Ce matériau d'ennoyage fin présente quelques modalités régionales qui sont liées à l'origine et la nature des produits d'érosion (héritages des bassins versants), aux conditions de la sédimentation, à l'abondance des pluies, à la proximité de la nappe phréatique, et à la salinité de cette nappe (Lacoste, Picot, 2009).

Le remblaiement des plaines, alimenté par l'érosion des bassins amont, se compose d'un mélange en proportions variables de cendres (texture limoneuse) et

Figure 2.55 : Étang de Saint-Paul, La Réunion (source : www.cartedelareunion.fr)

d'argiles issues de l'altération des coulées. Ces derniers matériaux sont plus importants à l'aval des bassins constitués de massifs anciens (phase II) : c'est le cas de la plaine du Gol. Au contraire, la plaine de Sainte-Suzanne, remblayée en majorité par des « cendres andiques », est plus limoneuse et présente certaines propriétés des andosols. La périphérie de l'étang de Saint-Paul est mixte : ses bassins versants comportent une proportion importante de sols bruns (Lacoste, Picot, 2009).

Les habitats des zones humides réunionnaises de basse altitude peuvent présenter (Lacoste *et al.*, 2014) :

- une végétation aquatique et flottant librement (sciaphile à *Lemna aequinoctialis* et/ou *Spirodela punctata* ; héliophile à *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*) ;
- une végétation aquatique enracinée immergée ;
- une végétation hélophytique à *Paspalum vaginatum*, *Ipomoea aquatica* et *Ludwigia stolonifera*, *Persicaria senegalensis* et *Colocasia esculenta*, *Cyclosorus interruptus*, *Cyclosorus interruptus* et *Eleocharis dulcis*, *Cyperus articulatus*, *Cyperus expansus*, *Cyperus variante madagascariensis*, *Typhonodorum lindleyanum*, *Fimbristylis cymosa*, *Typha domingensis* (**Figure 2.56**), *Phragmites mauritianus*, *Cyperus involucratus* ;
- une végétation régulièrement inondée à *Hydrocotyle bonariensis* et *Equisetum ramosissimum*, *Setaria geminata*, *Persicaria decipiens*) ;
- une végétation rarement inondée à *Coix lacryma-jobi*, *Thespesia populnea* ;
- une végétation des bancs alluvionnaires inondables à *Urochloa mutica* (**Figure 2.56**), *Pennisetum purpureum*, *Neyraudia reynaudiana*, *Prosopis juliflora* ;
- une végétation des bancs alluvionnaires stabilisés (fourrés marécageux à *Schinus terebenthifolius*).

2.5 Facteurs et mécanismes d'évolution du littoral

Le littoral de La Réunion est soumis à des facteurs d'évolution qui dépendent de la géologie, de la géomorphologie et des habitats naturels de l'île (**Figure 2.57**). D'après les critères établis dans ce chapitre, deux principaux types de côte doivent être distingués sur le territoire : les côtes basses d'accumulation (plages et cordons de sables et/ou de galets) et les côtes rocheuses (falaises).

L'effondrement des falaises, les accumulations sédimentaires en fond de baie et le remaniement des plages sont des manifestations naturelles des impacts croisés de la marée, de la houle et des courants marins, de la pluie et du vent (**Figure 2.57**). Les organismes vivants tels que les coraux ou la végétation littorale (végétation des falaises, des hauts de plage et des cordons de galets) jouent un rôle prépondérant dans la protection contre la mer, mais parfois aussi dans l'alimentation en sédiments (sables coralliens). Cependant, l'Homme peut toutefois venir contrarier l'équilibre entre érosion, engraissement et stabilité des côtes (pollutions, imperméabilisation des sols, surexploitation des ressources, piétinement, défrichement, etc).

Les côtes réunionnaises évoluent par érosion et sédimentation. Ces phénomènes s'expliquent par différents facteurs naturels et anthropiques entrant en jeux. Le milieu physique littoral subit l'influence de processus terrestres, marins et atmosphériques qui interagissent et participent à son évolution : la lithologie et la tectonique déterminent la sensibilité à l'érosion du littoral et des roches qui le compose ; l'hydrodynamique marine (vagues, marées, courants) est responsable du transport de sédiments sur le rivage tandis que les agents atmosphériques via les précipitations et l'hydrologie continentale amènent à la côte les sédiments fluviatiles issus de l'érosion des bassins-versants.

Figure 2.56 : Végétation hélophytique à Typha domingensis dans l'étang de Bois Rouge (à gauche) et prairie marécageuse à Urochloa mutica dans l'étang du Gol (à droite) (© CBNM/P. Delbosc, 2014)

Les épisodes climatiques extrêmes comme les cyclones, accentuent les effets de ces différents facteurs (houles cycloniques, crues torrentielles, etc). L'anthropisation des littoraux de La Réunion joue également un rôle sur l'évolution côtière associée. En effet, les activités humaines perturbent les phénomènes naturels et contribuent ainsi au déséquilibre du milieu littoral (aggravation généralisée de l'érosion), comme dans le cas des prélèvements sur les platiers de corail vivant, sur les plages de sable ou de corail mort, pratiqués pendant longtemps pour le bâtiment ou l'alimentation des fours à chaux. L'artificialisation du littoral (constructions en bord de mer) peut également modifier les transferts sédimentaires côtiers, limiter les apports terrigènes avec des extractions d'alluvions dans les rivières, rejeter en mer des eaux nocives (eaux turbides, eaux douces) aux récifs coralliens (Bastone *et al.*, 2012).

À partir des classifications de Cas et Wright (1988), McPhie *et al.* (1993) et Clément *et al.* (2002), Fèvre (2005) distingue deux principaux types de mécanisme d'évolution à La Réunion : les processus d'érosion littorale et fluviatile faisant intervenir l'eau comme moyen de transport ; les processus de glissement, d'écroulement et d'éboulement dans lesquels l'eau n'est pas l'agent de transport principal.

Enfin, il sera important de rappeler qu'en raison du volcanisme effusif actif de La Fournaise, des coulées de laves parviennent encore aujourd'hui à la mer (en 2007, 2004, 2002, 1986, 1977, 1961, etc) et modèlent ponctuellement le linéaire côtier du massif (De la Torre, 2004).

2.5.1 Facteurs et mécanismes d'évolution des côtes basses d'accumulation

À La Réunion, l'eau est un agent évolutif omniprésent qui est soit lié aux précipitations très abondantes, soit à l'océan qui entoure l'île. Les produits et les processus d'érosion mécanique faisant intervenir l'eau comme agent de transport principal sont nombreux sur l'île (Fèvre, 2005).

Les côtes basses réunionnaises sont soumises à deux phénomènes : l'ablation des côtes d'une part et, d'autre part, la formation de zones d'accumulation (Coque, 2002). La majeure partie des produits de l'érosion littorale (les dépôts côtiers) se trouvent au niveau des côtes basses d'accumulation (Fèvre, 2005).

Les côtes meubles de La Réunion regroupent toutes les formations sédimentaires issues de la dynamique littorale : plages de galets basaltiques, de sables basaltiques ou coralliens. Ce sont dans l'ensemble des formations détritiques non consolidées par des éléments polygéniques (Montaggioni, 1978 ; Troadec, 1991 ; Fèvre, 2005). La répartition des dépôts côtiers est liée à l'érosion littorale et à la dynamique marine, sous la forme de falaises d'érosion ou de zones d'accumulation. Les principaux agents de l'érosion marine sont les vagues et les courants, auxquels s'ajoute l'action des embruns par altération chimique (Coque, 2002).

Les côtes réunionnaises présentent une certaine mobilité car soumises aux actions de quatre principaux agents dynamiques : la houle (et les courants associés), la marée, le vent et la pluie. Ces agents interfèrent pour déplacer en masse les sédiments côtiers

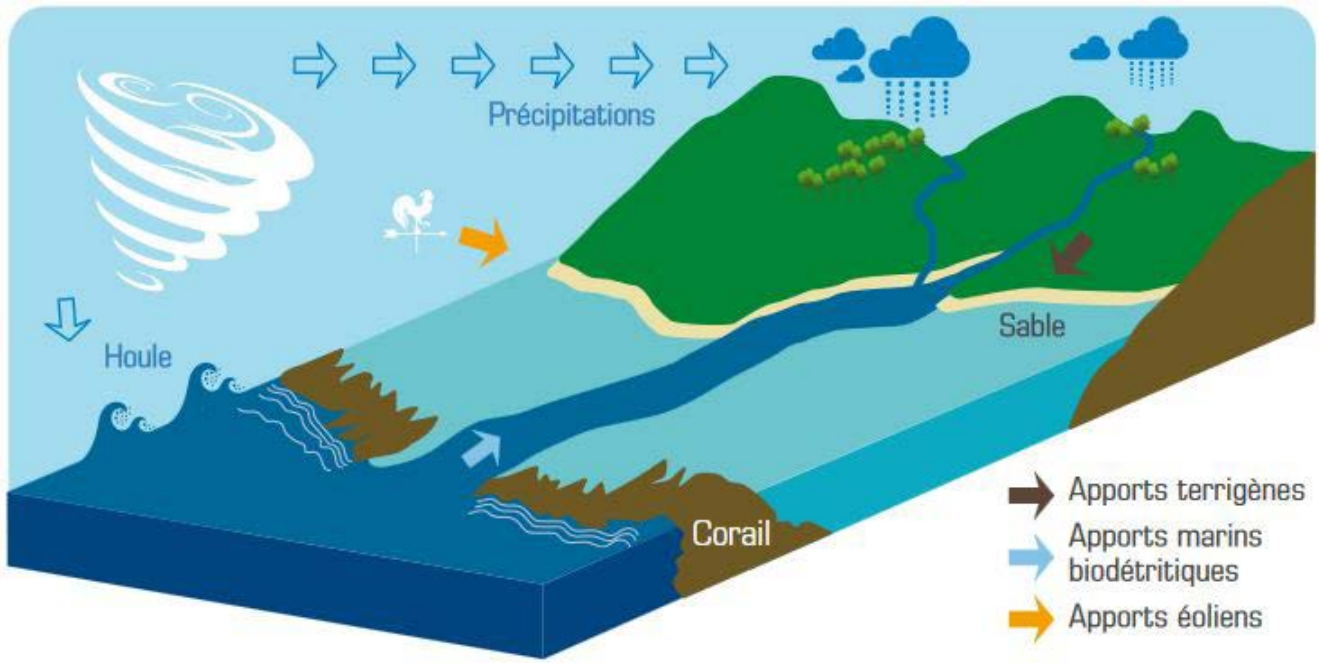


Figure 2.57 : Facteurs intervenant dans le fonctionnement du système littoral (BRGM, 2006).

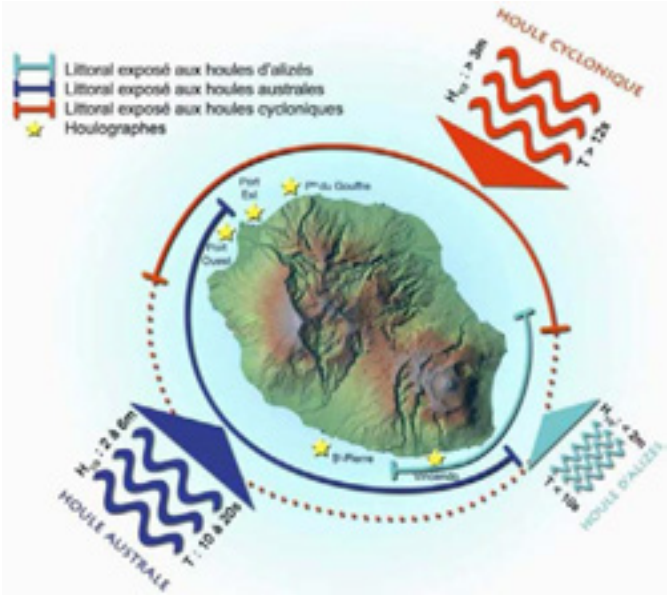


Figure 2.58 : Les différents régimes de houle à La Réunion (Roy et al., 2009)

(voir Chapitres 3 Facteurs hydrodynamiques ; 4 Données sédimentologiques et 6 Évolution générale du littoral et des fonds).

La houle est un agent de remise en suspension et d'arrachement des sédiments qui sont ensuite transportés par les courants. L'île de La Réunion est exposée à trois types de houle (Figure 2.58) dont les plus fréquentes demeurent les houles d'alizés, de secteur dominant est à sud-est (voir 3.2.2 États de mer ; 3.2.3 Courants). Les houles australes, générées par des tempêtes au large, sont particulièrement actives dans la dynamique littorale et concernent principalement le quart sud-ouest de l'île. Les houles cycloniques s'observent le plus souvent entre novembre et mars dans les secteurs nord-est à nord-ouest de La Réunion (Troadec, 1991 ; Cordier, 2007 ; Mahabot *et al.*, 2016).

La houle, ainsi que les courants qui lui sont associés, sont responsables des processus de transit sédimentaire important autour de l'île. Le transport des sédiments par les houles s'effectue soit perpendiculairement à la ligne de rivage, soit parallèlement à la ligne de rivage (dérive littorale). La dérive littorale joue un rôle primordial dans l'évolution des côtes basses meubles, car elle génère un transport de sédiments pouvant atteindre plusieurs dizaines de milliers de mètres cube par an (voir 4.3 Mouvements des sédiments) et présente une forte variabilité inter-annuelle et géographique. Parmi les différents types de houle, les houles cycloniques demeurent les plus destructrices en saison chaude. Selon la localisation, les houles australes peuvent aussi s'avérer les plus morphogéniques (Troadec, 1991 ; Mahabot *et al.*, 2016).

L'action érosive des vagues associées aux houles sur la côte résulte de divers mécanismes (d'après Coque, 2002 dans Fèvre, 2005) : un mitraillage par les sables et les graviers transportés ; la pression de l'eau contre les parois (jusqu'à 30 T/m-2) ; une succion lorsque les vagues se retirent (déplacement de blocs de plusieurs milliers de tonnes) ; et des vibrations par suite de chocs répétés (phénomènes de résonance).

Le matériel sédimentaire mobilisé connaît un tri granulométrique : les particules fines sont emportées vers le large ou déposées dans des zones calmes alors que le matériel grossier s'accumule à proximité de la côte. Les sédiments mis en suspension par les vagues sont également transportés par les courants (Figure 2.59).

La marée est de type semi-diurne (12 h 25 min pour un cycle complet) à inégalité diurne et entraîne sur l'île un marnage moyen de l'ordre de 0,51 m (Saint-Pierre ; Saint-Leu) à 0,60 m (Pointe des Galets) : la marée présente deux pleines mers et deux basses mers par jour, mais les hauteurs des pleines mers ou des basses mers consécutives peuvent être très différentes (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 2016). La marée modifie le niveau d'action des houles sur le fond, engendre des courants et influe sur la position de la zone de déferlement des vagues, à l'origine de la mise en mouvement des sédiments (voir 3.2.3.b Courants de marée).

Néanmoins, le marnage dans cette partie de l'océan Indien est microtidal et compris entre 0,35 et 0,80 m (voir 3.2.1.c Marée astronomique). Aussi, l'impact de la marée sur les dynamiques sédimentaires reste ici limité du fait de la faiblesse du marnage (voir 4.3.1 Modes et agents de transport à la côte). À La Réunion, les courants de marée semblent avoir une influence plus certaine sur la dynamique sédimentaire au sein de la dépression d'arrière-récif (voir Chapitre 3 Facteurs hydrodynamiques) (Cordier, 2007).

Le vent est également un facteur fondamental du régime sédimentologique. Il génère les houles au large et les vagues à proximité de la côte. Avec pour effet principal le transport éolien (Figure 2.60), les vents au niveau de La Réunion sont globalement gouvernés par les alizés (vents caractéristiques de la zone intertropicale) dont les directions principales sont de secteur est à sud-est (voir 3.1.1.c Caractérisation des vents et pressions). En dehors des propriétés érosives du vent, celui-ci détient néanmoins un rôle constructeur qui se traduit par l'édification des dunes, en grande partie fixées naturellement par des graminées et diverses autres plantes.

L'érosion fluviatile comprend tous les processus de transport qui ont lieu dans la rivière et qui résultent de la dynamique sédimentaire. Les produits alluvionnaires

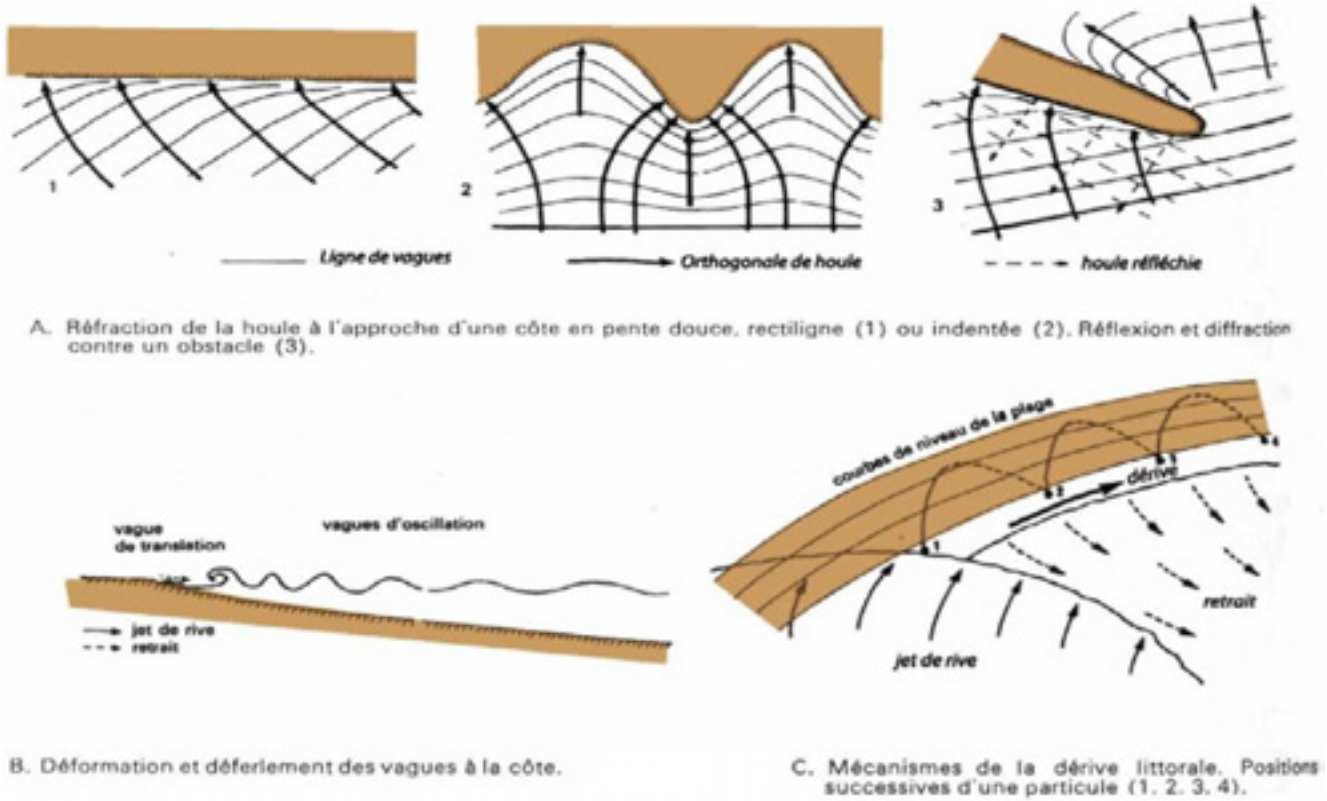


Figure 2.59 : Mécanismes d'action des vagues sur la côte (Coque, 2002)

regroupent tous les dépôts peu ou pas consolidés : les alluvions récentes et les alluvions anciennes, en fonction de leur âge. Les alluvions, telles que les blocs et galets, sont transportées pendant des crues torrentielles générées par des pluies violentes et des cyclones, pouvant également provoquer des mouvements de terrain sur les versants (voir **3.3.1.c** Apports solides des principaux cours d'eau). Ces importants volumes de matériaux sont ainsi charriés vers le littoral où ils alimentent les cônes-deltas des principales rivières de l'île.

L'évolution des côtes alluvionnaires concerne les plages et les micro-falaises meubles surmontant les cordons de galets. Elle est principalement liée à l'impact des houles de tempêtes et des aménagements anthropiques qui perturbent les transits sédimentaires et accentuent ainsi les phénomènes érosifs. Les formations superficielles situées en haut de cordon ne jouissent pas de la mobilité des sédiments et sont entaillées en micro-falaises qui restent souvent visibles même lorsque le cordon sédimentaire est revenu à un profil d'équilibre. Il est donc important de faire la distinction entre le recul irréversible des formations superficielles et les évolutions réversibles du cordon sédimentaire.

Le fonctionnement sédimentaire des plages coralliennes est principalement conditionné par la construction récifale, qui non seulement les alimente en sable (sécrétions de calcaire par les polypes de coraux), mais les protège aussi des houles. Lors des évènements exceptionnels (tempêtes, houles cycloniques, houles australes), les vagues peuvent passer au-dessus du récif et déferler directement sur la plage. Il en résulte une érosion naturelle importante qui peut aboutir au transport du sable jusqu'à la plaine sableuse située au pied de la pente récifale. Une fois déposé au large, le sable ne peut pas revenir sur la plage car l'épaisseur du relief récifal l'en empêche. Dans ce cas, il n'y a pas de résilience du système sédimentaire (Aubié, Pedreros, 2002).

Les facteurs d'évolution des récifs coralliens dépendent principalement des événements tempétueux. Durant les tempêtes tropicales, les récifs sont soumis à de fortes houles, à une dessalure lors de fortes pluies et à un apport terrigène des bassins versants diminuant l'oxygénation de la colonne d'eau. Leur évolution est également conditionnée à différentes échelles spatiales et temporelles selon d'autres phénomènes liés à la fréquentation ou encore au changement climatique (Quod, 2000).

Néanmoins, Naim *et al.* (2002) puis Scopelitis *et al.* (2009) et Nicet *et al.* (2016) ont révélé que sous certaines conditions, les récifs coralliens pouvaient être capables de démontrer une certaine résilience face aux impacts des événements météorologiques extrêmes comme le révèlent leurs études suite au passage des cyclones Firinga en 1989 et Dina en 2002 (**Figure 2.62**). Toutefois, l'élévation saisonnière de la température et l'acidification des eaux se traduira inévitablement par un blanchissement corallien (**Figure**

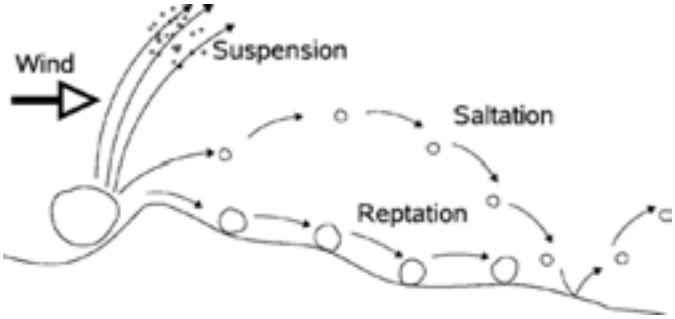


Figure 2.60 : Modes de transport (reptation, saltation, suspension) des particules par le vent (source : http://www.msc.univ-paris-diderot.fr)

2.61) pouvant entraîner la mort de grandes superficies de récifs (Maina *et al.*, 2008).

L'érosion peut dans certains cas être accélérée par l'action de l'Homme, particulièrement sur les côtes sableuses. La surfréquentation, la construction et la pollution détruisent, par exemple, les coraux et la végétation des cordons dunaires qui sont les principaux garants de la protection, de la sédimentation et de la stabilisation des plages. L'extraction de matériaux et les ouvrages côtiers modifient les échanges sédimentaires. Certains aménagements concourent au blocage de la dérive littorale, à l'origine d'une répartition inégale des sédiments et de phénomènes localisés d'accrétion/ érosion (Bastone *et al.*, 2012).

Pour lutter contre le phénomène d'érosion, les communes peuvent actuellement avoir recours à :

- l'enrochement des sites en péril, ainsi que la construction de digues : ces techniques lourdes sont souvent utilisées le long des côtes basses. Elles peuvent également provoquer un abaissement progressif des plages au droit de l'ouvrage (jusqu'à la disparition de la plage), et occasionnent un entretien coûteux.
- la construction d'épis ou de brise-lames : il s'agit de protections actives adaptées aux côtes basses meubles, visant à favoriser la sédimentation en avant du trait de côte, amortir l'énergie des houles et réduire leur capacité érosive.

Figure 2.61 : Blanchissement des récifs coralliens constaté à La Réunion (© Réserve Naturelle Marine de La Réunion, 2019 – source : http://www.ipreunion.com)

- la végétalisation et la limitation de la fréquentation et de la circulation des véhicules : ces techniques douces permettent de favoriser la reprise de la végétation et ainsi de stabiliser le site.

2.5.2 Facteurs et mécanismes d'évolution des côtes rocheuses

La côte rocheuse de La Réunion est particulièrement soumise aux actions de la houle et des eaux marines et continentales. Elle est essentiellement affectée par des mouvements de terrain dans les secteurs de falaises meubles ou mixtes, où le trait de côte possède une dynamique pouvant être annuelle. Les côtes à falaises où les roches sont indurées présentent quant à elles des évolutions du trait de côte à l'échelle géologique.

Compte tenu du régime climatique de La Réunion et de la répartition des pluies, la côte orientale ne présente pas beaucoup de zones d'accumulation : les formes d'ablation y sont dominantes avec des falaises littorales bien marquées. Au contraire, les façades septentrionale et occidentale présentent la majorité des plages de sable basaltique (baies de Saint-Paul et de l'Étang-Salé) ou de galets (baie de La Possession), ainsi que de nombreuses plages coralliennes (Saint-Leu, l'Ermitage, Boucan Canot) qui sont liées à la présence d'un récif frangeant (Fèvre, 2005)

L'évolution de la côte rocheuse s'effectue par des mouvements de terrain de type glissements de terrain ou chutes de blocs (**Figure 2.63**). Cette instabilité des falaises est directement liée à la nature des formations géologiques et des terrains voisins qui les constituent. Les falaises de La Réunion, qui sont largement exposées aux houles dominantes, sont particulièrement fragilisées par le sapement marin. L'action mécanique des vagues favorise le mitraillage du pied de falaise par les galets et les phénomènes de compression/décompression, à l'origine d'un sous-cavage (**Figure 2.63**-C). Le surplomb ainsi créé finit par provoquer des chutes de blocs et des éboulements massifs par à-coup (**Figure 2.63**-A) (BRGM, 2006).

La mise en mouvement des matériaux rocheux ou meubles est favorisée ou aggravée par des mécanismes hydriques tels que la circulation d'eau souterraine, l'infiltration d'eau pluviale et le ruissellement. La présence d'eau dans les roches et les sols adjacents, outre la contribution à une altération et des dégradations chimiques et mécaniques des roches, augmente la pression interstitielle, réduit la cohésion des sols et diminue la résistance au cisaillement des matériaux rocheux discontinus, se traduisant par des glissements ou des effondrements (**Figure 2.63**-C) (BRGM, 2006).

L'eau de mer et les vagues qui l'agitent participent à

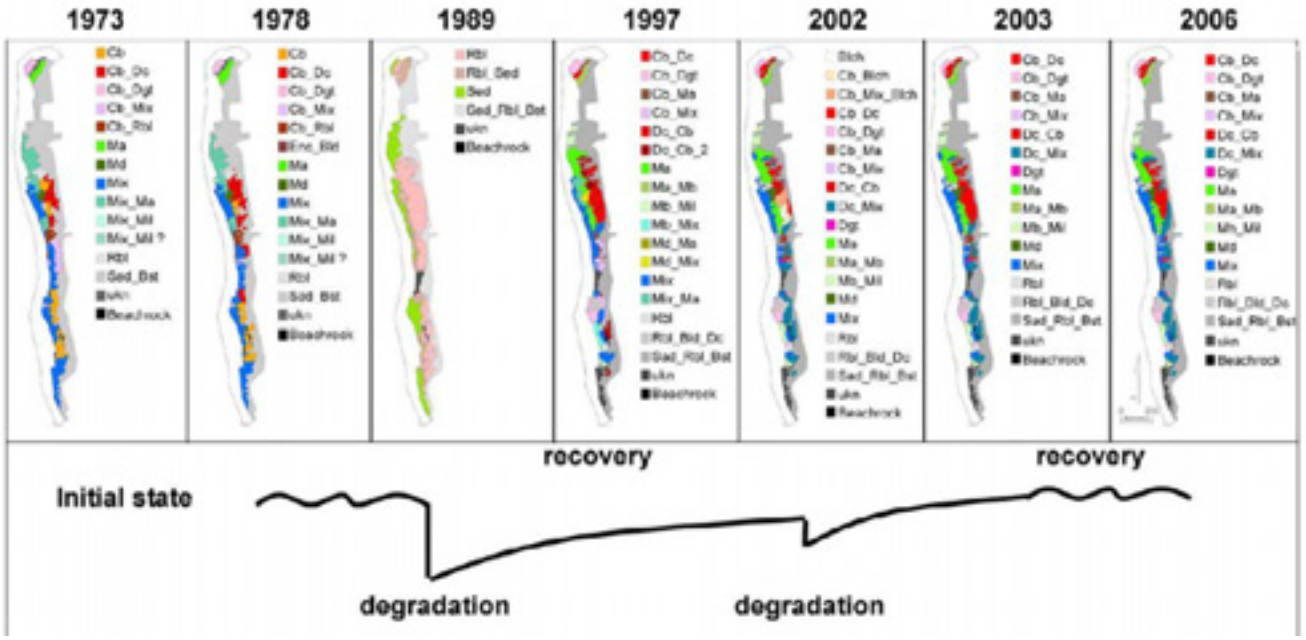


Figure 2.62 : Évolution des communautés coralliennes du récif de Saint-Leu entre 1973 et 2006 (d'après Scopelitis et al., 2009). La zone de déferlement des vagues est représentée en blanc. Abréviations : Cb_Dc Colonies mortes et vivantes de coraux Acropora formosa ; Cb_Ma Colonies vivantes de coraux Acropora formosa et Porites lutea ; Cb_Dgt Colonies vivantes de coraux Acopora formosa et Acropora spp ; Ma Colonies vivantes de coraux Porites lutea ; Cb_Mix Colonies vivantes de coraux branchus et mixtes ; Mb_Mil Colonies vivantes de coraux branchus et Millepora spp., Porites (Synaraea) rus, Millepora spp. ; Dgt Coraux vivants Acropora spp ; Dc_Mix Coraux branchus morts et coraux mixtes vivants ; Dc_Cb Coraux morts et vivants Acropora formosa ; Md Coraux vivants Pavona divaricata ; Ma_Mb Coraux vivants Porites lutea et Porites (Synaraea) rus ; Mix Coraux mixtes selon divers recouvrements et compositions ; Rbl Débris ; Bld Rochers ; Bst Pierres basaltiques et Padina ; Sed Sédiments et algues. En bas : séries temporelles schématisées des périodes de dégradation et de résilience du récif en fonction de la forme et du substrat relatifs aux communautés coralliennes.

l'érosion de la côte rocheuse par désagrégation et déblaiement des matériaux en pied de falaise. Au contact de matériaux meubles, elles entraînent des coulées de boue et purgent les dépôts résultant de glissements. Au contact de matériaux durs, elles créent par dissolution et abrasion des cavités et des sous-cavages (affouillement du pied des falaises) qui conduisent à l'effondrement de pans entiers. Les vagues participent également à la dispersion des éboulis qui protègent le pied de falaise contre une érosion directe de la roche (Fèvre, 2005).

Par ailleurs, le vent entraîne et éparpille au loin les particules fines provenant de la désagrégation des roches. Les particules fines de roche que le vent transporte ont un pouvoir abrasif qui s'exerce sur certaines surfaces rocheuses soumises aux vents forts.

L'impact anthropique peut enfin se révéler non négligeable en favorisant les infiltrations (par les fuites de réseaux d'assainissement par exemple) ou l'érosion d'un cordon littoral en pied de falaise qui constituait jusqu'alors une protection naturelle de l'édifice lorsqu'il était présent (Bastone *et al.*, 2012).

Figure 2.63 : Processus d'évolution des falaises. A : chutes de blocs/éboulements ; B : sous-cavages et sapements de pied de falaise ; C : glissements et effondrements (Singh et al., 2019)

Chapitre 3
Facteurs hydrodynamiques

Rédacteurs
Sylvain LENDRE, Gaëtan JOLLY (Cerema, DtecEMF)

Relecteurs
Boris LECLERC, Xavier KERGADALLAN (Cerema, DtecEMF)

Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)

Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)

Contributeurs
Xavier KERGADALLAN (Cerema, DtecEMF)

Denis ROY, François BONNARDOT,Emmanuel CLOPET (Météo-France)

Isabelle ROCHET (DEAL Réunion)

Page de gauche : Petites falaises basaltiques soumises aux houles d'alizés (Sainte-Rose)
© Cerema S. Lendre, 2019

3 Facteurs hydrodynamiques

La dynamique du trait de côte est affectée par les facteurs climatiques, hydrologiques et hydrodynamiques : le vent, les vagues, le niveau marin et les courants associés sont prédominants dans cette dynamique. La connaissance de ces phénomènes permet de définir l'hydrodynamique littorale et les modalités de transport des sédiments qui rentreront dans les processus d'érosion et de sédimentation.

3.1 Climatologie

La Réunion doit son climat contrasté à sa situation océanique, sa latitude australe assez basse, la compacité de son orographie et son altitude élevée.

Les deux traits dominants en sont, d'une part un régime assez régulier d'alizés (vents d'est dominants) créant une zone « au vent » et une zone « sous le vent », d'autre part un régime de perturbations tropicales parfois violent et destructeur (cyclones), plus irrégulier et difficilement prévisible (Raunet, 1991).

3.1.1 Climatologie atmosphérique

Sur l'île de La Réunion, les données de climatologie atmosphérique sont issues des prévisions et des mesures faites par Météo-France de La Réunion (http://www.meteofrance.re/). Au 31/12/2017, le réseau climatologique de La Réunion (voir Annexe 8.5) dispose de 68 stations automatiques et de 16 postes climatologiques à mesure manuelle, soit un total de 84 points de mesure (Eugénie, Jumaux, 2018).

Les postes climatologiques sont entretenus par des bénévoles. Ils mesurent quotidiennement la hauteur des précipitations. Les 68 stations automatiques mesurent les précipitations au pas de temps horaire, la plupart disposent de données infra-horaires (6 minutes) pour ce paramètre (Eugénie, Jumaux, 2018).

D'autre part, parmi ces stations (Eugénie, Jumaux, 2018 ; Annexe 8.5) :

- 46 mesurent la température de l'air,
- 33 mesurent le rayonnement global,
- 16 mesurent le vent à 10 m (direction et force),

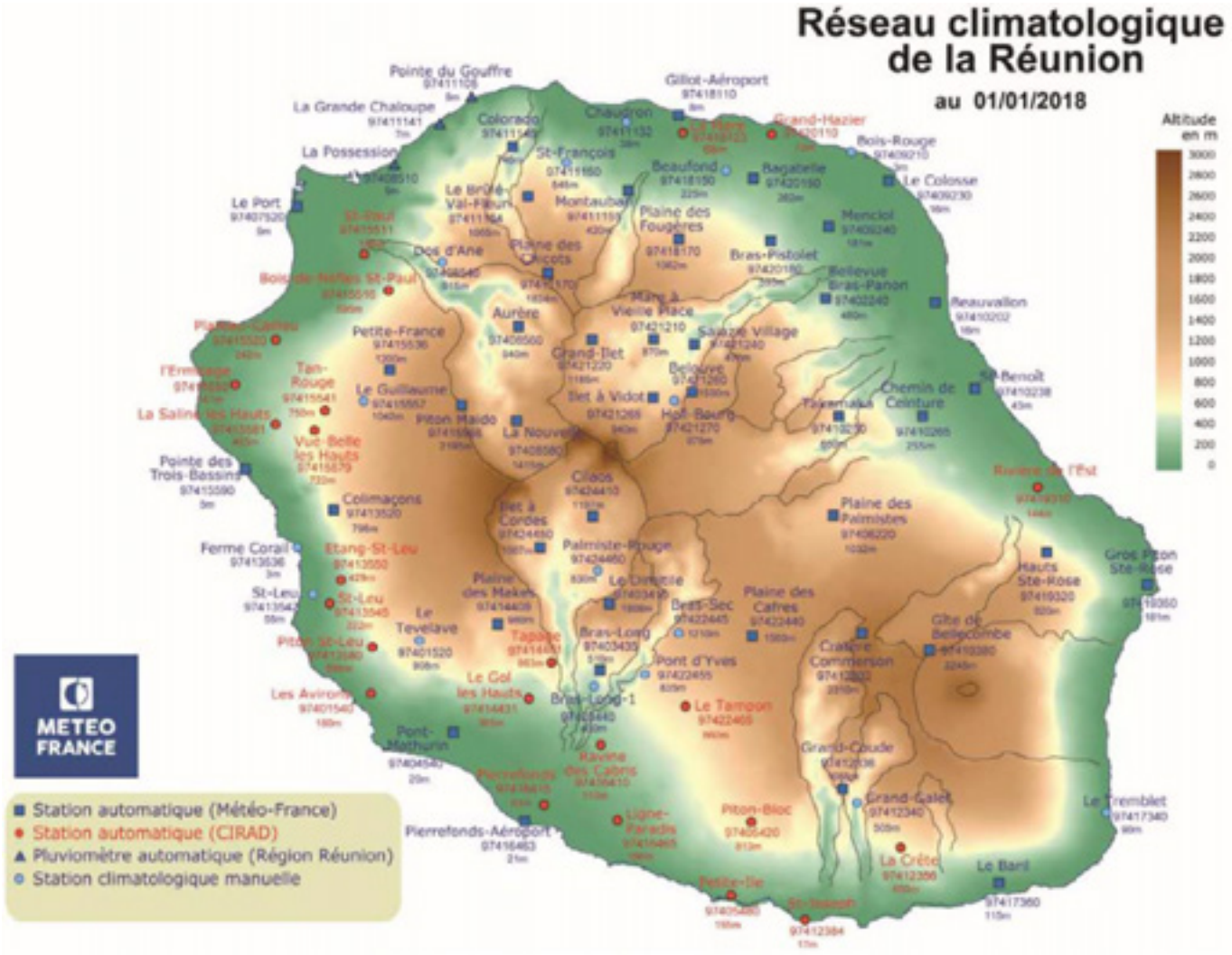


Figure 3.1 : Carte du réseau climatologique des points de mesure de La Réunion en 2017 (Eugénie, Jumaux, 2018). Chaque point est associé à son numéro INSEE et altitude

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Zones humides

Pics

Volcan

Trait de côte Histolitt

Réseau hydrographique permanent

Zones humides

Complexes marécageux

Etangs littoraux

Fourrés secondaires à Rubus alceifolius

Jonchaies

Lagunes côtières saumâtres

Pelouses humides altimontaine

Prairies humides

Rhynchosporaies

Systèmes deltaïques estuariens

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Zones humides - ©DEAL Réunion
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 3.2 : Cours d'eau et zones humides de l'île de La Réunion

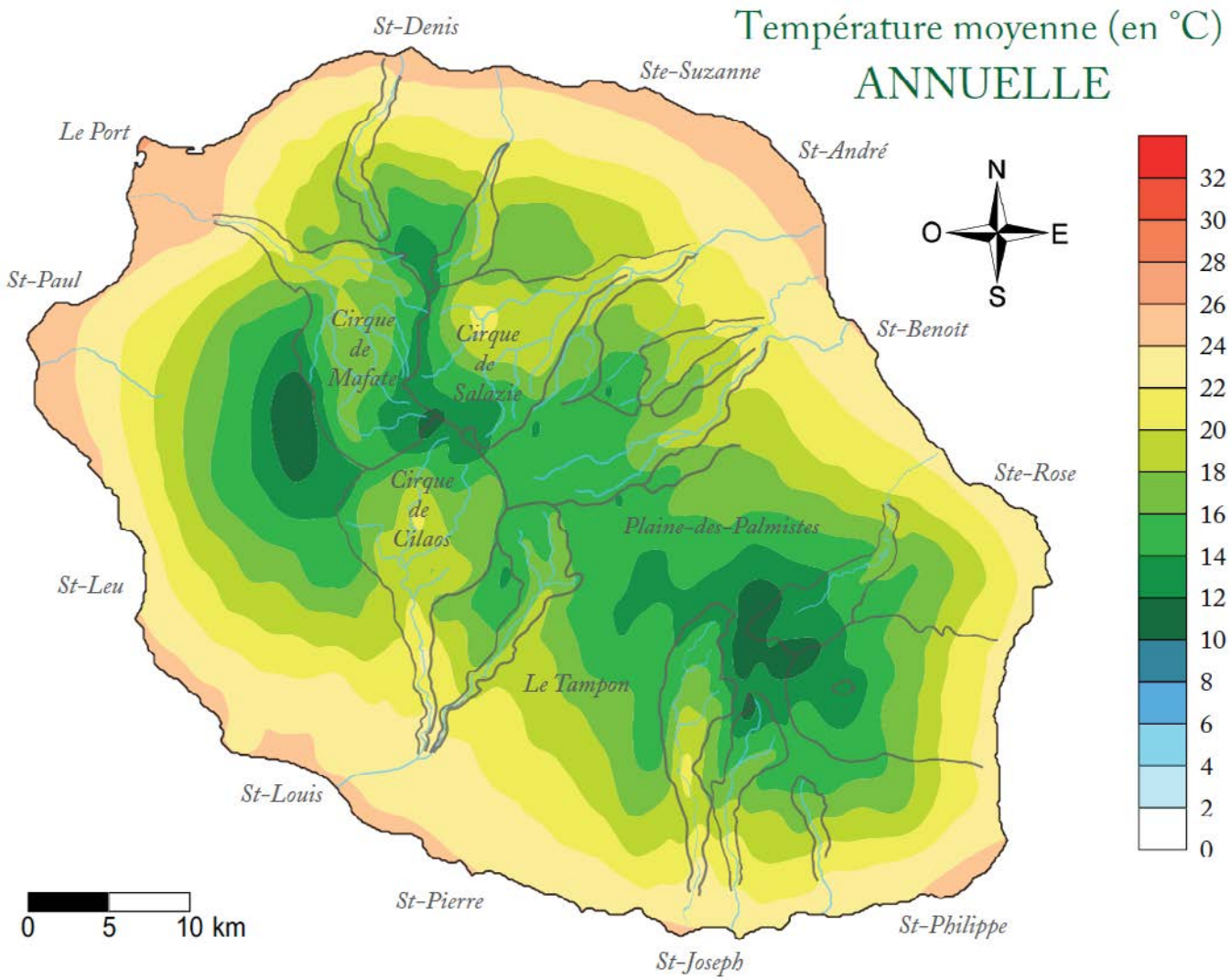


Figure 3.3 : Température moyenne annuelle sur l'île de La Réunion (Jumaux et al., 2012)

- 16 mesurent l'humidité (parmi les stations Météo-France),
- 3 mesurent la pression (Gillot-Aéroport, Le Port et Pierrefonds-Aéroport),
- 1 seule station mesure directement la durée d'insolation (Gillot-Aéroport).

Pour parfaire cette couverture spatiale, l'île de La Réunion dispose désormais de deux radars, l'un situé à Colorado et l'autre au Piton Villers (La Plaine des Cafres) qui a été mis en service depuis début 2012 (source : Météo-France La Réunion).

La **Figure 3.1** cible l'emplacement des différents points de mesure permettant de recueillir les données climatologiques de l'île. Ces données caractérisent tant le climat sur le littoral lui-même que sur les bassins versants alimentant les nombreux cours d'eau qui le rejoignent et les zones humides (**Figure 3.2**).

3.1.1.a Climatologie atmosphérique générale

Le climat de La Réunion est tropical humide. Mais il se singularise surtout par de grandes variabilités liées à la géographie de l'île (**Figure 3.3**). L'influence du relief est tout aussi fondamentale que les effets de l'insularité (source : Météo-France La Réunion).

Le climat de La Réunion est caractérisé par la douceur de ses températures. La position géographique de l'île, ni trop près ni trop loin de l'équateur, et surtout le rôle régulateur de l'océan et des alizés, sont les principales causes de cette douceur (source : Météo-France La Réunion).

Deux grands cycles de variation sont observables : un cycle quotidien, caractérisé par des variations diurnes des températures, et un cycle annuel caractérisé par une saison fraîche (de mai à octobre) et une saison chaude (de novembre à avril). La saison fraîche voit les températures varier sur la bande littorale, de 17 à 20 °C pour les minima moyens et de 26 à 28 °C pour les maxima moyens. Dans les Hauts, à 1000 m d'altitude, les minima moyens oscillent de 8 à 10 °C et les maxima moyens de 17 à 21 °C (source : Météo-France La Réunion).

Durant la saison chaude, les minima moyens varient généralement entre 21 et 24 °C, et les maxima moyens entre 28 à 31 °C, en bord de mer. À 1000 m d'altitude, les

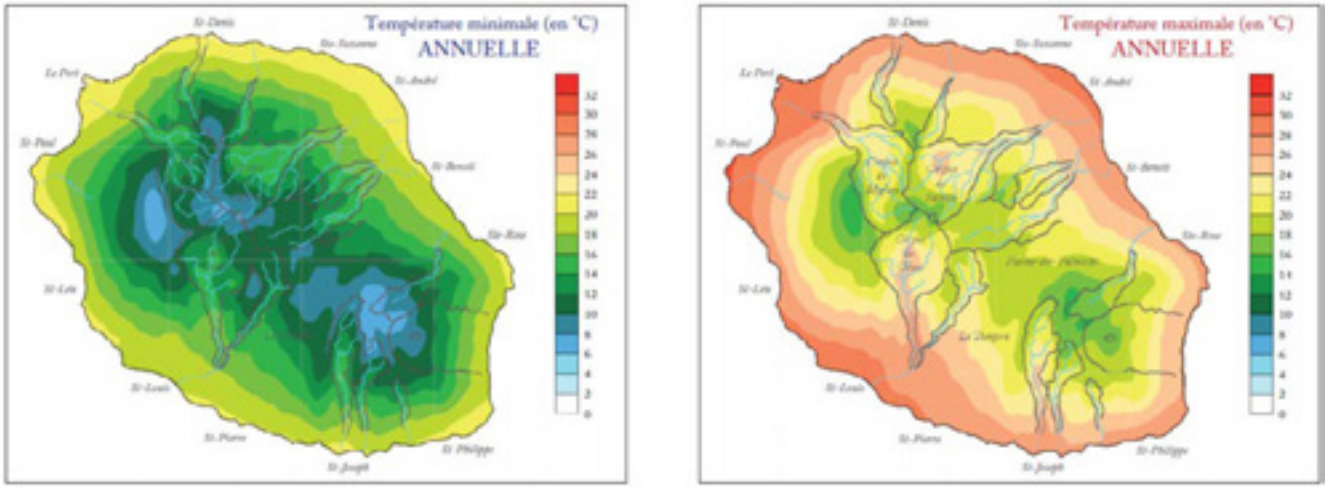


Figure 3.4 : Moyennes annuelles des températures minimales (à gauche) et maximales (à droite) d'après les normales de températures établies sur la période 1991-2010 (Jumaux et al., 2012)

minima moyens fluctuent de 10 à 14 °C et les maxima moyens de 21 à 24 °C (Figure 3.4). Les amplitudes thermiques dans ces deux cycles sont faibles et dépassent rarement les 10 °C (source : Météo-France La Réunion).

Les températures demeurent par conséquent douces, même pendant l'hiver austral, de mai à octobre. Pendant la saison «chaude» en été austral, de novembre à avril, il fait plus chaud et l'humidité est plus forte. C'est aussi la période où se forme la plupart des dépressions tropicales (source : Météo-France La Réunion).

Tableau 3.1 : Températures extrêmes à La Réunion (source : Météo-France La Réunion)

LIEU	DATE	VALEUR
Températures minimales absolues		
Gîte de Bellecombe	**10/09/75**	**-5,0°C**
Piton Maïdo (2215 m)	01/09/85	-4,0°C
Plaine des Chicots	04/08/03	-2,9°C
Plaine des Cafres	18/08/88	-1,7°C
Cilaos	06/08/82	+0,1°C
La Nouvelle	17/08/93	+0,8°C
Températures maximales absolues		
Pointe des Trois Bassins	**25/01/19**	**37,0°C**
Le Port	06/03/04	36,9°C
Les Avirons	22/01/09	36,8°C
Petite-Île	21/01/09	36,6°C
L'Étang-Salé-les-Bains	13/03/04	36,4°C
Pont-Mathurin	22/01/05	36,2°C
Températures maximales les plus basses		
Gîte de Bellecombe	**02/08/03**	**3,3°C**
Piton Maïdo	10/10/06	6,9°C
Températures minimales les plus hautes		
L'Étang-Salé-les-Bains	**05/02/04**	**29,0°C**
Pointe des Trois Bassins	03/02/13	28,7°C

Il existe deux saisons marquées à La Réunion :

- la saison « des pluies » qui peut être définie entre janvier et mars ;
- la saison « sèche », plus longue, qui débute au mois de mai pour s'achever au mois de novembre.

Même en saison sèche, les précipitations restent importantes sur la partie orientale de l'île et notamment sur les flancs du massif de la Fournaise. Avril et décembre sont des mois de transition, parfois très pluvieux, mais pouvant également être parfois très secs (source : Météo-France La Réunion).

La répartition annuelle des jours secs (<1 mm), faiblement pluvieux (entre 1 et 10 mm), pluvieux (entre 10 et 50 mm) et très pluvieux (≥50 mm) montre une grande dissymétrie entre l'est et l'ouest de La Réunion (Figure 3.5). À l'ouest, les précipitations sont peu abondantes. En revanche, le nombre de jours pluvieux augmente progressivement vers l'est. Les hauts reliefs de l'île, tels que les massifs du Piton des Neiges et du Piton de la Fournaise, sont la cause de cette dissymétrie est/ouest (source : Météo-France La Réunion). Les précipitations tendent à se concentrer sur les régions directement exposées à l'humidité océane apportée par les alizés de secteur est : c'est le cas des régions « au vent ». À l'inverse, les régions « sous le vent », qui bénéficient de la protection du relief, sont beaucoup plus sèches et les régimes de brise y sont prépondérants. Les zones de précipitations les plus intenses se rencontrent aux altitudes intermédiaires, entre 1000 et 2000 m de hauteur (source : Météo-France La Réunion).

La Figure 3.6 permet de mettre en évidence, à l'échelle de La Réunion, les anomalies annuelles avec, en particulier, les années les plus arrosées (1980, 1987, 1993, 2018) et les plus sèches (1983, 1992).

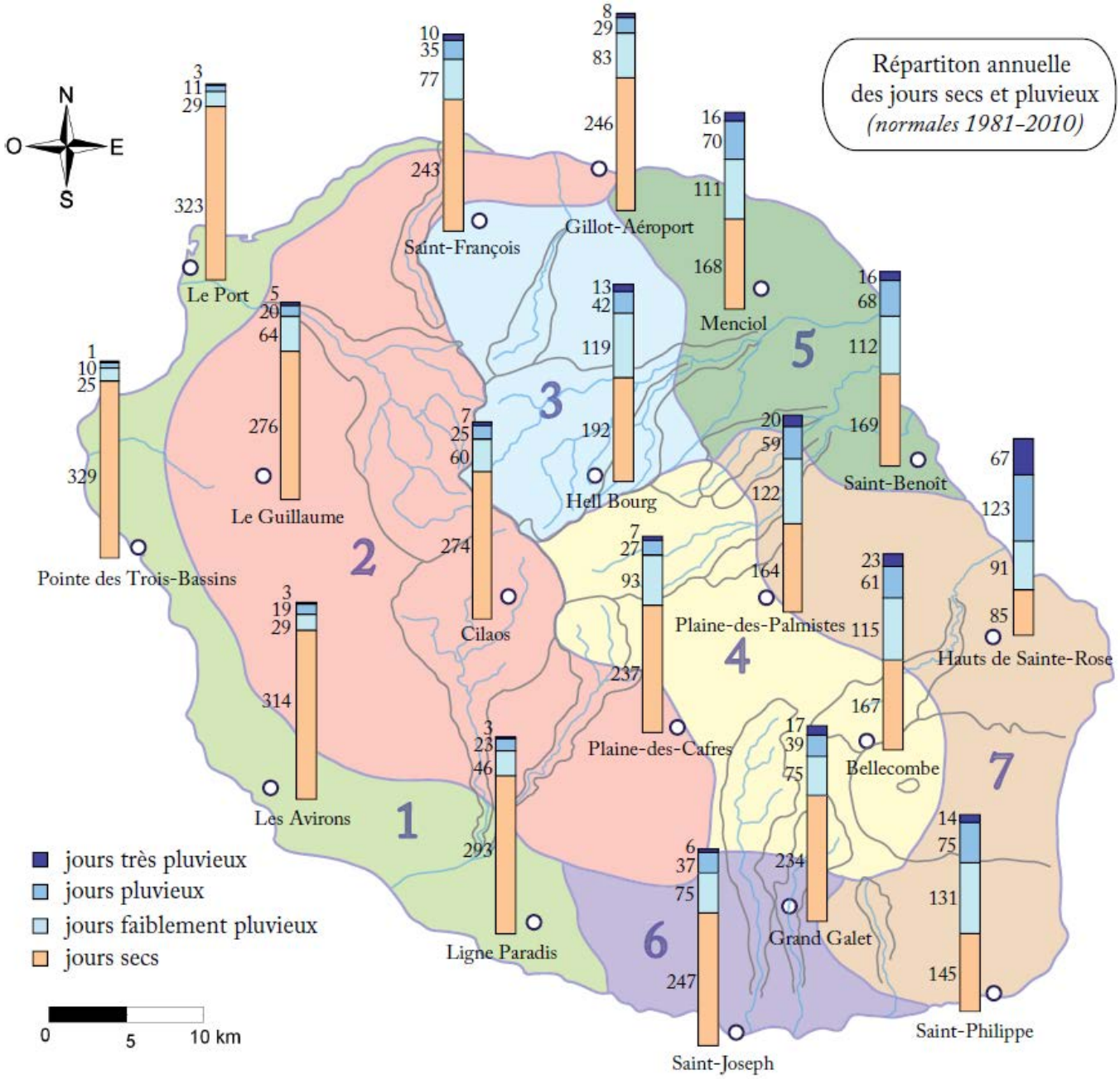


Figure 3.5 : Répartition annuelle des jours secs et pluvieux sur l'île de La Réunion (Jumaux et al., 2012)

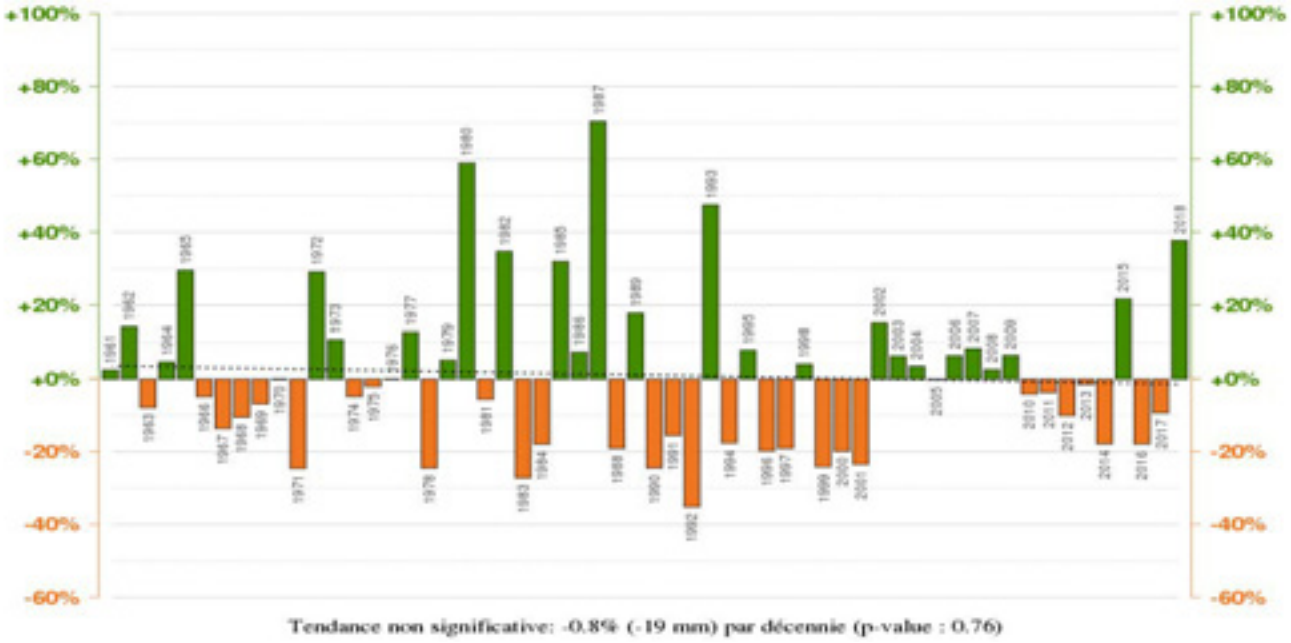


Figure 3.6 : Pluviométrie annuelle entre 1961 et 2018 à La Réunion (source : Météo-France La Réunion). Écart à la moyenne 1981-2010 (à partir de 13 postes)

Tableau 3.2 : Précipitations et températures moyennes mensuelles, à Saint-Denis (station Gillot), évaluées sur la période 1981-2010 (source : climate-data.org)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Température moyenne (°C)	26,2	26,3	26	24,9	23,2	21,8	21	20,7	21,3	22,4	23,9	25,4
Température minimale moyenne (°C)	23,1	23,2	23	21,8	20,2	18,7	18,2	17,9	18,3	19,3	20,5	22,2
Température maximale (°C)	29,4	29,5	29	28	26,3	24,9	23,8	23,6	24,4	25,6	27,3	28,6
Précipitations (mm)	258	227	255	170	96	72	73	56	44	37	76	141

Le minimum absolu (183 mm) des cumuls annuels de précipitation enregistrés à l'échelle de La Réunion a été relevé à Saint-Gilles-les-Bains en 2000 tandis que le minimum le plus élevé s'élève à 8 129 mm dans les Hauts de Sainte-Rose en 2001. Parmi les années sèches figurent 1983 (sur la moitié ouest et les Cirques), 1992 (dans le nord et le nord-est), 1997 et 1999 (dans le sud) et enfin 2011 (autour du volcan).

Les cyclones influencent sensiblement les cumuls annuels de précipitation puisque l'année 1987 (avec le passage de Clotilda) se démarque dans le nord et l'ouest, ainsi que 1980 (avec le passage de Hyacinthe) dans la moitié sud-ouest. Néanmoins, le maximum absolu de pluviométrie annuelle (15 931 mm) a été constaté dans les Hauts de Sainte-Rose, en 1995 (source : Météo-France La Réunion).

Le Tableau 3.2 présente, pour Saint-Denis (station Gillot-Aéroport ; Annexe 8.5), les données moyennes, minimales et maximales mensuelles de température et de précipitation (source : https://fr.climate-data.org). Entre les années 1981 et 2010, la température minimale moyenne est de 17,9 °C contre 29,5 °C en température maximale à la station Gillot de Saint-Denis (Tableau 3.2).

La Figure 3.7 rassemble les données climatiques mensuelles de Saint-Denis (station Gillot ; Annexe 8.5) établis par modèle à partir des observations de la période 1981-2010 (source : climate-data.org).

Le Tableau 3.3 présente, pour Saint-Pierre (station Pierrefonds ; Annexe 8.5), les données moyennes, minimales et maximales mensuelles de température et de précipitation (source : https://fr.climate-data.org). Entre les années 1981 et 2010, la température minimale moyenne est de 17,0 °C contre 29,1 °C en température maximale à la station Pierrefonds de Saint-Pierre (Tableau 3.2).

La Figure 3.8 rassemble les données climatiques mensuelles de Saint-Pierre (station Pierrefonds ; Annexe 8.5) établis par modèle à partir des observations de la période 1981-2010 (source : climate-data.org).

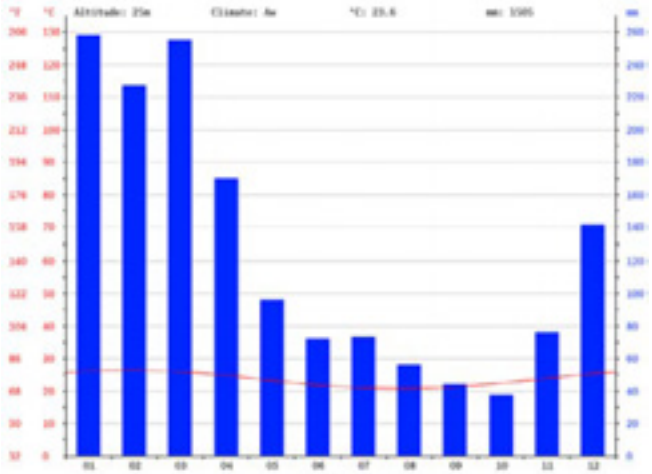


Figure 3.7 : Diagramme ombrothermique mensuel de Saint-Denis (station Gillot) évalué sur la période 1981-2010 (source : climate-data.org)

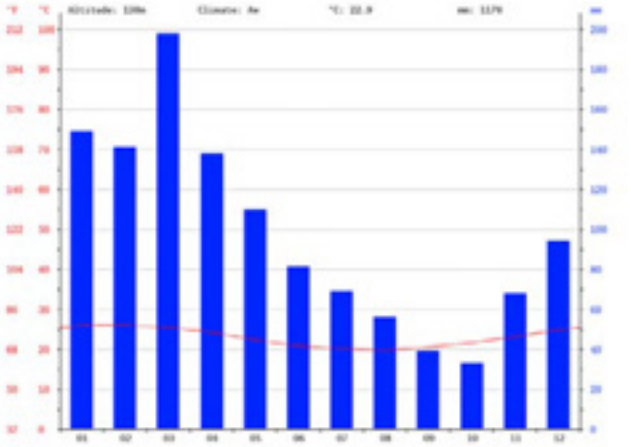


Figure 3.8 : Diagramme ombrothermique mensuel de Saint-Pierre (station Pierrefonds) évalué sur la période 1981-2010 (source : climate-data.org)

Tableau 3.3 : Précipitations et températures moyennes mensuelles, à Saint-Pierre (station Pierrefonds), évaluées sur la période 1981-2010 (source : climate-data.org)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Température moyenne (°C)	25,9	25,9	25,5	24,2	22,3	20,8	20,1	19,7	20,5	21,6	23,1	24,8
Température minimale moyenne (°C)	22,8	22,8	22,6	21,1	19,3	17,8	17,4	17	17,5	18,5	19,8	21,6
Température maximale (°C)	29	29,1	28,5	27,3	25,4	23,9	22,8	22,5	23,5	24,7	26,5	28
Précipitations (mm)	149	141	198	138	110	81	69	56	39	33	68	94

3.1.1.b Typologie des perturbations

À La Réunion, les précipitations sont le phénomène météorologique le plus remarquable. Leur très grande variabilité spatio-temporelle est une caractéristique essentielle du climat réunionnais. Une grande diversité se révèle dans la typologie des précipitations (source : Météo-France La Réunion) :

- les épisodes liés aux systèmes dépressionnaires tropicaux (des dépressions tropicales jusqu'aux cyclones tropicaux les plus violents), durant l'été austral ;
- les épisodes liés aux zones de convergence, durant l'été austral ;
- les épisodes liés à des « remontées » d'origine polaire, touchant plus particulièrement les zones sud et sud-est de l'île, durant l'hiver austral ;
- les pluies d'alizés, touchant plus spécifiquement les Hauts du nord-est et du sud-est de La Réunion (selon la direction du flux) durant l'hiver austral ;
- les orages isolés, durant l'été austral.

Qu'elles soient générées par une tempête tropicale ou un cyclone (Figure 3.9), les pluies accompagnant un système dépressionnaire tropical sont souvent torrentielles et provoquent des inondations, des éboulis, des coulées de boue, des crues ou des glissements de terrain (source : Météo-France La Réunion).

Le relief accentue l'abondance des précipitations, ce qui vaut ainsi à La Réunion de détenir tous les records mondiaux de précipitations pour les pas de temps compris entre 12 heures et 15 jours (Tableau 3.4), à l'exception du record sur 48 heures glissantes,

Tableau 3.4 : Records de précipitations à La Réunion (source : Météo-France La Réunion)

Durée	Lieu	Date – Évènement	Cumul (en mm)
1 heure	Cilaos	le 29/02/1964 de 07h à 08h – Giselle	261
3 heures	Mare à Vieille Place	du 04/02/1998 (21h06) au 05/02/1998 (00h06) – Orage	422
6 heures		du 04/02/1998 (17h48) au 04/02/1998 (23h48) – Orage	690
12 heures	Foc-Foc	du 07/01/1966 (16h) au 08/01/1966 (04h) – Denise	1144
24 heures		du 07/01/1966 (10h) au 08/01/1966 (10h) – Denise	1825
48 heures	Commerson	du 26/02/2007 (03h34) au 28/02/2007 (03h34) – Gamède	2489
72 heures	Commerson	du 24/02/2007 (15h54) au 27/02/2007 (15h54) – Gamède	3930
96 heures		du 24 (04h00) au 28/02/2007 (04h00) – Gamède	4936
120 heures		du 23 (04h00) au 28/02/2007 (04h00) – Gamède	4979
10 jours		du 18 au 27/01/1980 – Hyacinthe	5678
15 jours		du 14 au 28/01/1980 – Hyacinthe	6083

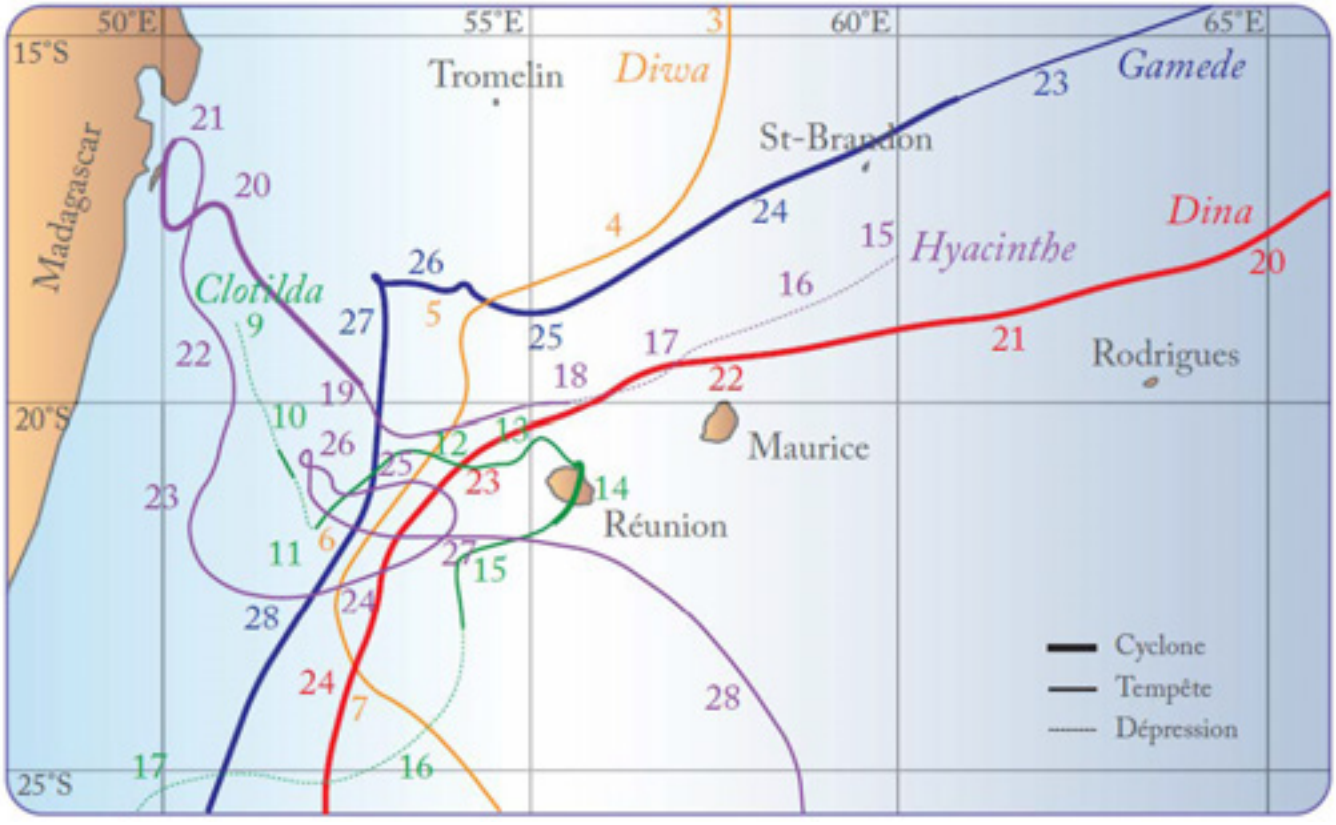


Figure 3.9 : Trajectoire et intensité des cinq systèmes tropicaux (Hyacinthe, 1980 ; Clotilda, 1987 ; Dina, 2002 ; Diwa, 2006 et Gamède, 2007) ayant généré le plus de pluie sur La Réunion entre 1960 et 2010 (Jumaux et al., 2012)

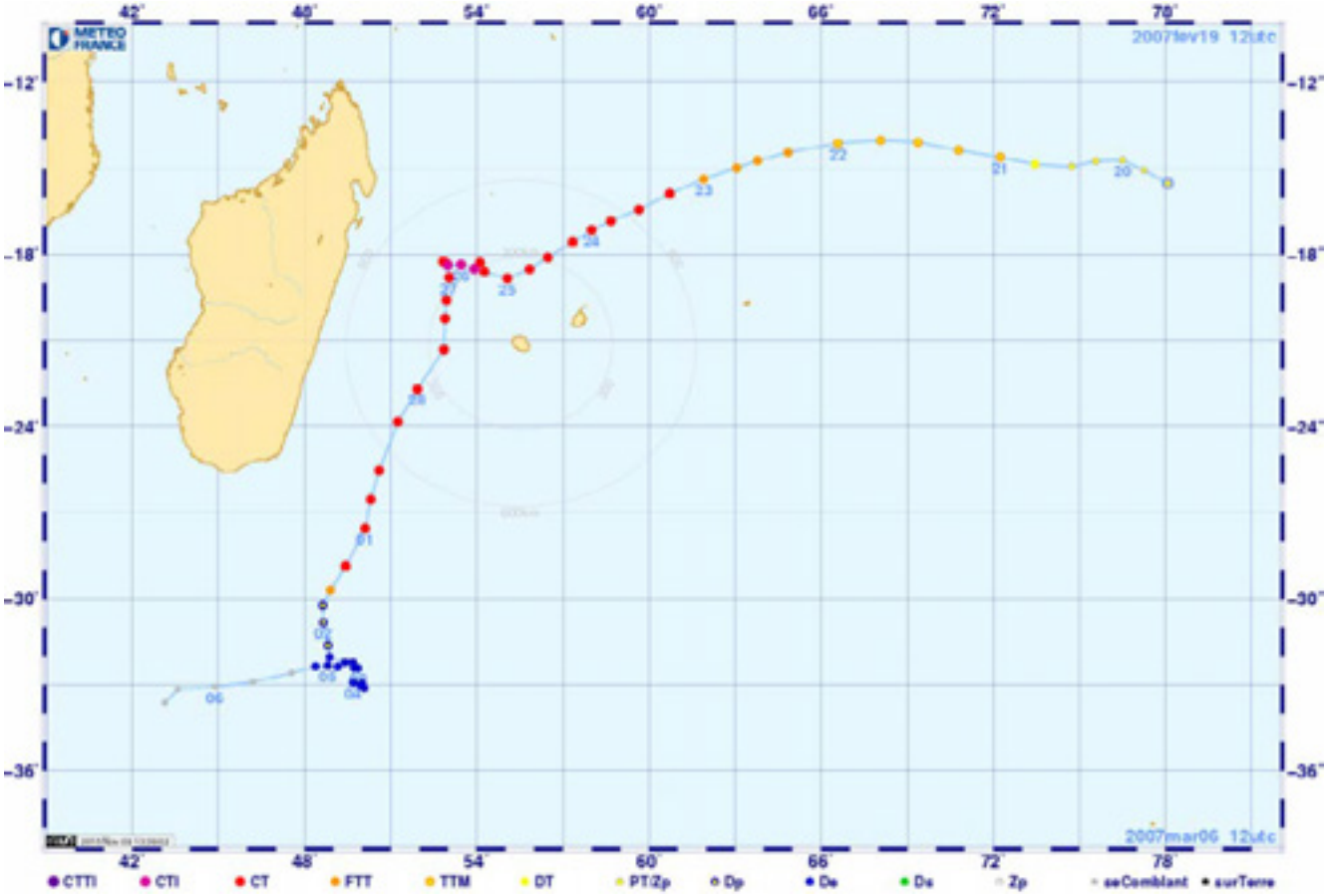


Figure 3.10 : Trajectoire du système Gamède entre le 19/02/2007 et le 06/03/2007, classé cyclone tropical intense entre le 25/02/2007 et le 26/02/2007 lors de son passage à proximité de La Réunion (source : Météo-France La Réunion ; Annexe 8.8)

détenu à présent par la station de Cherrapunji en Inde (2 493 mm tombés les 15-16/06/1995 et validés par la World Meteorological Organization en mars 2014). Les records de précipitations enregistrés en janvier 1966 et 1980 sont respectivement associés au passage des cyclones Denise et Hyacinthe. Les records de précipitations enregistrés en février 2007 sont imputables au passage du cyclone Gamède (Figure 3.10 ; Annexe 8.8), responsable de nombreux dégâts notamment liés aux inondations (Figure 3.11).

Les dégâts engendrés par les pluies dépendent également de la configuration hydrologique et géologique pré-existante. Les crues et les dégâts seront

Figure 3.11 : Destruction du pont de la rivière Saint-Étienne dans le sens Saint-Louis – Saint-Pierre durant le cyclone Gamède le 25/02/2007 (© IPR, 2007 – source : http://www.ipreunion.com)

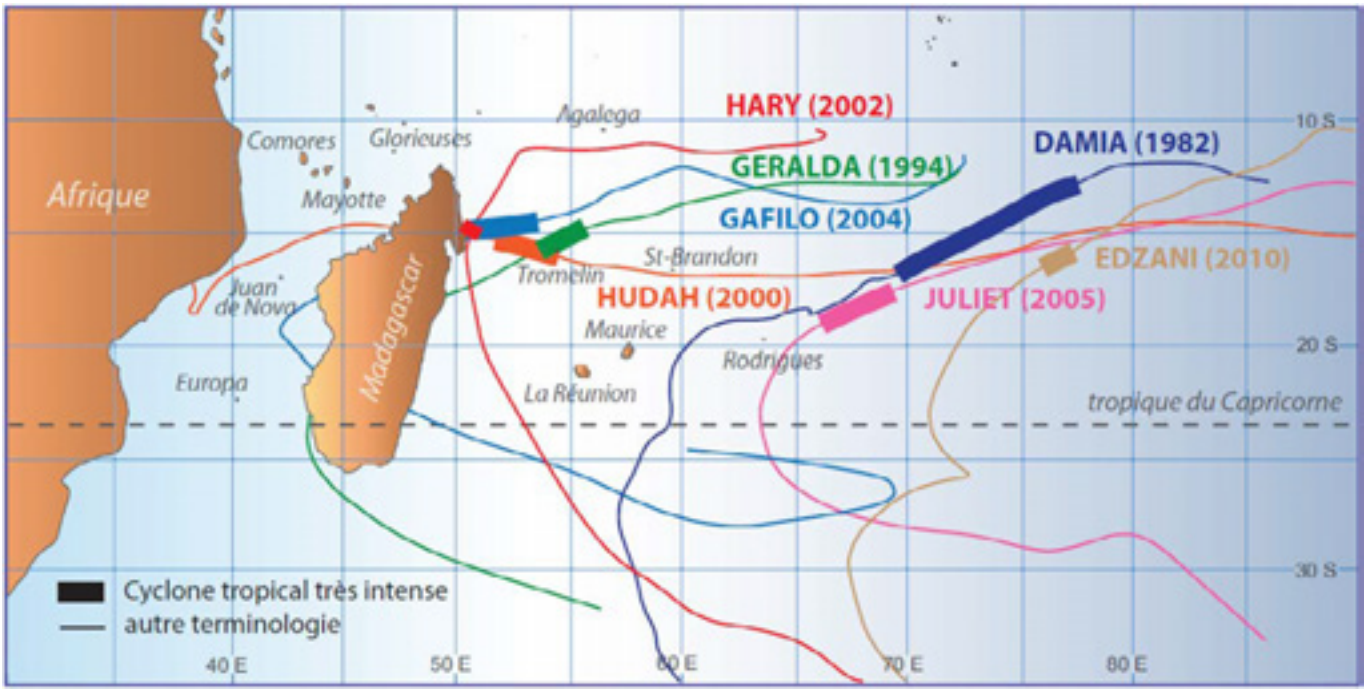


Figure 3.12 : Trajectoire des cyclones tropicaux très intenses (CTTI) dans le sud-ouest de l'océan Indien au cours de la période 1981-2010 (Jumaux et al., 2012)

plus importants si le sol est déjà humide. En effet, les pluies survenant sur sol sec seront moins propices aux glissements de terrain, mais l'érosion superficielle sera plus importante (source : Météo-France La Réunion).

Une île comme La Réunion, jeune avec une forte érosion et un relief important, cumule les caractéristiques qui la rendent très sensible aux pluies. Néanmoins, même si son relief accentué intensifie l'écoulement des pluies, il permet en contrepartie une évacuation rapide des eaux. Outre les destructions directes pendant le passage du cyclone, certains dégâts dus à une fragilisation des terrains peuvent se produire plusieurs jours ou même plusieurs semaines après une période de fortes pluies. Ce fut le cas de l'éboulis sur la Route du Littoral du 24/03/2006, soit 15 jours après le passage de la tempête Diwa. Ce risque géologique induit par les fortes pluies est beaucoup plus aléatoire et imprévisible (source : Météo-France La Réunion).

Contrairement au vent, l'intensité des précipitations n'est pas reliée à l'intensité des perturbations. Des systèmes dépressionnaires tropicaux relativement faibles (simples dépressions tropicales ou zones perturbées mal organisées) peuvent occasionner des pluies plus abondantes que des cyclones matures. En outre, même à intensité équivalente, les précipitations sont très variables d'un cyclone à l'autre : les « cyclones de pluie » se distinguent alors des « cyclones de vent » (source : Météo-France La Réunion).

Les cyclones, lorsqu'ils passent au plus près de l'île, génèrent des vents souvent destructeurs. Dans le **Tableau 3.5**, sont répertoriées les plus fortes rafales enregistrées sur La Réunion. Les vents atteignent leurs valeurs maximales à la périphérie de l'œil. Quand un cyclone touche terre, les vents sont modifiés : la rugosité change et dans le cas d'un relief important (comme celui de La Réunion), la turbulence augmente fortement. Il en résulte un affaiblissement des vents moyens, mais en revanche un renforcement des rafales comparativement à ce qui se passe sur mer. Le relief entraîne également localement, soit des effets de masque, soit des renforcements importants du vent par effet Venturi sur les côtes parallèles au flux ou au niveau des rebords de falaises ou remparts exposés (source : Météo-France La Réunion).

L'intensité d'un système dépressionnaire tropical est définie par la vitesse maximale des vents moyens près du sol (à 10 m d'altitude, par convention) générés en mer par celui-ci. La terminologie d'usage dans le sud-ouest de l'océan Indien est la suivante : la dépression atteint le stade de tempête tropicale quand les vents maximaux (moyens sur 10 minutes) près du centre dépassent 63 km/h (rafales supérieures à 90 km/h), et de cyclone tropical quand les vents excèdent les 118 km/h (rafales alors supérieures à 165 km/h). L'ordre de grandeur des vents près du sol soufflant au cœur des cyclones les plus intenses est de 250 à 280 km/h, soit des rafales proches de 400 km/h (source : Météo-France La Réunion).

Dans le sud-ouest de l'océan Indien, depuis 1981, certains cyclones ont atteint le stade de cyclone tropical très intense (**Figure 3.12**) tels que Damia (1982), Geralda (1994), Hudah (2000), Hary (2002), Gafilo (2004), Juliet (2005) et Edzani (2010). Aucun de ces derniers n'a affecté directement les Mascareignes avec une telle intensité. Les plus puissants observés dans la période contemporaine sont Geralda et Gafilo, avec

Tableau 3.5 : Records de vent par station à La Réunion (source : Météo-France La Réunion)

Lieu	Date	Évènement	Direction	Vitesse
Piton Maïdo	22/01/02	DINA	230°	277 km/h
Gros Piton Sainte-Rose	11/02/94	HOLLANDA	220°	234 km/h
Gillot-Aéroport	28/02/62	JENNY	160°	223 km/h
Plaine des Cafres	22/01/02	DINA	70°	220 km/h
Saint-Pierre	29/01/89	FIRINGA	100°	216 km/h
Gîte de Bellecombe	22/01/02	DINA	60°	209 km/h
Plaine des Palmistes	19/01/93	COLINA	40°	205 km/h
Petite-France	23/01/02	DINA	80°	191 km/h
Saint-Louis	22/01/02	DINA	140°	187 km/h
Saint-Benoît	29/01/89	FIRINGA	200°	184 km/h
Le Port	22/01/02	DINA	80°	180 km/h

Tableau 3.6 : Cyclones à moins de 300 km de La Réunion entre 1967 et 2010 (Jumaux et al., 2012)

Année	Nom	Date	Passage au plus près des côtes réunionnaises
1969	**DANY** **HELENE**	2 fév. 24 mars	160 km au nord-ouest 300 km au nord-est
1970	**HERMINE**	25 janv.	60 km au sud ouest
1970	**JANE**	21 fév.	260 km au nord-ouest
1970	**LOUISE**	29 mars	260 km au nord-est
1971	**HELGA**	8-9 fév.	150 km au sud-est
1972	**EUGENIE**	13 fév.	280 km au nord-ouest
1972	**BEATRICE**	22-23 déc.	280 km au sud-est
1973	**LYDIE**	10 mars	300 km à l'ouest
1975	**DEBORAH**	23-24 janv.	240 km au sud
1975	**GERVAISE**	6-7 fév.	140 km au sud-est
1977 **1978**	**FIFI** **FLEUR**	6 fév. 21 janv.	140 km à l'ouest 260 km à l'est
1980	**JACINTHE**	4 fév.	280 km au sud-est
1980	**LAURE**	13 mars	280 km à l'est
1981	**FLORINE**	7 janv.	20 km au sud-est
1987	**CLOTILDA**	13-14 fév.	sur l'île
1989	**FIRINGA**	29 janv.	sur le nord-ouest
1993	**COL/NA**	19 janv.	sur l'ouest
1994	**HOLLANDA**	11 fév.	20 km au sud-est
1994	**LITANNE**	13-14 mars	300 km au nord
1996	**BON/TA**	9 janv.	260 km au nord
1996	**DANIELLA**	8-9 déc.	120 km à l'est
1997	**GRETELLE**	22-23 janv.	300 km au nord-ouest
2000	**CONNIE**	29 janv.	140 km au nord-ouest
2001	**ANDO**	6-7 janv.	210 km au nord-ouest
2002	**DINA**	22-23 janv.	65 km au nord-ouest
2003	**GERRY**	13 fév.	290 km au nord-est
2007	**GAMEDE**	24-27 fév.	240 km au nord-ouest
2009	**GAEL**	15 fév.	300 km au sud-ouest

des vents maximums moyens dépassant les 230 km/h et des rafales supérieures à 330 km/h (Jumaux *et al.*, 2012). Les trajectoires des cyclones sont en moyenne orientées est-ouest aux basses latitudes. En s'écartant de l'équateur (déplacement ouest-sud-ouest à sud-ouest), elles incurvent vers 20-25° de latitude sud, puis recourbent vers l'est (déplacement vers le sud-est) en gagnant les latitudes subtropicales. Mais les trajectoires peuvent parfois être plus surprenantes : Hyacinthe (1980) avait effectué deux boucles et trois passages près de La Réunion (Jumaux *et al.*, 2012).

Les rafales les plus violentes enregistrées dans le sud-ouest de l'océan Indien sont de 280 km/h à Maurice (Gervaise en 1975), et 277 km/h à La Réunion (pendant Dina en 2002, mesures observées au Piton Maïdo, à 2 205 m d'altitude, voir **Tableau 3.5** et **Figure 3.13** ; Annexe **8.7**), avant destruction de l'anémomètre (source : Météo-France La Réunion). Sur la bande littorale où se concentrent les principaux enjeux de l'île, les records de vent atteignent par exemple jusqu'à 223 km/h à Saint-Denis (station Gillot-Aéroport) lors de l'épisode Jenny en 1962 et jusqu'à 216 km/h à Saint-Pierre lors de l'épisode Firinga.

Sur la période 1967-2010 (**Tableau 3.6**), trente systèmes sont passés à moins de 300 km des côtes réunionnaises, au stade de cyclone tropical : sept à moins de 100 km ; six entre 100 et 200 km ; dix-sept entre 200 et 300 km. La majorité de ces systèmes se sont produits entre janvier (onze cyclones) et février (douze cyclones), contre seulement deux en décembre et cinq en mars (Jumaux *et al.*, 2012).

Sur la période 1967-2010 (**Tableau 3.7**), dix-huit systèmes sont passés à moins de 100 km des côtes de La Réunion : sept au stade de cyclone tropical et onze au stade de tempête tropicale. La majorité de ces systèmes se sont produits entre janvier (neuf) et février (cinq), contre seulement trois en mars et un en avril (Jumaux *et al.*, 2012).

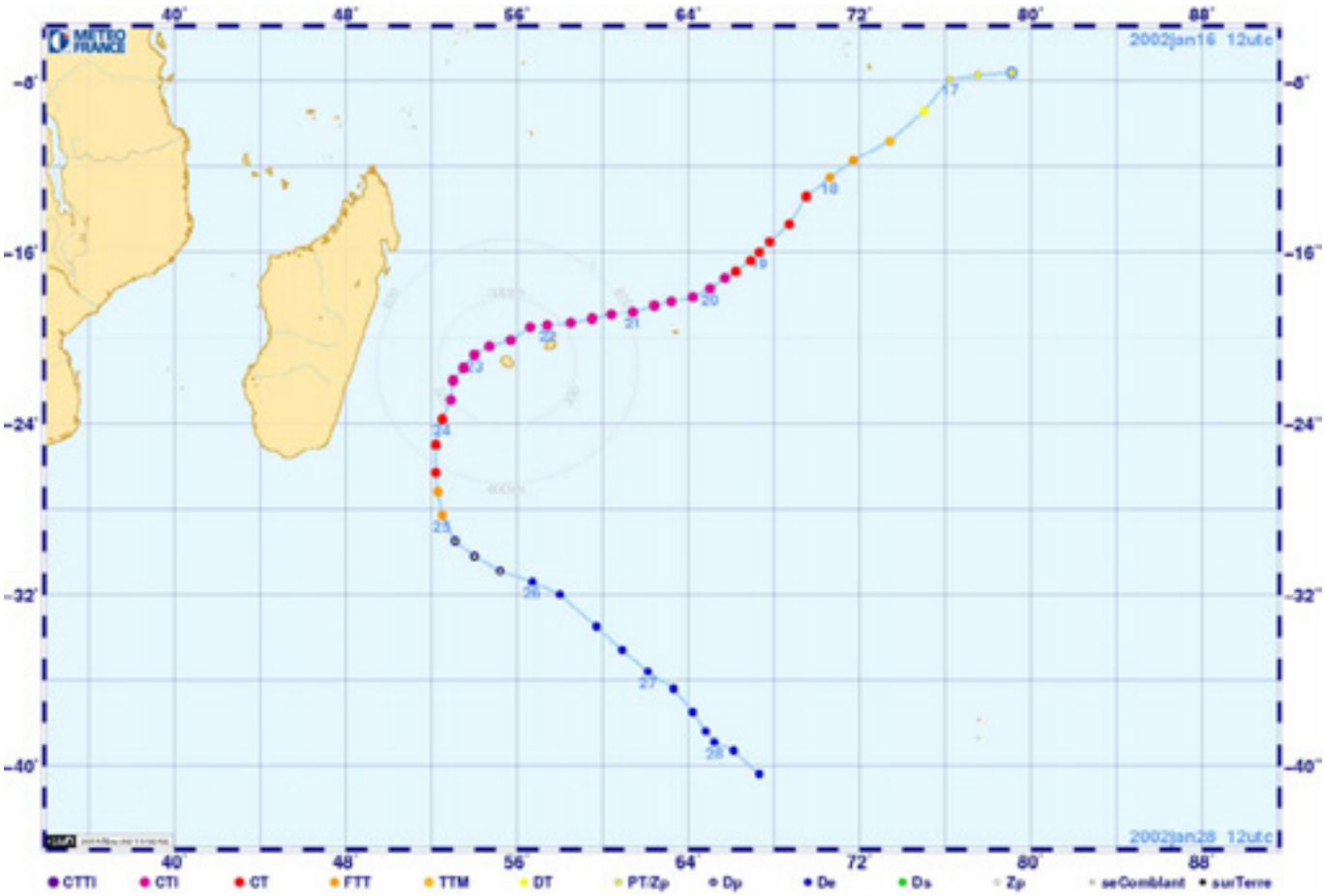


Figure 3.13 : Trajectoire du système Dina entre le 16/01/2002 et le 28/01/2002, classé cyclone tropical intense entre le 19/01/2002 et le 23/01/2002 lors de son passage à proximité de La Réunion le 22/01/2002 (source : Météo-France La Réunion ; Annexe 8.7)

Tableau 3.7 : Cyclones et tempêtes tropicales à moins de 100 km de La Réunion entre 1967 et 2010 (Jumaux et al., 2012)

Année	Nom	Date	Passage au plus près des côtes réunionnaises	Stade	Quadrant d'origine à 300 km des côtes
1970	**HERMINE**	25 janv.	60 km au sud-ouest	cyclone	NO
1972	**DOLLY**	8 fév.	50 km au sud-ouest	tempête	NO
1973	**CHARLOTTE**	9 janv.	70 km au sud-ouest	tempête	NO
1979	**BENJAMINE**	7-8 janv.	50 km à l'est	tempête	NE
1980	**HYACINTHE**	27 janv.	60 km au sud	tempête	SO
1981	**FLORINE**	7 janv.	20 km au sud-est	cyclone	NE
1981	**HELYETTE**	1 fév.	50 km au sud-est	tempête	NE
1981	**JOHANNE**	5-6 mars	50 km au nord-est	tempête	NO
1982	**GABRIELLE**	6 fév.	50 km au nord-ouest	tempête	NE
1985	**CELESTINA**	17-18 janv.	à proximité du sud-est	tempête	NO
1987	**CLOTILDA**	13-14 fév.	sur l'île	cyclone	NO
1989	**FIRINGA**	29 janv.	sur le nord-ouest	cyclone	NE
1989	**KRISY**	6 avr.	50 km au sud-est	tempête	NE
1993	**COUNA**	19 janv.	sur l'ouest	cyclone	NE
1994	**HOLLANDA**	11 fév.	20 km au sud-est	cyclone	NE
1995	**KYLIE**	13 mars	à proximité du nord-ouest	tempête	NE
1999	**DAVINA**	10 mars	35 km au sud-est	tempête	NE
2002	**DINA**	22 janv.	65 km au nord-ouest	cyclone	NE

La plupart des systèmes sont arrivés par le nord-est (61 % des cas à 300 km, 33 % à 100 km), les passages à 100 km et au plus près de l'île montrant néanmoins une répartition assez homogène (Jumaux *et al.*, 2012).

3.1.1.c Caractérisation des vents et pressions

Sous les tropiques, les vents dominants sont les alizés. Dans le sud-ouest de l'océan Indien, ces vents sont générés par le gradient de pression entre l'anticyclone des Mascareignes au sud et les basses pressions équatoriales au nord. Leur direction est relativement stable et varie du nord-est au sud-est avec une dominance est-sud-est (source : Météo-France La Réunion).

La position moyenne de l'anticyclone des Mascareignes se situe au sud-est de La Réunion vers 32°S et 75°E, mais elle varie selon les saisons. Pendant l'hiver austral, l'anticyclone (A) est centré vers 31°S et 65°E avec une pression moyenne en mer de 1025 hPa (Figure 3.15). Il s'affaiblit progressivement et migre par la suite vers l'est, tout en s'éloignant de l'équateur, pour rejoindre sa position d'été austral. Il est alors situé vers 33°S et 90°E avec une pression moyenne de 1020 hPa (Figure 3.14). L'anticyclone peut tout aussi bien se localiser à une longitude différente de sa position moyenne (source : Météo-France La Réunion).

Pendant l'été austral, l'anticyclone s'éloigne de la Réunion et s'affaiblit (Figure 3.14). Les alizés sont alors moins violents, voire absents. Des brises faibles de direction variable prennent le relais et dévient les alizés. La vaste zone dépressionnaire qui correspond en latitude à l'équateur thermique se situe en moyenne vers 10°S mais peut descendre jusqu'au niveau des Mascareignes vers 20°S. Elle est matérialisée par la ZCIT (Zone de Convergence Intertropicale), qui prend naissance de la rencontre entre le flux de mousson chaud et humide qui vient du nord-ouest et le flux d'alizé qui vient du sud-est. Cette zone apparaît le plus souvent comme une bande de 300 à 400 km de large, orientée ouest/est, et qui se déplace lentement vers le nord ou vers le sud entre les deux tropiques, en suivant les oscillations de l'équateur thermique. Elle est souvent accompagnée de pluies, d'orages et de rafales de vent (source : Météo-France La Réunion).

Figure 3.14 : Carte de pression moyenne (en hPa) au niveau de la mer en mars, durant l'été austral (source : Météo-France La Réunion)

Lorsque cette zone se situe au niveau de La Réunion, elle engendre des précipitations et des orages très importants et durable. Au sud de la ZCIT, peuvent se former des dépressions tropicales qui évoluent parfois jusqu'au stade de cyclone tropical (source : Météo-France La Réunion).

Pendant l'hiver austral les alizés sont plus vigoureux, en liaison avec le renforcement de l'anticyclone des Mascareignes et son déplacement vers La Réunion (Figure 3.15). Les vents sont alors frais et généralement plutôt secs. La direction générale des alizés est orientée plus franchement au sud-est. Des rafales atteignant 70 km/h peuvent être observées en cette saison. Les brises de terre sont quant à elles plus marquées, notamment sur la moitié sud-ouest (source : Météo-France La Réunion).

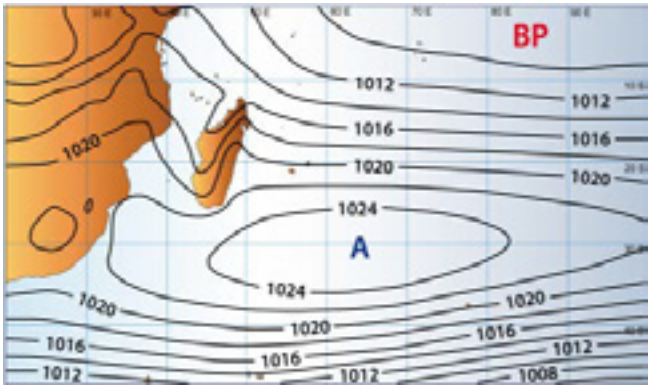


Figure 3.15 : Carte de pression moyenne (en hPa) au niveau de la mer en septembre, durant l'hiver austral (source : Météo-France La Réunion)

La vitesse du vent est proportionnelle au gradient de pression : plus la différence de pression est importante et plus le vent est fort. Le gradient de pression entre les anticyclones subtropicaux et les basses pressions équatoriales génère un flux régulier, à la fois en direction et en force : les alizés. Lors de leur parcours, principalement maritime, les alizés se chargent en humidité et alimentent en vapeur d'eau les cumulonimbus de la ZCIT (Jumaux *et al.*, 2012).

Sur La Réunion, la direction de provenance des alizés est en moyenne est-sud-est, mais elle oscille entre nord-est et sud-est. L'interaction entre les alizés et le relief de l'île a des conséquences très importantes sur son climat. Les alizés sont plus forts durant l'hiver en raison du renforcement de l'anticyclone des Mascareignes. Par contre, durant l'été, ils sont plus faibles. Ces vents finissent par disparaître quand la zone des basses pressions se rapproche de l'île (Jumaux *et al.*, 2012).

Dans l'océan Indien, il n'y a guère d'obstacle pour contrarier le parcours des alizés. Leur force et leur direction suivent les lentes évolutions de l'anticyclone. Mais, placé sur leur trajet, les hauts reliefs de La Réunion brisent cet écoulement atmosphérique régulier. Les alizés contournent cet obstacle, ce qui induit un renforcement du flux sur les côtes parallèles à la direction du vent alors que les côtes « au vent » et « sous le vent » sont complètement déventées. Ainsi, sur les côtes de l'île, le vent peut être très faible ou bien brutalement renforcé en fonction de l'orientation des alizés par rapport au relief. Ces perturbations du flux se répercutent quelques centaines de kilomètres en aval de La Réunion avant que le vent ne retrouve son uniformité caractéristique (source : Météo-France La Réunion).

Les vents soufflent dans les basses couches de l'atmosphère, sous l'inversion des alizés. Cette inversion entrave le franchissement du haut du relief par le vent (source : Météo-France La Réunion). Les alizés sont ainsi contraints de contourner cet obstacle, à l'origine de trois zones bien distinctes (Figure 3.16 ; Figure 3.17 ; Figure 3.18) :

- zone A : les effets du relief sur le flux se ressentent plusieurs dizaines de kilomètres en amont de l'île. En arrivant face au volcan, les vents divergent pour amorcer leur mouvement de contournement et laissent la côte « au vent » nettement déventée ;
- zone B : le relief contraint l'air à traverser cette zone dans une section plus étroite, responsable d'une accélération du vent au large des côtes parallèles au vent, c'est l'effet Venturi ;
- zone C : cette zone est située « sous le vent » et demeure protégée par le relief. Des circulations faibles et complexes s'organisent et orientent les alizés avec des directions variables sur les rivages de la côte « sous le vent ».

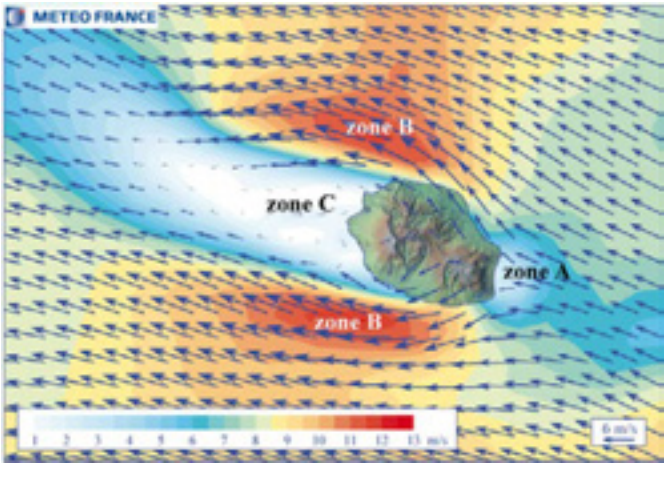


Figure 3.16 : Carte du vent autour de La Réunion par flux est-sud-est (source : Météo-France La Réunion). La direction du vent est représentée par les flèches bleues avec des longueurs proportionnelles à la force du vent. La force du vent est également représentée en plage de couleur : du blanc au rouge pour les vents les plus faibles aux plus forts. Les zones A et C sont ici déventées, respectivement « au vent » et « sous le vent » ; les zones B décrivent des vents de forte intensité au large des côtes

Ainsi, par flux habituel d'est-sud-est, les côtes les plus exposées aux vents s'étendent entre Sainte-Rose et Saint-Denis dans le nord et entre L'Étang-Salé et Saint-Philippe dans le sud. Les autres zones sont déventées (Figure 3.16). Lorsque la direction des alizés varie un peu, les zones ventées et déventées se décalent (Figure 3.17 ; Figure 3.18) (source : Météo-France La Réunion).

La direction des alizés, est-sud-est en moyenne, varie classiquement du sud-est (Figure 3.17) au nord-est (Figure 3.18). Bien entendu, les zones A, B et C suivent ces variations de direction et se décalent en conséquence (Figure 3.17 et Figure 3.18). Les flux de nord-ouest ou sud-ouest, quand par exemple un front froid s'abat sur l'île, sont plus rares (source : Météo-France La Réunion).

Dans le cas d'un cyclone, les zones les plus exposées aux vents sont les côtes orientées parallèlement à la direction du vent généré par le système. Mais dans ce cas, les zones « sous le vent » ne sont plus forcément protégées, car le vent peut franchir le relief par le haut et s'écouler par gravité sur les sites « sous le vent » (source : Météo-France La Réunion).

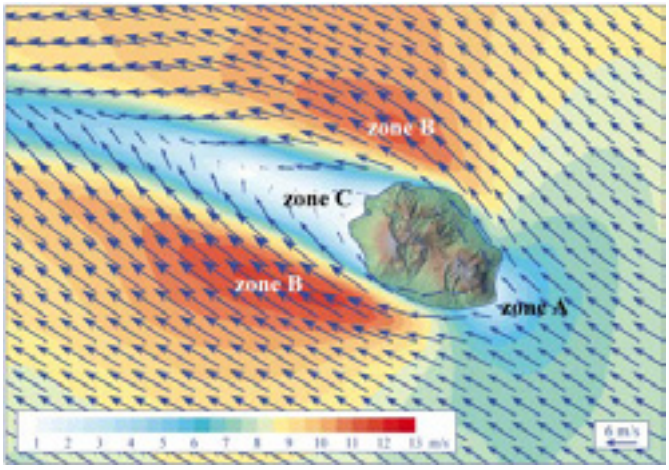


Figure 3.17 : Carte du vent autour de La Réunion par flux sud-est (source : Météo-France La Réunion)

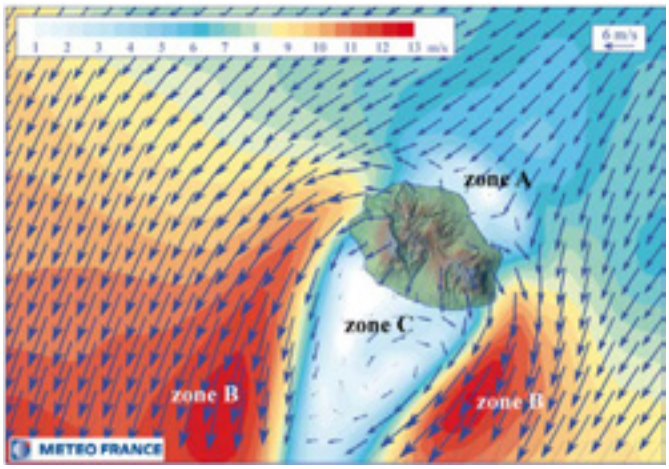


Figure 3.18 : Carte du vent autour de La Réunion par flux nord-est (source : Météo-France La Réunion)

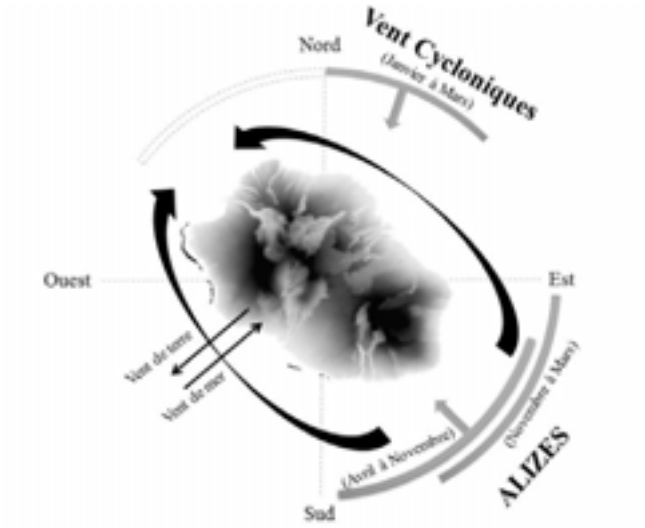


Figure 3.19 : Les différents régimes de vents à La Réunion (d'après Gabrié, Montaggioni, 1986)

Le vent permet la mise en mouvement des sédiments occasionnant ainsi des pertes de sable hors de la cellule hydrosédimentaire ou favorisant la formation d'accumulation éolienne de type dunaire. Relativement bien connus à travers les travaux de Météo-France (Soler, 1997 ; Jumaux *et al.*, 2012), les vents dominants, instaurés par le régime constant des alizés, proviennent du secteur est-sud-est. Ce flux général rencontre néanmoins des variations locales liées aux effets orographiques (côte « au vent » et « sous le vent », effet Venturi dans les vallées) et thermiques (brises diurnes et nocturnes) qui rend toute moyenne et généralisation hasardeuse à l'échelle de l'île (**Figure 3.20**).

Le relief a pour principal effet de partager le flux dominant des alizés de secteur est-sud-est en deux courants qui contournent La Réunion de part et d'autre, avant de se rejoindre en aval de l'île. Cet effet conduit à un resserrement des filets d'air et à une accélération très nette du vent sur les façades de l'île orientées parallèlement au flux d'origine (**Figure 3.16**). Cette accélération sur les façades nord et sud de l'île est bien illustrée sur la **Figure 3.20** où les roses des vents pour les stations de Gillot-Aéroport et de Pierrefonds-Aéroport (Annexe **8.5**) décrivent des vitesses moyennes plus importantes que dans le reste de l'île (Jumaux *et al.*, 2012).

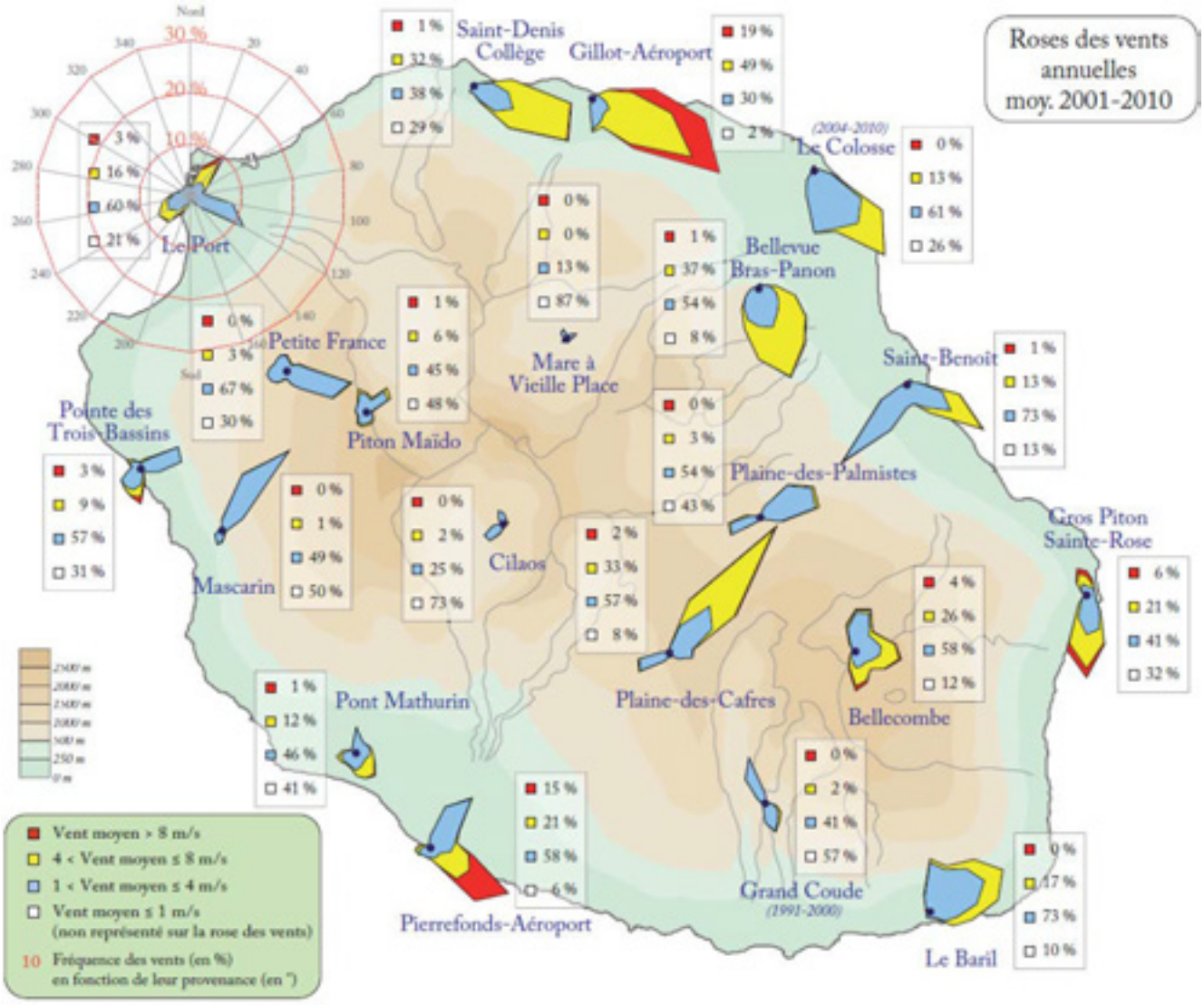


Figure 3.20 : Distribution annuelle des vents sur l'île de La Réunion au cours de la période 2001-2010 (Jumaux et al., 2012)

Les courants d'est à nord-est sont assez fréquents en été, comme au Port ainsi que sur les plaines (La Plaine des Cafres, La Plaine des Palmistes) où ils subissent une accélération liée à la géographie de cette région. En effet, les massifs du Piton des Neiges et du Piton de la Fournaise délimitent un couloir orienté nord-est/sud-ouest où le vent est canalisé (Jumaux *et al.*, 2012).

3.1.1.d Précipitations

Les cumuls pluviométriques annuels moyens montrent une grande dissymétrie entre l'est et l'ouest de La Réunion (**Figure 3.21**). Dans l'ouest, les précipitations sont peu abondantes. En revanche, les cumuls de pluie augmentent vers l'est, jusqu'à dépasser 10 m/an, des valeurs exceptionnelles à l'échelle mondiale. C'est sur le littoral ouest qu'il pleut le moins (environ 500 mm/an). Par contre la pluviométrie augmente au fur et à mesure que l'on s'élève vers les Hauts (Jumaux *et al.*, 2012).

Les reliefs de l'île sont la cause de cette dissymétrie. Qu'elles soient d'origine advective ou d'évolution diurne, les précipitations tendent à se concentrer sur les régions « au vent ». À l'inverse, les régions « sous le vent », qui bénéficient de l'abri du relief, sont beaucoup plus sèches et les régimes de brise y sont prédominants. Pour un secteur donné, du littoral vers les sommets de l'île, les foyers de précipitations les plus intenses se rencontrent aux altitudes intermédiaires, entre 1000 et 2000 m (Jumaux *et al.*, 2012).

Le littoral ouest se distingue nettement avec un nombre très faible de jours avec pluie (généralement moins de 60 par an). En revanche, le reste de l'île est en moyenne

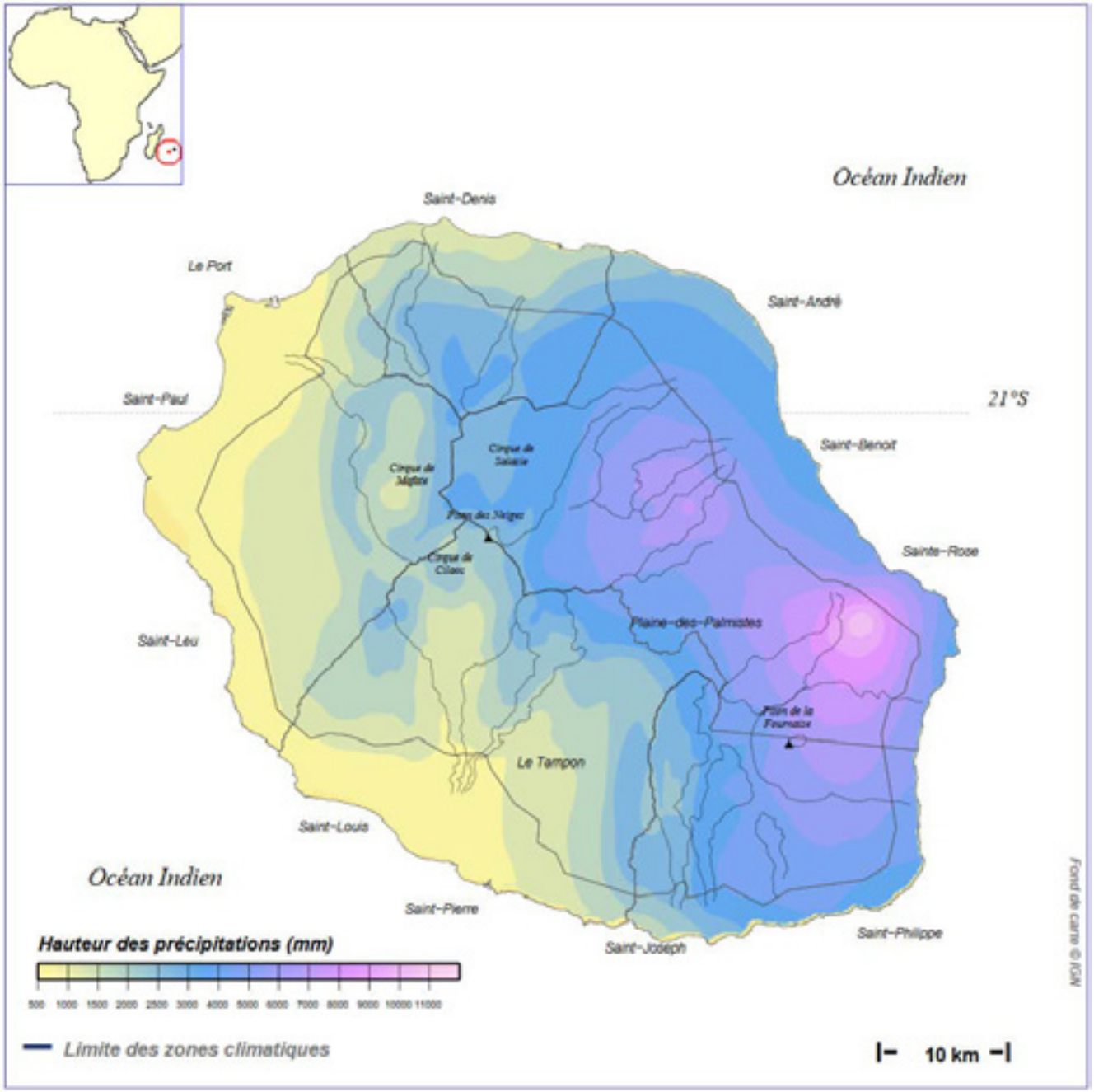


Figure 3.21 : Moyenne annuelle des cumuls pluviométriques à La Réunion sur la période 1981-2010 (© Météo-France, 23/02/2016)

arrosé plus de 100 jours par an, jusqu'à atteindre 280 jours sur les Hauts de Sainte-Rose (Figure 3.22). Concernant les jours très pluvieux (avec des cumuls ≥ 50 mm), la façade est de l'île en connaît 10 à 20 dans l'année (et jusqu'à 67 sur les Hauts de Sainte-Rose), pour seulement 2 à 3 sur le littoral ouest (source : Météo-France La Réunion).

Sur l'ouest, la bande littorale qui s'étend de La Possession à Saint-Pierre est la région la plus sèche de l'île (Figure 3.23). Les précipitations s'y produisent essentiellement en saison des pluies et sont d'autre part très dépendantes des évènements cycloniques qui ne se produisent pas forcément tous les ans. La région qui regroupe les Hauts de l'ouest, les cirques de Mafate et de Cilaos, ainsi que La Plaine des Cafres est également très sèche de mai à novembre, mais elle bénéficie de précipitations nettement plus abondantes en saison des pluies (source : Météo-France La Réunion).

Le secteur de Sainte-Rose est de loin le plus arrosé (Figure 3.23). Les précipitations y sont abondantes et il y pleut parfois autant en hiver qu'en été. Dans la région nord-est, de Sainte-Marie à Saint-Benoît, et la région sud, au niveau de Saint-Joseph, les précipitations annuelles sont moindres, mais la sécheresse hivernale reste peu prononcée. Les variations sont particulièrement plus importantes sur les régions centrales comprenant les Hauts du nord et le cirque de Salazie, mais surtout La Plaine des Palmistes et le volcan où le mois de février est jusqu'à dix fois plus arrosé que le mois d'octobre (source : Météo-France La Réunion).

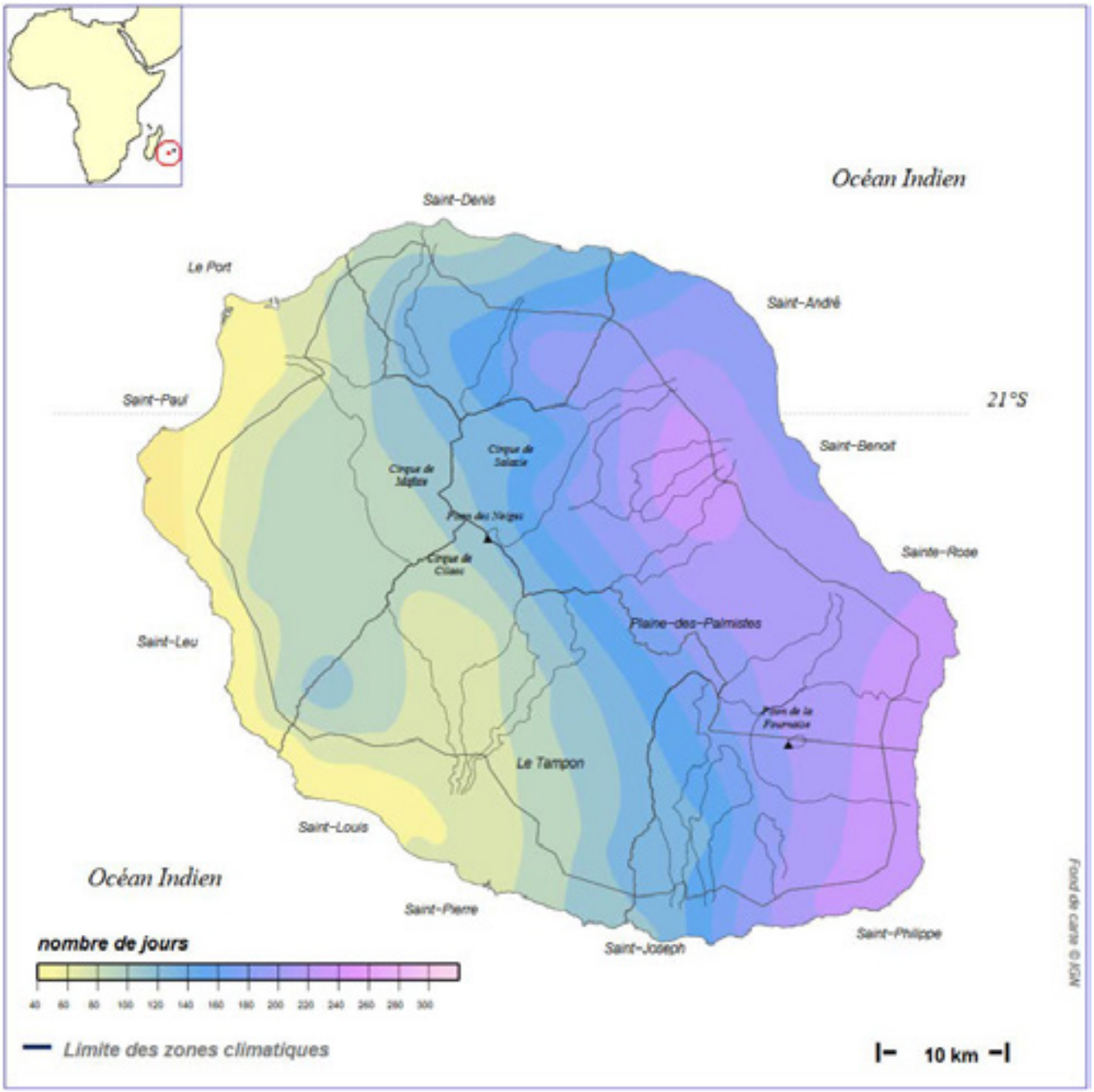


Figure 3.22 : Moyenne annuelle du nombre de jours avec pluie (≥ 1 mm) à La Réunion sur la période 1981-2010 (© Météo-France, 23/02/2016)

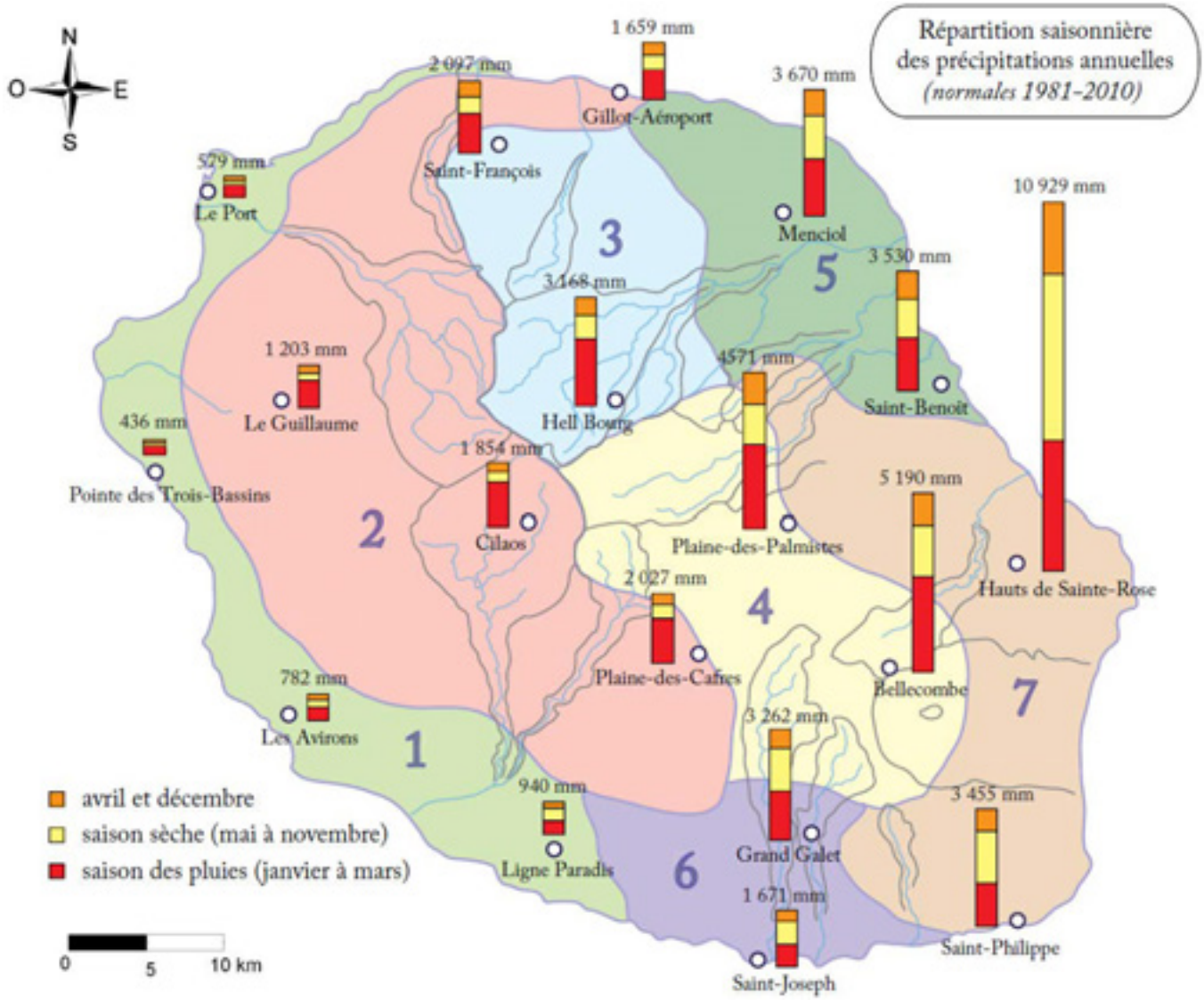


Figure 3.23 : Répartition saisonnière des précipitations annuelles sur l'île de La Réunion d'après les normales de 1981-2010 (Jumaux et al., 2012)

3.1.2 Climatologie océanique

Autour de La Réunion, cinq masses d'eau se distinguent entre la surface et le fond (4 000 m) en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques qui se rapportent soit à leur lieu d'origine soit à leur mode de formation (Piton, Taquet, 1992) :

- l'eau superficielle du courant sud-équatorial : de 40 à 100 m d'épaisseur selon les saisons, de température évoluant entre 23 °C en hiver et 28 °C en été et de salinité variant entre 34,90 et 35,30 ‰, sans cycle annuel décelable ;
- l'eau superficielle tropicale méridionale : entre 40-100 m et 380 m de profondeur, située dans la thermocline et caractérisée par des valeurs maximales de salinité jusqu'à 35,60 ‰ vers 250 m, dont l'origine est située entre 30° et 35°S (convergence tropicale, zone où l'évaporation est supérieure aux précipitations) ;
- l'eau centrale indienne : de 380 à 720 m de profondeur, eau de mélange entre l'eau superficielle tropicale méridionale et l'eau antarctique intermédiaire ;
- l'eau antarctique intermédiaire : entre 720 et 1 900 m de profondeur, caractérisée par un minimum de salinité (34,55 ‰ à 950 m de profondeur) et dont l'origine est la convergence antarctique vers 45°S ;
- l'eau profonde nord-atlantique : entre 1 900 et 4 000 m de profondeur, caractérisée par un léger maximum de salinité (34,75 ‰ à 3 300 m de profondeur).

3.1.2.a Température de l'eau

L'évolution annuelle de la température de surface autour de La Réunion, à partir des températures mensuelles moyennes trouvées dans l'atlas de Hastenrath et Lamb (1979), peut servir de référence aux mesures effectuées ponctuellement dans le proche voisinage de l'île (hors lagon) : les températures moyennes les plus élevées (27,4 °C) sont rencontrées entre février et mars, les plus faibles (22,6 °C) entre août et septembre : la différence moyenne annuelle est d'environ 5 °C entre l'été et l'hiver, une caractéristique typique des eaux tropicales qui ne subissent pas de refroidissements saisonniers par upwelling (Piton, Taquet, 1992 ; Cuvilier, 2016).

La température la plus élevée observée en baie de La Possession et de Saint-Paul a été de 29,2 °C le 24/02/1987 par Bertrand *et al.* (1987) et la plus faible (22,4 °C) en août 1982 par Gamberoni *et al.* (1984) tout près de la côte orientale de La Réunion.

L'évolution de la température de surface près de La Réunion (hors lagon) oscille entre 27,9 °C au minimum et 23,5 °C au maximum (**Tableau 3.8**), de part et d'autre d'une moyenne annuelle de 25,8 °C délimitant une saison chaude de mi-novembre à mi-mai et une saison froide de mi-mai à mi-novembre (Piton, Taquet, 1992), en phase avec les saisons délimitées par la température moyenne de l'air (voir **3.1.1.a** Climatologie atmosphérique générale).

La structure hydrologique verticale des eaux océaniques entourant La Réunion révèle quant à elle des températures relativement homogènes (isotherme à 22,8 °C) sur 100 m de profondeur en période hivernale (Gamberoni *et al.*, 1984). La période estivale est représentée par une couche plus étroite (50 m) et une moyenne de température plus élevée (26,8 °C) (**Figure 3.24**). Les températures océaniques de surface sont maximales à la fin de l'été austral entre février et mars, minimales à la fin de l'hiver austral entre août et septembre (Donguy, Meyers, 1996).

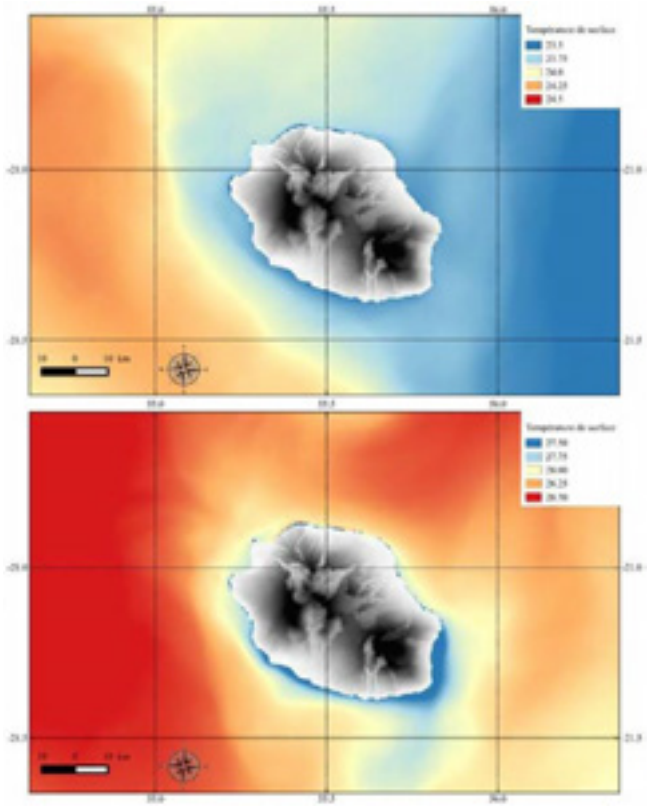


Figure 3.24 : Évolution des températures de surface (modélisées en 2006) entre l'hiver (en haut) et l'été austral (en bas) autour de La Réunion (d'après les données HYDRORUN dans Cuvilier, 2016)

De par sa situation géographique (éloignée des masses continentales), La Réunion présente des caractéristiques climatiques sensiblement modifiées par l'effet régulateur des masses d'eau océaniques (Montaggioni, Faure, 1980). Durant l'été austral, le réchauffement des masses d'eau océaniques, associé à de basses pressions atmosphériques, peut rendre le sud-ouest de l'océan Indien instable (cyclones et dépressions tropicales). Il est à noter que les eaux du complexe récifal montrent des variations diurnes d'environ 2 °C et saisonnières plus importantes de 8 à 9 °C. Ceci est la conséquence de la faible profondeur du récif généralement inférieure à 1,5 m (Cuvilier, 2016).

3.1.2.b Salinité de l'eau

D'après l'atlas de Wyrtki (1971), la salinité moyenne sur le pourtour de La Réunion (hors lagon) est inférieure à 35,10 ‰ de janvier à juin, et supérieure à 35,10 ‰ de juillet à décembre.

La salinité des eaux du complexe récifal est également variable avec une moyenne de 34,7 ‰. La diminution et les variations de la salinité sont ici imputables à la décharge des nappes phréatiques ou au ruissellement pluvial (Cuvilier, 2016).

Les travaux menés par Cuet (1989, 2001, 2002, 2005) ont permis de caractériser le comportement hydrochimique des eaux marines le long de la côte occidentale réunionnaise (à l'intérieur et à l'extérieur du récif). Tout d'abord, lors de sa thèse, Cuet (1989) a travaillé sur l'influence des résurgences d'eaux douces sur les caractéristiques physico-chimiques du système récifal de l'île de La Réunion. Suite à diverses campagnes d'échantillonnages (en avril 1987, à la fin de la saison des pluies), la cartographie des isolignes de salinité et de la teneur en silice dans le récif frangeant de Saint-Gilles à l'Ermitage révèle une distribution spatiale des paramètres chimiques corrélable avec la morphologie du récif (Cuet, 1989).

La salinité (S) suit une évolution morphologique d'est (côte) en ouest (large) (**Figure 3.25**) : au niveau de la plage (P), les valeurs sont les plus basses (34,0 ≤ S ≤ 34,5 ‰), elles augmentent progressivement dans la dépression d'arrière récif (DAR) (34,5 ≤ S ≤ 34,75 ‰), puis au niveau du platier récifal (PR) et de la pente

Tableau 3.8 : Températures moyennes mensuelles près de La Réunion, hors lagon (dans Piton, Taquet, 1992 d'après Wyrtki, 1971 ; Bouchon, 1979 ; Hastenrath, Lamb, 1979 ; Bertrand et al., 1987)

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Température (°C)	27,4	27,9	28	27,5	26,4	25,3	24	23,5	23,5	24,1	25,4	26,5

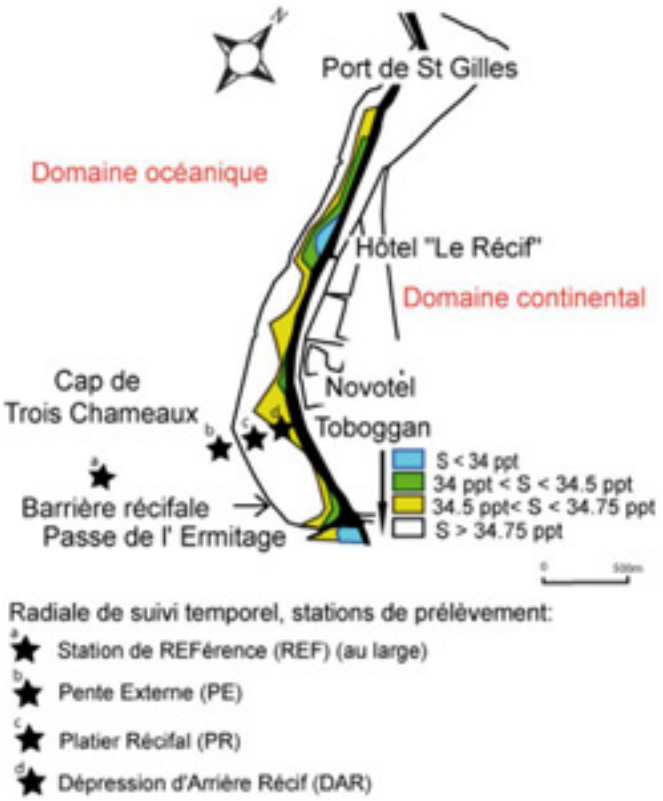


Figure 3.25 : Isolignes de salinité de surface dans le récif frangeant de Saint-Gilles à l'Ermitage en avril 1987 (modifié d'après Cuet, 1989)

externe (PE) (S ≥ 34,75 ‰), les eaux océaniques au niveau de la station de référence au large (REF) sont caractérisées par une couche de surface homogène et isohaline (35,2 ‰).

Au niveau du récif de La Saline, un gradient régulier de salinité (Chabanet *et al.*, 1995) est également observé entre la dépression d'arrière-récif (34,68 ± 0,15 ‰) et le platier récifal (35,13 ± 0,11 ‰) (Cuet, 1989). Cela indique l'arrivée d'eaux douces par des résurgences de la nappe. Le contexte hydrogéologique de la zone implique que les percolations des eaux douces sont plus importantes dans la dépression d'arrière-récif de La Saline qu'elles ne le sont dans l'arrière-récif de l'Ermitage (Join, 1991).

Les variations spatiales et saisonnières de la salinité sont en définitive corrélées avec les apports d'eau de nappe dans le récif, la marée, la saison des pluies et la saison sèche (Cuet, 1989 ; Lézé, 2012).

3.2 Facteurs océanographiques

3.2.1 Niveau marin

Le niveau marin est composé du niveau moyen, de la marée astronomique et d'une résultante appelée surcote ou décote qui prend en compte les effets atmosphériques et la combinaison d'autres ondes (vagues, seiches, tsunamis, etc). Ces différentes composantes sont présentées dans la Gestion du Trait de Côte (MEEDDM, 2010) et la fiche technique nationale consacrée au niveau marin.

Les données issues de l'observatoire sont diffusées par le SHOM dans le cadre de REFMAR (Réseaux de référence des observations de marées) au titre de son rôle de référent national d'observation du niveau marin *in situ*, sur le site refmar.shom.fr ; les observations sont accessibles en visualisation et téléchargement sur le site data.shom.fr.

3.2.1.a Source des données

Deux principales sources de données permettent de connaître de manière continue le niveau des eaux marines ou sous influence océanique ainsi que les fluctuations de ce niveau (**Tableau 3.9**). La Réunion est couverte par deux marégraphes du réseau RONIM (Réseau d'Observation du Niveau de la Mer) du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) : le marégraphe de la pointe des Galets depuis le mois d'octobre 2007 (**Figure 3.26**) et le marégraphe de Sainte-Marie depuis le mois d'octobre 2011.

Le marégraphe, situé sur le port principal de la pointe des Galets, est financé et co-géré par le SHOM, la DEAL Réunion et Météo-France. L'observatoire est géré par le SHOM en partenariat avec Météo-France et la DM SOI (Direction de la Mer Sud Océan Indien) dans le cadre du projet CRATANEM.

Le marégraphe utilisé de 1974 à 2007 était opéré dans une cage métallique à l'extrémité de la petite jetée située au nord des silos de la darse nord du port de la pointe des Galets par le service maritime de la DDE. La numérisation des données à cadence horaire a été réalisée par le SHOM.

L'installation d'un nouveau marégraphe dans le port de la pointe des Galets a été effectuée dans le cadre de la contribution française au système d'alerte aux tsunamis dans l'océan Indien initié en 2005, dont l'initiative a été pilotée par Météo-France. Il s'agit de la première installation opérée par le SHOM dans ce cadre. La mise en place du système d'alerte aux tsunamis dans l'océan Indien est effectuée sous l'égide de la

Tableau 3.9 : Observations pérennes du niveau marin disponibles sur l'île de La Réunion

Port d'implantation	Producteur et/ou gestionnaire	Réseau	Date de mise en service
Pointe des Galets	SHOM / DEAL Réunion / Météo-France	RONIM	27/02/67
Sainte-Marie	SHOM / CCI La Réunion / CINOR		22/05/13

Figure 3.26 : Marégraphe de la pointe des Galets (© SHOM – REFMAR, source : refmar.shom.fr)

Commission Océanographique Intergouvernementale (COI) de l'UNESCO et fait suite à l'événement du 26/12/2004. Outre son intérêt pour l'alerte tsunami et de nombreuses autres applications (dont la prédiction de marée), il convient de rappeler que ce site contribue au programme mondial GLOSS sur la surveillance du niveau des mers, qui s'inscrit dans le cadre de la problématique du réchauffement climatique. L'installation du nouvel instrument en 2007 a ainsi permis de continuer l'acquisition des mesures du niveau de la mer à la pointe des Galets, et ainsi de poursuivre la série historique déjà constituée.

Le marégraphe de la pointe des Galets (**Figure 3.26**) est constitué d'un radar Khrone Optiflex et d'une centrale d'acquisition ELTA. Il est équipé d'un système de transmission par Internet et, depuis le 02/04/2010, d'un système de transmission par les satellites Météosat.

Le marégraphe du port de Sainte-Marie, appartenant depuis le mois d'octobre 2011 au réseau RONIM, est géré par le SHOM en partenariat avec Météo-France, la Communauté Intercommunale du Nord de La Réunion (CINOR) et la Chambre de Commerce et d'Industrie de La Réunion (CCIR). La CCIR est notamment chargée du suivi local et de l'entretien de l'observatoire de marée.

Le marégraphe se compose d'un capteur radar Khrone Optiwave et d'une centrale de mesure ELTA. Il est équipé d'un système de transmission par Internet et d'une balise transmettant tous les quarts d'heure, 15 mesures sur le Système Mondial de Télécommunication via les satellites Météosat-9.

L'installation du nouveau marégraphe a été réalisée du 10 au 20/10/2011, toujours dans le cadre de la contribution au système d'alerte aux tsunamis dans l'océan Indien. Le marégraphe de Sainte-Marie vient ainsi densifier le réseau des marégraphes français dans la partie ouest de l'océan Indien avec celui de la pointe des Galets et de Dzaoudzi (Mayotte). À ce titre, le SHOM a également installé pour Madagascar un marégraphe du même type à Toamasina, sur la côte est de l'île.

L'observatoire de Sainte-Marie, au nord-est de l'île de La Réunion est, en particulier, mieux situé que celui de la pointe des Galets pour mesurer et étudier les tsunamis en provenance de l'océan Indien.

3.2.1.b Niveau moyen

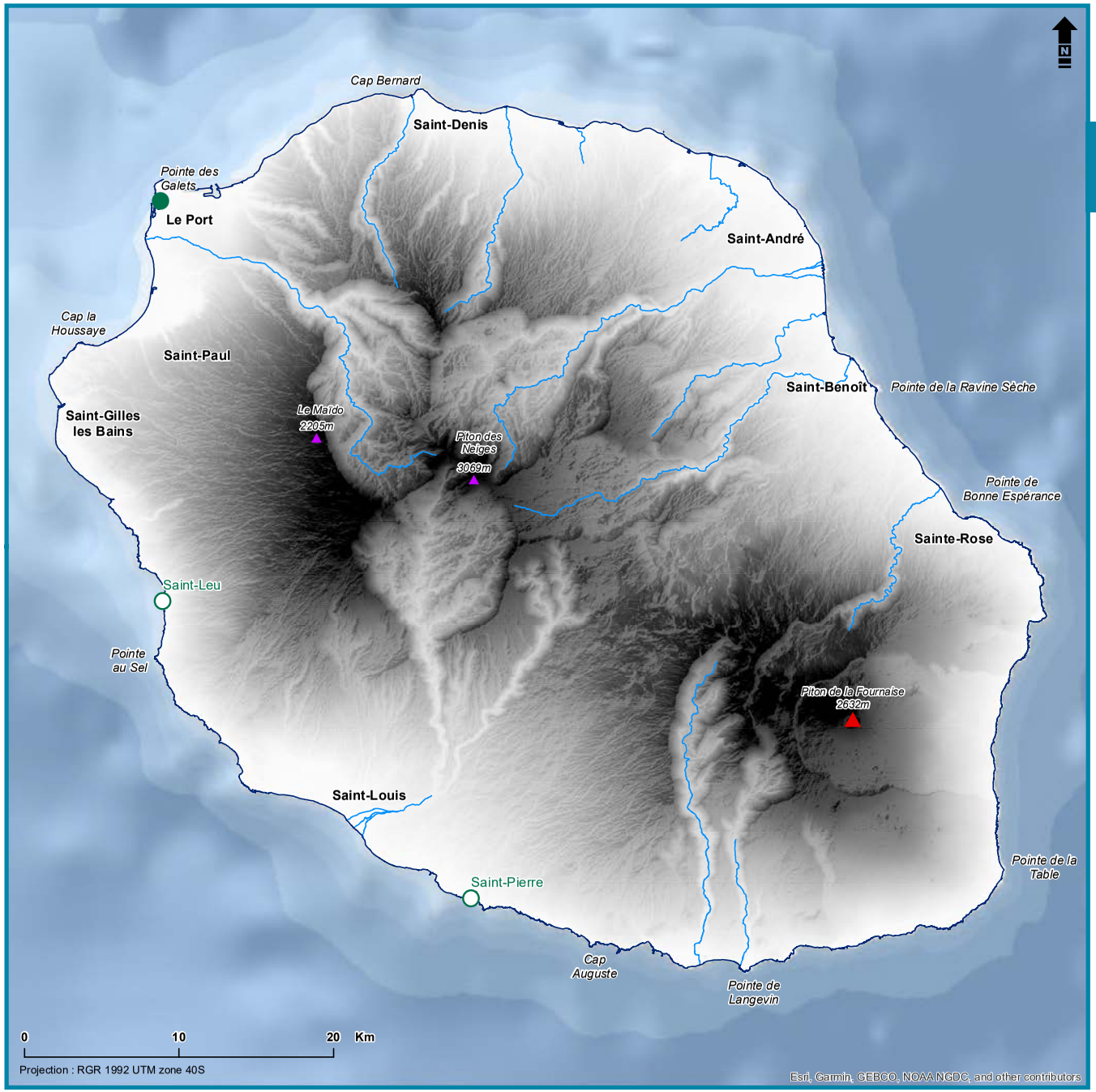
Le « niveau moyen instantané » (ou surcote instantanée) s'obtient en retranchant à la hauteur observée à un instant donné la contribution astronomique de la marée calculée au même instant. La valeur moyenne de cette quantité constitue le niveau moyen. Elle peut se faire sur 24 h (niveau moyen journalier), sur un mois (niveau moyen mensuel) ou sur toute autre période. Le niveau moyen annuel est généralement calculé si 11 mois d'observations sont disponibles.

Le niveau moyen de la mer est connu aux ports ayant fait l'objet d'observations marégraphiques suffisamment longues (**Tableau 3.10**). Ces ports, et les valeurs de niveaux moyens associées, sont décrits dans l'ouvrage « Références Altimétriques Maritimes » (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 2016) édité par le SHOM et disponible sur le site http://diffusion.shom.fr. La carte de la **Figure 3.27** présente les ports (principaux et secondaires) à partir desquels ces données sont établies.

Le suivi à long terme des évolutions du niveau moyen à la côte est assuré en France par SONEL (Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales, site internet : www.sonel.org), regroupant le CNRS, l'IGN, l'Université de La Rochelle et le SHOM. SONEL exploite l'ensemble des niveaux moyens observés par les marégraphes du réseau REFMAR, permettant l'étude de l'évolution à long terme du niveau de la mer. À ce titre, SONEL est amené à corriger, lorsque possible, les observations marégraphiques des mouvements verticaux qui seraient liés par exemple à l'enfoncement d'un quai ou à un marégraphe situé sur un sol en subsidence. Les mouvements verticaux susceptibles d'influer sur la tendance observée sont mesurés par des antennes GNSS (GALILEO, GPS, GLONASS) installés de façon permanente auprès des marégraphes.

Pour le port principal de référence de la pointe des Galets, le niveau moyen s'élève à 0,60 m Cotes Marines, soit 0,05 m dans le référentiel altimétrique IGN89 (**Tableau 3.10** ; Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 2016).

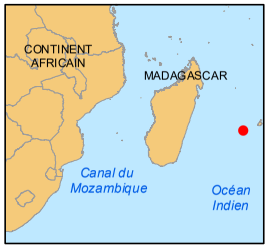
À La Réunion, la hausse du niveau marin depuis la seconde moitié du XX^{e} siècle n'a pas été significativement différente de la moyenne globale (Palanisamy *et al.*, 2015). Selon Church et White (2011), l'analyse des données marégraphiques sur la



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Localisation des ports de référence et secondaires



- Pics
- Volcan
- Trait de côte Histolitt
- Réseau hydrographique permanent
- Port de référence
- Port secondaire

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Ports de référence et secondaires - SHOM et IGN
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Trait de côte - Histolitt® - ©SHOM 2012
Occupation du sol - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 3.27 : Port de référence et points d'observations secondaire sur l'île de La Réunion (source : SHOM, 2016 – http://data.shom.fr)

Tableau 3.10 : Altitude du niveau moyen et du zéro hydrographique en mètre IGN89 au niveau du port de référence de la pointe des Galets, sur l'île de La Réunion (source : SHOM)

Port de référence	Zéro hydrographique (en m IGN89)	Niveau moyen	
		En cote marine (en m CM)	En m (IGN89)
Pointe des Galets	-0,554	0,6	0,05
Saint-Leu	-0,53	0,51	-0,02
Saint-Pierre	-0,554	0,51	-0,04

période 1901-2010 indique un taux moyen d'élévation du niveau de la mer de 1,7 ± 0,2 mm/an. Cette valeur est confirmée par d'autres analyses (Wöppelmann *et al.*, 2009 ; Wenzel, Schröter, 2014). Sur la période altimétrique (1993-2014), le niveau marin s'est élevé en moyenne globale de 3,2 ± 0,4 mm/an (Nerem *et al.*, 2010 ; Cazenave *et al.*, 2014).

D'après l'ONERC (2012), la hausse du niveau marin à La Réunion a été comprise entre 5 et 9 mm/an au cours de la période 1993-2011, suivant globalement les tendances observées au marégraphe du port de la pointe des Galets (Figure 3.28 ; Figure 3.29).

Au-delà de cette connaissance ponctuelle du niveau moyen, le projet BATHYELLI modélise cette information sous forme de surface de référence verticale. Cette modélisation inclut notamment les observations des niveaux d'eau et celles issues de l'altimétrie spatiale, ainsi que des campagnes hydrographiques spécifiques ayant permis la réalisation des surfaces. BATHYELLI met à disposition des surfaces de compensation référencées à l'ellipsoïde de plusieurs niveaux de référence : zéro hydrographique, niveau moyen, plus basses mers astronomiques et plus hautes mers astronomiques (voir 3.2.1.c Marée astronomique).

3.2.1.c Marée astronomique

La marée à La Réunion est de type semi-diurne à inégalité diurne et entraîne sur la façade océanique un marnage très homogène, de l'ordre de 0,45

Figure 3.28 : Exemple d'évolution du niveau moyen de la mer mensuel au marégraphe du port de la pointe des Galets, entre 1995 et 2019 (source : REFMAR et SONEL)

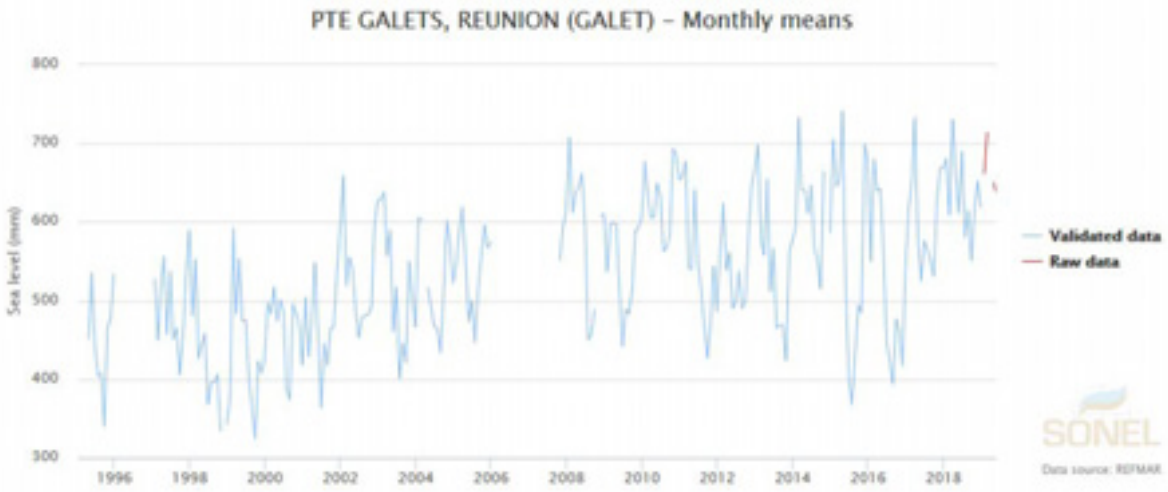
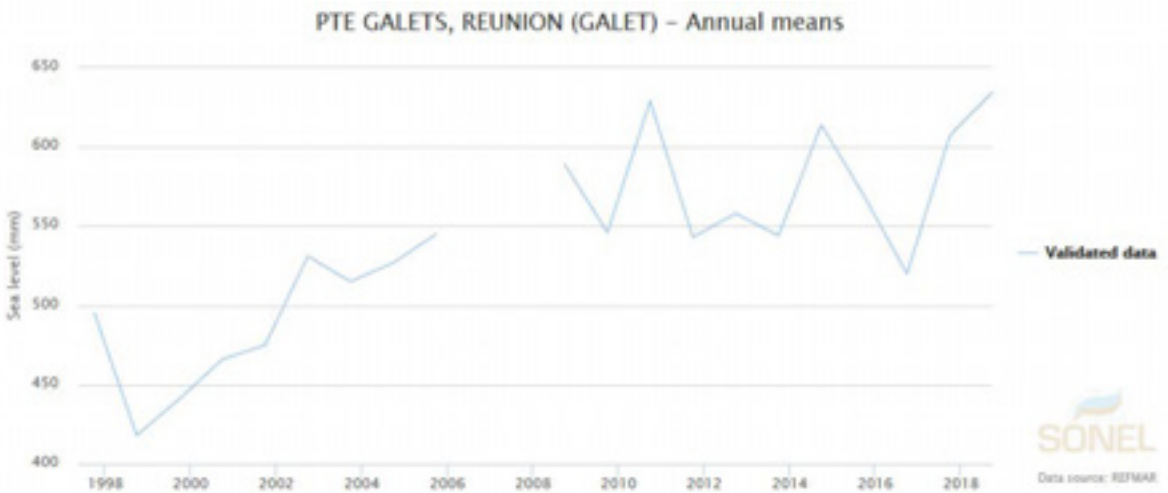


Figure 3.29 : Exemple d'évolution du niveau moyen de la mer annuel au marégraphe du port de la pointe des Galets, entre 1997 et 2018 (source : REFMAR et SONEL)



(Pointe des Galets) à 0,50 m CM (port de Saint-Pierre) entre les Basses Mers (BM) et les Pleines Mers (PM), caractéristique d'un milieu microtidal. Des prédictions de marée sont diffusées par le SHOM pour les ports de la pointe des Galets et de Sainte-Marie.

Aux abords de l'île de La Réunion, le port de référence est la pointe des Galets, situé à l'extrémité de la petite jetée située au nord des silos de la darse septentrionale.

Tableau 3.11 : Niveau de la marée astronomique au niveau du port de référence de la pointe des Galets (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 2016). Les grandeurs employées dans le tableau caractérisent les références altimétriques de la marée. PBMA : niveau des plus basses mers astronomiques (coefficient 120), BM : niveau des plus basses mers (coefficient 95), NM : niveau moyen, PM : niveau des plus hautes mers (coefficient 95), PHMA : niveau des plus hautes mers astronomiques (coefficient 120)

Marée	Cotes Marines (m CM)	Cotes Terrestres (m IGN 89)
PBMA (Zh)	0,08	-0,47
BM	0,35	-0,20
NM	0,60	0,05
PM	0,80	0,25
PHMA	1,01	0,46

À titre indicatif, le Tableau 3.11 donne les informations des niveaux de marée à la pointe des Galets en cote marine (CM) et en cote terrestre relatif au nivellement de référence vertical IGN89. La différence entre le zéro hydrographique (Zh) et le zéro IGN89 est en ce lieu de -0,554 m (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 2016). Les Figure 3.28 et Figure 3.29 illustrent les données continues disponibles grâce au réseau REFMAR.

3.2.1.d Surcote / décote

La notion de « surcote/décote » représente la différence entre le niveau marin observé et le niveau marin qui n'existerait qu'en présence de la seule marée. Lorsque cette différence est positive, on parle de « surcote » ; lorsqu'elle est négative, de « décote ». Une surcote ou une décote a principalement une origine météorologique : chacune se manifeste respectivement lors du passage d'une dépression ou d'un anticyclone. Elle peut toutefois avoir d'autres origines : vagues, seiches, tsunami, etc. Le SHOM met à disposition du public sur le site data.shom.fr les prévisions de surcotes modélisées pour la France métropolitaine, dans le cadre de la vigilance vagues-submersion opérée avec Météo-France.

Il existe deux types de surcote :

- la surcote instantanée, définie comme étant la différence entre le niveau d'eau observé sans l'action des vagues (mesures marégraphiques dans un puits de tranquillisation) et le niveau d'eau prédit (la marée) à un instant donné,
- la surcote de pleine mer, correspondant à la différence entre le niveau d'eau maximum observé et le niveau de pleine mer prédit (avec des instants d'occurrence parfois décalées dans le temps). Ce type de surcote est utilisé pour l'évaluation des surcotes et niveaux extrêmes (exemples Figure 3.30 et Figure 3.33).

Les surcotes peuvent ainsi être calculées à partir d'observations hautes fréquences ou horaires (filtrage des hautes fréquences) et de données brutes ou validées. Une méthode différente de prise en compte de l'eustatisme ou réactualisation des harmoniques de marée peut conduire à des petites différences sur l'estimation des surcotes. Par ailleurs, du fait d'une possible dépendance entre marée et surcote, les plus fortes valeurs de surcotes instantanées peuvent se produire préférentiellement à la basse mer.

Une surcote est conjointement provoquée par la baisse de pression au centre du cyclone (effet de succion) et par les vents d'afflux à la périphérie de l'œil qui dirigent les masses d'eau vers la côte. Cette onde de tempête qui se déplace avec l'œil du cyclone s'ajoute à la marée astronomique pour constituer la marée de tempête. La surélévation peut atteindre 0,5 à 1,0 m en pleine mer, mais peut être très largement amplifiée selon la bathymétrie des fonds marins en bordure de côte. La marée de tempête est le phénomène à l'origine de la plus grosse mortalité associée aux cyclones dans le monde (Jumaux *et al.*, 2012).

L'élévation du niveau moyen de la mer liée au passage d'un cyclone se combine aux énormes vagues de la houle cyclonique pour saper le littoral ou inonder les plaines et les régions basses côtières. La configuration bathymétrique joue alors un rôle déterminant : des fonds marins peu profonds favorisent une amplification du phénomène de marée de tempête, ainsi que la propagation des vagues sur le rivage suite à leur déferlement ; un profil marin associé à des profondeurs rapidement importantes (cas de la topographie de La Réunion) limite les conséquences de ce phénomène (source : Météo-France La Réunion).

Six évènements marquants en termes de surcote de pleine mer ont été sélectionnés par Lorion (2006) et caractérisés par des valeurs calculées au marégraphe de référence du SHOM à la pointe des Galets. Ces valeurs sont portées dans le Tableau 3.12. Les séries temporelles étant caractérisées par la présence de périodes d'interruption des mesures, il ne s'agit donc pas d'une liste exhaustive des dix évènements les plus marquants sur l'île.

Tableau 3.12 : Hauteurs des surcotes mesurées au marégraphe de la pointe des Galets lors du passage de systèmes tropicaux (source : maree.shom.fr ; SHOM – REFMAR, Météo-France La Réunion dans Lorion, 2006)

Évènement	Pointe des Galets (Le Port)	
	Marée haute (m CM)	Surcote PM (m)
Hyacinthe (27/01/1980) (voir Figure 3.30)	0,81	0,36
Clotilda (13-14/02/1987)	0,90	0,35
Firinga (29/01/1989)	0,77	0,30
Colina (19/01/1993)	0,83	0,49
Hollanda (11/02/1994)	0,92	0,40
Bejisa (02/01/2014) (voir Figure 3.33)	0,97	0,61

Cependant bien que la marée astronomique n'a que peu d'amplitude autour de l'île de la Réunion, le gonflement à la surface de l'océan et la houle peuvent conjointement faire se soulever la mer de 10 m au-dessus de son niveau habituel. En effet, la hauteur de la houle dépend directement de la vitesse des vents cycloniques et de la trajectoire du système par rapport à l'île (Lorion, 2006).

Les hauteurs d'eau observées dans les ports peuvent également être amplifiées lors d'épisodes de seiche qui génèrent des oscillations stationnaires par résonance dans les ports. Elles se manifestent par des oscillations haute-fréquence de la hauteur d'eau, dont l'amplitude et la période varient selon la configuration du bassin.

Lors d'une progression marégraphique avec un fort coefficient, conjuguée à un flux de sud-ouest (lié à une forte dépression située vers le sud de Madagascar), la région occidentale décrit un sur-remplissage des bassins, et notamment du Port-Ouest. Cela provoque des oscillations importantes, allant jusqu'à empêcher tout maintien à quai des navires qui rentrent eux-mêmes en mouvement (Jumaux *et al.*, 2012).

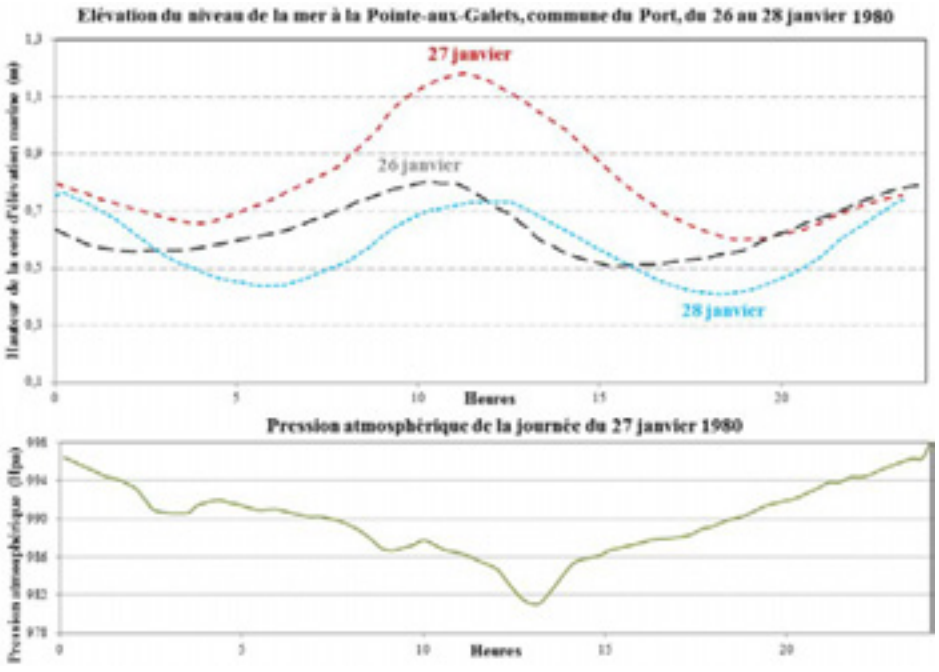
Tempête tropicale Hyacinthe (27/01/1980)

Lors de l'épisode Hyacinthe, quelques mesures effectuées au marégraphe de la pointe des Galets font état d'une légère surélévation du niveau moyen (Piton, Taquet, 1992). Le rehaussement du niveau moyen marin a pu avoir des impacts négatifs sur l'intensité des inondations : d'une part en limitant l'écoulement des eaux à l'embouchure du cours d'eau et d'autre part en générant des submersions ponctuelles qui accentuent l'érosion du littoral et provoquent des dégâts aux infrastructures adjacentes (Boudou, 2015).

La surcote du niveau marin, liée aux effets de la tempête tropicale, n'apparaît pas significative lors de Hyacinthe. Seule une anomalie est relevée pour la journée du 27/01, date à laquelle un creux barométrique engendré par la proximité du système est mesuré (Figure 3.30). Les variations journalières s'illustrent ici clairement et mettent en avant les différences de cotes marines du 26-28/01.

La hauteur de surcote relevée est évaluée entre 24 cm (Piton, Taquet, 1992) et 36 cm (Lorion, 2006). Cette

Figure 3.30 : Élévation du niveau marin et baisse de la pression atmosphérique relevées lors de la tempête Hyacinthe (© M. Boudou, 2014 d'après les données de Piton, Taquet, 1992)



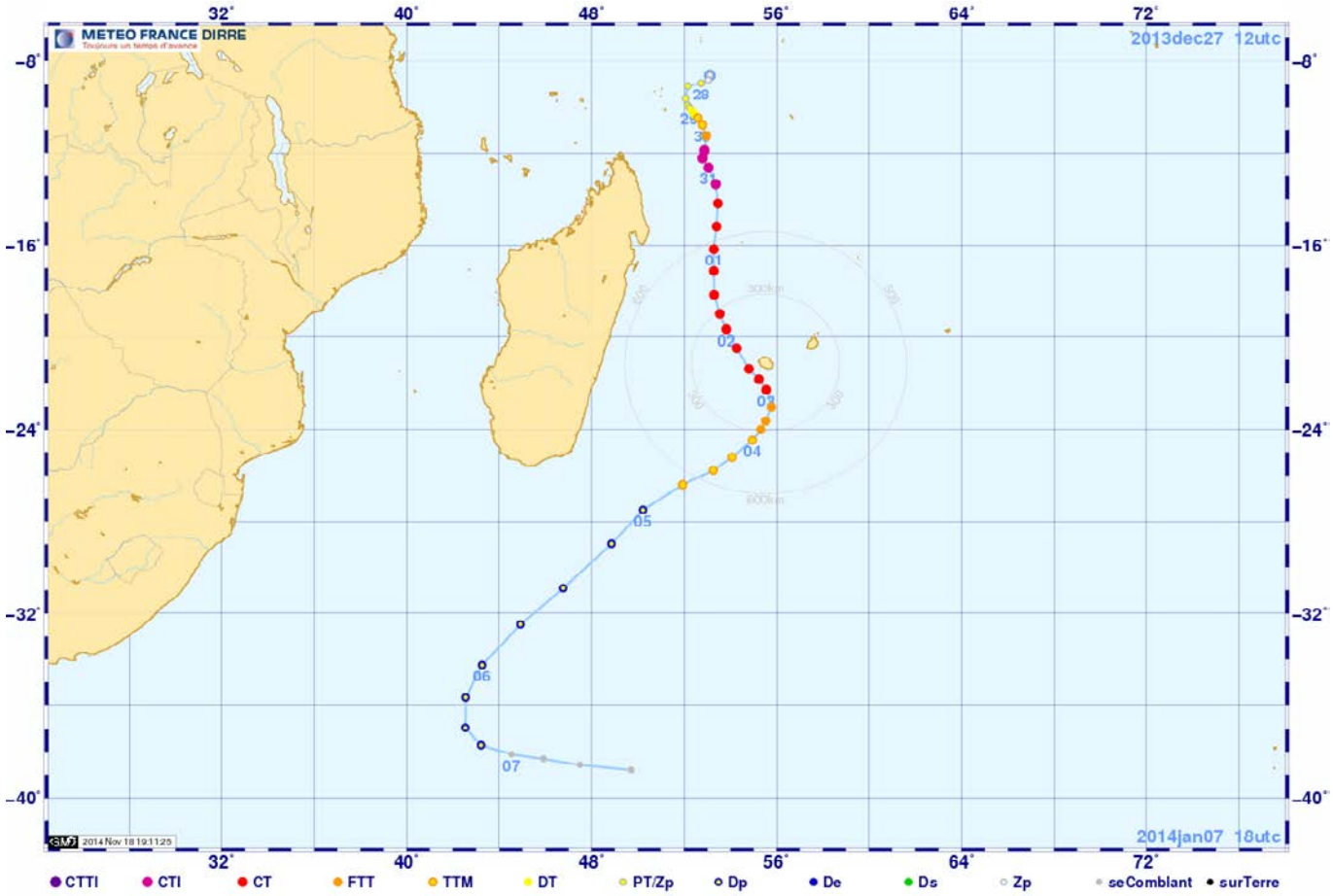


Figure 3.31 : Trajectoire du système Bejisa entre le 27/12/2013 et le 07/01/2014, classé cyclone tropical entre le 31/12/2013 et le 03/01/2014, lors de son passage à proximité de La Réunion le 02/01/2014 (source : Météo-France La Réunion ; Annexe 8.6)

valeur apparaît relativement faible et rejoint la tendance des valeurs mesurées lors des tempêtes et cyclones successifs jusqu'en 2006, soit une surcote maximale inférieure à 50 cm. Hyacinthe ne se démarque donc pas des autres phénomènes (Lorion, 2006). Les valeurs demeurent par exemple en deçà des mesures faites lors de Colina en 1993 (49 cm). Malgré ce constat, quelques dégâts sont néanmoins répertoriés à la pointe des Galets en raison du démaigrissement de quelques plages et de dommages matériels aux infrastructures portuaires (DEAL Réunion, 2010).

Cyclone Bejisa (02/01/2014)

Le passage du cyclone Bejisa sur l'île de La Réunion (Figure 3.31 ; Annexe 8.6) a provoqué une surélévation importante du niveau de la mer (Figure 3.32). Les deux marégraphes RONIM installés à la pointe des Galets et à Sainte-Marie de La Réunion ont mesuré en temps réel le niveau de la mer : la hauteur d'eau maximale atteinte à la pointe des galets a été mesurée à 1,58 m et 1,70 m à Sainte-Marie au-dessus du zéro hydrographique. Cette différence de hauteur s'explique par le fait que la hauteur maximale a été atteinte lors de la pleine mer à Sainte-Marie. Enfin, les surcotes maximales mesurées par les deux marégraphes sont identiques et de l'ordre de 0,70 m (source : SHOM, REFMAR).

Figure 3.32 : Vagues de submersion associées au passage du cyclone Bejisa (© AFP, 2014)

Observations marégraphiques à la pointe des Galets

Jusqu'à 9h00 UTC le 02/01, les données de hauteurs d'eau se confondent avec les prédictions de marée. À partir de cette heure et jusqu'à 22h30, un écart entre les observations et les prédictions apparaît : il s'agit d'une surcote atteignant jusqu'à 0,71 m à mi-montant. Lors de la pleine mer prédite (10h02 UTC), la surcote maximale atteinte est d'environ 0,61 m. La hauteur d'eau maximale a ainsi atteint les 1,58 m par rapport au zéro hydrographique (Figure 3.33). À titre de comparaison, le niveau des plus hautes mers astronomiques pour ce site est de 1,01 m par rapport au zéro hydrographique pour

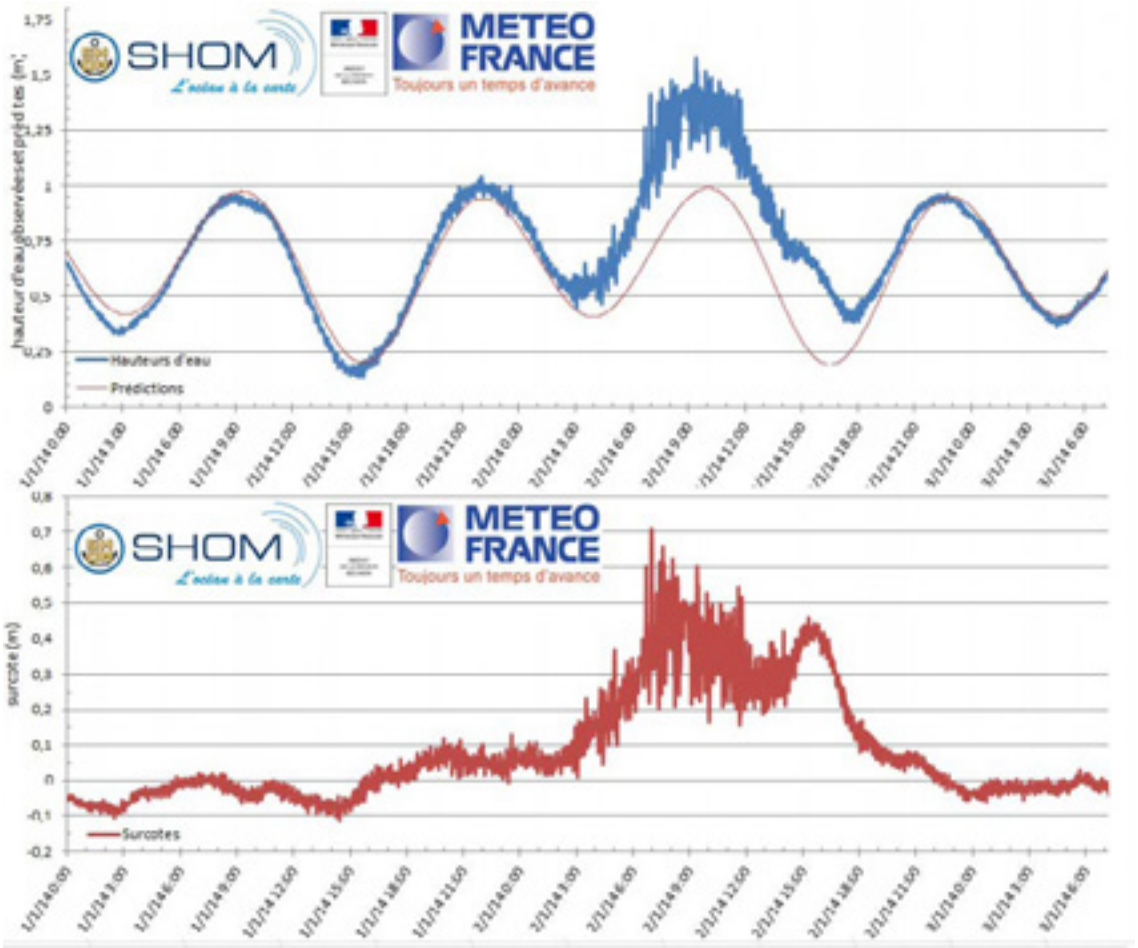


Figure 3.33 : Observations et prédictions du niveau de la mer au marégraphe de la pointe des Galets (graphique du haut) et calcul des surcotes (graphique du bas) du 01-03/01/2014 lors du cyclone Bejisa (source : SHOM, REFMAR)

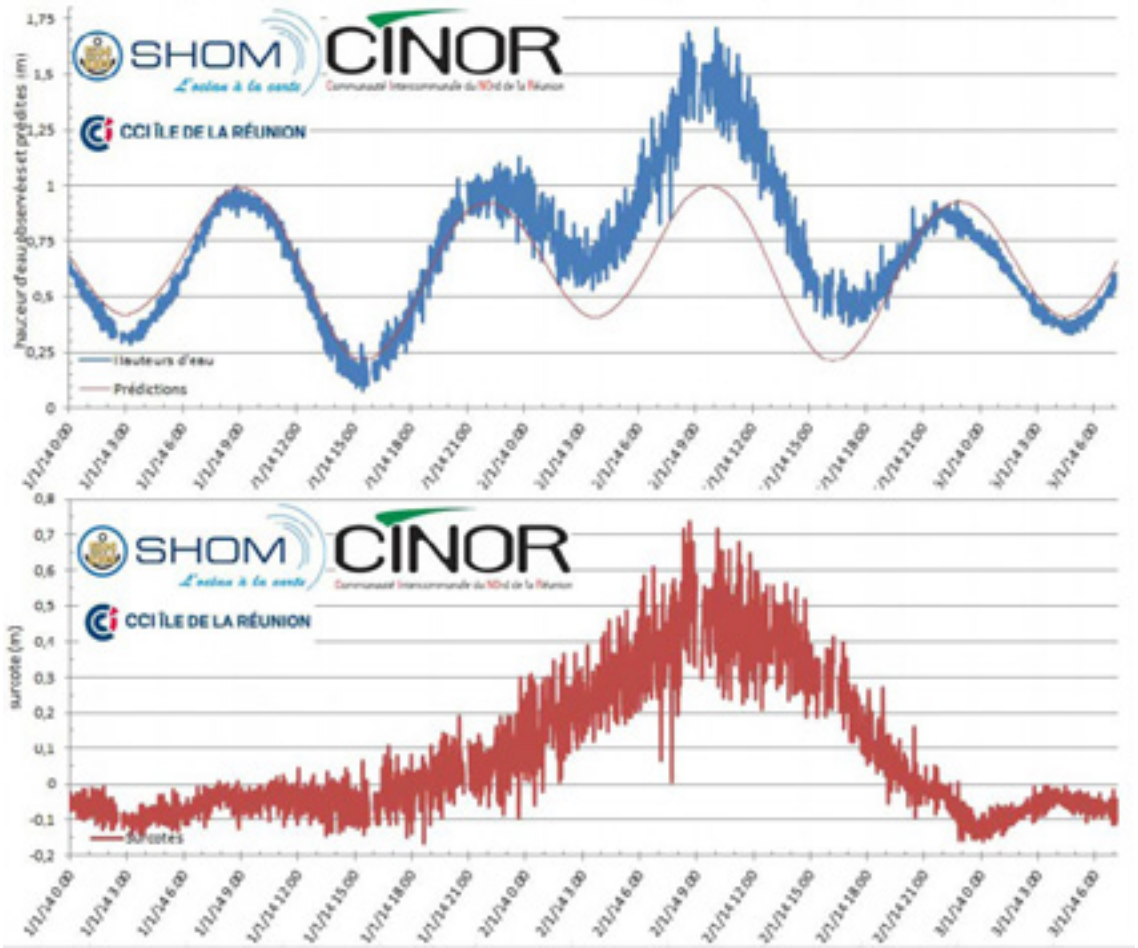


Figure 3.34 : Observations et prédictions du niveau de la mer au marégraphe de Sainte-Marie (graphique du haut) et calcul des surcotes (graphique du bas) du 01-03/01/2014 lors du cyclone Bejisa (source : SHOM, REFMAR)

Tableau 3.13 : Principaux évènements de tempête relevés sur les périodes d'observation aux ports de la pointe des galets et de Sainte-Marie : niveaux horaires validés en mètres Côtes Marines (REFMAR)

Date	Événement	Pointe-des-Galets 27/02/1967 au 17/01/2017	Sainte-Marie 19/10/2011 au 19/01/2017
27/01/1980 06:00:00	HYACINTHE	1,18 m	
02/08/2012 20:00:00		1,17 m	
03/01/2013 12:00:00	DUMILE	1,08 m	
31/01/2013 11:00:00	FELLENG		1,18 m
02/01/2014 07:00:00	BEJISA	1,38 m	1,56 m
01/03/2014 10:00:00		1,09 m	
22/01/2015 10:00:00	BANSI		1,15 m
18/04/2015 22:00:00		1,08 m	1,13 m
25-27/11/2015	ANNABELLE	1,10 m	1,16 m
10/02/2016 10:00:00	DAYA	1,12 m	

la pointe des Galets (voir 3.2.1.c Marée astronomique ; Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 2016).

Observations marégraphiques à Sainte-Marie

Contrairement au marégraphe de la pointe des Galets, la surcote maximale atteinte à Sainte-Marie, autour de 0,75 m, est concomitante avec la pleine mer (vers 9h40 UTC le 02/01). La hauteur d'eau maximale a ainsi atteint environ 1,70 m par rapport au zéro hydrographique de Sainte-Marie (Figure 3.34).

Les marégraphes RONIM ne sont pas les seuls à avoir observé le niveau de la mer lors du passage du cyclone Bejisa (voir Annexe 8.6). D'autres appareils sont installés à Saint-Gilles, Sainte-Rose et à Saint-Pierre pour les besoins de l'Office de l'Eau de La Réunion et la commune de Saint-Pierre de La Réunion.

3.2.1.e Plus hauts niveaux marins observés et niveaux extrêmes

Dix évènements marquants en termes de niveau d'eau ont été sélectionnés à partir des observations aux marégraphes du SHOM (données REFMAR disponibles sous data.shom.fr) (Tableau 3.13). Les séries temporelles étant caractérisées par la présence de périodes d'interruption des mesures, il ne s'agit donc pas d'une liste exhaustive des dix évènements les plus marquants sur la province.

L'île de La Réunion ne dispose que de deux marégraphes avec des données horaires validées par le SHOM, le marégraphe de Sainte-Marie au nord (depuis 2011 totalisant 4,2 ans de mesures) et le marégraphe de la pointe des Galets au nord-ouest (depuis 1967 totalisant 27,2 ans de mesures). Il n'est donc pas possible d'effectuer une analyse spatiale des niveaux d'eau.

3.2.2 États de mer

Des séries temporelles d'états de mer sont disponibles sur la province pour différentes périodes selon les bases de données présentées au Tableau 3.14 (disponibles sur demande auprès des gestionnaires).

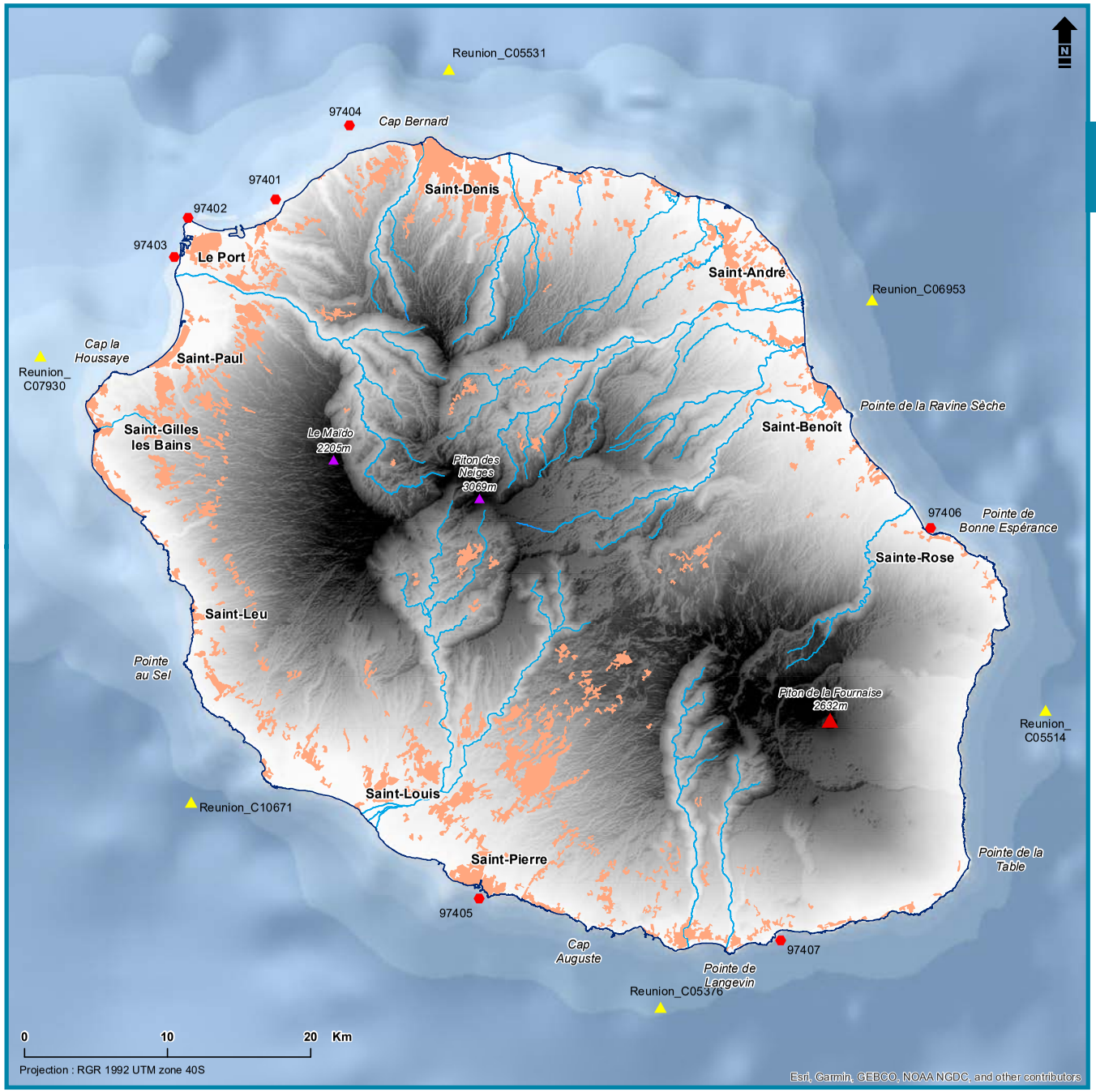
La base de données CANDHIS met à disposition un certain nombre d'analyses statistiques jointes en Annexe 8.4. Pour le présent recueil, la Direction technique « Eau Mer et Fleuves » du Cerema a effectué une analyse similaire pour des points de la base de données ANEMOC-2. Ces analyses portent sur la climatologie moyenne (roses des houles, quantiles1, corrélogrammes2, etc) et les évènements extrêmes (calcul des périodes de retour et/ou sélection des évènements remarquables). La localisation des points de données analysées est présentée en Figure 3.35. Les caractéristiques détaillées dans la suite du paragraphe sur les états de mer sont issues de ces analyses.

Depuis 2017, Météo-France a opérationnalisé un modèle côtier de prévision des vagues3 (résolution de 200 m à la côte) pour le sud-ouest de l'océan Indien : les cartes marines (mer et houle) sont issues du modèle de vague MFWAM, modèle développé par Météo-France, basé sur le modèle européen WAM (ECMWF) avec quelques modifications de la physique de ce modèle pour permettre, entre autres, un meilleur ajustement du spectre des vagues.

3.2.2.a Climatologie moyenne et valeurs extrêmes

L'île de La Réunion est exposée (Troadec, 1991 ; Roy *et al.*, 2009 ; EDF R&D, 2014 ; Figure 3.36) :

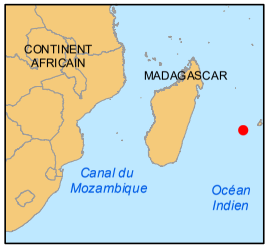
- aux tempêtes et cyclones tropicaux venant principalement du nord-est ;
- aux houles des alizés venant du sud-est ;
- aux houles australes venant du sud-ouest.



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Localisation des points d'observation des états de mer



- Pics
- Volcan
- Trait de côte Histolitt
- Réseau hydrographique permanent
- Bâti

Observation des états de mer

- CANDHIS
- ANEMOC

ANEMOC 2 est une base de données numériques des états de mer issue de la collaboration d'EDF R&D et le Cerema. Cette base est construite à partir de simulations rétrospectives (code TOMAWAC) sur une période de 32 ans (du 1er janvier 1979 au 31 décembre 2010).

CANDHIS est une base de données d'observation in situ des états de mer. Les mesures sont effectuées à partir de bouées (houlographes). Cette base est gérée par le Cerema et regroupe de nombreux partenaires (établissements publics, services de l'État, collectivités territoriales, industriels).

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Ports de référence et secondaires - SHOM et IGN
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Trait de côte - Histolitt® - ©SHOM 2012
Occupation du sol - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 3.35 : Localisation des points d'observation des états de mer sur la province issus des bases de données CANDHIS et ANEMOC-2

Tableau 3.14 : Bases de données nationales disponibles pour les états de mer de l'île de La Réunion

Type de données	Nom de la base	Producteur et/ou gestionnaire	Précisions sur la base	Période disponible	Résolution
Observations	CANDHIS	Cerema et partenaires locaux	Mesures par houlographe	À partir de 1997	7 campagnes de mesures ponctuelles
	GLOBWAVE	SATOC, NOC, CLS, Ifremer, Logica, CNES et ESA	Mesures par satellite	Depuis 1992	Tous les 5 à 7 km le long des traces Inexploitable <15 km des côtes
Simulations numériques rétrospectives	HydroRun	Ifremer, Union Européenne, Conseil Régional de la Réunion, Office de l'Eau de La Réunion, DEAL de La Réunion	Modèle WAVEWATCH III™	De 2000 à 2009	Maillage irrégulier, minimum de 100 m à la côte.
	ANEMOC-2	EDF R&D et Cerema	Modèle TOMAWAC	De 1979 à 2009	Maillage irrégulier, minimum de 200 à 300 m à la côte.
Prévisions	AVAG	Météo-France	Modèle MFWAM	Depuis 2010	10 km

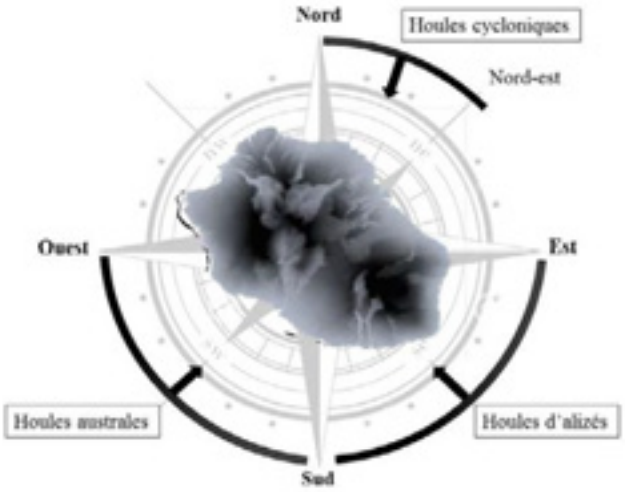


Figure 3.36 : Régimes de houle sur l'île de La Réunion (d'après Troadec, 1991 dans Cuvilier, 2016)

Les houles cycloniques, générées par les tempêtes et les cyclones tropicaux, sont de grandes houles. Particulièrement violentes (hauteur de 4 m en moyenne avec une période de 13 secondes), elles sont néanmoins plus rares et leur durée dépasse rarement les 48 h. La surcote associée au cyclone est un phénomène qui peut amplifier les dégâts occasionnés (Troadec, 1991).

Les houles d'alizés, petites à modérées, sont les plus fréquentes et persistent sur l'ensemble de l'année. Les périodes enregistrées sont courtes et oscillent entre 9 et 10 secondes, avec des hauteurs maximales de 3,5 m. Leur régime suit les variations saisonnières des alizés avec une énergie relativement faible entre novembre et avril (0,5 m) et un renforcement entre mai et octobre avec des houles atteignant parfois 3,5 m de hauteur (Troadec, 1991).

Les houles australes se caractérisent par une forte énergie et peuvent se manifester toute l'année. Elles sont issues des tempêtes et dépressions australes formées à 3000 km de l'île, dans le sud-ouest de l'océan Indien, entre la pointe de l'Afrique et l'archipel du Prince Edward (au niveau des moyennes latitudes entre 40° et 50°S). Les houles australes se propagent vers le nord-est sur de longues distances et atteignent en moyenne 3 m de hauteur avec des valeurs maximales de 8 à 10 m et de très grandes longueurs d'onde (période de 12 à 20 secondes). Ces houles peuvent également être très destructrices pour le littoral réunionnais, avec des dégâts comparables aux houles cycloniques (Troadec, 1991 ; Jumaux *et al.*, 2012).

Les houles ont un impact considérable sur les côtes et induisent une érosion plus ou moins sévère du littoral. Elles peuvent occasionner des submersions dans les espaces côtiers aménagés et habités.

Les façades nord et est ainsi qu'une partie des façades ouest (au nord de la pointe des Aigrettes) et sud (au nord de la pointe de la Table) sont sous influence des houles cycloniques (**Figure 3.37**). Le reste des façades occidentales et méridionales sont en revanche plus impactées à la côte par les houles australes (BRGM – Pedreros *et al.*, 2009).

Les bases de données ANEMOC-2 (**Figure 3.38**) et HydroRun (**Figure 3.39**) montrent qu'en termes de climatologie moyenne, La Réunion est principalement influencée :

- au nord et au nord-est de l'île, par les états de mer en provenance de l'est ;
- au sud-est de l'île, par les états de mer en provenance de l'est-sud-est ;
- au sud de l'île, par les états de mer en provenance du sud ;
- au sud-ouest de l'île, par les états de mer en provenance du sud-sud-ouest ;

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Roses des houles issues de simulations numériques ANEMOC

Pics
Volcan
Trait de côte Histolitt
Réseau hydrographique permanent

Hm0 (m)
]12,00 , 14,00]
]10,00 , 12,00]
]8,00 , 10,00]
]6,00 , 8,00]
]4,00 , 6,00]
]2,00 , 4,00]
]0,25 , 2,00]
[0,00 , 0,25]
X%
40%

Les roses des houles représentent le pourcentage d'horodates associé à une hauteur significative H_{m0} donnée, pour une direction moyenne de provenance des vagues donnée.

Le pourcentage associé à une classe donnée de H_{m0} est fourni par la hauteur du rectangle. Le type de la classe est fourni par la couleur et la largeur du rectangle. Les directions de provenance associées à une H_{m0} inférieure ou égale à 0,25 m sont jugées peu représentatives et ne sont donc pas représentées. Le pourcentage d'horodates concerné est indiqué au centre de la rose.

Les données utilisées sont issues de la simulation rétrospective des états de mer du 1er janvier 1979 au 31 décembre 2010 (produit ANEMOC-2 par EDF R&D et le Cerema). Ces résultats sont issus de la modélisation numérique et de ce fait doivent être considérés avec prudence.

➤ Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Sources - Copyrights :
Topographie : BDAlti - IGN
Trait de côtes et oronymes : BD Topo - IGN
Réseau hydrographique : BD Carthage - IGN
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 3.38 : Localisation et représentation des houles issues de l'analyse des données de simulation numérique ANEMOC-2

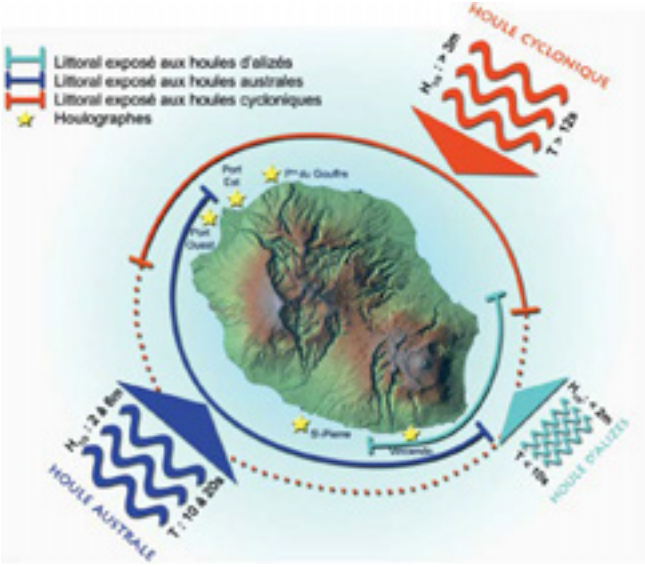


Figure 3.37 : Rivages les plus exposés de La Réunion selon le type de houle (dans Jumaux et al., 2012)

- au nord-ouest de l'île, par les états de mer en provenance du sud-ouest.

Le cône de dispersion des directions de provenance est plus étroit au nord et au nord-est de l'île, que sur le reste la façade maritime.

À noter une exposition quelque peu différente aux valeurs extrêmes du fait de l'activité cyclonique (dont les évènements sont peu nombreux et influençant peu la climatologie moyenne).

En climatologie moyenne (hors extrêmes), les hauteurs significatives des vagues issues des simulations numériques ANEMOC-2 (Annexe 8.3) et HydroRun (Figure 3.39) sont les plus faibles au nord de l'île et les plus importantes au sud et au sud-est de l'île. Selon ANEMOC-2, à une dizaine de kilomètres des côtes, l'ordre de grandeur de la variation de hauteurs significatives autour de l'île est de :

- 1,4 à 2,4 m pour le quantile 50 % ;
- 2 à 3,5 m pour le quantile 90 % ;
- 2,8 à 4,7 m pour le quantile 99 %.

Le nombre de campagnes de mesures de la base de données CANDHIS est limité et ne permet pas de couvrir l'ensemble du littoral (Figure 3.42). Toutefois la répartition spatiale des hauteurs significatives confirme pour la climatologie moyenne la présence de hauteurs de vague plus importantes au sud et au sud-est de l'île (jusqu'à 4,06 m au point 97407_Vincendo) qu'au nord de l'île (à partir de 1,97 m au point 97401_Baie de la Possession).

Par contre, en termes de valeurs extrêmes, les plus fortes hauteurs significatives sont observées au nord de l'île (jusqu'à 7,02 m au point 97404_Pointe du Gouffre). Le comportement des valeurs extrêmes est détaillé ci-après avec l'analyse des données ANEMOC-2.

Les périodes de retour des valeurs extrêmes de hauteur significative ont été estimées pour des points de la base de données ANEMOC-2 (Annexe 8.3). L'île de La Réunion étant aléatoirement exposée aux cyclones, la durée de simulation de 32 ans d'ANEMOC-2 est donc trop faible pour être parfaitement représentative de toutes les situations pouvant se présenter. Les résultats présentés ci-après et les analyses fournies en Annexe 8.3 sont donc à considérer avec prudence.

Les valeurs décennales et centennales sont présentées dans le Tableau 3.15 Les estimations sont basées sur l'ajustement statistique par la méthode POT (*Peak Over Threshold*) d'une loi de Pareto (*Generalized Pareto Distribution*, GPD). Les résultats associés à l'ajustement d'une loi exponentielle sont fournis en Annexe 8.3.

L'analyse a été effectuée pour deux secteurs de provenance différents : le secteur de provenance 260° à 180° (ouest→nord→est→sud) et le secteur de provenance 180° à 260° (sud→sud-ouest→ouest). Par convention, les directions sont repérées dans le sens des aiguilles d'une montre.

Les plus fortes estimations de hauteur de vague sont observées pour le secteur 260° à 180°. L'ensemble du littoral est concerné mais la façade nord à sud-ouest est logiquement la plus exposée (jusqu'à près de 12 m pour la hauteur centennale). Ces valeurs extrêmes seraient associées à l'activité cyclonique (Annexe 8.3).

Tableau 3.15 : Estimation des hauteurs significatives décennales (Hs T10 ans) et centennales (Hs T100 ans) par ajustement statistique d'une loi de Pareto (GPD)

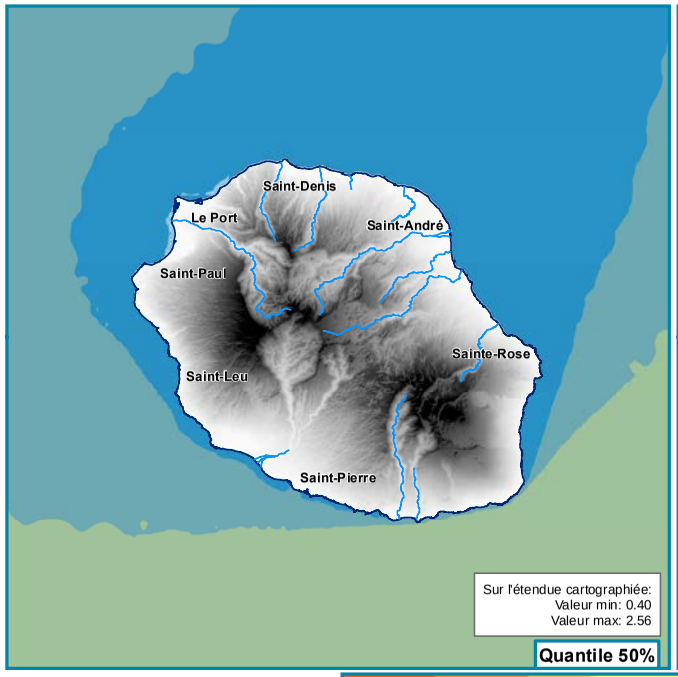
	Provenance 260° à 180°		Provenance 180° à 260°	
Points analysés	Hs T10 ans	Hs T100 ans	Hs T10 ans	Hs T100 ans
Réunion_C05531	6,74m	11,94m		
Réunion_C06953	7,24m	11,49m		
Réunion_C05514	7,66m	11,43m		
Réunion_C05376	6,90m	10,16m	6,25m	7,40m
Réunion_C10671	6,06m	9,43m	6,13m	7,46m
Réunion_C07930	5,51m	9,91m	4,96m	5,96m

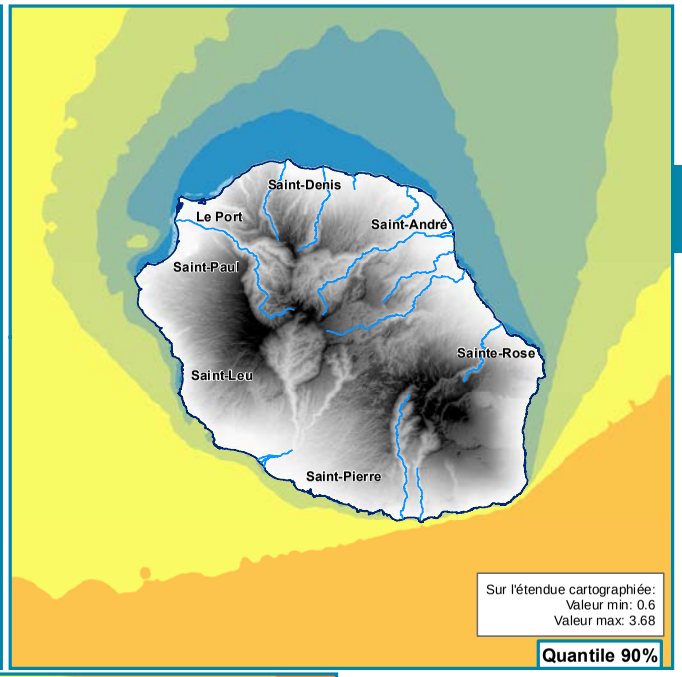
Figure 3.39 : Répartition spatiale des moyennes de direction au pic des houles sur les dix années de données de simulation numérique HydroRun

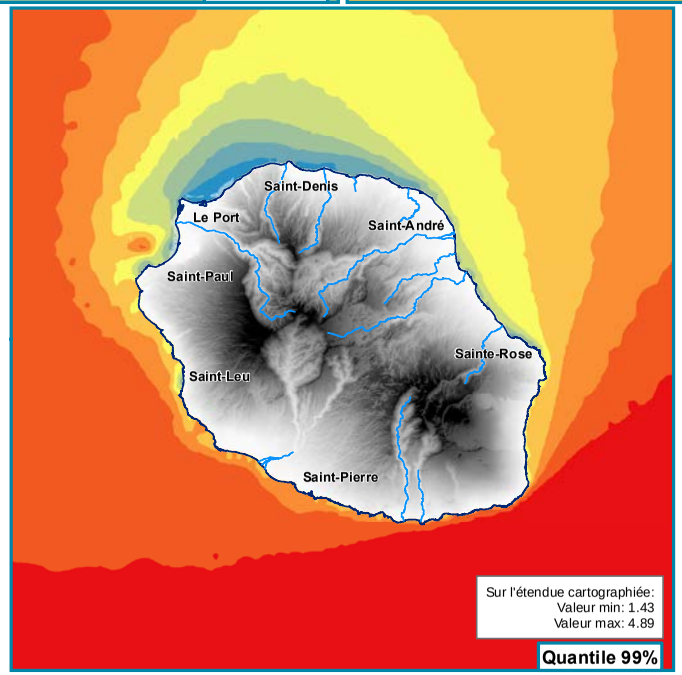
Dynamiques et évolution du littoral

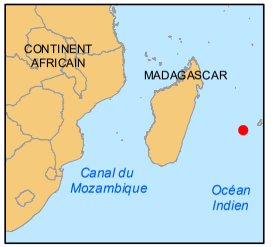
Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Etats de mer - Hauteurs significatives des vagues issues des simulations ANEMOC-2









Réseau hydrographique permanent

Trait de côte Histolitt

Hauteur significative des vagues (en m)

0 - 1,81	3,35 - 3,74
1,81 - 2,20	3,74- 4,12
2,20 - 2,58	4,12- 4,51
2,58 - 2,97	4,51 - 4,89
2,97 - 3,35	

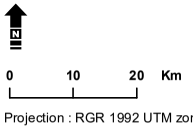
Les hauteurs de vague représentées correspondent aux quantiles 50%, 90% et 99% des hauteurs significatives (Hm0) :

- Le quantile 50% correspond à la hauteur significative des vagues dépassée 50% du temps
- Le quantile 90% correspond à la hauteur significative des vagues dépassée 10% du temps
- Le quantile 99% correspond à la hauteur significative des vagues dépassée 1% du temps

Les données utilisées sont issues de la simulation rétrospective des états de mer du 1 er janvier 1979 au 31 décembre 2010 (produit ANEMOC -2 par EDF R&D et le Cerema). Elles ont ici été interpolées entre les points disponibles et jusqu'à la côte. Ces résultats de modélisation numérique doivent être considérés avec prudence, en particulier pour des profondeurs inférieures à 20 mètres ; ils ne sont notamment pas validés entre les dernières valeurs disponibles et la côte, ainsi que dans les estuaires représentés pour l'occasion en zone « blanche ».

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

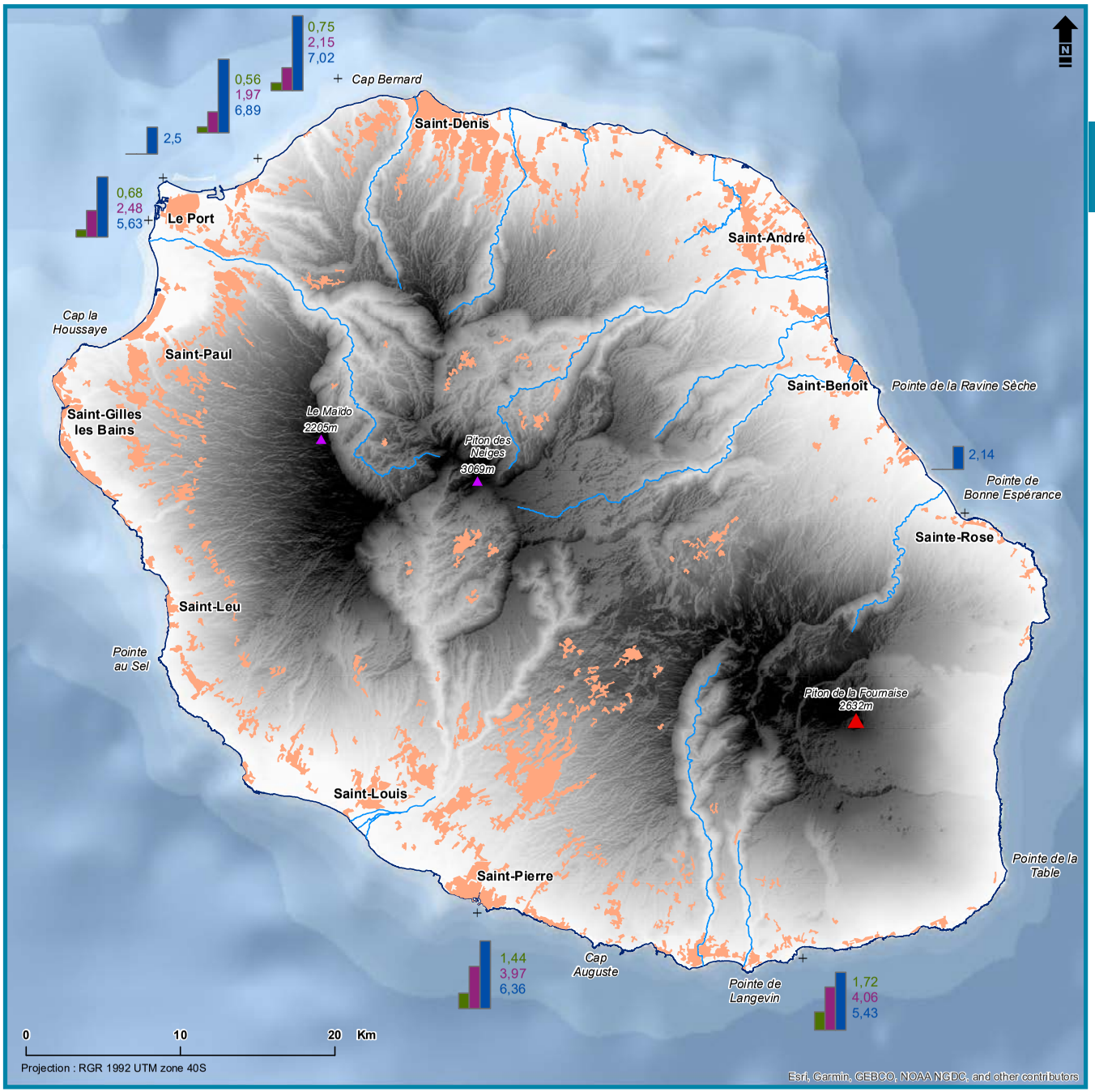
Source - Copyrights :
ANEMOC-2 - EDF R&D LNHE & Cerema
GEOFLA® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012
Cours d'eau - BD Carthage
BD Alti® - ©IGN Paris – Reproduction interdite



Projection : RGR 1992 UTM zone 40S

Figure 3.40 : Répartition spatiale des hauteurs significatives de houle issues de l'analyse des données de simulation numérique ANEMOC-2

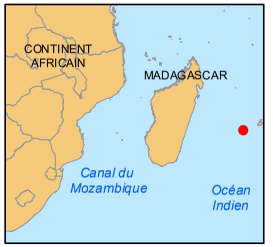
Figure 3.41 : Répartition spatiale des moyennes de hauteur significative de houle sur les dix années de données de simulation numérique HydroRun



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Etats de mer issus de l'observation in situ - Hauteurs significatives



- Pics
- Volcan
- Trait de côte Histolitt
- Réseau hydrographique permanent
- Bâti
- Localisation des points de mesures

Hauteur significative (m)

- 7,02
- 2,14

Quantile 50%
Quantile 99%
Max ($H_{1/3}$)

Le paramètre d'états de mer représenté est la hauteur significative H1/3 correspondant à la valeur moyenne du tiers supérieur des hauteurs de vagues observées in situ sur 20 à 30 min.
Les quantiles 50% et 99% de H1/3 ne sont représentés que si les durées d'observation sont supérieures ou égales à 1 an. Ces quantiles correspondent aux valeurs dépassées respectivement 50% et 1% du temps.
La valeur maximale de H1/3 est représentée quelle que soit la durée d'observation. Cette valeur est à considérer avec prudence, particulièrement si la durée d'observation est inférieure à 1 an (points pour lesquels les quantiles 50% et 99% ne sont pas fournis).
Pour les points bénéficiant d'une durée d'observation supérieure à 2 ou 3 ans, deux estimations du H1/3 de période de retour 10 ans (notées "H1/3 T10ans") sont proposées. Ces estimations reposent sur deux lois différentes d'ajustement statistique des extrêmes : Generalized Pareto Distribution (notée GPD) ou loi exponentielle (notée EXP). L'intervalle de confiance associé est un intervalle à 70%.

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Candhis - Cerema
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 3.42 : Répartition spatiale des hauteurs significatives issues de l'analyse des données de mesure in situ CANDHIS

Le littoral sud à nord-ouest est exposé à des valeurs extrêmes de hauteur de vague en provenance du sud-ouest. Ces hauteurs sont plus faibles que celles associées à l'activité cyclonique (jusqu'à 6,25 m pour la hauteur centennale) et pourraient être reliées aux houles australes.

L'étude HOULREU (BRGM – Pedreros *et al.*, 2009), cofinancée par l'État et la dotation de service public du BRGM, a également eu pour objectif la modélisation des houles (cycloniques, australes et d'alizés) sur l'ensemble de l'île et la définition des houles centennales de référence sur chaque façade littorale de l'île, donnée indispensable à l'estimation et à la cartographie de l'aléa submersion marine.

Les façades septentrionales et orientales ainsi qu'une partie des façades occidentales (au nord de la pointe des Aigrettes) et méridionales (au nord de la pointe de la Table) sont sous l'influence des houles cycloniques : Dina est l'évènement de référence, avec une période de retour centennale et une hauteur significative au large de l'ordre de 22 m au nord et 20 m à l'est. Le reste des façades occidentales et méridionales est en revanche plus impacté à la côte par les houles australes dont la hauteur significative centennale a été évaluée à 7 m au large. Bien qu'estimées moins impactantes à la côte, des houles de référence secondaires (pseudo Géralda et Hollanda) ont également été estimées par Pedreros *et al.* (2009).

Compte tenu de la présence de récif corallien et/ou de l'orientation de la houle cyclonique très oblique sur certaines façades, les formules paramétriques de « *wave run-up* » employées par le BRGM pour l'évaluation des submersions marines doit néanmoins être considérée avec précaution. Dans ces cas précis, la modélisation « vagues à vagues » en faible profondeur peut être envisagée (Pedreros *et al.*, 2009).

Le Tableau 3.16 présente les principales dates de tempête et cyclone relevées dans les bases ANEMOC-2 (sélection des quinze plus fortes tempêtes). Lorsque l'information est disponible, les hauteurs observées pour ces dates sont aussi renseignées pour CANDHIS. D'autres dates sont fournies en Annexe 8.3 sur les fiches individuelles d'analyse des points d'observation CANDHIS.

Les directions de propagation des vagues aux abords de La Réunion pour deux évènements majeurs du Tableau 3.16 (dates du 14/02/1987 et du 25/02/2007) sont illustrées sur la Figure 3.44 et la Figure 3.45 au paragraphe suivant (voir 3.2.2.b Propagation du large à la côte).

Les dates de tempête et cyclone relevées pour les états de mer (Tableau 3.13) et celles relevées pour les niveaux d'eau (Tableau 3.16) montrent que l'événement du 26-27/01/1980 (tempête tropicale Hyacinthe) a généré à la fois de fortes hauteurs de vague au large et de hauts niveaux d'eau à la côte. Il faut toutefois noter que les relevés de dates présentés ne sont pas exhaustifs, en particulier pour les niveaux d'eau, du fait des interruptions de mesures.

Tableau 3.16 : Principaux évènements de tempête relevés sur les périodes d'observations (hauteurs significatives $H_{1/3}$ ou H_{m0} en mètres et direction Dirmoy). Les cellules grisées correspondent aux périodes sans donnée

Base	**CANDHIS**		**ANEMOC-2 (01/01/1979 – 31/12/2010)**											
Réf. point	**97403**	**97404**	**C05531**		**C06953**		**C05514**		**C05376**		**C10671**		**C07930**	
Date	$H_{1/3}$	$H_{1/3}$	H_{m0}	Dir_{moy}	H_{m0}	Dir_{moy}	H_{m0}	Dir_{moy}	H_{m0}	Dir_{moy}	H_{m0}	Dir_{moy}	H_{m0}	Dir_{moy}
26/01/80					wx								5,47m	0°
12/07/82									7,17m	0°	7,04m	0°	5,87m	0°
07/02/83					6,84m	0°								
15/01/85			5,53m	0°										
07/02/86			7,82m	0°									7,28m	0°
14/02/87					6,36m	0°	8,37m	0°	10,49m	0°	9,15m	0°		
31/05/87									6,27m	0°	6,23m	0°	5,35m	0°
10/04/89							6,87m	0°	7,30m	0°	7,04m	0°		
07/06/91											6,16m	0°		
19/01/93			7,23m	0°	8,01m	0°	8,76m	0°						
25/02/96					6,92m	0°	7,27m	0°	6,82m	0°				
08/12/96			6,38m	0°	7,46m	0°	7,33m	0°						
06/01/01	4,39m		5,60m	0°										
25/02/07	5,59m	7,02m	11,89m	0°	12,09m	0°	11,50m	0°	7,91m	0°	6,52m	0°	8,35m	0°
08/02/09	5,63m												5,54m	0°

3.2.2.b Propagation du large à la côte

Dans le cas d'un cyclone tropical, la zone de forte énergie étant géographiquement très réduite, les vagues échappent à l'action du vent avant de s'être pleinement développées et leur hauteur significative reste souvent inférieure à 10 m. Dans certains cas, des cyclones comportant des vents de 130 km/h peuvent, s'ils se déplacent assez rapidement, donner naissance à des vagues de hauteur exceptionnelle. Au cœur du cyclone, les vents très forts génèrent par frottement avec la surface de la mer des vagues pouvant alors atteindre 20 à 30 m en pleine mer. Les vagues se propagent ensuite comme une onde, en s'amortissant (Jumaux *et al.*, 2012).

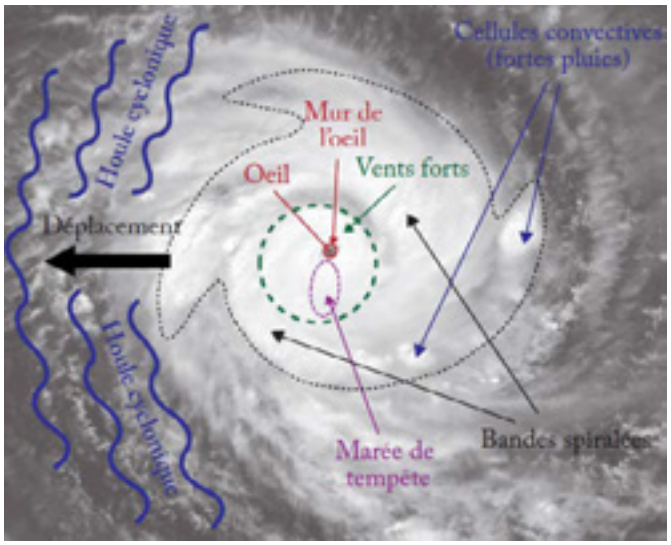


Figure 3.43 : Genèse et déplacement des houles cycloniques (source : Météo-France La Réunion)

Cette houle ainsi générée se déplace généralement plus rapidement que le cyclone qui l'a engendrée (**Figure 3.43**). En effet, comme la vitesse de propagation des vagues correspond à 1,5 fois la période, si le cyclone se déplace dans la même direction et à la même vitesse, alors il accompagne ces vagues qui n'échappent plus à l'influence du vent et qui continuent donc à se développer (Jumaux *et al.*, 2012).

Les houles les plus fortes se rencontrent généralement dans la zone où le vent souffle parallèlement à la trajectoire du cyclone. La houle cyclonique est perceptible jusqu'à 1 000 km de l'œil du cyclone, avec des trains de vagues de longues périodes qui se déplacent plus vite que le phénomène générateur. Pour la côte nord-est de La Réunion, ce sont fréquemment les cyclones en provenance du nord ou du nord-est qui propagent les houles les plus hautes (Jumaux *et al.*, 2012).

Les propagations du large à la côte des vagues simulées sur la province (données ANEMOC-2) pour deux évènements cycloniques majeurs, de direction de provenance assez différentes, sont représentés sur la **Figure 3.44** et la **Figure 3.45**.

Le premier correspond au passage du cyclone Clotilda en février 1987 (**Figure 3.44**). Au plus fort de la tempête, la direction de provenance des vagues au large était sud-est (hauteur significative de 10,49 m au point C05376). Le littoral nord-est à sud-ouest a été le plus exposé aux vagues générées par le cyclone. Du fait de la réfraction des vagues autour de l'île le littoral sud-ouest à ouest-nord-ouest a été aussi touché mais dans une moindre mesure.

Le deuxième correspond au passage du cyclone Gamède en février 2007 (**Figure 3.45**). Au plus fort de la tempête la direction de provenance des vagues au large était nord-est (hauteur significative de 12,09 m au point C06953, valeur maximale du **Tableau 3.16**). Le littoral nord-ouest à sud-est a été le plus exposé aux vagues générées par le cyclone. Du fait de la réfraction des vagues autour de l'île, le littoral sud-est à sud-ouest et le littoral ouest-nord-ouest à nord-ouest ont été aussi touchés mais dans une moindre mesure.

3.2.3 Courants

Les courants marins ont deux origines bien distinctes :

- les courants de marée dits « gravitationnels » : leur origine est la force génératrice des marées dont la cause première est l'attraction newtonienne ;
- les courants dits « radiationnels » : leur origine plus ou moins lointaine est le rayonnement solaire, responsable de phénomènes tels que le régime des vents, le cycle des saisons, les perturbations météorologiques, ou les variations spatiales de densité des océans pouvant générer des mouvements au sein des masses d'eau.

Sont ainsi détaillés ci-après les courants généraux, issus de la circulation océanique globale, les courants gravitationnels de marée, les courants de houle puis les courants de surface ou liés au vent.

3.2.3.a Courants généraux

L'île de La Réunion est soumise à l'influence d'un courant sud-équatorial se propageant à une vitesse moyenne de 0,5 à 1 nœud (0,26-0,52 m/s) d'est en ouest, sur près de 2 000 km de large, entre 7-8° et 23-25°S (**Figure 3.46**). Le régime des vents dominants (alizés) entraîne une circulation générale de surface venant du sud-sud-est tout au long de l'année (Troadec, 1991 ; Biais, Taquet, 1992 ; Piton, Taquet, 1992).

La vitesse du courant sud-équatorial varie entre 1 et 3 nœuds, de mai à octobre (lors de l'hiver austral qui est caractérisé par une intensification du régime des alizés), et entre 0,5 et 0,6 nœud, le reste de l'année. Ces courants généraux fluctuent du nord-ouest au sud-ouest en fonction du régime des vents se tenant dans les régions

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Hauteurs significatives et directions de propagation des vagues

Cyclone Clotilda du 14 février 1987 à 5h00

- Pics
- Volcan
- Réseau hydrographique permanent
- Trait de côte Histolitt
- Bâti

Hauteur (en m) et direction des vagues

- 0,7 - 3,0
- 3,0 - 4,0
- 4,0 - 6,0
- 6,0 - 8,0
- 8,0 - 9,0
- 9,0 - 11,0

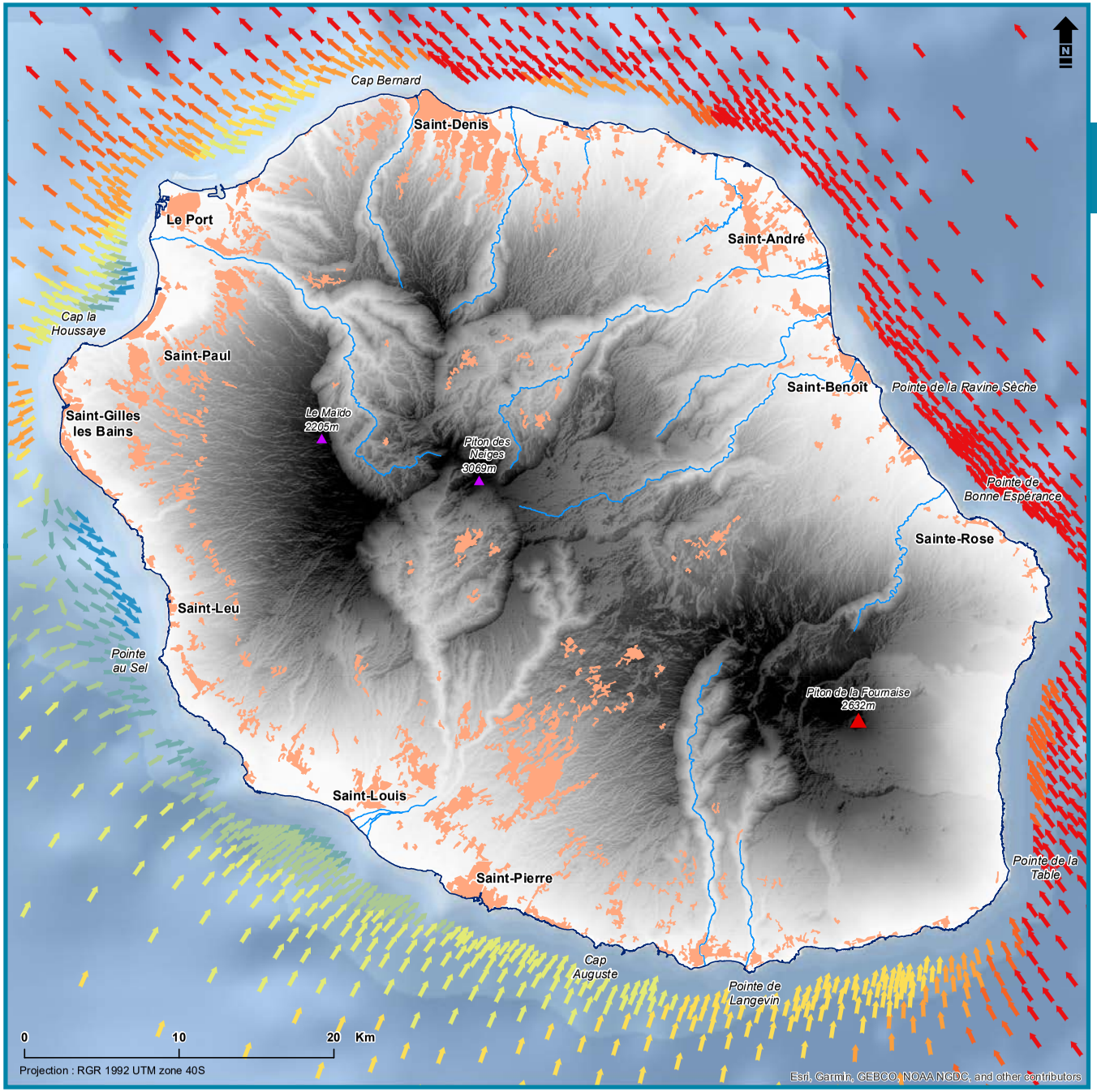
Les hauteurs significatives (Hm0) et directions de propagation (directions moyennes) représentées sont issues de la modélisation numérique. La date et l'heure de la représentation correspondent au maximum de hauteur significative modélisée sur un point pris en référence au centre de la zone.

Les données utilisées sont issues de la simulation rétrospective des états de mer du 1er janvier 1979 au 31 décembre 2010 (produit ANEMOC-2 par EDF R&D et le Cerema). Ces résultats de modélisation doivent être considérés avec prudence, en particulier pour des profondeurs inférieures à 20 mètres.

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
ANEMOC-2 - EDF R&D LNHE & Cerema
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 3.44 : Hauteurs significatives et directions de provenance des vagues lors du cyclone Clotilda du 14/02/1987 (simulations ANEMOC-2)

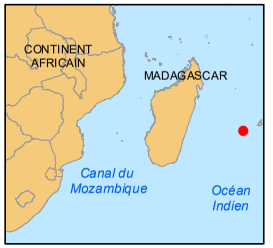


Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Hauteurs significatives et direction de propagation des vagues

Cyclone Gamède du 25 février 2007 à 3h00



- Pics
- Volcan
- Réseau hydrographique permanent
- Trait de côte Histolitt
- Bâti

Hauteur (en m) et direction des vagues

- 0,3- 3,0
- 3,0 - 4,0
- 4,0 - 5,0
- 5,0 - 7,0
- 7,0 - 8,0
- 8,0 - 10,0
- 10,0 - 11,0
- 11,0 - 18,0

Les hauteurs significatives (Hm0) et directions de propagation (directions moyennes) représentées sont issues de la modélisation numérique. La date et l'heure de la représentation correspondent au maximum de hauteur significative modélisée sur un point pris en référence au centre de la zone.

Les données utilisées sont issues de la simulation rétrospective des états de mer du 1 er janvier 1979 au 31 décembre 2010 (produit ANEMOC-2 par EDF R&D et le Cerema). Ces résultats de modélisation doivent être considérés avec prudence, en particulier pour des profondeurs inférieures à 20 mètres.

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
ANEMOC-2 - EDF R&D LNHE & Cerema
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 3.45 : Hauteurs significatives et directions de provenance des vagues lors du cyclone Gamède du 25/02/2007 (simulations ANEMOC-2)

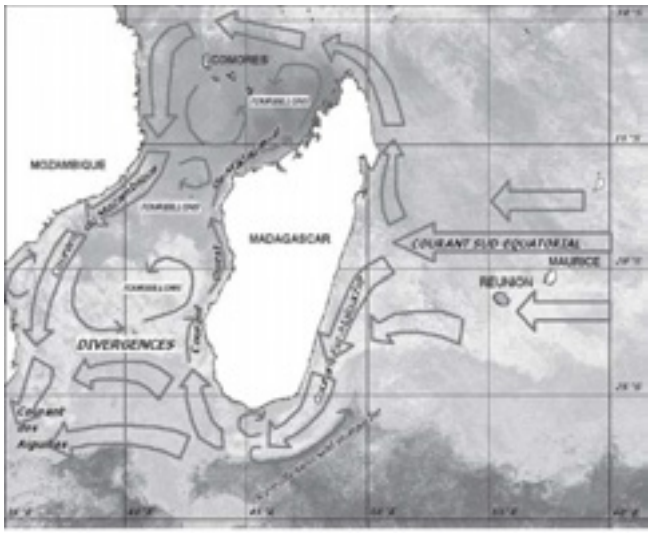


Figure 3.46 : Courantologie générale des Mascareignes (Guyomard et al., 2017)

de hautes pressions atmosphériques situées au sud de l'île de La Réunion. La circulation s'effectue dans un sens anticyclonique autour du centre globalement situé sur le parallèle 32°S (Troadec, 1991).

Ces différents types de régime ont pour conséquence de donner une certaine instabilité à la circulation des eaux océaniques dans les parages de La Réunion : les différentes composantes s'exerçant toutefois dans un secteur nord-ouest à sud-ouest (Troadec, 1991). De taille modeste, l'île de La Réunion influe peu sur l'hydrologie côtière dont les caractéristiques sont voisines de celles du large (Biais, Taquet, 1992).

3.2.3.b Courants de marée

La marée est de type semi-diurne avec une inégalité diurne : les composantes principales sont les ondes M2 (lunaire semi-diurne) et S2 (solaire semi-diurne). Le marnage moyen à la pointe des Galets est de 0,45 m (modèle du SHOM) qualifiant l'archipel d'environnement microtidal (marnage inférieur à 2 m). Le marnage maximum entre les plus hautes et plus basses mers astronomiques est estimé par ce même modèle de marée à 0,93 m et le niveau moyen déterminé par le SHOM est de 0,60 m au-dessus du zéro hydrographique (voir 3.2.1.c Marée astronomique).

Le marnage à La Réunion est faible car un point amphidromique (lieu où le marnage est voisin de zéro ; Figure 3.47) est localisé au large des côtes de l'île (Troadec, 1991 ; Cordier, 2007). La marée joue donc un rôle secondaire sur les variations de hauteur d'eau au niveau des côtes en comparaison avec les autres paramètres physiques, tels que la direction et l'intensité du vent, la pression atmosphérique ou encore la houle, qui vont profondément influencer la courantologie et l'hydrodynamisme (Lézé, 2012). L'impact des courants de marée sur la dynamique sédimentaire reste donc ici limité du fait de la faiblesse du marnage.

Au large, le courant de marée prend une direction nord à nord-ouest lors du flot, tandis que le courant de jusant s'oriente vers le sud-sud-ouest (De la Torre, Louzé, 2008). À proximité immédiate de la côte, les courants de marée se superposent au courant sud-équatorial et atteignent une vitesse de 1,5 nœuds selon une direction grossièrement parallèle à la côte. Sur le littoral ouest, les courants portent au sud à marée descendante et au nord à marée montante (Biais, 1981). La périodicité de cette inversion semi-diurne suit celle de la marée avec un retard variant de une à quatre heures.

À proximité des côtes, en baie de La Possession, le flot prend une direction ouest, tandis que le courant de jusant s'oriente vers l'est (Troadec, 1989 ; De la Torre, Louzé, 2008). En baie de Saint-Paul, le courant de flot porte en moyenne au nord-nord-est, le courant de jusant au sud (Troadec, 1989 ; Piton, Taquet, 1992). Les courants de marée sont généralement faibles dans ces deux secteurs, pour la baie de La Possession (< 0,30 m/s) comme pour la baie de Saint-Paul (< 0,25 m/s) (Troadec, 1991).

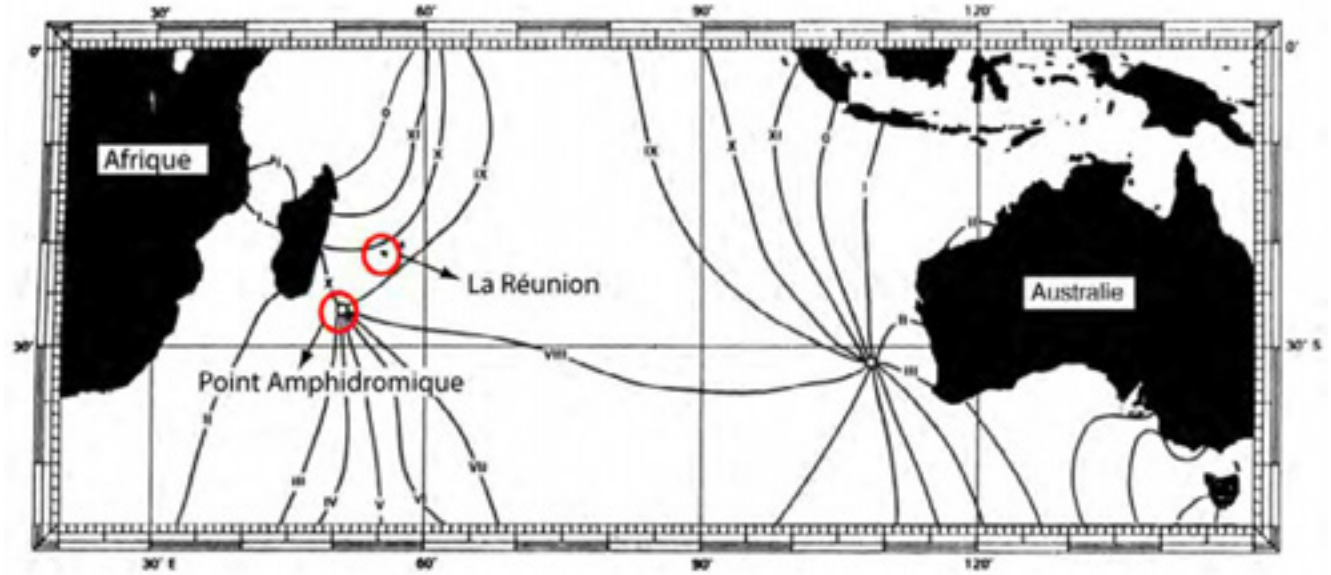


Figure 3.47 : Lignes cotidales de l'onde M2 (extrait des Instructions Nautiques, 1984)

Le récif frangeant de Saint-Gilles est concerné par un flot se propageant du sud vers le nord, depuis la passe de Trois-Bassins vers le port de Saint-Gilles-les-Bains. Le jusant s'effectue quant à lui dans le sens opposé, en direction du sud, vers la passe de Trois-Bassins (Cordier, 2007).

3.2.3.c Courants de houle

Les houles cycloniques et australes sont des houles de grande énergie. Elles sont à l'origine de différentes forces susceptibles de solliciter les sédiments des estrans et des fonds marins. Leur déferlement sur le littoral peut s'avérer brutal et se produit à même le rivage, ce sont les facteurs océanographiques qui déterminent l'apparition des courants les plus actifs près des littoraux et sur les fonds (Troadec, 1991).

Sur les estrans soumis aux déferlements se développe un transport des sédiments par jet de rive. Les matériaux sont remontés dans la direction des lames et redescendent lors du reflux en suivant la ligne de plus grande pente. Pour les houles obliques, les particules sont mobilisées dans des déplacements alternatifs en dents de scie, de montée et de descente, avec une résultante dans le sens préférentiel du transit, parallèlement au rivage (Troadec, 1991).

Près du littoral, les déferlements sont à l'origine de trois types de courant :

- les courants d'expansion latérale sont dus aux concentrations locales de la houle en certains points, induites par des éléments hydrographiques et morphologiques (hauts fonds, pointes). D'après la loi de Sitarz, il y a déferlement des masses d'eau d'une zone de convergence (amplitudes fortes de la houle) vers une zone de divergence (amplitude faible de la houle). Le LCHF4 signale des vitesses de 0,5 à 1 m/s pour ce type de courants (Troadec, 1991) ;
- les courants de houle (sensu stricto) sont dus à une obliquité appréciable de la houle avec le rivage qui développe alors un courant parallèle à la côte. C'est la dérive littorale telle qu'elle est définie par Longuet-Higgins (1970) et Larras (1957). Selon la formule de Larras, pour une houle de 7 m d'amplitude et 12 s de période (houle cyclonique décennale), la vitesse du courant de houle atteindrait 1,70 m/s pour une obliquité des lames au large de 10° avec le rivage. Le LCHF signale que cette valeur est compatible avec les observations de terrain, à l'origine d'un débit liquide compris entre 2000 et 3000 m^3/s. La répartition des vitesses montre un maximum vers la côte entre une demi-longueur d'onde et une longueur d'onde au point de déferlement. Ces courants *long-shore* se présentent comme des régimes à déplacements pulsatoires formant des trajectoires de forme hélicoïdale (Troadec, 1991) ;
- les courants de compensation sont observés lors de la propagation des trains d'onde qui entraîne des fluctuations du niveau moyen de l'eau entre le déferlement et la côte. Les surélévations épisodiques du niveau, même faibles, engendrent des accumulations et les vidanges d'eau périodiques à l'origine de courants de compensation ou de décharge. Les courants de retour s'exercent près du fond et prennent l'allure de lames d'eau s'évacuant en opposition totale avec le déplacement de surface les générant. Les rip-currents intéressent eux toute la masse d'eau et se concentrant aux points où l'amplitude de la houle est la plus faible. Leur vitesse est souvent élevée (plusieurs m/s) et responsable de leur caractère particulièrement érosif au départ de la plage. Leur action de jet se fait sentir au-delà du déferlement, à l'origine d'accumulations sédimentaires (Troadec, 1991).

À proximité du fond, les mouvements orbitaires des houles engendrent des courants alternatifs et des courants associés dans leur couche limite. Les courants orbitaires sont susceptibles de mettre en oscillation, les particules si la vitesse critique d'entraînement des sédiments est inférieure aux vitesses alternatives induites. En plus des oscillations, les molécules d'eau et les particules sédimentaires sollicitées peuvent être soumises à ses déplacements dans le profil généré par les courants associés (Troadec, 1991).

Si l'écoulement dans la couche limite est laminaire, elle devient le siège de courants de translation, du large vers la côte et susceptible de remonter les particules mobilisées. Si les écoulements sont turbulents (cyclone, tempête, action du vent superposée à la houle), les courants de translation laissent la place à des bouffées de turbulences : ces dernières contribuent à mettre en suspension des sédiments, sur une certaine épaisseur au-dessus des fonds et fonction des caractéristiques houlographiques. Les particules sollicitées sont alors reprises par des courants compensateurs et entraînées vers le large et les grands fonds.

3.2.3.d Courants de surface et courants liés au vent

À la différence des courants de marée, les courants générés par le vent sont très variables selon la profondeur. Ils sont aussi très fluctuants et présentent une variabilité saisonnière, directement liée aux situations météorologiques. La circulation induite par le vent favorise également les mouvements verticaux près des côtes appelés « *upwelling* ». Le courant de dérive généré par le vent (induit par la tension du vent sur la surface de l'océan) est, avec le courant de houle, le facteur dominant.

Les courants de surface sont encore mal connus aux alentours de La Réunion. Néanmoins une étude centrée

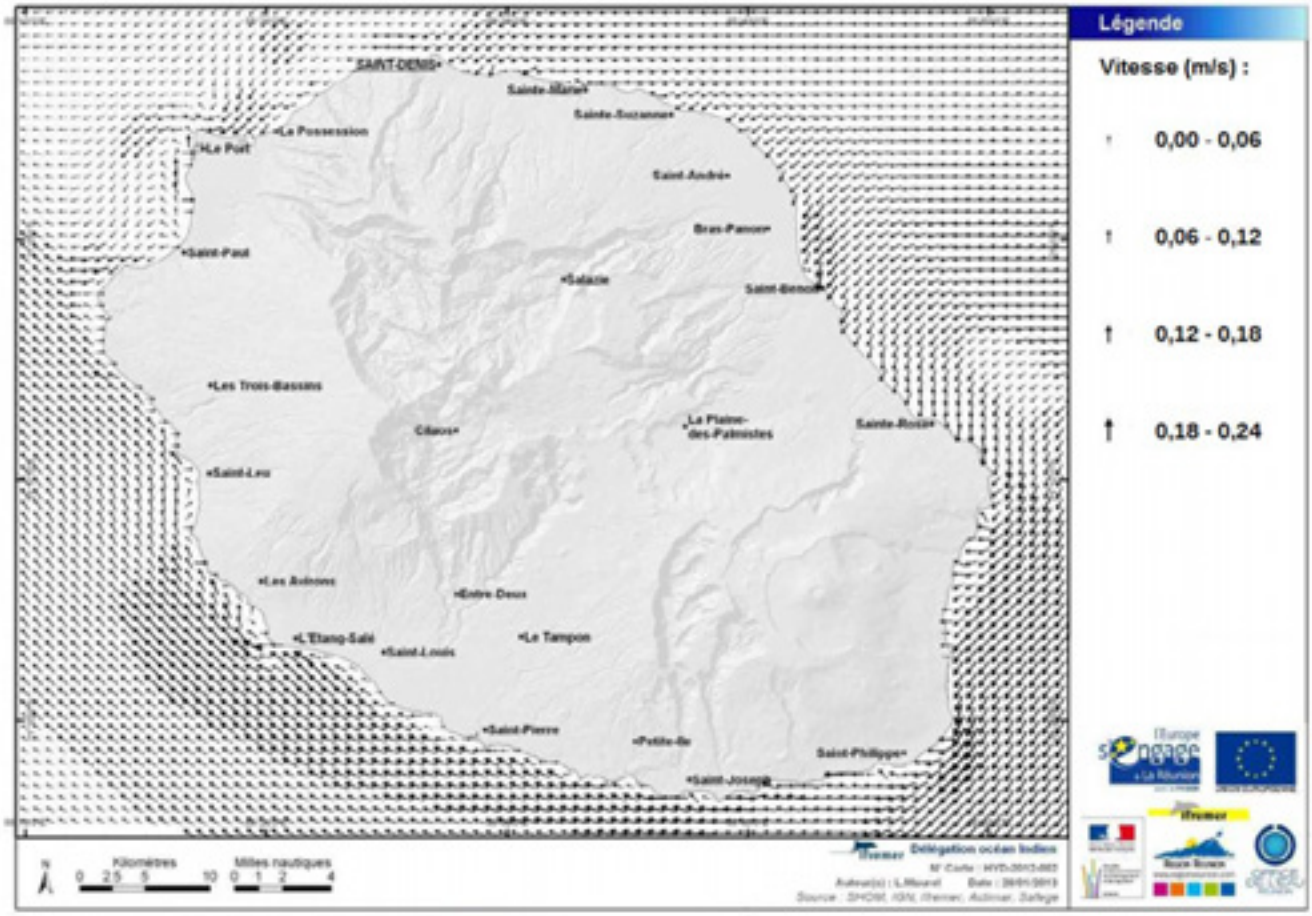


Figure 3.48 : Vitesses et directions moyennes annuelles des courants de surface (en m/s) autour de La Réunion (Modélisation du projet HydroRun, Ifremer, source : sextant.ifremer.fr)

sur La Réunion et pilotée par l'Ifremer (HydroRun5) a été menée pour tenter de modéliser les courants surfaciques à l'échelle du sud-ouest de l'océan Indien, ainsi qu'aux échelles régionales et locales. Le projet HydroRun, initié à la fin de l'année 2009, a ainsi cherché à développer une plateforme de modélisation hydrodynamique couvrant l'ensemble de l'île de La Réunion.

La modélisation des courants par l'Ifremer a consisté à recalculer, pour chaque pas de temps, les composantes vitesses et directions du courant en chacune des mailles du modèle (maille de 450 m), pour chaque niveau de profondeur (30) sur la totalité de l'emprise (environ 7 millions de cellules recalculées à chaque pas de temps). Dans le cadre du projet Hydrorun, une simulation réaliste (supérieure à 50 000 pas de temps) a été générée pour l'année 2006 entière. Parmi les paramètres de synthèse produits, ont été simulées les vitesses et les directions moyennes annuelles des courants barotropes ; les vitesses et les directions moyennes annuelles des courants de surface (Figure 3.48). La Figure 3.49. décrit la variabilité saisonnière des courants de surface autour de La Réunion, à travers l'étude de ses vitesses moyennes trimestrielles (projet HydroRun, Ifremer ; source : sextant.ifremer.fr).

L'interaction complexe des courants océaniques généraux, de la marée, de la houle et du vent crée des

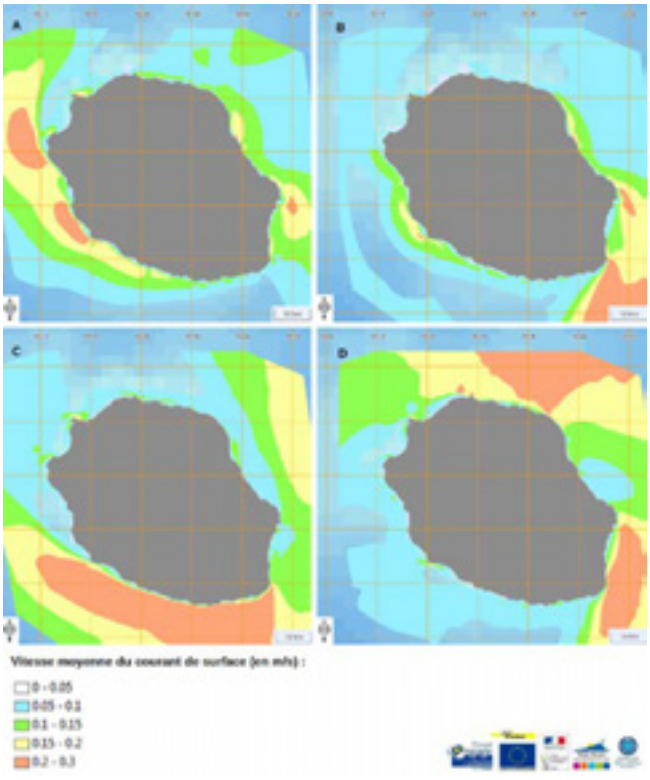


Figure 3.49 : Vitesses moyennes trimestrielles des courants de surface (en m/s) autour de La Réunion pour A-janvier/mars, B-avril/juin, C-juillet/septembre et D-octobre/décembre (Modélisation du projet HydroRun, Ifremer ; source : sextant.ifremer.fr)

courants extérieurs aux récifs qui demeurent très mal connus à La Réunion. Irréguliers mais généralement parallèles au front récifal (Bouchon, 1979), ces courants s'écoulent avec une vitesse comprise entre 2 et 3 nœuds (Faure, 1982). Il existe également des courants intra-récifaux générés par le déferlement des vagues sur la barrière récifale : la masse d'eau pénétrant sur le récif circule par les couloirs et les sillons du platier, puis pénètre dans la dépression arrière récifale et retourne vers le large par l'intermédiaire des encoches topographiques où les courants de vidange peuvent atteindre 3 à 5 nœuds (Bouchon, 1979 ; Jamon, 2002). Une partie de la masse d'eau non évacuée directement par ces entailles récifales alimente alors les courants au sein des passes.

3.3 Hydrologie

3.3.1 Les principaux cours d'eau

La configuration de l'île, soumise à des pluies très abondantes pendant la saison humide du climat tropical (entre 2 600 et 4 000 mm dans l'est de novembre à avril), a abouti à la formation d'innombrables ravines et rivières à fond mobile, qui descendent des sommets en alternant gorges abruptes et secteurs plus calmes, encombrés de rochers et parfois agrémentés de cascades et de bassins.

L'érosion fluviale à La Réunion est une des plus fortes constatées dans le monde, elle est irréversible et structure les paysages et le relief typique de l'île. La côte orientale de l'île, dite « côte au vent », est très arrosée ; plusieurs rivières y sont pérennes. La côte occidentale, « sous le vent », contraste avec le reste de l'île en présentant des terres plus arides (source : www.outre-mer.gouv.fr).

Le suivi des bassins versants de La Réunion est réalisé par la DEAL au titre de la Directive Cadre sur l'Eau. Le réseau de suivi est constitué de 28 stations de mesure en continu de la variation du niveau des nappes souterraines, de 22 stations d'enregistrement en continu du débit des cours d'eau et de 24 stations de mesures mensuelles du débit des cours d'eau.

Les données sont acquises toutes les 30 minutes pour les eaux souterraines et toutes les 6 à 12 minutes sur les cours d'eau. Elles sont transmises quotidiennement par téléphonie mobile puis mises en ligne dans la banque des données de l'Office de l'Eau de La Réunion (donnees.eaureunion.fr) et dans la base de données HYDRO (source : www.hydro.eaufrance.fr). Elles permettent de suivre l'évolution de l'état quantitatif des principales ressources en eau du département et de caractériser leurs cycles hydrologiques. Des études sont publiées régulièrement dans des chroniques de l'eau. Elles portent principalement sur l'analyse des variations mensuelles et font le bilan des saisons sèches et humides (source : www.eaureunion.fr).

La réalisation des projets d'aménagement du territoire et la gestion durable des ressources en eau doivent s'appuyer sur une connaissance fiable de leur état quantitatif et de ses variations spatio-temporelles (source : www.eaureunion.fr).

3.3.1.a Caractéristiques hydrologiques

La cartographie du réseau hydrographique, avec les bassins versants associés, est présentée dans la partie 2.1 Géographie (Figure 2.6. ; Tableau 2.3). La Figure 3.50 présente plus précisément la géographie des cours d'eau de l'île de La Réunion, les grands plans d'eau associés au réseau hydrographique et la gestion hydraulique locale.

À La Réunion, le suivi des milieux aquatiques s'appuie sur un découpage par masse d'eau. Il en existe 24 pour les cours d'eau et 27 pour les eaux souterraines. Avec près de 7,6 milliards de mètres cube de précipitation moyenne par an, ce sont près de 1,6 milliards de mètres cube de ruissellement et 3,1 milliards de mètres cube d'infiltration qui intègrent chaque année en moyenne le cycle de l'eau réunionnais (Office de l'Eau Réunion, source : donnees.eaureunion.fr).

Parmi les 24 cours d'eau principaux (de 4 à 35 km), La Réunion compte 13 rivières pérennes qui évacuent l'eau des massifs du Piton des Neiges et du Piton de la Fournaise par une dense ramification de bras, de ruisseaux et de ravines, qui viennent alimenter ces rivières se déversant ensuite dans l'océan Indien (Tableau 3.17). Les bassins versants que constituent les cirques constituent des masses d'eau importantes et complexes.

Sous l'effet d'une érosion violente, les pentes sont sillonnées par plus de six cents cours d'eau creusant des ravines. Celles-si sont généralement profondes, et leurs torrents entaillent les flancs de montagne jusqu'à plusieurs centaines de mètres de profondeur, charriant un volume de matériaux important. Ce relief accidenté rend les transports difficiles. À cet égard, la route des Tamarins enjambe plus de 120 ravines entre Saint-Denis et Saint-Pierre.

La majorité des cours d'eau présentent des débits irréguliers, liés à l'alternance de la saison des pluies et de la saison sèche. La rivière du Mât est la plus longue de La Réunion (avec 34,9 km). Les cours d'eau retenus dans cette étude sont pérennes et de longueur supérieure à 4 km (BD TOPO®, IGN, Tableau 3.17).

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Réseau hydrographique

Photo et numéro correspondant

Obstacle à l'écoulement

Pics

Volcan

Réseau hydrographique permanent

Zones hydrographiques

- Bras de Cilaos
- Bras de la Plaine et aval de la Rivière Saint Etienne
- Bassin de l'Etang Saint Paul
- Bassin de l'Etang du Gol
- Bassin versant amont de la Rivière des Galets
- Bassin versant amont de la Rivière du Mât
- Bras Sainte Suzanne et aval de la Rivière des Galets
- Rivière de l'Est
- Rivière des Marsouins
- Rivière des Remparts
- Rivière des Roches
- Cours moyen de la Rivière du Mât
- Grand Etang
- La Fournaise
- La Plaine des Palmistes
- Le Tampon et Saint Pierre
- Rivière Langevin
- Saint Philippe
- Saint Rose
- Secteur Nord
- Secteur Nord Est
- Secteur Nord Ouest
- Secteur ouest

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Obstacle à l'écoulement - Onema
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI
Crédits photos :
© Conservatoire du Littoral 2015
© Cerema/S. Lendre 2019
© IPR Imaz Press Réunion 2013
© www.cartedelareunion.fr

Figure 3.50 : Géographie des cours d'eau de l'île de La Réunion et gestion hydraulique locale (bassins versants, affluents, débits, ouvrages)

Tableau 3.17 : Caractéristiques du réseau hydrographique permanent de l'île de la Réunion (source : DIREN, 2005)

Nom du cours d'eau	Hydro-écorégion	Surface du bassin versant (ha)	Longueur (km)
Rivière Saint-Denis	versants nord intermédiaires	3085	15,9
Rivière des Pluies	versants nord intermédiaires	4595	23,3
Rivière Sainte-Suzanne	versants nord intermédiaires	3032	19,6
Rivière Saint-Jean	versants au vent	4331	14,9
Rivière du Mât	cirques au vent	13448	34,9
Rivière des Roches	versants au vent	6915	18,1
Rivière des Marsouins	versants au vent	10952	30,6
Rivière de l'Est	versants au vent	4328	20,2
Rivière de Langevin	cirques au vent	5518	12,4
Rivière des Remparts	cirques au vent	6568	26,6
Rivière Saint-Étienne	cirques sous le vent	804	5,8
Ravine Saint-Gilles	versants sud-ouest secs	3153	5,1
Rivière des Galets	cirques sous le vent	1567	15,4

3.3.1.b Débits liquides des principaux cours d'eau

Les chroniques de l'eau de La Réunion – anciennement bulletins de situation hydrologique (BSH) et synthèses annuelles – confortent l'information des acteurs de l'eau et des usagers par une analyse conjoncturelle de la ressource en eau, des milieux aquatiques et de leurs usages dans le bassin de La Réunion. Ces chroniques synthétisent, depuis 2004, l'état hydrologique des cours d'eau réunionnais. Leur régime est de type pluvial avec un débit principalement contrôlé par la pluviométrie. Il se caractérise donc par une variabilité interannuelle importante des débits avec des crues extrêmes pendant la saison des pluies (décembre à avril) et des basses eaux pendant l'hiver austral (Office de l'Eau de La Réunion – Badat, 2011).

Les bassins versants de l'île ont la particularité de présenter une faible superficie et une forme généralement allongée. Les temps de concentration des précipitations sont courts, ce qui génère des crues de forte amplitude (avec des débits allant jusqu'à 1200 m³/s) et l'eau s'évacue rapidement vers l'océan. Pendant la saison sèche, le débit des cours d'eau est soutenu par les eaux souterraines. De nombreuses sources ressortent dans les têtes de bassin versant à la faveur des remparts qui entaillent les reliefs de l'île (Office de l'Eau de La Réunion – Badat, 2011 ; Cuvilier, 2016).

Le réseau de suivi hydrométrique de l'Office de l'Eau est composé de 51 stations de mesure réparties sur les 13 rivières pérennes et leurs principaux affluents, dont les sondes sont installées sur les ouvrages d'art des cours d'eau par la CVH (Cellule de Veille Hydrologique). Il répond aux enjeux de connaissance sur le fonctionnement des eaux superficielles afin d'une part de caractériser l'état des masses d'eau au titre de la Directive Cadre européenne sur l'Eau et d'autre part d'apporter des éléments de gestion des ressources en eau à l'échelle du département (Office de l'Eau de La Réunion – Badat, 2011).

Sur les 51 stations de mesure, 22 permettent de suivre l'évolution des débits à un pas de temps de 12 minutes (**Figure 3.51**). Ces données sont utilisées pour caractériser l'importance des crues et des étiages mais également pour décrire les tendances d'évolution du débit des cours d'eau à plus long terme. Pour cela, les valeurs de débit médian sont comparées aux normales saisonnières représentées par la médiane interannuelle des débits mesurés (**Tableau 3.18**).

Pour les basses eaux, les débits d'étiage sont analysés à partir des débits moyens journaliers minimum (**Tableau 3.19**). L'étude des crues se base sur l'analyse des débits maximums de pointe associés aux plus fortes crues de chaque année d'enregistrement (**Tableau 3.20**).

La notion de débit moyen ou médian des cours d'eau, dans un contexte hydro-climatique comme celui de La Réunion, n'a que peu de sens (régime torrentiel des eaux). Par contre, il est plus important, notamment pour les aménageurs, de bien connaître les débits des plus basses eaux à l'étiage et ceux des plus fortes crues répertoriés dans les chroniques de la banque HYDRO depuis 2013 (www.hydro.eaufrance.fr).

Même pour les rivières pérennes, les débits d'étiage restent faibles et généralement inférieurs à 1 m³/s, à l'exception des rivières du Mât, des Marsouins, Langevin et du Bras de la Plaine. Par contre, les débits de crue demeurent colossaux, plusieurs centaines de fois supérieurs à ceux de l'étiage. Depuis la mise en place de la CVH en octobre 2010, seule une vigilance crue « orange » a été depuis signalée pour la rivière Langevin, lors de l'épisode Bergita. Le **Tableau 3.21**

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Surveillance du réseau hydrographique

Pics
Volcan
Trait de côte Histolitt
Réseau hydrographique permanent
Bâti

Réseau hydrométrique

Station hydrométrique

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Station hydrométrique - SANDRE
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 3.51 : Surveillance du réseau hydrographique et stations hydrométriques

Tableau 3.18 : Débits liquides médians des principaux cours d'eau de La Réunion suivis par l'Office de l'Eau, exemple pour l'année 2010 (source : www.eaureunion.fr)

Région	Code station	Désignation	Période	Médiane interannuelle en L/s	Médiane 2009 en L/s	Médiane 2010 en L/s	Ecart à la normale 2010
Nord	40320120	La Rivière Saint-Denis à l'amont captage AEP	1999-2010	730,00	770,00	700,00	-4,11%
Nord-Est	40301190	Le Bras Laurent amont confluence Rivière Sainte-Suzanne	1992-2010	142,00	170,00	210,00	47,89%
Est	40300100	Le Grand Bras de la Grande Rivière Saint-Jean	1982-2010	65,00	77,00	89,00	36,92%
	40200100	La Rivière du Mât (Escalier)	1986-2010	3400,00	3990,00	4460,00	31,18%
	40211090	Le Bras des Lianes à Bellevue les Hauts	1988-2010	480,00	430,00	550,00	14,58%
	40131130	Le Bras Panon (aval radier Paniandy)	1997-2010	321,00	400,00	500,00	55,76%
	40130130	La Rivière des Roches à Abondance	1987-2010	1480,00	1345,00	1560,00	5,41%
	40120100	La Rivière des Marsouins à Béthléem	1994-2010	6950,00	6205,00	7245,00	4,24%
Ouest	40510140	La Ravine Saint Gilles au captage du verrou	2002-2010	175,82	230,00	240,00	36,50%
	12283X0067	La Source Dussac (amont captage AEP)	1989-2010	2,85	3,76	3,47	21,75%
Sud	40010100	La Rivière Langevin à la passerelle	1986-2010	1500,00	1750,00	1170,00	-22,00%
Plaine	40101130	Le Bras Noir à la Plaine des Palmistes	1993-2010	27,85	21,81	39,62	42,26%

Tableau 3.19 : Débits liquides à l'étiage des principaux cours d'eau de La Réunion suivis par l'Office de l'Eau, exemple pour l'année 2010 (source : www.eaureunion.fr)

Désignation station	Débit interannuel à l'étiage moyenne journalière en L/s	Débit minimum à l'étiage en 2010 moyenne journalière				Données disponibles	
		Valeur en L/s	Date	Rang	Ecart à la moyenne	Nombre d'années	Période
La Rivière Saint-Denis à l'amont captage AEP	590,00	580,00	31/12/2010	6 ème	-1,69%	12	1999-2010
Le Bras Laurent amont confluence Rivière Sainte-Suzanne	23,00	38,00	22/12/2010	17 ème	65,22%	19	1992-2010
Le Grand Bras de la Grande Rivière Saint-Jean	11,60	7,80	28/12/2010	6 ème	-32,76%	29	1982-2010
La Rivière du Mât (Escalier)	1850,00	1440,00	18/12/2010	2 ème	-22,16%	25	1986-2010
Le Bras des Lianes à Bellevue les Hauts	160,00	160,00	31/12/2010	15 ème	0,00%	23	1988-2010
Le Bras Panon (aval radier Paniandy)	68,00	90,00	22/12/2010	10 ème	32,35%	14	1997-2010
La Rivière des Roches à Abondance	520,00	400,00	31/12/2010	6 ème	-23,08%	24	1987-2010
La Rivière des Marsouins à Béthléem	3954,00	4110,00	21/12/2010	13 ème	3,95%	17	1994-2010
La Ravine Saint Gilles au captage du verrou	88,00	180,00	27/12/2010	8 ème	104,55%	9	2002-2010
La Source Dussac (amont captage AEP)	0,80	0,77	31/12/2010	14 ème	-3,75%	22	1989-2010
La Rivière Langevin à la passerelle	905,00	730,00	31/12/2010	7 ème	-19,34%	25	1986-2010
Le Bras Noir à la Plaine des Palmistes	3,70	3,00	21/12/2010	11 ème	-18,92%	18	1993-2010

Tableau 3.20 : Débits liquides de crue des principaux cours d'eau de La Réunion suivis par l'Office de l'Eau, exemple pour l'année 2010 (source : www.eaureunion.fr)

Désignation station	Débit de pointe interannuel moyenne journalière en m³/s	Débit de pointe maximum en 2010				Données disponibles	
		Valeur en m³/s	Date	Rang	Ecart à la moyenne	Nombre d'années	Période
La Rivière Saint-Denis à l'amont captage AEP	124,50	38,30	18/03/2010	11ème	-69,24%	12	1999-2010
Le Bras Laurent amont confluence Rivière Sainte-Suzanne	82,60	88,85	04/06/2010	8ème	7,57%	19	1992-2010
Le Grand Bras de la Grande Rivière Saint-Jean	22,90	25,75	14/01/2010	9ème	12,45%	29	1982-2010
Le Bras des Lianes à Bellevue les Hauts	141,50	218,00	14/01/2010	3ème	54,06%	23	1988-2010
Le Bras Panon (aval radier Paniandy)	98,70	116,00	04/06/2010	5ème	17,53%	14	1997-2010
La Rivière des Roches à Abondance	386,90	409,83	14/01/2010	8ème	5,93%	24	1987-2010
La Rivière des Marsouins à Béthléem	366,30	388,00	14/01/2010	7ème	5,92%	17	1994-2010
La Ravine Saint Gilles au captage du verrou	107,70	249,00	04/02/2010	1ère	131,20%	9	2002-2010
La Rivière Langevin à la passerelle	166,70	119,00	12/02/2010	12ème	-28,61%	24	1986-2010
Le Bras Noir à la Plaine des Palmistes	33,80	25,63	23/03/2010	14ème	-24,17%	17	1993-2010

donne pour les principales rivières jaugées de La Réunion différentes valeurs par type de débit (débit de plus forte crue, débit spécifique de plus forte crue, débit minimum, débit caractéristique d'étiage moyen, débit spécifique d'étiage), d'après les données de 1985 (BRGM – Stieltjes *et al.*, 1986).

3.3.1.c Apports solides des principaux cours d'eau

Le transport solide des sédiments en mer peut être dû à trois processus principaux : la génération des écoulements en domaine sous-marin, la continuité directe des écoulements aériens en mer (écoulements pyroclastiques, avalanches de débris) et le transfert en mer des sédiments via le réseau hydrographique.

Les apports solides par le réseau hydrographique varient fortement d'une année sur l'autre, notamment en fonction de la pluviométrie. La rencontre de l'eau douce, riche en alluvions, avec l'eau salée montante, favorise des évolutions de la morphologie du lit des cours d'eau.

Tableau 3.21 : Débits minimums et maximums, caractéristiques et spécifiques, des principaux cours d'eau de La Réunion pour l'année 1985 (BRGM – Stieltjes et al., 1986)

Rivière Station	Surface Jaugée (km^2)	Périmètre (km)	Indice de Compacité	Plus forte crue connue / estimée (m^3/s)	Débit spécifique plus forte crue ($l/s/km^2$)	Débit Minimum (m^3)	Débit Caractéristique d'Étiage Moyen DCEM (m^3/s)	Débit spécifique d'après DCEM ($l/s/km^2$)
Rivière des Pluies Amont canal dirrigation	26	25,1	1,38	1 000	—	0,25	0,45	17,3
Rivière du Mât Îlet Morin	88,4	40,2	1,2	—	—	—	2,1	23,7
Pont ex RN2	143	60,5	1,36	2 600	18 200	3,07	4,1	28,7
Rivière des Roches Abondance	23,8	25	1,42	650	27 300	0,33	0,7	29,4
Grand Bras Vieux Pont	7,1	14	1,48	—	—	0,02	0,17	219
Rivière des Marsouins Hirondelles	25,8	30,2	1,66	865	33 500	2,6	2,6	100,8
Bethleem	81	51,5	1,6	—	—	4,1	3	37
Bras Cabot Prise EDF	16,5	23,9	1,66	—	—	—	0,36	21,8
Rivière de l'Est Prise EDF	27	26,1	1,41	800	30 000	—	4,7	174,1
Langevin Grand Galet	26,2	26,3	1,45	—	—	—	0,44	16,8
Passerelle EDF	36	32,6	1,52	550	15 300	—	1,1	30,5
Rivière des Remparts Amont canal Payet	54	41	1,56	—	—	—	0,6	11,1
Bras de la Plaine SABRAP	40	26,5	1,17	850	21 200	3,05	3,8	95
Gd Bras Cilaos Pavillon	68,7	34,5	1,16	1 000	14 600	0,64	0,91	13,2
Pt Bras Cilaos Pavillon	15,3	16,8	1,2	200	13 000	0,69	0,13	8,5
Ravine Fontaine À 1700 m d'altitude	2,13	11,4	2,19	22	10 500	0	0	0
Ravine Saint-Gilles Débit global reconstitué	24,2	35,6	2,02	120	5 000	0,068	0,58	24
Ravine Bernica Pont CD3	7,1	20,4	2,14	95	13 000	0	0	0
Rivière des Galets Amont confluence avec Bras de Sainte-Suzanne	71,8	36,8	1,22	1 000	14 000	0,41	0,67	9,3
Bras de Sainte-Suzanne Amont confluence avec Rivière des Galets	22	21,2	1,34	—	—	0,22	0,36	16,3
Ravine Marquet Dos d'Âne	2,3	8,1	1,5	11	4 800	0,000	0,002	0,65
Ravine Patate à Durand Endiguement	11,2	22,5	1,9	490	—	0	0	0

Par ailleurs, des mouvements de sédiments existent aussi à l'interface entre les cours d'eau et la mer. Classiquement, des échanges se produisent entre :

- les particules continentales apportées par les rivières ;
- les sédiments marins qui remontent dans les cours d'eau.

À son débouché en mer, la rivière dépose les sédiments grossiers qui sont ensuite redistribués par les processus côtiers (houles, marées, courants). Lorsque le fleuve apporte des sédiments plus rapidement qu'ils ne sont remaniés par les processus marins, il y a formation d'un delta. Lorsque l'influence de la houle sur la sédimentation est importante, il y a alors formation d'un delta à houle dominante (Wright, 1977) comme le delta de la rivière Saint-Étienne (Figure 3.52).

Figure 3.52 : Image satellite du delta de la rivière Saint-Etienne (Image © 2019 Maxar Technologies, TerraMetrics, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, CNES/Airbus)

La rivière des Pluies, au nord de l'île de La Réunion, traverse dans la partie aval de son bassin versant une zone fortement urbanisée et en développement rapide. Ce contexte anthropique associé à l'ampleur et à la fréquence de ses aléas naturels (inondations, érosion des berges, mouvements de terrain), font que cette rivière est l'un des cours d'eau de l'île les plus marqués par les activités humaines (Pouget, Garcin, 2003).

D'après le schéma d'extraction établit par la SOGREAH et le LCHF (1988), le transport solide total de la rivière des Pluies peut être évalué à 3300 T/km²/an (soit 87000 T/km²/an ou 43000 T/km²/an pour un bassin versant de 263 km²). Cette valeur est considérée comme une approche par excès du transport solide total engendré par la rivière des Pluies. L'approche quantitative des apports solides d'une telle rivière se base principalement sur l'observation topographique, l'importance et la fréquence des débits liquides, la granulométrie des fonds et le potentiel en apports solides latéraux (Pouget, Garcin, 2003).

D'après l'étude de la SOGREAH (1966) portant sur la rivière des Pluies :

- le débit d'entraînement généralisé des matériaux est estimé à 200 m³/s ;
- une crue décennale apporterait 30000 tonnes de matériaux, soit 15000 m³ environ ;
- le volume de matériaux (qui a été injecté dans le modèle réduit de la rivière des Pluies) pour maintenir son profil en long à la suite du passage de plusieurs cycles de crues représentatifs de l'histoire hydrologique sur 30 ans du bassin versant, est d'environ 33000 tonnes en moyenne annuelle, soit 16000 m³. En moyenne, la rivière apporterait donc au maximum 43000 m³/an dont 16000 m3 participerait à la formation du profil d'équilibre du cours d'eau (SOGREAH, LCHF, 1988) ;
- enfin, une pointe de débit de 600 m³/s (dépression tropicale Hyacinthe) durant 10 heures entre deux passages à 200 m³/s conduirait à un apport de 120000 tonnes environ, soit 60000 m³.

Le transfert des matériaux dans un contexte hydrologique non exceptionnel se fait progressivement au fur et à mesure des crues et conduit au rehaussement du fond du lit à l'aval (Figure 3.53). Le tracé de la rivière peut conduire à de fortes accumulations locales de matériaux et des zones à accumulations beaucoup plus faibles. Ces taux non homogènes d'accumulation des sédiments

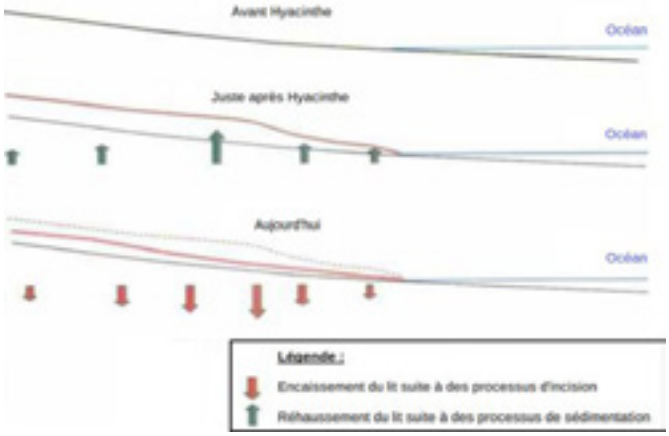


Figure 3.53 : Évolution du lit dans le cône de déjection de la rivière des Pluies, exemple de l'impact d'une crue associée à une tempête tropicale (Pouget, Garcin, 2003)

sont liés aux variations de vitesse de l'eau qui modifient la capacité de transport de la rivière en fonction de sa sinuosité. Les remontées possibles du lit de la rivière, de l'amont vers l'aval, peuvent alors être préjudiciables à la voirie et aux habitations situées sur les terrasses latérales (Pouget, Garcin, 2003).

Au niveau de la ravine de la Patate à Durand, une analyse du BRGM (Petit, 2006) a également permis d'évaluer les débits solides par le cours d'eau :

- à partir de 120 m³/s, le débit d'entraînement des matériaux solides s'amorce ;

- en période de crue décennale, le débit liquide de pointe est estimé à 170 m³/s et engendre un déplacement de volume solide compris entre 24 000 et 28 000 m³ ;
- en crue centennale, le débit liquide de pointe est estimé à 455 m³/s, ce qui provoquerait un mouvement de volume solide compris entre 80 000 et 104 000 m³.

La rivière du Mât s'étend sur un linéaire de plus de 35 km pour un bassin versant de 145 km². Dans sa globalité, le lit du cours d'eau est recouvert d'alluvions torrentielles. Le transport solide de la rivière en période de crue est estimé à 180 000 m³/an (BRGM, 1997).

Au sud, la rivière des Remparts couvre une distance de 25 km de long pour un bassin versant de 60 km². En 1965, un écroulement d'extension catastrophique (estimé à 30 millions de mètres cubes) a contribué à engraisser la vallée en matériaux solides et a rehaussé le lit de la rivière. Depuis, ces apports peinent à s'évacuer vers l'aval du cours d'eau en raison de sa faible pente ponctuée de nombreux blocs rocheux. Par ailleurs, une coulée volcanique tardive a « figé » le lit de la rivière.

Ces facteurs contribuent à affaiblir le courant en période de crue ce qui freine l'érosion du lit de la rivière. Dès lors, le cône alluvial situé à l'exutoire du cours d'eau reste très peu développé.

Lors des crues biennales, le débit solide en matériaux transportés est estimé à 50 000 m³ (valeur estimé au droit du quartier Goyave, Saint-Joseph, 2 km en amont de l'exutoire de la rivière) soit un rapport liquide/solide de 1,17 % (BRGM, 1997). En période de crue décennale, le débit solide transporté s'élève à 129 000 m³ selon les estimations du BRGM (1997), soit 1,46 % de rapport liquide/solide. En crue centennale, le débit solide transporté est évalué à 253 000 m³, soit 1,58 % de rapport liquide/solide.

Plus récemment, les études de Saint-Ange *et al.* (2011) se sont attachées à évaluer la charge solide de la rivière Saint-Denis dont le bassin versant draine environ 360 km² et comprend le cirque de Cilaos et le Bras de la Plaine. Le débit solide moyen de la rivière Saint-Étienne est supérieur à celui évalué précédemment pour la rivière des Pluies, avec environ 470 000 m³/an (hors phénomène de crue). Il peut s'élever jusqu'à 500 000 m³ lors d'une crue et jusqu'à 2 000 000 m³ lors d'une crue centennale (Saint-Ange *et al.*, 2011).

Enfin, Le Bivic (2017) a exploré au cours de sa thèse des solutions innovantes permettant de mesurer les volumes sédimentaires érodés et transportés par les cours d'eau à travers l'utilisation de données de télédétection multi-sources (acquisition et traitement de la topographie par LiDAR terrestre et par imageries optiques acquises depuis un ULM ; MNT diachroniques à partir d'anciennes imageries aériennes ; corrélation d'images SPOT-5 en contexte tropical fortement végétalisé). En effet l'intensité des crues ne permet pas une mesure précise des volumes sédimentaires transportés par les rivières durant les cyclones, car les appareils de mesures classiques ne résistent pas à ces évènements très énergétiques. Ces travaux ouvrent par conséquent de nouvelles perspectives pour affiner les connaissances sur les volumes de sédiments érodés et transportés en contexte volcanique tropical grâce au potentiel de la télédétection.

3.3.2 Les étangs et lagunes

La Réunion comporte trois masses d'eau correspondant aux étangs (DIREN, 2005) : le Grand Étang (surface en eau : 62 ha ; surface du bassin versant : 552 ha), l'étang du Gol (surface en eau : 11 ha ; surface du bassin versant : 9 720 ha) et l'étang de Saint-Paul (surface en eau : 17 ha ; surface du bassin versant : 10 627 ha) (Figure 3.54).

Un inventaire patrimonial des petites zones humides de La Réunion a également été réalisé en 2003 pour la DIREN (Lacoste, Picot, 2009) : le recensement compte 27 zones humides, classifiées selon une typologie inspirée de la typologie nationale et adaptée aux particularismes d'une île tropicale. Parmi elles se trouvent notamment les petites zones humides assimilables aux « marais et lagunes côtiers », telles que les mares littorales (accumulations d'eau de ruissellement en arrière du cordon littoral : Petit Étang, mare de l'Étang Salé) ; les petites zones humides

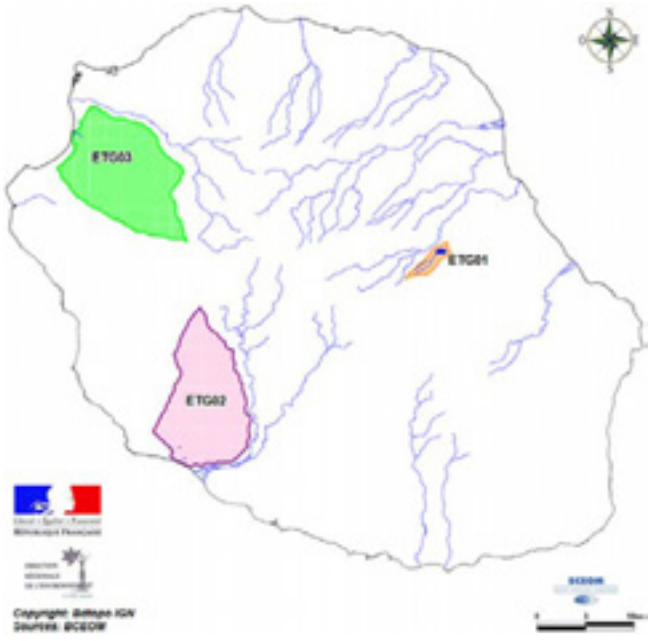


Figure 3.54 : Localisation des masses d'eau superficielles de La Réunion correspondant aux plans d'eau et leur bassin versant associé (DIREN, 2005). ETG01 : Grand Étang ; ETG02 : étang du Gol ; ETG03 : étang de Saint-Paul

assimilables aux « bordures de cours d'eau », telles que les mares alluviales (affleurements de la nappe alluviale, généralement à l'embouchure des grands cours d'eau comme la rivière des Galets, la rivière du Mât ou la rivière Saint-Étienne) (DIREN, 2005).

3.4 Changement climatique et impacts sur les facteurs hydrodynamiques

Le changement climatique actuellement constaté à partir de statistiques globales à l'échelle planétaire, est un changement durable dans le temps (de la décennie au million d'années) qui affecte les phénomènes atmosphériques, l'étendue et les mouvements des masses d'eau océaniques au contact des continents, et les conséquences terrestres des mécanismes liés au cycle de l'eau (évolution des nappes souterraines, écoulement des cours d'eau, état des plans d'eau, etc). Il impacte l'ensemble des facteurs naturels d'évolution du littoral, qu'ils soient climatiques ou hydrodynamiques. Au premier rang de ces facteurs figure l'élévation du niveau moyen de la mer.

Les connaissances de ce changement au niveau global s'appuient sur des rapports de référence émis par le GIEC6, dont le dernier rapport de 2019 traite de l'océan et de la cryosphère.

Pour traduire les évolutions climatiques en données concrètes permettant de prévoir ces modifications des phénomènes naturels, un projet nommé DRIAS7 a mis à disposition sur un portail Internet dédié des indices de température, de précipitation et de vent, ainsi que des projections climatiques régionalisées pour l'ensemble des régions métropolitaines et ultramarines. Ces données ont notamment été exploitées dans le cadre de la mission confiée à Jean Jouzel par le Ministère en charge du Développement Durable en 2010 pour l'établissement d'une « synthèse approfondie sur les scénarios de référence à considérer pour la mise en œuvre du plan national d'adaptation au changement climatique » (Peings *et al.*, 2011 ; Ouzeau *et al.*, 2014 ; Planton *et al.*, 2015).

Enfin, le littoral a fait l'objet du rapport annuel de l'ONERC au Premier Ministre et au Parlement. Ce document de référence constitue une synthèse bibliographique nationale des effets du changement climatique sur les paramètres d'évolution du littoral (ONERC, 2012, 2015).

3.4.1 Évolution des paramètres climatiques

Ne sont décrits dans la suite que les paramètres de climatologie atmosphérique ou océanique pouvant avoir un impact direct ou indirect sur l'évolution du littoral (voir Chapitre 6 Évolution générale du littoral et des fonds), notamment :

- les températures qui peuvent impacter la nature et la répartition des habitats naturels terrestres et influer sur l'évolution des côtes à falaises rocheuses ;
- les vents et évènements tempétueux (dépressions, cyclones) qui interviennent directement dans la déflation éolienne (particulièrement pour les dunes) et indirectement vis-à-vis de la formation des états de mer et des surcotes marines ;
- les précipitations moyennes et extrêmes, qui impactent les débits liquides des cours d'eau, et inversement le nombre de jours de sécheresse, qui peuvent augmenter l'érodabilité des sols, et peuvent ensemble modifier leurs apports en matières solides à la côte, participer à l'évolution des falaises par infiltration de l'eau et indirectement impacter la nature et la répartition des habitats naturels terrestres ;
- la température de l'eau, ainsi que les paramètres de salinité et de pH, qui impactent la nature et la répartition des habitats naturels marins, notamment des mangroves, herbiers de phanérogames et des récifs coralliens.

Analyser l'évolution ancienne du climat à partir de mesures météorologiques exige de disposer de données climatologiques suffisamment étendues et comparables dans le temps. En réalité, la qualité des séries de données originales n'est pas toujours irréprochable. Les manques peuvent être fréquents, les évènements susceptibles d'introduire des biais dans les séries – et donc de masquer le signal du changement climatique – sont nombreux : changement d'un capteur, déplacement d'un point de mesure ou modification de son environnement, etc. Il est donc indispensable pour toute analyse d'une série climatologique de détenir des données de qualité et de ne conserver que le signal de l'évolution climatique, en corrigeant les ruptures d'homogénéité dans la série. Les données de températures et de précipitations analysées par Météo-France pour La Réunion sont extraites des séries homogénéisées sur la période 1969-2008 (Jumaux *et al.*, 2012).

Le GIEC produit régulièrement des estimations sur les scénarios climatiques en 2100 en fonction de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre, de la démographie et des politiques économiques et environnementales.

Les projections pour le climat futur sont réalisées à l'aide de modèles climatiques prenant en compte l'atmosphère, les océans, les surfaces continentales, la banquise, etc.

Bien que ces modèles s'améliorent sans cesse, ils restent encore perfectibles.

Différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre sont introduits dans les modèles pour prendre en compte les incertitudes du développement mondial futur. Le GIEC a ainsi établi quarante scénarios. Mais seuls trois scénarios sont généralement privilégiés pour réaliser les simulations climatiques :

- le scénario A2 où les émissions de CO2 continuent de croître jusqu'en 2100 ;
- le scénario B1 où les émissions de CO2 sont presque stabilisées dès l'année 2000, puis décroissent à partir de 2050 (scénario le plus « optimiste » en matière d'émissions de gaz à effet de serre) ;
- le scénario A1B où les émissions de CO2 continuent de croître jusqu'en 2050, puis diminuent.

Du fait de la petite taille de l'île de La Réunion, les différents microclimats de l'île ne peuvent pas être simulés directement par les modèles. Néanmoins, c'est l'évolution du climat à grande échelle qui dicte l'évolution de ces microclimats (Jumaux *et al.*, 2012).

3.4.1.a Températures

Le GIEC (2013) estime que la température de l'air moyenne au niveau mondial, au niveau de la surface, s'est élevée de 0,85 °C entre 1880 et 2012 ; cette hausse est deux fois plus importante au-dessus des terres qu'au-dessus des océans. Même en l'absence d'étude spécifique sur les espaces littoraux, il est raisonnable de considérer que l'air s'y réchauffe à un taux intermédiaire entre ces deux domaines ; cette évolution des températures sur le littoral dépend de nombreux facteurs, dont le caractère insulaire ou la direction des vents dominants par rapport à l'orientation du littoral concerné (ONERC, 2015).

En 2014, la température moyenne à la surface du globe est supérieure de 0,57 ± 0,09 °C par rapport à la normale calculée pour la période 1961–1990 (14 °C). Elle dépasse de 0,08 °C la moyenne des températures de la période 2005-2014. Depuis, les années 2015 et 2016 ont battu de nouveaux records de chaleur. Au niveau mondial, les dix années les plus chaudes depuis 1880 datent d'après 1998 (ONERC, 2015).

Mais la hausse n'est pas uniforme sur le globe. Les pôles se réchauffent plus vite que les zones tropicales. Ainsi, le sud-ouest de l'océan Indien a connu un réchauffement moins rapide que certaines autres régions du monde. Les températures moyennes observées à La Réunion (Figure 3.55) ont augmenté de 0,62 °C en 40 ans, soit environ 0,15 à 0,2 °C par décennie. Ce réchauffement est identique sur la même période à celui du globe,

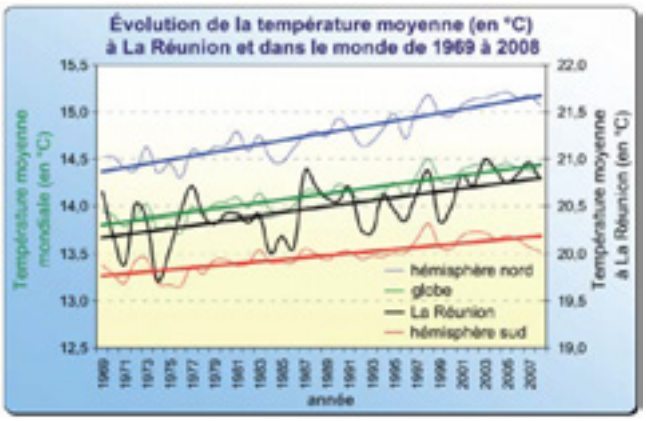


Figure 3.55 : Évolution de la température moyenne à La Réunion et dans le monde, entre 1969 et 2008 (Jumaux et al., 2012)

mais moins important que celui de l'hémisphère nord (+0,81 °C) et plus fort que celui de l'hémisphère sud (+0,43 °C) (Jumaux *et al.*, 2012). La hausse est plus marquée sur les températures maximales (+0,74 °C) que sur les températures minimales (+0,51 °C). Un réchauffement plus important est également constaté pendant la saison de l'automne austral (mars-avril-mai). Le nombre de journées ou nuits froides a diminué plus ou moins fortement, tandis que le nombre de journées ou nuits chaudes a nettement augmenté (Jumaux *et al.*, 2012).

Les modèles climatiques prévoient un maintien ou une accélération des tendances d'élévation des températures au cours du XXIe siècle. Les simulations indiquent pour 2100 une hausse des températures moyennes du globe de +1,8 à +4,0 °C selon les scénarios. Cependant, la hausse des températures serait moins importante sur les océans que sur les continents : dans l'océan Indien, le réchauffement serait ainsi un peu plus faible, avec des valeurs prévues entre +1,4 °C et +3,7 °C (Jumaux *et al.*, 2012).

Sur la zone de La Réunion (Figure 3.56), les modèles du GIEC prévoient une augmentation régulière de la température qui atteindrait à la fin du XXIe siècle, en moyenne (Figure 3.56) : +1,5 °C pour le scénario B1 ; +2,1 °C pour le scénario A1B ; +2,8 °C pour le scénario A2.

Dans l'état actuel des connaissances, il est encore dificile de dresser des projections détaillées à l'échelle locale de La Réunion (ONERC, 2015). Le modèle ARPEGE de Météo-France, à maille plus fine que les modèles climatiques du GIEC (forcé selon les hypothèses du scénario A2), a permis d'effectuer une simulation pour la période 2041-2070, dont les résultats montrent que l'été austral serait la saison qui connaîtrait le plus fort réchauffement, alors que pendant l'hiver la hausse des températures serait plus modérée (Jumaux *et al.*, 2012).

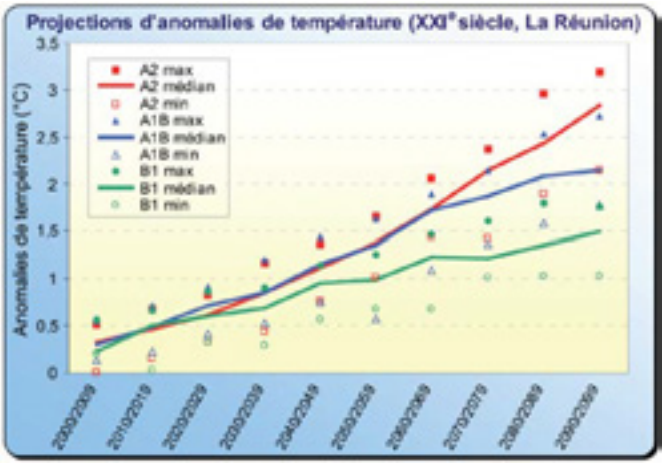


Figure 3.56 : Projections d'anomalies de température à La Réunion, selon divers scénarios du GIEC, pour la fin du XXIe siècle (Jumaux et al., 2012)

D'autres variables climatiques comme les vents, les évènements météorologiques extrêmes (tempêtes, cyclones), les précipitations et la sécheresse peuvent également changer, mais les tendances sont moins marquées ou plus incertaines que celles concernant la température.

3.4.1.b Vents et tempêtes

L'évolution future de l'activité cyclonique, des tempêtes tropicales, du nombre de jours d'orage, des régimes de vent restent à déterminer à l'échelle régionale. Selon le cinquième rapport du GIEC (2013), aucune tendance n'est, dans l'état actuel des connaissances, décelable sur le nombre de systèmes tropicaux affectant l'océan Indien durant les quarante dernières années, en raison de leur forte variabilité interannuelle et inter-décennale.

L'évolution du régime des alizés est un axe primordial de recherche pour la compréhension du climat réunionnais futur, tant l'influence de ce régime prédominant est importante sur la répartition géographique des microclimats de l'île. L'incidence, la force et le degré d'humidité des alizés sont autant de critères qui agissent sur la répartition des zones microclimatiques à La Réunion (Jumaux *et al.*, 2012).

Les modèles climatiques permettent de simuler l'évolution des anticyclones à l'origine des alizés qui soufflent sur les côtes réunionnaises. Le modèle ARPEGE met ainsi en évidence deux tendances sur l'évolution du régime des alizés à l'horizon 2100 (**Figure 3.57**) :

- une plus forte intensité pendant l'hiver, avec le renforcement de l'anticyclone des Mascareignes ;
- peu de variation concernant la direction moyenne de provenance des alizés. Les côtes les plus ventées resteraient donc les façades nord-est et sud-ouest de l'île.

Des études supplémentaires, plus approfondies, permettraient de mieux connaître le régime des alizés – et par conséquent le climat réunionnais – du XXIe siècle.

Le lien entre activité cyclonique et réchauffement climatique n'est pas clairement établi, car les modèles de climat expriment encore assez mal le phénomène. Il

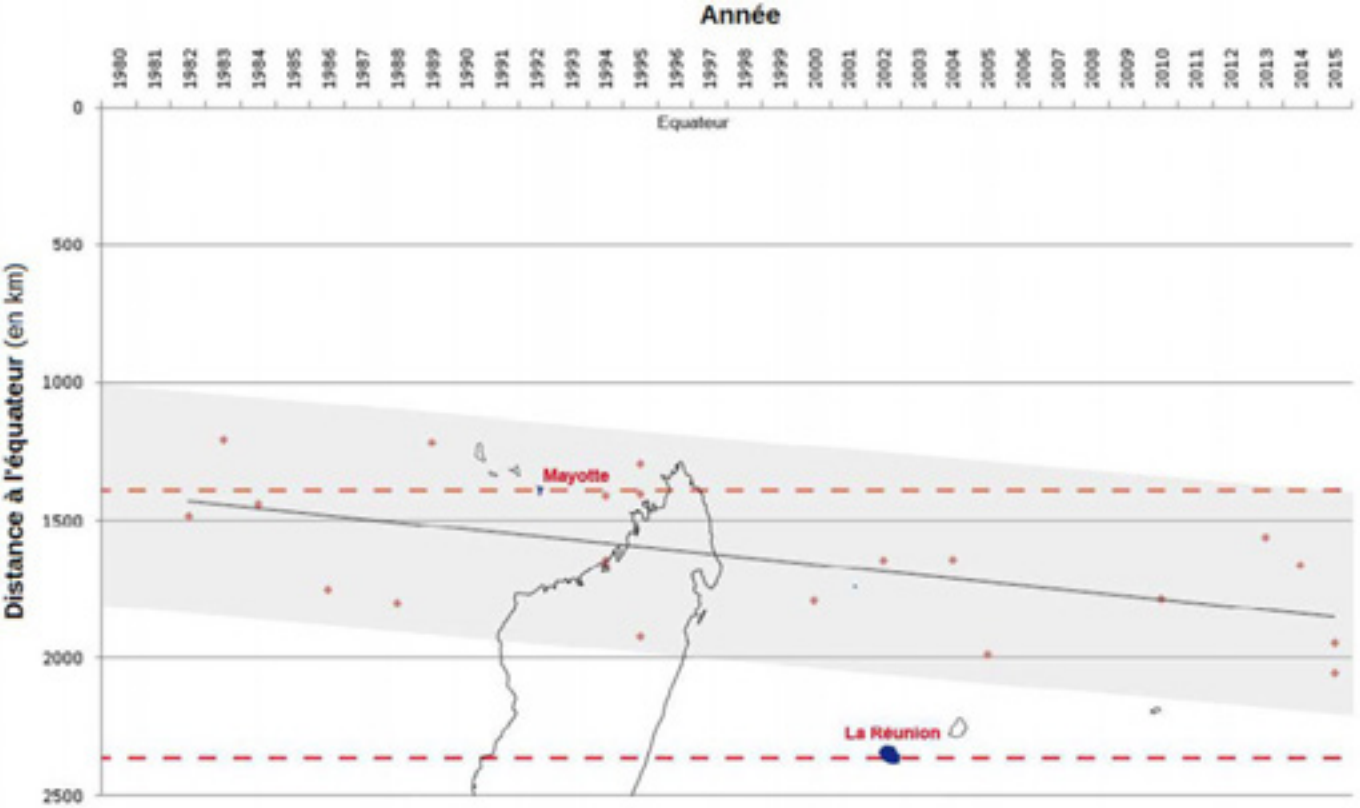


Figure 3.58 : Évolution de la distance à l'équateur du maximum d'intensité des cyclones très intenses ayant traversé le sud-ouest de l'océan Indien entre 1980 et 2015 (source : Météo-France La Réunion). La carte en arrière-plan sur le graphique n'est là que pour se rendre compte du positionnement du maximum des cyclones très intenses (CTI) par année en latitude mais, en aucun cas, en longitude

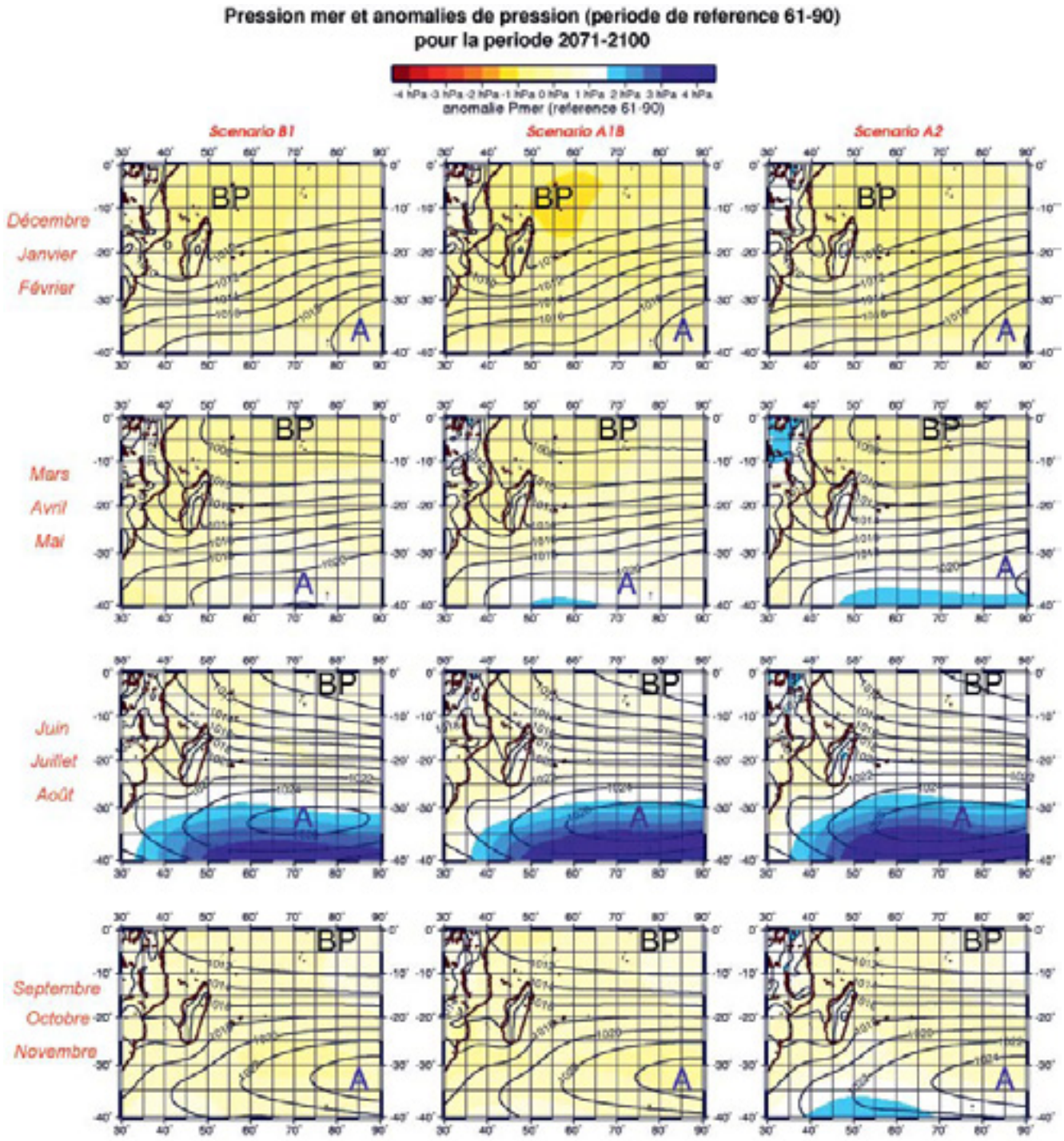


Figure 3.57 : Simulations du modèle ARPEGE des évolutions de la pression atmosphérique au niveau de la mer par saison et par scénario, pour la période 2071-2100 (Jumaux et al., 2012)

semblerait tout de même que le climat futur observe une baisse du nombre de cyclones avec, en contrepartie, une augmentation des systèmes tropicaux intenses et des précipitations associées, mais évoluant à des latitudes plus australes (Jumaux *et al.*, 2012).

Les travaux de Météo-France ont mis en évidence un déplacement des pics d'intensité des cyclones très intenses (CTI) vers le sud, sur les trente dernières années, dans le sud-ouest de l'océan Indien (**Figure 3.58**). Cette tendance confirme les récents travaux publiés par Kossin *et al.* (2014) à l'échelle globale.

3.4.1.c Précipitations et sécheresse

Le changement climatique impacte aussi les régimes de précipitations à l'échelle du globe. Sur les vastes bassins océaniques comme le sud-ouest de l'océan Indien, le nombre insuffisant de points de mesure ne permet pas de constater une quelconque modification du régime des précipitations. Depuis les années 1970, une propension à la baisse des précipitations apparaît sur la moitié sud-ouest de l'île et sur la côte nord (**Figure 3.59**). Le nombre de jours de précipitations a fortement diminué sur l'ensemble de l'île tandis qu'aucune évolution fiable ne peut être déduite sur la fréquence des épisodes de précipitations extrêmes (Jumaux *et al.*, 2012).

Seule le sud-ouest de La Réunion subit une évolution statistiquement significative à la baisse (entre -6 % et -8 % par décennie). Sur les autres secteurs, les tendances restent faibles et insignifiantes au regard de la variabilité propre du phénomène (source : Météo-France La Réunion).

L'élaboration de tendances climatiques sur les phénomènes extrêmes tels que les fortes pluies ou encore la sécheresse est complexe du fait des échantillons trop limités marqués par une forte variabilité interannuelle et interdécennale. Aucune tendance n'est pour le moment exprimée quant à l'occurrence des épisodes de pluies intenses à La Réunion (source : Météo-France La Réunion).

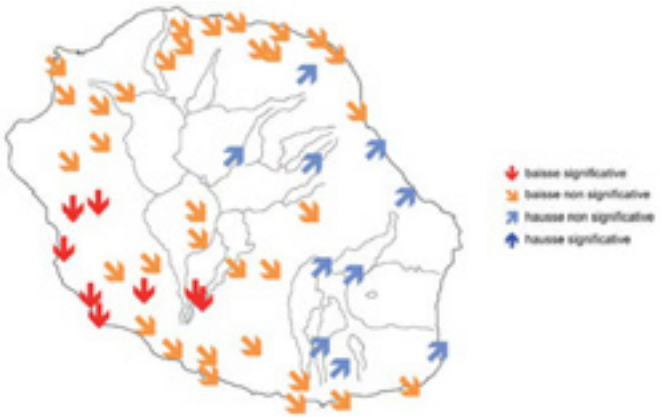


Figure 3.59 : Évolution du cumul des précipitations annuelles à La Réunion, entre 1969 et 2008 (Jumaux et al., 2012)

Les particularités du régime des précipitations liées aux milieux littoraux et insulaires sont plus difficiles à discerner que celles du régime des températures (ONERC, 2015). Il est aujourd'hui difficile d'apporter plus de précisions que celles déductibles des simulations globales réalisées par le GIEC ; ces évolutions sont par ailleurs moins consensuelles entre les différents modèles climatiques que pour les températures (**Figure 3.60Figure 3.59**). L'évolution des précipitations relève d'une forte incertitude qui nécessite de prendre avec précaution les valeurs moyennes, pouvant masquer de fortes disparités locales (Ouzeau *et al.*, 2014).

La majorité des modèles prévoient une augmentation généralisée sur l'ensemble de la zone intertropicale des taux de précipitations extrêmes, avec des valeurs relativement faibles pouvant toutefois dépasser localement les +5 % à l'horizon 2081-2100 en fonction

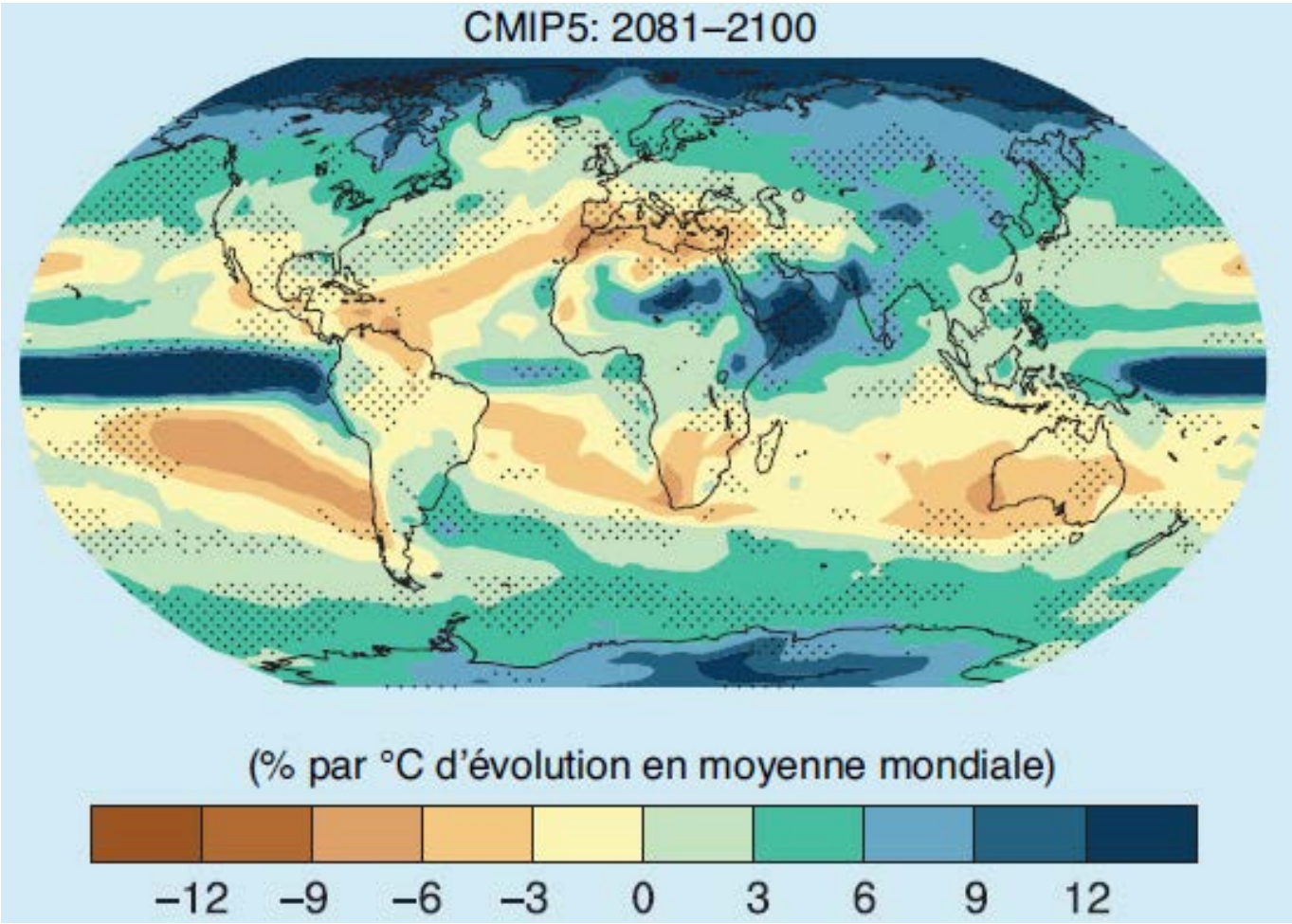


Figure 3.60 : Configuration de l'évolution des précipitations en pourcentage selon la moyenne des modèles utilisés dans Climate Models Intercomparison Project 5 (CMIP5), mise à l'échelle selon l'évolution correspondante de la température moyenne mondiale. La configuration a été obtenue en calculant la différence entre les moyennes des années 2081-2100 et 1986-2005 et en remettant à l'échelle chaque différence selon l'évolution correspondante de la température moyenne mondiale (source : GIEC, 2013)

du modèle et du scénario testé ; dans le détail, les modèles montrent une forte disparité entre territoires, sans tendance locale nette (Ouzeau *et al.*, 2014).

Dans l'océan Indien, les projections des précipitations annuelles font apparaître une tendance de -2 % à +20 % selon les modèles par rapport au climat actuel. Sur la zone de La Réunion, la moyenne des modèles prévoit une légère baisse des précipitations pour la fin du XXI^{e} siècle (entre -6 % et -8 % selon les scénarios) mais avec une dispersion qui varie de -36 % à +21 % selon les modèles (Figure 3.61).

Les modèles saisonniers semblent s'accorder sur une baisse plus marquée des précipitations pendant l'hiver austral (saison sèche). En effet, le modèle ARPEGE indique pour la période 2071-2100 une baisse des précipitations en hiver qui varie de -5 % à -18 % (par rapport au climat actuel) selon les scénarios (Jumaux *et al.*, 2012). En été (saison des pluies), la modélisation suggère une augmentation des précipitations (+10 à +20 %) et un allongement de la période concernée par les évènements pluvieux extrêmes vers les mois d'avril et mai (source : Météo-France La Réunion).

La simulation ARPEGE prédit pour la période 2041-2070 une baisse des précipitations sur l'ensemble de l'île. Les périodes sèches seraient plus longues, principalement sur la façade « sous le vent », aggravant ainsi les épisodes de sécheresse sur une zone déjà peu arrosée pendant la saison sèche. Les épisodes pluvieux extrêmes deviendraient un peu plus abondants (Jumaux *et al.*, 2012). À l'échelle de l'île, le renforcement des alizés pourrait exacerber les inégalités de pluviométrie entre les zones « au vent » et les zones « sous le vent » (source : Météo-France La Réunion).

L'évolution du régime des pluies et des périodes de sécheresse a par ailleurs une incidence directe sur le comportement des cours d'eau, dont certains peuvent être contributeurs non négligeables dans le bilan sédimentaire de l'île. Les déficits de ressource en eau pourraient s'accentuer pendant la période de sécheresse, augmentant ainsi les risques de feu de forêt et réduisant la capacité de fixation des sols pour cause de dépérissement de la végétation. Cette incidence et les modifications prévisibles sont abordées plus loin (voir 3.4.2.d Évolution des paramètres hydrodynamiques).

3.4.1.d Température, salinité et pH de l'eau

L'accélération du changement climatique est principalement liée à l'émission des gaz à effet de serre d'origine anthropique. Le CO_2 est le gaz à effet de serre le plus produit par les activités humaines. Il est responsable de 63 % du réchauffement de la planète causé par l'Homme. Les mers et les océans stockent

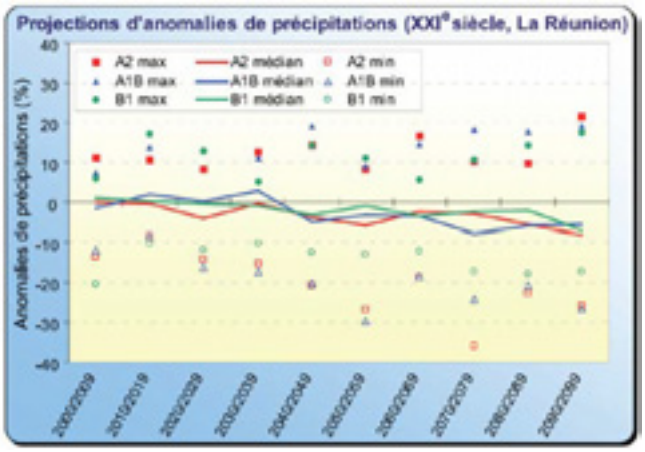


Figure 3.61 : Projections d'anomalies de précipitations à La Réunion (Jumaux et al., 2012)

une grande quantité de carbone et jouent un rôle central dans son cycle, à la rencontre entre l'atmosphère, l'environnement physique et le vivant. Ils contribuent à diminuer la concentration de CO_2 atmosphérique et limitent les effets du changement climatique.

Le changement climatique peut perturber les équilibres océaniques. Une augmentation de la température moyenne des océans peut bouleverser les écosystèmes et provoquer une hausse significative du niveau de la mer par dilatation des eaux et par fonte des glaces présentes sur les continents. Le bouleversement du cycle du carbone implique également une acidification progressive des masses d'eau du fait de l'augmentation des concentrations en gaz carbonique.

Alors que la hausse des températures de l'air au-dessus des océans et des continents est variable selon les régions, la hausse de la température de la surface de la mer est observée par les satellites depuis 1995 sur la quasi-totalité des domaines maritimes proches des territoires français métropolitains et ultramarins (ONERC, 2015).

L'océan est naturellement stratifié en température, avec des eaux relativement chaudes en surface, séparées des eaux froides profondes par une zone de variation thermique rapide appelée thermocline (voir 3.1.2 Climatologie océanique). Le réchauffement des eaux de surface contribue à intensifier cette différence verticale et à isoler davantage les eaux de fond. Les 500 premiers mètres se sont réchauffés depuis 1955, avec des périodes de stagnation, entrecoupées d'accélération au début des années 1970 et dans les années 1990 (Figure 3.62). Ce réchauffement est en outre accéléré par la circulation océanique : ainsi l'Atlantique Nord se réchauffe plus vite en profondeur que les régions tropicales ou le Pacifique (CGDD, 2011).

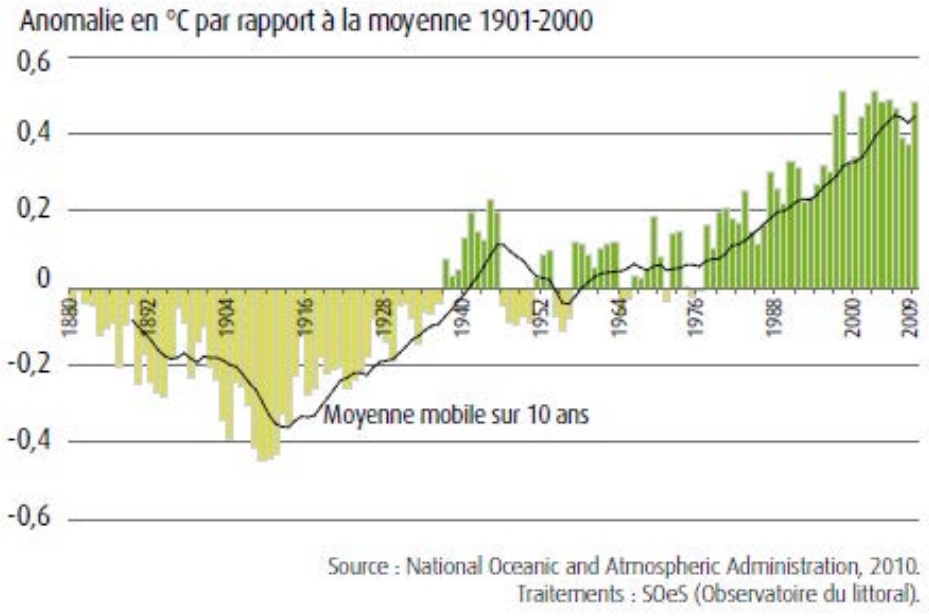


Figure 3.62 : Évolution de la température moyenne des eaux de surface des océans depuis 1880 et anomalie en degrés (°C) par rapport à la moyenne 1901-2000 (source : traitements réalisés par SOeS Observatoire du Littoral – National Oceanic and Atmospheric Administration, 2010)

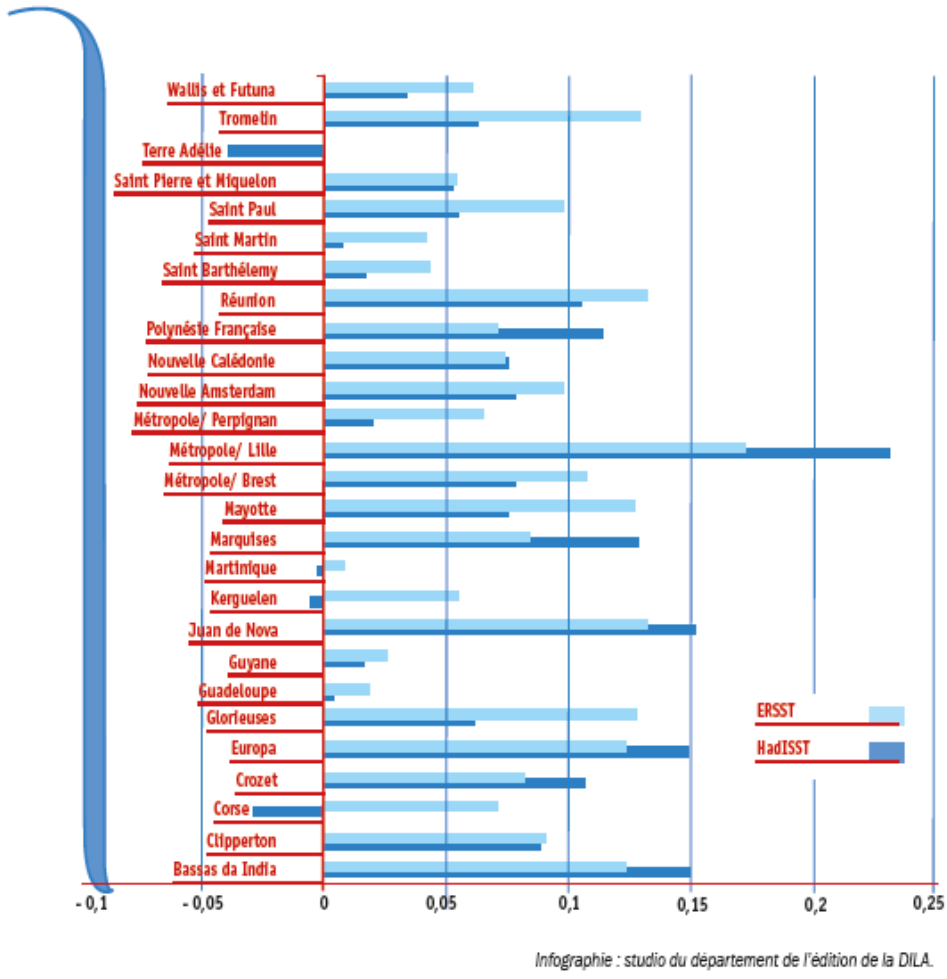


Figure 3.63 : Taux de variation de la température de surface de la mer (en °C/décennie) sur la période 1995-2005 autour de 27 sites proches des territoires français métropolitains et ultramarins (source : ONERC, 2015). ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) et HadISST (Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature data set) sont deux séries de données mondiales de la température de surface de l'océan fournies respectivement par la NOAA (USA) et le Met Office (UK)

D'après le GIEC (2013), les océans absorbent plus de 80 % de la chaleur ajoutée au système climatique du fait des dérèglements en cours. La température moyenne de la mer en surface a augmenté depuis une trentaine d'années dans de nombreux secteurs maritimes (**Figure 3.63**).

La stratification océanique est également impactée par la quantité d'eau reçue, ou perdue en surface par l'océan, par les échanges avec l'atmosphère, qui se traduit en variation de concentration en salinité. Les profils océaniques gardent la trace des modifications des champs de précipitations telles qu'elles sont illustrées par la **Figure 3.60**, avec une diminution de la salinité dans les régions de convergence intertropicales et une augmentation de la salinité dans la ceinture tropicale (CGDD, 2011).

La stratification océanique contrôle les échanges entre l'océan de fond et les eaux de surface ; elle est importante pour les écosystèmes marins établis pour la plupart dans les eaux de surface et impacte également la dynamique océanique globale (CGDD, 2011).

Le pH des océans diminue du fait de l'absorption du CO_2 atmosphérique dans les eaux superficielles, puis dans les eaux plus profondes par mélange, ce qui produit de l'acide carbonique8. Le pH de l'océan superficiel a ainsi diminué de 0,1 en moyenne sur le globe depuis le début de l'ère industrielle (GIEC, 2013). L'équilibre chimique entre les formes de carbonate dissous confère un puissant pouvoir tampon à l'eau de mer et est une raison du maintien du pH des eaux marines superficielles dans un intervalle relativement

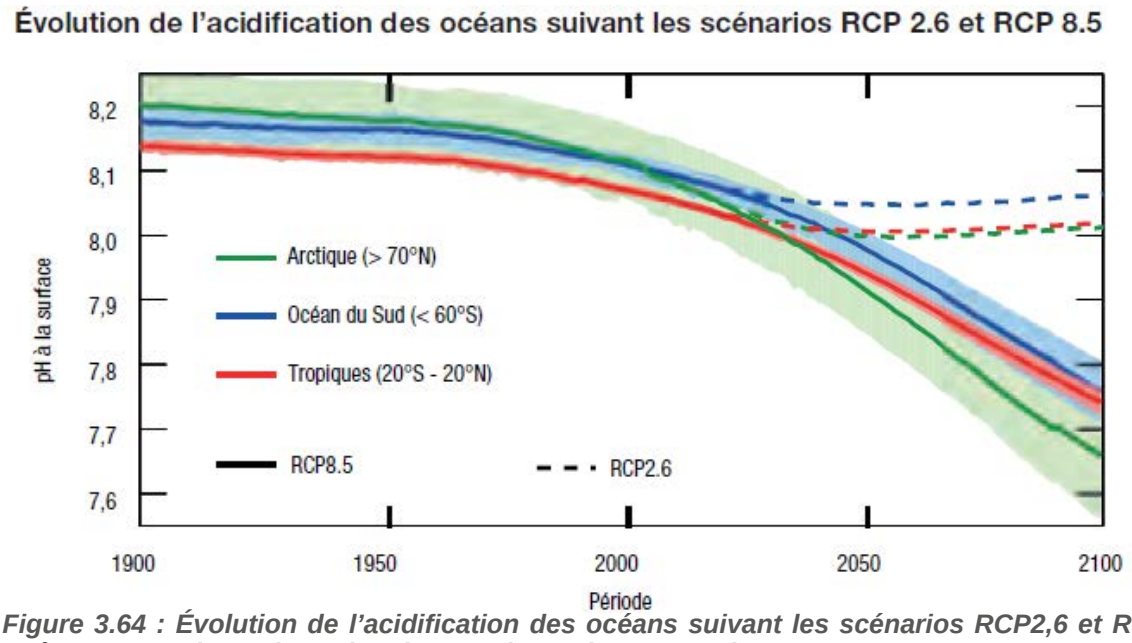


Figure 3.64 : Évolution de l'acidification des océans suivant les scénarios RCP2,6 et RCP8,5 dans les océans Antarctique, du Sud et des Tropiques (GIEC, 2013)

étroit (pH ≈ 8,1 en moyenne), avec des fluctuations de ± 0,3 unités attribuables à plusieurs facteurs tels que la variabilité saisonnière (augmentation du pH avec la température), les conditions hydrodynamiques (upwelling, i.e. remontée d'eau profonde riche en CO_2), ou autres conditions régionales (influence des bassins versants en domaine côtier) (CGDD, 2011).

Dans les eaux de surface, les valeurs les plus élevées du pH correspondent aux zones de forte productivité, où le CO_2 sous forme de carbone inorganique dissous est fixé par le phytoplancton. À l'échelle de l'océan mondial, cette « pompe biologique » crée un gradient surface/fond qui mobilise une quantité de carbone inorganique dissous 3,5 fois supérieure à celle du CO_2 atmosphérique. Cependant, la solubilité du CO_2 diminue avec l'augmentation des températures, d'où un entraînement d'eaux enrichies en CO_2 vers le fond aux hautes latitudes et une solubilité qui diminue aux basses latitudes, allant jusqu'à dégazer du CO_2 dans les régions chaudes. La « pompe de solubilité » contribue ainsi aujourd'hui à environ 30 à 40 % du gradient surface/fond du carbone inorganique dissous, les deux autres tiers de ce gradient étant attribuables à la pompe biologique (CGDD, 2011).

D'après le GIEC, l'acidité des océans a augmenté de près de 30 % et le pH est passé de 8,2 à 8,1 entre 1900 et 2000. Les plus forts niveaux d'acidification sont mesurés aux fortes latitudes, dans les océans Atlantique et Austral.

Les simulations du GIEC prévoient une baisse du pH comprise entre 0,14 et 0,35 pour la fin du siècle. L'échelle de pH étant logarithmique, ces variations de pH correspondent à des augmentations de la concentration en ion H_3O^+ (responsable de l'acidité) respectivement de 40 % et 120 % (Figure 3.64).

L'acidification des océans devrait s'accentuer au cours du prochain siècle, à un taux dépendant des émissions futures de CO_2 (GIEC, 2013). Elle devrait impacter de nombreux processus biogéochimiques régissant la vie de nombreux organismes et micro-organismes marins (notamment plancton, crustacés, mollusques et coraux), la dépendance au calcium étant par nature très sensible à l'acidité de l'eau (ONERC, 2015 ; PIGB, COI, SCOR, 2013 ; CGDD, 2011).

Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (Nellemann *et al.*, 2008) estime que 80 % des récifs coralliens pourraient mourir en quelques décennies sous l'effet combiné de la hausse de la température et de l'acidification des océans. L'acidification peut également potentiellement accélérer l'érosion des structures côtières calcaires.

3.4.2 Évolution des paramètres hydrodynamiques

Ne sont décrits dans la suite que les paramètres et mécanismes hydrodynamiques pouvant avoir un impact direct ou indirect sur l'évolution du littoral, notamment :

- le niveau marin, dont l'élévation avérée va modifier la propagation des ondes marines à la côte, la déformation des vagues, les surcotes/décotes et les courants marins, modifiant profondément l'ensemble des forçages hydrodynamiques affectant actuellement les côtes basses meubles et, dans une moindre mesure, les côtes rocheuses ;
- les états de mer, impactés par l'élévation du niveau moyen de la mer et les modifications potentielles

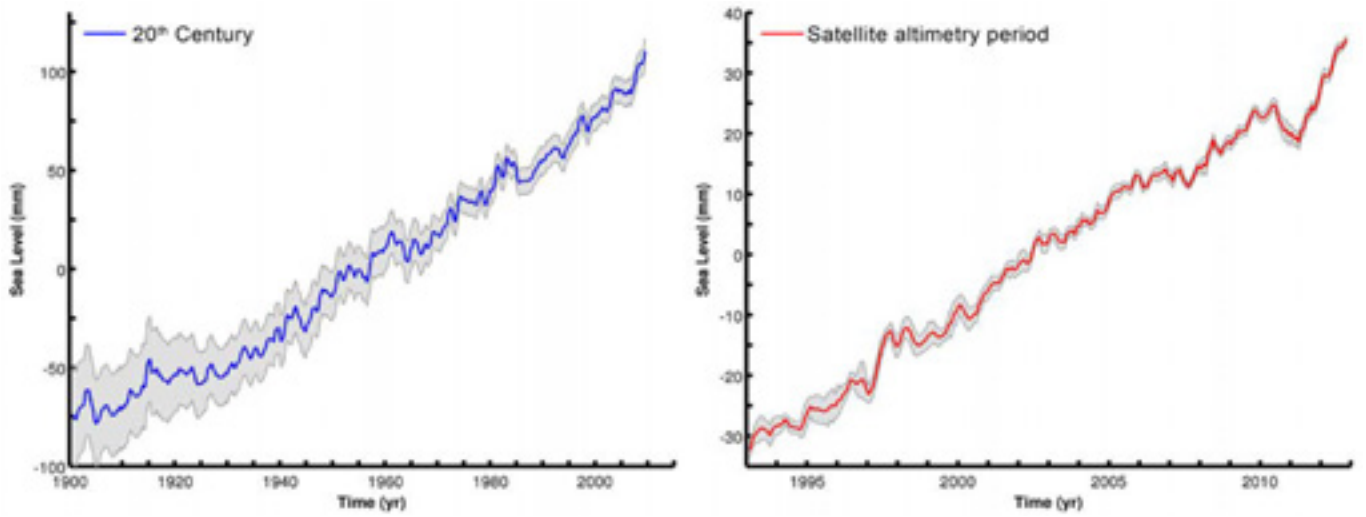


Figure 3.65 : Évolution du niveau moyen global de la mer, estimée à partir de la reconstruction de Church et White (2011) sur le XXe siècle et à partir de l'altimétrie spatiale sur la période 1993-2012 : Le grisé représente l'incertitude associée à la courbe, les cycles annuels et semi-annuels ont été enlevés

des champs de vent et de surcote, qui modifieront les conditions de transport sédimentaire à la côte ;

- les courants marins généraux, en lien avec la circulation océanique, qui pourront modifier les transports sédimentaires du large à la côte ;
- les débits liquides des cours d'eau, qui pourront modifier leurs apports en matières solides à la côte et par conséquent les stocks sédimentaires côtiers ;
- l'hydrologie des zones basses (estuaires, marais, lagunes) ainsi que la salinisation des eaux côtières souterraines qui impacteront la nature et la répartition des habitats naturels terrestres et marins.

Ces facteurs d'évolution sont liés les uns aux autres, et leurs effets peuvent se conjuguer et ainsi s'amplifier ou au contraire se modérer mutuellement. Si l'élévation actuelle du niveau moyen de la mer modifie déjà l'extension des zones terrestres atteintes par la mer en conditions normales et pendant les tempêtes, elle se combine selon les conditions météorologiques et les états de mer à des forçages très énergétiques et ponctuels dans le temps (vagues, surcotes, etc) qui affecteront d'autant plus les côtes basses meubles. Cela touchera également, dans une moindre mesure ou selon des mécanismes différents, les côtes rocheuses de l'île de La Réunion.

3.4.2.a Niveau marin

Depuis le minimum du dernier âge glaciaire, il y a environ 21 000 ans B.P., le niveau moyen de la mer s'élève à une vitesse moyenne au niveau mondial qui s'est stabilisée à 0,5 mm/an au cours des deux à trois derniers millénaires (avec des variations inférieures à 6 cm par siècle ; (Planton *et al.*, 2015)). Cette vitesse s'est accélérée au cours du XXe siècle (**Figure 3.65**) avec le réchauffement climatique, principalement du fait de la dilatation thermique des océans et de la fonte et/ou l'écoulement des glaciers de montagne et calottes du Groenland et de l'Antarctique (**Tableau 3.22**), pour atteindre (Planton *et al.*, 2015) :

- 1,7 ± 0,2 mm/an sur la période 1901-2011 (Wöppelmann et al., 2009 ; Church, White, 2011 ; Wenzel, Schröter, 2014);

Tableau 3.22 : Estimations (en mm/an) des principales contributions à la variation du niveau moyen global des océans pour les périodes 1971-2010, 1993-2010 et 2005-2013 (sources : Church et al., 2013 ; Llovel et al., 2014 ; Planton et al., 2015). La somme de ces contributions est comparée aux observations des variations du niveau de la mer. Les incertitudes pour les sommes sont calculées en combinant les diverses incertitudes (racine de la somme des incertitudes au carré)

		1971-2010 (en mm/an)	1993-2010 (en mm/an)	2005-2013 (en mm/an)
Source	Expansion thermique	0,8 ± 0,3	1,1 ± 0,3	0,9 ± 0,15
	Glaciers	0,68 ± 0,4	0,76 ± 0,4	-
	Groenland	-	0,33 ± 0,08	-
	Antarctique	-	0,27 ± 0,11	-
	Modifications du cycle hydrologique	0,12 ± 0,10	0,38 ± 0,11	-
	Masse de l'océan (d'après GRACE)	-	-	2,0 ± 0,1
Somme des contributions		-	2,8 ± 0,5	2,9 ± 0,38
Observations		2,0 ± 0,3	3,2 ± 0,4	2,8 ± 0,35
Différence (observations-somme)		-	0,4 ± 0,6	-0,1 ± 0,34

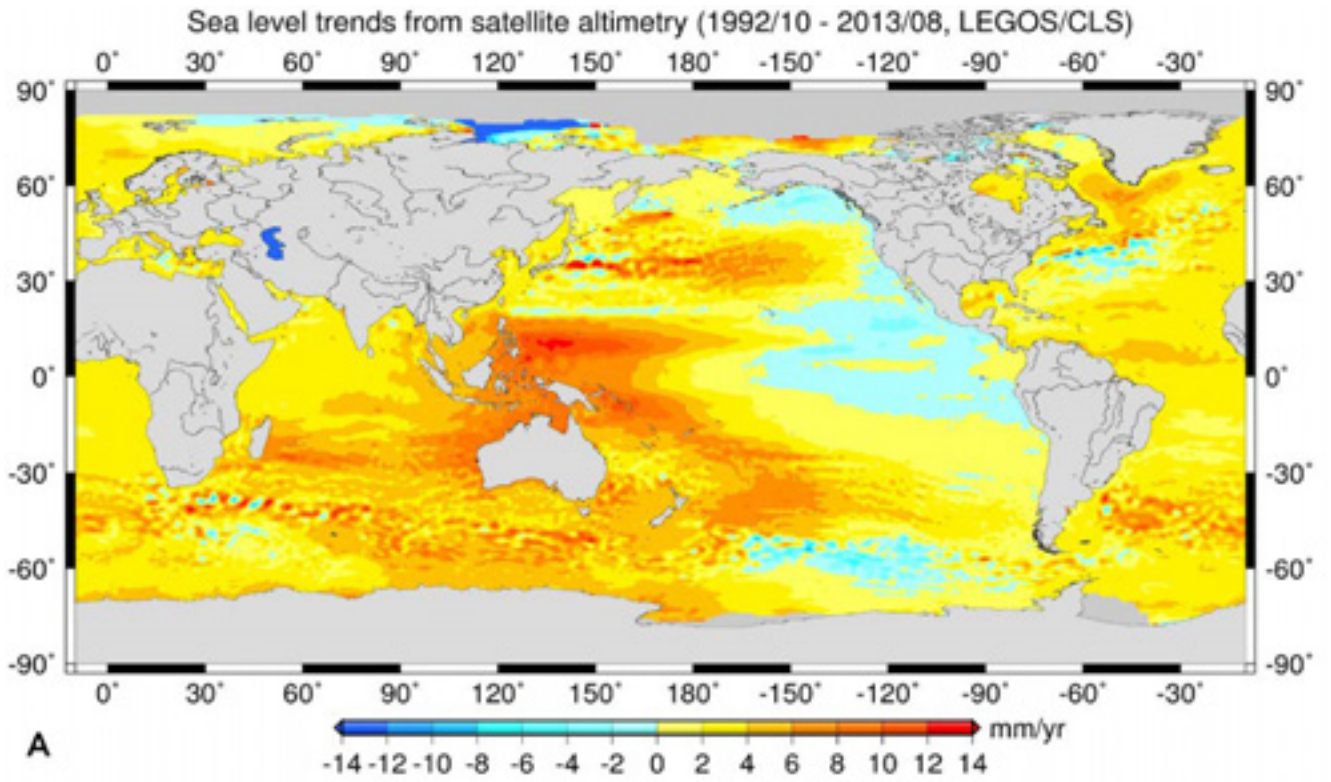


Figure 3.66 : Distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer (1992-2013) d'après les mesures altimétriques de Topex/Poséidon, Jason-1 et 2, ERS-1 et 2 et Envisat (Planton et al., 2015)

- 3,2 ± 0,4 mm/an sur la période 1994-2014 (Nerem et al., 2010 ; Cazenave et al., 2014).

Cette élévation mondiale connaît des disparités locales, mesurées par les marégraphes depuis le XIX^{e} siècle et par l'altimétrie spatiale depuis les années 1990 (**Figure 3.66**). La variabilité régionale des vitesses d'élévation de la mer est principalement due à l'expansion thermique non uniforme de l'océan (Church *et al.*, 2013 ; Planton *et al.*, 2015). Les projections d'élévation moyenne du niveau de la mer à l'échelle mondiale sont estimées entre 0,26 et 0,82 m à la fin du siècle selon le scénario RCP envisagé, par rapport au niveau actuel (**Figure 3.67** et **Tableau 3.23**) ; le niveau continuera de monter au-delà de ces valeurs au XXII^{e} siècle, du fait de la forte inertie des océans (Planton *et al.*, 2015). Il est ainsi très probable que le taux d'augmentation du niveau moyen global de la mer au XXI^{e} siècle sera supérieur au taux observé au cours de la période 1971-2010, pour tous les scénarios RCP (Planton *et al.*, 2015).

La distribution régionale de la montée des océans reste cependant difficile à prévoir, car elle dépend de nombreux paramètres : température de l'océan, salinité, courants marins, pression atmosphérique de surface, apports d'eaux continentales, mais aussi des déformations de la surface du sol et du champ de gravité (GIEC, 2013 ; Planton *et al.*, 2015). Le cinquième rapport du GIEC présente néanmoins les disparités régionales d'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2090, telles que prévues par la moyenne d'ensemble des modèles climatiques globaux, en tenant compte de ces phénomènes (**Figure 3.68**). Cette avancée récente constitue un progrès pour estimer à l'échelle régionale l'évolution future de la mer, mais elle reste associée à certaines incertitudes liées à la variabilité interne du système. Le travail de descente d'échelle sur les côtes françaises métropolitaines et d'outre-mer reste à produire (ONERC, 2015).

Les estimations du GIEC ne tiennent pas compte des incertitudes liées à la fonte des calottes polaires

Tableau 3.23 : Projections de l'élévation du niveau moyen global de la mer à la fin du XXI^{e} siècle (en mètres) pour 2046-2065 et 2081-2100 par rapport à 1986-2005. Les fourchettes de valeurs données pour chaque scénario d'émission correspondent à une probabilité de 67 % (changement « probable ») (d'après GIEC, 2013 ; Planton et al., 2015)

Scénario	Fourchettes des moyennes d'élévation du niveau de la mer (en m)	
	2046-2065	2081-2100
RCP2,6	0,17-0,31	0,26-0,55
RCP4,5	0,19-0,33	0,32-0,63
RCP6,0	0,18-0,32	0,33-0,63
RCP8,5	0,22-0,37	0,45-0,82

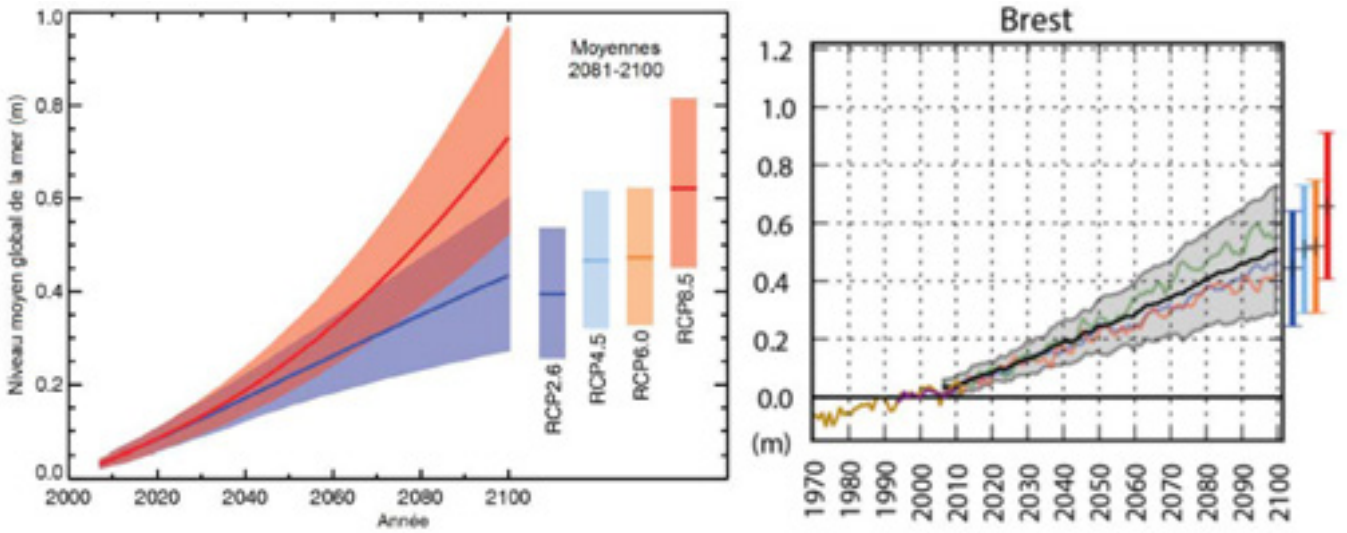


Figure 3.67 : Projection de l'élévation du niveau moyen global de la mer au XXIe siècle relativement à 1986-2005 pour les deux scénarios d'émission RCP2,6 et RCP8,5 : À gauche, les plages de couleur autour des courbes correspondent à l'intervalle d'un changement « probable » (67 % de chances) ; les barres verticales correspondent à un changement « probable » de la moyenne sur la période 2081-2100 pour tous les scénarios RCP, et les barres horizontales aux valeurs médianes associées (d'après GIEC, 2013 ; Planton et al., 2015). À droite, les lignes jaunes puis mauve représentent respectivement les niveaux observés au marégraphe, puis par satellite à partir de 1993 ; la région grisée représente l'intervalle de confiance à 90 % pour 21 simulations utilisées dans Climate Models Intercomparison Project 5 (CMIP5) pour le scénario RCP4,5, les lignes de couleur représentant les réalisations de 3 modèles tirés au hasard et la ligne noire la moyenne de l'ensemble ; les barres verticales de couleur représentent la moyenne et la dispersion de l'ensemble (intervalles de confiance à 5 % et à 95 %) obtenue en 2100 pour les scénarios RCP2,6 (bleu foncé), RCP4,5 (bleu clair), RCP6,0 (jaune) et RCP8,5 (rouge) (d'après Church et al., 2013)

continentales et de nombreux chercheurs à travers le monde pensent qu'elles sont probablement trop optimistes. Ainsi, dans le cadre de travaux interministériels sur l'impact du changement climatique et l'adaptation aux risques côtiers en 2009, l'hypothèse d'une élévation d'un mètre a été retenue.

Les modèles projettent une forte variabilité régionale des changements du niveau marin pour le XXIe siècle. Les résultats des simulations sont très différents d'un modèle à l'autre, si bien qu'il est difficile de dire, pour l'instant, quelle sera plus particulièrement l'élévation du niveau de la mer sur les côtes de La Réunion (Jumaux *et al.*, 2012).

Le niveau de la mer local est influencé par tout type de déplacement vertical de la surface de l'océan mais aussi du fond marin, du champ de gravité, et de la surface du sol. Ces déplacements peuvent être dus à des mouvements du sol d'origine naturelle (mouvements d'origine tectonique, volcanique) ou anthropique (extractions d'eau ou d'hydrocarbures) : lorsque la surface du sol s'enfonce (phénomène de subsidence),

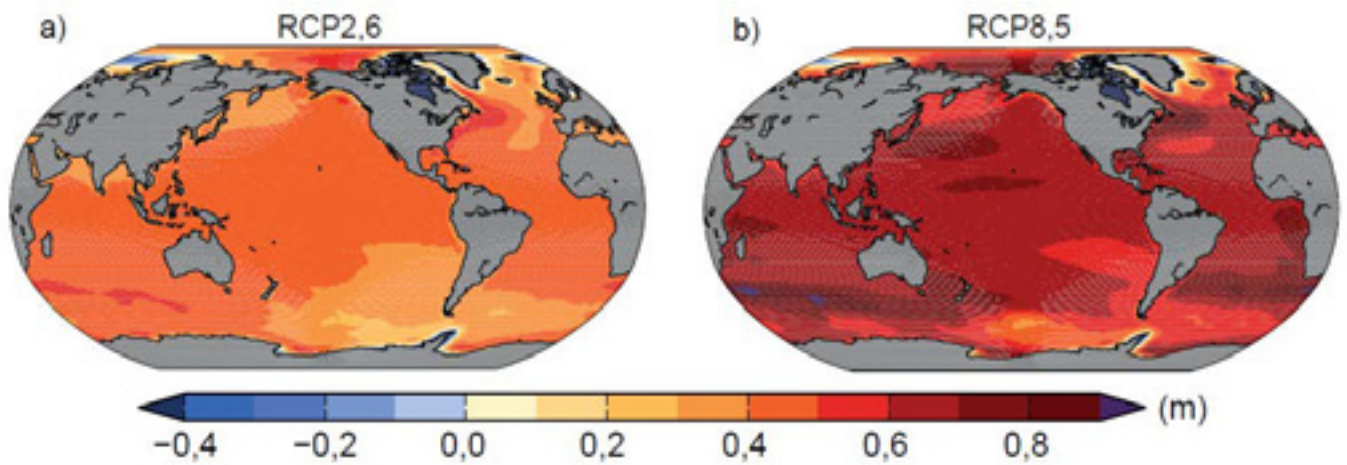


Figure 3.68 : Évolution relative du niveau de la mer pour la période 2081-2100 par rapport à 1986-2005 pour les deux scénarios d'émission RCP2,6 et RCP8,5 : Les calculs prennent en compte les changements de température, salinité et courants simulés par 21 modèles du GIEC. Les figures incluent aussi les effets sur le niveau de la mer des variations régionales de la pression atmosphérique, de l'ajustement isostatique glaciaire et les échanges d'eau avec les terres émergées (d'après GIEC, 2013 ; Planton et al., 2015)

l'élévation du niveau marin devient plus rapide (Planton *et al.*, 2015). De tels phénomènes sont notamment observés à La Réunion (**Figure 3.69**) : des données de nivellement ont mis en évidence une surrection du massif volcanique de La Fournaise de l'ordre de 50 mm entre 1958 et 1989, alors que d'autres secteurs sont en subsidence (Bulteau *et al.*, 2015).

À travers leurs travaux, Bulteau *et al.* (2015) ont mis en évidence des zones en subsidence à La Réunion, où le niveau de la mer s'élève plus rapidement au nord-est, et des zones en surrection au sud-est, où il s'élève moins rapidement. Ces dernières zones correspondent au massif de la Fournaise, ce qui suggère un mouvement du sol d'origine volcanique. Sur la même période, le niveau de la mer s'est élevé d'environ 1 mm/an à La Réunion (Palanisamy *et al.*, 2014). Ainsi, le niveau de la mer est resté stable sur la partie sud-est, alors qu'il s'est élevé de 2 mm/an au nord-est. Des observations complémentaires sont nécessaires pour savoir si ces mouvements du sol sont linéaires dans le temps ou non. Si c'est le cas, ces mouvements devront être pris en compte pour évaluer l'élévation du niveau marin future locale à La Réunion.

L'élévation du niveau moyen de la mer pourra avoir des répercussions sur la propagation de l'onde de marée, y compris en milieu lagonaire. Par ailleurs, les modifications attendues pour les champs de vent et de pression pourront impacter les niveaux marins à la côte au travers des surcotes marines (liées aux dépressions, aux vents, aux seiches, etc) et des surcotes liées aux vagues. Cependant, les effets des changements de régime de vents et de pressions atmosphériques sont d'un ordre de grandeur inférieur aux conséquences de l'élévation du niveau marinet sont peu traités actuellement (Ullmann, 2008 ; CGDD, 2011 ; Nicholls *et al.*, 2014 ; ONERC, 2015) .

3.4.2.b États de mer

L'évolution en fréquence et en intensité des houles extrêmes ne peut pas être estimée à partir des données de mesure de houle, car la période d'observation disponible est trop courte ou insuffisante pour ce type d'analyse. Les impacts possibles du changement climatique sur les états de mer peuvent toutefois être identifiés grâce à des simulations numériques des états de mer passés et supposés « du futur », à partir de « champs de vents du futur » issus des scénarios du GIEC. Le résultat de ces simulations est donc très dépendant du ou des scénarios choisi(s). Plusieurs bases de données ont ainsi été développées sur les côtes françaises à partir des années 2010. Un modèle numérique (projet HOMONIM) va notamment se développer sur l'océan Indien et une première modélisation de cyclones historiques a notamment pu générer des scénarios hydrodynamiques centennaux pour La Réunion et Mayotte (Michaud *et al.*, 2017).

Le projet HOMONIM (Historique, observation, modélisation des niveaux marins) est un projet commun du SHOM et de Météo-France, dont l'objectif est l'amélioration du système français de vigilance et d'alerte vagues-submersions, opéré par Météo-France sur les côtes métropolitaines et les départements d'outre-mer. Ce système combine les capacités de prévisions du modèle océanique HYCOM (Baraille, Filatoff, 1995) et du modèle d'état de mer WaveWatch3® – WW3 (Tolman, 2016).

Pour le sud-ouest de l'océan Indien, une grille régulière de 3,2 km est présentée. Des configurations imbriquées, atteignant une résolution d'une centaine de mètres autour des îles françaises de Mayotte et de La Réunion, sont en cours de développement. Dans cette future version, les échanges entre les grilles HYCOM sont réalisés avec le coupleur Oasis-MCT (Casitas *et al.*, 2018).

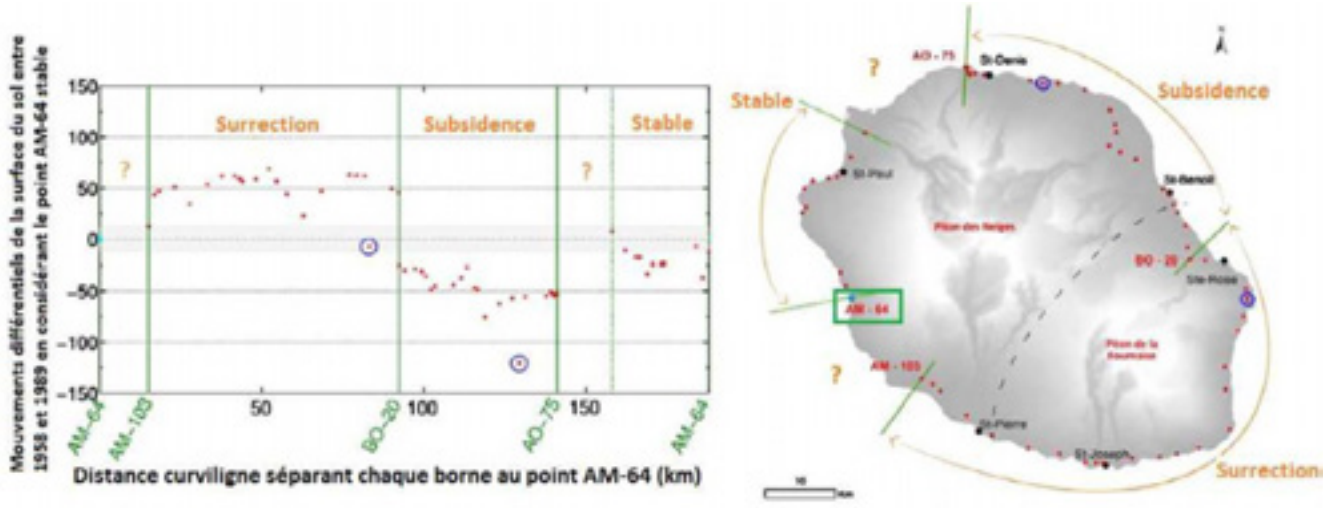


Figure 3.69 : Évaluation régionale des mouvements verticaux de la surface du sol à La Réunion (Bulteau et al ., 2015 ; données BRGM/IGN). Cette évaluation a été réalisée en comparant deux campagnes de nivellement menées par l'IGN en 1958 et 1989

De manière générale, les simulations numériques d'états de mer permettent de caractériser une climatologie moyenne, mais reproduisent plus difficilement un événement particulier en termes de hauteur, période, direction des vagues et temporalité, ce qui est encore plus particulièrement vrai pour les pics de tempête (valeurs extrêmes). Par ailleurs, les simulations peuvent être considérées comme moins fiables si la bathymétrie est complexe ou changeante dans le temps (notamment à proximité des côtes). L'amélioration de la précision des simulations numériques à la côte nécessite de disposer de nombreuses mesures *in situ* afin de mieux prendre en compte les différents phénomènes locaux affectant les vagues (interaction avec le fond, processus de réfraction et de réflexion dépendant de la forme du trait de côte, déferlement influencé par la bathymétrie, courants côtiers notamment de marée…).

L'impact du changement climatique le plus important sur les houles à la côte proviendra de l'élévation du niveau moyen de la mer puisque la profondeur d'eau joue un rôle significatif dans la propagation des houles et leur déformation. L'augmentation de la profondeur d'eau permettra, du fait d'une plus faible atténuation, à des houles plus importantes en hauteurs et périodes, donc plus énergétiques, d'atteindre les côtes (CGDD, 2011). Les modifications de propagation des houles à la côte pourront également se traduire par l'évolution de la bathymétrie, le changement des transports sédimentaires et l'évolution des récifs.

3.4.2.c Courants marins

La circulation thermohaline de l'océan Indien, à laquelle le courant sud-équatorial participe, transporte un flux de chaleur vers le sud-ouest qui contribue à maintenir les températures chaudes. L'océan Indien est influencé par le phénomène El Niño/LaNiña (ENSO) mais possède aussi sa propre oscillation à travers un système appelé le Dipôle Océan Indien (IOD) : il correspond à la variabilité climatique liée aux interactions de l'océan et de l'atmosphère, modulant notamment les températures de surface de la mer. L'IOD est dit positif quand la température de l'océan Indien augmente à l'ouest et baisse à l'est, et négatif dans le cas contraire.

Des études récentes (Izumo *et al.*, 2010) semblent montrer un lien fort entre ces deux systèmes qui permettrait à partir de l'IOD de prédire pour l'année suivante le phénomène ENSO. Le changement climatique pourrait avoir des conséquences importantes sur ces deux systèmes et ainsi sur la multitude des phénomènes et des comportements qui leur sont liés sans pour autant qu'il soit possible de les prévoir aujourd'hui (ASCONIT, PARETO, 2011).

Contrairement à d'autres bassins cycloniques, il n'y a pas de corrélation évidente entre l'activité cyclonique dans le sud-ouest de l'océan Indien et l'ENSO, hormis le fait que les deux évènements El Niño très marqués des saisons 1982-1983 et 1997-1998 correspondent à une activité cyclonique faible sur le bassin. Par contre, il y a un lien beaucoup plus évident entre le positionnement des zones préférentielles de cyclogenèse sur le bassin et l'oscillation ENSO. La distribution géographique de certains paramètres contribuant à la formation des cyclones tropicaux (température de surface de la mer, humidité relative dans les couches moyennes de l'atmosphère, cisaillement vertical des vents, tourbillon) est en effet plus ou moins étroitement liée aux phénomènes *El Niño*/*La Niña* (Jumaux *et al.*, 2012)

Lors d'un épisode *El Niño*, les cyclones se produisent généralement vers l'ouest sur 15°S et 65°E, tandis qu'en phase *La Niña*, le maximum de cyclogénèse est centré plus à l'est, à l'extérieur du bassin, vers 15°S et 95°E. Cependant, il n'est pas facile d'en déduire des conséquences claires quant au risque encouru par les terres émergées lors d'un épisode *El Niño* (cyclogenèses plus proches, mais activité moindre lors d'un fort *El Niño*). Ce risque n'est d'ailleurs pas exclusivement lié à la proximité des cyclogenèses, puisqu'il dépend surtout de la trajectoire des cyclones. L'exemple le plus notoire est celui du système Hyacinthe, qui s'est approché trois fois de La Réunion après avoir fait de nombreuses boucles (Jumaux *et al.*, 2012).

3.4.2.d Débits liquides et solides des cours d'eau

Les conséquences du changement climatique sur les projections de débit liquide et solide, dont les variations sont liées à la pluviométrie mais également aux usages des sols (usages agricoles ou aménagements fluviaux tels que seuils et barrages) sont encore mal connues sur La Réunion.

3.4.2.e Hydrologie des marais et lagunes

En dehors de l'élévation de la température qui peut impacter la faune et la flore des secteurs estuariens, des marais et des lagunes, l'influence du changement climatique se manifestera surtout par un changement (IFREMER *et al.*, 2014) :

- des facteurs hydrodynamiques, tels que l'élévation du niveau moyen de la mer et les modifications éventuelles dans le régime des tempêtes, pouvant engendrer notamment des changements de salinité de l'eau ou des intrusions salines ;

- des apports liquides et solides (sables et vases) des cours d'eau, dont les évolutions temporelles ne sont pas nécessairement semblables, et qui sont, pour partie, dépendants des usages au niveau de leur bassin versant et lit majeur.

L'intrusion saline correspond à une avancée vers les terres de la zone d'interface entre l'eau douce plus légère et l'eau de mer sous-jacente (dont la densité est plus importante) ; l'augmentation du niveau marin déstabilisera les équilibres actuels et facilitera les intrusions salines (Werner, Simmons, 2009 ; ONERC, 2015). Les aquifères côtiers sont plus ou moins sensibles aux intrusions salines en conditions naturelles ou sous influence anthropique (prélèvements pas pompage), en fonction de leur structure, de leur hétérogénéité et de leur relation avec les eaux de surface : l'impact d'une invasion d'eau salée dans un aquifère littoral peut en effet se révéler irréversible (Stoll, 2006 ; Aunay, de Broch d'Hotelans, 2011 ; ONERC, 2015).

Les changements relatifs aux apports solides sont susceptibles de modifier la couverture sédimentaire, dans le lit des rivières mais aussi sur les rives et les plages, jusqu'aux zones littorales adjacentes à l'embouchure des cours d'eau. Ces impacts d'ordre hydrosédimentaire sont aussi susceptibles de modifier le fonctionnement écologique des milieux, à travers la qualité de l'eau (oxygénation) et la transformation des biotopes (herbiers, récifs coralliens, etc) (IFREMER *et al.*, 2014).

Chapitre 4
Données sédimentologiques

Rédacteurs

Sylvain LENDRE (Cerema, DtecEMF)

Frédéric PONS, Jeremy LARROQUE (Cerema, DterMED)

Relecteurs

Boris LECLERC (Cerema, DtecEMF)

Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)

Contributeurs

Rémi BELON (BRGM Réunion)

Marine DEDEKEN (RNMR)

Bruno GODEFROY (DEAL Réunion)

Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)

Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)

Page de gauche : Filaos de la plage de l'Hermitage, témoins d'une érosion chronique (L'Ermitage-les-Bains)
© Cerema S. Lendre, 2019

4 Données sédimentologiques

L'île de La Réunion peut se diviser en trois unités morphosédimentaires. Ces unités sont définies en s'appuyant sur les données physiographiques du littoral et notamment la forme de la côte (voir Chapitre 2 Contexte général : données physiographiques). Chacune d'entre elles présente un comportement hydrodynamique (voir Chapitre 3 Facteurs hydrodynamiques) et des processus sédimentologiques sensiblement indépendants de ceux des unités adjacentes. Il existe une forte dépendance entre les caractéristiques géomorphologiques et les processus au sein d'une même unité (érosion/accrétion). Les bassins versants peuvent également exercer une influence sur le fonctionnement des unités morphosédimentaires.

Les unités morphosédimentaires de La Réunion seraient susceptibles d'être découpées en cellules hydrosédimentaires, où le comportement hydrodynamique du littoral et les processus sédimentologiques sont indépendants de ceux des cellules adjacentes. Cependant, les cellules hydrosédimentaires de l'île ne sont pas encore bien définies dans la littérature scientifique actuelle ; indépendantes de toute structure administrative, elles constituent pourtant l'échelle minimale préconisée pour l'analyse des transports sédimentaires transversaux et longitudinaux.

Les unités morphosédimentaires de La Réunion sont désignées à partir de leurs limites qui ne représentent pas ici des frontières physiques, mais des repères géographiques simples. Ces unités ainsi introduites sont les suivantes (Figure 4.1) :

- Unité morphosédimentaire de la **façade nord et est** avec **zones meubles continues** qui correspondent aux formations géologiques les plus anciennes (massif du Piton des Neiges), depuis le **cap la Houssaye** (Saint-Paul) à la **pointe de Bonne Espérance** (falaises en face du port de Sainte-Rose). L'unité présente des formations meubles associées au réseau hydrographique des plaines alluviales créés par les principales rivières pérennes (Montaggioni, 1971) et des secteurs de côte artificialisés ;
- Unité morphosédimentaire de la **façade sud et est** avec **zones rocheuses basaltiques continues** qui correspondent aux formations géologiques les plus récentes du massif de la Fournaise, depuis **la pointe de Bonne Espérance** au **cap Auguste** du Piton de Grande Anse (Petite-Île). L'unité présente des zones de substrats rocheux d'origine basaltique jusqu'à -100 m de profondeur ainsi que des petites zones où affleurent des substrats meubles issus d'un processus érosif récent ;
- Unité morphosédimentaire de la **façade ouest** avec **zones récifales coralliennes discontinues** formées par des récifs frangeants de taille variable à l'ouest et au sud-ouest de l'île (Battistini et al., 1975 ; Montaggioni, Faure, 1980), depuis le **cap Auguste** au **cap la Houssaye**. L'unité présente des zones de substrats meubles (plaine littorale, arrière-récif, platier, pente externe) d'origine bioclastique, différentes de par leur nature et leur composition des zones de substrats meubles d'origine basaltique.

L'analyse des données sédimentologiques comprend la définition des caractéristiques granulométriques, morphologiques et minéralogiques des sédiments, ainsi que la nature des matériaux déposés ou en suspension qui reflète un équilibre dynamique lié aux agents de transport tels que les houles, les courants ou les vents. C'est la synthèse de ces données, concernant tant les sédiments que les facteurs hydrodynamiques, qui permet de définir les conditions d'érosion, de transport, de dépôt et de répartition des sédiments, soit, sous un terme général : la dynamique sédimentaire.

Les actions conjuguées de la mer et du vent auront alors pour effet de déplacer les sédiments et donc de modifier la morphologie du littoral. Ce transport peut se faire transversalement ou longitudinalement (dérive littorale) par rapport à la côte.

4.1 Nature et répartition des sédiments

Les sédiments de La Réunion se répartissent sur des côtes meubles (de sable ou de galet) et rocheuses dont les emplacements sont directement liés à la géologie de l'île (voir 2.2 Géologie des côtes et des fonds marins). Les matériaux issus de l'érosion du littoral sont principalement des galets et des sables (voir 4.2 Origine des sédiments). L'érosion des côtes rocheuses apporte des minéraux issus des roches sédimentaires et métamorphiques tandis que les côtes meubles sont le lieu de dépôt des sédiments éoliens, fluviatiles et terrestres transportés de diverses manières (voir 4.2.1 Modes et agents de transport).

Les matériaux meubles ou granulaires se répartissent sur les fonds marins en fonction notamment des conditions hydrodynamiques (voir 3.2.3 Courants) qui diversifient la lithologie par la nature minéralogique des matériaux et par la granulométrie des sédiments.

4.1.1 Répartition générale sur le plateau continental

Le plancher océanique sur lequel se dresse l'île de La Réunion est recouvert par une épaisseur sédimentaire estimée entre 600 et 1 000 m. D'après une étude sismique sur la vitesse de propagation des ondes dans les couches sédimentaires réalisée autour de l'île de La Réunion par

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Présentation de la province

Pics

Volcan

Réseau hydrographique permanent

Bâti

Limite communale

Unité morphosédimentaire

Cap Auguste au cap la Houssaye

Cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance

Pointe de Bonne Espérance au cap Auguste

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 4.1 : Carte des unités morphosédimentaires de l'île de La Réunion

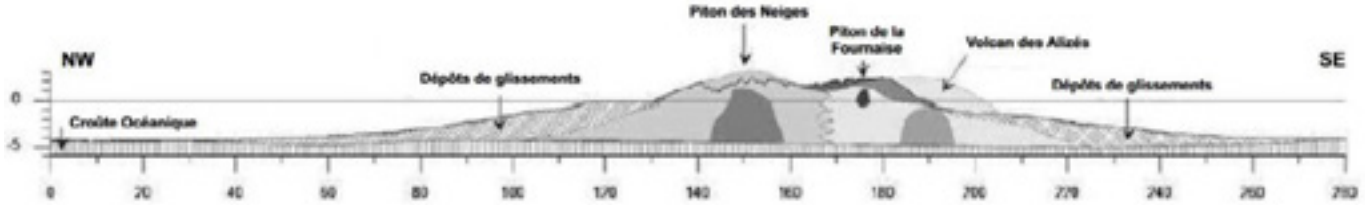


Figure 4.2 : Coupe synthétique de l'édifice volcanique de La Réunion (source : BRGM)

De Voogd *et al.* (1999) dans Sisavath (2011), l'épaisseur sédimentaire des zones proches de l'île serait d'environ 2000 m (Sisavath, 2011).

Concernant la nature de ces sédiments, les travaux de Philippot (1984) dans Sisavath (2011) suggèrent la présence de deux aires de sédimentation, chacune rattachée au Piton de la Fournaise ou au Piton des Neiges (Figure 4.2). Le domaine lié au Piton de la Fournaise est caractérisé par du matériel grossier de nature basaltique tandis que le domaine du Piton des Neiges correspond à une sédimentation argilo-silteuse, de type hémipélagique (Sisavath, 2011).

Plus récemment, des campagnes ont permis une approche plus détaillée de la sédimentation sur la plaque autour de La Réunion avec notamment la découverte de cinq systèmes turbiditiques volcanoclastiques (Saint-Ange, 2009 ; Saint-Ange *et al.*, 2011 dans Sisavath, 2011). Les cinq systèmes turbiditiques volcanoclastiques découverts au large de l'île de La Réunion sont plus précisément les systèmes de Cilaos, de Mafate, de Saint-Denis, de Salazie et de Saint-Joseph (Figure 4.3). Ces systèmes sont reliés aux principales structures morphologiques de l'île (les cirques de Cilaos, de Mafate et de Salazie) et sont alimentés par les rivières majeures de l'île (Saint-Ange, 2009 dans Sisavath, 2011).

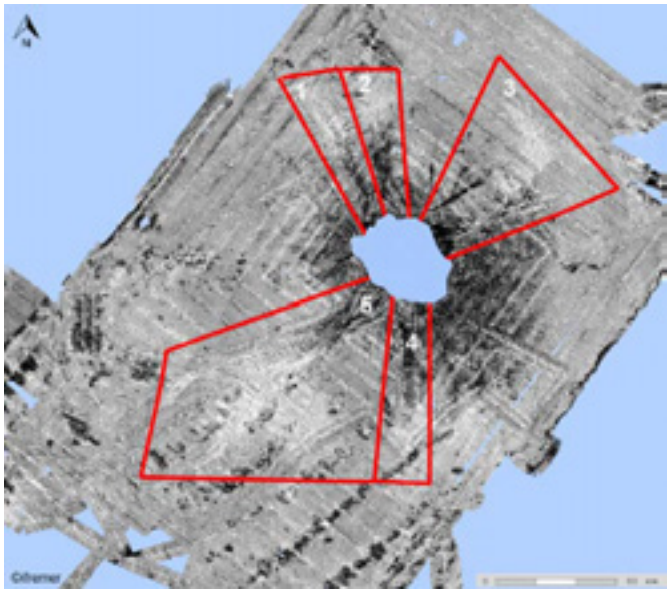


Figure 4.3 : Cinq systèmes turbiditiques de La Réunion : 1- système de Mafate ; 2- système de Saint-Denis ; 3- système de Salazie ; 4- système de Saint-Joseph ; 5- système de Cilaos (carte modifiée d'après Sisavath, 2011)

4.1.2 Lithologie des sédiments sur la bande côtière

Les travaux réalisés par le BRGM ont permis d'éditer la cartographie morphosédimentologique du domaine côtier de La Réunion. Le périmètre d'étude s'est limité à une zone comprise entre -20 et -100 m de profondeur, à l'exception des secteurs sud et sud-est qui n'ont pas pu être étudiés en raison de leur forte pente et leur relief très accidenté, en marge d'un complexe volcanique actif et difficile d'accès (Figure 4.4).

Huit faciès sédimentaires (Guennoc *et al.*, 2008) sont identifiés autour le l'île de La Réunion (Figure 4.4) :

- **Sable biodétritique** : constitué de débris coralliens et coquillés, sa taille granulométrique moyenne est comprise entre 1 et 2 mm. De couleur jaune-ocre, il se rencontre essentiellement autour et dans les récifs coralliens, sur l'ensemble du plateau nord-ouest.
- **Sable volcanique** : constitué de fines à très fines particules d'origine volcanique, sa granulométrie moyenne varie entre 125 et 250 µm. Sa couleur varie du gris au noir intense.
- **Sable volcanique à fraction biodétritique** : constitué entre 80 et 90 % d'éléments d'origine volcanique, il comporte également des éléments biodétritiques en quantité négligeable. Du fait de sa double composition, il présente donc deux granulométries différentes : l'une comprise entre 125 et 500 µm (partie volcanique) et l'autre supérieure à 500 µm (partie biodétritique).
- **Sable volcanique vaseux** : constitué principalement d'éléments d'origine volcanique, il se compose aussi d'une fraction plus fine vaseuse. Sa granulométrie est assez homogène et comprise entre 10 et 250 µm. Ce sable est généralement très sombre du fait de la présence de vase.
- **Sable volcanique vaseux et biodétritique** : de couleur marron et d'origine volcanique, il contient une fraction fine vaseuse et grossière biodétritique. La granulométrie de sa fraction principale varie entre 125 et 500 µm et la partie fine est composée d'éléments inférieurs à 63 µm.
- **Sable mixte** : composé à 50 % d'éléments d'origine volcanique et à 50 % d'éléments d'origine biodétritique, ce sable brun décrit une granulométrie moyenne se situant entre 250 µm et 1 mm.
- **Sable mixte vaseux** : avec une fraction très fine non négligeable (15 %), il se localise par « taches » dans

Figure 4.4 : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers de La Réunion

des zones où le faciès « sable mixte » est dominant. La vase s'accumule dans ces zones en fonction des apports et des conditions hydrodynamiques locales.

- **Vases** : d'une granulométrie moyenne comprise entre 10 et 63 µm, elles regroupent plusieurs faciès sédimentaires très fins, bruns à noirs. Des éléments plus grossiers isolés peuvent également être observés dans ces sédiments.

Une analyse granulométrique est uniquement disponible pour les façades sud-ouest, nord-ouest, nord et est (**Figure 4.5.** ; **Tableau 4.1**). L'étude se base sur des échantillonnages prélevés dans six secteurs (d'ouest en est) : Saint-Paul (SP, secteur 1), La Possession (LP, secteur 2), Sainte-Marie (SM, secteur 3), Bois-Rouge (BR, secteur 4), Beaufond à Saint-Benoît (BF, secteur 5) et Saint-André (SA, secteur 6). Cette approche spatiale de la granulométrie par niveau bathymétrique croissant met en évidence une disparité des composants sédimentaires selon leur secteur.

Les sédiments s'accumulent dans le domaine marin côtier sous diverses formes qui peuvent être classiquement subdivisées en formes transversales ou longitudinales, par rapport aux courants de fond qui les façonnent. La pluralité des formes sédimentaires transversales observées traduit la variabilité et l'importance des actions hydrodynamiques sur les fonds marins (Guennoc *et al.*, 2008) :

- **Les rides** : petites accumulations sédimentaires de quelques centimètres d'amplitude, présentes sur les différents domaines et la majorité des types de sédiment. Leurs formes, déterminées par les conditions locales de courant et leurs variations dans le temps, peuvent être symétriques, en croissant, entrecroisées, discontinues ou très linéaires et organisées en champs larges. Leur extension longitudinale n'est jamais très importante et dépasse rarement le mètre.
- **Les mégarides** : petites dunes de quelques dizaines de centimètres d'amplitude, largement réparties sur le domaine côtier de l'île. Leurs crêtes sont la plupart du temps assez rectilignes mais dans les zones de courants plus intenses, elles peuvent être plus irrégulières comme sur le plateau nord. Ces accumulations sédimentaires se trouvent principalement sur des sables volcaniques divers, des sables mixtes ou même des sables biodétritiques comme sur le plateau nord-ouest.
- **Les dunes moyennes** : accumulations sédimentaires de taille plus importante et d'une cinquantaine de centimètres d'amplitude, principalement dans les zones de sable mixte ou biodétritique au niveau des grands plateaux de l'île.
- **Les grandes dunes** : formes sédimentaires de plusieurs dizaines de mètres de longueur d'onde et dont l'extension latérale peut dépasser 500 m, avec une amplitude métrique. Généralement constituées

Tableau 4.1 : Lithologie des côtes de l'île de La Réunion (Guennoc et al., 2008)

Façades	Secteurs	Faciès sédimentaires	Granulométries (µm)
Façade Sud-Ouest	Saint-Pierre	Sables mixtes vers le large	125 à 500
	Saint-Louis	Récifs côtiers recouverts de sables mixtes	125 à 500
		Sables volcaniques vers le nord	125 à 250
	Les Avirons	Fonds sableux biodétritiques au sud	1000 à 2000
	Saint-Leu	Zones rocheuses recouvertes de sables Volcaniques et mixtes	125 à 250 250 à 1000
		Sables mixtes au nord-ouest	250 à 1000
Façade Nord-Ouest	Saint-Gilles sud	Sables mixtes au creux des dunes	250 à 1000
	Plateau nord-ouest	Sables biodétritiques homogènes	1000 à 2000
	Baie de Saint-Paul	Sables volcaniques	125 à 250
		Sables volcaniques vaseux vers le large	10 à 250
	Pointe des Galets Baie de la Possession	Sables mixtes	125 à 500
Façade Nord	Plateau nord	Sables volcaniques près de la côte	125 à 250
		Sables volcaniques vaseux au large À l'est et à l'ouest	10 à 250
	Saint-Denis	Sables fins volcaniques, vaseux localement	10 à 250
	Plateau nord-est	Sables volcaniques vaseux	10 à 250
Façade Est	Sainte-Suzanne À Saint-André	Sables volcaniques	125 à 250
		Sables volcaniques biodétritiques Vers le large	125 à 500
	Rivière du Mât	Sables volcaniques vaseux biodétritiques	125 à 500 (partie grossière) 63 (partie fine)
	Sainte-Rose (sud)	Sables volcaniques vaseux biodétritiques	125 à 500 (partie grossière) 63 (partie fine)

de sable mixtes ou biodétritique, leurs versants sont symétriques et parallèles d'une dune à l'autre. Ces dunes se trouvent majoritairement sur la façade ouest dans les secteurs où le plateau est bien développé, notamment au sud du plateau nord-ouest.

- **Les placages sableux** : très petites accumulations sédimentaires irrégulières, souvent intercalées entre des zones rocheuses et constituées de sable biodétritique au vu de leur proximité avec les récifs coralliens.

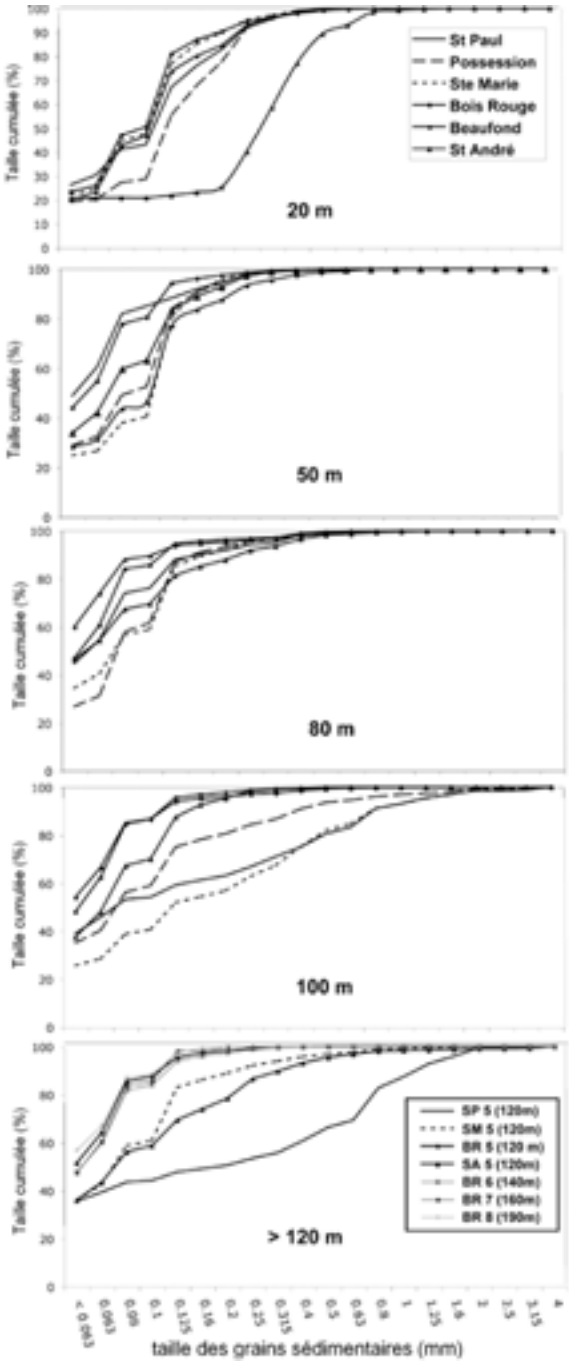


Figure 4.5 : Granulométrie des sédiments côtiers de La Réunion. Courbes de fréquences cumulées par site d'échantillonnage et par fractions granulométriques en fonction de la profondeur (Bigot, 2006)

4.1.2.a Unité morphosédimentaire du cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance

Façade nord-ouest (Figure 4.6)

La baie de Saint-Paul, où la plate-forme est remplacée par une pente côtière, décrit des fonds essentiellement constitués de sables volcaniques fins, voire vaseux, vers le large et vers le nord (Tableau 4.1). Au fur et à mesure que la pente s'accroît, les zones de transits sédimentaires s'accroissent également.

Au droit de l'exutoire de la rivière des Galets, les fonds sont sableux et recouverts d'une couche continue de galets plus ou moins envasés. Au niveau de la pointe des Galets et de la baie de La Possession, une zone de roches sub-affleurantes présente localement des sables mixtes (Guennoc *et al.*, 2008).

Les coupes géologiques issues de la campagne CARTOMAR au nord-ouest de l'île révèlent des couches alluvionnaires marines, entre 6,5 m et plus de 43 m d'épaisseur, au niveau de la Grande Chaloupe (entre les communes de Saint-Denis et de La Possession). Ces alluvions présentent la coupe géologique suivante du haut vers le bas (Le Berre, 2010) :

- des sables fins à grossiers et des graviers de nature basaltique à débris coquilliers et coralliens, entre 0 et 3 m d'épaisseur (pouvant atteindre localement 11 m) ;
- des galets (diamètre maximum de 150 mm) et des graviers, entre 0 et 5 m d'épaisseur ;
- des blocs (dimensions de 30 cm à 1 m) et des galets dans une matrice sablo-graveleuse parfois cohérente, entre 5 et 13 m d'épaisseur (atteignant parfois 36 m), ainsi que des passées plurimétriques de sable pouvant être intercalées dans ces niveaux à blocs et galets.

Ces alluvions marines, situées à hauteur de la Grande Chaloupe et plus à l'ouest devant le site de La Possession, représentent un volume de près de 40 millions de mètres cubes (Le Berre, 2010).

Façade nord (Figure 4.7)

Le plateau septentrional est caractérisé par la présence de roches affleurantes et sub-affleurantes allongées, entre 25 et 80 m de profondeur, sur la partie centrale et externe du plateau. La nature des sédiments superficiels apparaît bien caractérisée entre d'une part les secteurs sableux à dominance volcanique près de la côte, devenant plus vaseux vers le large à l'est et à l'ouest ; et d'autre part les secteurs à sables mixtes, proches des zones récifales, qui constituent la source de ces sédiments (Tableau 4.1).

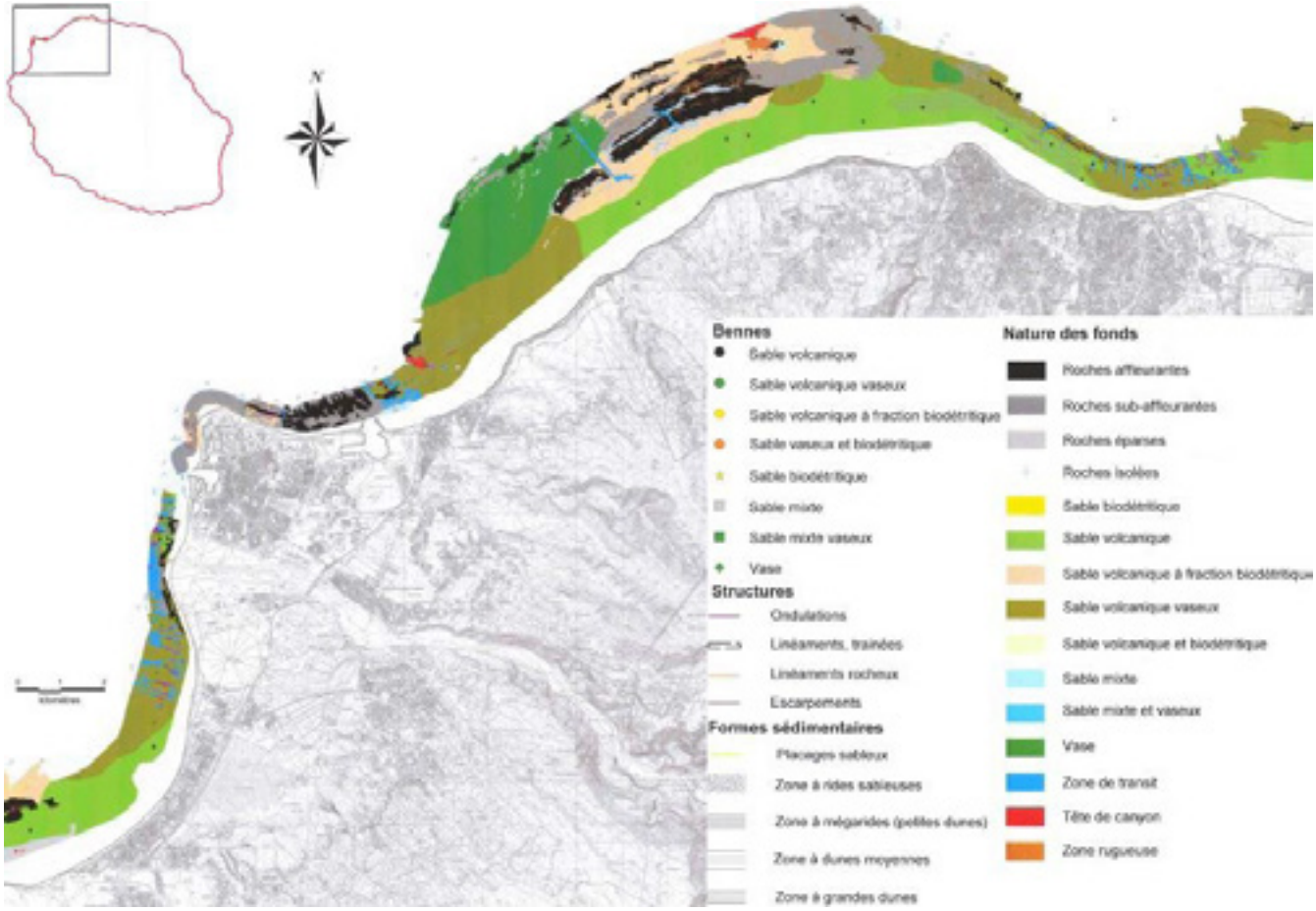


Figure 4.6 : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers du cap la Houssaye à la rivière des Pluies (source : CARTOMAR – BRGM, échelle au 1/25 000 dans Guennoc et al., 2008)

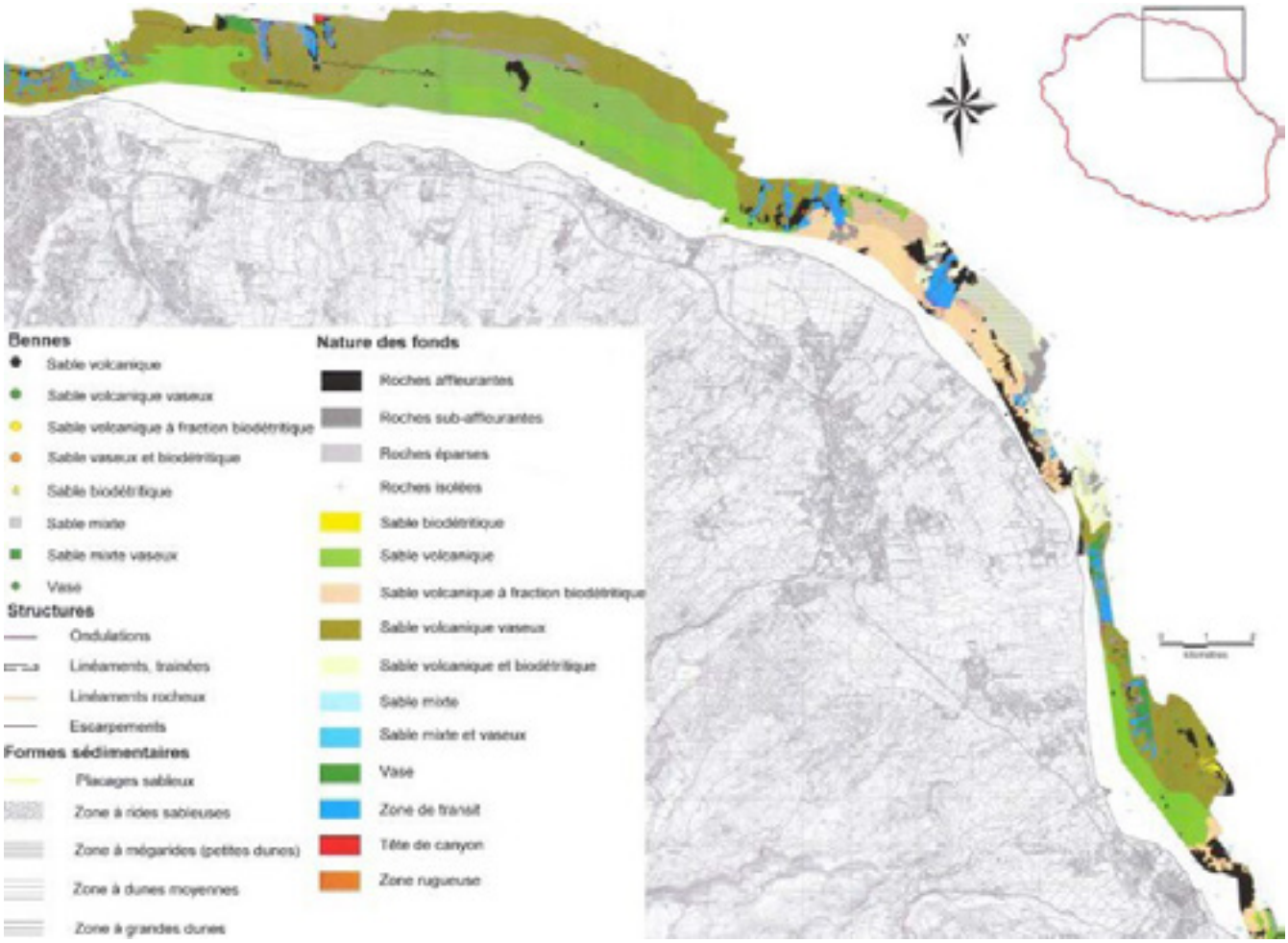


Figure 4.7 : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers depuis la rivière des Pluies à la pointe de la Ravine Sèche (source : CARTOMAR – BRGM, échelle au 1/25 000 dans Guennoc et al., 2008)

Dans la zone côtière au droit de Saint-Denis, la pente continue se traduit par la présence de zones de transits sédimentaires assez nombreuses. La nature des sédiments est assez homogène avec des sables fins volcaniques localement plus vaseux (Tableau 4.1).

Le plateau nord et nord-est comporte des sédiments de nature plus homogène et toujours constitués de sables volcaniques plus ou moins vaseux (Guennoc *et al.*, 2008).

Façade est (Figure 4.7 et Figure 4.8)

De Sainte-Suzanne à Saint-André, les fonds sont constitués de sables volcaniques qui comportent une proportion de sable détritique vers le large (Tableau 4.1).

Au sud de la rivière du Mât, les fonds sont constitués de sables volcaniques plus vaseux vers le large. Enfin, de Sainte-Anne à Sainte-Rose, les fonds de vase prédominent (Guennoc *et al.*, 2008).

4.1.2.b Unité morphosédimentaire de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste

Façade est (Figure 4.8)

Tandis que les vases prédominent au niveau de Sainte-Rose, ce sont les roches qui sont les plus fréquemment rencontrées au sud de la commune (Tableau 4.1). Les sables volcaniques vaseux comportent également une fraction biodétritique (Guennoc *et al.*, 2008).

Façade sud et sud-est

La plateforme d'abrasion des falaises rocheuses qui caractérise l'unité morphosédimentaire de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste est composée de galets et de blocs rocheux. Les processus d'érosion de ces côtes rocheuses sont présentés au Chapitre 2 (voir 2.5 Facteurs et mécanismes d'évolution du littoral).

4.1.2.c Unité morphosédimentaire du cap Auguste au cap la Houssaye

Façade sud-ouest (Figure 4.9)

Le domaine côtier de Saint-Pierre est caractérisé par la présence de zones rocheuses, parfois continues au sud-ouest. De part et d'autre du récif corallien affleurant, les petits fonds sont recouverts de sables mixtes vers le large. Les bandes sableuses observées dans les zones de récifs coralliens affleurants, ou bien en bordure de ces récifs près de la côte, sont constituées de sables biodétritiques plus épais (Tableau 4.1).

Entre Saint-Louis et la rivière Saint-Étienne, le domaine côtier est caractérisé par une pente quasi-continue. Les zones de récifs coralliens sub-affleurants,

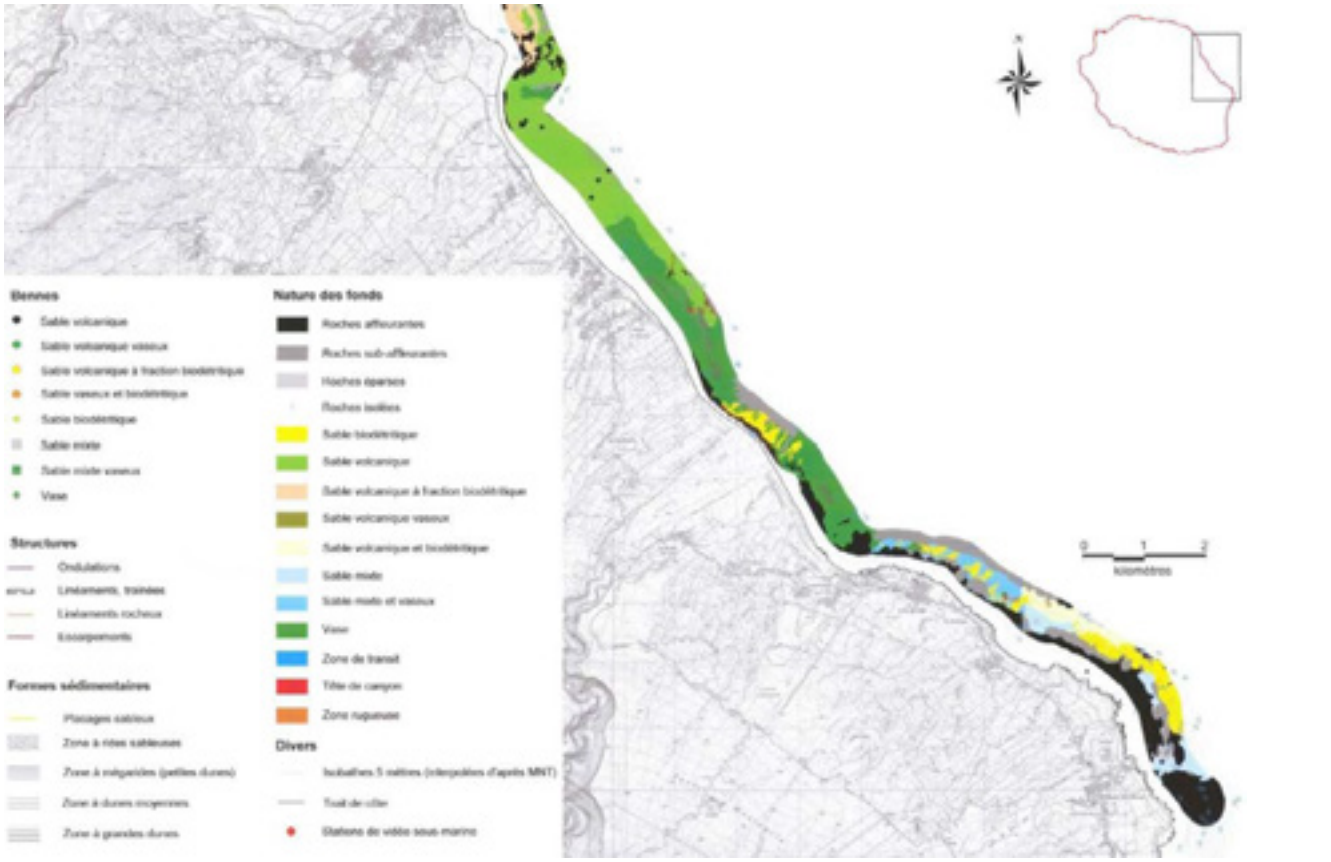


Figure 4.8 : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers depuis la pointe de la Ravine Sèche, en passant par la pointe de Bonne Espérance, à la pointe des Cascades (source : CARTOMAR – BRGM, échelle au 1/25 000 dans Guennoc et al., 2008)

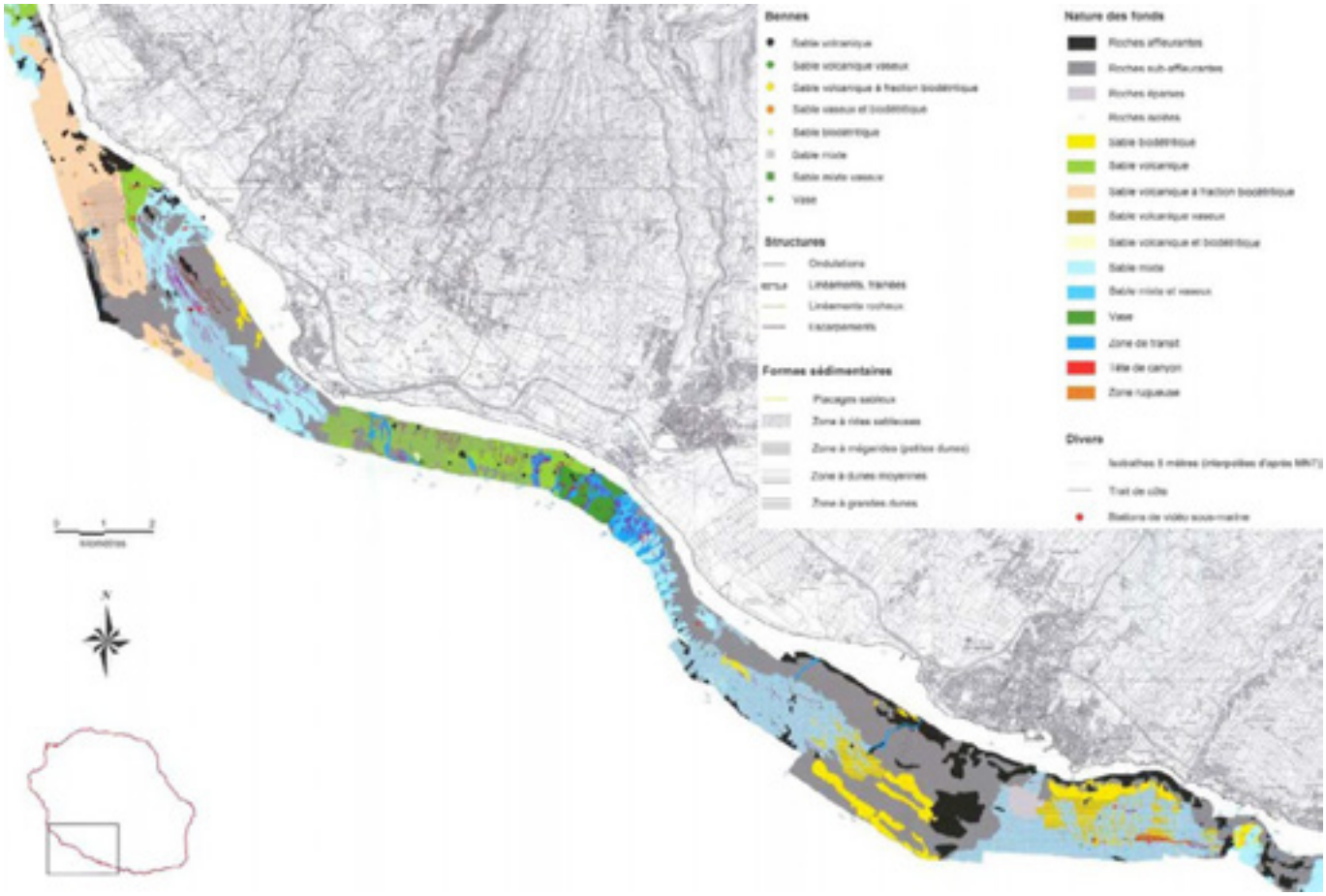


Figure 4.9 : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers du cap Auguste à la pointe au Sel (source : CARTOMAR – BRGM, échelle au 1/25 000 dans Guennoc et al., 2008)

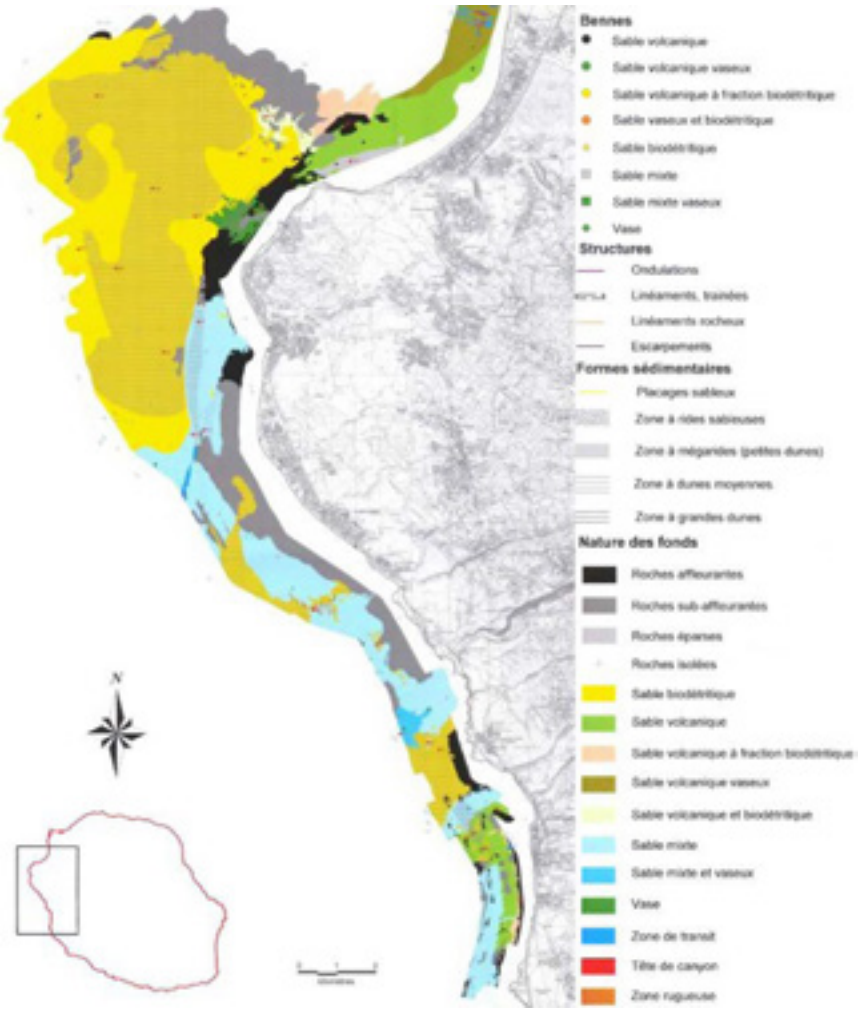


Figure 4.10 : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers de la pointe au Sel au cap la Houssaye (source : CARTOMAR – BRGM, échelle au 1/25 000 dans Guennoc et al., 2008)

recouvertes de sables mixtes vers le large, diminuent progressivement vers le nord et laissent place à une couverture de sables volcaniques (Tableau 4.1).

Après la pointe de l'Étang-Salé, la zone côtière s'élargit en relation avec la présence d'une zone de roches sub-affleurantes plus étendue et d'une zone de roches affleurantes en bordure de la pente côtière. Les fonds sableux situés au sud de ces deux zones rocheuses sont caractérisés par de grandes dunes parallèles à la côte, au nord du récif corallien. Vers Les Avirons, au nord, la fraction biodétritique diminue progressivement (Tableau 4.1).

Au niveau de Saint-Leu, le domaine côtier montre une relative régularité de sa morphologie mais une complexité de la nature de ses fonds. Les zones caractérisées par des roches étroites et allongées en bord de côte ou vers le large sont recouvertes de sables volcaniques ou mixtes. Plus au nord, les sables mixtes prédominent (Guennoc *et al.*, 2008).

Façade nord-ouest (Figure 4.10)

Le secteur méridional de Saint-Gilles est caractérisé par la présence de formes sédimentaires remarquables. Il s'agit de dunes à crêtes linéaires et allongées sur près de 1500 m (orientées nord-nord-est – sud-sud-ouest). Ces formes sédimentaires sont constituées de sables mixtes observés principalement dans le creux des dunes (Tableau 4.1). Le plateau nord-ouest présente une couverture de sables biodétritiques quasi continue et relativement homogène (Guennoc *et al.*, 2008).

4.2 Origine des sédiments

Le littoral de La Réunion, étendu sur un linéaire d'environ 256 km, est entrecoupé par un réseau hydrographique dense qui alimente en matériel sédimentaire les plages, les dunes et les cordons de galets constituant l'essentiel des zones d'accumulation de l'île. Trois sources préférentielles de sédiment sont observées à La Réunion (Figure 4.11) :

- les apports terrestres issus de l'érosion des côtes, dont la nature des sédiments produits dépend essentiellement du type de côte et de l'agent érosif ;
- les apports fluviatiles qui composent les cordons de galets et les plages de sable basaltique noir et vert présents à proximité des exutoires de cours d'eau ;
- les apports biogènes provenant essentiellement ici des récifs coralliens de la façade sud et ouest de l'île qui approvisionnent les plages en sable blanc biodétritique.

4.2.1 Apports terrestres

Les apports sédimentaires terrestres de l'île de La Réunion dépendent de la nature de la côte : l'érosion des dunes et des plages permet l'apport de sables au système sédimentaire ; l'érosion des roches dures permet l'apport de graviers et galets (Bastone *et al.*, 2012).

Les falaises constituent des formes littorales d'ablation. Elles sont issues de l'action mécanique des vagues qui, en raison du mitraillage du pied de falaise par les galets

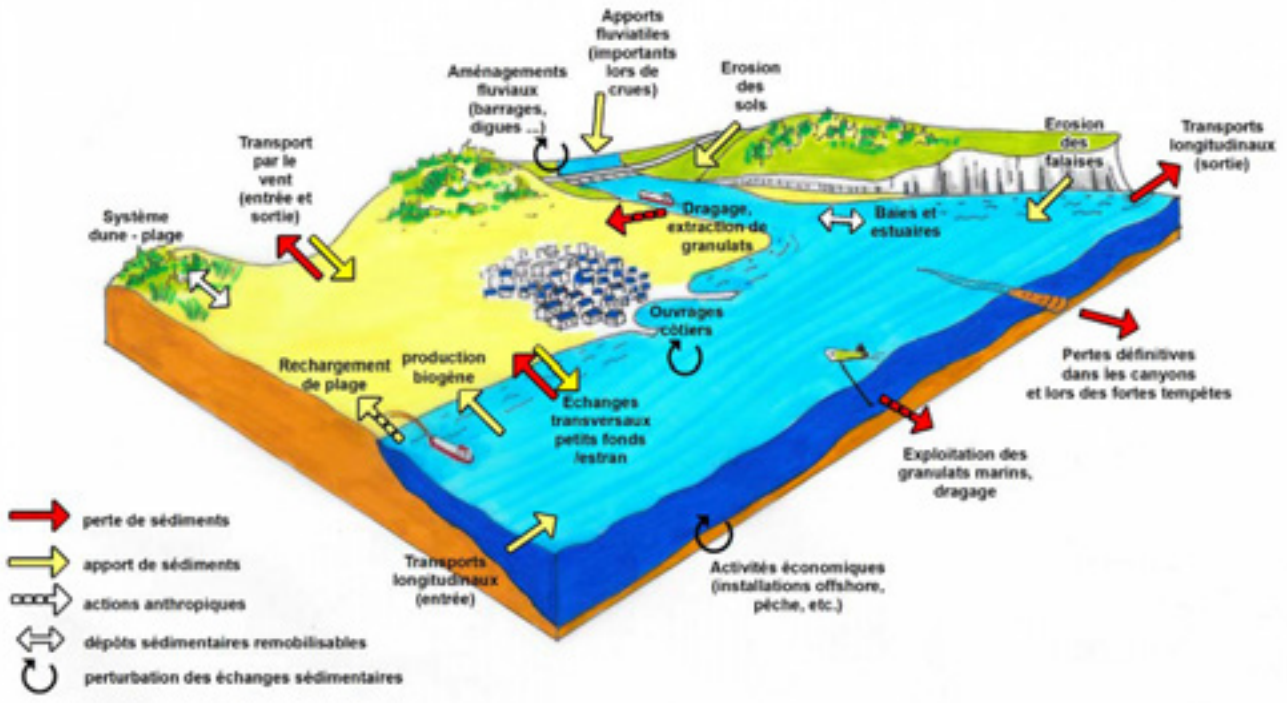


Figure 4.11 : Schéma détaillant les composantes, les apports et les pertes du bilan sédimentaire d'un système côtier (© M. Sauvé, Cerema dans Roche et al., 2016)

et des phénomènes de compression et décompression, sont responsables d'un sous-cavage. Ainsi se crée un surplomb qui provoque des éboulements massifs par à-coup. Le haut du versant évolue également sous l'action des infiltrations qui peuvent créer des glissements ou des effondrements.

Le site de la pointe du Diable (Figure 4.12), constitué de falaises hautes (15 m) et tendres (tufs ponceux), est fréquemment exposé aux intenses houles australes (Bastone *et al.*, 2012).

La pérennité d'un cordon dépend de l'équilibre de son budget sédimentaire. Cet équilibre résulte du bilan entre les pertes issues principalement de l'action érosive des vagues et du vent, et les apports de sédiments marins et fluviaux : transport de sédiments par la dérive littorale, par les rivières (Bastone *et al.*, 2012).

4.2.2 Apports fluviatiles

L'hydrologie fluviale conditionne le transport, par ruissellement et écoulement, du matériel détritique produit par les versants (voir 3.3.1.c Apports solides des principaux cours d'eau). Elle est le vecteur des principaux apports sédimentaires à la côte de l'île de La Réunion (BRGM, 2006).

La charge solide provient de l'érosion des milieux environnants par le cours d'eau et par les eaux de ruissellement. Ce sont des écoulements turbulents dont le transport des sédiments se fait par suspension ou par charriage sur le fond (Freeze, 1974 ; Smith, 1986 dans Sisavath, 2011).

La plupart du temps, ces écoulements sont concentrés dans des chenaux dont la morphologie évolue le long du cours d'eau. Il existe un grand nombre de classifications des écoulements principalement basées sur (Leopold, Wolman, 1957 ; Schumm, 1985 ; Rosgen, 1994 ; Van den Berg, 1995 ; Alabyan, Chalov, 1998 ; Eaton *et al.*, 2010 dans Sisavath, 2011) :

- la sinuosité,
- la présence ou l'absence de bancs sableux dans le chenal,
- le nombre de ramification du chenal,
- et la nature de la charge sédimentaire.

Les alluvions sont des matériaux meubles hétérométriques et composées d'un mélange de sables, graviers, galets et blocs. Charriées par les rivières réunionnaises, les alluvions présentent un volume pouvant dépasser 1 m^3. Les variations de granulométrie apparaissent en fonction du comportement hydrodynamique du cours d'eau. Des enrichissements en sable ou des accumulations de blocs peuvent localement se produire. Ceci est lié au fonctionnement complexe des ravines qui, malgré leur apparente ressemblance, présentent des comportements différents. Ce sont lors des régimes torrentiels cycloniques des cours d'eau que les apports alluvionnaires à la côte demeurent les plus significatifs (Le Berre, 2010).

Les pluies cycloniques peuvent générer un grand nombre de glissements de terrain à l'amont et mettre à la disposition du cours d'eau de gros volumes sédimentaires (Belle, 2014). Certaines pluies tropicales occasionnent des crues suffisantes et assez puissantes (plusieurs milliers de mètres cube d'eau par seconde) pour assurer le transport des matériaux jusqu'à l'aval. Lors d'autres crues, seule une partie de ces matériaux est mobilisée et éventuellement déposée dans une zone de stockage temporaire (Le Berre, 2010).

Une fois leur cheminement terminé, ces alluvions finissent leur course dans le domaine côtier et alimentent les cônes-deltas des principales rivières de l'île (BRGM, 2006), telles que la rivière du Mât (Figure 4.13) et la rivière des Galets (Figure 4.14). En dehors des phases de régime torrentiel, les apports sédimentaires provenant des cours d'eau de La Réunion demeurent peu importants.

L'évaluation des transports solides dans la situation climatique et géomorphologique de La Réunion demeure

Figure 4.12 : Sous-cavage et éboulement en pied de falaise à la pointe du Diable, dans la commune de Saint-Pierre (© BRGM, 2009)

très délicate (voir 3.3.1.c Apports solides des principaux cours d'eau). En effet, après une longue période sans crue importante, les berges et le lit de la rivière peuvent accumuler beaucoup de matériaux provenant des versants amont. Un événement pluvieux intense provoquera une purge du lit de la rivière et des apports sédimentaires très importants. Le même événement pluvieux intense survenant sur un bassin déjà purgé occasionnera une crue moins chargée en matériaux solides. Le projet DYNTOR du BRGM s'est attaché à mieux comprendre les mécanismes d'érosion, de transport solide et de dynamique torrentielle des rivières de La Réunion (Jossot, Pouget, 2004).

En revanche, le matériel fin (lutites : sables, vases) ne nécessite pas de débit important pour être transporté et se déplace en suspension ou par saltation avec peu de stockage intermédiaire dans le lit du cours d'eau, jusqu'à s'accumuler à la côte sur les plages et les dunes de sable volcanique. Lors de fortes précipitations, les éléments très fins peuvent créer des panaches turbides au droit des exutoires des ravines qui perturbent les organismes coralliens en les privant de lumière et d'oxygène. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle très peu de corail s'est développé dans l'est où il pleut beaucoup (BRGM, 2006).

Dans le cadre du projet ERORUN (observatoire de l'EROsion à la RéUNion), l'installation de capteurs de matières en suspension est prévue dans le cadre de l'étude des flux sédimentaires et géochimiques de la rivière des Pluies. Deux autres paramètres de la dynamique du bassin versant sont également suivis : les pluies avec un réseau dense de pluviomètres en « temps réel » pour la surveillance hydrologique, deux radars bande S (site du Colorado et Piton Villers) et un radar profileur UHF mobile ; les flux hydriques avec plusieurs stations de jaugeage suivies par l'Office de l'Eau et des stations complémentaires pour affiner l'analyse du transfert des crues. La réalisation de levés bathymétriques et l'imagerie acoustique à haute résolution permettront enfin de suivre le devenir des sédiments dans le milieu marin (source Observatoire des Sciences de l'Univers de La Réunion : osur.univ-reunion.fr).

Les dépôts fluviatiles occupent les plaines littorales en marge des grands cônes torrentiels (zones lacustres colmatées et/ou actuelles). Les alluvions fluvio-marines, riches en éléments fins (argiles, limons et sables), contiennent souvent de la matière organique (tourbes, vases, etc). Elles s'accumulent à l'arrière du cordon littoral, au pied des planèzes basaltiques. Ces plaines, de faible altitude, sont occupées par des étangs (Bois Rouge, Saint-Paul, Le Gol) qui sont en relation hydraulique avec l'océan.

Les trois systèmes alluvionnaires principaux sont (Le Berre, 2010) :

- la **plaine de Bois Rouge** entre Sainte-Suzanne et Saint-André : l'étang de Bois Rouge traduit le comportement marécageux de cette baie colmatée par des alluvions fines (limons organiques noirs rencontrés dans les forages) ;
- la **plaine du Gol** entre Saint-Louis et L'Étang-Salé : l'étang du Gol est séparé de l'océan par un cordon

Figure 4.13 : Cône-delta de la rivière du Mât (© BRGM, 2004)

Figure 4.14 : Cône-delta de la rivière des Galets alimentant le littoral du Port, de La Possession et de Saint-Paul (© BRGM, 2004)

littoral. Cette plaine passe progressivement vers le nord au relief dunaire de l'Étang-Salé. Son remplissage est constitué de sables fins, d'argiles et de graves sableuses ;

- la **plaine de Saint-Paul** au sud de la rivière des Galets : la ville de Saint-Paul est implantée sur un cordon littoral sableux. Les falaises mortes de l'ancien trait de côte constituent la limite orientale.

4.2.3 Apports d'origine faunistique ou floristique

À La Réunion, l'alimentation des plages a deux origines, l'une continentale (apports terrestres et fluviatiles) et l'autre biologique (Gabrié, Montaggioni, 1985). Les sédiments d'origine biologique ont pour source les récifs coralliens qui fournissent les sables blancs composés des débris d'organismes récifaux constituant une partie des plages du littoral réunionnais (Montaggioni, 1978 ; Montaggioni, Faure, 1980 ; Faure, 1982 ; Cordier, 2007).

Durant l'Holocène, il y a 12 000 ans B.P., le niveau marin s'élève de +70 m, valeur relative par rapport au niveau actuel. La remobilisation sédimentaire durant cette phase engendre un apport de carbonates issus des êtres vivants. Entre 9 000 et 6 000 ans B.P., la concentration en carbonates est maximale et permet aux premiers récifs coralliens de se développer. Le niveau marin se stabilise vers 2 500 ans B.P. Les récifs actuels sont datés entre 8 000 et 9 000 ans B.P. (Camoin *et al.*, 1997, 2004).

Figure 4.15 : Récifs coralliens de Saint-Gilles (© M. Irles – source : www.actu-environnement.com)

Ces récifs coralliens (Figure 4.15) se sont développés sur la partie ouest et sud de l'île en raison des faibles précipitations qui s'y manifestent. En effet, au nord et à l'est, le régime pluvieux est plus important et les écoulements fluviatiles rendent les eaux trop troubles pour que les conditions écologiques au développement des coraux soient réunies (BRGM, 2006).

Le fonctionnement des plages coralliennes est principalement lié à la présence du récif qui non seulement les alimente en sable, mais les protège aussi de la houle. Lors d'événements exceptionnels (tempêtes, cyclones, houles australes), les vagues peuvent passer au-dessus du récif et déferler directement sur la plage. Il en résulte une érosion naturelle importante des complexes coralliens et des plages (Figure 4.16) qui se manifeste par le départ du matériel vers le large, par les passes du récif frangeant (Bastone *et al.*, 2012).

La production bioclastique, par érosion mécanique des coraux, est importante au niveau des récifs et contribue à la nature parfois fortement carbonatée des sédiments de plage et des fonds lagonaires (Roberts, 1980, 1989 ; Calhoun *et al.*, 2002 ; Hart, Kench, 2007). De solides relations s'établissent entre l'équilibre sédimentaire des plages, la structure des communautés coralliennes et le

budget des carbonates dans l'écosystème récifal de La Réunion (Mioche, Troadec, 2002).

Depuis les années 1970, le bilan des carbonates en milieu récifal est calculé sur la base de mesures chimiques effectuées dans l'eau au contact des communautés coralliennes. Les quantités de carbonate de calcium produit par les organismes bio-constructeurs varient selon les récifs (22 à 331 mmol $CaCO_3$/m-2/j-1) et traduisent des différences dans la structure des communautés benthiques (Pennober, 2014).

Plusieurs études ont aussi révélé une relation entre la calcification nette des communautés (somme des processus que sont la précipitation et la dissolution des carbonates) et les conditions environnementales : le taux de saturation en aragonite[12] baisse lorsque l'état d'acidification du milieu augmente, en réponse aux émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (Pennober, 2014).

La calcification des coraux décroît au-delà d'un certain optimum de température, qui correspond au pic estival normal, tandis que les anomalies positives de température induites par les émissions de gaz à effet de serre provoquent dans certains cas des réductions du recouvrement corallien considérables, comme lors de l'épisode ENSO 1997-1998 dans l'océan Indien (Pennober, 2014).

Certains modèles prévoient que les récifs coralliens au niveau mondial pourraient présenter d'ici la fin du XXIe siècle une dissolution nette de carbonates. Cependant, l'influence de la température et de l'acidification sur la calcification a été principalement abordée à l'échelle de l'organisme, et pour l'essentiel en milieu contrôlé. Les expérimentations *in situ* sont nécessaires pour valider les observations issues des travaux de laboratoire et prendre en compte les spécificités locales.

Bien qu'une diminution des taux de calcification semble se produire avec la diminution du taux de saturation en aragonite, la configuration des récifs diffère selon les sites étudiés et se singularise des relations linéaires observées en laboratoire. Les facteurs de stress pourraient aussi rendre les récifs coralliens beaucoup plus vulnérables au changement climatique : en effet, l'hypersédimentation et les apports terrigènes de nitrates diminuent le seuil de température au-dessus duquel se produit le blanchissement corallien.

Le laboratoire d'Écologie Marine (ECOMAR) de l'Université de La Réunion révèle, par plusieurs portés à connaissance (rapports, publications), une tendance vers des régressions dans l'activité biologique du récif corallien depuis les années 1980, sous-entendant des risques pour les plages associées (Bouchon, 1981 ; Guillaume *et al.*, 1983 ; Naim, 1989, 1993, 1994, Cuet, 1989, 1994, Chabanet, 1989, 1994 ; Chabanet *et al.*, 1995 ; Letourneur, 1992 ; Mioche, 1998).

De manière générale, la dégradation des écosystèmes dans leur ensemble constitue un facteur d'accentuation à la fois des risques et de leurs conséquences. L'impact du changement global sur la capacité de maintien et/ou de croissance de la barrière récifale est donc toujours difficile à modéliser au regard des différents scénarios envisagés pour le XXIe siècle (Pennober, 2014).

Figure 4.16 : Érosion de la plage de l'Ermitage avec mise à nu des racines de fialos (© Imaz Presse Réunion, 2014 – source : www.ipreunion.com)

12| Minéral composé de $CaCO_3$ (avec des traces de Sr, Pb et Zn), polymorphe de la calcite et de la vatérite

4.3 Mouvements des sédiments

Lorsqu'elles parviennent à la côte et déferlent sur la plage, les vagues génèrent des courants capables de transporter les sédiments. L'énergie des vagues est dissipée dans la zone de déferlement, causant des courants littoraux longitudinaux (*long-shore*[13]) et transversaux (*cross-shore*[14]) (Komar, 1988).

Les courants *cross-shore* sont issus du déferlement des vagues incidentes perpendiculaires au trait de côte, engendrant des courants d'arrachement et de retour qui vont modifier le profil morphologique de la plage.

À l'origine du déplacement parallèle au rivage, ce sont les vagues d'incidence oblique qui en induisant un courant *long-shore* contribuent au transit sédimentaire en déplaçant des volumes importants de matériel (Figure 4.17). Ce déplacement sédimentaire est appelé « dérive littorale » (Longuet-Higgins, 1970). Sa vitesse dépend de la hauteur, de la période et de l'obliquité des vagues.

La redistribution des sédiments de part et d'autre des débouchés de rivière s'effectue grâce aux courants côtiers impulsés par la dérive littorale, à l'origine de la constitution des cordons de galets et des plages de sable volcanique du littoral réunionnais. Ces courants, principalement induits par le déferlement des vagues, peuvent être influencés par le balancement des marées, notamment en zone d'arrière-récif (BRGM, 2012).

La dynamique alterne entre des périodes calmes favorables à la sédimentation et des périodes de fortes houles entaillant le haut de plage et déplaçant le sable vers la zone infra-littorale. La résultante perpendiculaire au rivage du transit sédimentaire s'établit sous l'action des houles destructives (houles de forte intensité telles que les houles cycloniques et australes) qui transportent les sédiments vers le fond et les stockent sous la forme de barres pré-littorales. Les houles constructives (vagues de « beau temps ») ramènent les sédiments vers la surface et créent au niveau de la laisse de mer un talus appelé berme de haut de plage (BRGM, 2012).

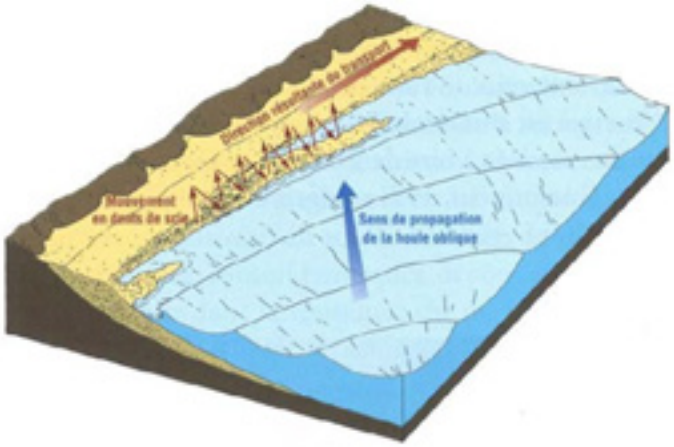


Figure 4.17 : Schéma conceptuel de la dérive littorale et du transport des particules sédimentaires (modifié d'après Woodroffe, 2002)

4.3.1 Modes et agents de transport à la côte

Les trois modes de transport sédimentaire fondamentaux intervenant au large et sur la bande côtière sont le **charriage**, la **saltation** et la **suspension**. Ils sont induits par l'action d'agents de transport, notamment les courants de **houle**, de **vent** et de **marée**, qui contribuent au déplacement et au dépôt des sédiments. Les modes de transport varient en fonction de la granulométrie des sédiments transportés (Figure 4.18).

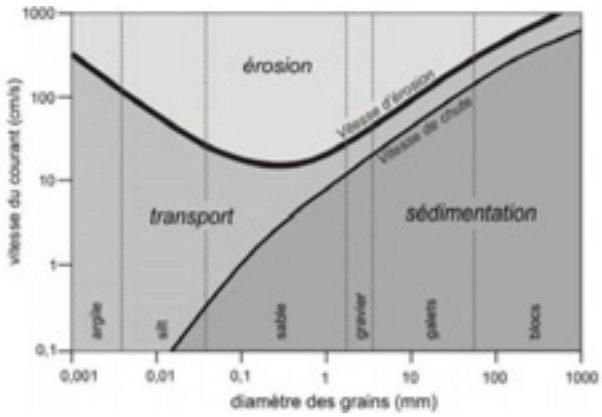


Figure 4.18 : Diagramme de Hjulström (source : theses.univ-lyon2.fr)

La houle comme agent de transport

L'île est exposée à trois types de houle dont les plus fréquentes demeurent les houles d'alizés, de secteur dominant sud-est (Troadec, 1991 ; Pedreros *et al.*, 2009). Le régime des alizés (Figure 4.19) entraîne une circulation générale de surface venant du sud-sud-est tout au long de l'année (Jamon, 2002).

À proximité du rivage, les houles générées par les alizés sont à l'origine de deux dérives littorales, contournant l'île par l'est et l'ouest, et dont les courants convergent du côté opposé, entre la pointe des Galets et l'embouchure de la rivière des Galets (Troadec, 1991 ; Bastone, De la Torre, 2011). Aux abords des côtes, les courants de dérive littorale contribuent au transit sédimentaire en déplaçant des volumes importants de sédiments le long de la côte.

La dérive littorale alimente à son tour des courants transversaux, appelés courants d'arrachement, créés

13| Parallèle à la côte.

14| Perpendiculaire à la côte.

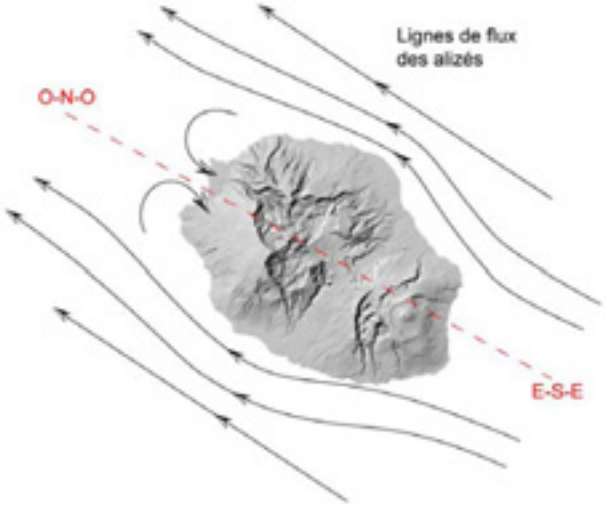


Figure 4.19 : Régime des alizés à La Réunion (Cordier, 2007)

par la houle et la topographie de l'espace infralittoral. La mobilité des plages est plus particulièrement associée à des événements ponctuels générant des conditions hydrodynamiques extrêmes : notamment les houles australes et cycloniques (De La Torre, 2004).

Lorsque les courants et l'action des houles s'associent, les conditions de remise en suspension et de transport sont facilitées et les quantités de sédiments transportés augmentent. C'est notamment le cas dans les zones de débouchés des cours d'eau et dans la zone de déferlement des vagues, où les vitesses de courant produisent une turbulence sur toute la colonne d'eau. Cette turbulence induit des concentrations de matériaux en suspension très élevées.

La pente et la morphologie de la côte traduisent aussi un régime hydrodynamique particulier : une anse ou une baie profonde est caractérisée par un régime faible (dissipation de l'énergie des houles), une pente douce et un matériel sédimentaire fin. En revanche, une portion de côte ouverte sur la mer (et donc plus exposée aux houles) présente un régime fort avec un profil du cordon sédimentaire plus raide et des sédiments plus grossiers (BRGM, 2006).

Le vent comme agent de transport

Le vent peut également s'avérer être un agent morphodynamique important dans la structuration du littoral meuble en déplaçant les sables. S'il souffle vers la terre, les sédiments sont transportés en arrière des plages où ils forment des dunes (De La Torre, 2004). Les dunes éoliennes peuvent être de deux types (Cordier, 2007) :

- les dunes bordières qui jouent un rôle très important dans la dynamique sédimentaire de la plage, car elles constituent un stock de sable en haut de plage. Les vagues de tempête prélèvent les sédiments sur cette dune et les transportent vers l'avant-plage. En « période calme », la dune bordière se reconstitue par migration des sables de l'avant-plage vers le haut de plage ;
- les dunes littorales, qui s'édifient à l'intérieur des terres constituent une perte de matériel pour la plage. Ces dunes sont fréquentes à La Réunion et plus particulièrement sur tout le littoral occidental. Elles s'étendent loin dans les terres, notamment dans les secteurs de Saint-Gilles et de La Saline.

Le transport provoqué par le vent induit un déplacement de particules appelé débit solide éolien ou déflation. Ce dernier est contrôlé par quatre facteurs interdépendants que sont la teneur en eau du sol, l'humidité de l'air, le couvert végétal et la granulométrie des sédiments. Le taux d'humidité du sol est aussi dépendant de l'ensoleillement, de l'heure de la marée (estran découvert ou non ; depuis plus ou moins longtemps), de la pluie, de la rosée et des embruns (De La Torre, 2004).

Cas particulier des systèmes coralliens

Les processus hydrométéorologiques (vagues, vents, marées) influencent le transport des sédiments au sein des plages coralliennes et des récifs (Murray *et al.*, 1977 ; Kench, 1994, 1998 ; Angwenyi, Rydberg, 2005 ; Tamura *et al.*, 2007).

Des courants intra-récifaux se manifestent consécutivement au déferlement de la houle sur la barrière récifale : la masse d'eau pénétrant sur le récif circule par les couloirs et rainures du platier, puis pénètre dans la zone d'arrière-récif et retourne vers le large par l'intermédiaire des accidents topographiques où les courants de vidange peuvent atteindre 3 à 5 nœuds. Une partie de la masse d'eau non évacuée directement par ces cassures récifales alimente les courants au sein des passes (Bouchon, 1979 ; Jamon, 2002)

L'action prolongée du vent peut, en outre, provoquer une agitation du plan d'eau appelée « mer de vent » dont les turbulences peuvent permettre l'arrachement des particules sableuses dans les très petits fonds arrière-récifaux (De La Torre, 2004).

Les mouvements de sédiments le long des côtes coralliennes sont également influencés par la morphologie, la géométrie et la rugosité des récifs ainsi que par les fluctuations du niveau d'eau. Dans le cas des récifs discontinus ou interrompus par des passes, les processus de diffraction et de réfraction de la houle forment un trait de côte d'arrière-récif irrégulier (**Figure 4.20**). Sur la côte, les accumulations sédimentaires forment des pointes en progression vers la mer. Pour les récifs continus, les courants sont perpendiculaires à la côte et les sédiments vont s'accumuler en arrière des récifs (Roberts, 1980 ; Cordier, 2007).

La marée comme agent de transport

La **marée** provoque un courant de flux et de reflux particulièrement sensible dans les zones de dépressions arrière-récifales à proximité des passes : les eaux lagonaires sont aspirées pendant le jusant vers le large et les eaux océaniques entrent dans le lagon pendant le flot. L'intensité de ce courant permet la mise en mouvement des sédiments dans les zones peu profondes (De La Torre, 2004 ; Storlazzi *et al.*, 2004) :

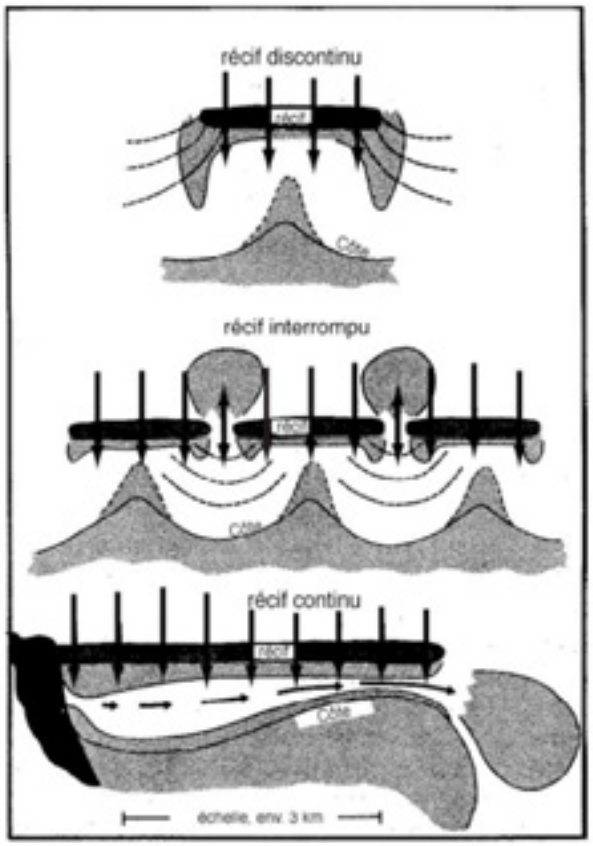


Figure 4.20 : Représentation schématique des zones de dépôt et des transits sédimentaires pour des récifs discontinus, interrompus et continus (Roberts, 1980)

- à marée basse, une faible part d'énergie des vagues océaniques se propage sur le récif ; les vagues engendrées sont faibles sur le platier (De La Torre, 2004).
- lors de la marée montante, peu de particules sédimentaires sont mises en suspension. L'absence de courant de marée favorise le dépôt des sédiments (Storlazzi et al., 2004).
- à marée haute, une plus grande partie de l'énergie des vagues océaniques incidentes se propage sur le platier-récifal ; les vagues atteignent des hauteurs plus importantes en raison des profondeurs plus élevées sur les récifs. Les sédiments côtiers sont ainsi mis en mouvement (De La Torre, 2004).
- Lors de la marée descendante, les flux de retour entraînent les particules sédimentaires en dehors du récif vers le front récifal et la pente externe (Storlazzi et al., 2004).

Le transport sédimentaire est plus actif pendant les hautes mers de vives eaux lorsque la dissipation des vagues est plus faible (Brander *et al.*, 2004). Les changements significatifs de la production et du transport sédimentaire ont lieu lors des tempêtes ou des conditions extrêmes. Le principal agent déterminant les processus sédimentaires sur les côtes coralliennes demeure l'énergie résiduelle des vagues et leur propagation sur la surface des récifs.

4.3.2 Unité morphosédimentaire du cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance

L'unité morphosédimentaire du cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance est caractérisée par la présence d'un système côtier alluvial sur la majorité de son littoral (Figure 4.21). Il s'agit des côtes d'accumulation de sédiments terrigènes (galets et sables basaltiques

Figure 4.21 : Embouchure de la rivière Saint-Denis (© C. Baboulene, 2015 – Conservatoire du Littoral)

d'origine fluviatile). On distingue plusieurs stades de remaniement de ces alluvions (De La Torre, 2004) :

- le stade primaire correspond aux dépôts fluviatiles au droit des cours d'eau (cordon de galets primaires, cône delta tel que sur la Figure 4.21) ;
- le stade secondaire au transport par les courants marins des galets de part et d'autre des cours d'eau (cordons de galets secondaires) ;
- le troisième stade au comblement des baies par les matériaux plus fins (plages de sable volcanique) ;
- le quatrième stade à la reprise des sables de plage par le vent (dunes de sable volcanique).

L'unité morphosédimentaire du cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance est ici appréhendée de manière globale : les mouvements de sédiments longitudinaux et transversaux sont détaillés dans la limite des études et des sources bibliographies traitant du secteur.

4.3.2.a Sens et intensité des mouvements longitudinaux de sédiments

Si les courants océaniques ont des vitesses relativement faibles, les courants côtiers, liés soit à la houle (dérive littorale), soit à la marée, jouent ici un rôle notable dans le transport sédimentaire (De la Torre, Louzé, 2008). Au sein de cette unité morphosédimentaire, les mouvements longitudinaux de sédiments sont parallèles à la côte et se produisent globalement d'est en ouest, le long de la façade septentrionale, et du sud vers le nord, le long de la façade orientale de l'île (De La Torre, 2004 ; BRGM, 2006 ; De La Torre, 2006 ; Blangy *et al.*, 2009 ; De la Torre *et al.*, 2012).

La baie de Saint-Paul, à l'est du cap la Houssaye, est constituée de galets et de sables basaltiques. La taille des galets qui constituent le cordon sédimentaire diminue progressivement du nord vers le sud, laissant la place à des sables de plus en plus fins au sud de l'embouchure de l'étang de Saint-Paul où une plage s'adosse à une dune. Les sédiments formant la plage de Saint-Paul proviennent de la rivière des Galets et des apports détritiques de la mer.

La dérive littorale au niveau de la baie vient du nord (Figure 4.22) : elle est notamment à l'origine de la déviation vers le sud du chenal de sortie de l'étang de Saint-Paul (Troadec, 1991 ; Blangy *et al.*, 2009 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Les aménagements côtiers, et plus particulièrement les ouvrages transversaux (digues, jetées de port, épis, etc), sont des bons indicateurs du sens de la dérive littorale, car ils provoquent un blocage du courant de dérive qui transporte les sédiments. Il en résulte par conséquent une accumulation en amont de la dérive ainsi qu'une érosion en aval : c'est notamment le cas au niveau des ports de Saint-Benoît (Figure 4.26) et du Port-Ouest (Figure 4.23) (BRGM, 2006 ; De La Torre, 2006 ; Blangy *et al.*, 2009 ; De la Torre *et al.*, 2012).

La pointe des Galets se trouve à la convergence de deux dérives littorales opposées, l'une sud-nord depuis l'exutoire de la rivière des Galets à l'ouest et l'autre est-ouest, en provenance de La Possession à l'est (Figure 4.24). La forte dynamique érosive de la pointe est à mettre en relation avec le blocage des sédiments en provenance de la rivière des Galets par les jetées du Port-Ouest (Figure 4.23).

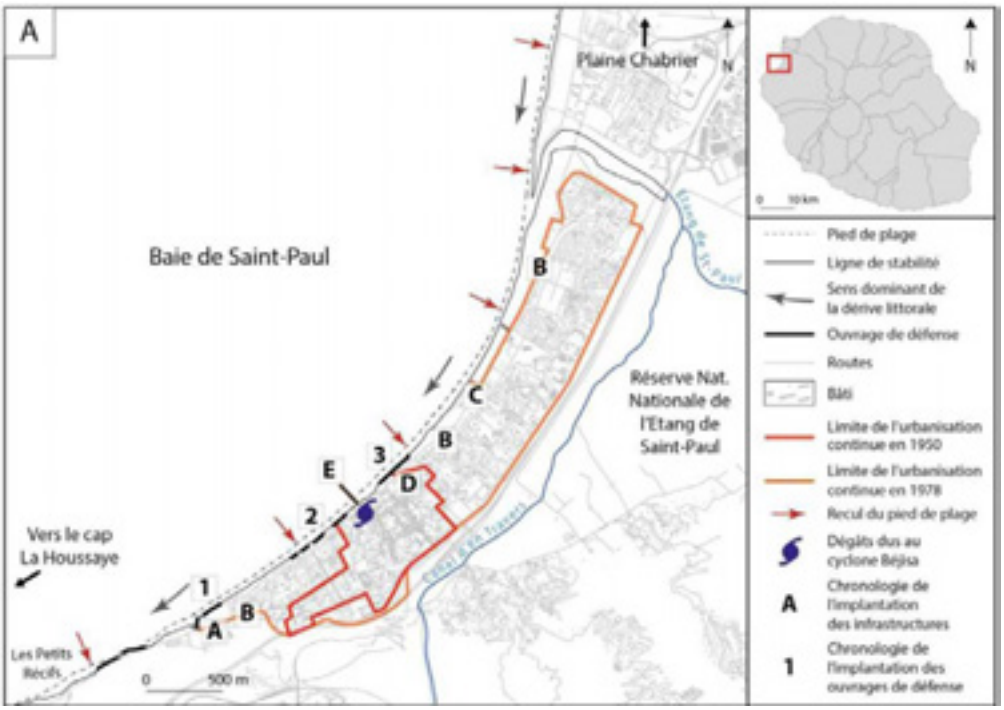


Figure 4.22 : Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur de la baie de Saint-Paul (Cazes-Duvat et al., 2016)

Figure 4.23 : Impact de la jetée sud du Port-Ouest sur la dérive littorale localement orientée sud-nord (© IGN, 2003 dans Blangy et al., 2009)

Privé de son unique zone d'approvisionnement, le cordon de galets situé entre la pointe des Galets et le Port-Est constitue une cellule hydrosédimentaire tributaire de son propre stock sédimentaire pour palier aux prélèvements faits par les tempêtes, responsables d'une dispersion des galets en profondeur (De La Torre, 2006 ; Blangy *et al.*, 2009 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Le site de **Saint-Denis**, entre la pointe des Jardins à l'ouest et la ravine du Chaudron à l'est, est constitué d'un continuum de galets principalement alimenté par la rivière des Pluies et plus ponctuellement par les ravines non pérennes qui y débouchent. Relativement linéaire, cette portion de côte est exposée aux houles d'alizés qui induisent un transit sédimentaire est-ouest du fait de la dérive littorale (**Figure 4.25**) (De La Torre, 2006 ; Blangy *et al.*, 2009 ; De la Torre *et al.*, 2012 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Le site de **Sainte-Suzanne**, entre la pointe de la Ravine des Chèvres et la pointe des Haziers, est constituée de falaises mixtes hautes d'une trentaine de mètres (lahars recouverts d'une coulée basaltique) et longées par un cordon de galets en pied alimenté par les rivières alentours. Comme pour le site de Saint-Denis, le site de Sainte-Suzanne est principalement exposé aux houles d'alizés qui induisent le transit sédimentaire du cordon de galets selon une résultante est-ouest (De La Torre, 2006).

Au niveau du front de mer urbain de la commune au sud des falaises, la morphologie longitudinale en barres (croissants de plage) asymétriques rythmiques corrobore l'orientation du transit sédimentaire résiduel vers le nord-ouest (Blangy *et al.*, 2009).

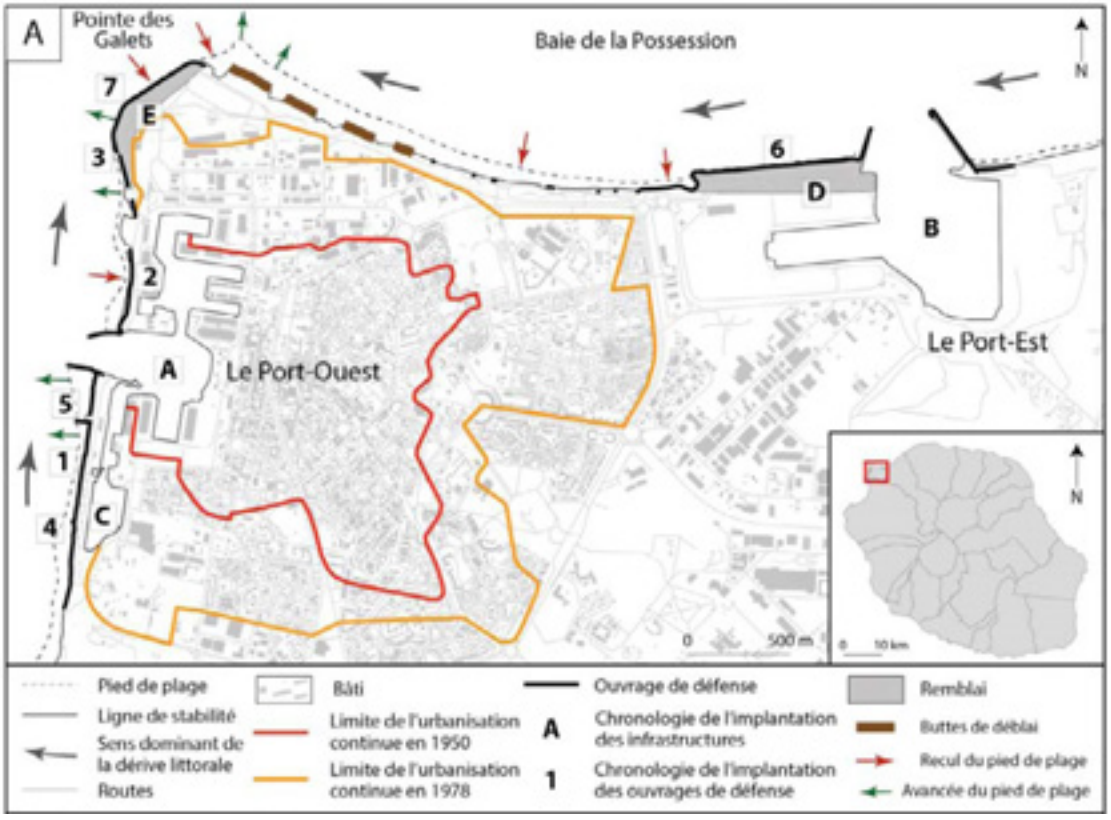


Figure 4.24 : Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur du Port-Ouest et du Port-Est (Cazes-Duvat et al., 2016)

Le site de **Saint-André**, entre Le Colosse et Grand Canal, est constitué d'un cordon de galets continu surmonté d'une petite falaise de formations superficielles (De La Torre, 2006). Il est exposé aux mêmes agents morphogènes que les sites de Sainte-Suzanne et de Saint-Denis, à savoir principalement les houles d'alizés, générant un courant de dérive sud-est – nord-ouest, et occasionnellement les houles cycloniques (Blangy *et al.*, 2009).

Le site du port de **Saint-Benoît** présente une morphologie différente de part et d'autre de la jetée du port avec, au sud un large cordon de galets, et au nord une banquette de galets résiduelle laissant à nus une micro-falaise de formations superficielles et des affleurements du substratum rocheux (De La Torre, 2006).

Ce contraste s'explique par le blocage du transit sédimentaire qu'occasionne l'ouvrage de protection transversale. En effet, la dérive littorale générée par les houles d'alizés achemine les galets de la Ravine Sèche vers le nord, où ils finissent par s'accumuler en butée sur la digue du port du Butor. De l'autre côté, le même transfert sédimentaire sud-nord a lieu mais la zone de départ des sédiments ne peut pas être rechargée à cause de la jetée : il en résulte donc une dépression sédimentaire au nord de l'ouvrage et une érosion très marquée en aval-dérive (De la Torre, 2004 ; De La Torre, 2006 ; Blangy *et al.*, 2009).

4.3.2.b Sens et intensité des mouvements de sédiments dans le profil

Au-delà de l'exutoire qui permet à l'étang **Saint-Paul** de communiquer temporairement avec la mer, les galets cèdent la place à des sables fins, bien classés, d'origine volcanique. Ceux-ci, repris par le vent, alimentent les dunes qui se développent dans le profil des plages en allant vers le sud. Dans la partie centrale, elles ont été détruites par l'urbanisation et artificiellement fixées au-delà par des boisements (Blangy *et al.*, 2009).

Les sites du Port et de **Saint-Denis** sont occasionnellement concernés par les houles cycloniques septentrionales qui engendrent un transit

Figure 4.26 : Blocage de la dérive littorale au droit de la digue du port de Saint-Benoît qui provoque une érosion de la côte à l'aval (© BRGM, 2004)

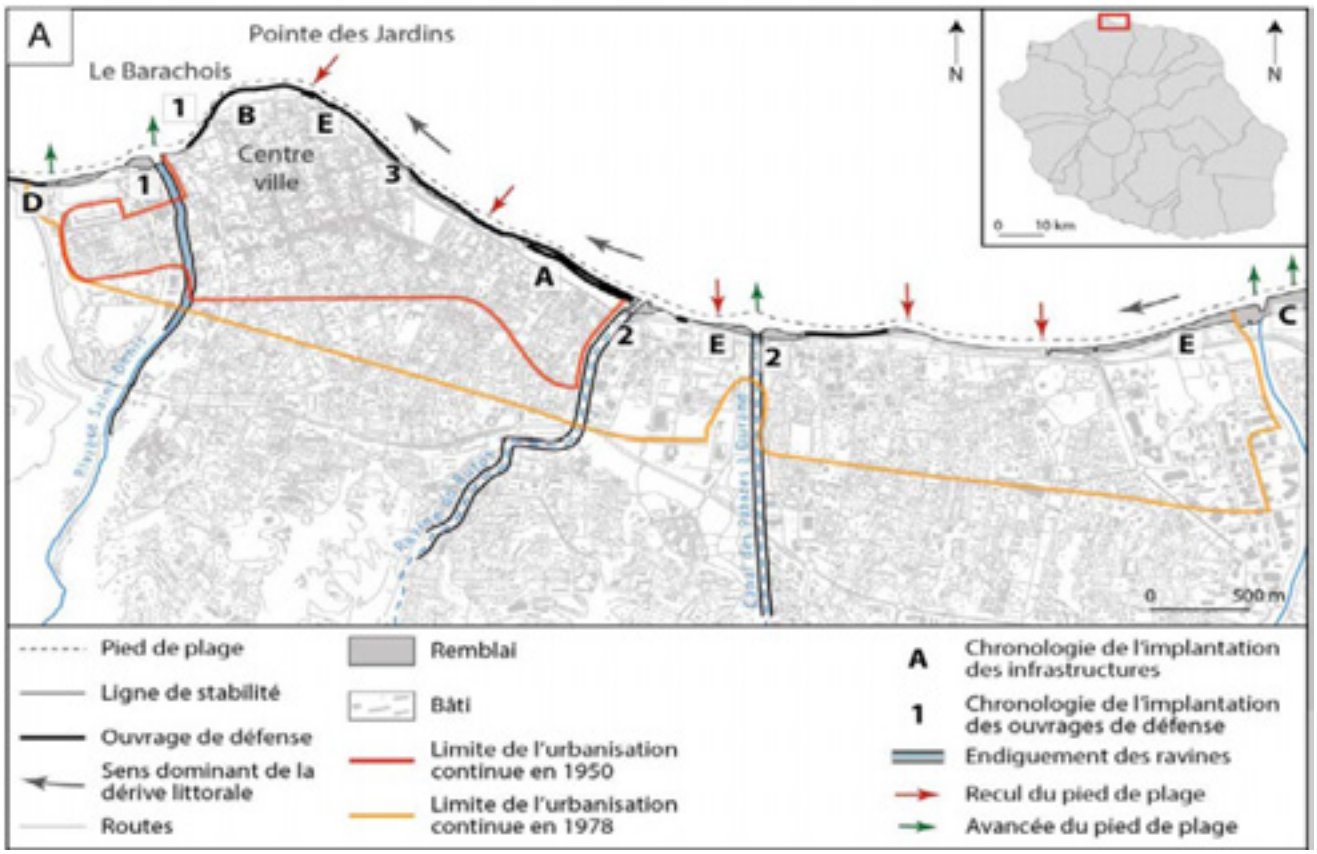


Figure 4.25 : Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur de Saint-Denis (Cazes-Duvat et al., 2016

sédimentaire transversal à la côte (*cross-shore*) vers la partie immergée du profil. Ce transit peut provoquer des déficits ponctuels sédimentaires qui sont généralement équilibrés par les apports sédimentaires dus aux faibles houles (Blangy *et al.*, 2009).

L'érosion continue de la pointe des Galets s'explique en partie à cause de la configuration de ses pentes sous-marines au large qui sont très abruptes et impliquent un transit *cross-shore* immédiat des sédiments vers les grands fonds (Blangy *et al.*, 2009).

Moins fréquentes mais beaucoup plus fortes, les houles cycloniques sont également responsables de l'érosion des falaises mixtes de **Sainte-Suzanne**, par effet de sapement sur leur pied (De La Torre, 2006).

Les profils de côte établis par Blangy *et al.* (2009) au niveau des falaises et micro-falaises mixtes de Sainte-Suzanne révèlent l'existence d'accumulations de matériel sous la forme de barres sédimentaires, à des profondeurs inférieures à 7 m, qui témoignent de la manifestation d'un transit sédimentaire vers les fonds marins. Le déficit sédimentaire sur la partie émergée s'expliquerait donc par les mouvements transversaux de sédiments au profil qui viennent alimenter ces accumulations sous-marines.

Enfin, au nord de la digue du port de **Saint-Benoît**, des transits *cross-shore* sont également illustrés par Blangy *et al.* (2009). En effet, la rupture de pente marquant la jonction de la falaise et du cordon de galets au nord de la digue était très présente en 2006 (Figure 4.27) : la pente de la falaise, très verticale, présentait des sous-cavages qui trahissaient alors les attaques régulières du pied de falaise par la houle. Le profil réalisé en 2009 présentait quant à lui une pente plus faible, marquant un transit sédimentaire de la falaise vers la plage (Figure 4.27).

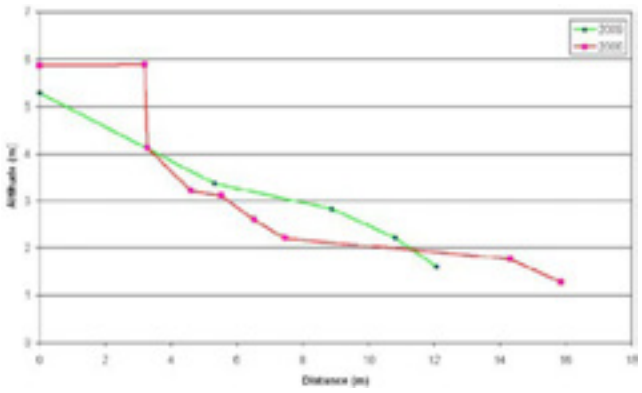


Figure 4.27 : Évolution du profil topographique du secteur nord aval-dérive de la digue du port de Saint-Benoît entre 2006 et 2009 (Blangy et al., 2009)

4.3.3 Unité morphosédimentaire de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste

L'unité morphosédimentaire de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste est caractérisée par l'omniprésence d'un système côtier rocheux, regroupant les falaises et les côtes rocheuses basses du massif de la Fournaise (deltas de lave, plate-formes d'abrasion). Le plus souvent basaltiques, ces formations peuvent aussi être meubles ou mixtes et composées de formations superficielles (De La Torre, 2004).

L'unité morphosédimentaire de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste est ici appréhendée de manière globale : les mouvements sédimentaires sont ici détaillés dans la limite des études et des sources bibliographiques traitant du secteur.

4.3.3.a Sens et intensité des mouvements longitudinaux de sédiments

À proximité du rivage sud-est de La Réunion, les houles incidentes générées par les alizés sont à l'origine de deux dérives littorales, parcourant l'île le long de sa façade orientale et occidentale et dont les courants sont globalement orientés vers le nord-ouest (Bastone, De la Torre, 2011). La bibliographie actuelle ne semble pas fournir d'éléments plus détaillés et précis sur les mouvements sédimentaires longitudinaux entre la pointe de Bonne Espérance et le cap Auguste.

Compte tenu du régime climatique de La Réunion et de la répartition des pluies, la côte sud-est ne présente pas beaucoup de zones d'accumulation qui puissent renseigner sur l'état des processus hydrosédimentaires locaux en lien avec la dérive littorale.

Les formes d'ablation sont effectivement dominantes avec des falaises littorales bien marquées (De la Torre, 2004 ; Fèvre, 2005). L'évolution de la côte rocheuse semble plus majoritairement s'effectuer par des mouvements de terrain transversaux (voir 2.5.2 Facteurs et mécanismes d'évolution des côtes rocheuses) de type glissements ou chutes de blocs (Figure 4.28).

4.3.3.b Sens et intensité des mouvements de sédiments dans le profil

Sur la côte rocheuse réunionnaise, différents types de mouvements de terrain peuvent survenir et dépendent étroitement de la géologie, de la géomorphologie et de l'état de fracturation du milieu (voir 2.3.1.a Description géomorphologique générale) : des chutes de blocs et éboulements, des sous-cavages et sapements de pied de falaise, des glissements et des effondrements (Figure 4.28).

Les mouvements de terrain se manifestent par le déplacement gravitaire de masses de terrain sous l'effet de divers facteurs possibles, qu'ils soient naturels (vagues, intempéries, séismes volcaniques) ou anthropiques (déforestation, extractions et exploitations des sols). Néanmoins, l'eau demeure malgré tout le facteur le plus fréquemment impliqué pour cet aléa, puisqu'il est le principal vecteur des instabilités de terrain.

Les falaises de La Réunion, qui sont largement exposées aux houles d'alizés dominantes, sont principalement fragilisées par le sapement marin. L'action mécanique des vagues favorise le mitraillage du pied de falaise par les galets et les phénomènes de compression/décompression, à l'origine d'un sous-cavage (Figure 4.28-1).

Le surplomb ainsi créé finit par provoquer des chutes de blocs et des éboulements massifs par à-coup (Figure 4.28-2). Enfin, les vagues participent à la dispersion des éboulis qui protègent le pied de falaise contre une érosion directe de la roche (Figure 4.28-3) (Fèvre, 2005).

Les glissements de terrain impactent plus particulièrement les formations géologiques meubles et instables. Les pressions interstitielles qui vont s'opérer lors d'un épisode pluvieux événementiel au sein du matériel vont être responsables de sa déstabilisation. Le matériel se trouvant fragilisé est par la suite mobilisé, rompu et transporté jusqu'au pied de la falaise (BRGM, 2006).

La mise en mouvement des matériaux rocheux ou meubles est également favorisée ou aggravée par des mécanismes hydriques tels que la circulation d'eau souterraine, l'infiltration d'eau pluviale et le ruissellement. La présence d'eau dans les roches et les sols adjacents, outre la contribution à une altération et une dégradation chimique et mécanique des roches, augmente la pression interstitielle, réduit la cohésion des sols et diminue la résistance au cisaillement des matériaux rocheux discontinus, se traduisant par des glissements ou des effondrements (BRGM, 2006).

De manière générale, la présence d'une plage en pied de falaise dépend étroitement de la nature des matériaux constituant son abrupt. Les falaises rocheuses, composées de matériaux durs, ne présentent à leur pied que des plages très étroites, maigres voire souvent inexistantes. En revanche, la présence d'une formation superficielle d'altérites sur le substrat de la falaise favorise le développement d'une plage de poche en contre-bas, alimentée par les effets combinés des processus érosifs et des apports en alluvions. Le long de la côte à falaises rocheuses, naissent ainsi dans les fonds d'anse ou de crique des plages de poche entre deux éperons rocheux telles que l'anse des Cascades (Figure 4.29) (Lorion, Villeneuve, 2007).

4.3.4 Unité morphosédimentaire du cap Auguste au cap la Houssaye

L'unité morphosédimentaire du cap Auguste (sud de Grande Anse, Petite-Île) au cap la Houssaye (Saint-Paul) est caractérisée par la présence originale de plusieurs systèmes côtiers coralliens, uniquement présents sur les façades sud et ouest de La Réunion. Il s'agit des plages situées en arrière des formations récifales et alimentées par celles-ci (voir 2.3.1.d Description géomorphologique du cap Auguste au cap la Houssaye). Pour le reste, la côte alterne entre falaises basses et plages de sable basaltique alluvionnaire (De La Torre, 2004 ; BRGM, 2006).

Figure 4.29 : Anse des Cascades (source : www.cartedelareunion.fr)

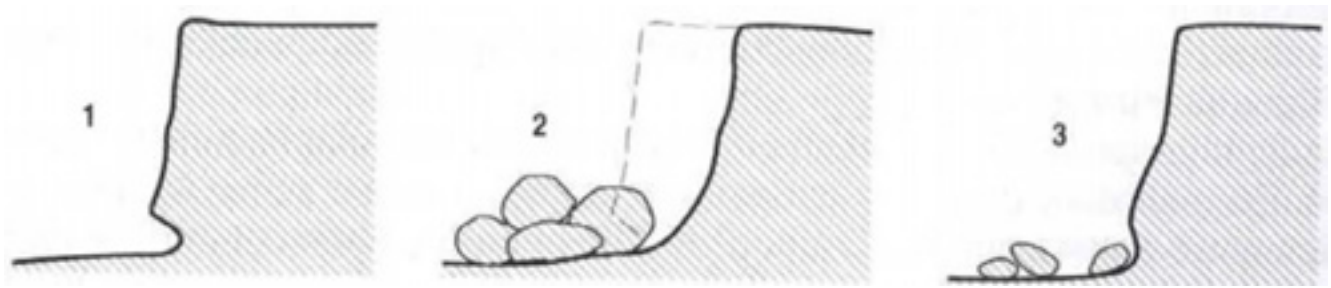


Figure 4.28 : Processus classique de recul des falaises. 1 : sous-cavages et sapements de pied de falaise ; 2 : chutes de blocs, effondrements ou glissements ; 3 : dispersion des éboulis (© BRGM dans Blangy et al., 2009)

L'unité morphosédimentaire du cap Auguste au cap la Houssaye est ici appréhendée de manière globale : les mouvements de sédiments longitudinaux et transversaux sont détaillés dans la limite des études et des sources bibliographies traitant du secteur.

4.3.4.a Sens et intensité des mouvements longitudinaux de sédiments

Le transit littoral à La Réunion est lié aux vagues : les mouvements longitudinaux de sédiments sont globalement parallèles à la côte et se produisent d'est en ouest le long de la façade méridionale, du sud vers le nord le long de la façade occidentale de l'île (De La Torre, 2004 ; Bastone, De la Torre, 2011 ; Mahabot, 2016) et plus particulièrement entre la pointe de Langevin (Saint-Joseph) et la pointe des Trois Bassins (Les-Trois-Bassins), au sud de La-Saline-les-Bains (BRGM, 2012).

Le site de Grande-Anse, sur la commune de **Petit-Île** entre le cap Auguste et le cap de l'Abri, abrite dans une échancrure du linéaire côtier rocheux la plage corallienne la plus méridionale de La Réunion. Cette plage de poche se compose essentiellement de sable biodétritique (corallien et coquillier) relativement grossier et comporte des *beachrocks*[15] en bas d'estran. La plage est soumise à un fort courant de vidange au nord (ANTEA/In Vivo, 2003), à l'origine d'un important transit sédimentaire longitudinal dans le sens sud-nord responsable d'une asymétrie de la plage, alors plus large au nord qu'au sud (De La Torre, 2006).

Entre la jetée ouest du port de **Saint-Pierre** et la Ravine Blanche, la plage est également constituée de sable biodétritique provenant d'un récif corallien relativement développé pour La Réunion (jusqu'à 350 m du bord). Les transits sédimentaires semblent s'effectuer parallèlement à la côte, vers le nord (Figure 4.30) (Cazes-Duvat, Paskoff, 2004 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Cependant, le manque de connaissance sur la courantologie de la dépression arrière-récifale de Saint-Pierre ne permet pas d'évaluer précisément les transits sédimentaires longitudinaux (Blangy *et al.*, 2009).

Les aménagements côtiers, et plus particulièrement les ouvrages transversaux (digues, jetées de port, épis, etc), sont des bons indicateurs du sens de la dérive littorale, car ils provoquent un blocage du courant de dérive qui transporte les sédiments. Il en résulte par conséquent une accumulation en amont de la dérive ainsi qu'une érosion en aval (BRGM, 2006) : c'est notamment le cas au niveau des ports de Saint-Leu et de Saint-Gilles.

En effet, la dérive littorale localement orientée sud-nord se trouve bloquée en plusieurs endroits sur le littoral de **Saint-Leu** du fait de la présence d'épis et de digues, à l'origine d'une forte dynamique érosive observée au nord de la commune (ACOA Conseil, 2017). D'après les études d'Actimar (2011), un modèle simulant le sens et l'intensité des courants marins a pu être généré afin de mieux comprendre les dynamiques hydrauliques gouvernant la sédimentation au droit de ce secteur (Figure 4.31).

Dans un contexte de dérive littorale dirigée vers le nord, le modèle présenté en Figure 4.31 décrit de forts courants sur la barrière récifale, au droit du déferlement des vagues, dans un contexte de contrainte aux houles australes de période de retour 1 an.

L'hydrodynamisme perd en intensité au niveau du port de Saint-Leu où, en raison de la réfraction des houles incidentes, les courants sont plus faibles et sont donc soumis à une recirculation interne devant l'entrée du port, au nord de la passe.

Ainsi, la part des sédiments provenant des ravines du Grand Étang et du Petit Étang qui n'a pas été bloquée en amont-dérive des aménagements portuaires est finalement transportée par la dérive littorale jusqu'au nord du port où les conditions hydrodynamiques locales permettent la sédimentation (Actimar, 2011).

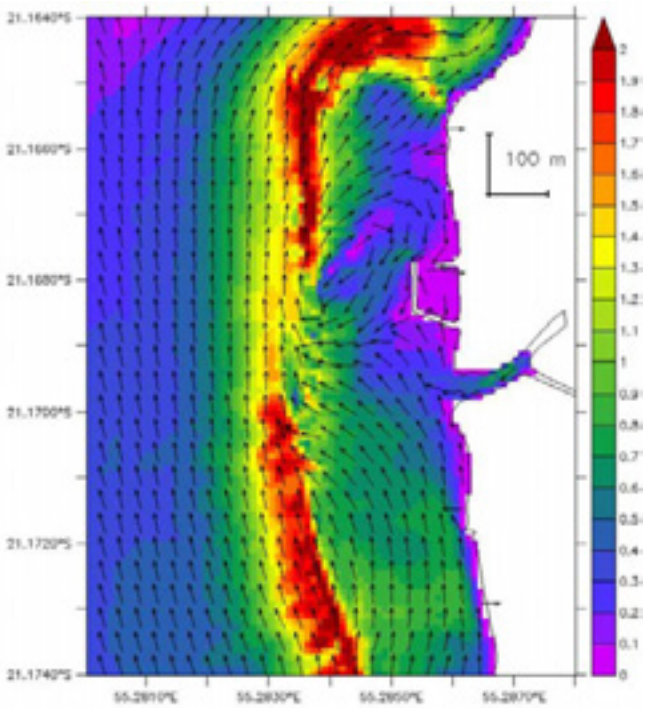


Figure 4.31 : Courant moyen simulé (en m/s) sous l'action d'une houle australe de période de retour 1 an associée à un débit de la ravine de Saint-Leu équivalant à 10 % du débit décennal des ravines confluentes du Grand Étang et du Petit Étang (Actimar, 2011)

15| Cimentation du sable en une dalle de grès

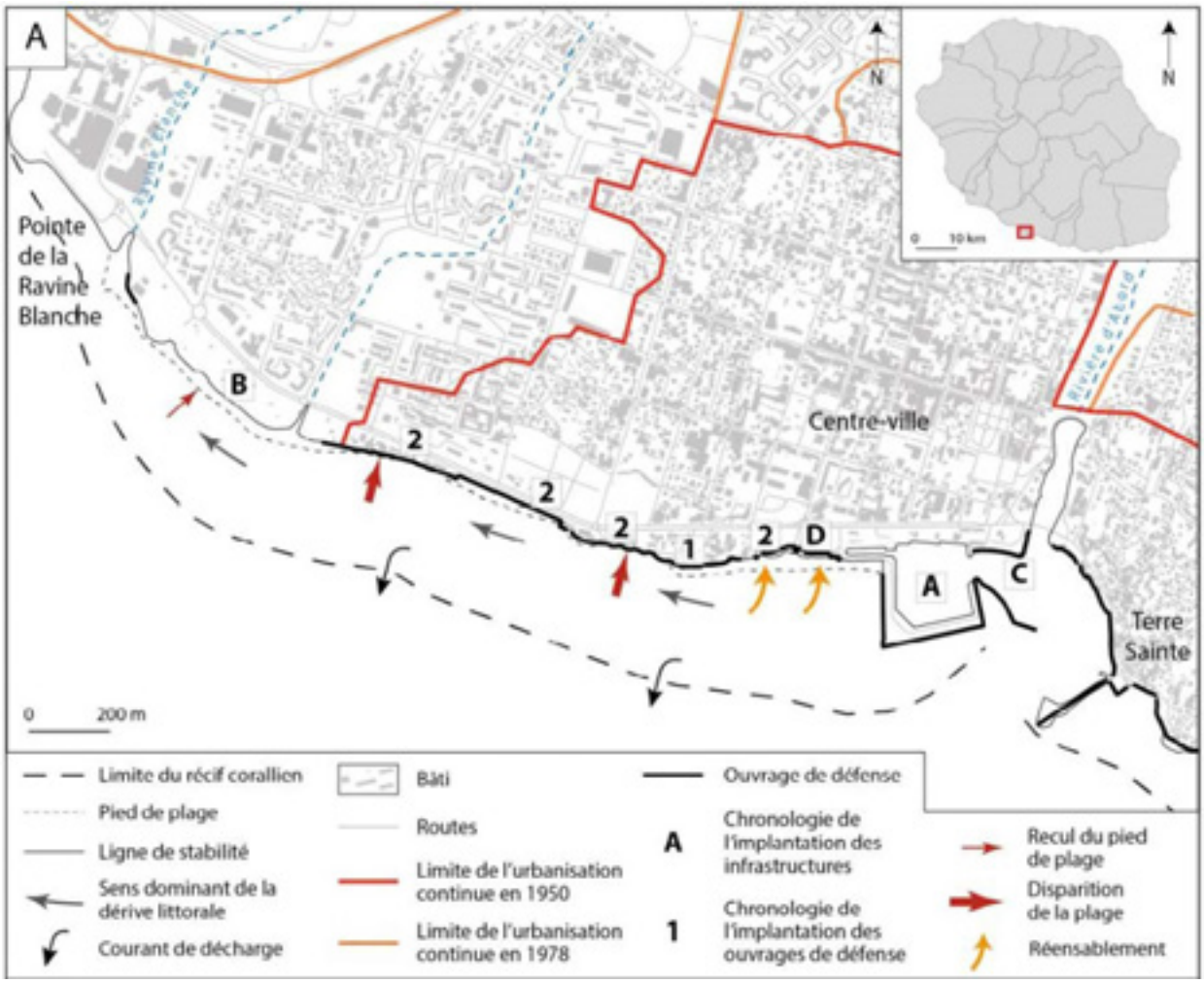


Figure 4.30 : Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur de Saint-Pierre (Cazes-Duvat et al., 2016)

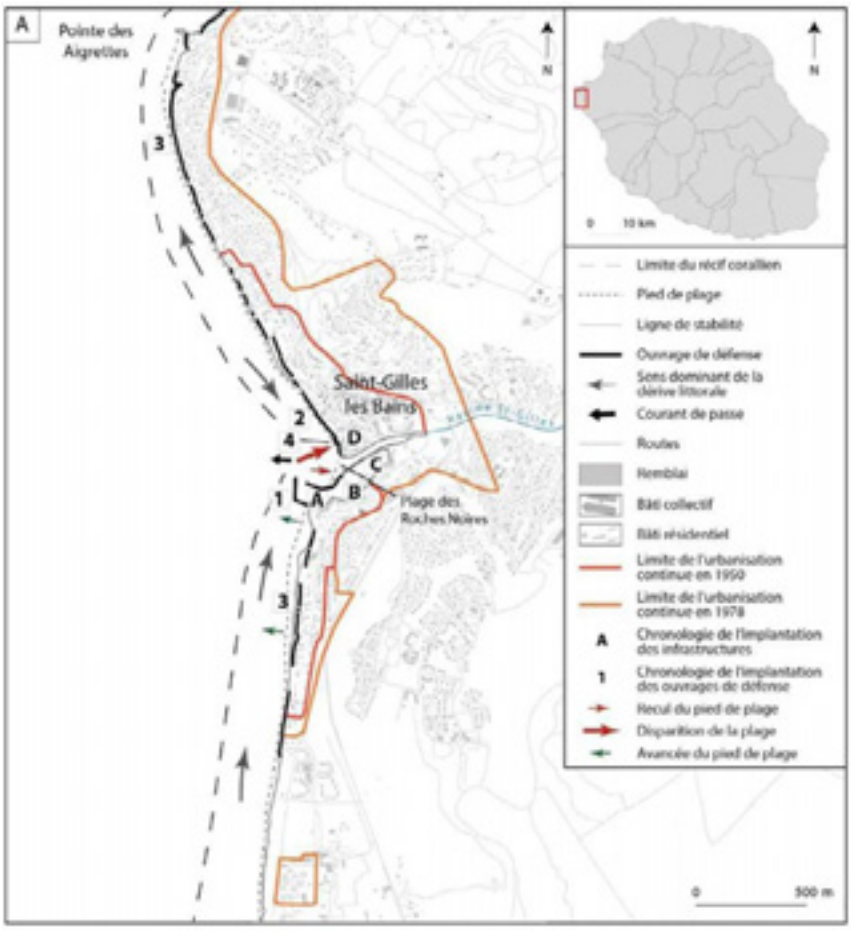


Figure 4.32 : Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur de Saint-Gilles (Cazes-Duvat et al., 2016)

Figure 4.33 : Influence de la digue du port de Saint-Gilles sur la dérive littorale et les transits sédimentaires associés (© A. Lemahieu, 2012)

Par un effet d'épis, la digue du port de **Saint-Gilles** interrompt également la dérive littorale sud-nord (Figure 4.32 et Figure 4.33). Le sable qui s'accumule dans la partie sud au niveau de la plage des Brisants n'alimente plus le secteur des Roches Noires, dont le budget sédimentaire se trouve largement déficitaire (Gabrié, 1985 ; Troadec, 1991 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016 ; Mahabot, 2016). La dérive sud-nord se poursuit au sein de la présente unité morphosédimentaire depuis la pointe des Aigrettes jusqu'au cap la Houssaye (Figure 4.34).

4.3.4.b Sens et intensité des mouvements de sédiments dans le profil

La plage dans le secteur de l'**Étang-Salé-les-Bains**, entre la pointe de l'Étang-Salé et la pointe des Sables, est composée de sable mixte. Elle est alimentée par les sables basaltiques du massif dunaire, les sables de la plage de l'Étang-Salé et les sables biodétritiques produits par le récif corallien situé dans la partie infralittorale. L'incurvation du récif vers le nord indique que le courant dominant correspond à la vidange de la masse d'eau lagonaire avec les vagues. Au niveau de la pointe des Sables, ce courant rencontre un courant opposé, ce qui engendre une accumulation sédimentaire à l'origine de la formation de la flèche sableuse.

Orientée quasiment dos aux vagues et bénéficiant d'un récif accolé à la côte, la partie à l'extrême sud du secteur est beaucoup plus abritée et ne semble pas concernée par le courant de vidange. Le sable corallien peut donc s'y déposer. Les aménagements sont également plus en retrait sur la base rocheuse du cap, ce qui permet aux placages sédimentaires de s'engraisser (De La Torre, 2006).

La partie nord de la plage en revanche semble en érosion continue et cette tendance au recul pourrait s'expliquer par la présence des aménagements en haut de plage qui bloquent le stock sédimentaire et empêchent les transits

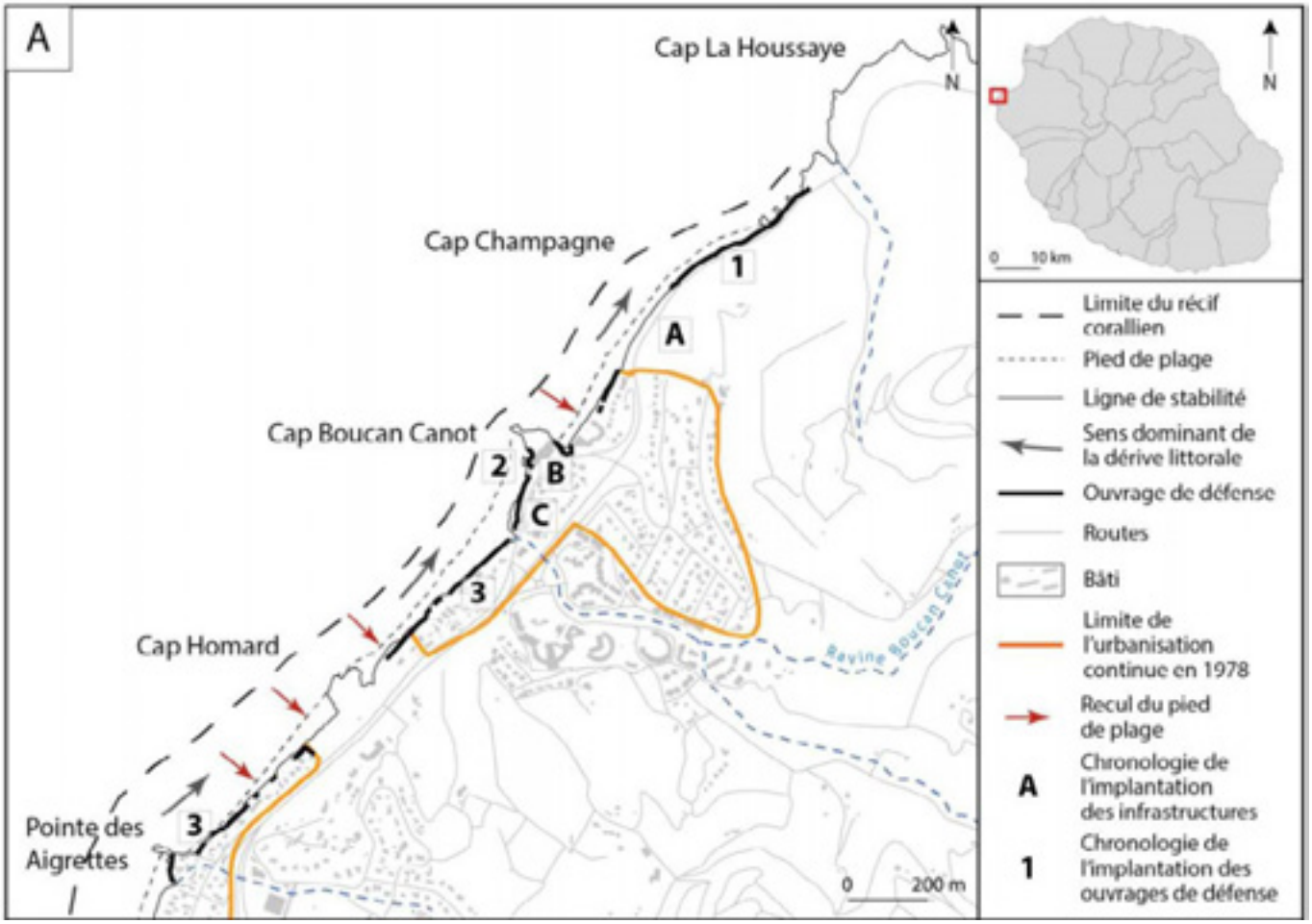


Figure 4.34 : Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur de Boucan Canot (Cazes-Duvat et al., 2016)

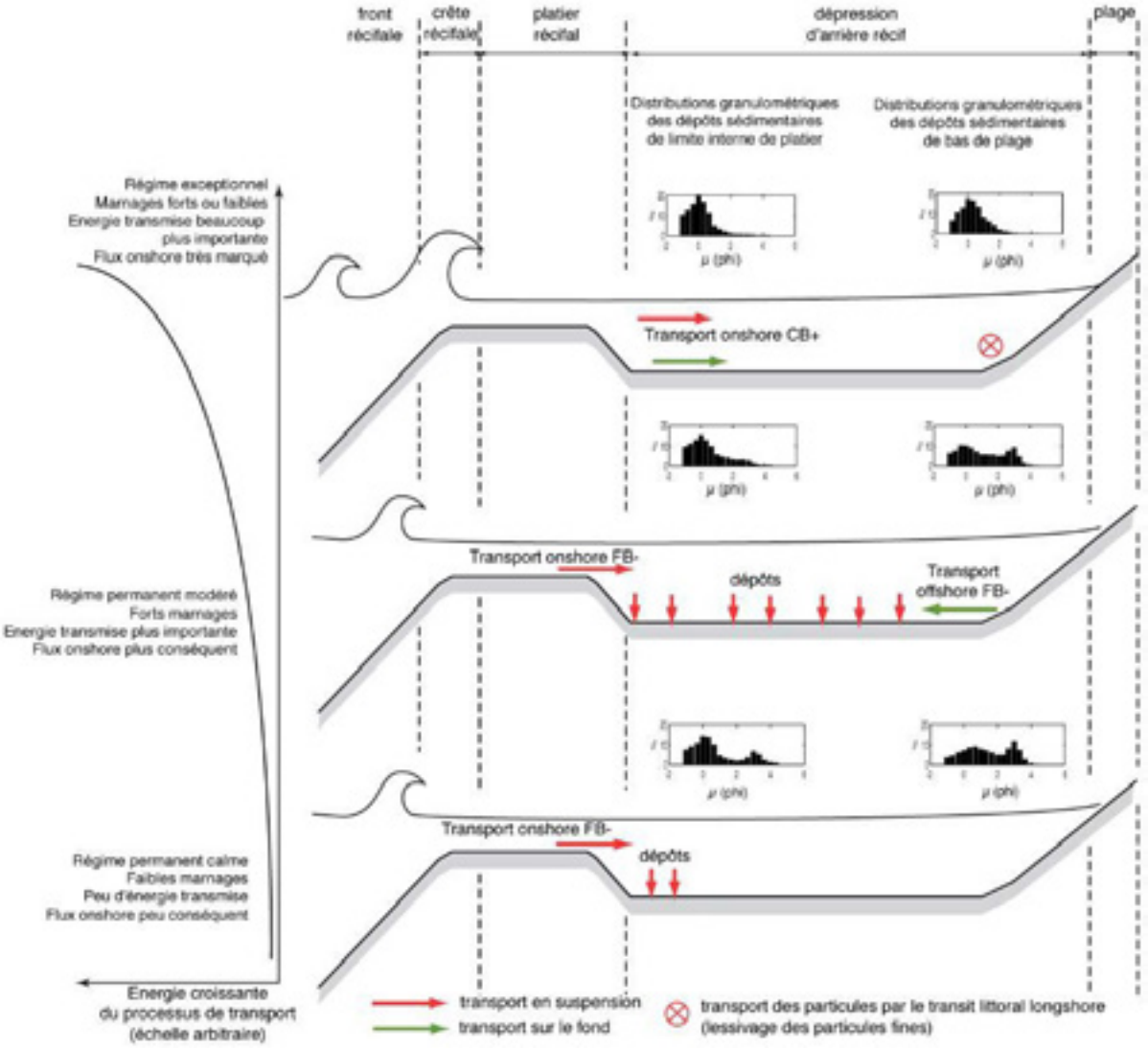


Figure 4.36 : Synthèse des mécanismes de transport sédimentaire dans la dépression arrière-récifale de l'Ermitage en fonction du degré d'énergie des processus de transport forcés par les conditions environnementales (d'après Cordier, 2007)

sédimentaires *cross-shore* nécessaires à l'équilibre du cordon. Par ailleurs, les opérations de dragage en vue d'entretenir le canal pour permettre l'accès aux bateaux engendre des pertes sédimentaires et accélère le courant de retour entraînant le sable vers les fonds marins (Blangy *et al.*, 2009).

Les passes des récifs de **Saint-Gilles** et de **l'Ermitage** déterminent la circulation des eaux arrière-récifales et le transport des sédiments de la plage. Le lagon se remplit et se vide en fonction du cycle de la marée et des vagues, l'eau et les sédiments étant vidangés par la passe (Figure 4.36).

La passe interrompt le récif, car elle correspond au débouché d'une rivière ou d'une ravine (l'eau douce et les matières en suspension empêchant le développement du corail), un fort courant de décharge chasse les sédiments vers le large, transversalement au profil de la plage (Figure 4.35).

Les sédiments évacués vers les fonds marins lors des épisodes tempétueux reviennent en partie à la côte en période de beau temps pour réalimenter le cordon sableux qui barre l'embouchure des cours d'eau (Cordier, 2007 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016 ; Mahabot, 2016).

Figure 4.35 : Drainage des sédiments depuis la plage vers le large par l'action des courants engendrés à travers la passe du récif de l'Ermitage (© BRGM, 2004)

Les aménagements situés sur le haut de plage sont à l'origine d'affouillements lors d'évènements de houle extrême et accélèrent le départ de sable dans la dépression arrière-récifale. Ces aménagements bloquent les transits sédimentaires dans le profil entre la plage et l'arrière-plage, nécessaires au bon équilibre du budget sédimentaire de la plage (Troadec, 1991 ; Blangy *et al.*, 2009).

Enfin, des mouvements transversaux de sédiments sont également bien visibles sur le site de la **pointe du Diable** : situées à l'ouest de l'agglomération de Saint-Pierre entre le cap Tuf et le cap Rond, les falaises hautes (15 m) qui caractérisent le secteur sont tendres (tufs ponceux) et exposées aux houles australes. La spécificité de cette forme d'ablation est qu'elle évolue par érosion brutale en chute de blocs qui s'accumulent en pied de falaise (Blangy *et al.*, 2009).

4.4 Puits de sédiments

Les puits de sédiments sont des lieux dans lesquels un sédiment entrant ne peut revenir dans le système côtier par des phénomènes physiques naturels. Ces sédiments sont soit définitivement perdus (non remobilisables) pour le système, soit temporairement déposés dans des réservoirs tels que les massifs dunaires, les baies et les estuaires qui constituent un réservoir sédimentaire au littoral.

En dynamique sédimentaire, la longueur de rugosité du fond est un paramètre important qui conditionne les pertes de matériel sédimentaire générées par le frottement visqueux de l'écoulement. Cette longueur de rugosité dépend de la granulométrie du fond et de sa géométrie (présences de rides ou dunes), ainsi que des forçages hydrodynamiques (Brown *et al.*, 2002).

4.4.1 Pertes de sédiments définitives

Compte tenu de la pente abrupte du talus sous-marin (Figure 4.37), notamment au droit des grands cônes alluvionnaires, une grande partie des apports terrigènes qui se déversent directement vers les grands fonds sont définitivement perdus pour le système côtier et le transit littoral (Aubié *et al.*, 2001). Au droit de la pointe des Galets, les pentes sous-marines sont par exemple très abruptes et impliquent le transit immédiat des sédiments vers les grands fonds (Blangy *et al.*, 2009).

Au sein des systèmes coralliens et des plages ou dunes associées, la puissance des vagues de tempêtes

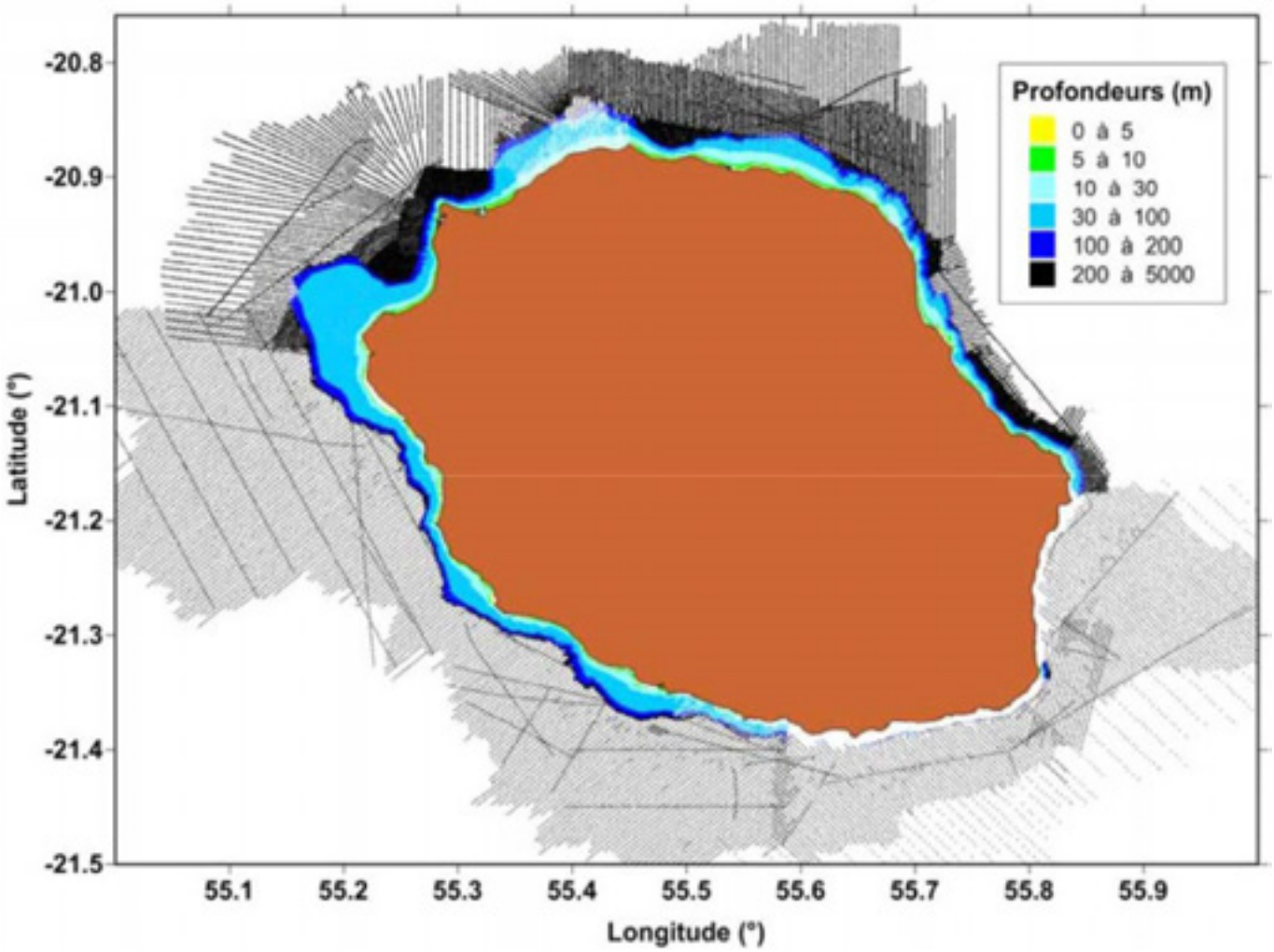


Figure 4.37 : Couverture des sondes bathymétriques réalisées par le SHOM (dans Pedreros et al., 2009)

érodent les côtes. Elles peuvent emporter les sables et les débris sur le platier récifal et dans les passes par lesquelles s'opèrent des pertes définitives de sédiments au profit des fonds marins (Cazes-Duvat, 2008).

Suite à l'érosion des plages coralliennes lors de fortes tempêtes, le matériel emporté au-delà du récif corallien, par ces événements exceptionnels, ne peut plus réalimenter la plage. C'est le cas de la plage de l'Ermitage : le matériel érodé, une fois déposé au large, ne peut pas revenir sur la plage. C'est une perte définitive du matériel sédimentaire (Bastone *et al.*, 2012).

Dans le secteur de l'Étang-Salé-les-Bains, entre la pointe de l'Étang-Salé et la pointe des Sables, la partie nord affiche une tendance à l'érosion relativement plus marquée qu'au sud, où une accrétion de sable essentiellement biodétritique est constatée. Le sable étant différent au sud et au nord de la plage, l'érosion en amont-dérive et l'accrétion en aval-dérive ne peuvent pas résulter des transferts sédimentaires nord-sud. Il semble plutôt que le sable soit amené dans le chenal où il est vidangé par le courant vers le large. Le creusement régulier du chenal doit en outre engendrer des pertes sédimentaires qui contribuent à l'érosion de plage (De La Torre, 2006).

Au niveau de la plage de Saint-Pierre, l'incurvation du récif vers le nord est due au courant de vidange du bassin lagonaire. La flèche sableuse au niveau de la pointe des Sables est le résultat de la rencontre du courant de vidange avec un courant opposé. Là aussi, le secteur nord de la plage affiche un recul régulier en raison du courant de retour qui traverse le chenal et qui emporte le sable vers les fonds marins. De plus le dragage du canal pour la sortie des bateaux engendre des pertes sédimentaires (Blangy *et al.*, 2009).

À cause des aménagements continus du haut de plage qui empêchent toute compensation des pertes en sable d'une part, et en raison du creusement du lagon qui accélère vraisemblablement le courant d'autre part, la disparition du stock de sable semble inéluctable pour les deux sites de Saint-Pierre et de l'Étang-Salé-les-Bains. La pérennité de ces plages semble donc dépendre de la capacité des récifs à produire du sable corallien pour compenser (De La Torre, 2006 ; Cordier, 2007 ; Blangy *et al.*, 2009 ; Mahabot, 2016).

4.4.2 Dépôts temporaires et remobilisables

Les dépôts temporaires et remobilisables sont nombreux : les fleuves et les rivières constituent un réservoir à sédiments non négligeable pour les baies et les plages ; la présence de massifs dunaires sur le littoral participe également au piégeage des sédiments, notamment éoliens.

Pour se former, une dune à besoin d'une quantité importante de sable, suffisamment fin pour être transporté par le vent. La végétation peut alors contribuer dans certaines conditions à la formation de la dune. En effet, cette végétation d'arrière-plage, freine la vitesse du vent et permet l'accumulation d'éléments fins en arrière-plage, créant ainsi une dune. Comme ces dépôts ne sont que temporaires, ils sont mobilisables à chaque tempête limitant ainsi l'érosion de la côte (Favennec, 2006).

4.5 Bilan sur les mouvements de sédiments

Des sédiments issus de l'érosion liée aux actions naturelles

Les différents types d'apports sédimentaires à la côte pour l'île de La Réunion sont essentiellement des apports fluviatiles, terrigènes, éoliens et biogènes (**Figure 4.38**). Les apports terrigènes peuvent être en partie associés aux apports fluviatiles. C'est grâce au ruissellement et à l'écoulement que des apports solides de matériel détritique, venant de l'érosion des sols, sont transportés à la côte et engraissent les deltas (Le Berre, 2010).

Les apports marins biodétritiques, sont présents dans la partie ouest et sud de l'île de La Réunion où des récifs coralliens s'y développent. Cette matière biodétritique, issue de l'évolution du niveau marin et de l'évolution des récifs coralliens, engraisse les plages associées aux récifs frangeants. Toutefois, une autre forme d'engraissement venant de l'océan est possible : l'action de la houle peut effectivement s'avérer parfois bénéfique. Il s'agit de houles constructives (houle de « beau temps ») qui ramènent les sédiments vers la surface (BRGM, 2012).

L'action du vent contribue à la formation des cordons dunaires par accumulation de matériel sur les plages. Lors d'une tempête, les dunes constituent une réserve sédimentaire face à l'érosion des vagues. Le matériel prélevé se retrouve alors dans les petits fonds (Cordier, 2007).

Concernant les fonds marins de l'avant-côte de La Réunion, les systèmes sédimentaires volcanoclastiques sont alimentés par les rivières majeures et proviennent des cinq principales structures morphologiques de l'île que sont Saint-Denis, Saint-Joseph, les cirques de Cilaos, de Mafate et de Salazie (Saint-Ange, 2009 dans Sisavath, 2011).

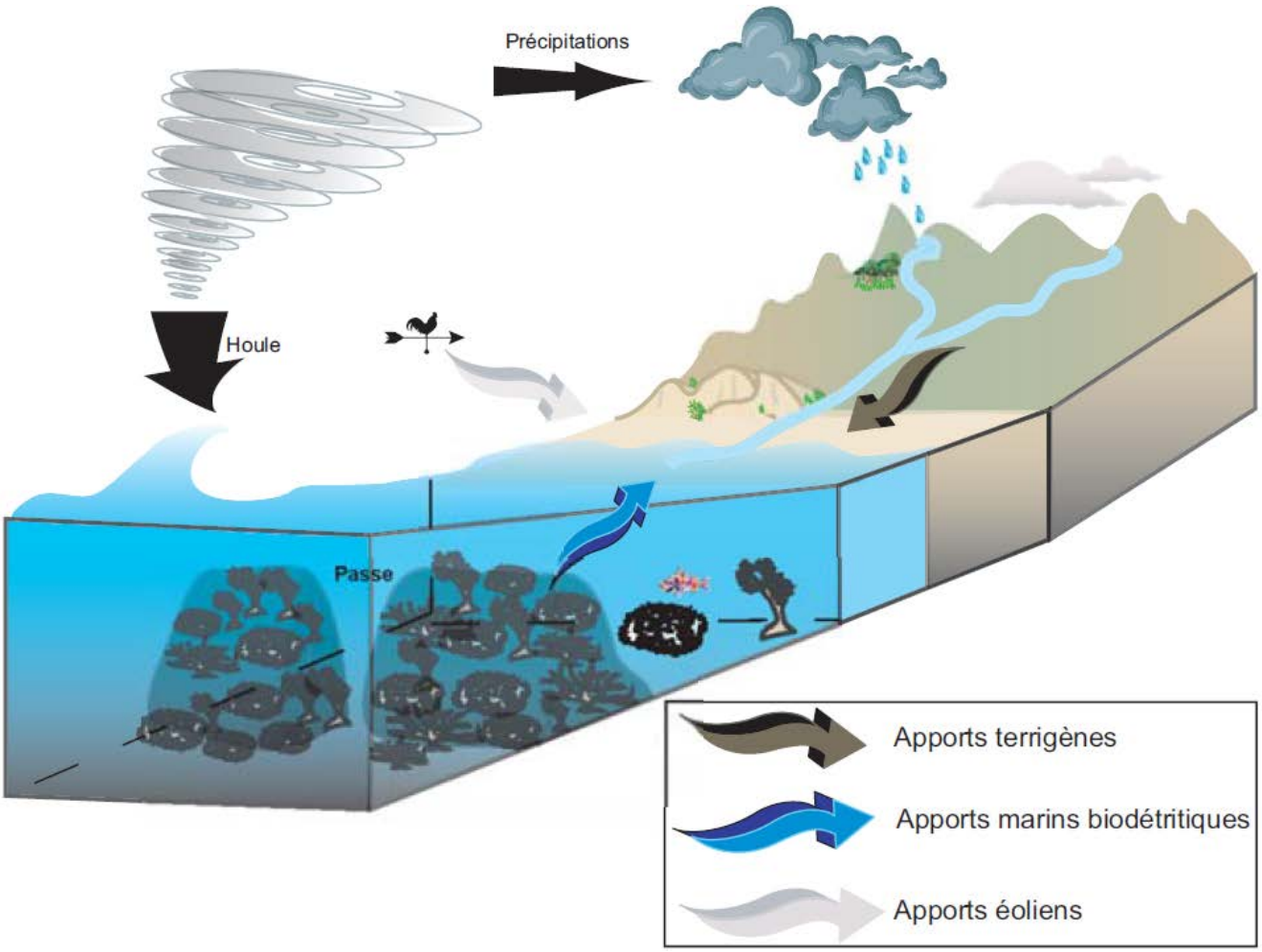


Figure 4.38 : Facteurs intervenant dans le fonctionnement d'un système littoral de type tropical (BRGM, 2006)

La granulométrie des sédiments est un des facteurs intrinsèques majeurs qui structure la morphologie de la plage et des cordons littoraux de l'île. Les sédiments entre la côte et les petits fonds sont généralement caractérisés par des matrices sableuses qui, en fonction du secteur de côte considéré, présentent des classes granulométriques moyennes sensiblement différentes.

Huit faciès sédimentaires (Guennoc *et al.*, 2008) sont identifiés autour le l'île de La Réunion parmi lesquels figurent les sables biodétritiques (débris coralliens et coquillés, 1-2 mm) ; les sables volcaniques (125-250 µm) ; les sables volcaniques à fraction biodétritique (fraction volcanique majoritaire de 125-500 µm, fraction biodétritique minoritaire inférieure à 500 µm) ; les sables volcaniques vaseux (fraction volcanique majoritaire et fraction plus fine vaseuse, 10-250 µm) ; les sables volcaniques vaseux et biodétritiques (fraction principale volcanique et biodétritique grossière de 125-500 µm, fraction biodétritique fine inférieure à 63 µm) ; les sables mixtes (fraction volcanique et biodétritique, 250 µm-1 mm) ; les sables mixtes vaseux (fraction très fine à 15 % et vases) ; les vases (10-63 µm).

Les sédiments s'accumulent dans le domaine marin côtier sous diverses formes transversales ou longitudinales, par rapport aux courants de fond qui les façonnent. La pluralité des formes sédimentaires transversales (rides, mégarides, dunes moyennes et grandes, placages sableux) traduit la variabilité et l'importance des actions hydrodynamiques sur les fonds marins en fonction des secteurs de La Réunion (Guennoc *et al.*, 2008).

Des mouvements sédimentaires longitudinaux et transversaux

Le présent chapitre examine la nature des sédiments et l'action des forçages expliquant les différentes morphologies côtières et leur dynamique d'évolution. Dans la zone considérée, deux agents de transport jouent un rôle essentiel dans les mouvements de sédiments : les houles (estran et fonds marins) et les vents (estran, dunes).

À partir des caractéristiques de houle et de la configuration des unités morphosédimentaires, une estimation des sens du transit sédimentaire sur tout ou partie de l'île de La Réunion a successivement été réalisée par Bouchon (1979), Faure (1982), Gabrié (1985), Troadec (1991), Aubié et Pedreros (2002), Jamon (2002), Antea-In Vivo (2003), Cazes-Duvat et Paskoff (2004), Fèvre (2005), De la Torre (2004 ; 2006), Lozion et Villeneuve (2007), Cordier (2007), De la Torre et Louzé (2008), Blangy *et al.* (2009), Pedreros *et al.* (2009), Actimar (2011), Bastone

et De la Torre (2011), Bastone *et al.* (2012), le BRGM (2006, 2012), Duvat *et al.* (2016), Mahabot (2016), Mahabot *et al.* (2016), ACOA Conseil (2017), etc.

L'action du vent, de la houle et de la marée entraîne la formation de courants côtiers mettant en mouvement les sédiments. Ces mouvements sont de deux types : un transit sédimentaire parallèle à la plage (*long-shore*) qui entraîne une perte du matériel sédimentaire en amont et un gain sédimentaire en aval de la dérive littorale ; un transit sédimentaire transversal (*cross-shore*) qui, sous l'action des tempêtes ou des cyclones, voit les côtes s'éroder (BRGM, 2012).

Afin de comprendre les transits sédimentaires qui s'opèrent le long de l'île de La Réunion, une subdivision de la côte en trois unités morphosédimentaires (façade nord du cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance, façade sud-est de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste, façade ouest du cap Auguste au cap la Houssaye) a été nécessaire. Chacune d'entre elles est soumise à des forçages dynamiques particuliers et régie par des mouvements de sédiments longitudinaux et transversaux qui leur sont propres.

Les variations spatio-temporelles des flux sédimentaires vont alors déterminer le bilan sédimentaire global. Des estimations théoriques relatives aux transports sédimentaires *long-shore* et *cross-shore* ont été réalisées d'après les statistiques de houle afin d'évaluer le sens global des dérives littorales résiduelles. L'intensité de ces transports n'a pas encore été modélisée pour La Réunion et nécessiterait également des mesures de terrain afin de confirmer les modèles.

À partir des facteurs météo-marins et océanographiques synthétisés dans le Chapitre 3 Facteurs hydrodynamiques et des indices géomorphologiques qui ont été initialement exposés en ce début de Chapitre 4 Données sédimentologiques ainsi que dans le Chapitre 2 Contexte général : données physiographiques, les dérives littorales impulsées par les alizés semblent majoritairement s'effectuer parallèlement à la côte du sud/est vers le nord/ouest et contourner l'île par ses façades orientale et occidentale pour finalement converger du côté opposé, entre la pointe des Galets et l'exutoire de la rivière des Galets (**Figure 4.39**) (Troadec, 1991 ; Bastone, De la Torre, 2011 ; BRGM, 2012).

L'interaction complexe du vent, de la houle et de la marée engendre des mouvements sédimentaires très irréguliers et très mal connus sur l'île (Bouchon, 1979). Alors que les mouvements de sédiments sont généralement longitudinaux et rythmés par la dérive littorale le long des plages et des cordons, ils demeurent majoritairement transversaux dans les baies et les anses profondes.

Les formes d'ablation sont dominantes au sein de l'unité morphosédimentaire de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste, avec des falaises littorales bien marquées le long de la façade sud-est de l'île. L'évolution de la côte rocheuse s'effectue ici plus particulièrement par des mouvements de terrain transversaux de type glissements ou chutes de blocs (De la Torre, 2004 ; Fèvre, 2005).

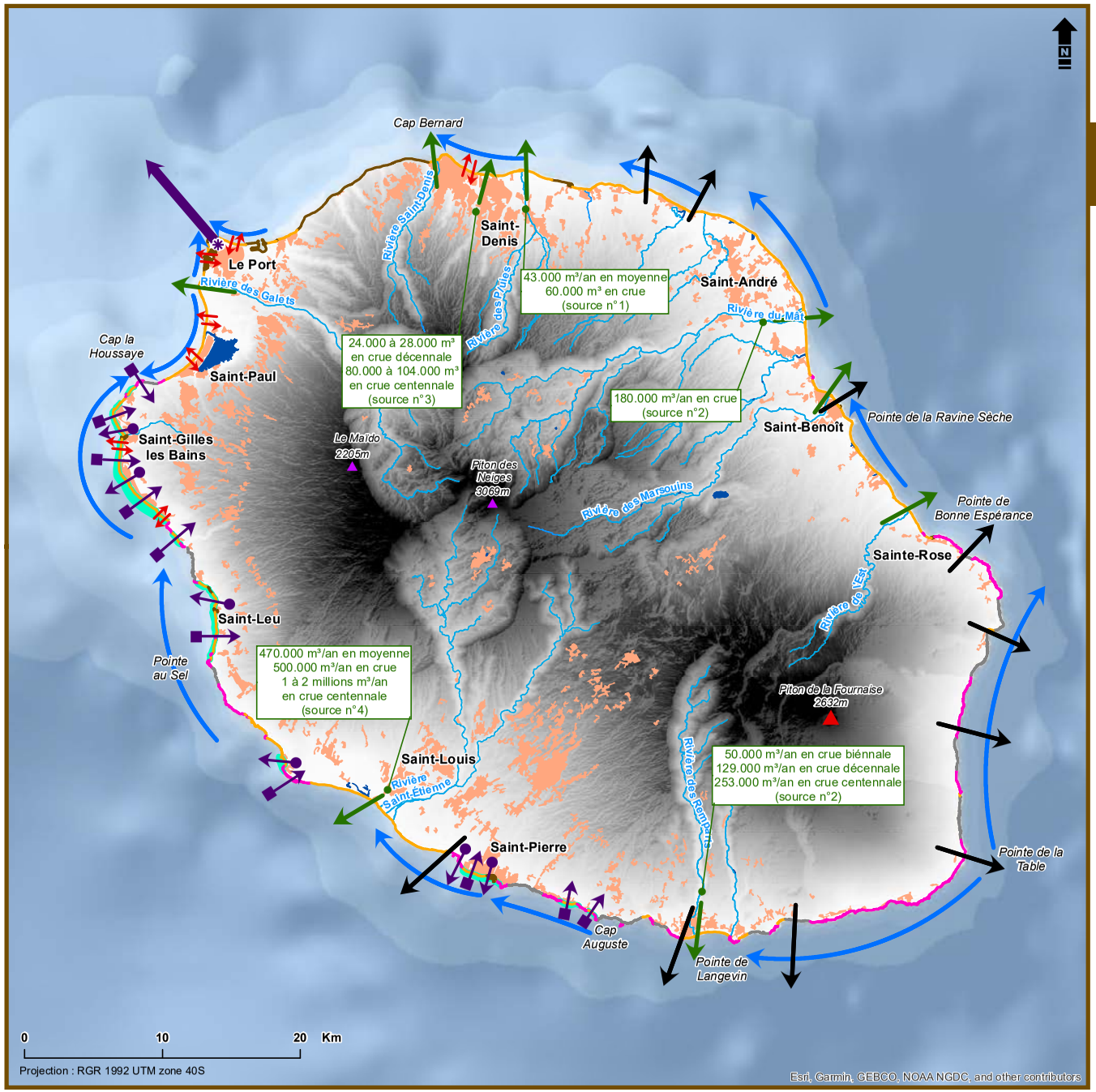
Les processus hydrométéorologiques influencent le régime des transports sédimentaires au sein des plages coralliennes qui sont plus sensibles aux courants de marée, aux vents et aux houles de tempête (Murray *et al.*, 1977 ; Kench, 1994, 1998 ; Angwenyi, Rydberg, 2005 ; Tamura *et al.*, 2007).

Par ailleurs, les mouvements de sédiments le long des côtes coralliennes sont influencés par la morphologie, la géométrie et la rugosité des récifs : les courants intra-récifaux qui vont se manifester consécutivement au déferlement sur la barrière corallienne vont essentiellement dépendre de la configuration du récif et des passes, des couloirs du platier et des fluctuations du niveau d'eau (Bouchon, 1979 ; Roberts, 1980 ; Jamon, 2002 ; Storlazzi *et al.*, 2004 ; Cordier, 2007). Les principales pertes sédimentaires se font vers le large, lorsque le matériel est emporté au-delà du récif lors des événements météorologiques extrêmes (Bastone *et al.*, 2012 ; Mahabot, 2016).

Les cordons sédimentaires sont des formes littorales d'accumulation. La stabilité d'un cordon sédimentaire dépend donc de l'équilibre dynamique de son budget sédimentaire (**Figure 4.40**). Cet équilibre résulte du bilan entre les apports de sédiments venant des côtes alentours (transport de sédiments par la dérive littorale) et des rivières d'une part, et des pertes issues principalement de l'action des vagues et du vent d'autre part. Le transport provoqué par le vent induit un déplacement transversal de particules appelé débit solide éolien ou déflation (Blangy *et al.*, 2009).

Le recul du trait de côte sur les cordons sédimentaires résulte d'un déficit sédimentaire du budget. Les pertes de matériaux sont souvent d'origine naturelle à destination des puits sédimentaires définitifs (grands fonds au-delà du talus sous-marin ou du récif corallien, dunes littorales de l'arrière-pays) ou temporaires (dunes bordières, herbiers de phanérogames marines), mais elles peuvent être largement aggravées par l'impact des aménagements anthropiques (**Figure 4.41**) :

- soit en réduisant les apports fluviatiles ou marins par des prélèvements ou l'implantation d'ouvrages de protection qui bloquent les transits sédimentaires ;



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Synthèse des échanges sédimentaires connus sur la province

- Pics
- Volcan
- Réseau hydrographique
- Etangs
- Bâti
- Récif coralien

Type de côte

- Falaise et côte rocheuse supérieure à 20m
- Falaise et côte rocheuse inférieure à 20m
- Côte d'accumulation sableuse ou sablo-limoneuse
- Côte artificialisée

Apports sédimentaires

- Apports biodétritiques coralliens
- Pertes sédimentaires (par les passes récifales)
- Pertes sédimentaires (vers les grands fonds)
- Apports terrestres
- Apports fluviatiles majeurs (sous régime torrentiel)

Sources pour les apports solides estimés:

n°1 SOGREAH, LCHF, 1988
n°2 BRGM, 1997
n°3 Petit, 2006
n°4 Saint-Ange et al., 2011

Mouvements sédimentaires

- Sens dominant de la dérive littorale
- Echanges plage/dune connus

Sources pour les transits sédimentaires connus:

Gabrié, 1985
Troadec, 1991
ANTEA / In Vivo, 2003
Cazes-Duvat & Paskoff, 2004
Fèvre, 2005
De la Torre, 2004-2006
Lorion & Villeneuve, 2007
Cordier, 2007
Blangy et al., 2009
Bastone & De la Torre, 2011
BRGM, 2006-2012
Cazes-Duvat et al., 2016
Mahabot, 2016
ACOA Conseil, 2017

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topopgraphie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Géomorphologie du trait de côte - EEA & Cerema
Réseau hydrographique - BDCarthage®
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 4.39 : Carte de synthèse du transit littoral sur l'île de La Réunion

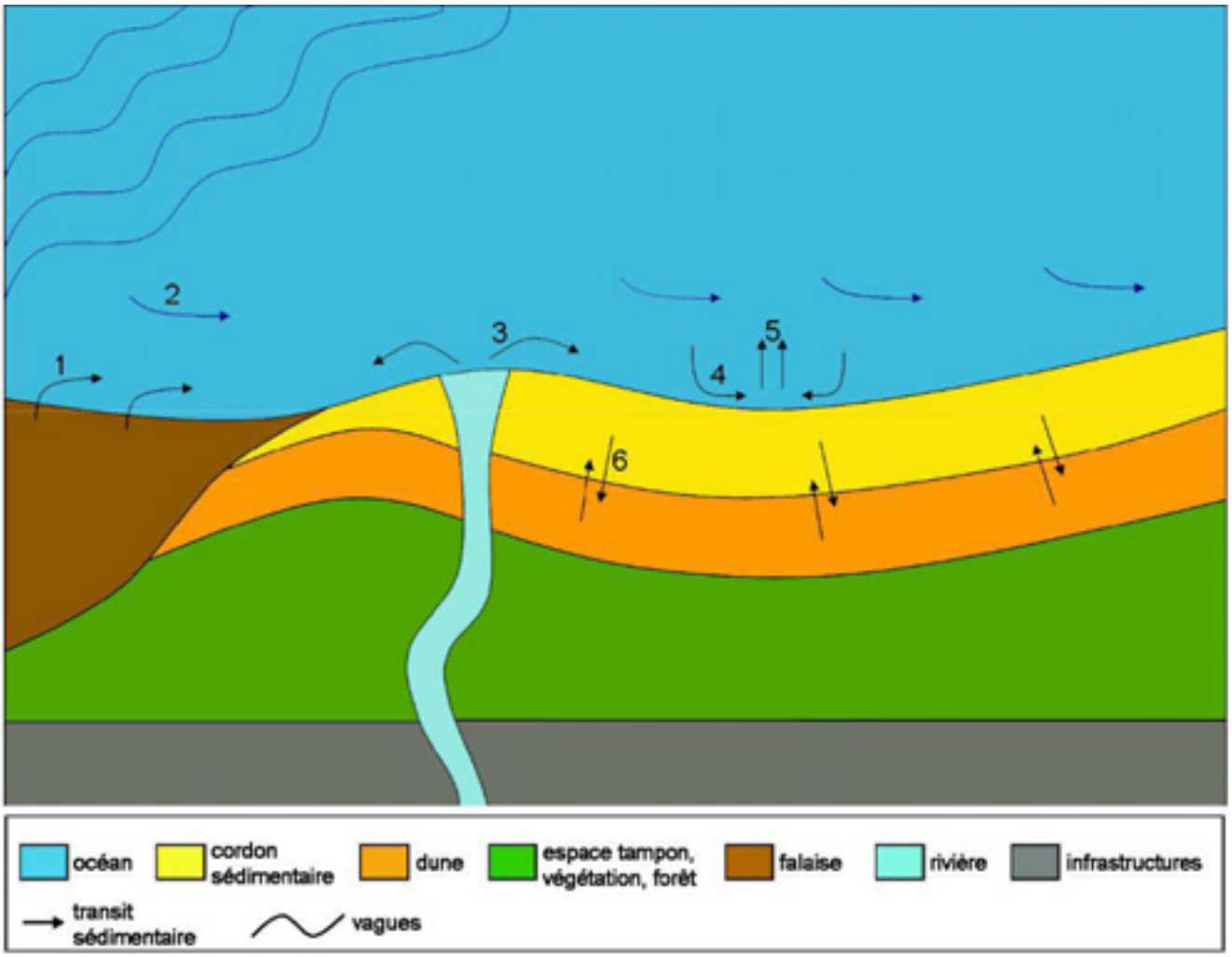


Figure 4.40 : Transits sédimentaires d'un cordon littoral (adapté d'après Paskoff, 1998)

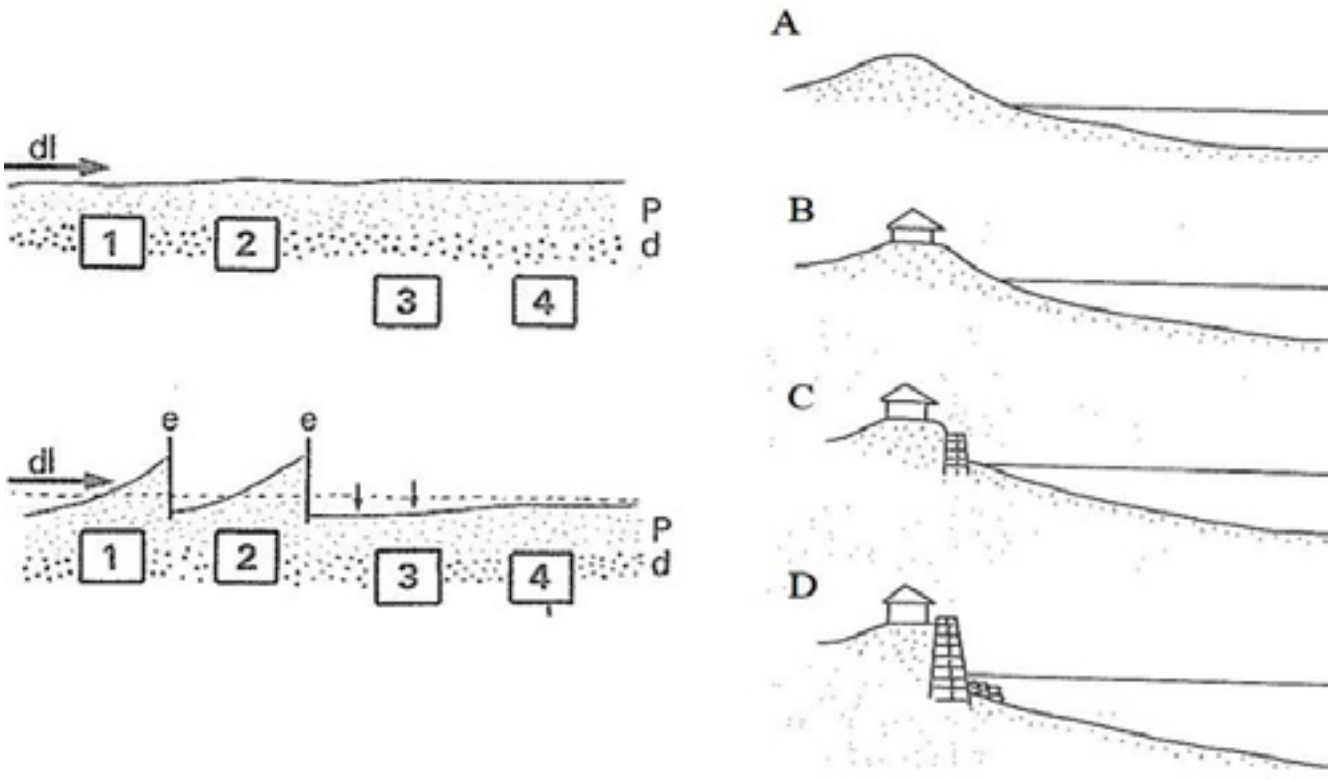


Figure 4.41 : Déficit sédimentaire d'un cordon littoral en raison de la présence d'ouvrages transversaux (à gauche), ou longitudinaux (à droite) (Paskoff, 1998)

- soit en implantant par exemple des ouvrages de défense longitudinaux (murs, enrochements) ou en prélevant des sédiments directement sur le cordon.

Il est à noter que les prélèvements de sédiments sont désormais interdits dans les rivières (sauf autorisation exceptionnelle de curage) et sur le littoral. Ils ont néanmoins été courants par le passé (Blangy *et al.*, 2009).

Les secteurs ou le bilan sédimentaire est globalement positif sont ceux qui bénéficient des apports extérieurs leur permettant de se recharger en sédiment (BRGM, 2012) : il s'agit des zones situées à l'exutoire de grands cônes alluviaux (actuellement en accrétion) et des zones alimentées en apports sédimentaires par production de sables bioclastiques ou débris de falaise, par conséquent les zones en retrait des récifs ou des falaises peu cohérentes. D'après le BRGM (2006), 7 % du littoral réunionnais décrit un engraissement et 22 % une stabilité (en lien avec la végétation ou une fixation artificielle du trait de côte).

Hormis les zones proches des exutoires de cours d'eau (rivières et ravines), l'érosion affecte tous les autres types de côte : 50 % des côtes de La Réunion sont en érosion (dont 38 % concernent les falaises basaltiques et 12 % les plages et les micro-falaises meubles surmontant les cordons de galets) et 21 % du littoral est jugé en équilibre dynamique en présentant une bonne résilience aux événements extrêmes. Résultant de facteurs naturels comme les houles cycloniques ou australes, les tendances déficitaires du bilan sédimentaire sont particulièrement aggravées par les actions anthropiques (aménagements côtiers) qui perturbent la dynamique naturelle (Troadec, 2002 ; BRGM, 2006 ; Chateauminois *et al.*, 2016).

Les rivières constituent un apport important de matériel sédimentaire. Entre Saint-Paul et La Possession, la zone alimentée par la rivière des Galets présente un bilan équilibré. Du fait de son orientation plein nord, le secteur de Saint-Denis, à l'est, subit les houles cycloniques. En raison de leur saisonnalité, le secteur est calme et son évolution se fait par à-coups. Néanmoins, l'urbanisation de la zone de Saint-Denis engendre une immobilisation de la partie haute du cordon de galet, et ainsi la privation du stock naturel sédimentaire, favorisant l'érosion de cette partie du littoral. Les processus érosifs sont notamment perceptibles au niveau de l'aéroport Gillot-Roland-Garros (De la Torre, 2004).

Les falaises de Sainte-Suzanne présentent deux types de lithologie : des falaises basaltiques relativement stables et des falaises mixtes, présentant une érosion liée à la fragilité de leur composition lithologique et dont les débris alimentent les secteurs en aval-dérive à l'ouest. Dans la tranche est de Sainte-Suzanne, la rivière du Mât alimente le secteur en matériel alluvial. Cependant, le littoral anthropisé et fixé du quartier de Champ-Borne à Saint-André, présente les mêmes caractéristiques que le secteur de Saint-Denis et tend localement vers un bilan sédimentaire déficitaire. Pour les autres secteurs alluvionnaires, tels qu'à l'exutoire de la rivière Saint-Étienne, les fortes houles australes ne permettent pas au budget sédimentaire de se stabiliser et sont donc les principales responsables du recul généralisé des côtes (De la Torre, 2004).

Le littoral longeant les pentes du Piton de la Fournaise, entre Saint-Benoît et Saint-Philippe, est particulièrement exposé aux houles d'alizés et aux houles cycloniques. Les falaises fournaisiennes, composées d'une alternance de niveaux basaltiques et scoriacés, sont essentiellement soumises à l'érosion. Du fait de leur nature géologique, il a été constaté un recul généralisé mais très lent du littoral (De la Torre, 2004 ; Pedreros *et al.*, 2009).

Les plages coralliennes du secteur ouest de l'île de La Réunion affichent globalement un bilan sédimentaire équilibré. Les zones situées à proximité des passes, telles qu'au niveau de la passe de l'Ermitage, présentent généralement un bilan sédimentaire déficitaire de part leur exposition aux tempêtes, l'influence des courants de vidange qui s'y manifestent et la forte fréquentation de certains sites. Il est également constaté un recul de la végétation littorale là où le piétinement, couplé à plusieurs pressions anthropiques différentes (voir **5.4** Autres activités humaines), est mis en cause (Troadec, 1991, 2003 ; De la Torre, 2004 ; Mahabot, 2016).

Les plages coralliennes ont fait l'objet d'un certain nombre d'études morphodynamiques, parmi lesquelles Cordier (2007) et Mahabot (2016) se sont notamment attachés à quantifier des bilans sédimentaires sur certains sites sensibles de la façade ouest de La Réunion, selon une approche par bilans volumiques des données de profils de plage.

Chapitre 5
Interventions humaines le long du littoral

Rédacteurs

Sylvain LENDRE (Cerema, DtecEMF)

Relecteurs

Boris LECLERC (Cerema, DtecEMF)

Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)

Contributeurs

Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)

Pascal TALEC, Florent BABY (DEAL Réunion)

Rémi BELON (BRGM Réunion)

Marine DEDEKEN (RNMR)

Alice MAILLOT (ONF Réunion)

Page de gauche : Nouvelle Route du Littoral © Métamorphose Outre-Mers Y. Leers, 2019
source : metamorphose-outremers.com

5 Interventions humaines le long du littoral

Les activités humaines peuvent avoir un impact direct ou indirect sur les apports sédimentaires à la côte et par conséquent sur l'évolution du littoral et des fonds, telles que l'anthropisation du littoral et le développement d'activités économiques à terre ou en mer (activités touristiques, pêche et cultures marines, extractions de sédiments, énergies marines renouvelables, etc). Les zonages réglementaires liés à la protection de l'environnement et à la prévention des risques naturels, en limitant ces impacts potentiels, participent ainsi indirectement à la protection du littoral et à son équilibre sédimentaire.

Les paragraphes suivants s'attachent à présenter les interventions humaines sur le littoral en distinguant quatre principaux secteurs de l'île de La Réunion (Figure 5.1) :

- **Secteur 1** : du cap la Houssaye (Saint-Paul) à la pointe Sainte-Marie (Sainte-Marie) ;
- **Secteur 2** : de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) ;
- **Secteur 3** : de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste (Grande Anse, Petit-Île) ;
- **Secteur 4** : du cap Auguste au cap la Houssaye.

Ces secteurs se distinguent essentiellement par la nature et la densité des ouvrages de défense contre la mer (Figure 5.1., base de données DTecEMF : Cerema, 2017 ; voir 5.1 Aménagements côtiers, ouvrages de défense et ouvrages portuaires).

Les quatre secteurs étudiés dans ce chapitre se basent sur le découpage initial de l'île en fonction des trois unités présentées dans le Chapitre 2 et le Chapitre 4, dont les limites sont successivement le cap la Houssaye (Saint-Paul), la pointe de Bonne Espérance (falaises en face du port de Sainte-Rose) et le cap Auguste (au sud de Grande Anse, à Petite-Île).

Au sein de l'unité comprise entre le cap la Houssaye et la pointe de Bonne Espérance, le **secteur 1** sera ici exploré en détail jusqu'à la pointe Sainte-Marie en raison de son intense urbanisation littorale, de sa forte concentration en aménagements côtiers et plus particulièrement du chantier actuel concernant la Nouvelle Route du Littoral.

Le **secteur 2**, qui additionné au précédent complète ainsi l'unité jusqu'à la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose), décrira quant à lui les stratégies d'aménagement établies sur un littoral dont le linéaire côtier est quasi exclusivement alluvionnaire.

Le **secteur 3**, largement dominé par les falaises basaltiques et encore régulièrement soumis aux éruptions du Piton de la Fournaise, se distingue des autres secteurs par une très faible urbanisation et artificialisation de son trait de côte.

Le **secteur 4** décrira enfin les types d'interventions humaines qui ont été opérées sur un littoral présentant à la fois des falaises, des côtes alluvionnaires et des côtes coralliennes.

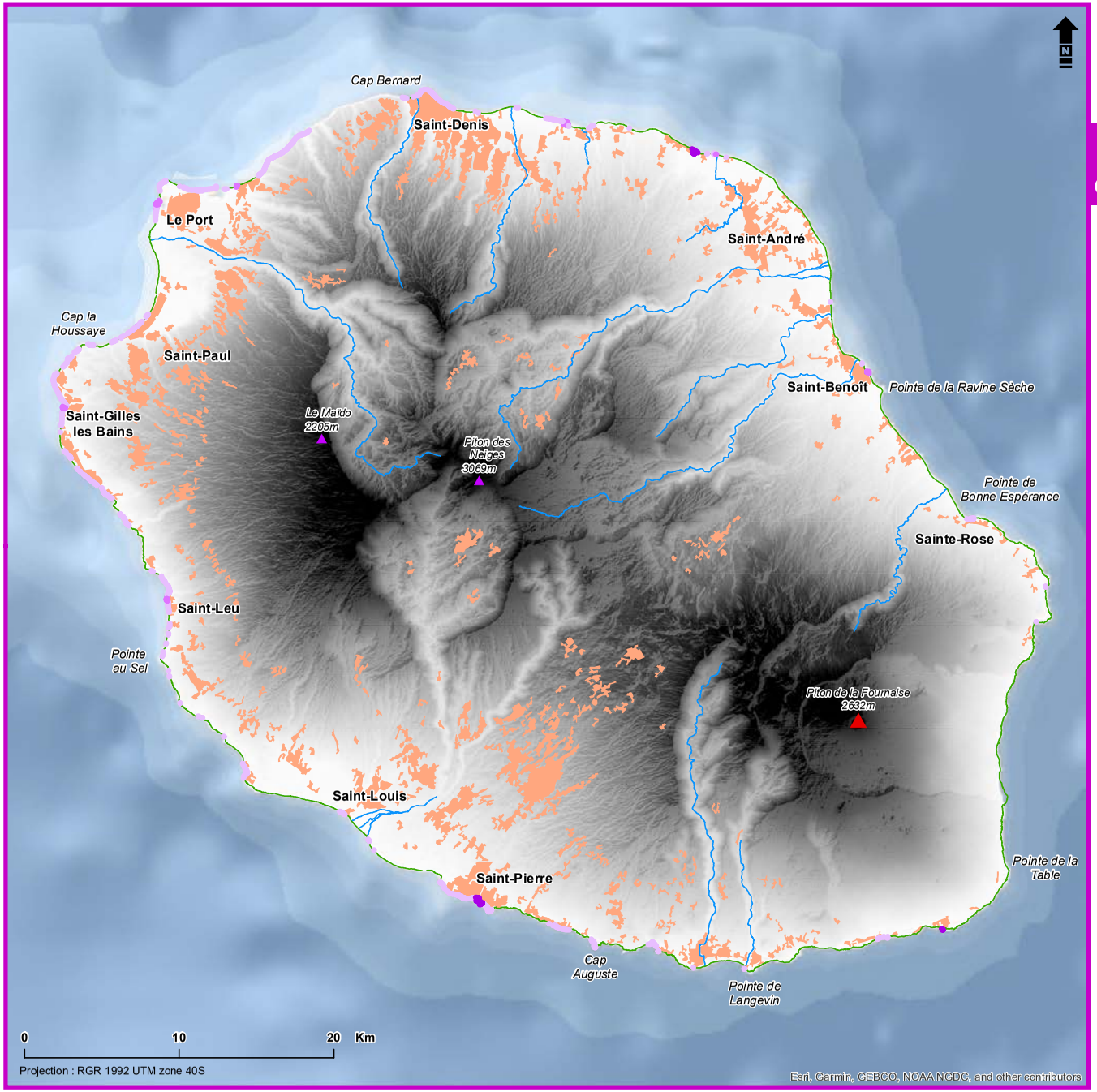
Suite à l'artificialisation du trait de côte par les importants aménagements portuaires que comptent Saint-Pierre, Saint-Leu, Saint-Gilles, Saint-Marie, Sainte-Rose et Le Port (Ouest et Est), l'urbanisation des cordons littoraux a entraîné le développement de l'habitat sur le haut des plages dans les zones balnéaires et prisées du sud-ouest de l'île (Chateauminois *et al.*, 2016).

Après cette phase de croissance irrégulière de l'anthropisation, une certaine stabilité des processus d'urbanisation se distingue depuis le début des années 2000, en lien avec le développement de la réglementation (Loi Littoral, PPR) et des schémas de développement communaux et régionaux (PLU, SAR). Outre une possible saturation spatiale des zones côtières, la prise de conscience des risques littoraux ; avec la manifestation d'évènements extrêmement énergétiques tels que les cyclones Dina en 2002, Gamède en 2007 et les houles australes de 2007 ; a également participé à freiner les dynamiques d'urbanisation littorale (Chateauminois *et al.*, 2016).

Chaque secteur se singularise par une évolution des aménagements qui leur est propre, en fonction des dynamiques de leur territoire, du type de côte et des spécificités littorales qui les caractérisent (voir 5.1 Aménagements côtiers, ouvrages de défense et ouvrages portuaires).

De grandes portions de côte n'ont pas fait l'objet d'aménagement lourd sur l'île de La Réunion et un peu moins de 14 % de son littoral est artificialisé (Cerema, 2017). Néanmoins les aménagements hydrauliques sur les cours d'eau, les extractions et les dragages de sédiments induisent une diminution des apports à la côte (voir 5.2 Extractions et 5.3 Dragages et clapages).

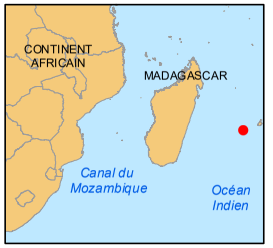
L'anthropisation récente des milieux dépend essentiellement des activités et des enjeux actuellement présents sur le littoral qui ont nécessité une protection contre les submersions marines, une lutte contre l'érosion, une protection des activités économiques (voir 5.4 Autres activités humaines).



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Artificialisation du littoral par un ouvrage ou un aménagement côtier



- Pics
- Volcan
- Réseau hydrographique permanent
- Bâti
- Traits de côte naturel récent

Nombre d'ouvrages transversaux et/ou longitudinaux considérés pour le calcul de l'artificialisation

- 1
- 2
- 3 - 5

L'artificialisation du littoral a été réalisée à partir de la cartographie des ouvrages et aménagements littoraux produite par le Cerema par photointerprétation d'orthophotographies de 2015.

Cette couche d'information géographique distingue les ouvrages selon leur orientation par rapport à celle du trait de côte : longitudinale ou transversale.

La méthode a consisté à projeter les ouvrages sur le trait de côte de référence, le trait de côte Histolitt® co-édité par le SHOM et l'IGN :

- Pour les 252 ouvrages longitudinaux visibles en 2015 sur l'emprise de cette province, le trait de côte de référence a été segmenté au début et à la fin de chaque ouvrage ;
- Pour les 50 ouvrages transversaux visibles en 2015 sur cette province, le point central de l'ouvrage a été projeté sur le trait de côte de référence, puis le trait de côte a été considéré comme artificialisé sur un linéaire de deux fois la longueur de l'ouvrage réparti de part et d'autre de ce point afin d'approcher d'une manière très simplifiée, un linéaire de trait de côte impacté par l'ouvrage.

En appliquant cette méthode sur la province, ce sont de l'ordre de 76,7 km de linéaire de côte (soit de l'ordre de 40,6 % du trait de côte Histolitt®) qui sont considérés comme artificialisés par un ouvrage ou par un aménagement côtier. Ce chiffre ne prend pas en compte les ouvrages situés à l'intérieur des ports.

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topopgraphie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer) - Cerema & MEEM
Trait de côte naturel récent - Cerema
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012

Figure 5.1 : Secteurs anthropisés de l'île de La Réunion avec répartition des ouvrages côtiers associés (aménagements côtiers impactant directement le trait de côte et territoires poldérisés, zones naturelles et tâches urbaines, etc) (Cerema, 2017)

5.1 Aménagements côtiers, ouvrages de défense et ouvrages portuaires

Reconnue tout d'abord par des navigateurs portugais en 1507, La Réunion était encore vierge de toute population quand elle est devenue possession de la France en 1642 (source : outre-mer.gouv.fr). Alors que la population se chiffrait à 476 675 habitants en 1975, l'île compte 40 ans plus tard (en 2016) 852 924 habitants avec une densité moyenne d'environ 338 hab/km² (INSEE, 2016).

À cause des contraintes géographiques importantes sur l'île et de son relief montagneux, la population vit très majoritairement au bord des côtes (80 % sur la bande côtière allant de l'océan jusqu'à 400 m d'altitude d'après Nehlig, Bucelle, 2005) et notamment dans les grandes villes du département. Les communes de Saint-Denis (147 920 hab), Saint-Paul (105 482 hab) et Saint-Pierre (84 169 hab) (**Figure 5.2**) rassemblent toutes les trois près de 40 % de la population (source : www.outre-mer.gouv.fr).

Les ouvrages de défense et les aménagements côtiers ont accompagné les processus d'urbanisation de La Réunion. L'urbanisation de l'île s'est élaborée en deux phases : entre 1665 et 1946, l'urbanisation coloniale s'établit de façon sommaire puis, à partir de l'après-guerre et de son changement de statut politique (département français depuis la loi du 19 mars 1946), une urbanisation plus moderne débute dès les années 1950 (Jauze, 1998).

Depuis les années 1970, La Réunion connaît une pression anthropique grandissante sur son littoral en lien avec l'urbanisation, les aménagements portuaires et les ouvrages de défense contre la mer. Aujourd'hui, la population et les activités sont essentiellement concentrées sur le littoral, et plus particulièrement le long du littoral nord et ouest de l'île (voir **5.1.1** Secteur 1 : du cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie et **5.1.4** Secteur 4 : du cap Auguste au cap la Houssaye).

Cette pression se traduit par une artificialisation du trait de côte et des modifications dans les processus hydrosédimentaires (voir **4.3** Mouvements des sédiments). Environ 50 % des côtes réunionnaises sont en érosion (voir **6.1** Évolution historique et récente du littoral et des fonds) : la plupart des phénomènes d'altération décrivent de lents reculs de falaise, mais une érosion plus active est également constatée sur les plages sableuses et les cordons de galets où le linéaire côtier est fixé (De la Torre, 2004).

Un ouvrage de génie civil au contact du rivage océanique ou sur les berges d'une embouchure d'un cours d'eau est susceptible d'avoir des conséquences sur le régime sédimentologique en impactant les mécanismes qui le gouvernent. Les cas suivants peuvent notamment

Figure 5.2 : Vue aérienne sur le port de Saint-Pierre (© Falco97410)

conduire à des désordres ou une dégradation de la qualité du milieu naturel :

- un ouvrage longitudinal (digue, perré, enrochement) qui occasionne une réflexion de la houle, causant ainsi une forte agitation et une grave érosion au pied de l'aménagement,
- un ouvrage longitudinal qui bloque les flux de sédiments fins entre la partie haute de l'estran et l'espace dunaire terrestre, ces flux varient selon les saisons et leur interruption peut être source de déséquilibres importants,
- un ouvrage transversal (épi, jetée portuaire) qui interrompt le transit littoral et favorise une érosion de la plage à son contact.

Dans le cadre de ses différentes missions sur le littoral de l'île de La Réunion, et notamment concernant ses actions de gestion du DPM (Domaine Publique Maritime), la DEAL (Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) a récemment lancé plusieurs études afin d'améliorer sa connaissance sur la dynamique littorale, ainsi que sur la présence d'ouvrages côtiers sur le DPM.

Un premier recensement des ouvrages littoraux présents sur les côtes réunionnaises avait préalablement été réalisé en 2012 pour l'atlas de sensibilité environnementale (Le Berre *et al.*, 2012) qui avait été élaboré par le laboratoire Géomer de Brest (Université de Bretagne Occidentale), dans le cadre de la réalisation du plan POLMAR-Terre.

Le BRGM a pour sa part réalisé en 2016 une étude à destination de la DEAL, afin de caractériser l'impact des ouvrages côtiers sur l'évolution morphodynamique du littoral réunionnais (projet IMOCOR). Le rapport d'études a pour vocations, entre autres, de servir d'outil d'aide à la décision pour statuer sur la délivrance ou non d'autorisations de reconstruction des ouvrages littoraux existants lorsque ceux-ci sont endommagés ou détruits par les aléas littoraux. De telles décisions ne peuvent être prises sans connaître les conséquences de la présence d'un ouvrage sur son environnement proche et lointain en termes d'impacts hydrosédimentaires, mais également en termes de fonctionnalité vis-à-vis des submersions marines et des risques associés (Chateauminois *et al.*, 2016).

Dans le cadre de l'étude IMOCOR, 435 ouvrages littoraux situés entre les communes de La Possession et de Saint-Pierre ont été référencés, géolocalisés et décrits dans des « fiches ouvrage » en termes géométriques et d'implantation sur le cordon littoral, afin de hiérarchiser et d'évaluer l'impact potentiel de chacun de ces ouvrages sur la dynamique hydrosédimentaire (voir Annexe **8.2**). Néanmoins, l'évaluation quantifiée de l'impact de ces ouvrages sur le littoral est à prendre avec beaucoup de précaution, en raison du manque de données et d'observations.

Pour les aménagements portuaires, des comparaisons pré-post aménagements ont été réalisées et ont permis de quantifier et d'évaluer plus objectivement les impacts qu'a entraînés l'édification des ouvrages sur les dynamiques du trait de côte (Chateauminois *et al.*, 2016). Les trois aménagements portuaires étudiés dans le cadre de cette étude sont (voir **5.1.4** Secteur 4 : du cap Auguste au cap la Houssaye) :

- le port de Saint-Gilles-les-Bains, sur la commune de Saint-Paul, situé au niveau de la passe de la ravine Saint-Gilles ;
- le port de Saint-Leu, situé dans le lagon de la commune éponyme, près de l'exutoire à la confluence des ravines du Grand et du Petit Étang ;
- le port de Saint-Pierre, situé à l'exutoire de la rivière d'Abord.

Les ouvrages littoraux de l'île de La Réunion ont finalement été recensés dans la base de données du Cerema, en raison des rôles multiples que jouent ces ouvrages en matière de dynamiques sédimentaires. La base de données réalisée par la Direction technique « Eau Mer et Fleuves » constitue un état des lieux national. L'île de La Réunion comporte au total 35,6 km d'aménagements côtiers, d'ouvrages de défense et d'infrastructures portuaires1 : c'est le troisième territoire ultramarin français le plus artificialisé en termes de linéaire côtier cumulé, le deuxième après Mayotte (16 %) en termes de proportion avec un taux légèrement inférieur à 14 % du trait de côte (**Figure 5.1** et **Tableau 5.1** d'après Cerema, 2017).

La typologie des aménagements littoraux a été définie selon si ces derniers étaient des ouvrages de protection longitudinaux (ouvrages se substituant au trait de côte : perrés, enrochements longitudinaux), transversaux (ouvrages de lutte contre l'érosion : épis, digues, etc), ou d'autres aménagements tels des infrastructures portuaires et de navigation, du bâti, des accès, etc.

La Réunion comporte 302 aménagements côtiers, d'ouvrages de défense et portuaires (**Tableau 5.1** ; Cerema, 2017). Les ouvrages longitudinaux, se substituant au trait de côte naturel, représentent à eux seuls un linéaire cumulé de 24,6 km (d'après Histolitt®).

Cette section s'attache donc à décrire, par secteur, les principaux ouvrages ayant un impact significatif ou présumé sur les transferts sédimentaires littoraux à partir des données de la base « Ouvrage » du Cerema (2017), du BRGM et du projet IMOCOR (De la Torre, 2004 ; Chateauminois *et al.*, 2016) ainsi que d'autres

Tableau 5.1 : Ouvrages et aménagements présents sur l'île de La Réunion par catégorie et classe (Cerema, 2017)

Catégorie	Classe	Type	Nombre	Linéaire cumulé (m)	Longueur moyenne (m) [min. ; max.]
Ouvrages de protection	Ouvrage se substituant au trait de côte	Mur, mur de soutènement	49	5,31	108 [13 - 405]
		Perré	21	19,25	917 [14 - 7106]
	Ouvrage de lutte contre l'érosion	Épi	2	0,05	26 [24 - 28]
Autres aménagements	Infrastructure portuaire et de navigation	Jetée	21	3,38	161 [36 - 476]
	Bâti	Bâtiment, blockhaus, fortification...	20	0,58	29 [11 - 53]
		Protection individuelle	73	7,11	97 [11 - 614]
	Accès	Accès, chemin, voie submersible...	9	0,19	21 [3 - 89]
		Cale	5	0,15	30 [17 - 48]
	Divers	Aménagement hydraulique (vanne, écluse, barrage...)	15	0,19	12 [5 - 36]
		Autre ou indéterminé	87	6,28	72 [7 - 330]
Total			**302**	**42,48**	**-**

études scientifiques (Troadec, 1991 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016 ; etc) et techniques (EGIS, 2008 ; etc).

Ce sont notamment les ouvrages de défense contre la mer, les zones poldérisées et les ports, pour lesquels sont distinguées les infrastructures avec ou sans jetée. Les autres aménagements tels que les aménagements hydrauliques sont également recensés.

5.1.1 Secteur 1 : du cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie

Ce secteur concerne une partie de l'unité morphosédimentaire s'étendant du cap la Houssaye (Saint-Paul) à la pointe de Bonne Espérance (falaises en face du port de Sainte-Rose) (Figure 5.13).

Le secteur 1 présente un linéaire côtier essentiellement alluvionnaire, mais se distingue surtout des autres secteurs par une intense urbanisation littorale et une forte concentration en aménagements côtiers, jusqu'à la pointe Sainte-Marie (à l'est de Sainte-Marie). La construction progressive des habitations, des ouvrages de protection, des infrastructures portuaires et touristiques et des voies routières contribuent à l'artificialisation du trait de côte et à la perturbation locale des transferts sédimentaires (De la Torre, 2004).

Le secteur côtier allant du cap la Houssaye au débouché de la ravine Lafleur (La Possession) est principalement composé de sables et de galets provenant de la rivière des Galets. Cette portion du littoral est très urbanisée en raison de l'implantation des villes côtières de Saint-Paul, du Port et de La Possession.

La baie de Saint-Paul (Figure 5.3), caractérisée par un cordon sableux d'origine basaltique, est ponctuellement entaillée en micro-falaise sub-verticale notamment au droit des secteurs où des aménagements ont été réalisés sur la berme du haut de plage (Figure 5.4). Mais dans l'ensemble, si la plage de Saint-Paul possède une bonne résilience aux houles cycloniques, c'est grâce à la mobilité de sa berme qui demeure globalement épargnée de tout arasement ou artificialisation (De la Torre, 2004).

Au niveau de la ville du Port, la comparaison des photographies aériennes de 1966 et 1997 révèle l'intense urbanisation dont a été témoin la commune ainsi que l'aménagement de sa frange côtière (Figure 5.5). Les

Figure 5.3 : Marché de Saint-Paul protégé par son mur de soutènement (© IRT / S. Gelabert – source : www.geo.fr)

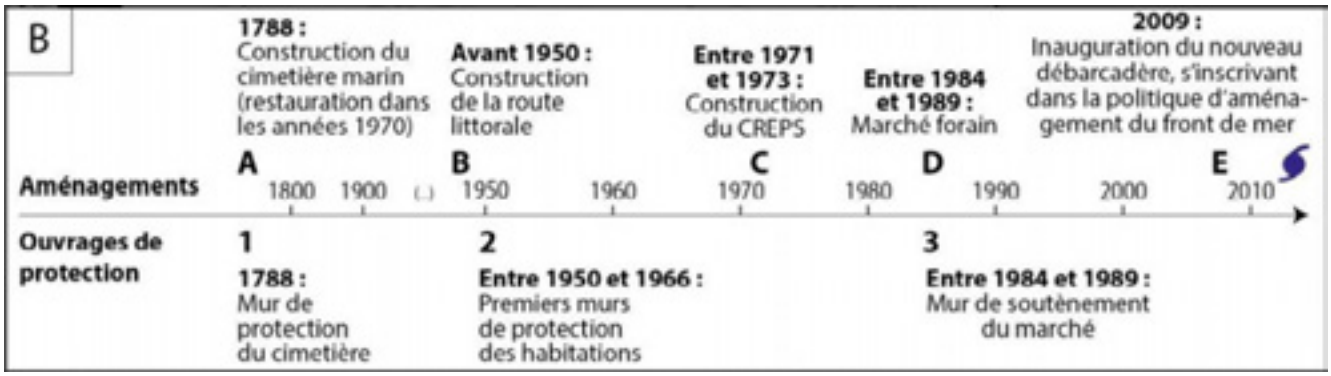


Figure 5.4 : Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense dans la commune de Saint-Paul (Cazes-Duvat et al., 2016)

Figure 5.5 : Artificialisation de la commune du Port entre 1966 et 1997 (© IGN dans De la Torre, 2004)

changements majeurs résident dans le creusement du Port-Est, le développement de la tâche urbaine dans le cône de déjection et l'artificialisation des berges de la rivière des Galets : digues transversales, chenalisation du lit (De la Torre, 2004).

La ville du Port accueille les différentes infrastructures du Grand Port Maritime de La Réunion (site internet : www.reunion.port.fr) qui ont été directement construites sur cône delta de la rivière des Galets (**Figure 5.6**). La plaisance et la pêche sont concentrés dans le Port-Ouest, construit entre 1870 et 1886, et le commerce dans le Port-Est, érigé une centaine d'années plus tard entre 1982 et 1986 (**Figure 5.7**). Ces deux édifices sont protégés par des digues composées de blocs de béton. Le bassin de plaisance est protégé par des enrochements alignés en haut de grève. Le cordon

Figure 5.6 : Littoral du Port, entre les exutoires de la rivière des Galets et de la ravine Lafleur (© Grand Port Maritime de La Réunion – source : www.lantenne.com)

alluvial qui relie les deux ports est renforcé par des remblais, issus des dragages du cône delta de la rivière des Galets, et par des enrochements. L'aménagement d'un terminal de conteneurs entre 1995 et 1996 a par ailleurs lui aussi nécessité un remblaiement de 12 ha. Non loin du Port-Est, à La Possession, deux épis ont été aménagés afin de maintenir l'accès à une cale de halage (De la Torre, 2004 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Les ouvrages de protection, constitués de cordons d'enrochement et de tétrapodes, ont été massivement implantés le long du littoral dès le début des années 1970 pour protéger les bassins portuaires. Une digue de 750 m de long a été premièrement élaborée au sud (ouvrage 1, **Figure 5.7**) puis au nord, en aval-dérive de la jetée sud du Port-Ouest (ouvrages 2 et 3 construits entre 1973 et 1980, **Figure 5.7**). En 1996, un polder de 5,5 ha protégé par un cordon d'enrochement (ouvrage 7, **Figure 5.7**) a été gagné sur la mer par remblayage au sud de la pointe des Galets afin d'étendre le dépôt des hydrocarbures. Les derniers travaux de protection ont fini par fixer le trait de côte sur toute sa longueur dans le secteur compris entre la jetée sud du Port-Ouest et la pointe des Galets (Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

La zone du cap la Houssaye au débouché de la ravine Lafleur demeure globalement en équilibre car bien alimentée par la rivière des Galets. En revanche, la

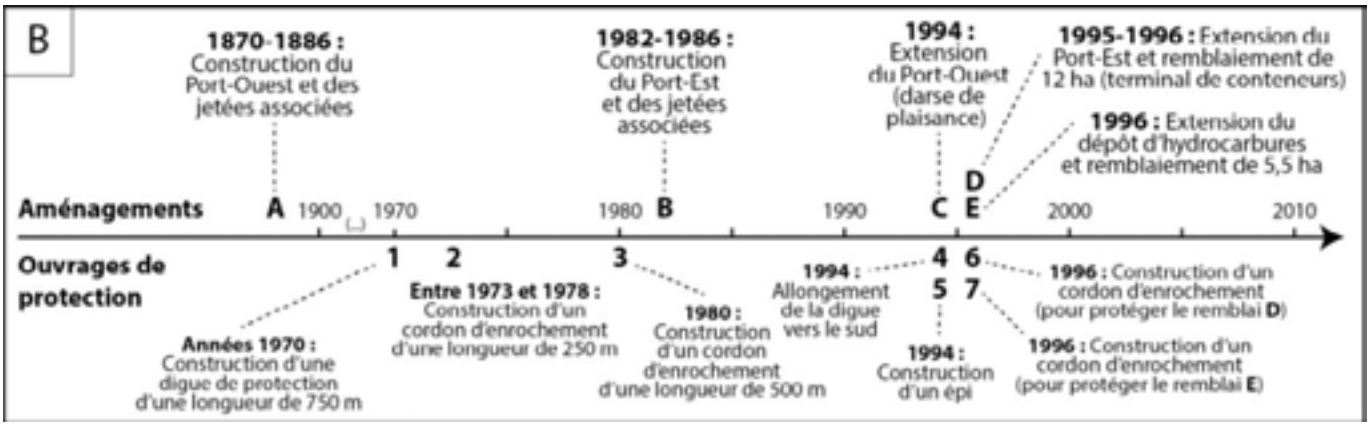


Figure 5.7 : Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense dans la commune du Port (Cazes-Duvat et al., 2016)

pointe des Galets, située entre les deux ports, subit une érosion prononcée et inexorable à cause de l'artificialisation généralisée du site et du blocage des sédiments en amont-dérive par les jetées du Port-Ouest (De la Torre, 2004).

Nouvelle Route du Littoral

La portion de côte comprise entre les exutoires de la ravine Lafleur et de la rivière Saint-Denis est entièrement artificialisée et accueille la Route du Littoral RN1 (Figure 5.8). Une première liaison deux-voies entre les communes de La Possession et de Saint-Denis avait été construite entre 1960 et 1963, en contrebas du massif de La Montagne, avant d'être élargie en quatre-voies dès 1976. Les falaises du massif sont considérées mortes à cause de la déconnexion de leur pied avec la mer par la présence de l'ouvrage routier. Déconnectées de toutes interactions avec les forçages marins, les falaises évoluent donc désormais telles des versants continentaux soumis aux agents subaériens (De la Torre, 2004).

En 2013, les travaux pour la Nouvelle Route du Littoral débutent (site internet : www.nouvelleroutedulittoral.re). La NRL a pour objectif de remplacer à terme l'actuelle route côtière RN1 (Figure 5.8), menacée par les éboulements de falaise qu'elle longe en son pied (Figure 5.9).

Le littoral bordé par la route RN1 est protégé par de multiples ouvrages : premièrement, par des couches d'enrochements successives de petit calibre, et deuxièmement, par un enrochement de blocs de béton tétrapodes faisant office de brise-lame. De plus, un mur vertical en terre armée jonché de clous est accolé le long de l'édifice (Gueguen, Jonca, 2010).

Figure 5.8 : Route quatre-voies (RN1) en pied de falaise et Nouvelle Route du Littoral (NRL) en cours de construction (© M. Messager, 2019 – Cerema DtecEMF/ER/IEA)

Figure 5.9 : Chute de blocs sur la Route du Littoral RN1 (© BRGM, 2002)

Figure 5.10 : Nouvelle Route du Littoral en chantier (© S. Marizy – source : www.nouvelleroutedulittoral.re)

Ces aménagements figent totalement le trait de côte et empêchent la falaise, située en arrière de la route, de subir l'érosion marine. Préservée des attaques marines associées aux houles cycloniques, son recul s'opère tout de même, mais de manière différente par mouvements de terrain (Figure 5.9) : chutes de blocs, chutes d'écailles, éboulements de grande ampleur, coulées de boue et de débris (De la Torre, 2004).

Par ailleurs, cet axe routier modifie localement la courantologie en réduisant drastiquement la vitesse des courants marins, non sans impact sur les dynamiques sédimentaires et sur l'évolution des côtes adjacentes. Une réduction relativement importante de la capacité de transport sédimentaire s'observe sur la majorité du linéaire routier. Ce constat s'avère être plus prononcé sur les secteurs où les ouvrages hydrauliques et les ouvrages d'art sont les plus importants. Selon les modèles courantologiques, la mise en place de la Nouvelle Route du Littoral devrait alors favoriser une augmentation des transits sédimentaires (EGIS, 2008).

La Nouvelle Route du Littoral (Figure 5.10) ne devrait pas impacter la dynamique sédimentaire globale au niveau du littoral de Saint-Denis, du fait de l'orientation des courants qui s'établissent localement depuis l'est vers l'ouest. En revanche, lors d'un évènement extrême, le littoral de La Possession serait susceptible d'être alimenté en matériel essentiellement sableux. Selon la cartographie établie par le bureau d'études EGIS (2008), 74 % des sédiments seraient mobilisables par l'hydrodynamisme et en mesure d'être transportés de façon aléatoire le long du linéaire côtier où s'établit la nouvelle route.

Le littoral compris entre le débouché de la rivière Saint-Denis et la pointe Sainte-Marie est exclusivement alluvionnaire et approvisionné en galets par les rivières et ravines des bassins versants en amont, et tout particulièrement par la rivière des Pluies dont l'exutoire forme un cône-delta. Au nord et à l'est de Saint-Denis, les ouvrages de protection se substituent au trait de côte (Cazes-Duvat *et al.*, 2016) : un mur de protection longe la promenade du Barachois et des enrochements s'alignent en bordure du cimetière de l'Est (Figure 5.11). À l'ouest de Sainte-Marie, l'aéroport Roland-

Figure 5.12 : Aéroport Roland-Garros et port de Sainte-Marie protégés par une longue digue en enrochements (© IPR, 2017 – source : www.ipreunion.com)

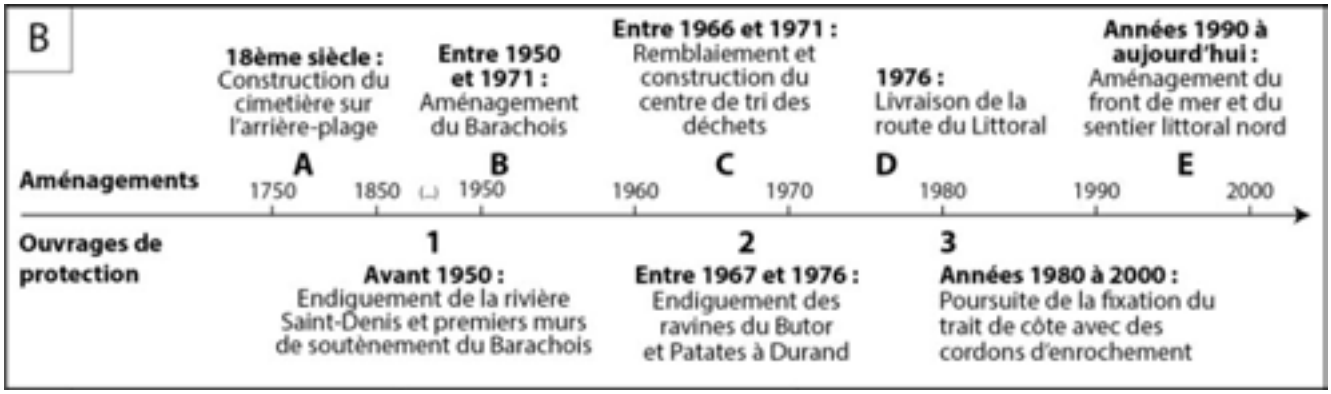


Figure 5.11 : Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense dans la commune de Saint-Denis (Cazes-Duvat et al., 2016)

Tableau 5.2 : Ouvrages et aménagements littoraux du secteur 1 – du cap la Houssaye (Saint-Paul) à la pointe Sainte-Marie (Sainte-Marie) (Cerema, 2017)

Secteur	Catégorie	Classe	Type	N^{bre}	Linéaire cumulé (m)	Longueur moyenne (m) [min. ; max.]
Secteur 2 : Cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie	Ouvrages de protection	Ouvrage se substituant au trait de côte	Mur, mur de soutènement	9	1 653	184 [26 - 301]
			Perré	14	17 958	1 283 [91 - 7 106]
	Autres aménagements	Infrastructure portuaire et de navigation	Jetée	8	1 300	162 [40 - 380]
		Bâti	Protection individuelle	10	615	61 [26 - 190]
		Accès	Accès, chemin, voie submersible...	3	123	41 [17 - 89]
		Divers	Aménagement hydraulique (vanne, écluse, barrage...)	11	119	11 [5 - 18]
			Autre ou indéterminé	17	1 402	82 [7 - 212]
	Total			**72**	**23 169**	**-**

Garros (Gillot) voit sa seconde piste protégée par une digue frontale en enrochements édifiée dans les années 1990, et dont bénéficie également le port de Sainte-Marie (Figure 5.12) (De la Torre, 2004).

Bien que ce secteur côtier soit figé, le cordon de galets semble en équilibre car bien alimenté et relativement bien résilient aux tempêtes. Le haut du cordon de galets à Saint-Denis a été renforcé par des enrochements et des matériaux issus de déblais et de terrassements qui privent la partie basse du profil de son stock sédimentaire. En raison du blocage des transferts sédimentaires transversaux que provoquent les aménagements, l'est du Barachois connaît une légère érosion le long du sentier littoral (déchaussement de la piste cyclable du boulevard Lancastel) et de la route côtière (RN2) menant à l'aéroport (De la Torre, 2004).

D'une manière globale, le trait de côte du secteur 1 (Figure 5.13) expose une grande densité d'aménagements de protection, puisqu'ils représentent un total de 72 ouvrages pour un linéaire cumulé d'environ 23,2 km. Par ailleurs, 23 ouvrages de protection se substituant au trait de côte sont également dénombrés, représentant un linéaire cumulé d'environ 16,6 km (Tableau 5.2).

5.1.2 Secteur 2 : de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance

Le secteur 2 concerne l'unité morphosédimentaire s'étendant de la pointe Sainte-Marie (Sainte-Marie) à la pointe de Bonne Espérance (falaises en face du port de Sainte-Rose) (Figure 5.15). Ce secteur est constitué d'un quasi continuum de galets large de 2 à 20 m, alimenté par les bassins versants dont les cours d'eau principaux sont la rivière du Mât, la rivière des Roches et la rivière des Marsouins (De la Torre, 2004).

Des falaises basaltiques de 20 à 30 m de hauteur, globalement cohérentes et localement meubles, se dressent entre Sainte-Marie et Sainte-Suzanne. Au sein de l'anse délimitée par la pointe des Haziers et la ravine des Chèvres, les falaises sont mixtes ou meubles et adoptent un profil sub-vertical. Sujette à une forte dynamique érosive lors des houles cycloniques, des dégâts importants se manifestent sur les micro-falaises de l'anse où a été construit un temple hindouiste (De la Torre, 2004).

Dans les secteurs urbanisés de Sainte-Suzanne (front de mer urbain du centre-ville et du quartier de la Marine), de Saint-André (quartiers du Colosse et de Champ Borne) et de Saint-Benoît (front de mer urbain du centre-ville), le cordon de galets est globalement en équilibre dynamique. Néanmoins, la fixation artificielle du haut du cordon peut localement engendrer des érosions marquées (De la Torre, 2004).

Le petit port de pêche de Saint-Benoît, construit en 1960, est protégé par une digue qui fut réalisé en 1780 au droit

Figure 5.14 : Blocage de la dérive littorale au droit de la digue du Butor qui provoque une érosion de la côte à l'aval de la dérive littorale au niveau du port de Saint-Benoît (© BRGM, 2004)

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Ouvrages et aménagements côtiers

Cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie

Photo et numéro correspondant

Réseau hydrographique permanent

Bâti

Trait de côte Histolitt

Ouvrages actuels

Accès

Bâti

Infrastructure portuaire et de navigation

Ouvrage de lutte contre l'érosion

Divers

Ouvrage se substituant au trait de côte

Les ouvrages et aménagements côtiers influençant directement l'évolution du trait de côte ont été relevés par le Cerema principalement à partir de l'interprétation d'orthophotographies.

D'autres sources d'informations, comme des bases de données locales des services déconcentrés de l'Etat et des images obliques, ont également été exploitées. Cet inventaire n'est pas exhaustif puisque seuls les ouvrages visibles sur les photographies aériennes sont pris en compte ; par ailleurs les ouvrages à l'intérieur des ports et remontant dans les estuaires n'ont pas été levés. Les méthodes dites 'souples', comme la mise en place de ganivelles ou le rechargement de plage, ne sont actuellement pas prises en compte.

Les ouvrages dits "actuels" étaient visibles sur des orthophotographies de 2011. Sur l'unité morphosédimentaire, sur les 72 ouvrages et aménagements côtiers recensés :

- 23 correspondent à des ouvrages de protection du littoral dont 20 km de linéaire cumulé d'ouvrages se substituant au trait de côte et 14 perrés ;
- 49 correspondent à des aménagements côtiers impactant l'évolution du trait de côte comprenant notamment 2 cales.

➤ Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topographie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer) - Cerema & MEEM
Trait de c ôte Histolitt © IGN-SHOM 2009
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012
Crédits photos :
© cyberdomer.reunion.canalblog.com
© Cerema/S. Lerolle, 2019
© reunion.orange.fr

Figure 5.13 : Ouvrages et aménagements côtiers actuels du secteur 1 – du cap la Houssaye (Saint-Paul) à la pointe Sainte-Marie (Sainte-Marie) (Cerema, 2017)

Tableau 5.3 : Ouvrages et aménagements littoraux du secteur 2 – de la pointe Sainte-Marie (Sainte-Marie) à la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) (Cerema, 2017)

Secteur	Catégorie	Classe	Type	N^{bre}	Linéaire cumulé (m)	Longueur moyenne (m) [min. ; max.]
Secteur 3 : Pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance	Autres aménagements	Infrastructure portuaire et de navigation	Jetée	3	434	145 [93 - 186]
		Accès	Cale	1	26	26 [26 - 26]
		Divers	Autre ou indéterminé	11	301	27 [8 - 62]
	Total			15	761	-

du Butor (Figure 5.14). L'ouvrage transversal bloque le transit sédimentaire, favorisant alors l'accumulation du matériel alluvial en amont de la dérive littorale qui s'effectue localement du sud vers le nord. L'interception des sédiments par la digue occasionne logiquement un régime érosif en aval de l'ouvrage (De la Torre, 2004).

De Saint-Benoît à Sainte-Rose, le long continuum de galets se poursuit et prend fin au droit de la pointe de Bonne Espérance. Principalement alimenté par la rivière de l'Est, le cordon est peu perturbé, en équilibre dynamique et large (entre 20 et 30 m) avec des bermes bien développées et végétalisées. L'urbanisation y est limitée et se réduit uniquement à quelques habitations sur la frange côtière, au niveau des quartiers de Sainte-Anne et du Petit Saint-Pierre (commune de Saint-Benoît). Mis à part les sites de la décharge de Saint-François et du cimetière de Sainte-Anne qui ont nécessité des opérations de terrassement, le cordon littoral évolue dans cette zone assez librement (De la Torre, 2004).

D'une manière globale, le trait de côte du secteur 2 (Figure 5.15) expose une faible densité d'aménagements de protection, puisqu'ils représentent un maigre total de 15 ouvrages pour un linéaire cumulé d'environ 760 m. Ce secteur ne comporte aucun ouvrage de protection contre la mer (Tableau 5.3).

5.1.3 Secteur 3 : de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste

Le secteur 3 concerne l'unité morphosédimentaire s'étendant de la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) au cap Auguste (Grande Anse, Petite-Île) et couvre un linéaire d'environ 79,1 km (Figure 5.17).

Ce secteur est très peu urbanisé, car fréquemment traversé par les coulées de lave de la Fournaise à l'origine de la formation relativement récente des falaises rocheuses qui ceinturent son littoral. Les falaises sont généralement vives, sub-verticales, entre 10 et 50 m de hauteur et peu végétalisées. Entrecoupées par des deltas basaltiques formés par les coulées récentes, ces falaises sont particulièrement soumises à l'érosion marine et décrivent régulièrement des sous-cavages, des arches, des caps, etc. (De la Torre, 2004).

Au sud de la pointe de Bonne Espérance, une digue renforcée par des blocs de béton abrite le petit port de pêche de la Marine (Figure 5.16) qui fut érigé au XVIII^{e} siècle, à Sainte-Rose (De la Torre, 2004).

Figure 5.16 : Port de Sainte-Rose (© IPR – source : www.ipreunion.com)

Pour le reste, le littoral de Sainte-Rose est très peu urbanisé. Les interventions humaines en vue d'aménager sa bordure littorale restent par conséquent limitées, hormis quelques travaux de remblaiement qui ont notamment été nécessaires le long de son cimetière où une légère érosion s'est manifestée sur le talus de remblais, entre le Quai de Travers et la pointe Sainte-Rose (De la Torre, 2004).

La portion de côte s'étendant de la pointe Sainte-Rose jusqu'au cap Auguste présente un linéaire rocheux basaltique issu des déjections volcaniques du Piton de La Fournaise. Des coulées de lave arrivent régulièrement jusqu'au littoral et freinent le développement du sud-est de l'île : c'est la partie la plus sauvage de La Réunion (IEDOM, 2015). Seul le secteur de Saint-Philippe présente des habitations à proximité du front de falaise, au droit de la Mer Cassée (De la Torre, 2004).

Sur la façade sud de La Réunion, des falaises meubles constituées de dépôts pyroclastiques (gap jaune du Piton de Vincendo), de coulées de solifluxion (falaises

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Ouvrages et aménagements côtiers

Pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance

Photo et numéro correspondant

Réseau hydrographique permanent

Bâti

Trait de côte Histolitt

Ouvrages actuels

Accès

Infrastructure portuaire et de navigation

Divers

Ouvrage se substituant au trait de côte

Les ouvrages et aménagements côtiers influençant directement l'évolution du trait de côte ont été relevés par le Cerema principalement à partir de l'interprétation d'orthophotographies.

D'autres sources d'informations, comme des bases de données locales des services déconcentrés de l'État et des images obliques, ont également été exploitées. Cet inventaire n'est pas exhaustif puisque seuls les ouvrages visibles sur les photographies aériennes sont pris en compte ; par ailleurs les ouvrages à l'intérieur des ports et remontant dans les estuaires n'ont pas été levés. Les méthodes dites "souples", comme la mise en place de ganivelles ou le rechargement de plage, ne sont actuellement pas prises en compte.

Les ouvrages dits "actuels" étaient visibles sur des orthophotographies de 2011. Sur l'unité morphosédimentaire, sur les 15 ouvrages et aménagements côtiers recensés :

- Ils correspondent à des aménagements côtiers impactant l'évolution du trait de côte comprenant notamment 3 jetées.

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topopgraphie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer) - Cerema & MEEM
Trait de c ôte His tolitt © IGN-SHOM 2009
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012
Crédits photos :
© www.cartedelareunion.fr
© regulator974, 2013
© www.dodincampenonbernard.fr

Figure 5.15 : Ouvrages et aménagements côtiers actuels du secteur 2 – de la pointe Sainte-Marie (Sainte-Marie) à la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) (Cerema, 2017)

Tableau 5.4 : Ouvrages et aménagements littoraux du secteur 3 – de la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) au cap Auguste (Grande Anse, Petite-Île) (Cerema, 2017)

Secteur	Catégorie	Classe	Type	N^{bre}	Linéaire cumulé (m)	Longueur moyenne (m) [min. ; max.]
Secteur 4 : Pointe de Bonne Espérance au cap Auguste	Ouvrages de protection	Ouvrage se substituant au trait de côte	Mur, mur de soutènement	5	153	31 [15 - 44]
	Autres aménagements	Infrastructure portuaire et de navigation	Jetée	2	273	137 [36 - 237]
		Bâti	Bâtiment, blockhaus, fortification...	1	26	26 [26 - 26]
			Protection individuelle	1	31	31 [31 - 31]
		Accès	Accès, chemin, voie submersible...	3	50	17 [11 - 24]
			Cale	2	82	41 [35 - 48]
		Divers	Aménagement hydraulique (vanne, écluse, barrage...)	2	20	10 [6 - 14]
			Autre ou indéterminé	15	644	43 [8 - 212]
	Total			**31**	**1 281**	**-**

de Langevin) et d'alluvions (terrasse alluviale de la rivière des Remparts à Saint-Joseph) se démarquent également du linéaire rocheux basaltique qui caractérise le secteur 3. Leur tendance au recul menace actuellement les parcelles agricoles entre la pointe Colas et le cap du Bord, à Langevin (De la Torre, 2004).

D'une manière globale, le trait de côte du secteur 3 (Figure 5.17) expose une très faible densité d'aménagements de protection, puisqu'ils représentent un total de 31 ouvrages pour un linéaire cumulé d'environ 1,3 km. Par ailleurs, 1 bâtiment et 1 protection individuelle sont également présents en bordure immédiate avec le rivage côtier, représentant un linéaire cumulé d'environ 57 m (Tableau 5.4).

5.1.4 Secteur 4 : du cap Auguste au cap la Houssaye

Ce dernier secteur concerne l'unité morphosédimentaire s'étendant du cap Auguste (au sud de Grande-Anse, à Petite-Île) au cap la Houssaye (Saint-Paul) et couvre un linéaire d'environ 79,4 km (Figure 5.28). Le secteur 4 présente un littoral comportant à la fois des falaises, des côtes basses alluvionnaires et coralliennes mais c'est à proximité immédiate des récifs, et plus précisément au niveau des ports de Saint-Pierre, de Saint-Leu et de Saint-Gilles-les-Bains (Figure 5.18), que se concentre l'essentiel des aménagements et des ouvrages du secteur.

Figure 5.18 : Port de Saint-Gilles-les-Bains (© J. Buhart – source : www.sea-seek.com)

Le littoral du cap Auguste à la pointe du Diable (Saint-Pierre) présente une côte mêlant des cordons de galets, des plages coralliennes et des falaises basaltiques du Piton de La Fournaise. Au niveau de Grande Anse (Petite-Île), un bassin de baignade a été aménagé et ceinturé par un mur de protection qui stabilise la plage dans sa partie est (Cazes-Duvat, 2003 ; De la Torre, 2004).

Plus au nord, une promenade a été aménagée sur la berme en haut de la plage de Grand Bois et des habitations se tiennent à proximité du sommet des falaises basaltiques de la commune qui s'étendent entre le cap Thérèse et le cap Dehors. Les aménagements de Grande Anse et de Grand Bois ne semblent toutefois pas perturber l'équilibre des plages (Cazes-Duvat, 2003 ; De la Torre, 2004).

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Ouvrages et aménagements côtiers

Pointe de Bonne Espérance au cap Auguste

Photo et numéro correspondant

Réseau hydrographique permanent

Bâti

Trait de côte Histolitt

Ouvrages actuels

Accès

Bâti

Infrastructure portuaire et de navigation

Divers

Ouvrage se substituant au trait de côte

Les ouvrages et aménagements côtiers influençant directement l'évolution du trait de côte ont été relevés par le Cerema principalement à partir de l'interprétation d'orthophotographies.

D'autres sources d'informations, comme des bases de données locales des services déconcentrés de l'État et des images obliques, ont également été exploitées. Cet inventaire n'est pas exhaustif puisque seuls les ouvrages visibles sur les photographies aériennes sont pris en compte ; par ailleurs les ouvrages à l'intérieur des ports et remontant dans les estuaires n'ont pas été levés. Les méthodes dites "souples", comme la mise en place de ganivelles ou le rechargement de plage, ne sont actuellement pas prises en compte.

Les ouvrages dits "actuels" étaient visibles sur des orthophotographies de 2011. Sur l'unité morphosédimentaire, sur les 31 ouvrages et aménagements côtiers recensés :

- 5 correspondent à des ouvrages de protection du littoral dont 153 m de linéaire cumulé d'ouvrages se substituant au trait de côte ;
- 26 correspondent à des aménagements côtiers impactant l'évolution du trait de côte comprenant notamment 2 cales.

➤ Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topographie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer) - Cerema & MEEM
Trait de c ote Histolitt © IGN-SHOM 2009
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012
Crédits photos :
© www.carteteledelareunion.fr
© randopitons.re
© Cerema/S. Lendrin, 2019

Figure 5.17 : Ouvrages et aménagements côtiers actuels du secteur 3 – de la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) au cap Auguste (Grande Anse, Petite-Île) (Cerema, 2017)

D'une largeur variable, le fonctionnement hydrosédimentaire de la plage de Saint-Pierre est intimement lié à la morphologie du récif corallien (passe, largeur, configuration du platier) qui conditionne les courants côtiers, mais aussi aux aménagements urbains. La dynamique littorale a rapidement été perturbée dans ce secteur par l'urbanisation dense du bord de mer qui a rapidement nécessité la construction de murs de soutènement et de protection par les propriétaires privés (Figure 5.20). Dans les années 1960, pratiquement tout le front de mer est emmuré : les premiers murs avaient initialement été construits de façon artisanale pour délimiter les propriétés et pour les protéger des alizés chargés en sable et des vagues issues des fortes houles australes (Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Saint-Pierre (Figure 5.19) accueille des habitations sur le haut de plage qui perturbent les dynamiques morphosédimentaires : la houle qui parvient à la côte est réfléchie par les murs de protection en front de mer, à l'origine de la mobilisation et du départ massif des sédiments qui provoquent l'inéluctable disparition de la plage. Privée du stock sédimentaire que constitue normalement le haut du cordon sableux, la plage déficitaire subit sans compensation possible le transport transversal et longitudinal de son sable. Aussi, il est probable que le port et ses jetées (Figure 5.20), dont les constructions ont commencé dès 1854 au sud de la plage et se sont finalisées en 1883, bloquent les apports alluvionnaires issus de la rivière d'Abord sur laquelle il est implanté (Troadec, 2002 ; Cazes-Duvat, 2003 ; De la Torre, 2004 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Le port de Saint-Pierre a la particularité d'être le premier port aménagé à La Réunion. Il est constitué d'une digue à l'ouest délimitant la darse de 750 m de linéaire, dont 340 m en *long-shore* et 260 m en *cross-shore* ; d'un épi à l'est de 240 m en *cross-shore* qui ferme le lagon au sud et permet aux bateaux un accès vers le large (Chateauminois *et al.*, 2016).

L'impact du port de Saint-Pierre est difficile à évaluer, car aucune image aérienne n'est disponible avant sa construction. Son implantation s'est réalisée dans la partie la plus en aval de la zone récifale par rapport au transport sédimentaire dominant du site, dirigé d'ouest en est. En conséquence, les ouvrages portuaires ont un effet de blocage des sédiments sur la partie amont-dérive, à l'ouest du port. Par ailleurs, la petite plage de Terre-Sainte ne semble pas montrer d'érosion significative (Troadec, 2002 ; Chateauminois *et al.*, 2016).

Au droit du jardin des Plages, à l'ouest du port, le front de mer a entièrement été réaménagé entre 2005 et 2007,

Figure 5.19 : Littoral de Saint-Pierre, entre le cap Tuf et la pointe du Bois de Buis (© C. Baboulene / Conservatoire du Littoral)

Figure 5.20 : Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense sur la commune de Saint-Pierre (Cazes-Duvat et al., 2016)

Figure 5.21 : Déchaussement du mur de protection sur la plage du bassin Pirogue à l'Étang-Salé (© BRGM, 2004)

où la commune a décidé de créer un espace de loisir sur une ancienne aire de stationnement dont le mur de protection situé en haut de plage fut détruit. De même, sur le site de la Ravine Blanche, l'urbanisation est contrôlée, la végétation littorale est accompagnée et la réalisation d'aménagement se limite à des installations légères telles que des aires de pique-nique, des équipements sportifs ou des aires de jeux (Cazes-Duvat, 2003 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

La zone comprise entre la pointe du Diable (Saint-Pierre) et la pointe des Avirons (l'Étang-Salé) est principalement composée des alluvions basaltiques (galets, sables, blocs) issues du cirque de Cilaos et transportées par la rivière Saint-Étienne.

La plage de l'Étang-Salé présente deux baies séparées par une flèche sableuse. La première accueille le bassin Pirogue au sud, un petit port de mouillage aménagé d'une cale de mise à l'eau, depuis lequel un chenal a été directement creusé dans le récif frangeant afin de permettre l'accès aux bateaux.

Des habitations construites à même la plage empêchent tout échange sédimentaire entre la dune et l'estran. Malgré le double rôle protecteur et producteur du récif qui approvisionne la plage en sédiments bioclastiques, la plage a tout de même tendance à s'amincir et les murs bordant les résidences présentent des affouillements (**Figure 5.21**). La seconde au nord, voit sa plage séparée de son massif dunaire par la RN1 construite en 1951. Néanmoins l'aménagement routier ne semble pas avoir d'impact sur le transit sédimentaire ou l'approvisionnement de la plage en matériel (Cazes-Duvat, 2003 ; De la Torre, 2004).

La tranche littorale de Saint-Leu, entre la pointe des Avirons (l'Étang-Salé) et la pointe des Trois Bassins, présente des types morphologiques de côte diversifiés (falaises, plages sableuses, cordons de galets) et a connu une évolution particulièrement marquée de son littoral depuis 1950. La commune de Saint-Leu est dotée au nord de sa plage corallienne d'un port et d'une promenade, respectivement construits en 1965 et 1997, tous deux protégés par des enrochements (De la Torre, 2004).

Le port de plaisance comporte dans sa configuration actuelle une digue principale au sud, d'une longueur de 190 m (130 m en *long-shore* sur 95 m en *cross-shore*) ; un épi secondaire, au nord de l'installation portuaire, d'une longueur de 40 m en *cross-shore*. Au nord du port à la fin des années 1970, le trait de côte entre le port et la passe a été fixé sur un linéaire d'environ 400 m, avec la mise en place d'une promenade sur le front de mer. Cet aménagement est protégé depuis 1997 par un talus en enrochement qui fige la position du trait de côte et entraîne la disparition de la plage (Chateauminois *et al.*, 2016).

Au sud de l'exutoire des ravines du Petit et du Grand Étang, deux ouvrages ont par ailleurs été aménagés : un épi de 35 m de long (*cross-shore*) au niveau de l'exutoire en rive gauche ; un enrochement de 85 m de long (*long-shore*), positionné à 120 m au sud du premier ouvrage, face à des résidences de particuliers. Enfin, les embouchures des ravines des Poux, du Petit et du Grand Étang, de la Fontaine et de la Chaloupe, ont été canalisées et endiguées. De la même façon, les anciens cônes de déjection de ces ravines ont été artificialisés et urbanisés sur l'estran supérieur (Chateauminois *et al.*, 2016).

Entre 1978 et 2012, l'aménagement de tous ces ouvrages va modifier progressivement les dynamiques sédimentaires. Suite à la réalisation du port de Saint-Leu, la dynamique de recul au sud de l'infrastructure se poursuit mais semble cependant se ralentir. Certains secteurs sont même en accrétion, notamment au niveau du débouché de la ravine des Poux, à environ

Figure 5.22 : Littoral de Saint-Leu, entre la pointe au Sel et le port (source : www.cartedelareunion.fr)

1 km de la digue sud du port de plaisance. Au nord du port, la dynamique du transit sédimentaire s'inverse suite à la réalisation des ouvrages portuaires qui bloquent la dérive littorale. Le secteur, jusqu'alors en accrétion au cours de la période 1950-1966, est devenu par la suite largement déficitaire à cause de l'impact des ouvrages sur le transit (Chateauminois *et al.*, 2016).

Des habitations sont également alignées au sud du port et implantées directement sur le haut de la plage (Figure 5.22). Au droit des petites plages coralliennes de la Tortue et de la Souris Chaude, les habitations sont construites sur l'arrière-plage. Au sud de cette dernière zone, au niveau de la mairie annexe, l'affouillement des murs de protection provoqué par l'attaque de la mer contre le pied de l'ouvrage contribue au déficit sédimentaire et à l'amaigrissement de la plage. Hormis ce secteur, l'ensemble des plages coralliennes semble en équilibre grâce à la protection et l'alimentation que fournit le récif (De la Torre, 2004).

Avec un continuum sableux de 16 km protégé par un récif frangeant corallien, le tronçon littoral compris entre la pointe des Trois Bassins et le cap la Houssaye constitue la zone principale des plages coralliennes de La Réunion. Les habitations qui se tiennent en haut de plage, depuis les Roches Noires jusqu'à Boucan Canot, ne semblent manifestement pas perturber l'équilibre du système littoral.

La plaine littorale de La Saline, délimitée par la pointe des Trois Bassins et la passe de l'Ermitage, présente une urbanisation relativement récente. La construction de multiples habitations et routes en bordure immédiate avec la plage s'est accompagnée d'une prolifération d'ouvrages artisanaux (et malheureusement bien souvent inadaptés) entre les années 1970 et 1980 (Figure 5.23. Des aménagements importants, tels que le Grand Hôtel du Lagon, se situent au sud de la passe de l'Ermitage et sont dépourvus d'aménagement de protection. L'amaigrissement de la plage est localement attribuée aux pratiques de ramassage des débris de corail ou de défrichement (Mespoulhe, Troadec, 1994 ; Troadec, 2002, 2003b ; Cazes-Duvat, 2003).

Au niveau de la passe de l'Ermitage, des phénomènes

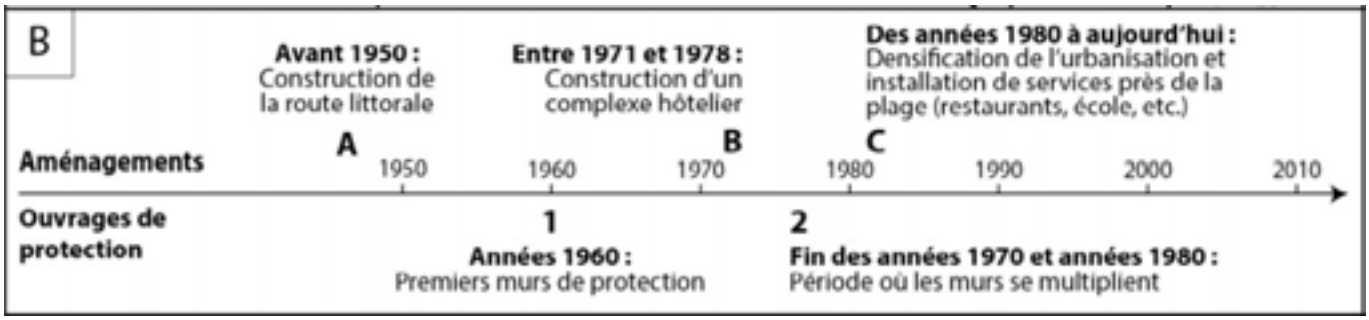


Figure 5.23 : Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense sur le secteur de La Saline (Cazes-Duvat et al., 2016)

Figure 5.24 : Situation du port de Saint-Gilles en 1978 (à gauche) et en 2012 (à droite) (source : © IGN dans Chateauminois et al., 2016)

d'érosion sont constatés au sud de la plage du fait de son exposition aux houles de tempête et de sa forte fréquentation (piétinement). La partie nord de la plage semble épargnée grâce à la présence du port de Saint-Gilles, construit entre 1966 et 1968, dont la digue retient les sédiments en amont de la dérive littorale (Figure 5.24). Le transit sédimentaire sur ce secteur se fait majoritairement du sud vers le nord, le plus fréquemment contraint par les houles australes durant l'hiver austral (Troadec, 1991, 2002 ; Cazes-Duvat, 2003 ; De la Torre, 2004 ; Chateauminois *et al.*, 2016 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

La saturation du matériel au niveau de la digue méridionale du port de Saint-Gilles révèle que les transits sédimentaires sont dirigés vers des profondeurs trop importantes pour être remobilisés au niveau de la plage des Roches Noires, située au nord du port. L'approvisionnement de cette plage urbaine, en aval-dérive, ne s'effectue plus et l'érosion a tendance à s'accélérer sur ce secteur. La plage des Roches Noires est aujourd'hui quasiment isolée de la plage des Brisants d'un point de vue hydrosédimentaire depuis la réalisation de l'aménagement définitif du port de Saint-Gilles (Troadec, 1991 ; Cazes-Duvat, 2003 ; Chateauminois *et al.*, 2016).

L'infrastructure portuaire empêche également au matériel de se faire charrier vers le large par la passe de Saint-Gilles. De cette façon, un engraissement significatif peut être observé de part et d'autre de l'édifice (De la Torre, 2004 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Saint-Gilles est la principale station balnéaire de l'ouest réunionnais et décrit une zone urbaine densément peuplée (Figure 5.18). L'aménagement de la commune a débuté en 1865 avec la fin du chantier de la route reliant Saint-Paul à Saint-Leu. Le littoral a été modifié dès les années 1940 avec l'élaboration de trois épis de 20 m de long en vue de freiner le courant de la passe de Saint-Gilles et permettre l'accostage des embarcations (Figure 5.25) (Chateauminois *et al.*, 2016 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Aujourd'hui, seul l'épi nord des Roches Noires subsiste encore. L'urbanisation et l'artificialisation du front de

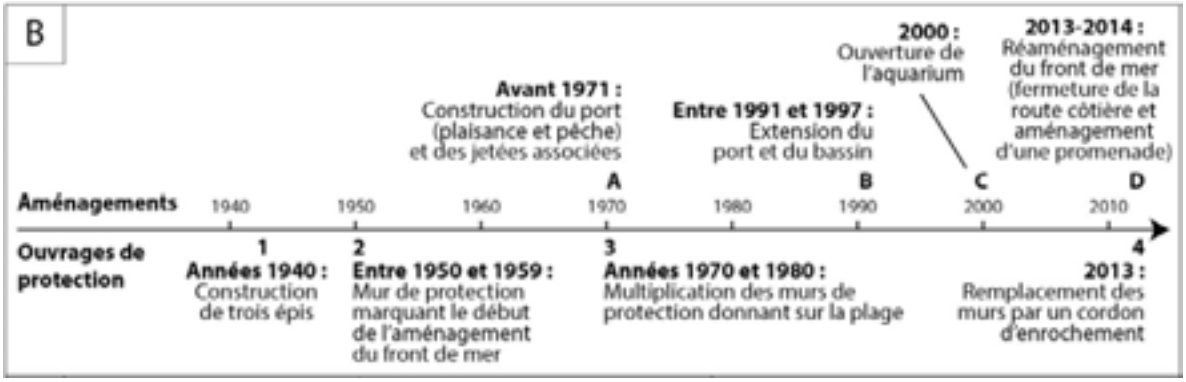


Figure 5.25 : Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense sur la commune de Saint-Gilles (Cazes-Duvat et al., 2016)

Figure 5.26 : Hôtel 4 étoiles Boucan Canot (© Ilotdrones – source : www.boucancanot.com)

mer dans les années 1950 ont par la suite été à l'origine de l'aménagement de murs de protection attenant à la route et aux habitations. Mais le principal aménagement de la ville demeure son port de pêche et de plaisance, dont le bassin protégé par ses deux jetées a été creusé à l'aval de la ravine Saint-Gilles (Troadec, 1991 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Les travaux ont interrompu le cordon sableux du fait du creusement de la darse portuaire, et le transit sédimentaire s'est vu stoppé au niveau de la passe de la ravine Saint-Gilles. La ravine est quant à elle déjà dissociée du port par une digue qui remonte le long du cours d'eau. La digue sud du port mesure 161 m de (dont un total de 115 m en *cross-shore* et 110 m en *long-shore*) ; 90 m de linéaire d'ouvrage sont comptabilisés pour la digue nord (dont 85 m en *cross-shore* sur 9 m en *long-shore*). Le port et ses bassins se sont enfin étendus entre 1991 et 1997 (Chateauminois *et al.*, 2016 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

La construction des murs de protection et de soutènement verticaux favorisent les pertes sédimentaires en période de tempête et limitent le réengraissement pendant les périodes de beau temps, à l'origine d'une aggravation de la fragilisation de la plage de Saint-Gilles (Troadec, 1991, 2002 ; Cazes-Duvat, 2003). Un mur de soutènement s'est d'ailleurs effondré en 2012, suite à l'amincissement de la plage des Roches Noires au niveau de l'esplanade. La commune a alors décidé de réaménager le front de mer et de remplacer les murs par un cordon d'enrochement. Bien que ce dernier ouvrage soit plus absorbant, l'érosion et la disparition de la plage perdurent au-devant de l'ouvrage longitudinal et des habitations localisées plus au nord (Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Boucan Canot représente la partie septentrionale de la station balnéaire de Saint-Gilles-les-Bains et du littoral corallien de Saint-Paul. La route littorale, construite entre la fin du XIX^{e} et le début du XX^{e} siècle, longe de près le trait de côte au nord de la commune où un mur de soutènement massif a été érigé dans le secteur de la plage du cap Champagne. Les autres ouvrages de la zone sont artisanaux et discontinus, consistant en de petits murs bordant les habitations (Figure 5.27). Cependant, ces ouvrages ne constituent pas une protection adaptée

Tableau 5.5 : Ouvrages et aménagements littoraux du secteur 4 – du cap Auguste (Grande Anse, Petite-Île) au cap la Houssaye (Saint-Paul) (Cerema, 2017)

Secteur	Catégorie	Classe	Type	N^{bre}	Linéaire cumulé (m)	Longueur moyenne (m) [min. ; max.]
Secteur 1 : Cap Auguste au Cap la Houssaye	Ouvrages de protection	Ouvrage se substituant au trait de côte	Mur, mur de soutènement	35	3501	199 [13 - 405]
			Perré	7	1295	302 [14 - 394]
		Ouvrage de lutte contre l'érosion	Épi	2	52	26 [24 - 28]
	Autres aménagements	Infrastructure portuaire et de navigation	Jetée	8	1374	344 [39 - 476]
		Bâti	Bâtiment, blockhaus, fortification...	19	551	56 [11 - 53]
			Protection individuelle	62	6462	202 [11 - 614]
		Accès	Cale, chemin, voie submersible...	5	56	26 [3 - 24]
		Divers	Aménagement hydraulique (vanne, écluse, barrage...)	2	47	24 [12 - 36]
			Autre ou indéterminé	44	3933	171 [7 - 330]
	Total			**184**	**17271**	**-**

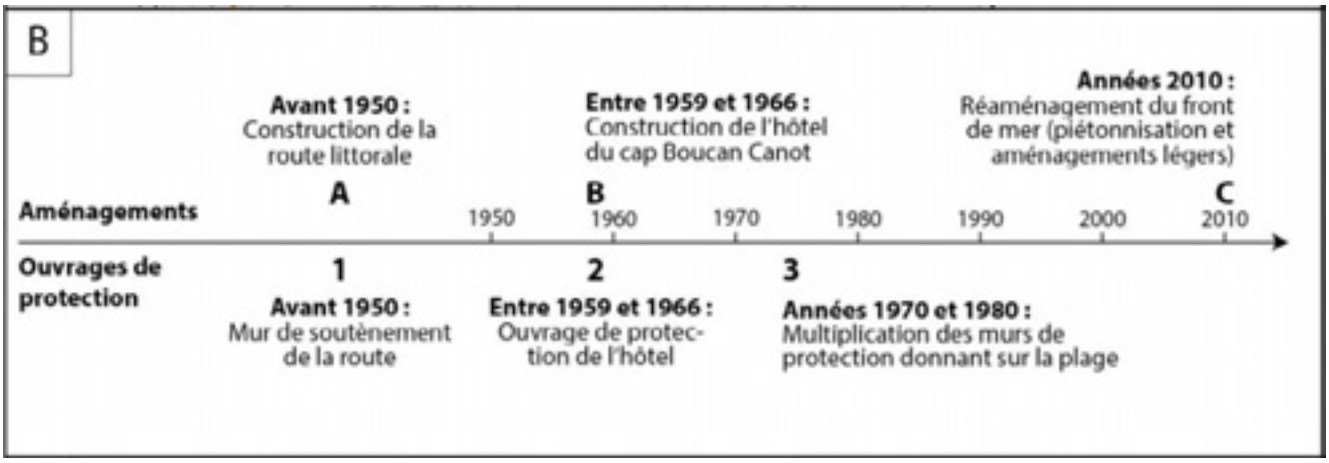


Figure 5.27 : Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense dans le secteur de Boucan Canot (Cazes-Duvat et al., 2016)

Tableau 5.6 : Ouvrages et aménagements littoraux des secteurs 4A – du cap Auguste (Grande Anse, Petite-Île) à la pointe de l'Étang-Salé et 4B – de la pointe de l'Étang-Salé au cap la Houssaye (Saint-Paul) (Cerema, 2017)

Secteur	Catégorie	Classe	Type	N^{bre}	Linéaire cumulé (m)	Longueur moyenne (m) [min. ; max.]
Secteur 1.A : Cap Auguste à la pointe de l'Étang-Salé	Ouvrages de protection	Ouvrage se substituant au trait de côte	Mur, mur de soutènement	13	1 257	97 [13 - 286]
			Perré	2	141	71 [14 - 127]
		Ouvrage de lutte contre l'érosion	Epi	0	0	-
	Autres aménagements	Infrastructure portuaire et de navigation	Jetée	4	902	226 [66 - 476]
		Bâti	Bâtiment, blockhaus, fortification...	6	158	26 [12 - 44]
			Protection individuelle	7	678	97 [12 - 355]
		Accès	Accès, chemin, voie submersible...	3	14	5 [3 - 7]
		Divers	Aménagement hydraulique (vanne, écluse, barrage...)	0	0	-
			Autre ou indéterminé	25	2 832	113 [10 - 330]
Secteur 1.B : Pointe de l'Étang-Salé au Cap la Houssaye	Ouvrages de protection	Ouvrage se substituant au trait de côte	Mur, mur de soutènement	22	2 244	102 [24 - 405]
			Perré	5	1 153	231 [35 - 394]
		Ouvrage de lutte contre l'érosion	Epi	2	52	26 [24 - 28]
	Autres aménagements	Infrastructure portuaire et de navigation	Jetée	4	472	118 [39 - 191]
		Bâti	Bâtiment, blockhaus, fortification...	13	393	30 [11 - 53]
			Protection individuelle	55	5 784	105 [11 - 614]
		Accès	Cale	2	41	21 [17 - 24]
		Divers	Aménagement hydraulique (vanne, écluse, barrage...)	2	47	24 [12 - 36]
			Autre ou indéterminé	19	1 101	58 [7 - 190]
	Total			**184**	**17 271**	

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Ouvrages et aménagements côtiers

Cap Auguste au cap la Houssaye

Photo et numéro correspondant

Pics

Réseau hydrographique permanent

Bâti

Trait de côte Histolitt

Ouvrages actuels

- Accès
- Bâti
- Infrastructure portuaire et de navigation
- Ouvrage de lutte contre l'érosion
- Divers
- Ouvrage se substituant au trait de côte

Les ouvrages et aménagements côtiers influençant directement l'évolution du trait de côte ont été relevés par le Cerema principalement à partir de l'interprétation d'orthophotographies.

D'autres sources d'informations, comme des bases de données locales des services déconcentrés de l'État et des images obliques, ont également été exploitées. Cet inventaire n'est pas exhaustif puisque seuls les ouvrages visibles sur les photographies aériennes sont pris en compte ; par ailleurs les ouvrages à l'intérieur des ports et remontant dans les estuaires n'ont pas été levés. Les méthodes dites "souples", comme la mise en place de ganivelles ou le rechargement de plage, ne sont actuellement pas prises en compte.

Les ouvrages dits "actuels" étaient visibles sur des orthophotographies de 2011. Sur l'unité morphosédimentaire, sur les 184 ouvrages et aménagements côtiers recensés :

- 42 correspondent à des ouvrages de protection du littoral dont 4,7 km de linéaire cumulé d'ouvrages se substituant au trait de côte;
- 142 correspondent à des aménagements côtiers impactant l'évolution du trait de côte comprenant notamment 8 jetées.

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topopgraphie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer) - Cerema & MEEM
Trait de c ôte Histolitt © IGN-SHOM 2009
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012
Crédits photos :
© Cerema/S. Lendre, 2019

Figure 5.28 : Ouvrages et aménagements côtiers actuels du secteur 4 – du cap Auguste (Grande Anse, Petite-Île) au cap la Houssaye (Saint-Paul) (Cerema, 2017)

et leur inefficacité s'est notamment révélée lors des dégâts occasionnés par le cyclone Bejisa en janvier 2014. Le premier aménagement touristique à avoir été construit est un hôtel (Figure 5.26) sur le cap Boucan Canot, entre 1959 et 1966 (Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

D'une manière globale, le trait de côte du secteur 4 (Figure 5.28) expose une relativement grande densité d'aménagements de protection, puisqu'il représente un total de 184 ouvrages, pour un linéaire cumulé d'environ 17,3 km. Par ailleurs, 19 bâtiments et 62 protections individuelles sont également dénombrés et présents en bordure immédiate avec la mer, représentant un linéaire cumulé d'environ 7 km (Tableau 5.5). Au sein de ce dernier secteur, le littoral concentre l'essentiel des aménagements entre la pointe de l'Étang-Salé et le cap la Houssaye (Tableau 5.6).

5.2 Extractions

Les extractions de matériaux peuvent conduire à une diminution des apports solides à la mer et un affaiblissement du stock sédimentaire qui, par suite de la rupture des conditions d'équilibre naturel, peuvent provoquer des érosions et des nuisances justifiant l'abandon des exploitations d'une telle ressource. La raréfaction des ressources à terre et les contraintes croissantes liées tant à l'environnement qu'à la multiplicité d'usages des territoires, poussent à rechercher également en mer des matières premières destinées à la construction. Il s'agit dans ce dernier cas d'une extraction de granulats marins pratiquée en vue d'une utilisation précise, et non pour draguer des fonds (Desprez, 1993).

Près des côtes, l'extraction est considérée comme un risque pouvant accentuer voire aggraver l'érosion du trait de côte. En effet, la dynamique sédimentaire peut être modifiée : la création d'un déficit local en sédiment peut s'étendre à toute la cellule hydrosédimentaire concernée et entraîner des impacts visibles jusqu'à plusieurs kilomètres des sites d'extraction. Ceci peut se traduire, en fonction des secteurs, par la disparition de plages, ou des affouillements à la base de falaises susceptibles de provoquer leur éboulement. Les conséquences de ces mouvements peuvent donc être catastrophiques, aussi bien pour la sécurité des personnes que pour l'économie locale. De même, la disparition des sédiments peut aussi augmenter l'exposition à la houle, et ainsi contribuer à augmenter l'érosion.

Compte tenu de la littoralisation des activités et de la population à La Réunion, de la croissance démographique, et par conséquent d'une urbanisation massive, les pressions anthropiques s'intensifient et participent de manière indirecte et directe à la perturbation des systèmes littoraux (Jaques, Orru, 2008). Les prélèvements de sédiments sur les plages et les cordons font partie des impacts directs sur la morphodynamique côtière que l'Homme a longtemps pratiqués sur l'île par le passé (De la Torre, 2004).

Figure 5.29 : Micro-falaise vive et siffle-vents dans les dunes bordant la forêt domaniale de la côte-sous-le-vent, au niveau de l'Étang-Salé (© BRGM, 2004)

Le cordon de galets qui borde les dunes de la forêt domaniale de la côte-sous-le-vent (ainsi que l'aéroport de Saint-Pierre Pierrefonds) présentent des fronts d'érosion vifs et bien entaillés (Figure 5.29). Le massif dunaire est, par ailleurs, largement creusé par des siffle-vents2. Les excavations dans le champ de dune témoignent d'anciens prélèvements relativement importants de sable. Le début de ces extractions ainsi que les volumes de matériaux extraits du cordon restent peu connus (De la Torre, 2004).

Auparavant, les gîtes de sables littoraux étaient en effet librement exploités pour la construction, déstabilisant ainsi l'équilibre des systèmes sédimentaires. Les débris de corail qui alimentent les plages étaient également ramassés pour la chaufournerie puis, de 1979 à 1996, pour le nettoyage des plages en vue de favoriser leur attraction balnéaire (Mespoulhe, Troadec, 1994 ; Troadec, 2003b ; De la Torre, 2004). Un arrêté préfectoral interdit aujourd'hui, et ce depuis 1991, toutes extractions sur le rivage (Dewatre, 1991).

Le secteur d'activité des granulats matérialise encore aujourd'hui un enjeu primordial pour l'économie réunionnaise. L'île connaît actuellement un dynamisme soutenu du domaine des BTP et des projets colossaux nécessitant de grandes quantités de matériaux (chantiers de la Nouvelle Route du Littoral). La disponibilité et l'accès aux ressources requises pour la réalisation des travaux sont des défis majeurs pour la collectivité (Jaques, Orru, 2008).

Tableau 5.7 : Bilan des ressources alluvionnaires potentielles par Espace-Carrière (E.C) et bassin d'activité en 2001 et 2006 (Jaques, Orru, 2008)

Bassin	Ressources	N°E.C.	Nom E.C.	Commune	Ressources potentielles SDC 2001	Ressources potentielles estimées 2006	Ressources compatibles PLU 2006
Est	Alluvions	09/01	Le Colosse	Saint-André	1,5 Mm³	1 Mm³	1 Mm³
	Alluvions/ Andains	02/01	Aval Bras-Panon	Bras-Panon	10 Mm³	7,5 Mm³	7,5 Mm³
	Alluvions	02/03	Terrasse Riv. Mât	Bras-Panon	0,5 Mm³	0,5 Mm³	-
	Alluvions/ Anindsa	10/01	Rivière de L'Est	Saint-Benoît	5 Mm³	5 Mm³	-
Total Bassin Est					**17 Mm³**	**14 Mm³**	**8,5 Mm³**
+Ouest	Alluvions	07/01	Buttes du Port	Le Port	10 Mm³	5 Mm³	5 Mm³
	Alluvions	15/01	Cambaie	Saint-Paul	10 Mm³	10 Mm³	-
Total Bassin Ouest					**20 Mm³**	**15 Mm³**	**5 Mm³**
Sud	Alluvions	16/07	Pierrefonds	Saint-Pierre	2,5 Mm³	3,5 Mm³	3,5 Mm³
	Alluvions	16/08	Pierrefonds	Saint-Pierre	0,5 Mm³	0,5 Mm³	-
Total Bassin Sud					**3 Mm³**	**4 Mm³**	**3,5 Mm³**
TOTAL REUNION					**40Mm³**	**33Mm³**	**17 Mm³**

L'extraction d'alluvions dans le lit mineur et le cône-delta des grandes rivières de l'île synthétise la quasi-totalité de la production en granulats (Tableau 5.7). Le Schéma Départemental des Carrières (SDC) de La Réunion détermine, depuis l'arrêté préfectoral de juillet 2001, les carrières à préserver afin d'assurer la satisfaction des besoins futurs en matériaux. Par ailleurs, la production de granulats issus de matériaux autres que les alluvions fluviatiles est recommandée. Le BRGM estimait en 2008 que les ressources potentielles en alluvions contenues dans les carrières ne devraient couvrir que douze ans de consommation et être épuisées en 2019 (Jaques, Orru, 2008).

Une étude du BRGM avait été commanditée en 2005 par la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) suite aux instructions du SDC de La Réunion afin d'explorer des possibilités d'extraction de matériaux marins autour de l'île : les secteurs les plus propices à l'extraction de granulats marins se localisent essentiellement au nord, sur le plateau de Saint-Denis à La Possession (14 km² ; Figure 5.30) et sur le plateau de Sainte-Suzanne à Sainte-Marie (19 km²). Les secteurs à l'ouest et au sud-ouest, entre La Possession et Saint-Pierre, présentent des contraintes notamment environnementales (érosion, récifs, aquaculture, câbles) au développement d'une activité d'extraction sous-marine de granulats (Le Berre *et al.*, 2005 ; Jaques, Orru, 2008).

Les ressources en alluvions marines disponibles en vue d'une extraction entre 10 et 50 m de profondeur, pour les zones de Saint-Denis à La Possession (Figure 5.30) et de Sainte-Suzanne à Sainte-Marie, ont été estimées à environ 40 Mm³, mais leur exploitabilité reste encore à être démontrée (Le Berre, 2010).

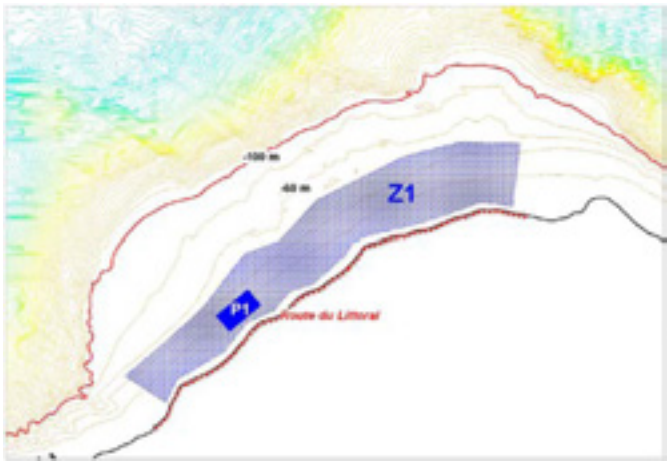


Figure 5.30 : Localisation des ressources potentielles en granulats marins au niveau du plateau de Saint-Denis à La Possession (Jaques, Orru, 2008)

5.3 Dragages et clapages

Différents types de dragage sont susceptibles d'être pratiqués le long des côtes. Le dragage d'entretien se destine à maintenir les profondeurs navigables dans les ports et les chenaux d'aménagement. Le dragage d'investissement (travaux neufs) s'effectue dans les ports et les voies navigables intérieures, en vue d'agrandir ou d'approfondir des chenaux, des bassins existants ou d'en créer de nouveaux. Le dragage d'assainissement est une pratique plus anecdotique, qui s'effectue

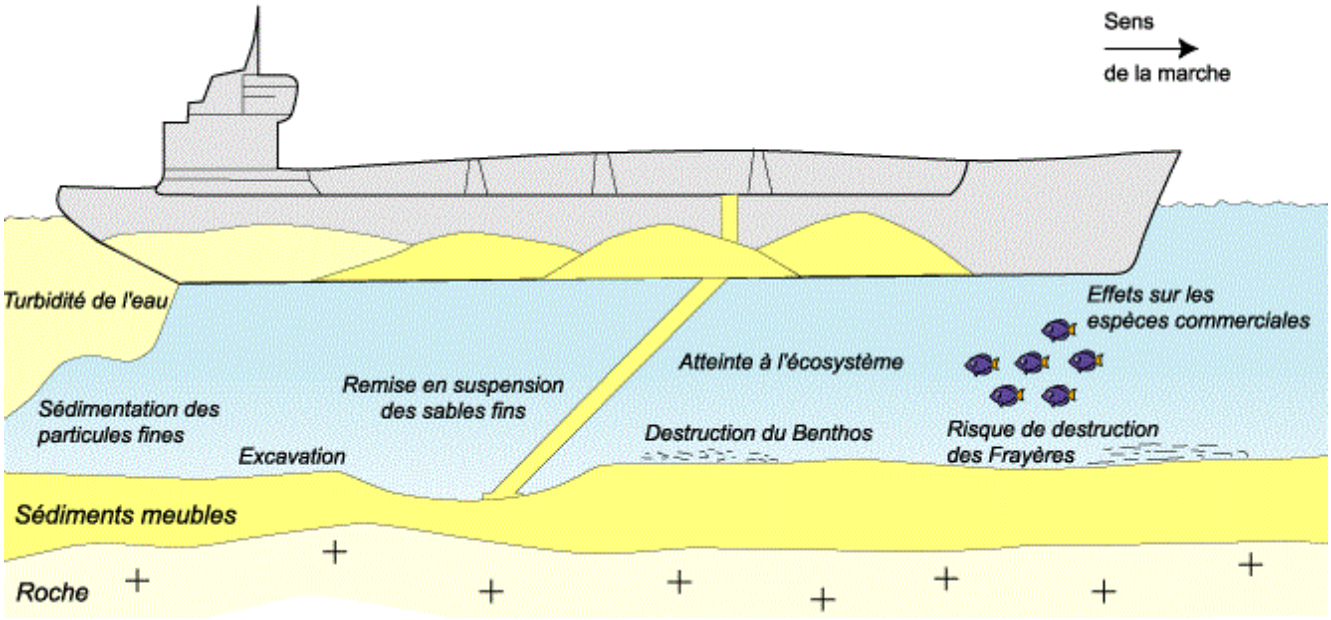


Figure 5.31 : Impacts du dragage de sédiments sur le milieu marin (dans Lochu et al., 2017)

majoritairement dans les voies navigables pour lutter contre la pollution. Dans les ports maritimes, ce type de dragage n'est pas pratiqué : en effet, si les sédiments sont contaminés, leur extraction est susceptible de disperser les contaminants dans la colonne d'eau et de générer davantage d'impact. A priori, les sédiments contaminés ne sont extraits que si le dragage est nécessaire à des fins d'aménagement.

Les impacts directs liés aux opérations de dragage peuvent être multiples (**Figure 5.31**). Ces derniers peuvent se traduire par des effets de nature physique : accroissement de la turbidité, modification de la topographie des fonds et de l'hydrodynamisme, modification des caractéristiques mécaniques des sédiments et des équilibres sédimentologiques. En outre, les effets relatifs aux dragages peuvent aussi être de nature chimique ou biologique : perturbation, destruction de la faune et de la flore benthiques (Lochu *et al.*, 2017).

L'élimination des déblais de dragage peut s'opérer de différentes manières : par immersion ou clapage, par rejet à la côte ou refoulement, à des fins de rechargement des plages. Les dépôts en mer (rejet à la côte ou refoulement) s'accompagnent d'un recouvrement du volume de sédiments par une couche de sable importante, afin de l'isoler de la colonne d'eau sus-jacente, ou bien d'un confinement des sédiments dans des compartiments semi-étanches en immersion. Cette technique, appelée également « capping » en anglais, existe à l'étranger, mais n'est pas pratiquée en France. Concernant les filières de gestion possibles des sédiments dragués, le traitement à terre des sédiments contaminés permet en outre de les valoriser (remblais, sous-couches routières, aménagements paysagers, etc) ou de les stocker en dernier recours.

En général, les sédiments non contaminés sont destinés à un usage pour lequel leurs effets sur l'environnement sont limités, ils sont donc immergés de façon à être à nouveau inclus dans le cycle sédimentaire naturel. Les sédiments non contaminés sont dans certains cas utilisés à des fins valorisantes telles que la création de zones humides, l'engraissement des plages en cours d'érosion ou la construction de routes. En revanche, le dragage et le rejet de matériaux contaminés sont des nuisances pour la qualité physico-chimique des eaux, par le devenir des substances toxiques et leurs effets sur les organismes vivants. Les opérations de dragage/clapage sont par conséquent encadrées par des seuils réglementaires en ce qui concerne leur contamination potentielle. Lorsque les sédiments sont contaminés au-delà des seuils, des dispositions techniques particulières peuvent être prises pour limiter la dispersion des contaminants. Si les sédiments dragués sont contaminés, les solutions de gestion à terre sont ainsi privilégiées.

Les sédiments contaminés ne sont pas systématiquement traités car selon la filière de valorisation envisagée, les exigences de qualité sont différentes. D'un point de vue réglementaire, une étude d'impact ou une étude d'incidence « Loi sur l'Eau » est systématiquement réalisée avant ce type de travaux. Les opérations de dragage sont nécessairement planifiées à l'échelle locale et les solutions de gestion possibles sont également définies à cette même échelle : il s'agit des schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et des filières de gestion des sédiments qui sont mis en œuvre dans le cadre de la DCSMM (Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin). Afin de pouvoir les revaloriser, la gestion des sédiments contaminés se fait exclusivement à terre en dépôt puis par un processus de décontamination. Cette pratique

ne peut concerner, du fait de son important coût financier, que de faibles quantités de déblais fortement pollués. C'est donc pourquoi il est opportun de préalablement réaliser une étude d'impact des dragages sur la capacité de dépôt à terre et de dépollution (Grosdemange, 2005).

Un guide méthodologique des diagnostics à mettre préalablement en oeuvre pour les opérations de dragage des sédiments marins à La Réunion a par ailleurs été conçu par l'Ifremer en 2017 afin d'assister les Maîtres d'Ouvrage dans la caractérisation de l'état initial de la zone à draguer et de faciliter les instructions des dossiers de déclaration et d'autorisation à destination des services de l'État en charge de la Police de l'Eau (Lochu *et al.*, 2017).

Plusieurs techniques permettent enfin de rengraisser l'estran afin de lutter contre l'érosion. Le maintien du transit sédimentaire longitudinal suite au blocage de la dérive littorale par un ouvrage transversal peut s'effectuer par des systèmes hydrauliques de *by-passing* ou des rechargements artificiels. Cette technique demeure la méthode souple la plus largement utilisée. Mais les sédiments peuvent aussi être directement dragués au sein de l'accumulation que provoque l'ouvrage ou bien prélevés dans les fonds marins où se trouvent d'importants stocks fossiles.

La réalisation d'un Plan de Gestion des Sédiments permet alors de cibler les ressources et les besoins potentiels en respectant les transits en action, les modalités de rechargement et les écosystèmes marins. En effet, pour que le rechargement soit efficace, il faut que le type de sédiment (nature, granulométrie) soit compatible et que son dragage ne soit pas générateur de déséquilibres pour les fonds marins (risque d'écotoxicité). Les rechargements peuvent être opérés à terre par camion ou en mer par clapage, et doivent respecter le profil d'équilibre de la plage (De la Torre *et al.*, 2012).

D'autre part, à l'aval des grandes rivières de La Réunion (rivière du Mât, rivière Saint-Étienne, etc), des curages sont autorisés et réalisés dans le lit mineur du cours d'eau afin de prévenir des risques d'inondation dans le cadre de la gestion des crues. Ces dragages occasionnent par conséquent un déficit sédimentaire à l'aval pour les systèmes côtiers (De la Torre, 2004). Néanmoins, la perce manuelle du cordon littoral responsable du blocage du cours d'eau à son embouchure est préconisée afin de conserver à proximité les sédiments au sein de la cellule hydrosédimentaire et faciliter l'écoulement (De la Torre *et al.*, 2012).

Le dragage est indispensable au maintien de la navigation des ports à La Réunion. Au niveau de l'Étang-Salé-les-Bains, le canal d'accès au port du Bassin Pirogue qui a été creusé dans le platier récifal est dragué régulièrement pour permettre la sortie des bateaux. Les opérations de dragage sont responsables de grandes pertes sédimentaires pour la cellule dont le sable est mobilisé puis expulsé par le courant de vidange vers les fonds marins. Une solution pour recharger la plage serait alors de déposer les sédiments dragués du chenal sur le profil, tout en respectant sa morphologie (Blangy *et al.*, 2009).

Le port de Saint-Gilles connaît un ensablement continu qui impose de le draguer régulièrement (Cazes-Duvat *et al.*, 2016). De la même manière, des autorisations de dragage ont été attribuées parmi d'autres à la Communauté Intercommunale Nord de la Réunion pour le port de Sainte-Marie (Traimond, 2017) et au Territoire de la Côte Ouest pour le port de Saint-Leu (**Figure 5.32**, **Figure 5.33** ; ACOA Conseil, 2017).

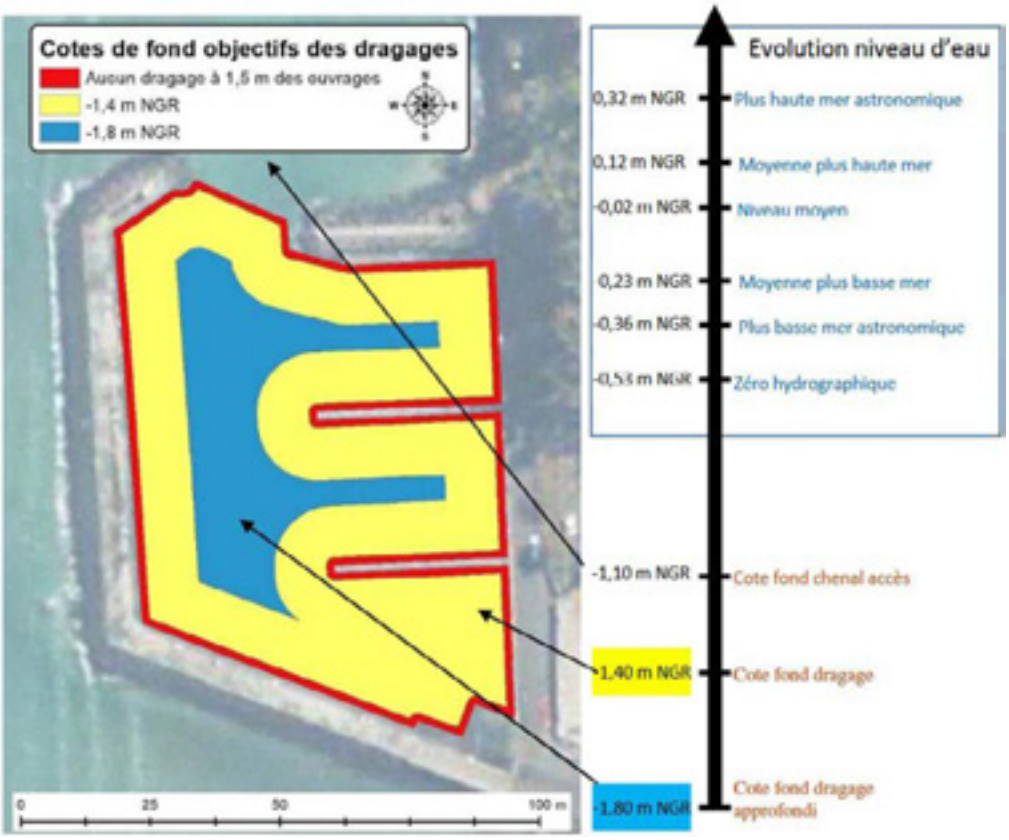


Figure 5.32 : Cotes de fond objectifs des dragages du port de Saint-Leu (ACOA Conseil, 2017)

Figure 5.33 : Surfaces et volumes à draguer dans le port de Saint-Leu, par rapport à sa bathymétrie de 2016 (ACOA Conseil, 2017)

Dans le cadre de l'enquête du Cerema engagée depuis 2006 sur le suivi des dragages et des clapages en France métropolitaine et d'Outre-Mer, il apparaît qu'un dragage de 30 000 m³ (soit un peu moins de 28 kT de matières sèches) a été opéré au sein du port de pêche et de plaisance de Sainte-Marie en 2017. Les sédiments ont alors été stockés à terre à l'extrémité du bassin ouest du Port-Est, au sud de la zone industrielle (source : Cerema/DtecEMF/IEA).

La nécessité du dragage des ports afin d'entretenir leur tirant d'eau est telle que la panne de l'unique drague du Port entre 2004 et 2006 avait entraîné l'impossibilité aux navires de pouvoir rentrer dans le Port-Ouest. Les zones de dragages et clapages maritimes du Port-Ouest sont représentées sur la **Figure 5.34** suivante (BRL Ingéniere, 2014).

Pendant les périodes de houle australe, des matériaux sont régulièrement dragués dans le chenal d'accès au Port-Ouest à raison de 50 à 100 000 m³/an (**Figure 5.35**), de façon occasionnelle par voie maritime mais prioritairement par voie terrestre à l'aide d'une dragline mécanique positionnée sur la rive droite du chenal (Jaques, Orru, 2008).

Les dragages se déroulent préférentiellement en période de houle australe favorable à la dispersion des panaches de matières en suspension générés par les travaux dans le chenal. Le matériel dragué est par la suite valorisé par les carriers, clapé en mer sur le banc frontal de la Folette lorsque les dragages sont effectués par voie maritime ou alors déversé à terre, de part et d'autre des terminaisons de l'enrochement qui protège l'unique dépôt de carburant de l'île de La Réunion dont les cuves sont situées à l'extrémité de la pointe des Galets (autorisation par l'arrêté de dragage n°2018-1625/SG/DRECV du 31/08/2018 ; Joram, 2018). Cette pointe à forts enjeux, soumise aux assauts des houles cycloniques et australes sud-ouest, présente en effet une tendance préoccupante à l'érosion depuis de nombreuses années.

Les sédiments étaient auparavant clapés au large de la pointe des Galets afin de limiter son érosion. Or, les clapages semblaient ne pas être efficaces et auraient dû être réalisés plus près du rivage car, sans cela, les sédiments continuaient invariablement de transiter vers

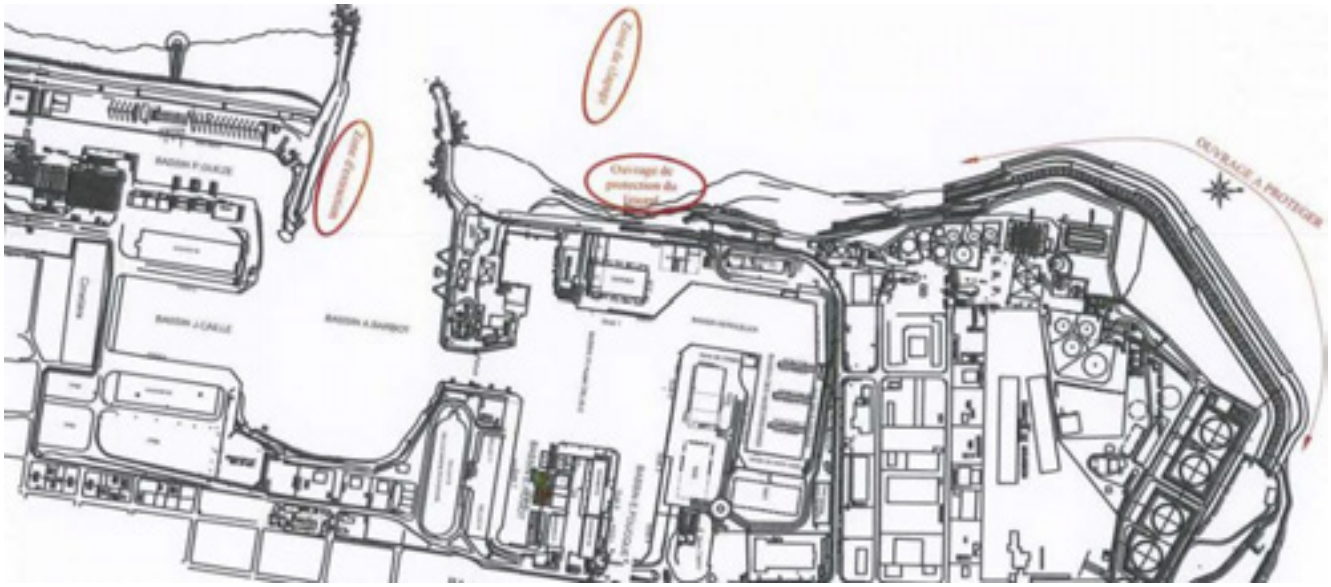


Figure 5.34 : Dragage maritime du chenal du Port-Ouest et zone de clapage maritime en aval-dérive au nord des jetées portuaires (BRL Ingéniere, 2014)

les grands fonds par les pentes sous-marines (Blangy *et al.*, 2009).

Un dragage est également mis en œuvre sur l'avant-plage située en amont-dérive de la jetée méridionale du Port-Ouest, afin de prévenir les dépôts dans le chenal (**Figure 5.35**. La zone à draguer correspond à une excavation de 145 m de long pour 45 m de large située entre la cote +2,0 et -5,0 m CM. Le mode opératoire des dragages se fait ici aussi essentiellement par voie terrestre (Joram, 2018).

Pendant les opérations de dragage, un suivi du milieu est mis en place avec pour objectif d'observer la dispersion des panaches de matières en suspension, dans un souci d'ajuster si nécessaire la méthode de dragage employée. Le suivi peut être de nature photographique, à partir des sites élevés du Port-Ouest (silo à ciment), ou bien s'opérer à l'aide de drones. Les observations (descriptif des photographies, de la marée, des houles, de la courantologie, de la pluviométrie, activités nautiques, etc) font alors l'objet d'un rapport remis chaque année au service de l'État en charge de la Police de l'Eau (Joram, 2018).

Pour le Port-Ouest, la méthode de suivi préconisée par le Cerema se base sur l'observation et s'étend sur un linéaire de 9 km depuis la ravine à Marquet jusqu'à l'embouchure de la rivière des Galets. Cette analyse cherche à quantifier l'impact des dragages curatifs et des rechargements de plage au niveau de la commune du Port (de la rivière des Galets jusqu'à la ravine à Marquet) sur le court, moyen et long terme.

La méthode intègre :

- un suivi bathymétrique annuel,
- un suivi GPS continu du trait de côte par relevé semestriel,
- un suivi topographique et/ou photogrammétrique annuel permettant la réalisation de profils de plage,
- une instrumentation par courantomètres et houlographes,
- des analyses granulométriques et volumiques des matériaux dragués dans le chenal,
- un survol occasionnel par drone à l'entrée du Port-Ouest, pendant les houles australes pour l'observation des panaches de matières en suspension.

La **Figure 5.35** recense au niveau du Port-Ouest les zones de dragage et les volumes annuels associés, dans le cadre de l'enquête du Cerema engagée depuis 2006 sur le suivi des dragages et des clapages en France métropolitaine et d'Outre-Mer. En outre, l'inventaire du Cerema enregistre également des dragages de 4674 m³ (soit environ 2,5 kT de matières sèches) et de 4588 m³ (soit environ 10,6 kT de matières sèches), respectivement dans le bassin Hubert de Lisle en 2013 et le long de la darse de pêche traditionnelle en 2014, au sein du Port-Ouest. Les volumes dragués ont par la suite été clapés en mer, au large (source : Cerema/DtecEMF/IEA).

Le Port-Est ne connaît pas les mêmes problèmes d'ensablement et nécessite plus sporadiquement des dragages d'entretien. L'extension de ses infrastructures portuaires, entre 2005 et 2008, avait occasionné le dragage en mer et l'extraction par affouillement à terre de 4,3 Mm³ (soit 8600 kT) de granulats marins littoraux. Les sédiments avaient notamment étés disposés sur le domaine public portuaire (0,8 Mm³) et sur les Buttes du Port (3,5 Mm³) (Jaques, Orru, 2008).

L'enquête du Cerema sur le suivi des dragages et des clapages en France révèle également la réalisation d'un dragage de 599000 m³ (soit un peu plus de 321 kT de matières sèches) dans le chenal d'entrée du Port-Est en 2015. Les sédiments ont été déposés à terre à l'extrémité du bassin ouest du port, au sud de la zone industrielle (source : Cerema/DtecEMF/IEA).

Les dragages ne concernent pas uniquement les opérations d'entretien portuaire mais accompagnent également les travaux effectués sur le DPM. Dans le cadre du chantier de construction de la Nouvelle Route du Littoral, une série de dragages a notamment été opérée en 2015 (source : Cerema/DtecEMF/IEA) :

- en baie de La Possession, de l'ordre de 82000 m3 (43993,82 T de matières sèches) ;
- à la Grande Chaloupe, de l'ordre de 128000 m3 (68673,28 T de matières sèches) ;
- au Barachois (Saint-Denis), de l'ordre de 86000 m3 (46139,86 T de matières sèches).

5.4 Autres activités humaines

Les activités humaines abordées dans les paragraphes suivants peuvent avoir, d'une part des répercussions directes sur les transits sédimentaires, la répartition des sédiments, l'équilibre sédimentaire des plages, ou d'autre part indirectes en impactant les écosystèmes participant à la protection des fonds et du littoral.

Les activités et les dynamiques anthropiques (**Figure 5.36**) s'accompagnent de nombreux impacts potentiels, directs ou indirects, sur le milieu marin, les apports en sédiments à la côte et par conséquent l'évolution du littoral et des fonds, tels que :

- la rupture des échanges sédimentaires côtiers du fait de l'artificialisation des espaces littoraux et rétro-littoraux par le développement des activités économiques, notamment touristiques ;

Figure 5.35 : Localisation des zones de dragage et volumes de sédiments dragués au Port-Ouest de La Réunion (source : Cerema/DtecEMF/IEA)

- la modification de la nature des fonds et des processus de sédimentation en mer par le développement d'activités économiques en mer et sur le littoral, notamment les activités de pêche en mer (arts traînants pouvant impacter les fonds marins), en proche côtier (notamment la conchyliculture) ou à terre (pêche à pied, professionnelle ou de loisir) et les projets de développement des énergies marines renouvelables (impact des installations) ;
- la dégradation d'espaces naturels sensibles participant à l'équilibre des échanges sédimentaires littoraux, notamment du fait de l'accès au littoral et l'accueil du public (par exemple le piétinement des dunes) ou la gestion des sources de pollution potentielles (collecte des déchets sur les plages ou nettoyage des plages après des pollutions accidentelles par hydrocarbures).

Les zonages réglementaires liés à la protection de l'environnement, en limitant ces impacts potentiels, participent ainsi indirectement à la protection du littoral et à son équilibre sédimentaire.

5.4.1 Activités de pêche et cultures marines

La pêche aux arts traînants (dragues, chaluts de fond et à perche **Figure 5.37**) est susceptible de créer une abrasion des couches supérieures des fonds marins et peut perturber le milieu en remettant en suspension des sédiments qui peuvent ensuite être transportés par les courants. Ce type de pêche n'est pas pratiqué à La Réunion en raison de la profondeur des fonds mains qui entourent l'île.

L'impact des cultures marines sur les fonds marins et sur le fonctionnement hydrosédimentaire est également reconnu. De manière générale, l'aquaculture participe à l'envasement du milieu, en raison du ralentissement des courants et des dépôts de fèces dont les espèces en culture sont à l'origine. Les dépôts de particules minérales et organiques engraissent les zones peu exposées aux courants. Cependant, cet impact est à relativiser, car la fraction minérale est remaniée et non créée, les dépôts organiques (fèces) ne représentent donc qu'une faible part des accrétions sédimentaires.

Le Schéma de Mise en Valeur de la Mer (SMVM) dépend du Schéma d'Aménagement Régional (SAR) de La Réunion approuvé par décret n°95-1169 du 06/11/1995. Le SMVM identifie les grandes orientations d'exploitation et d'aménagement du littoral tout en détaillant les mesures de protection relatives au milieu marin. Différentes zones sont ainsi déterminées : les zones affectées au développement industriel et portuaire, aux cultures marines ou aux activités de loisir (Le Berre *et al.*, 2005).

Les principales perspectives d'évolution du milieu marin incluses dans le SMVM concernent les récifs coralliens, les plages, les étangs littoraux, la pêche, l'aquaculture et les activités portuaires. Les zones coralliennes de La Réunion sont peu développées et exclusivement présentes sur le littoral occidental de l'île. En raison de leur sensibilité et de leur fragilité, les milieux coralliens demeurent sous statut de haute protection selon le SMVM : des mesures réglementaires sont encouragées afin de limiter les dégradations des coraux et assurer leur bon état écologique (Le Berre *et al.*, 2005).

Le secteur de la pêche s'est très rapidement développé avec la mise en place autour de l'île de Dispositifs Concentrateurs de Poissons (DCP), sortes d'épaves artificielles flottantes mouillées par grands fonds qui attirent les poissons migrateurs ou pélagiques. L'aquaculture s'implante quant à elle davantage dans les étangs littoraux qu'en mer. Le développement de la pêche, de la plaisance et du commerce a nécessité la création de nouvelles infrastructures portuaires : extensions du Port-Est et du port de Saint-Leu, constructions des ports de Sainte-Rose, de La Possession et de Saint-Joseph (Le Berre *et al.*, 2005).

5.4.1.a Activités de pêche

À l'origine traditionnelle et artisanale, la pêche est aujourd'hui devenue un véritable atout économique de l'île, venant en seconde position au rang des exportations après la filière de la canne à sucre (Le Berre *et al.*, 2012). L'État a largement contribué au développement des filières de pêche au large à La Réunion pour diminuer l'effort de pêche côtier (Réserve Naturelle Marine de La Réunion, 2012).

Deux types de ressources halieutiques peuvent être distinguées (Roos *et al.*, 2000 ; Le Berre *et al.*, 2005) : les ressources pélagiques (thons, espadons, dorades coryphènes, etc. évoluant en pleine eau) ; les ressources benthiques (évoluant sur le fond) et démersales (au-dessus du fond).

Afin d'exploiter ces ressources avec le plus de rendements possibles, plusieurs techniques sont employées telles que les DCP et les récifs artificiels. Les DCP mouillent généralement par 500 à 1500 m de fond et se situent largement en dehors des zones côtières (Le Berre *et al.*, 2005). Les techniques de pêche utilisées (ligne de traîne, filet maillant dérivant, palangres dérivantes de surface : **Figure 5.37**) sélectionnent plus efficacement les grands pélagiques réunis autour des DCP (Roos *et al.*, 2000) et n'impactent pas la sédimentologie des fonds. En effet, ce type de pêche s'exerce essentiellement dans les eaux des hauts-fonds et des tombants.

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Autres activités humaines

- Pic
- Volcan
- Rivière concernée par la pêche aux bichiques
- Etang
- Limite communale
- Zone de pêche artisanale
- Activité portuaire
- Zone de baignade

Activité touristique
(dans les 3km le long du littoral)

- Club de plongée
- Hébergement

Structures sous-marines anthropiques

- Câbles sous-marins
- Conduites sous-marines
- Épave avec moins de 20 mètres de brassiage
- Épave avec plus de 20 mètres de brassiage
- Obstructions

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Activité touristique, portuaire et zone de pêche bichique, artisanale - DEAL Réunion
Zone de baignade - ARS Réunion
Structures sous-marines anthropiques - ©SHOM WMS
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Trait de côte - Histolitt® - ©SHOM 2012
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 5.36 : Activités humaines sur l'île de La Réunion

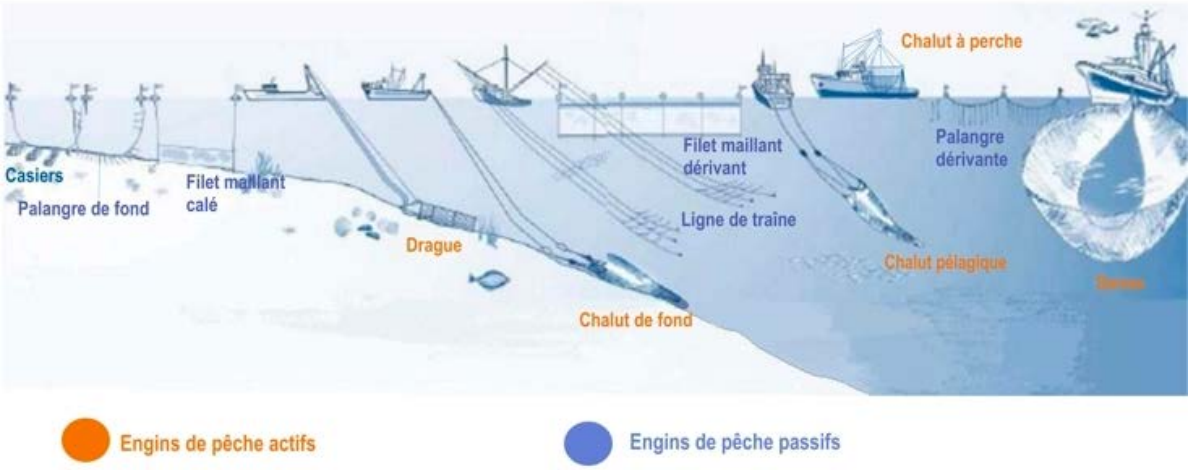


Figure 5.37 : Différents engins de pêche (© Ifremer – source : wwz.ifremer.fr)

Les activités de pêche à pied s'effectuent autour des récifs coralliens : pêche à la senne de plage des capucins nains (*Mulloidichthys flavolineatus*), pêche à pied des zourites (*Octopus cyanea*) et pêche à la ligne, dite « à la gaulette », depuis le rivage ou les pieds dans l'eau. (Ifremer, 2012). Cette activité peut avoir un impact sur le milieu et l'habitat. Outre le piétinement inévitable sur les récifs et les herbiers, elle consiste à retourner les coraux pour attraper les poulpes, les coquillages, les crustacés et autres crevettes.

Les principaux sites de pêche aux bichiques (*Sicyopterus lagocephalus*) ont été géolocalisés par la Région Réunion, via les données mises à disposition par l'AAPPMA (Association Agréée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique) (Figure 5.39) (source : sextant.ifremer.fr).

L'installation des récifs artificiels permet le développement des espèces benthiques et démersales (Figure 5.38). Ce type de structure, dont l'emprise individuelle est inférieure à 500 m², a été immergé dans la baie de Saint-Paul et de La Possession (Figure 5.39) (Le Berre *et al.*, 2005 ; Pinault, 2013).

Figure 5.38 : Structures en béton de type « Reef Ball » immergées en baie de La Possession (© Ifremer – source : www.ifrecor.com)

La pêche professionnelle est autorisée dans plus de 80 % de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion, à l'exception des zones comprises entre les fronts récifaux à la limite des eaux, ici appelés « lagons » et des zones sanctuarisées.

La pêche traditionnelle est autorisée sur près de 50 % des lagons et la pêche de loisir à la ligne est ouverte sur 57 % du linéaire depuis les côtes rocheuses (sauf zone surplombant un récif corallien autre qu'un banc récifal) et les plages de sable noir. Enfin, la chasse sous marine est autorisée dans 43 % de la surface (hors lagons, zones de protections renforcées et sanctuarisées) (source : sextant.ifremer.fr).

5.4.1.b Cultures marines

L'aquaculture réunionnaise est principalement développée à terre, notamment à Salazie et dans les étangs littoraux. Une zone marine, située en 20 et 50 m de profondeur, était néanmoins auparavant réservée à l'aquaculture dans la baie de Saint-Paul (Figure 5.39). Sur cette zone, le mouillage était par ailleurs interdit d'après le plan de l'arrêté préfectoral n°2953 du 14/09/2002 portant réglementation du mouillage de navires.

La baie de Saint-Paul accueillait jusqu'en 2018 deux concessions accordées à la ferme aquamarine de Bourbon et à l'ARDA (Association Réunionnaise de Développement de l'Aquaculture) à titre d'expérimentation. La pisciculture pratiquée dans les deux concessions s'effectuait au sein de cages flottantes en filet placées au-dessus de fonds de 40 à 50 m (Le Berre *et al.*, 2005).

Depuis 1999, l'ARDA animait un programme de développement de l'aquaculture qui avait permis l'installation d'une écloserie marine au Port-Ouest et d'une ferme marine pilote dans la baie de Saint-Paul. Les espèces qui y étaient élevées sont l'ombrine (*Sciaenops*

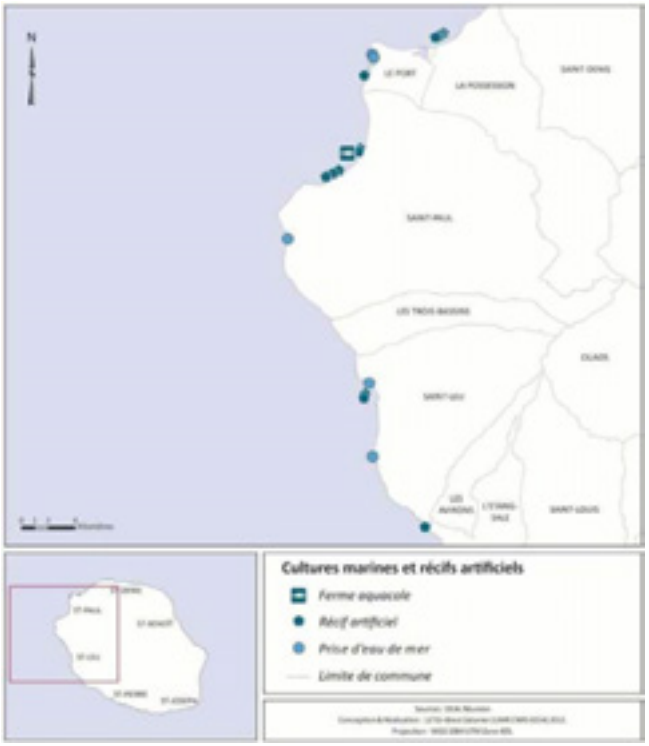


Figure 5.39 : Localisation des cultures marines et des récifs artificiels en 2012 sur l'île de La Réunion (Le Berre et al., 2012)

ocellata), la daurade tropicale (*Rhabdosargus sarba*) et la pêche cavale (*Selar crumenophthalmus*). Les produits étaient alors exclusivement commercialisés par vente directe ou dans les grandes surfaces locales (Le Berre *et al.*, 2012).

Dans le cadre de la mise à jour de l'atlas de sensibilité du littoral réunionnais à une pollution marine par hydrocarbure (annexe du plan POLMAR-Terre), et notamment de la définition d'un indice de sensibilité socio-économique du littoral, un recensement des établissements prélevant de l'eau en mer pour leur fonctionnement (aquariums, écloseries, etc), avait été réalisé. En 2012, quatre établissements prélevaient de l'eau en mer, soit par aspiration directement dans la colonne d'eau, soit par forages (deux forages au niveau de l'écloserie du Port-Ouest). Les informations avaient été recueillies par le laboratoire Géomer et la DEAL, par contact auprès des structures concernées (source : sextant.ifremer.fr).

5.4.2 Activités de loisir et de tourisme

La surfréquentation liée au développement du tourisme balnéaire est devenu un problème et impose plus particulièrement une adaptation de la gestion des espaces littoraux. Le piétinement provoque la dégradation de la végétation des falaises, des corniches et des dunes. Dans le cas des falaises, la destruction de la végétation fixatrice accélère le ravinement et les glissements de terrain. Dans le cas des dunes, la disparition de la végétation entraîne l'apparition de siffle-vents et de brèches qui créent une remise en mouvement des sables par le vent vers l'intérieur des terres.

Les pressions exercées sur le milieu marin par la fréquentation des plages et des dunes ainsi que les activités de baignade sont engendrées par la concentration spatiale et temporelle des usages : elles dépendent en grande partie des volumes de fréquentation des plages et des eaux de baignade pendant la période estivale ainsi que des comportements des usagers (Guingand, 2012 ; Lemahieu, 2015).

5.4.2.a Le tourisme

La saison touristique de l'île de La Réunion s'étend essentiellement au cours du deuxième semestre, de juillet à janvier. La fréquentation touristique entre 2003 et 2012 est plutôt stable et compte généralement entre 400 et 450 000 touristes par an (Tableau 5.8), hormis lors de l'année 2006 où la liquidation d'une des principales compagnies aériennes et la foudroyante épidémie de chikungunya avaient ternit l'attraction de l'île. Les recettes liées au tourisme s'échelonnent entre 300 et 400 millions d'euros (CCEE Réunion, 2013).

Mais les derniers chiffres du tourisme laissent voir une croissance fulgurante du nombre de visiteurs. Selon le dernier rapport de l'Observatoire Régional du Tourisme (source IRT – Île de la Réunion Tourisme : www.reunion.fr), la fréquentation touristique s'établissait à 534 630 visiteurs extérieurs en 2018 (+5,3 % par rapport à 2017) et 39 433 croisiéristes, soit un total de 574 063 touristes (+4,2 % par rapport à 2017). Les recettes liées au tourisme cumulent cette année près de 432 millions d'euros, soit +21 % de bénéfices par rapport à 2017 (Observatoire Régional du Tourisme, 2019).

5.4.2.b Activités de loisir

Auparavant organisée selon un modèle de développement fondé sur l'industrie sucrière, La Réunion connaissait alors un tourisme très marginal. Ce n'est qu'à partir des années 1970 que l'île s'ouvre au monde des loisirs par le thermalisme, le climatisme

Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Nombre de touristes	432 000	430 000	409 000	278 800	380 547	396 422	421 900	420 300	471 300	446 500
Recette (en M€)	365	360	355	245	325	343	337	329	389	350

Tableau 5.8 : Le tourisme réunionnais en quelques chiffres entre 2003 et 2012 (CCEE Réunion, 2013 – source : CTR, ITR).

puis le balnéarisme dont les activités respectives s'installent principalement sur les Bas de la Réunion, et plus particulièrement à l'ouest (CCEE Réunion, 2013).

Dès les années 1970, les récifs réunionnais affichaient déjà des signes de dégradation (Bouchon, Bouchon-Navaro, 1982 ; Faure, 1982 ; Guillaume *et al.*, 1983 ; Naim, Cuet, 1989) : coraux morts et blanchis, brisures de corail, prolifération des éponges, des algues, etc.

Ces dégradations, dont l'action mécanique et chimique peut être d'origine naturelle, sont également en partie dues aux activités anthropiques en lien avec la pêche (pêche à pied, pêche à la zourite) et les pratiques balnéaires (PMT, plongée, chasse sous-marine, sports de glisse, baignade) (Troadec, 1996). Le piétinement des platiers qui en résulte engendre des dommages directs sur les récifs coralliens. Le piétinement sur les herbiers de phanérogames demeure également très impactant (Hily *et al.*, 2010). Aujourd'hui, ces activités sont réglementées au sein de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion depuis son instauration en 2007.

Dans un contexte global de forte anthropisation littorale où de nouveaux territoires de gestion s'opposent sans cesse à des territoires de pratique préexistants, Lemahieu (2015) a contribué à travers sa thèse à alimenter la réflexion sur le rôle et le poids de l'Homme et de ses activités sur le périmètre de la RNMR. Les usages tiennent un rôle structurant sur les plans sociaux, culturels et territoriaux, mais également, par les interactions homme/milieu et la pression qu'ils exercent sur un milieu sensible, tel que celui des côtes coralliennes réunionnaises (Lemahieu, 2015).

L'ensemble des usages (**Figure 5.40**) constituant la fréquentation d'un espace littoral (baignade ; plage ; plongée ; activités nautiques : palmes-masque-tuba, surf, kitesurf, windsurf, paddle, canoë kayak, jet-ski, etc) interrogent d'une part sur la durabilité des ressources dans un contexte de fort accroissement de l'attractivité des espaces balnéaires à forte connotation de qualité paysagère et d'autre part, sur les déséquilibres provoqués par les interactions avec le milieu (Brigand *et al.*, 2008 ; Meur-Ferec, 2007). Le concept de fréquentation est mobilisé pour aborder la capacité de charge (Cazes-Duvat, 2008 ; Cole, 1995) ou encore de dégradation des écosystèmes (Kay, Liddle, 1989 ; Chabanet, 1994 ; Allison, 1996).

À ce titre, l'Agence des Aires Marines Protégées et le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable, des Transports et du Logement ont lancé en 2009 un projet de développement des méthodes d'évaluation de la fréquentation dans les AMP. C'est dans ce contexte qu'a été initié dès 2010 un suivi de la fréquentation au sein de la RNMR (**Figure 5.41**), issu d'une collaboration entre le GIP RNMR et l'UMR 228 Espace-Dev (Lemahieu, 2015).

En 2010, plus de 130 000 observations ont été effectuées par Lemahieu (2015). La plus grande part de ces observations est imputable aux activités de plage et de baignade, qui représentent 90 % des usages sur le périmètre de la RNMR (**Figure 5.41** ; **Figure 5.42**).

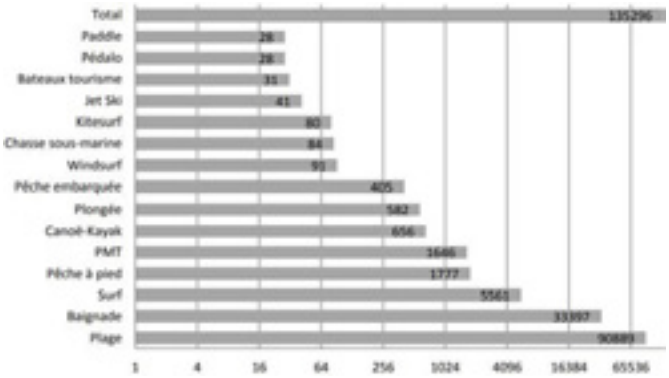


Figure 5.41 : Fréquentation de la RNMR au cours de l'année 2010 (sur la base de 48 survols d'observation) par type d'activité de loisir (Lemahieu, 2015)

Figure 5.40 : Fréquentation de la plage de l'Ermitage (© A. Lemahieu, 11/04/2010)

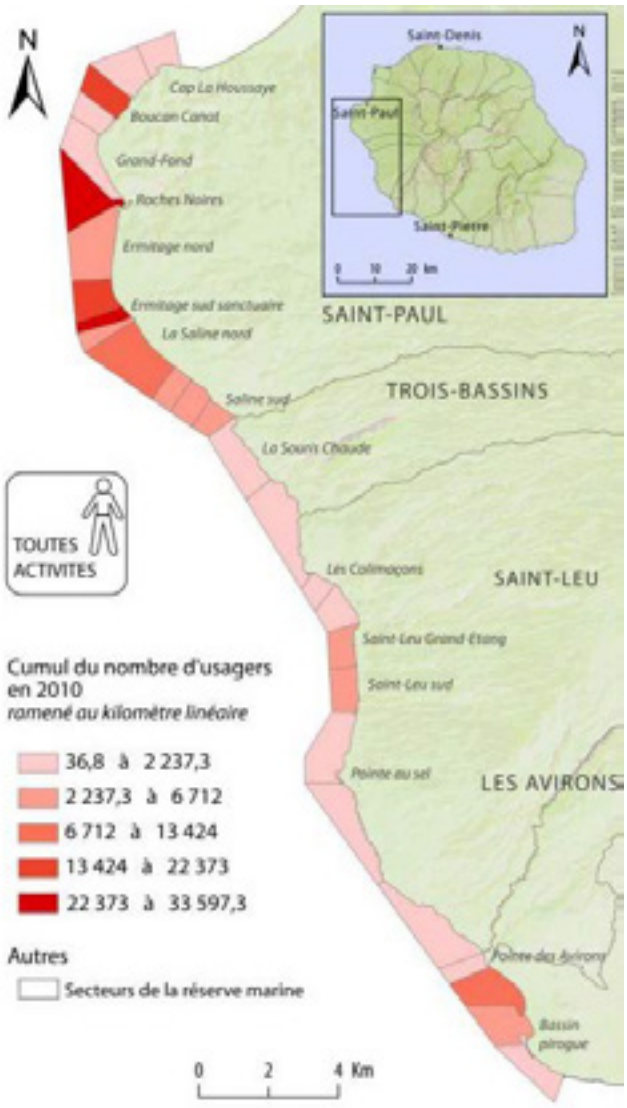


Figure 5.42 : Répartition générale de la fréquentation globale ramenée au kilomètre linéaire au cours de l'année 2010 (sur la base de 48 survols d'observation) à la RNMR (Lemahieu, 2015)

L'activité de surf arrive en troisième position des usages les plus représentés avec 5 561 observations, juste devant l'activité de plongée sous-marine dont le nombre de pratiquants a été estimé à 3 492 (582 bateaux observés). Une assez forte représentation des activités nautiques se démarque pour le palmes-masque-tuba (*snorkeling*) ou le kayak, des usages dont la pratique est souvent associée à la présence des récifs coralliens (dépressions arrière-récifales et platier) et des complexes récifaux situés à l'abri de la houle (**Figure 5.43**) (Lemahieu, 2015).

Les usages, au-delà de leur répartition spatiale, sont répartis de manière hétérogène dans le temps avec une fréquentation saisonnière plus importante en été au cours duquel les variations les plus significatives sont également enregistrées (**Figure 5.44**).

Les usages sont contraints par la morphologie des sites (**Figure 5.43**) qui organise à son tour la répartition des activités attenantes le long de la RNMR (**Figure 5.45**). Selon leur nature, les usages auront une aire de répartition différente, contraints par les caractéristiques du milieu (profondeur, courants) ou la réglementation en vigueur. Les zones de pente externe (PE) sont les aires privilégiées de répartition des engins à moteur (pêche, activités de découverte du milieu marin). La plongée sous-marine et la chasse sous-marine se pratiquent également exclusivement en pente externe. Les dépressions d'arrière-récif (DAR) sont les zones privilégiées de répartition des activités de baignade, de windsurf, de kitesurf et des activités nautiques (palmes-masque-tuba, pédalo). L'activité de surf se pratique en pente externe à proximité du front récifal, là ou déferlent les vagues, ou dans les zones de passe (Lemahieu, 2015).

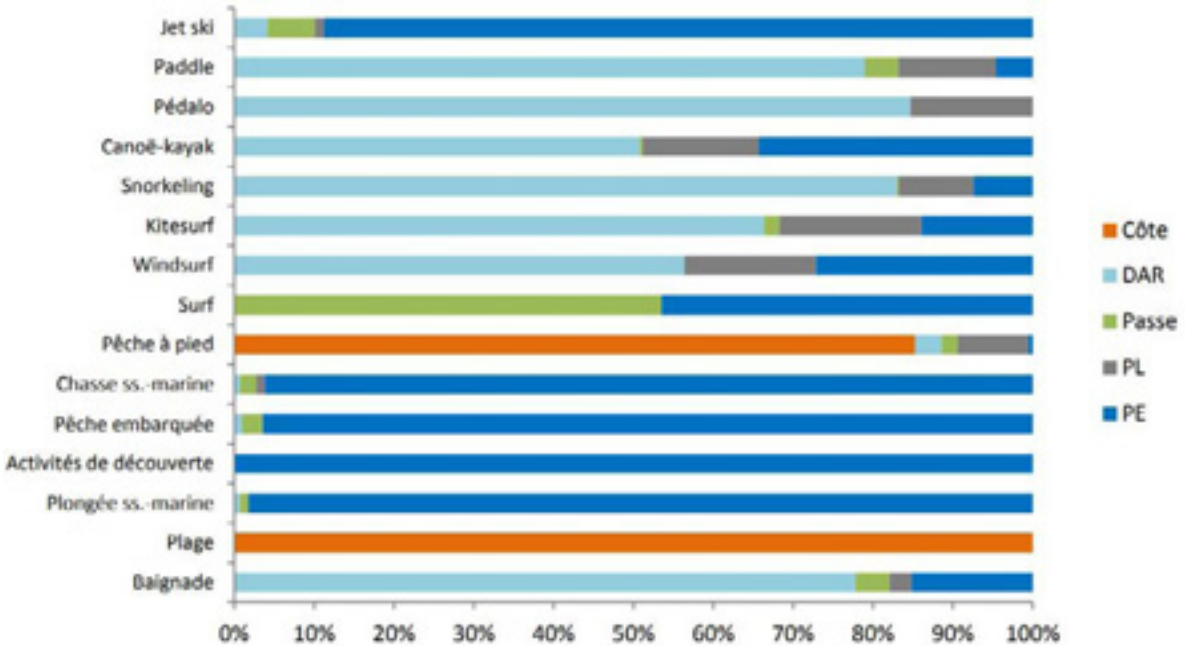


Figure 5.43 : Répartition de la côte au large (PE) des usages exprimée en % d'usagers observés en 2010 (sur la base de 48 survols d'observation) par type de zone morphologique à la RNMR (Lemahieu, 2015). DAR : Dépression d'Arrière-Récif ; PL : Platier ; PE : Pente Externe

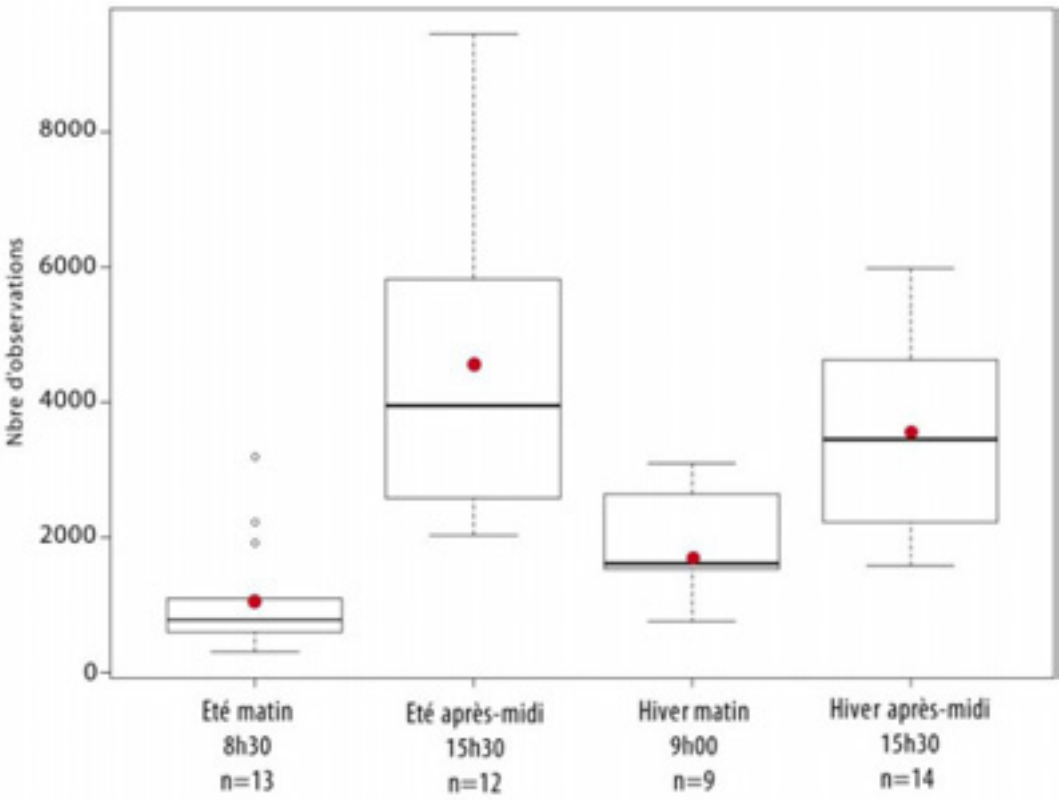


Figure 5.44 : Variations saisonnières de la fréquentation en 2010 (sur la base de 48 survols d'observation) à la RNMR (Lemahieu, 2015)

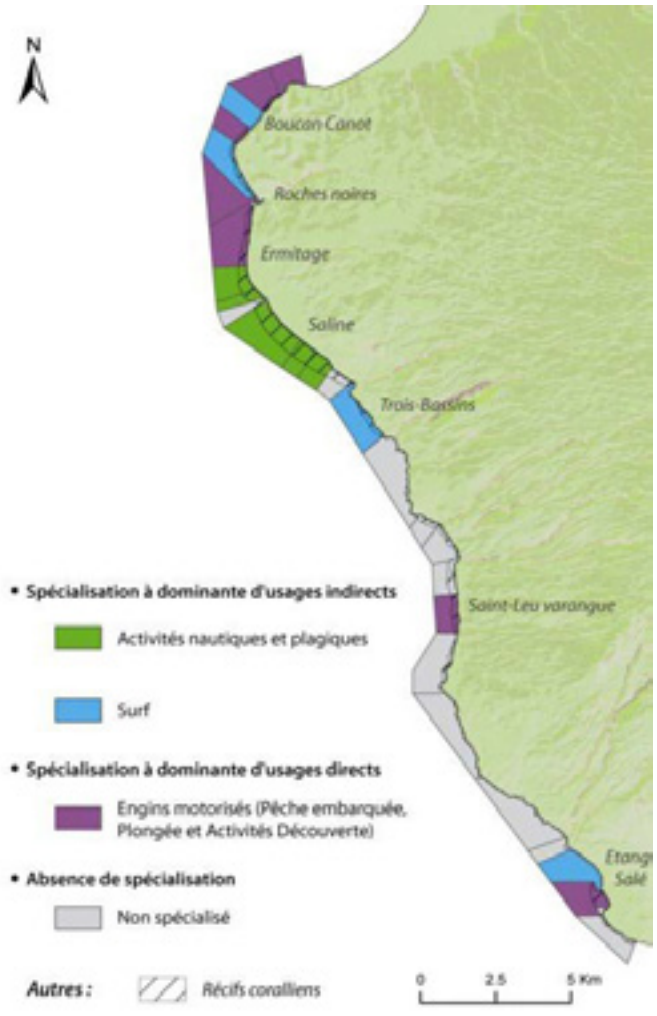


Figure 5.45 : Typologie de la spécialisation par secteur de côte (sur la base de 48 survols d'observation réalisés en 2010) à la RNMR (Lemahieu, 2015)

La fréquentation se répartit généralement entre quatre sites principaux que sont la plage de Boucan Canot au nord (9 % des observations en 2010), les complexes récifaux de l'Ermitage/ La Saline (61 % des observations), les plages de Saint-Leu (5 %) au centre et de l'Etang-Salé au sud (9 %) (Lemahieu, 2015). Ces deux derniers sites semblent par ailleurs présenter une tendance à l'augmentation de ses fréquentations moyennes annuelles (**Figure 5.46**).

L'utilisation des plages est souvent conditionnée par la présence d'un certain nombre d'installations d'intérêt général auxquelles viennent s'ajouter les exploitations à caractère marchand sur les sites les plus fréquentés (accessibilité : parkings, routes, accès à la côte ; aménités : type de plage, ombre, sécurité de la baignade ; commodités : restauration, maîtres-nageurs, toilettes, douches, aménagements de loisir). Certains aménagements, couplés à une forte fréquentation touristique, peuvent faciliter l'érosion des plages, d'où l'intérêt de les libérer au moins une partie de l'année, notamment l'hiver. L'absence d'études scientifiques sur les dommages causés par l'exploitation intensive des plages ne doit néanmoins pas conduire à conclure que ces espaces peuvent être occupés en toute quiétude : la dynamique naturelle et spontanée de ce milieu particulier a une naturalité très largement compromise durant les mois d'intense activité (Guingand, 2012).

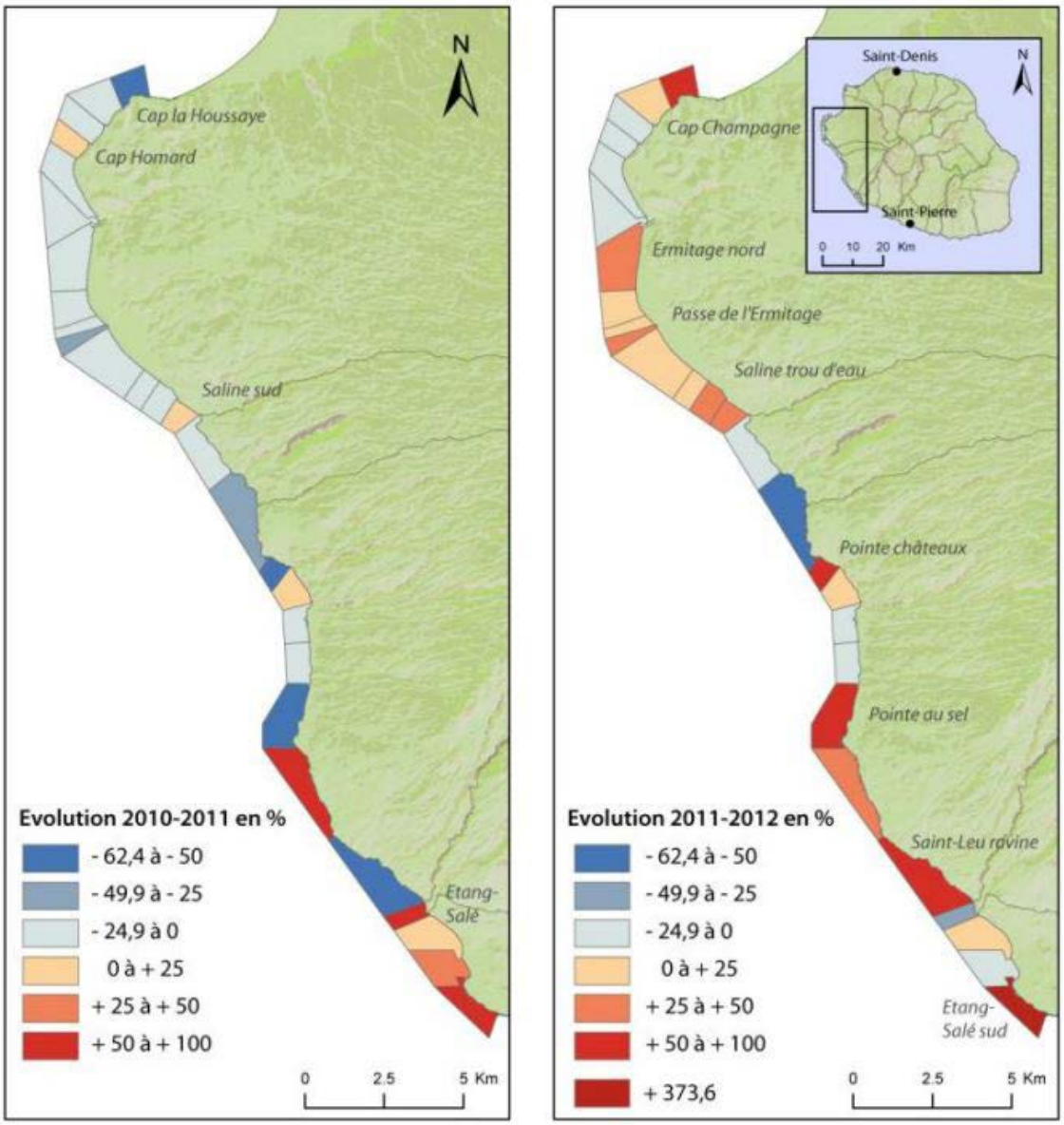


Figure 5.46 : Évolution absolue de la répartition de la fréquentation globale à la RNMR entre 2010 et 2012 (Lemahieu, 2015)

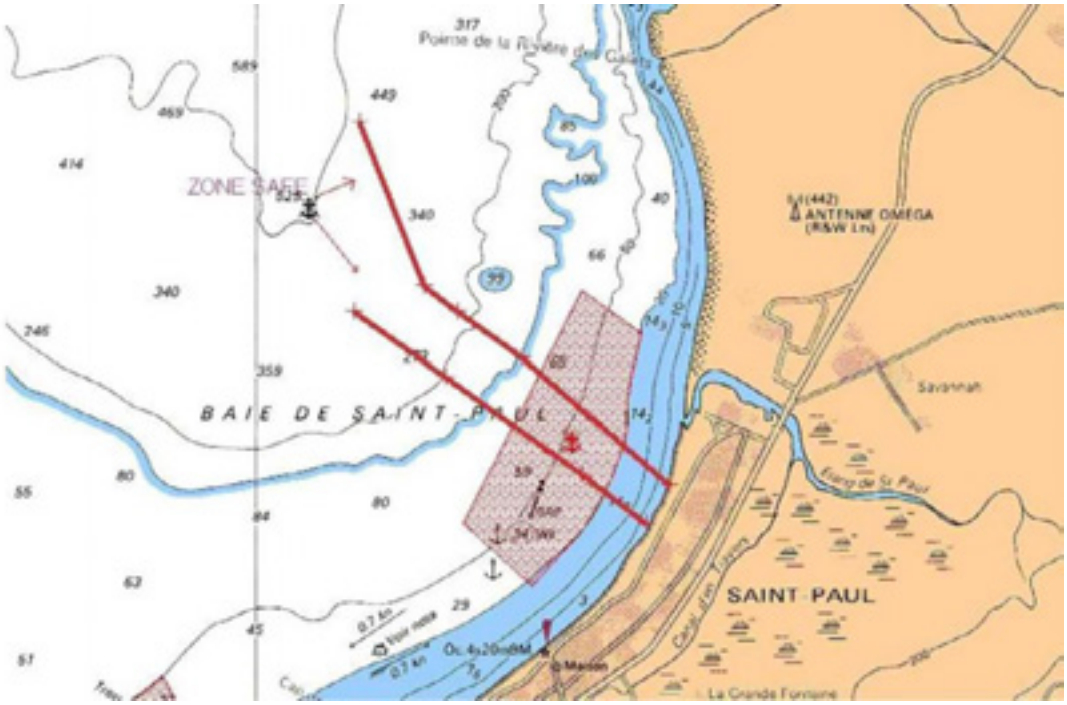


Figure 5.47 : Mouillage interdit dans la zone de câbles SAFE (dans l'arrêté n°435/08 du 21/02/2008 par le Préfet de La Réunion Maccioni, 2008)

5.4.2.c La plaisance

La plaisance a un réel impact sur les fonds marins dû aux mouillages et aux techniques d'ancrage employées qui, lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées ou réalisées avec négligence, peuvent entraîner des désordres profonds suite aux raclages répétés des ancres et des chaînes de bateau sur les fonds. Les effets à long terme d'une fréquentation désordonnée des plaisanciers peut se manifester par une fragilisation, voire une destruction partielle des espèces végétales et animales benthiques. Dans le cadre de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion, la réglementation en vigueur a pour vocation, entre autres, de préserver des mouillages forains les coraux et les rares herbiers de la côte ouest.

L'île de La Réunion comporte sept ports de pêche/plaisance, une zone de mouillages organisée et quelques cales de mise à l'eau pour la pêche artisanale (Le Berre *et al.*, 2012) : le port de La Possession dispose de mouillages exclusivement à vocation de pêche ; Le Port-Ouest, Saint-Gilles, Saint-Leu, l'Étang-Salé, Saint-Pierre, Sainte-Rose et Sainte-Marie ont double vocation de pêche et plaisance ; Saint-Paul, Langevin et l'anse des Cascades disposent d'une cale ; Le Port-Est se distingue par sa vocation commerciale.

L'ancrage des bateaux au large de l'île de La Réunion est encadré par l'arrêté préfectoral n°435/08 du 21/02/2008 dont la réglementation traite plus précisément (Maccioni, 2008) : du mouillage et du stationnement des navires militaires et de commerce ; de la diminution des risques d'échouement ; de la protection du récif corallien ; du développement des activités aquacoles, de la pêche, des activités touristiques et de loisirs nautiques ; de la préservation des zones de manœuvre pour les bâtiments militaires ; de la protection des câbles de télécommunication SAFE (*South Africa – Far East*) ; du contrôle des mouillages de navires étrangers.

Le mouillage des navires de plus de 25 m de longueur est interdit dans les eaux bordant La Réunion, excepté dans les zones de La Possession et de la baie de Saint-Paul ou il est autorisé. Il est néanmoins réglementé dans les zones de la baie de Saint-Paul et du cap la Houssaye. En revanche, il est formellement interdit dans les lagons, les zones aquacoles, la zone de câbles SAFE (deux câbles de télécommunication immergés en baie de Saint-Paul : **Figure 5.47**) et les chenaux d'accès aux ports (Le Berre *et al.*, 2005).

5.4.3 Urbanisation, équipements côtiers, transports et agriculture

L'artificialisation des côtes (**Figure 5.48**) par la création d'équipements et d'infrastructures (parkings, urbanisation, systèmes de défense du trait de côte), en plus de limiter les échanges biologiques et de limiter la naturalité des écosystèmes, entraîne l'apparition de risques pour les biens et les équipements (risques d'ensablement, de recul parfois rapide du rivage ou de submersion marine).

La construction de résidences en bord de mer ou de grandes jetées influence la dérive latérale des sédiments. De nombreuses maisons ont été construites en bordure immédiate du littoral. Cette urbanisation du territoire s'effectue malheureusement au détriment des paysages et de l'attrait naturel des lieux.

L'important développement du bâti à La Réunion restreint les plages à un espace exigu de quelques dizaines de mètres de large par endroits. L'urbanisation fige désormais les stocks sédimentaires hérités des anciens récifs coralliens et bassins alluvionnaires.

Depuis la seconde moitié du XX^{e} siècle, l'île de La Réunion connaît une urbanisation littorale importante (**Figure 5.48**) qui se traduit par une densification du bâti

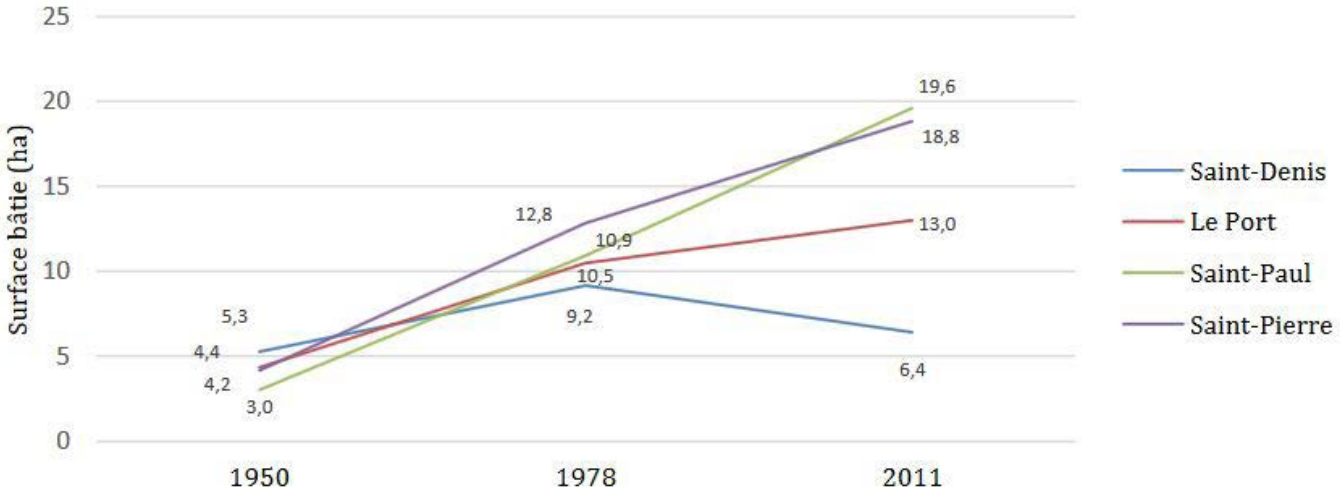


Figure 5.48 : Évolution de la surface bâtie par commune dans la bande littorale des 100 m entre 1950 et 2011 (Cazes-Duvat et al., 2016)

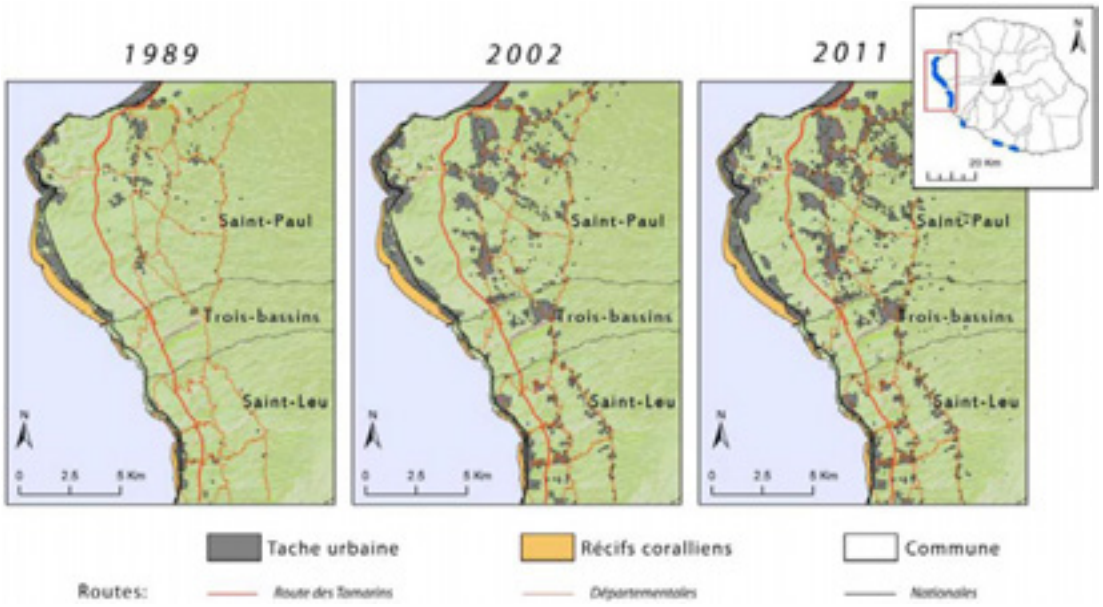


Figure 5.49 : Évolution de la tâche urbaine entre 1989 et 2011 sur les communes de Saint-Paul, Trois-Bassins et Saint-Leu (d'après Lagabrielle et al., 2007)

	1950	1978	2011
Commune	**Longueur (km)**	**Longueur (km)**	**Longueur (km)**
Saint-Denis	10,26	10,51	25,46
Le Port	3,54	9,58	25,56
Saint-Paul	23,04	18,62	41,85
Saint-Pierre	11,96	14,90	29,15
TOTAL	48,80	53,61	122,02

Tableau 5.9 : Évolution de la longueur du réseau routier par commune dans la bande littorale des 100 m entre 1950 et 2011 (Cazes-Duvat et al., 2016)

dans les zones côtières déjà urbanisées (forte pression foncière notamment à Saint-Denis et à Saint-Pierre), une extension du bâti (Figure 5.48 et des routes (Tableau 5.9) depuis les centres urbains historiques vers les zones périphériques (périurbanisation) et le développement de l'habitat et des stations balnéaires (Saint-Gilles-les-Bains, l'Ermitage-les-Bains, La-Saline-les-Bains, etc) le long de la façade corallienne en lien avec la réalisation de la Route du Littoral en 1963 et l'essor du tourisme dans les années 1970 (Troadec, 1991 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

L'urbanisation de la bande côtière a été très inégale d'une commune à l'autre (Figure 5.48). à Saint-Denis, l'urbanisation littorale s'est tout d'abord manifestée par un étalement urbain vers l'est jusqu'en 1978 sous l'effet de la pression démographique. Par la suite, une densification de l'habitat s'est amorcée depuis 1978 mais peu d'habitations ont été construites en bordure littorale. L'étalement urbain qu'a connu Saint-Denis, depuis la ravine du Butor jusqu'à la rivière des Pluies, a abouti à l'occupation de zones basses alluvionnaires exposées aux risques d'inondation et de submersion marine qui a nécessité l'endiguement des ravines.

L'aménagement du premier bassin portuaire sur la façade occidentale du cône delta de la rivière des Galets en 1886 influence le développement de l'urbanisation du secteur qui s'organise principalement autour du Port-Ouest et s'étend par la suite le long des axes routiers allant vers Saint-Denis et Saint-Paul.

Figure 5.50 : Disparition de la plage de Saint-Pierre au-devant des habitations protégées par leur mur (© L. Grondin, 2014 – source : www.zinfos974.com)

Figure 5.51 : Carte du réseau routier et des infrastructures de transport à La Réunion (© habiter-la-reunion.re 2018)

Alors que l'extension urbaine se poursuit au rythme du développement des routes, des zones industrielles commerciales s'implantent également dans la région. La création du Port-Est en 1986 a par ailleurs largement soutenu les phénomènes combinés d'extension et de densification urbaines. Malgré tout, peu d'habitations ont finalement été construites en zone côtière et l'essentiel des bâtiments qui se sont installés dans la bande des 100 m ont une vocation industrielle. C'est le réseau routier qui a connu le plus fort développement (environ 720 %) en passant de 3,5 km à 25,6 km en 60 ans (Tableau 5.9).

À partir des années 1970, des secteurs côtiers encore naturels dans les années 1950 se voient largement urbanisés. En 1950, seule la baie de Saint-Paul était artificialisée. Pour le reste, de rares habitations très espacées se tenaient majoritairement à l'arrière des formations végétales dunaires du littoral corallien, entre la pointe des Aigrettes et la pointe des Trois Bassins. Dès les années 1970 et la finalisation de la Route du Littoral, l'urbanisation évolue rapidement sur la bande côtière et des habitations s'installent massivement en bordure de dune, voire directement en haut de plage. Les trente dernières décennies ont alors été marquées par une intense densification du bâti à proximité des plages (Figure 5.49). Pour illustration, la bande côtière de 200 m de Saint-Paul qui s'étend entre le cap la Houssaye et Trois-Bassins a connu une croissance d'environ 620 % de son nombre de bâtiments entre 1950 (350 bâtiments, 3 ha) et 2011 (2 511 bâtiments, 29,1 ha), soit une augmentation d'environ 860 % de sa surface bâtie (Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Concernant la commune de Saint-Pierre, l'urbanisation a également connu une forte progression le long de son littoral corallien : l'habitat s'est très vite étendu et densifié à partir du centre-ville historique où se tenait un petit quartier côtier à l'ouest de la rivière d'Abord (Terre-Sainte). Alors que de rares habitations jalonnaient les dunes entre le port et la ravine Blanche au cours des années 1950, les années 1970 accompagnent le développement de l'urbanisation au plus proche de la mer (Figure 5.50), à l'origine de la disparition de la plage

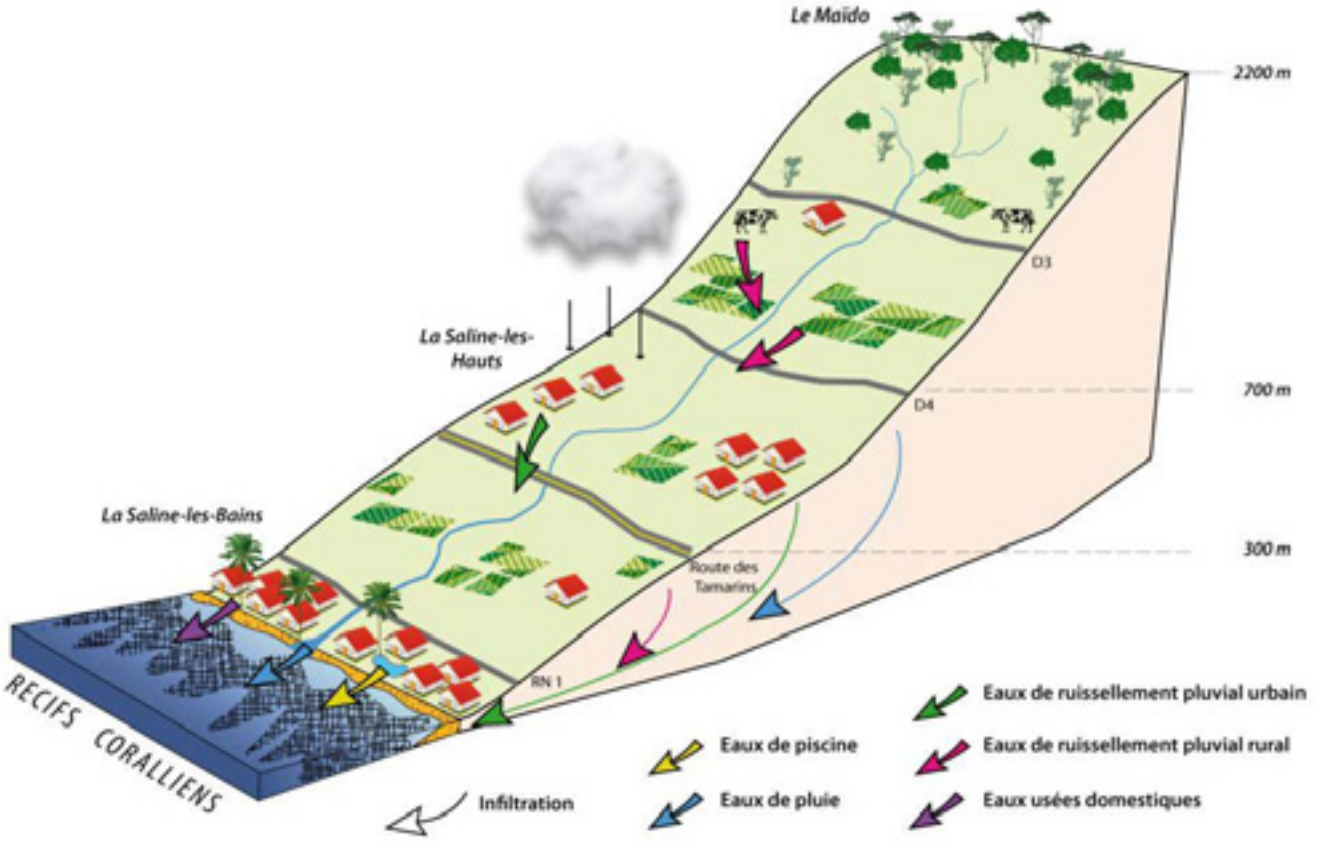


Figure 5.52 : Schéma type des pressions en provenance du bassin versant à La Réunion (Lemahieu, 2015). Coupe entre La-Saline-les-Bains et le Piton Maïdo

en deux endroits, au-devant des murs de protection relatives aux habitations (Cazes-Duvat, 2003 ; Cazes-Duvat *et al.*, 2016).

Sur La Réunion, les transports routiers assurent l'essentiel des déplacements des personnes et des biens, l'île étant dépourvue de réseau ferroviaire ou de voie fluviale navigable. En raison des contraintes que posent les reliefs accidentés à l'intérieur de l'île, l'essentiel du linéaire routier longe la côte par la RN1 et la RN2 (**Figure 5.51**. Une route transversale (RN3) permet néanmoins de relier Saint-Benoît à Saint-Pierre par les hautes plaines. La route des Tamarins relie Saint-Paul à l'Étang-Salé sur 34 km (BRGM, Préfecture de La Réunion, 2016).

La Nouvelle Route du Littoral (NRL), dont les travaux ont commencé en 2014, permettra de se libérer du risque de mouvements de terrain et de chutes de pierres sur la Route du Littoral actuelle (RN1). Ce projet colossal, qui consiste en la création d'un viaduc de 5,3 km posé sur pilotis en pleine mer, se compose de deux digues longues de 1 km et 5,7 km et en fait une des routes les plus chères de France. Sa construction devrait s'achever d'ici 2020 (source : www.habiter-la-reunion.re).

Pour les liaisons extérieures, les marchandises circulent par bateau ou par avion. C'est à partir de la ville du Port que les transits maritimes s'effectuent (BRGM, Préfecture de La Réunion, 2016). Le Grand Port Maritime de La Réunion (GPMDLR) est situé sur la pointe des Galets, à une quinzaine de kilomètres à l'ouest de Saint-Denis. Troisième base navale de France, il est le seul port de France à cumuler les cinq fonctions de gare maritime, port de commerce, base navale, port de plaisance et port de pêche. La plaisance et la pêche sont concentrés au Port-Ouest, tandis que le commerce est concentré au Port-Est. Le GPMDLR est aussi un hub stratégique majeur dans l'océan Indien (source : www.habiter-la-reunion.re).

Concernant le trafic aérien, il est assuré au départ de deux aéroports : l'aéroport international Roland-Garros (appelé localement Gillot) à Sainte-Marie et celui de Pierrefonds à Saint-Pierre, plus spécifiquement destiné aux vols régionaux (BRGM, Préfecture de La Réunion, 2016). L'essentiel du trafic aérien concerne la liaison avec l'île Maurice et la métropole (source : www.habiter-la-reunion.re).

L'Homme intervient de manière indirecte sur la morphogenèse littorale de par les techniques culturales agressives et les travaux de terrassement (remblais et déblais) qu'il effectue en amont des zones côtières, sur les bassins versants (**Figure 5.52**). Le territoire agricole, représentant 20 % de la surface de l'île, est essentiellement dominé par la culture de la canne à sucre sur le littoral, tandis que les herbages destinés à l'élevage occupent la région des Hauts (**Figure 5.53**).

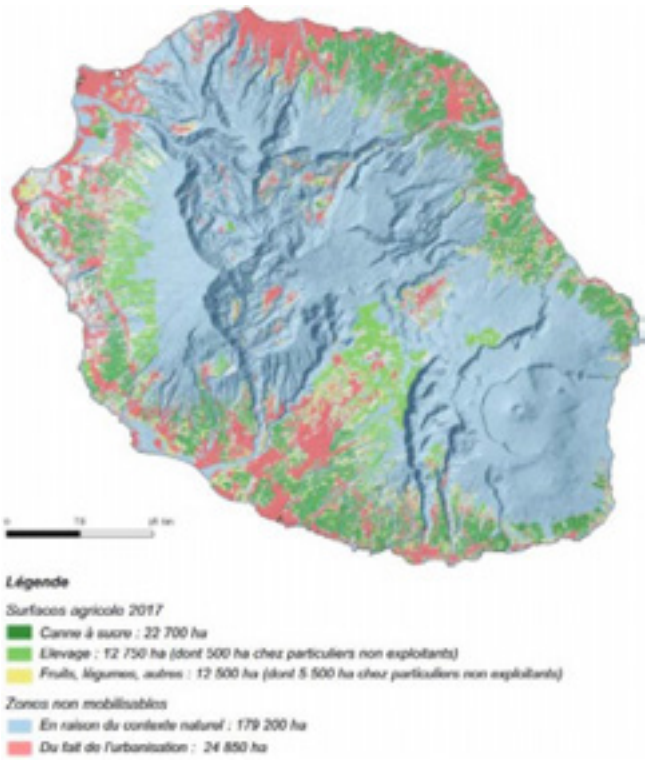


Figure 5.53 : Répartition et vocation des surfaces agricoles sur l'île de La Réunion (dans Cambronne, 2018 – source : Base d'Occupation du Sol – Statistique Agricole Annuelle – DAAF La Réunion)

Ces pratiques aggravent l'érosion des sols, fragilisent les terrains et accentuent les apports fluviatiles de matières en suspension à la côte (Troadec, 2002 ; De la Torre, 2004 ; Lemahieu, 2015).

Dans le cas d'une île jeune telle que La Réunion, caractérisée par son relief abrupt, d'importantes dynamiques se manifestent à sa surface. La côte « sous le vent » qui est plus particulièrement assujettie aux épisodes réguliers de sécheresse, a été en proie à une récente urbanisation importante et une augmentation des terres mises en cultures. Tous ces changements impliquent des modifications dans la nature des écoulements (turbidité accrue, modification des lits, etc), fortement chargés en particules (**Figure 5.52**). Un apport trop important en matières terrigènes et en eaux douces peut causer la mort par asphyxie des coraux, à l'aval du bassin versant (Lemahieu, 2015).

5.4.4 Énergies marines renouvelables

Tout en respectant les engagements du protocole de Kyoto et les directives européennes, la France fait face à des choix importants : la relance d'une politique de maîtrise de l'énergie, le renouvellement du parc électrique, et la volonté de développer son indépendance énergétique.

Le développement des énergies renouvelables, impulsé à l'issue du Grenelle de l'environnement de septembre 2007, est assorti d'objectifs quantitatifs inscrits dans la loi n°2009-967 de programmation du 03/08/2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle. L'arrêté ministériel du 15/12/2009 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements (PPI) de production d'électricité a ainsi donné pour objectif d'atteindre 23 % de consommation d'énergie finale à l'horizon 2020, avec notamment l'installation de 6 000 MW de capacité en mer (objectif confirmé lors du Grenelle de la mer de juillet 2009). Il s'agit ainsi pour la France de répondre à la demande inscrite en 2008 dans le « paquet énergie climat » de l'Union Européenne et atteindre les 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale de l'Union Européenne, tous usages confondus.

La filière des EMR (Énergies Marines Renouvelables) représente un enjeu économique important avec le développement de filières industrielles d'excellence et la création à terme de plusieurs milliers d'emplois. La chaîne de valeur de l'éolien en mer présente la particularité d'avoir une part importante de la valeur ajoutée non délocalisable ce qui renforce l'intérêt de développer et de soutenir une telle filière industrielle.

Lors de la conférence environnementale pour la transition écologique de septembre 2012, la France a affirmé son engagement dans la « transition énergétique, fondée sur la sobriété et l'efficacité, ainsi que sur le développement des énergies renouvelables, et plus globalement dans la transition énergétique ». Cet engagement a été confirmé par la deuxième conférence environnementale de septembre 2013 avec l'annonce « d'un investissement massif dans les énergies renouvelables », et plus particulièrement le volet énergie en mer. La loi transition énergétique pour la croissance verte du 18/08/2015, prévoit d'atteindre un objectif de 32 % d'énergies renouvelables dans la consommation totale d'énergie en France à l'horizon 2030. Ces objectifs sont encore plus ambitieux pour les Outre-Mer, dont l'objectif fixé par la loi de transition énergétique est d'atteindre 50 % d'énergie renouvelable à l'horizon 2020, et l'autonomie énergétique à l'horizon 2030.

Forte de ses nombreux projets Énergies Marines, La Réunion est un véritable laboratoire d'expérimentation au niveau international dans ce domaine. La région est un centre de ressources, de recherche et d'essais indéniable pour les EMR qui regroupent ici à la fois la houle, l'énergie thermique, la climatisation marine, l'osmose et les micro-algues marines (**Figure 5.54**) (source : www.arer.org). En 2012, différents projets EMR étaient explorés à La Réunion (Delencre, 2013) :

- Projet houlomoteur SEAWATT basé sur la technologie PELAMIS P2

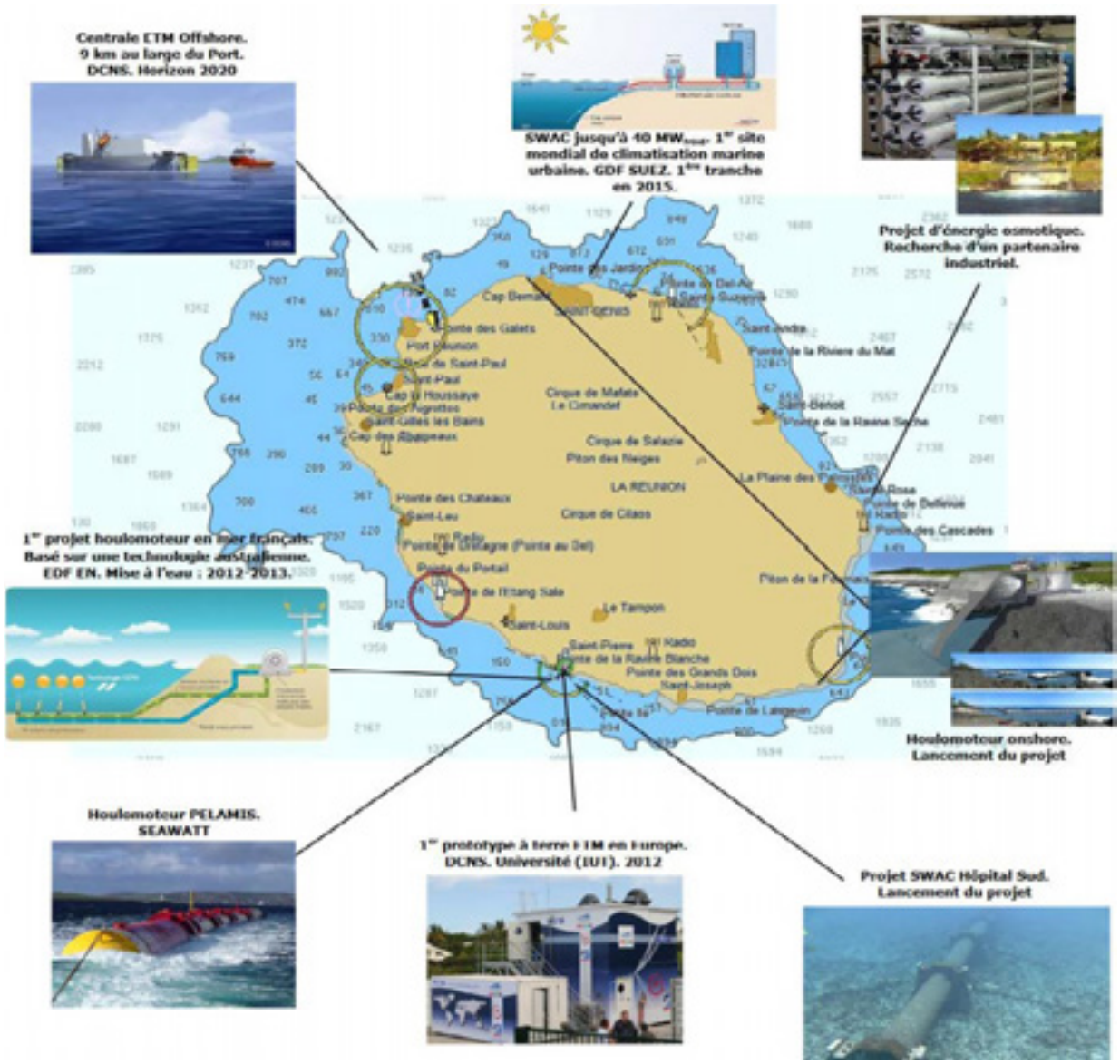


Figure 5.54 : Panel des huit projets EMR en cours à La Réunion en 2012 (dans Delencre, 2013)

- Projet « Houles Australes » basé sur la technologie CETO
- Projets houlomoteurs on-shores
- Projets de climatisation marine (SWAC)
- Projet « Prototype A Terre ETM » (PAT ETM)
- Projet de centrale en mer ETM
- Projet SEAVENTURI d'exploitation des courants marins
- Projet d'énergie osmotique

Figure 5.55 : Opération de nettoyage de la plage de l'Ermitage (Saint-Gilles-les-Bains) en mai 2018 par le Collectif de Défense du DPM et l'association Action Challenge Verts Réunion (© L. Figon – source : www.la1ere.francetvinfo.fr)

5.4.5 Sources de pollution et de dégradation potentielles

Les activités humaines engendrent des pressions très diverses sur les milieux marins et littoraux. La faune, la flore et les habitats peuvent être impactés de manière plus ou moins importante et irréversible en fonction de leur vulnérabilité et de leur capacité à se régénérer mais aussi en fonction de la nature des pressions, de leur intensité ou encore de leur durée. Les conséquences majeures sont la perte de la diversité biologique, la dégradation de la qualité écologique et sanitaire des eaux, la diminution des ressources naturelles et des services rendus à la société.

Tableau 5.10 : Liste des établissements à risque dans le cadre d'une pollution potentielle par hydrocarbures (d'après Le Berre et al., 2012)

Installation Industrielle	Commune	Risques	Classement
Société Réunionnaise des Produits Pétroliers (SRPP) : dépôt de gaz de pétrole liquéfié et d'hydrocarbures liquides	LE PORT	Explosion Incendie	SEVESO seuil haut
SCPR : dépôt d'explosifs	SAINT PAUL	Explosion	SEVESO seuil haut
Coroi : stockage de produits chimiques et phytosanitaires	LE PORT	Incendie Toxique	SEVESO seuil haut
EDF (Port Est) : dépôt d'hydrocarbures de la centrale thermique	LE PORT	Explosion Incendie	SEVESO seuil haut
SIMU : dépôt de service inter-armées de munitions	LA PLAINE DES CAFRES	Explosion Incendie	SEVESO seuil haut
AVIFUEL : dépôt d'hydrocarbures de l'aéroport de Roland Garros	STE MARIE	Explosion Incendie	SEVESO seuil bas

5.4.5.a Macrodéchets

La présence de touristes et résidents sur un espace limité peut être à l'origine de la hausse de la concentration du milieu en matière organique et de pollutions diverses. Par ailleurs, la propension des différents types de macrodéchets à être abandonnés et dispersés sur le littoral, en surface, dans la colonne d'eau ou sur le fond est d'autant plus grande que la densité touristique est importante (Guingand, 2012).

Les macrodéchets en tant que tels sont une source de pollution mais c'est leur nettoyage qui impacte le plus la sédimentologie du littoral : les actions répétées de nettoyage, souvent mécanisé, de la couche superficielle de sable ont un impact sur la modification des hauteurs de sable, sur sa répartition à la surface, sur sa répartition granulométrique et, plus globalement sur l'équilibre physique et biologique de la plage (Wellhoff *et al.*, 2009 dans Guingand, 2012). Le nettoyage mécanisé des plages limite plus particulièrement l'installation de la végétation pionnière d'avant-dune et donc la fixation du sable. Par ailleurs, les prélèvements de sable lors de ces criblages et la déstructuration de la plage exacerbent les processus d'érosion.

Les communes de La Réunion avaient à ce sujet recours au nettoyage des plages, notamment entre 1979 et 1988, afin de prélever les macrodéchets ainsi que les gros blocs et débris coralliens (Mespoulhe, Troadec, 1994 ; Troadec, 2003a, 2003b ; OCEA Consult', 2012 ; Mahabot, 2016). Cette pratique fut localement responsable d'un abaissement de -1,5 cm/an du profil sur 20 ha de plages nettoyées, un amaigrissement préoccupant qui exigea la cessation de l'activité (Tocquet, Porcher, 1987 ; Masson, 1991, 1996).

Depuis, l'OMAR (Observatoire Marin de La Réunion) et certaines associations environnementales effectuent plusieurs types de mission afin de collecter, trier, compter, peser et recenser les déchets qui sont parvenus sur le littoral (**Figure 5.55**). Pour cela, des protocoles simples ont été mis à disposition du grand public afin de réaliser un nettoyage écoresponsable et intégré des macrodéchets sur les plages (Rard, 2013). De la même façon, des recommandations quant à l'entretien des plages coralliennes ont également été synthétisées dans un guide technique (Troadec, 2003b ; Cazes-Duvat, Troadec, 2003 ; Duhaze *et al.*, 2009).

5.4.5.b Rejets d'hydrocarbures

Les rejets des bateaux en mer sont soit volontaires, soit accidentels du fait de collisions, d'avaries ou d'échouages. Les rejets volontaires sont dus au fonctionnement des navires ; ils peuvent être licites ou non et concernent surtout des hydrocarbures. Comme pour les macrodéchets, ces pollutions peuvent impacter l'écosystème dans son ensemble mais c'est leur nettoyage à terre qui impacte le plus la sédimentologie du littoral, en particulier pour la gestion des marées noires.

Différents facteurs peuvent entrer en jeu dans la progression et la dispersion des nappes d'hydrocarbures tels que les vents, les courants, la houle et le mode de déferlement des vagues qui favorisent l'émulsion des polluants, alors susceptibles de se propager dans toute la colonne d'eau. Les embouchures des cours d'eau et des ravines de La Réunion représentent l'un des faciès géomorphologiques les plus sensibles en raison de leur capacité de piégeage des hydrocarbures au sein des galets, rendant les opérations de nettoyage très délicates (Le Berre *et al.*, 2012).

De la même manière, la pollution par hydrocarbures d'un système récifo-lagonaire pourrait avoir des effets dévastateurs immédiats et permanents sur le milieu,

Figure 5.56 : Trafic maritime dans la région sud-ouest de l'Océan Indien, statistiques mensuelles (dans Le Berre et al., 2012 – source : Livre Bleu Sud Océan Indien, 2011)

se traduisant par un blanchissement et une mort des coraux par asphyxie, souillure ou engluement (Le Berre *et al.*, 2012).

Les installations industrielles présentant un risque sont pour la plupart situées dans les zones pré-littorales et principalement dans les communes de Sainte-Marie, de Saint-Paul et du Port. Les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et celles relevant plus particulièrement de la directive européenne SEVESO du 09/12/1996 sont toutes localisées en bord de mer et comprennent deux établissements classés SEVESO « seuil haut » et quatre établissements classés SEVESO « seuil bas ». Certains de ces établissements sont susceptibles de présenter un risque au titre d'une pollution du littoral par hydrocarbures (**Tableau 5.10**).

La Réunion occupe une position stratégique dans l'océan Indien vis-à-vis des grands axes maritimes commerciaux internationaux. Près du tiers du pétrole mondial transite dans cette région, soit 500 Mt d'hydrocarbures. En raison de l'augmentation des actes de piraterie, certains navires se trouvent également contraints de s'approcher davantage des côtes de La Réunion afin d'éviter le canal du Mozambique, devenu une voie excessivement dangereuse (**Figure 5.56**).

Le Port accueille donc un trafic soutenu s'élevant à 832 008 tonnes de vrac liquide en 2011, dont notamment 108 362 tonnes de fioul lourd, 189 915 tonnes de kérosène et 95 728 tonnes d'essence. Ces activités, industrielles et portuaires, constituent une source potentielle de risques préoccupante, que ce soit au large par le transport de matières polluantes ou bien sur le littoral par les industries manipulant des matières dangereuses (Le Berre *et al.*, 2012).

À ce jour, La Réunion n'a connu qu'un seul incident mineur de pollution marine. En 1996, une large bande de fioul avait été observée au-dessus de l'épave du Sea Venture, cargo panaméen coulé une quinzaine d'années plus tôt dans la baie de Saint-Paul, en 1981 (source : www.clicanoo.re).

La capacité de piégeage des hydrocarbures est liée à la configuration de la côte, à la nature du substrat et à sa perméabilité. Les sédiments grossiers favorisent l'infiltration des polluants, leur stockage et leur relargage, faisant ainsi durer l'impact de la pollution. L'exposition de la côte détermine enfin la capacité d'auto-nettoyage du littoral et par conséquence la rémanence de la pollution.

Les côtes réunionnaises sont très exposées aux houles océaniques, gage d'une bonne capacité de

Figure 5.57 : Rejets en mer liés au débordement de la station d'épuration à Saint-Leu, suite à un épisode pluviométrique intense en février 2012 (source : blog.surf-prevention.com)

résilience des littoraux face à une pollution marine par hydrocarbures. Cependant, ce dernier aspect rend plus difficiles les opérations de nettoyage et de lutte anti-pollution à l'égard de certains endroits où les faciès géomorphologiques sont parfois plus sensibles à une pollution de type marée noire (Le Berre *et al.*, 2012).

5.4.5.c Dégradations de l'environnement

Le développement des activités humaines peut conduire à la destruction d'habitats naturels sur La Réunion, notamment du fait de la petite taille de l'île et de la concentration littorale de sa population. L'extension de l'agglomération, la création de zones artisanales, l'ouverture de carrières, la réalisation de voies de communication impliquent une artificialisation des sols. Le rejet en mer d'eaux nocives peut aggraver indirectement le déficit sédimentaire des plages coralliennes, en lien avec la fragilisation et la détérioration des récifs pollués qui sont à la fois protecteurs et producteurs de matériel biodétritique pour les côtes qui en dépendent (De la Torre, 2004).

L'Agence pour l'Eau classifie les pollutions de l'eau en deux catégories : les pollutions ponctuelles et les pollutions diffuses. Les pollutions ponctuelles peuvent être d'origine domestique (assainissement défectueux, rejets en mer), industrielle (rejets des grosses installations) ou agricole (rejets d'effluents). Les pollutions diffuses sont, elles, essentiellement de nature agricole et domestique, et sont plus difficiles à réduire car elles impactent de vastes zones, causant de lourds désordres écologiques (source : www.reunion.eaufrance.fr). Toutes ces pressions ont pour effet de contaminer l'eau, la matière vivante et les sédiments, causant ainsi une dégradation des peuplements naturels, notamment pour le benthos et les coraux. Les rejets urbains sont vecteurs de plusieurs menaces qui ont été identifiées dans un guide méthodologique (Andral *et al.*, 2013) :

- une charge en matières particulaires organiques (DBO5, DCO) mais qui tend à se réduire avec l'amélioration des rendements d'épuration, l'augmentation des capacités et les projets de remplacement, de construction ou d'extension des systèmes de traitement des eaux usées ;
- une charge nutritive, comprenant de l'azote, du carbone et du phosphore ;
- des contaminants chimiques, organiques et minéraux, dont les détergents et les molécules sont issus des composés de synthèse et des produits pharmaceutiques ;
- des germes microbiens relevant des rejets sanitaires.

Au regard de l'accroissement démographique et du développement urbain en cours, La Réunion accuse un large retard en matière de gestion des déchets et de traitement des eaux usées. Pour certaines communes limitrophes à la Réserve Naturelle Marine, les moyens demeurent insuffisants. Lors d'un incident, en date du 05/02/2012, où un épisode prolongé de fortes

intempéries avait causé le débordement de la station d'épuration de Saint-Leu, une grande partie des coraux du récif frangeant sont morts par asphyxie à cause du panache de pollution chargé en boue et en matières organiques (*Escherichia coli*, entérocoques) qui avait stagné pendant environ trois semaines dans le lagon (**Figure 5.57**) (Lemahieu, 2015 ; SAFEGE, 2016).

Plusieurs inventaires des points de rejet des eaux usées domestiques, pluviales et industrielles ont été réalisés entre 2005 et 2012. La première étude a été menée par le consortium de bureaux d'étude (CAREX, ARVAM, 2005) dans le cadre de la cartographie du récif, identifiant au total 71 points de rejet, tous types confondus. Une seconde étude a été réalisée à l'échelle de la RNMR en collaboration avec la Cellule Qualité des Eaux de la DDE et les éco-gardes de la Réserve (Pellet, 2008), laquelle a permis de recenser tous les points ponctuels de pollution le long du littoral : 16 rejets d'eaux usées, 56 rejets d'eaux pluviales et 106 piscines localisées en bord de plage contribuent à polluer les eaux du récif entre Saint-Paul et l'Étang-Salé. Cette pollution se manifeste par le bouleversement des propriétés physico-chimiques des eaux et favorise leur eutrophisation (Pellet, 2008). Récemment, dans le cadre de la réalisation de l'atlas POLMAR (Le Berre *et al.*, 2012), l'actualisation des données spatialisées de rejets a permis de répertorier toutes les sources potentielles de pollution marine sur la côte ouest. Sur les cinq communes de l'ouest jouxtant la RNMR, 49 points de rejet ont été finalement identifiés.

Les récifs coralliens ont un rôle de dissipation d'énergie de la houle, c'est pourquoi ils sont essentiels pour les plages au sein du lagon. Les coraux sont très sensibles aux pollutions chimiques ou aux dépôts de sédiments. La dégradation des eaux de surface par les polluants (HAP – hydrocarbures aromatiques polycycliques et PCB – *polychlorobiphényles*) nuit à la vitalité des récifs. Les rejets (macrodéchets, matières en suspension, substances toxiques, hydrocarbures, produits phytosanitaires, etc) issus des diverses activités anthropiques implantées sur le littoral ou sur le bassin versant (agriculture, activités portuaires, industrielles, touristiques, etc) se déposent dans les récifs coralliens ou dans les herbiers de phanérogames marines et se fixent aux sédiments (Troadec, 2002).

Par ailleurs, ces activités couplées aux campagnes de dragage/clapage peuvent aussi contribuer au développement d'algues sur les coraux. Les édifices coralliens sont alors colonisés par des espèces algales (telles que Halymenia sp., Portiera sp., Turbinaria sp. et Sargassum sp) qui sont des hôtes pour des micro-organismes parasites : les dinoflagellés produisent par exemple une toxine susceptible de contaminer les organismes environnants (Thomassin *et al.*, 2011).

Dès les années 1970, les récifs réunionnais montraient déjà des signes de dégradation (Naim, Cuet, 1989) : coraux morts et blanchis (Guillaume *et al.*, 1983), recul des platiers (Naim, Cuet, 1989), brisures de corail, prolifération des éponges (Bouchon, Bouchon-Navaro, 1982), des algues (Faure, 1982), etc. Ces dégradations, dont l'action mécanique et chimique pouvait être d'origine naturelle, étaient également en partie dues aux anciennes activités d'extraction de blocs de coraux vivants, directement sur le platier, pour alimenter les fours à chaux jusqu'en 1969 (**Figure 5.58** ; Crestey, 1991). La pratique qui était auparavant courante sur l'île fut interdite par l'arrêté n° I.1486 du 09/06/1969, mettant ainsi un terme à l'exploitation des fours à chaux.

Figure 5.58 : Four à chaux Mutel de Kelonia, à Saint-Leu, dans les années 1950 (© A. Blay – source : www.vieoceane.free.fr)

Les extractions de sable ont également été longtemps pratiquées à titre particulier et se traduisent encore aujourd'hui par des conséquences non négligeables sur l'érosion (Troadec, 1991 ; Mahabot, 2016). Depuis l'application de l'arrêté préfectoral n°91 3729 DIC/V3 du 30/10/1991 (Dewatre, 1991), les extractions sur le rivage de la mer des sables, pierres, amendements marins et autres matières sont formellement interdites.

5.4.6 Protection de l'environnement

Les outils de préservation et de valorisation des milieux, des espèces et des paysages mis en place sur l'île de La Réunion sont abordés après un cadrage du contexte international et national (biodiversité, gestion de l'eau, paysage, gestion intégrée du domaine public maritime naturel).

Le Sommet de la Terre qui s'est tenu à Rio de Janeiro, en 1992, a consacré l'existence de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), première convention internationale concernant la biodiversité. Cette convention est signée par environ 193 pays, dont la France qui l'a ratifiée en 1994. Elle est à l'origine de l'élaboration de stratégies pour la biodiversité au niveau paneuropéen, communautaire et national.

Cette convention de 1992 vise trois objectifs :

- la conservation de la biodiversité ;
- l'utilisation durable des espèces et des milieux naturels ;
- le partage juste et équitable des bénéfices issus de l'utilisation des ressources génétiques.

En 2002, la CDB et le sommet de Johannesbourg sur le développement durable ont approuvé un objectif mondial visant à réduire sensiblement le taux de perte de biodiversité d'ici 2010. Il existe également plusieurs conventions internationales ou régionales relatives à la protection de la biodiversité : par exemple la convention relative aux zones humides d'importance internationale de 1971 (RAMSAR).

Pour sa part, l'Union Européenne a adopté, en 2001, l'objectif plus ambitieux de stopper la perte de biodiversité et de restaurer les habitats et systèmes naturels d'ici 2010 (Stratégie pour un Développement Durable). La politique de l'Union Européenne pour la conservation de la nature est notamment basée sur :

- la directive « habitats » de 1992 et la directive « oiseaux » de 2009 qui constituent la base réglementaire du réseau européen Natura 2000,
- la directive cadre « stratégie pour le milieu marin » de 2008, pilier environnemental de la politique maritime intégrée de l'Union Européenne.

Dans la mesure où le dispositif Natura 2000 ne s'applique pas dans les DROM-COM comme à La Réunion, la CDB a notamment fait l'objet de transposition dans le droit français, avec la loi d'orientation pour l'Outre-Mer du 13/12/2000 (article 33) : « l'État et les collectivités locales encouragent le respect, la protection et le maintien des connaissances, innovations et pratiques des communautés autochtones et locales, fondées sur leurs modes de vie traditionnels et qui contribuent à la conservation du milieu naturel et l'usage durable de la diversité biologique ».

Ensuite, la CDB s'est traduite en France par l'élaboration d'une stratégie nationale pour la biodiversité : une première stratégie a été conduite entre 2004 et 2010, une seconde stratégie est en cours depuis 2011 jusqu'en 2020. Ces stratégies nationales fournissent un cadre de cohérence pour l'ensemble des politiques sectorielles agissant sur les espaces et les espèces. Elles intègrent particulièrement la spécificité de l'Outre-Mer où se concentre une part essentielle des enjeux de biodiversité en France.

Les Outre-Mer ne sont pas directement concernés par l'application des directives « habitats » et « oiseaux », ainsi que la « stratégie pour le milieu marin ». Cependant, la préservation des milieux et des espaces marins et littoraux est un engagement fort pris par la France, qui est décliné notamment à travers la stratégie nationale pour la création et la gestion des aires marines protégées (SCGAMP) de 2012.

Le Code de l'Environnement reconnaît aujourd'hui quinze types d'aires marines protégées (AMP) qui répondent à des objectifs propres tout en étant complémentaires. Parmi ces quinze types d'AMP qui peuvent s'appliquer en Outre-Mer existent :

- les protections de type réglementaire : arrêtés de protection de biotope ayant une partie maritime (art. L. 411-1), réserves naturelles nationales ayant une partie maritime (art. L. 332-1), parcs nationaux ayant une partie maritime (art. 331-1), réserves nationales de chasse et de faune sauvage ayant une partie maritime (L.422-27) ;
- les protections de type contractuel : parcs naturels marins (art. L. 334-3), parties maritimes du domaine relevant du Conservatoire du Littoral ;
- les protections internationales : zones RAMSAR (convention relative aux zones humides d'importance internationale), sites du patrimoine mondial de l'UNESCO ayant une partie maritime, réserves de biosphères ayant une partie maritime.

D'autres outils contribuant à la préservation et à la valorisation des espaces littoraux et marins peuvent être également mobilisés :

- les parcs naturels régionaux (art. L333-1) et les parcs nationaux (art. L.331-7) tels que le Parc National de La Réunion, créé le 05/03/2007, situé dans les Hauts à l'intérieur des terres ;
- les espaces remarquables (art. L.146-6 et R.146-1 du Code de l'Urbanisme) ;
- les espaces naturels sensibles ;
- les inventaires patrimoniaux : zones d'importance communautaire pour les oiseaux (ZICO), zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) ;
- les réglementations relatives à la pêche ;
- les réglementations relatives à la chasse ;
- les réglementations relatives à la gestion de la forêt et aux défrichements ;
- les réglementations de classement des cours d'eaux (liste 1 et liste 2, art. L214-17 du Code de l'Environnement). À La Réunion, l'arrêté n°2018-1775/SG/DRECV du 20/09/2018 porte classement sur la liste 1 des cours d'eau, tronçons de cours d'eau ou canaux au titre de l'article L214-17 du Code de l'Environnement du bassin de La Réunion ;
- les listes des espèces protégées (art. 411-1 et listes ministérielles).
-

Depuis les années 1970, la politique publique de l'eau en France s'inscrit dans un cadre européen pour les eaux continentales et côtières puis pour le milieu marin. La législation communautaire s'est d'abord intéressée aux usages de l'eau (eau potable, baignade, pisciculture, conchyliculture), puis à la réduction des pollutions (eaux usées, nitrates d'origine agricole).

La législation européenne comprend environ une trentaine de directives sur l'eau. La directive cadre sur l'eau (DCE) de 2000 vise à donner une cohérence à l'ensemble de la législation avec une politique communautaire globale dans le domaine de l'eau. Elle définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen. La DCE fixe des objectifs pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles (eaux douces et eaux côtières) et pour les eaux souterraines. Ces textes tiennent compte du fait que les eaux continentales véhiculent la majeure partie de la pollution se produisant en mer. Ces différents textes communautaires ont été transposés dans le droit français notamment dans le Code de la Santé Publique, le Code de l'Environnement et le Code des Collectivités Territoriales.

Les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) et les programmes de mesures associés constituent notamment les outils opérationnels de déclinaison de la DCE en France. La Réunion forme un bassin hydrographique. À ce titre, elle est dotée d'un comité de bassin dans le cadre duquel se construit la concertation pour établir un plan de gestion réunissant :

- un SDAGE, accompagné de 8 documents d'accompagnements, qui définit les grandes orientations en matière de gestion de l'eau et qui fixe, pour chaque masse d'eau, les objectifs à atteindre.
- un programme de mesures ciblant les actions à réaliser pour atteindre les objectifs du SDAGE.

La législation communautaire concerne également le milieu marin. En 2008, la Directive Cadre « Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM) vise à mettre en œuvre des plans d'actions en faveur du bon état des eaux marines via des mesures visant à réduire les impacts des activités sur le milieu marin. Cette directive est transposée en France pour les eaux métropolitaines avec la réalisation de Plans d'Action pour le Milieu Marin (PAMM) élaborés sur les quatre sous-régions marines. La transposition de cette directive dans le droit français ne concerne pas les Outre-Mer.

La prévention et la lutte contre les pollutions par les navires fait l'objet d'une réglementation particulière. Ces pollutions sont essentiellement encadrées au niveau international, notamment par la convention MARPOL (marine pollution) s'appliquant aux navires qui réglemente les rejets en mer. En France, l'organisation de la lutte contre les pollutions s'inscrit dans le dispositif ORSEC (organisation de la réponse de sécurité civile), via le dispositif POLMAR (pollution maritime) qui vise à former et à préparer l'ensemble des acteurs civils à mettre en place une organisation opérationnelle de gestion des risques. La lutte contre les pollutions marines en mer relève du dispositif POLMAR-Mer et la lutte sur le littoral et à partir du littoral relève du dispositif POLMAR-Terre.

Le plan POLMAR a pour objectif de faire face à une pollution marine de grande ampleur volontaire ou accidentelle (hydrocarbures, pollution chimique ou résultant d'un accident ou d'une avarie maritime, terrestre ou aérienne). Ce plan définit les domaines de responsabilité, les phases de déroulement de la crise, le dispositif d'alerte et la conduite à tenir en matière de pollution (mesures de protection, nettoyage du littoral…). Ce plan comporte un volet biodiversité pour organiser l'intervention auprès des animaux marins en cas de marée noire. Ce volet réalise un état des lieux des espèces pouvant être impactées aux abords de l'archipel et sur les secteurs littoraux classées en ZNIEFF, en fonction de leurs périodes de présence.

L'État s'est engagé en faveur d'une politique de protection et de mise en valeur des sites depuis la loi de 1906 relative à la protection des monuments naturels et des sites « de caractère artistique ». Renforcée par la loi du 02/05/1930, elle est désormais intégrée dans le Code de l'Environnement (articles L341-1 à L341-15 1). La politique des sites a connu des évolutions significatives, notamment grâce à la création d'une administration dédiée en 1970. Elle s'est d'abord intéressée aux éléments exceptionnels mais isolés du paysage avant de s'étendre peu à peu à des entités vastes et cohérentes sur le plan paysager ainsi qu'à une gestion dynamique des sites. Leur protection et leur mise en valeur ont été inscrites en 1993 dans la loi Paysage. La convention européenne du paysage, signée le 20/10/2000, entrée en vigueur le 01/07/2006 et transposée en France (circulaire du 01/03/2007), apporte un nouvel élan à la politique du paysage le reconnaissant juridiquement comme « composante essentielle du cadre de vie des populations, expression de la diversité de leur patrimoine commun culturel et naturel, et fondement de leur identité ».

La protection et la valorisation du paysage repose sur :

- des protections de type réglementaire : le classement (protection forte visant à maintenir le caractère du site) et l'inscription (mesure plus souple pour une garantie minimale de protection). Le Code de l'Environnement prévoit cinq critères de protection : artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque ;

- des protections internationales : l'inscription au patrimoine mondial de l'UNESCO (41 sites inscrits en France dont deux sites sur le littoral) ;
- des protections de type contractuel : les opérations et label « Grand Site » (démarche de gestion durable pour des territoires de grande notoriété et de forte fréquentation, remarquables par leurs qualités paysagères, naturelles et culturelles), les espaces gérés par le Conservatoire du Littoral.

D'autres outils contribuant à la préservation et à la valorisation des paysages peuvent être également mobilisés :

- les atlas des paysages pour identifier les unités paysagères, évaluer les dynamiques d'évolution à l'œuvre et définir des grands enjeux (80 % des départements littoraux métropolitains dispose d'un atlas, les autres sont engagés dans un processus d'élaboration) ;
- les observatoires photographiques du paysage pour constituer une base de séries photographiques permettant d'analyser les mécanismes et les facteurs de transformation des espaces ;
- les plans paysage pour repenser l'aménagement du territoire (urbanisme, transports, infrastructures, énergies renouvelables, agriculture) en remettant le paysage au cœur du processus ;
- les directives paysagères pour assurer la protection et la mise en valeur des éléments structurant d'un paysage en fixant des orientations ;
- les chartes paysagères pour définir des outils et des moyens à mettre en œuvre afin de satisfaire des objectifs de qualité paysagère partagés et contractualisables. Ces chartes peuvent être intégrées à des documents d'urbanisme.

La Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM du 17/06/2008) visant le bon état écologique du milieu marin a été transposée dans la loi portant engagement national pour l'environnement (loi Grenelle 2) qui a introduit dans le Code de l'Environnement la gestion intégrée de la mer et du littoral. Dans cette perspective, la circulaire du 20/01/2012 définit des orientations pour une gestion durable et intégrée du domaine public maritime naturel (DPMn), en particulier en matière de prise en compte des enjeux environnementaux et paysagers. En effet, le DPMn est un espace particulièrement sensible et convoité disposant d'un patrimoine naturel à préserver.

Le DPMn peut accueillir un certain nombre d'activités conformément à son affectation et à l'utilité publique (art. L.2121-1 du CGPPP) : défense nationale, opérations de défense contre la mer d'intérêt général, extraction de matières premières minérales ou minières, pêche maritime, cultures marines, chasse maritime, mouillage de navires, etc. Toutefois, le DPMn est inaliénable et imprescriptible (art. L.3111-1 du CGPPP). Au-delà d'un droit d'usage qui appartient à tous (libre accès au rivage), tout projet de construction ou d'installation, destiné à être implanté sur le DPM, nécessite au préalable l'obtention d'un titre d'occupation domaniale : l'Autorisation d'Occupation Temporaire (AOT) est personnelle et nominative mais aussi temporaire, précaire et révocable. Les services de l'État instruisant les demandes d'autorisation veillent à tenir compte des éventuelles perturbations des écosystèmes fragiles, des connectivités écologiques, des espèces protégées et des paysages. Ces autorisations peuvent être assorties de prescriptions pour l'intégration de bonnes pratiques environnementales (utilisation de matériaux recyclés, chantiers propres).

L'usage du DPMn est régi par plusieurs principes de gestion :

- le libre accès au rivage (art. L.2124-4 du CGPPP) : l'accès des piétons à l'estran est libre (sauf dispositions particulières pour des raisons de sécurité, de défense nationale ou de protection de l'environnement) ;
- une interdiction de circulation et de stationnement pour les véhicules terrestres à moteur en dehors des chemins aménagés sauf pour les véhicules de secours, de police et d'exploitation ou les véhicules autorisés par le préfet (art. L.321-9 du Code de l'Environnement) ;
- une interdiction de porter atteinte à l'état naturel du rivage de la mer (art. L.2124-2 du CGPPP) hormis pour les zones portuaires, l'aménagement d'ouvrages de défense contre la mer, d'ouvrages et d'installations nécessaires à la sécurité maritime, à la défense nationale, à la pêche maritime, aux cultures marines ;
- l'entretien du DPMn par l'État et les communes pour la sûreté, la salubrité publique ou la protection de l'environnement.

La palette des aires marines protégées peut être mobilisée dans la définition des stratégies de gestion du DPMn. La gestion du DPMn peut notamment être confiée au Conservatoire du Littoral.

En Outre-Mer, la réserve domaniale dite des « cinquante pas géométriques » s'étend sur une bande côtière d'environ 81,20 m de largeur à partir de la limite supérieure du rivage. La délimitation est officiellement définie au XIX^{e} siècle à La Réunion, en 1876, et des bornes sont alignées sur la totalité du littoral excepté le long de la falaise comprise entre La Possession et Saint-Denis et au niveau des laves du Grand-Brûlé.

La loi Littoral du 03/01/1986 intègre les cinquante pas géométriques au Domaine Public Maritime, par principe inaliénable et imprescriptible. Le décret d'application du 13/10/1989 a toutefois autorisé les particuliers à conserver leurs terrains occupés avant 1986, plus particulièrement dans les zones urbanisées et équipées.

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Zonages réglementaires

Figure 5.59 : Carte des réglementations environnementales en vigueur à La Réunion

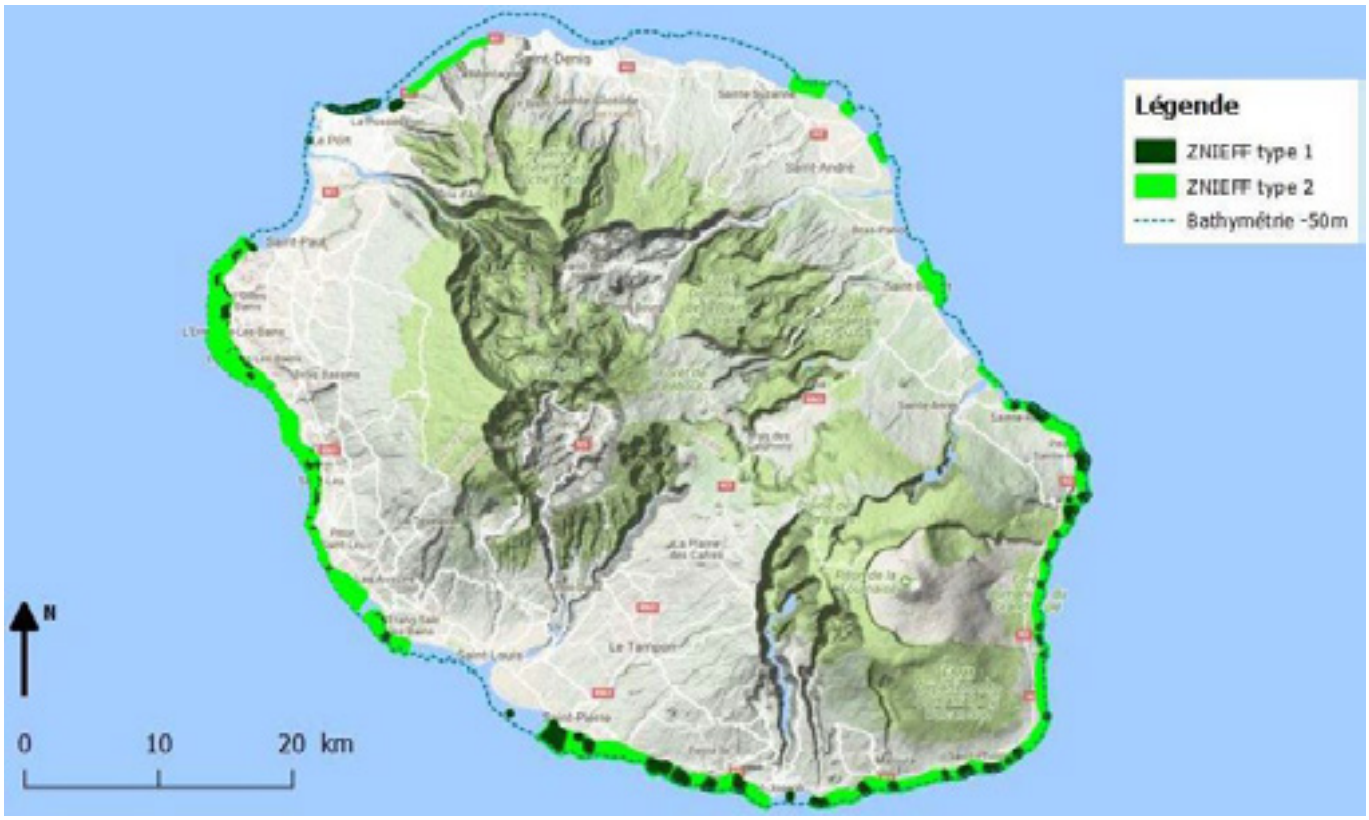


Figure 5.60 : Carte des ZNIEFF marines de type 1 et 2 à La Réunion en 2018 (source : DEAL Réunion – site internet : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr)

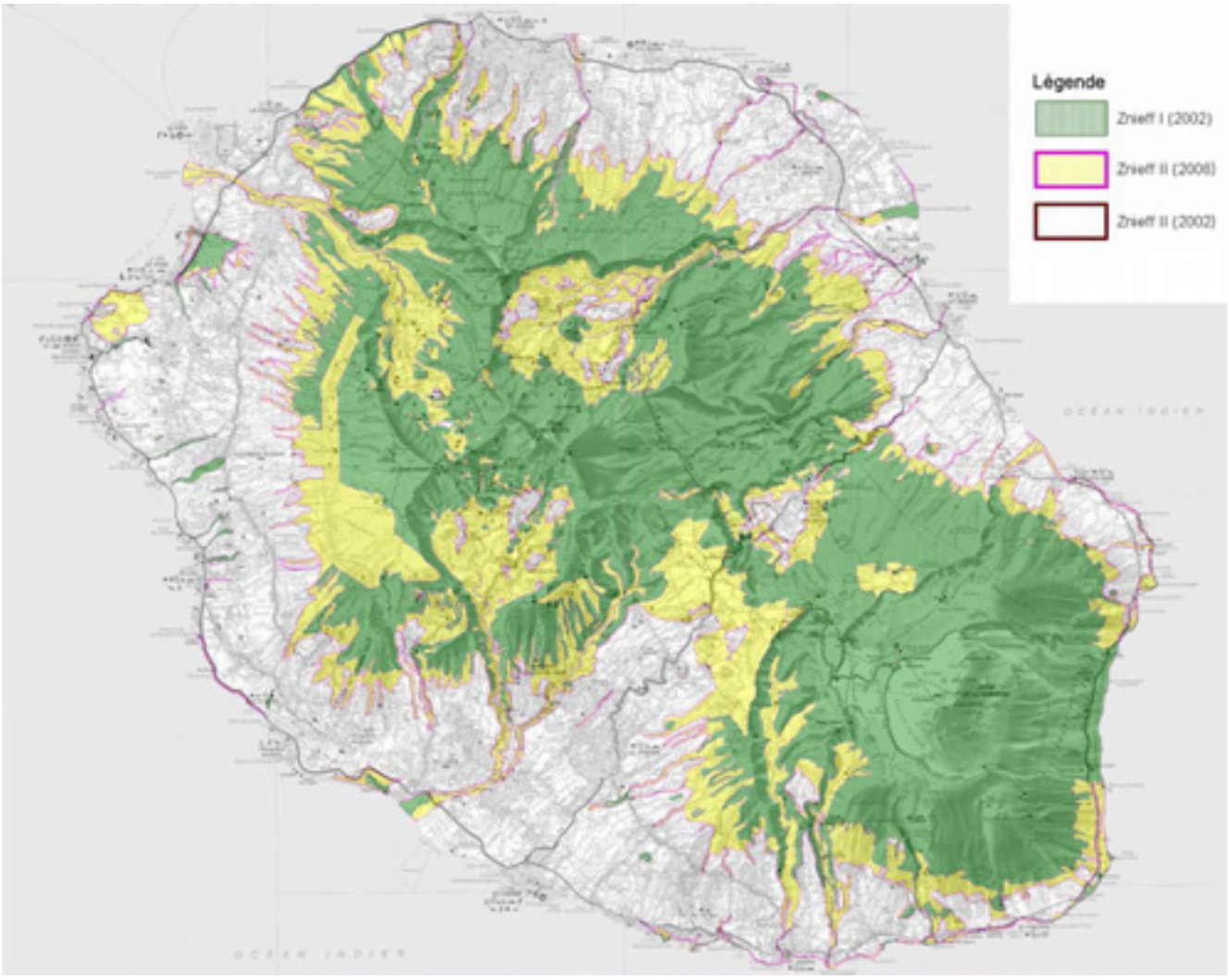


Figure 5.61 : Carte des ZNIEFF terrestres de type 1 et 2 à La Réunion en 2008 (source : DEAL Réunion – site internet : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr)

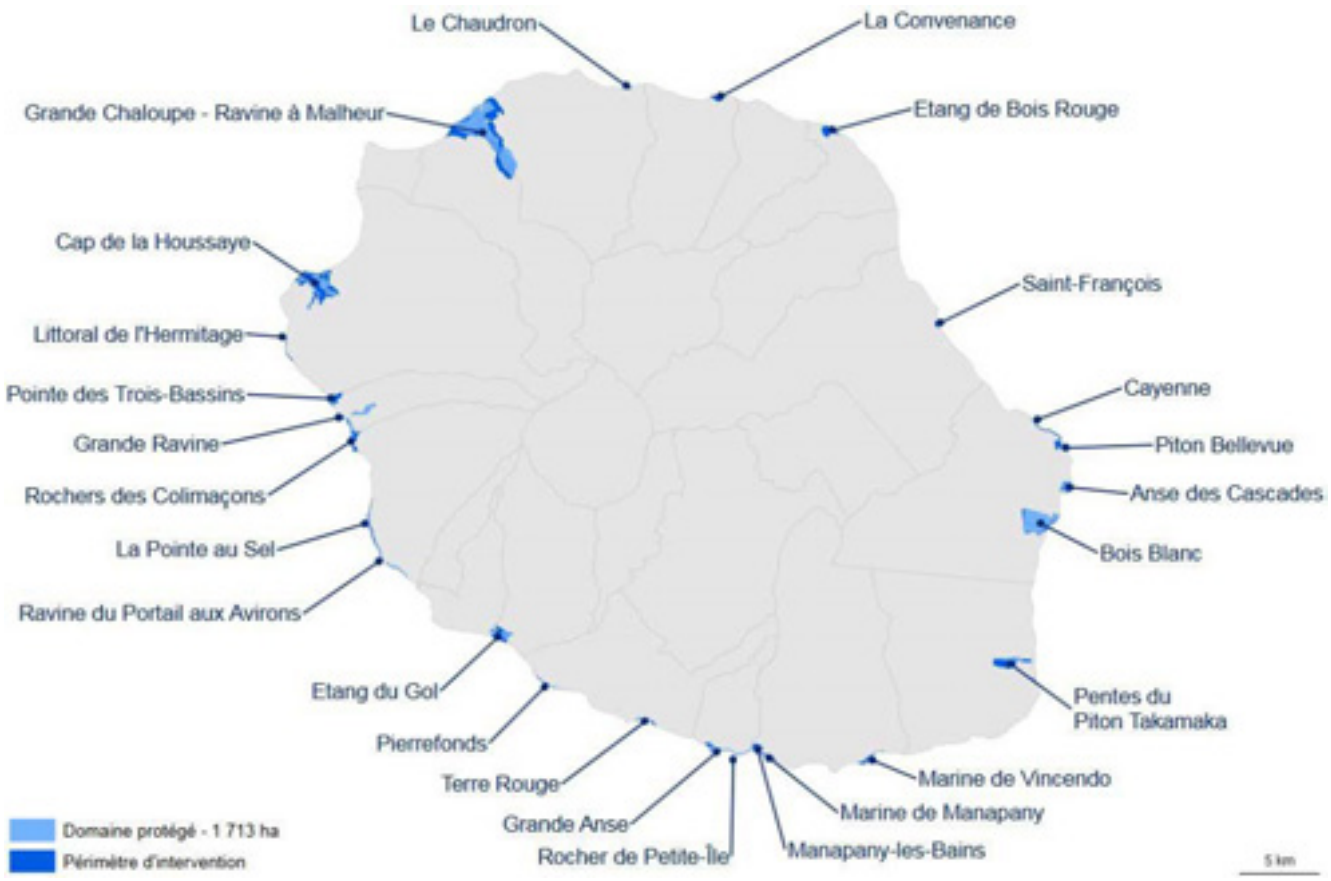


Figure 5.62 : Sites d'intervention du Conservatoire du Littoral (© Conservatoire du Littoral, 2016 – source des données : Délégation OM, juillet 2016)

Le Conservatoire du Littoral s'est vu confier la maîtrise des zones naturelles de la bande des cinquante pas géométriques à La Réunion, comme pour le reste des Outre-Mer, suite aux lois du 30/07/1996 et du 27/02/2002.

Le littoral de La Réunion présente une grande variété d'habitats naturels à l'origine d'une diversité biologique exceptionnelle. Cependant, depuis la seconde moitié du XX^{e} siècle, les habitats réunionnais subissent les effets d'une intense urbanisation littorale liée à la forte croissance démographique et économique de l'île, en partie conditionnée par la morphologie accidentée de l'intérieur. Les pressions qui en résultent se traduisent par une dégradation et une fragmentation progressive des habitats naturels littoraux.

L'intérêt écosystémique et paysager de certains espaces, et les menaces auxquels ils sont soumis, ont depuis motivé l'exécution de mesures de protection et d'une gestion spécifique (**Figure 5.59**). Elles s'appuient en partie sur des zonages environnementaux auxquels s'appliquent des protections réglementaires (réserve naturelle, parc national, arrêtés préfectoraux de protection de biotope, réserves biologiques, zones sensibles, sites classés), des outils de maîtrise foncière (Conservatoire du Littoral, Domaine Public Maritime, Zone des 50 Pas Géométriques, Espaces Naturels Sensibles, Espaces Naturels Remarquables du Littoral) et des inventaires patrimoniaux (Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique).

5.4.6.a Les Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique

Les inventaires patrimoniaux constituent une des bases scientifiques majeures de la politique nationale de protection de la nature. Sous la forme de zonages environnementaux, sont distinguées les ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique) de type I, caractérisées par la présence d'espèces, d'associations d'espèces ou de milieux rares, remarquables ou caractéristiques du patrimoine national ou régional ; les ZNIEFF de type II, réunissant les grands ensembles naturels riches, peu modifiés par l'homme ou offrant des potentialités biologiques importantes. L'objectif de cet inventaire est de développer la connaissance des composantes naturelles des écosystèmes et de constituer un outil d'aide à la décision.

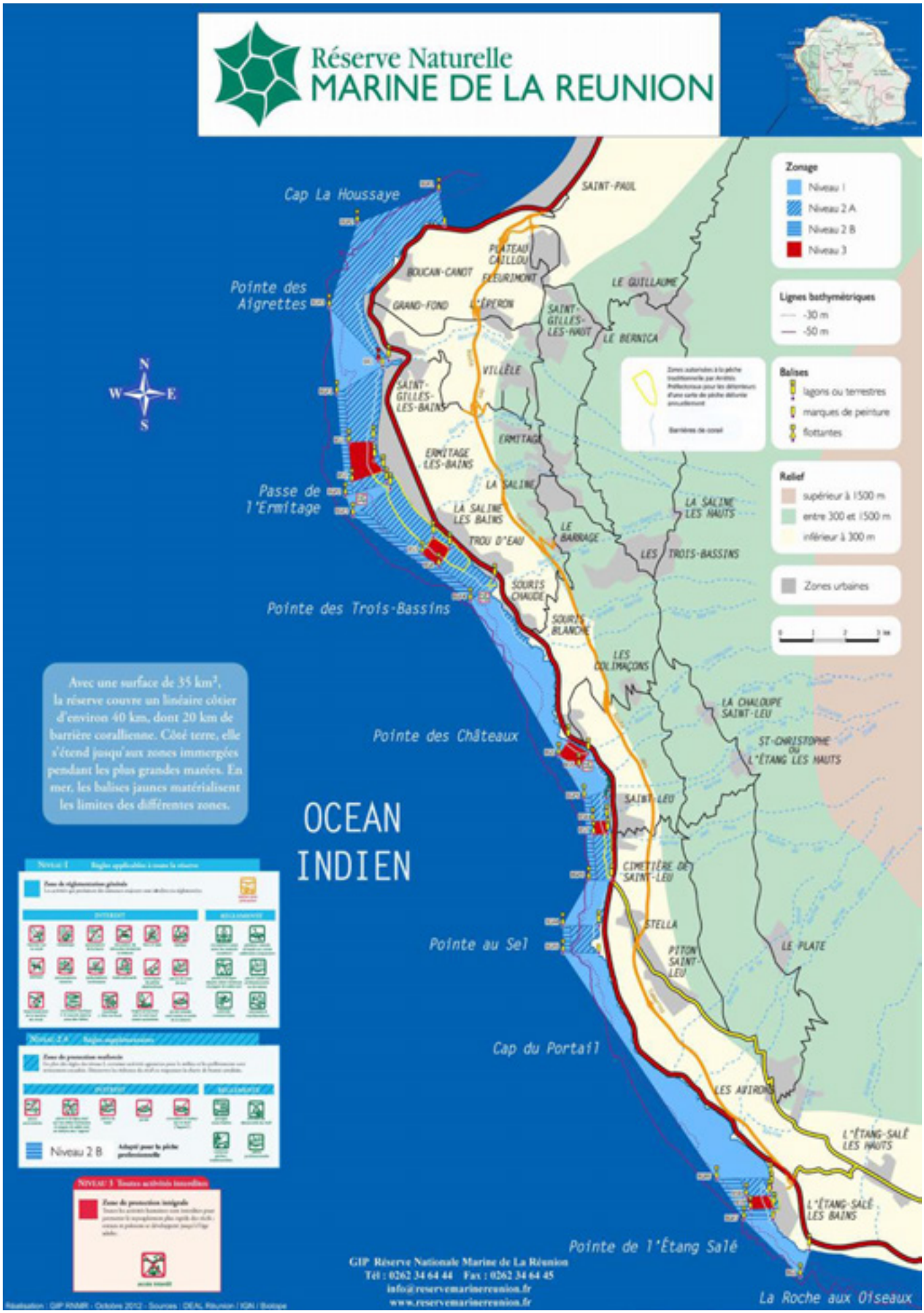


Figure 5.63 : Carte des zones réglementaires de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion (© GIP RNMR, 2012 – source : DEAL Réunion / IGN / Biotope)

Pour le moment en 2018, 64 ZNIEFF marines sont identifiées et validées par le CSRPN (Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel) parmi lesquelles 44 ont été inventoriées de type 1 et 20 de type 2 (Figure 5.60). Certaines ZNIEFF Mer sont encore en cours de bancarisation avant validation par le MNHN (Muséum National d'Histoire Naturelle) qui avait jusqu'à présent seulement validé 23 ZNIEFF en 2016 (17 de type 1 et 6 de type 2) (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr).

Au niveau du patrimoine terrestre (Figure 5.61), il existe en 2015 un total de 222 ZNIEFF de type 1 et 29 ZNIEFF de type 2 (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr). Afin de pallier la non-applicabilité du réseau Natura 2000 à La Réunion, le Conservatoire Botanique National de Mascarina a décidé de réaliser des cahiers d'habitats littoraux. Tels des inventaires floristiques et phytosociologiques, ces outils listent l'ensemble des habitats rencontrés sur l'île. Ces cahiers, accompagnés d'une cartographie, ont ainsi pour objectif de fournir un dispositif de connaissance, de gestion et de protection des habitats réunionnais.

5.4.6.b L'intervention du Conservatoire du Littoral

Pour protéger et valoriser les littoraux réunionnais, les collectivités territoriales de l'île peuvent généralement faire appel au Conservatoire du Littoral pour que la protection soit assurée localement par les collectivités gestionnaires en priorité, les associations, les établissements publics (ONF, Parc, ONCFS) et les usagers du site. Cette solution de gestion est, dans certains cas, privilégiée à la mise en place d'une réglementation plus restrictive. Ce partenariat vise à faire des espaces un ensemble naturel cohérent où cohabitent protection de la nature et maintien des activités traditionnelles (pâturage, pêche, chasse, activités de loisir).

Plusieurs actions sont menées : des études patrimoniales, des campagnes de sensibilisation, des travaux de restauration des dunes, des actions de concertation avec les usagers pour la mise en place de conventions d'usages, l'installation de panneaux d'informations, l'aménagement de sentiers et d'itinéraires d'interprétation de la nature, des activités pédagogiques pour sensibiliser les habitants.

À La Réunion, le Conservatoire du Littoral est propriétaire de 17 sites en 2016 pour une superficie totale d'environ 1713 ha (Figure 5.62), répartie sur la frange côtière de l'île (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr).

5.4.6.c Les Réserves Naturelles de La Réunion

Des parties du territoire d'une ou de plusieurs communes peuvent être classées en Réserve Naturelle lorsque la conservation de la faune, de la flore, du sol, des eaux, des gisements de minéraux et de fossiles et, en général, du milieu naturel présente une importance particulière ou qu'il convient de les soustraire à toute intervention artificielle susceptible de les dégrader.

Les réserves naturelles sont juridiquement encadrées par le Code de l'Environnement (articles L 332-1 à L 332-27 et R 332-1 à R 332-81). La loi prévoit la création possible de Réserves Naturelles Nationales et de Réserves Naturelle Régionales. À ce jour, il n'existe pas de Réserve Naturelle Régionale à La Réunion mais deux réserves naturelles nationales ont été instaurées (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr).

Il existe cinq Réserves Naturelles à La Réunion, trois d'entre elles concernent l'espace littoral : la Réserve Naturelle de Bois-Rouge sur la commune de Saint-André, la Réserve Naturelle terrestre de l'étang Saint-Paul (créée en 2008 sur la commune de Saint-Paul) et la Réserve Naturelle Marine qui englobe le système récifo-lagonaire de La Réunion. La RNMR (Figure 5.63), fondée en 2007, s'étend sur 40 km de long entre le cap la Houssaye (Saint-Paul) et la Roche aux Oiseaux (l'Étang-Salé) (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr).

Outre les Réserves Naturelles, un Parc National a également été créé en 2007 et couvre principalement l'intérieur de l'île, dans les Hauts. Le périmètre de protection du Parc comprend 7 km de côte, entre Saint-Philippe et Sainte-Rose, sur la façade orientale.

La RNMR se situe sur le domaine public maritime, à partir du rivage et jusqu'à une profondeur comprise entre -15 et -100 m. Sa largeur varie de 300 à 1600 m. Elle est en moyenne de près d'un kilomètre, pour une surface totale d'environ 3 500 ha.

Trois niveaux de réglementation (Figure 5.63) sont mis en place au travers de zonages spécifiques prévus dans le décret de création de la RNMR (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr) :

- une réglementation générale (niveau 1) applicable à l'ensemble du territoire de la Réserve. Elle concerne la limitation de certains usages ;
- des règles supplémentaires s'appliquent dans les zones de protection renforcée (niveau 2), correspondant à environ 45 % de la superficie de la Réserve, dont 20 % de cet espace est réservé à la pêche professionnelle (niveau 2B). Dans cette zone, la pêche est interdite ou limitée à certains usages, notamment traditionnels ;

- des zones de protection intégrale (niveau 3) sur environ 5 % de la superficie de la Réserve. Dans ces espaces, toutes formes d'activités, travaux, fréquentations, circulations, mouillages ou amarrages sont interdits. Des autorisations individuelles pour le suivi scientifique, la gestion et la surveillance de la Réserve peuvent être délivrées par le préfet.

Des gardes commissionnés et assermentés sont présents pour faire appliquer la réglementation de la RNMR. Les infractions à la réglementation sont passibles de sanctions. Outre ces amendes, les contrevenants s'exposent également à la confiscation du matériel qui a servi à commettre l'infraction et de la chose qui en est le produit. En fonction de l'importance des infractions, les amendes pourront s'élever de 150 à 22500 euros, pour les infractions les plus graves des peines supplémentaires pourront également être prononcées (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr) :

- l'émission de bruit troublant le calme et la tranquillité des lieux : jusqu'à 150 euros ;
- le piétinement du corail, l'abandon de déchets sur la plage, la circulation d'animaux : jusqu'à 450 euros ;
- l'éclairage nocturne, la perturbation de la faune (mammifères marins, tortues marines, etc), la dégradation des équipements de signalétique ou de balisage : jusqu'à 750 euros ;
- la pénétration dans une zone de protection intégrale, l'allumage d'un feu, l'utilisation d'un engin à moteur sur les récifs (« lagons ») : jusqu'à 1500 euros ;
- la pratique d'une activité nautique en dehors des zones autorisées, le non-respect des zones de navigation et de mouillage, les excès de vitesse sont passibles d'une amende jusqu'à 3750 euros.
- la pêche en zone et période interdites, le non-respect des règles d'exercice de la pêche : jusqu'à 22500 euros.

5.4.6.d Les Arrêtés Préfectoraux de Protection de Biotope

La directive européenne Natura 2000 ne s'appliquant pas dans les départements ultramarins, la protection des habitats peut s'appuyer, pour de petits espaces ne justifiant pas la création d'une Réserve Naturelle, sur des arrêtés préfectoraux de protection de biotope (APPB).

Institués en 1977 et cadrés par les articles R411-15sq du Code de l'Environnement, les APPB sont un des éléments fondamentaux de la politique de protection des espèces et des habitats naturels. Il existe aujourd'hui plus de 670 APPB en France. La Réunion en compte trois (source : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr) :

- l'APPB de la Petite Île, pris en 1986 sur la commune de Petite-Île, pour préserver l'habitat des nombreuses espèces d'oiseaux marins nichant sur cet îlot (**Figure 5.64**). Cet APPB est le seul des trois à concerner l'espace littoral et s'étend sur 2 ha.
- l'APPB du Bras de la Plaine, pris en 2006 sur la commune du Tampon, pour préserver l'habitat du pétrel noir de Bourbon (Pseudobulweria aterrima) ;
- l'APPB de la Pandanaie, pris en 2011 sur les communes de la Plaine-des-Palmistes et de Saint-Benoît, pour protéger une zone humide dominée par le vacoas des Hauts (Pandanus montanus), une espèce endémique de La Réunion. Elle comporte également de nombreuses espèces protégées dont les orchidées Beclardia macrostachya et Cryptopus elatus, ainsi que d'autres plantes telles que Hibiscus boryanus, Xylopia richardii, etc. Son importance provient essentiellement du type de milieu qu'elle constitue et de la grande rareté de cet habitat : unique au monde, cette spécificité confère à La Réunion une responsabilité particulière.

Figure 5.64 : Petite Île, au large de la commune de Petite-Île (© B. Navez, 2015)

Chapitre 6
Évolution générale du littoral et des fonds

Rédacteur

Sylvain LENDRE (Cerema, DtecEMF)

Relecteurs

Boris LECLERC (Cerema, DtecEMF)

Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)

Contributeurs

Rémi BELON (BRGM Réunion)

Bruno GODEFROY (DEAL Réunion)

Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)

Page de gauche : Plage des Brisants (Saint-Gilles-les-Bains) © Cerema / S. Lendre, 2019

6 Évolution générale du littoral et des fonds

Le littoral de La Réunion présente à la fois des côtes basses (plages et cordons de sable ou de galets) et des côtes à falaises (rocheuses, meubles ou mixtes). La dynamique sédimentaire de ces secteurs, et par conséquent l'évolution du littoral et des fonds, est régie par des facteurs différents selon le type de côte (voir 2.5 Facteurs et mécanismes d'évolution du littoral).

Ce chapitre expose donc, pour l'ensemble de l'île, les évolutions du littoral observées par le passé et celles provoquées par des événements ponctuels dans la mesure des données disponibles. Si l'évolution du littoral est quelque peu détaillée, celle des fonds est plus largement méconnue. Il existe effectivement peu de travaux sur cette zone. Enfin, les perspectives d'évolution future seront traitées en considérant les effets possibles du changement climatique.

6.1 Évolution historique et récente du littoral et des fonds

L'évolution du littoral et des fonds est étudiée dans ce chapitre pour quelques sites où des études précises ont été réalisées, dans la limite des données disponibles. Elle peut montrer des tendances différentes selon la période analysée et s'articule selon deux échelles temporelles différentes.

- Des tendances de long terme, dites « historiques », correspondant à une évolution sur les 70 dernières années (à partir de 1950) et permettant de rendre compte de vitesses d'évolution pluridécennales, avec un aménagement sur le littoral qui a pu évoluer : ces informations sont souvent obtenues de manière indirecte, par analyse de cartographies anciennes ou par photo-interprétation.
- Des tendances de moyen et court termes, dites « récentes », correspondant à une évolution sur les dernières décennies (à partir de 2000) et permettant de rendre compte de vitesses d'évolution décennales et interannuelles (avec des cycles d'évolution ou des évolutions saisonnières), sur un littoral qui peut parfois être déjà aménagé : ces informations bénéficient d'analyses issues de mesures de terrain et/ou d'imageries précises.

Pour quantifier l'évolution du trait de côte réunionnais, diverses évaluations diachroniques ont été produites à partir d'orthophotographies littorales et/ou de mesures de terrain, à différentes échelles de temps et d'espace (Aubié *et al.*, 2001 ; De la Torre, 2004, 2006 ; Blangy *et al.*, 2009 ; De la Torre *et al.*, 2012 ; BRGM, 2012 ; Cazes-Duvat, Salmon, *et al.*, 2016 ; Mahabot, 2016 ; Mahabot *et al.*, 2016 ; Belon, Salomero, 2017 ; Chateauminois *et al.*, 2017 ; Cerema, 2018).

À l'échelle nationale, et en parallèle à l'évaluation prospective régionale issue d'observations de terrain, un indicateur national de l'érosion côtière a été défini pour caractériser de manière homogène l'exposition du littoral à l'érosion marine. Cet indicateur constitue une référence pour les orientations stratégiques retenues pour la gestion du trait de côte (Cerema, 2018). Il rend compte des évolutions passées du trait de côte sur de longues périodes (supérieures à 50 ans).

Il a été cartographié au 1/100 000e sur l'ensemble du linéaire côtier français selon une méthodologie unique et repose sur la comparaison de la position du trait de côte (cartographiée au 1/2 500e) entre deux orthophotographies : la plus récente et la plus ancienne disponibles sur chaque secteur de côte. Les vitesses d'évolution ont alors été calculées tous les 200 m à partir des distances divisées par le nombre d'années d'écart entre les vues. En présence d'ouvrage ou d'aménagement du littoral sur le trait de côte, aucun calcul n'a été mené mais les ouvrages et aménagements côtiers ont été digitalisés et figurent au Chapitre 5 Interventions humaines le long du littoral.

Pour ce fascicule sur La Réunion, la comparaison de la position du trait de côte (dont les marqueurs sont la limite de végétation ou le haut de falaise), s'est effectuée entre les orthophotographies de 1950 et 2008 disponibles sur chaque secteur de côte, pour une période totale de 58 ans[1]. Sur la province, 19,8 % des points de calcul concernent un linéaire côtier comportant un ouvrage, un aménagement, et n'a donc pas pu faire l'objet d'une évaluation des vitesses d'évolution du trait de côte.

Au sein du linéaire de rivage où une vitesse a pu être estimée (Figure 6.1) :

- 60,7 % de l'île montre une évolution non perceptible par la méthode employée, soit inférieure en valeur absolue à 0,10 m/an ;
- 15,8 % sont en avancée, dont environ 1,5 % avec des avancées supérieures à +1,50 m/an ;
- 23,5 % présentent un recul du trait de côte : 19,4 % avec un recul inférieur à -0,50 m/an et 4,2 % avec une vitesse comprise entre -0,50 et -1,50 m/an.

Ces grandeurs globales sont à nuancer en fonction de la nature de côte, divisée en deux grandes catégories sur

1| Les taux d'évolution du trait de côte comportent une part d'incertitude liée à l'orthorectification et au calage des photographies, à l'interprétation et à l'influence des ouvrages et des aménagements côtiers. La méthodologie est détaillée sur le site GéoLittoral : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Figure 6.1 : Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'île de La Réunion, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018)

La Réunion : les côtes rocheuses à falaises et les côtes meubles d'accumulation.

L'érosion avec un fort taux de recul affecte avant tout les rivages meubles sableux et les cordons littoraux (Figure 6.2, Figure 6.39). Les proportions détaillées par type de côte sur la Figure 6.2, présentent sur 37,3 % des côtes basses de l'île des taux de recul compris entre -0,10 et -1,50 m/an, tandis que l'évolution est non perceptible par l'indicateur national de l'érosion côtière pour 88,5 % des côtes rocheuses à falaises (Cerema, 2018).

Le BRGM (De la Torre, 2004 ; Bastone *et al.*, 2012) estimait pour sa part que 50 % des côtes de l'île de La Réunion étaient en érosion au cours de la période 1966-2009, 43 % du littoral paraissait stable (pas ou peu d'évolution) et 7 % des côtes semblaient en accrétion (notamment au droit des exutoires de cours d'eau).

Dans le cadre des études de quantification des évolutions du trait de côte sur l'île de La Réunion, douze sites qualifiés de sensibles ont fait l'objet d'observations plus précises et d'un suivi régulier par le BRGM (De la Torre, 2004, 2006 ; Blangy *et al.*, 2009 ; De la Torre *et al.*, 2012 ; BRGM, 2012).

La méthodologie employée consistait d'une part en la photo-interprétation d'images aériennes de 1966 (1:50 000) ; 1978 (1:20 000) ; 1997 (1:25 000) ; 2003 (1:25 000) et 2008 (1:25 000) ; d'autre part en l'analyse diachronique de données topo-bathymétriques LIDAR et de relevés topographiques et bathymétriques sur le terrain. Ces douze sites se répartissent sur onze ensembles côtiers principaux dont les caractéristiques morphologiques générales sont communes (nature du trait de côte, artificialisation, exposition, dynamiques sédimentaires, mécanismes d'évolution, etc) et à partir desquels s'inspire plus synthétiquement l'organisation du Chapitre 6 qui s'établit quant à lui selon cinq unités principales :

- **Unité 1** : du cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie
- **Unité 2** : de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance
- **Unité 3** : de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste
- **Unité 4** : du cap Auguste à la pointe de l'Étang-Salé
- **Unité 5** : de la pointe de l'Étang-Salé au cap la Houssaye

Le découpage de La Réunion pour ce chapitre rappelle sensiblement celui effectué dans le Chapitre 2, le Chapitre 4 et le Chapitre 5 sur la base des trois unités

Figure 6.2 : Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'île de La Réunion, en proportion par gamme de taux d'évolution et par type de côte (Cerema, 2018)

morphosédimentaires qui avaient été retenues pour le Catalogue Sédimentologique.

Comme il l'a été identifié dans le Chapitre 5, l'**unité 1** du cap la Houssaye jusqu'à la pointe Sainte-Marie est la plus densément urbanisée et artificialisée de l'île. Les Chapitres 2 et 4 décrivent un littoral majoritairement alluvionnaire pour l'**unité 2** (entre la pointe Sainte-Marie et la pointe de Bonne Espérance) et essentiellement rocheux à falaises pour l'**unité 3** (entre la pointe de Bonne Espérance et le cap Auguste). L'unité morphosédimentaire du cap Auguste jusqu'au cap la Houssaye présente deux zones distinctes : l'**unité 4** alterne entre falaises et côtes alluvionnaires, avec des récifs coralliens très peu développés entre le cap Auguste et la pointe de l'Étang-Salé ; l'**unité 5** affiche un littoral corallien de plus grande importance avec des récifs plus étendus entre la pointe de l'Étang-Salé et le cap la Houssaye.

6.1.1 Unité 1: du cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie

Pour l'unité 1 du cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie, la comparaison de la position du trait de côte s'est effectuée entre les orthophotographies de 1950 et 2008 disponibles sur chaque secteur de côte, pour une période totale de 58 ans (Cerema, 2018). Au sein du linéaire de rivage où une vitesse a pu être estimée (Figure 6.4) :

- 41,4 % de l'unité 1 montrent une évolution non perceptible par la méthode employée, soit inférieure en valeur absolue à 0,10 m/an ;
- 22,4 % sont en progression avec des avancées comprises entre +0,10 et +0,50 m/an ; dont 10,3 % avec une vitesse intermédiaire entre +0,50 et +1,50 m/an ;
- 36,2 % présentent un recul du trait de côte : 32,8 % avec un recul compris entre -0,10 et -0,50 m/an ; 3,4 % avec une vitesse intermédiaire entre -0,50 et -1,50 m/an.

6.1.1.a Évolution historique

À **Saint-Paul**, le centre de la baie fut sujette à la progradation entre 1966 et 1978. Au nord, une avancée du trait de côte entre 1966 et 1978 a également été observée, suivie d'une certaine stabilité jusqu'en 2003 (De la Torre *et al.*, 2012).

Dans la même zone entre 1950 et 2008, l'indicateur national de l'érosion côtière développé par le Cerema (2018) indique un recul global sur l'ensemble de la baie. De la pointe Barre à Mine jusqu'à l'extrémité sud de la forêt de Saint-Paul, le linéaire côtier évolue entre -0,30 m/an et +0,30 m/an selon les secteurs. Une dégradation du trait de côte est constatée au sud de l'embouchure de l'étang de Saint-Paul, avec un recul moyen de -0,75 m/an. La partie nord présente quant à elle, un retrait de -0,30 m/an. Du parc de la Poudrière (Saint-Paul) jusqu'à la rive gauche de la rivière des Galets, la baie a subi un retrait moyen de -0,30 m/an.

Le secteur côtier qui se poursuit depuis la baie de **Saint-Paul** jusqu'à **La Possession** est fortement urbanisé, avec la présence du Grand Port Maritime de La Réunion. Le trait de côte y est fixé par de multiples aménagements pour protéger les deux ports. À la pointe des Galets, dans la commune du Port, le trait de côte a reculé de 170 m entre 1966 et 2008. Par ailleurs, entre 1978 et 1997, la partie orientale du cordon a subi une érosion de 20 m avec un retour à l'équilibre en 2008 (De la Torre *et al.*, 2012).

D'après l'indicateur entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018), la rive droite de l'embouchure de la rivière des Galets a subi une accrétion moyenne de +0,60 m/an. En remontant vers la partie septentrionale de l'île, dans la commune du Port, le pied de la digue nord du Port-Ouest présente une accrétion. Cette avancée sur la mer est comprise entre +0,35 m/an et +0,55 m/an. À partir de la pointe des Galets, une évolution du secteur est constatée jusqu'à l'extrémité ouest du Port-Est : une accrétion décroissante (de +0,55 à +0,15 m/an) s'étale jusqu'au centre du cordon. Puis, un recul moyen de -0,15 m/an s'étire jusqu'à la limite occidentale du Port-Est. Attenant à l'extrémité orientale de ce dernier, jusqu'à l'exutoire du Petit-Ruisseau, dans la commune de La Possession, un recul de l'ordre de -0,15 à -0,40 m/an est observé.

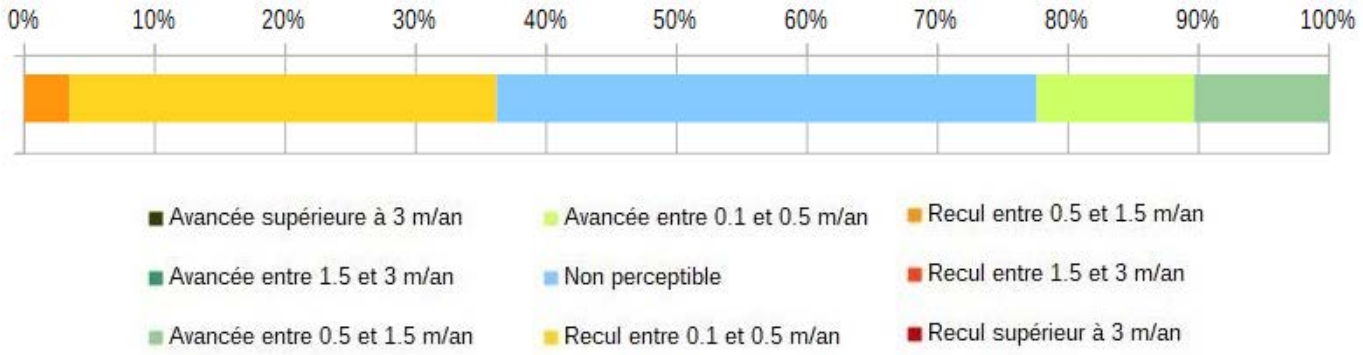
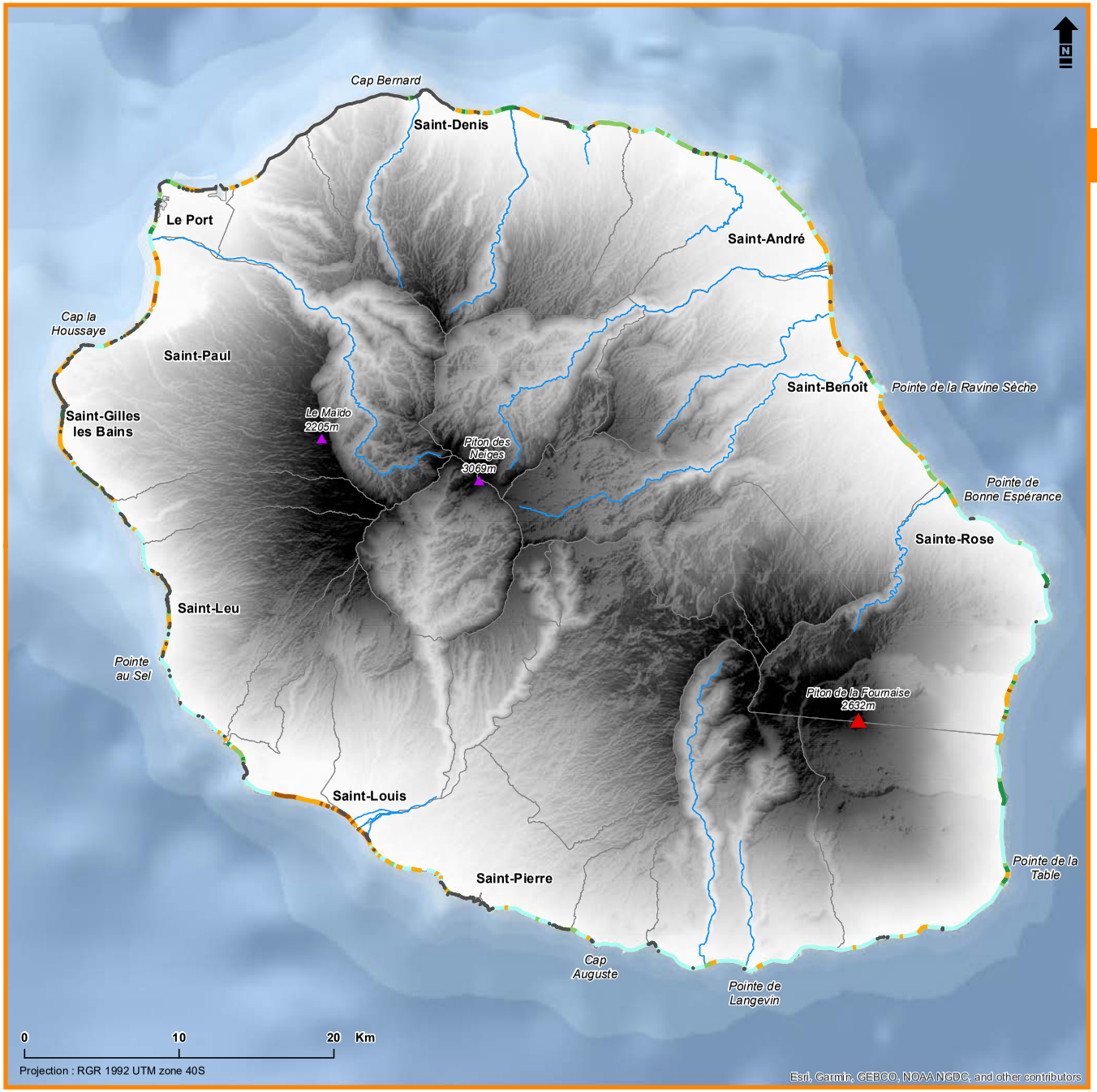


Figure 6.4 : Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'unité 1, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018)



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Evolution passée du trait de côte

- Pics
- Volcan
- Réseau hydrographique permanent
- Limite communale

Artificialisation

- Ouvrage de défense et autre construction

Taux d'évolution

- Erosion supérieure à 0,5 m/an
- Erosion inférieure à 0.5 m/an
- Non perceptible
- Accrétion inférieure à 0,5 m/an
- Accrétion supérieure à 0,5 m/an

L'évolution passée du trait de côte est issue de l'indicateur national de l'érosion côtière produite par le Cerema pour le compte du ministère en charge de l'environnement en 2015. Cet indicateur est basé sur les taux de l'évolution passée du trait de côte, observée sur orthophotographies entre deux dates éloignées de plusieurs décennies. Les prises de vues aériennes utilisées sont issues :

- Pour les plus anciennes, des archives traitées par l'Ifremer, de la BD-Ortho historique de l'IGN et du CRIGE PACA sur la période 1920-1955,
- Pour les plus récentes, de l'Ortholittorale V2 et la BD-Ortho® IGN sur la période 2005-2012.

L'indicateur représente des tendances d'évolution pluriannuelles entre deux dates qui ne rendent pas nécessairement compte des dynamiques d'évolution au sein même de la période observée, ni des potentiels changements récents de dynamique. L'indicateur n'est pas calculé lorsqu'un ouvrage se substitue au trait de côte naturel ; il ne remonte pas dans les estuaires et ne couvre généralement pas les extrémités des flèches sableuses.

Les taux d'évolution du trait de côte comportent une part d'incertitude liée à l'orthorectification et au calage des photographies, à l'interprétation et à l'influence des ouvrages et aménagements côtiers.

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topopgraphie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Indicateur national de l'érosion côtière - Cerema & MEEM
Ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer) - Cerema & MEEM
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite

Figure 6.3 : Évolution passée du trait de côte de l'île de La Réunion (Cerema, 2018)

Le trait de côte compris entre les communes de **La Possession** et de **Saint-Denis** a peu évolué au cours des périodes d'études du BRGM (De la Torre *et al.*, 2012) de 1966 à 1997 et du Cerema (2018) de 1950 à 2008, en raison de sa fixation précoce par la Route du Littoral construite en 1963.

De la rivière Saint-Denis (à l'ouest de la commune) jusqu'à la ravine du Butor (à l'est du centre-ville de Saint-Denis), le trait de côte est fixé par des ouvrages de protection et n'a donc pas évolué depuis 1950. Il est néanmoins à noter qu'une accrétion comprise entre +0,20 et +0,50 m/an se situe sur la rive gauche de l'embouchure de la rivière Saint-Denis (Cerema, 2018).

Sur la zone côtière bordée par le boulevard Lancastel (Saint-Denis), la micro-falaise est en progradation de 25 m au niveau du cimetière de l'Est (en raison de remblais et d'une artificialisation générale) entre 1966 et 2003. En ce qui concerne le reste du cordon de galets qui longe le boulevard, une bonne résilience de celui-ci est observée au cours de la même période d'observations. L'embouchure de la ravine de la Patate à Durand a connu une progradation de 63 m entre 1966 et 2003 (De la Torre *et al.*, 2012).

De part et d'autre de l'embouchure, la comparaison des orthophotographies de 1950 à 2008 (Cerema, 2018) souligne une légère tendance de retrait côtier évalué entre -0,05 à -0,30 m/an. Cependant, l'exutoire de la ravine affiche nettement un avancement de l'ordre de +0,50 à +1,00 m/an.

De même, l'exutoire de la rivière des Pluies détient une accrétion moyenne de +0,85 m/an. À l'extrémité nord-ouest de l'aéroport Gillot Roland Garros, les observations soulignent une érosion côtière d'une moyenne de -0,25 m/an. Au niveau du port de **Sainte-Marie**, au pied de la digue d'entrée est, une accrétion moyenne de +0,60 m/an est observée. Toujours dans la même commune, entre la ravine à Bardeaux et la pointe Sainte-Marie, le trait de côte évolue sensiblement vers une avancée du littoral d'environ +0,30 m/an.

6.1.1.b Évolution récente

Dans la partie centrale de la baie de **Saint-Paul**, une certaine stabilité est observée entre 2003 et 2008. Par ailleurs, un recul conséquent et brutal de 20 m a été observé entre 2003 et 2009 au sud de la baie en lien avec le cyclone Gamède. En 2008, suite au même cyclone, un recul de 8 m a été évalué sur la micro-falaise du nord de la baie. Entre 2009 et 2011, les relevés topographiques attestent d'un transfert de sédiments des petits fonds (entre 0 et -6 m) vers la partie émergée (Figure 6.6) (De la Torre *et al.*, 2012).

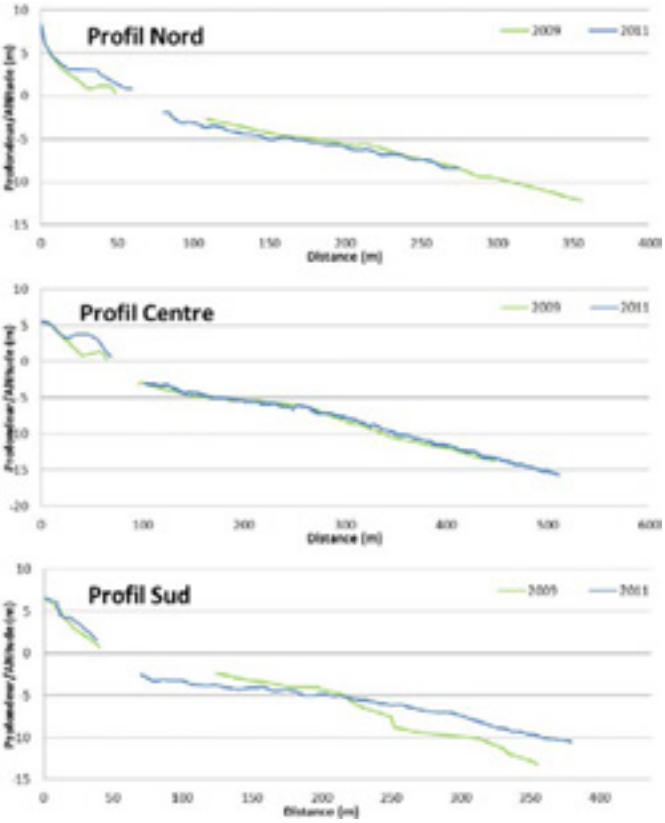


Figure 6.6 : Évolution des profils topo-bathymétriques nord, centre et sud de la baie de Saint-Paul entre 2009 et 2011 (De la Torre et al., 2012)

Au pied du cimetière marin (baie de Saint-Paul), les relevés quantitatifs du BRGM, compris entre 2006 et 2016, soulignent une évolution le long du profil transversal. Une phase d'érosion importante entre 2011 et 2013 est à noter, succédée par une phase d'accrétion jusqu'en 2016. Les effets des cyclones Dumile et Felleng ont notamment pu être constatés sur ce profil en 2013. La formation d'une barre d'avant-côte d'une profondeur de -4 m à -5 m est identifiée durant la même période, issue de l'arrachement d'une quantité importante de matériaux en partie aérienne de la plage de Saint-Paul. La plage serait donc ici capable de se recharger naturellement grâce au transit longitudinal (Belon, Salomero, 2017).

La portion de plage attenante au marché forain présente des signes d'érosion en 2013 (suite aux cyclones Dumile et Felleng). Cependant, les observations postérieures allant jusqu'en 2016 montrent une bonne capacité de rechargement naturel. Cela s'est traduit par un rehaussement du haut de plage, suivi d'une reprise de la végétation.

La plage montre des signes de vulnérabilité face aux évènements énergétiques, comme l'indiquent les profils de 2009 et 2013 (Figure 6.7) : ces deux relevés montrent une situation d'érosion marquée par un abaissement du profil de plage et un raidissement de la pente. Ces deux années ont directement été suivies par des épisodes de rechargements naturels, ce qui montre une tendance à la résilience de cette portion côtière. L'amplitude

Figure 6.5 : Évolution passée du trait de côte de l'unité 1 du cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018)

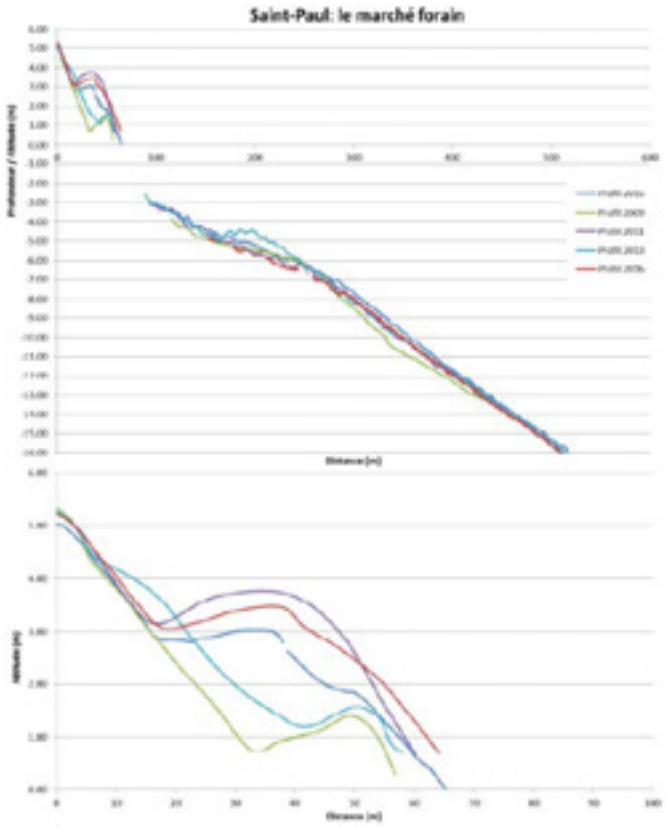


Figure 6.7 : Profils topo-bathymétriques (en-haut) et zoom sur la topographie (en-bas) du site du marché forain de Saint-Paul (Belon, Salomero, 2017)

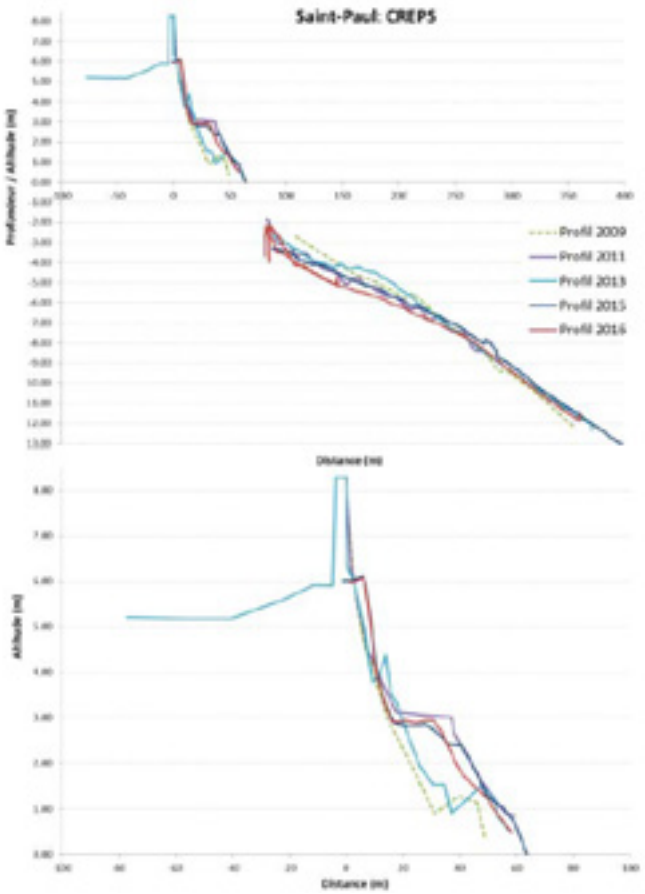


Figure 6.8 : Profils topo-bathymétriques (en-haut) et zoom sur la topographie (en-bas) du site de la piscine (CREPS) de Saint-Paul (Belon, Salomero, 2017)

morphologique des plages varie considérablement étant donné qu'elles peuvent perdre ou gagner 3 m d'altitude en deux années environ. Les relevés bathymétriques mettent en évidence la formation d'une barre sableuse à environ -5 m de profondeur, une défense naturelle de la plage face aux évènements énergétiques de 2013 (Belon, Salomero, 2017).

En remontant vers le nord, un troisième suivi de profil a été réalisé par Belon et Salomero (2017) au niveau de la piscine de Saint-Paul entre 2006 et 2016. Dans les observations, les aspects visuels restent similaires à ceux vus précédemment et montrent une bonne capacité de résilience de la plage face aux évènements tempétueux. De plus, les relevés topo-bathymétriques révèlent, là aussi, un comportement similaire aux deux portions étudiées en amont. L'étude des profils souligne une érosion due aux évènements tempétueux. Puis, la rapide recharge en sédiments montre une bonne résilience du site, avec la formation d'une barre sableuse immergée à environ -5 m de profondeur (Figure 6.8).

Entre 1997 et 2006, sur la **Pointe des Galets** au Port, une progradation de 30 m avait été constatée, alors qu'entre 2006 et 2009, le passage du cyclone Gamède a provoqué à lui seul un recul de 50 m. Sur la façade ouest du Port, le cyclone, en arrachant des aménagements lourds, a localement provoqué une forte érosion (De la Torre *et al.*, 2012).

Le cordon de la Pointe des Galets est globalement stable. Les buttes de déblais jouent un rôle « tampon », mais elles ont tout de même reculé entre 2003 et 2008, avant de se stabiliser entre 2009 et 2011 en raison d'une absence manifeste de phénomènes météo-marins majeurs (Figure 6.9). La butte de déblais la plus proche de la pointe des Galets affichait néanmoins un recul de 20 m. Pour 2011, l'analyse du profil bathymétrique atteste d'un rehaussement des petits-fonds jusqu'à -15 m (Figure 6.10), avec une pente plus régulière (De la Torre *et al.*, 2012).

Entre la Pointe des Galets et le Port-Est, le trait de côte est constitué d'un cordon de galets cyclopéens[2] et de sables issus des cônes de déjection de la rivière des Galets. Cette formation est surmontée de trois buttes « artificielles » réalisées à partir de déblais tirés des matériaux de creusements du Port-Est (sable et galets déci-centimètriques) (Belon, Salomero, 2017). Située à la convergence de deux courants marins opposés (sud-nord et est-ouest), la pointe des Galets subit une érosion

2| En géomorphologie, le terme « cyclopéen » désigne une famille de dépôts très grossiers résultants de dynamiques marines très fortes (Fichaut, Suanez, 2008).

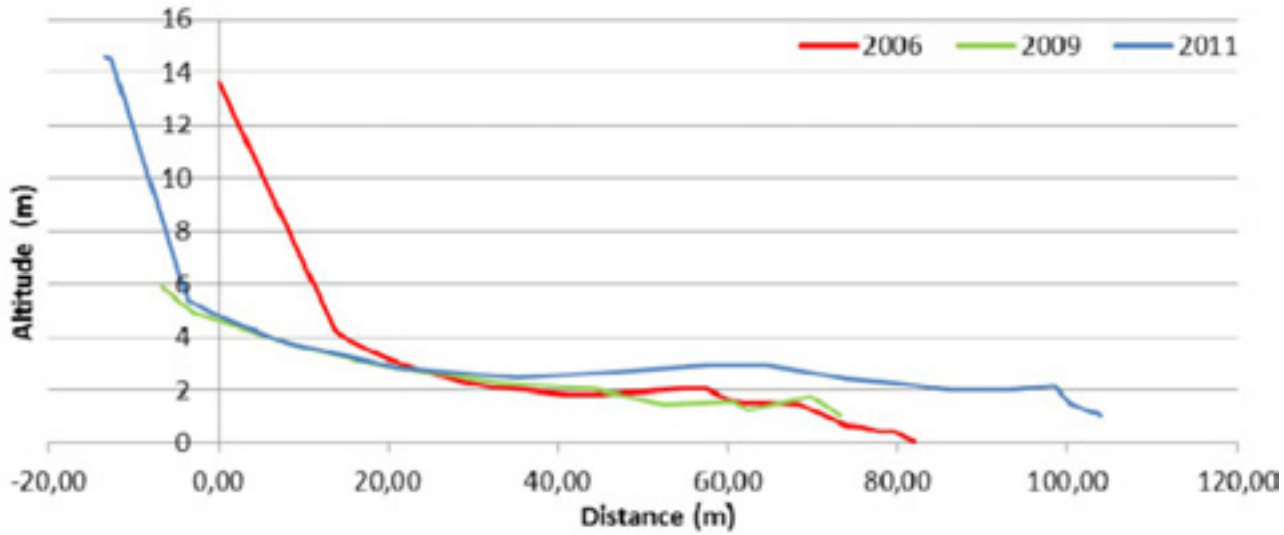


Figure 6.9 : Évolution du profil topographique de la pointe des Galets (Le Port) entre 2006 et 2011 (De la Torre et al., 2012)

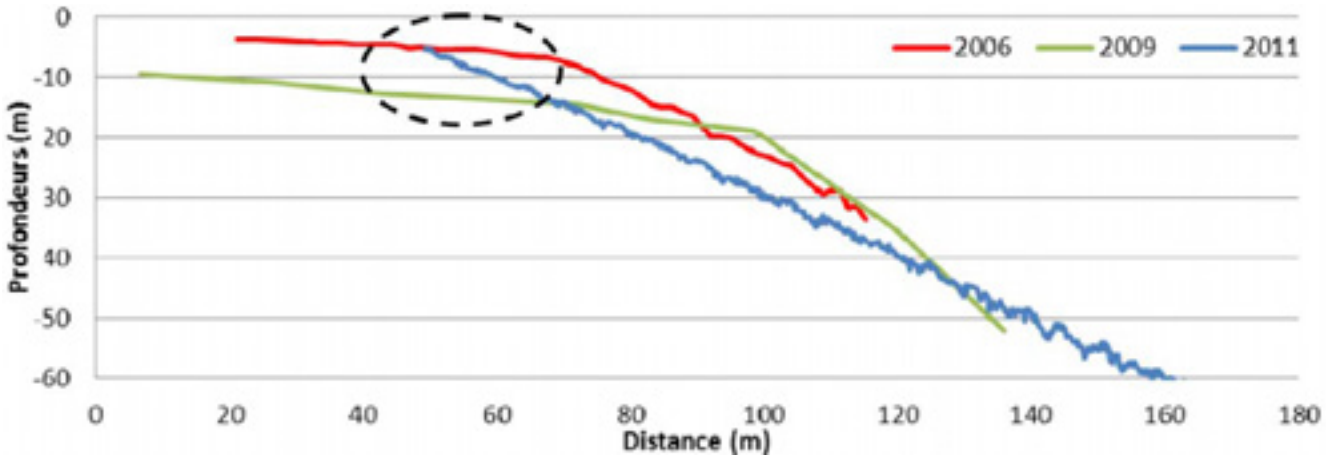


Figure 6.10 : Évolution du profil bathymétrique de la pointe des Galets (Le Port) entre 2006 et 2011 (De la Torre et al., 2012)

spectaculaire depuis l'implantation de la jetée du Port-Ouest. Cette infrastructure engendre un blocage du transit sédimentaire des matériaux apportés par la rivière des Galets et par conséquent un déficit sédimentaire à la pointe (Figure 6.11) (Troadec, 1991 ; Belon, Salomero, 2017).

Dès lors, le cordon de galets attenant se retrouve coupé de son approvisionnement principal venant du sud. Tributaire du seul stock de sédiments qui lui permet de palier aux prélèvements faits par les tempêtes, ce site se retrouve fortement menacé alors qu'il protège la zone industrielle attenante du Port-Ouest. L'érosion

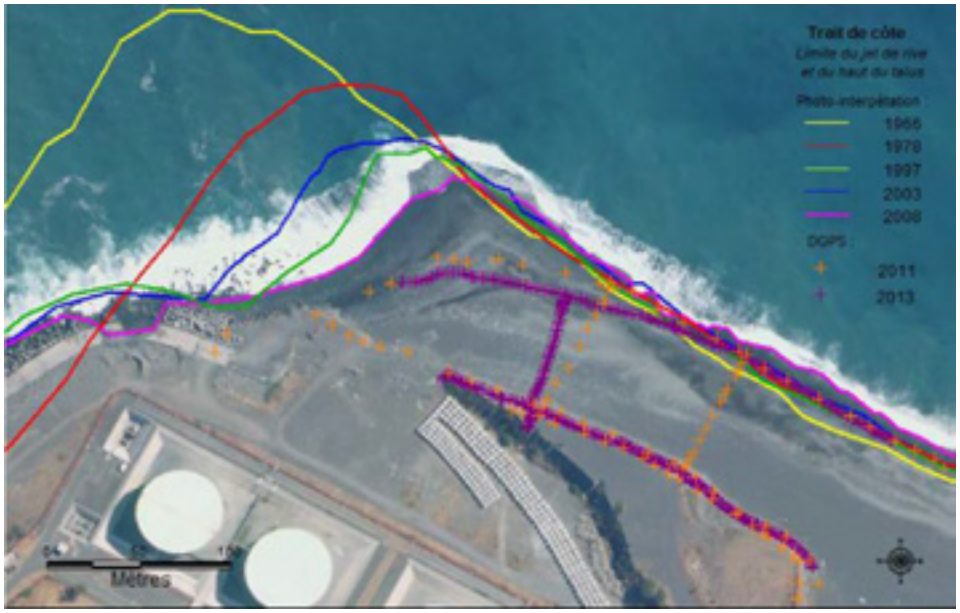


Figure 6.11 : Évolution du trait de côte (limite jet de rive) entre 1966 et 2013 (Belon, Salomero, 2017)

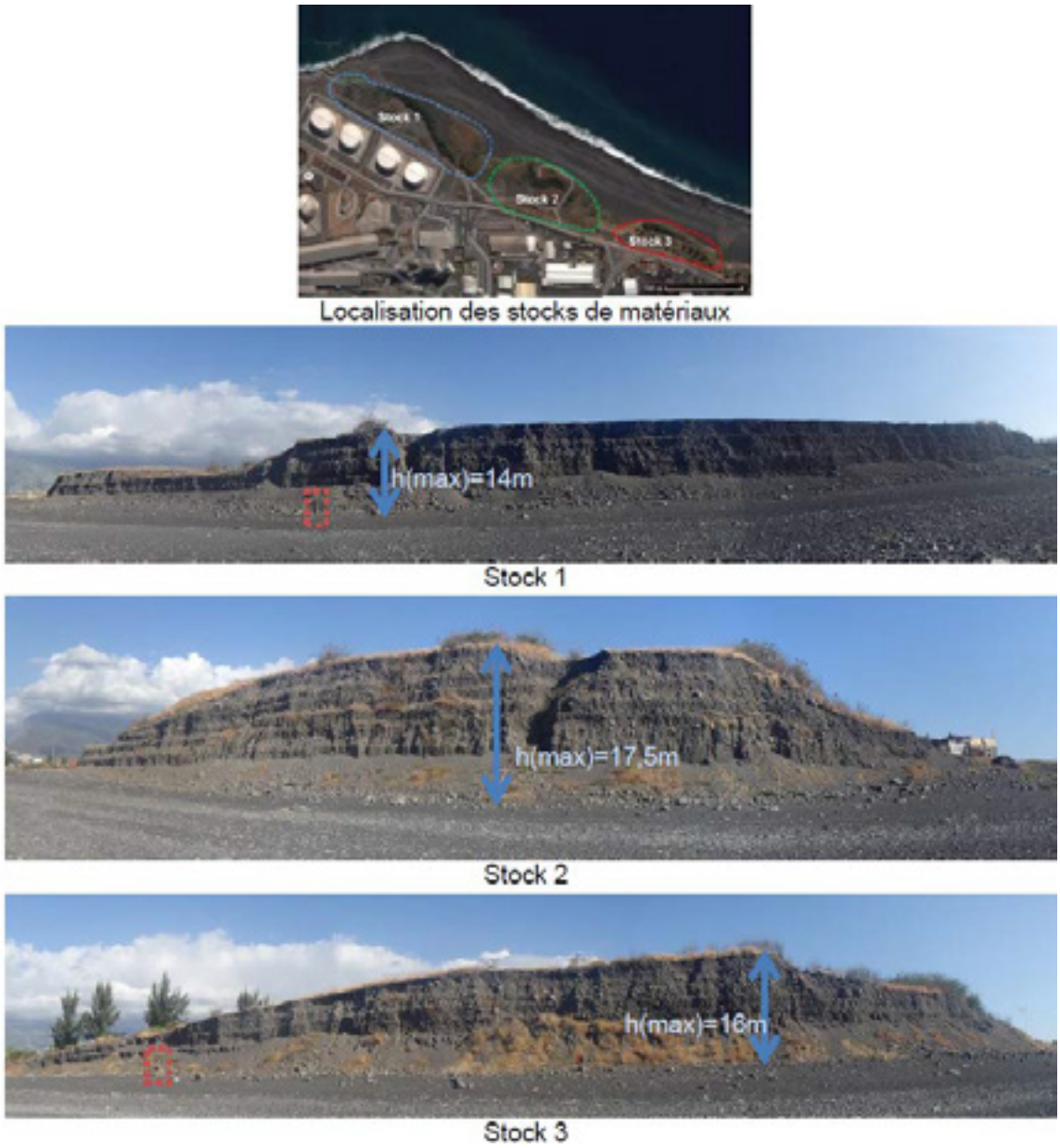


Figure 6.12 : Localisation et photographies (27/07/2016) depuis le front de mer des trois stocks « tampons » de la pointe des Galets (Belon, Salomero, 2017)

du cordon est compensée par les apports anthropiques provenant des dragages du Port-Est qui constituent les buttes de déblais.

Ces formes artificielles constituent un stock « tampon » (**Figure 6.12**). Cependant, l'érosion des buttes (jusqu'à -20 m entre 2003 et 2008 pour la butte proche de la pointe) et la dérive littorale est-ouest expliquent l'érosion que subit inéluctablement la pointe (De la Torre *et al.*, 2012 ; Chateauminois *et al.*, 2017) :

- le recul du haut de talus du premier stock est estimé à -33 m en 18 ans. Cette érosion ne prend pas en compte les réalimentations en matériaux qui ont potentiellement pu être apportées durant la période d'étude. Le recul du haut du talus paraît stable depuis 2008 ;
- pour le deuxième stock, un recul de -22 m est constaté en 18 ans. Là aussi, le haut de talus semble stable depuis 2008. Le secteur situé entre les stocks n°1 et n°2 est en accrétion, grâce aux apports en matériaux issus des dragages réalisés depuis 2008. Entre 2008 et 2012, cette avancée est estimée à +35 m, entre 2012 et 2015, à +9 m ;
- pour le troisième stock situé à l'est de la pointe, un recul du haut de talus a été quantifié à -28 m en 18 ans. À partir de 2008, le stock semble stabilisé.

Sur la zone côtière bordée par le boulevard Lancastel, à **Saint-Denis**, l'embouchure de la ravine de la Patate à Durand a connu un recul de 20 m entre 2003 et 2008, suite au cyclone Gamède de mars 2007 (De la Torre *et al.*, 2012). De manière générale, la micro-falaise se trouve en situation de stabilité entre 2003 et 2008. Même si des observations de terrain montrent des signes d'érosion localisés, la partie septentrionale du cimetière de l'Est connaît une progradation de 20 m durant la même période, probablement en raison des opérations de remblaiement effectuées suite au passage du cyclone (De la Torre *et al.*, 2012).

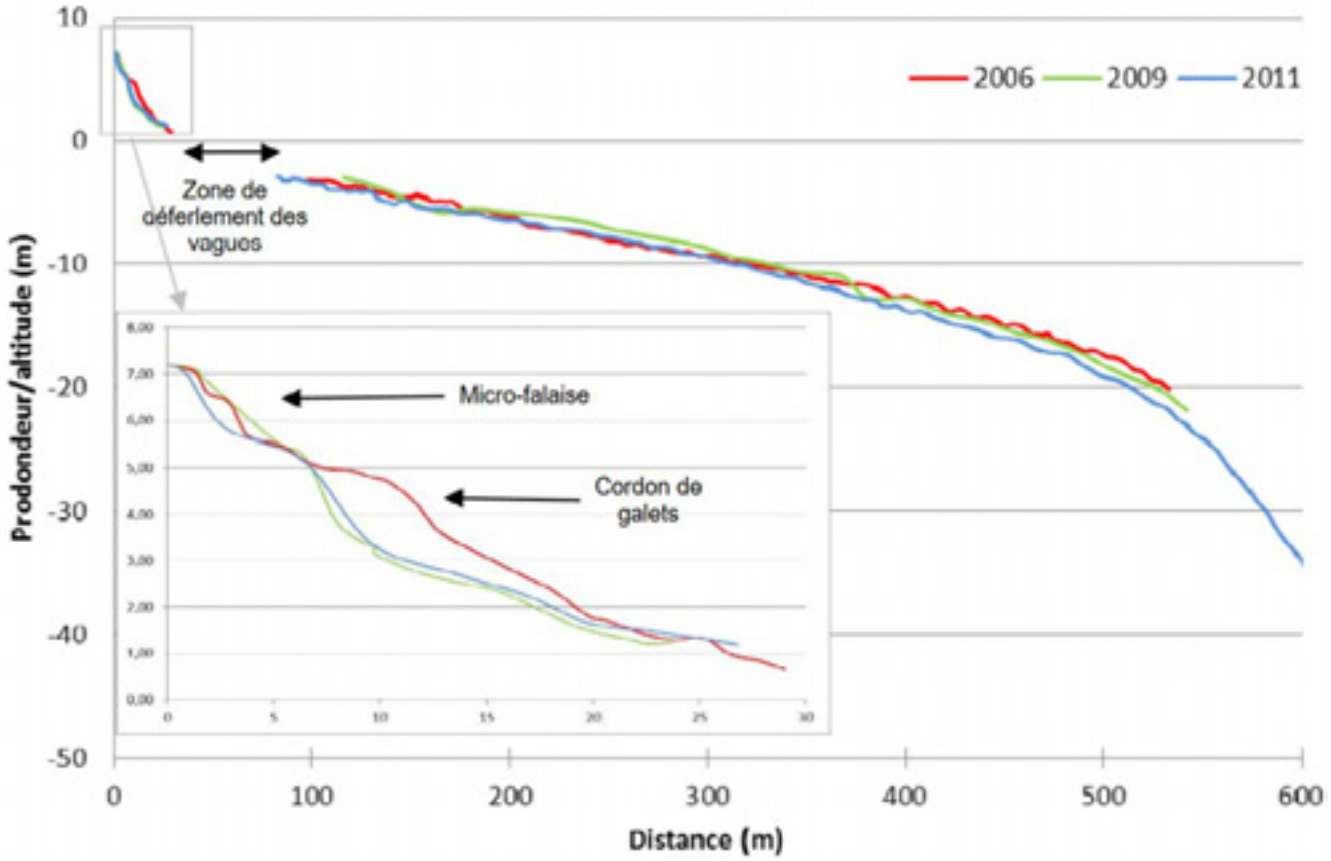


Figure 6.13 : Évolution du profil topo-bathymétrique du site du boulevard Lancastel (Saint-Denis) entre 2006 et 2011, zoom sur la partie émergée (De la Torre et al., 2012)

À la suite du cyclone Gamède, un recul d'une dizaine de mètres est observé en 2007 le long du cordon de galets qui borde le boulevard Lancastel. Ce phénomène est couplé d'un abaissement de 2 m du profil de la plage entre 2006 et 2009. Depuis 2009, ce profil tend à se reconstituer grâce à la présence d'une berme se trouvant à une altimétrie de +4 m.

Les profils topo-bathymétriques de 2011 montrent une tendance à la stabilité de la zone, bien qu'un recul de 2,5 m soit constaté depuis 2009 (Figure 6.13), en lien avec les impacts de phénomènes météo-marins modérés (De la Torre *et al.*, 2012).

La période de 2013 à 2015 met en évidence un recul et un abaissement du bas de plage en dessous de la côte +2 m. Cependant, un réengraissement du profil est constaté entre la période 2015-2016. La plage semble démontrer une résilience qui n'équivaut cependant pas au profil de 2006 (Belon, Salomero, 2017).

Des suivis photographiques annuels ont été initiés de 2013 à 2016 sur le secteur du boulevard Lancastel. Il a été relevé qu'une grande quantité de blocs présents dans la partie nord-est du haut de plage en 2013 se déplaçaient vers la ligne de rivage en 2015 pour quasiment disparaître en 2016.

Dans la partie sud-ouest, la plage semble s'amaigrir avec une disparition progressive des couverts de végétation en haut de profil, traduisant une tendance érosive durant les périodes de 2013 à 2016 (Belon, Salomero, 2017).

Le tableau page suivante (Tableau 6.1) présente quelques valeurs moyennes pour l'évolution locale du trait de côte, extraites de différentes sources dont celle de l'indicateur national d'érosion côtière établi par le Cerema (2018). Les périodes d'évaluation diffèrent d'une source à l'autre (De la Torre *et al.*, 2012 ; Belon, Salomero, 2017 ; Cerema, 2018), elles traduisent notamment ici des évolutions passées.

6.1.2 Unité 2 : de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance

Pour l'unité 2 de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance, la comparaison de la position du trait de côte s'est effectuée entre les orthophotographies de 1950 et 2008 disponibles sur chaque secteur de côte, pour une période totale de 58 ans (Cerema, 2018). Au sein du linéaire de rivage où une vitesse a pu être estimée (Figure 6.14) :

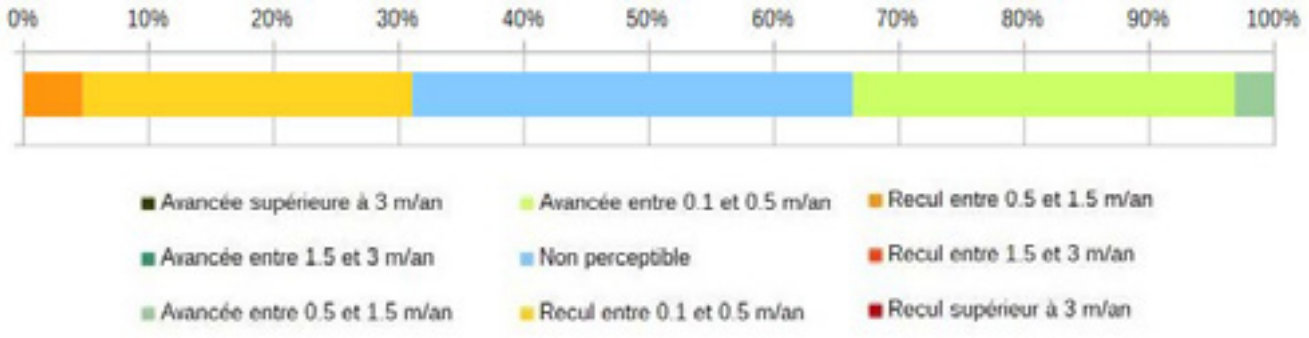
- 35,3 % de l'unité 2 montrent une évolution non perceptible par la méthode employée, soit inférieure en valeur absolue à 0,10 m/an ;
- 33,7 % sont en progression avec des avancées comprises entre +0,10 et +1,50 m/an ; dont 3,2 % avec une vitesse intermédiaire entre +0,50 et +1,50 m/an ;

Tableau 6.1 : Quantifications de l'évolution du littoral de l'unité 1 du cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie (1-Cerema, 2018 ; 2-De la Torre et al., 2012 ; 3-Belon, Salomero, 2017)

Secteur	Période	Évolution du trait de côte	Quantification [1]
Baie de Saint-Paul	1950-2008	Recul et avancée	-0,30 à +0,30 m/an(1)
	2003-2009	Sud de la baie : recul	-3,30 m/an(2)
Étang de Saint-Paul	1950-2008	Sud de l'embouchure : recul	-0,75 m/an(1)
	1950-2008	Nord de l'embouchure : recul	-0,30 m/an(1)
Embouchure rivière des Galets	1950-2008	Sud de l'embouchure : recul	-0,30 m/an(1)
	1950-2008	Nord de l'embouchure : avancée	+0,60 m/an(1)
Port-Ouest	1950-2008	Avancée	+0,45 m/an(1)
Pointe des galets	1950-2008	Ouest du cordon : avancée	+0,30 m/an(1)
	1950-2008	Est du cordon : recul	-0,15 m/an(1)
	1966-2008	Recul	-4,05 m/an(2)
	1978-1997	Recul	-1,05 m/an(2)
	1997-2006	Avancée	+3,30 m/an(2)
	1997-2015	Stock n°1 : recul	-1,80 m/an(3)
	1997-2015	Stock n°2 : recul	-1,20 m/an(3)
	1997-2015	Stock n°3 : recul	-1,55 m/an(3)
	1997-2015	Stock n°1, 2 et 3 : recul	-1,55 m/an(3)
	2008-2012	Entre stocks n°1 et 2 : avancée	+1,60 m/an(3)
	2012-2015	Entre stocks n°1 et 2 : avancée	+3 m/an(3)
	2003-2008	Est du cordon : recul	-4,00 m/an(2)
	2003-2008	Est du cordon : recul	-4,00 m/an(3)
	2006-2009	Recul	-16,50 m/an(2)
	2006-2016	Haut de plage, ouest du cordon : recul	-1,00 m/an(3)
	2006-2016	Ligne de rivage, ouest du cordon : avancée	+30,00 m/an(3)
La Possession	1950-2008	Recul	-0,20 m/an(1)
Saint-Denis	1950-2008	Est de la rivière Saint-Denis : avancée	+0,35 m/an(1)
Cimetière de l'Est (Saint-Denis)	1966-2003	Avancée	+1,50 m/an(2)
	2003-2008	Recul	-4,00 m/an(2)
Embouchure Patate à Durand	1950-2008	Exutoire : avancée	+0,75 m/an(1)
	1950-2008	Rives externes droite/gauche : recul	-0,10 m/an(1)
	1966-2003	Avancée	+1,70 m/an(2)
	2003-2008	Recul	-4,00 m/an(2)
Embouchure rivière des Pluies	1950-2008	Avancée	+0,85 m/an(1)
Aéroport Gillot-Roland Garros	1950-2008	Recul	-0,25 m/an(1)
Port de Sainte-Marie	1950-2008	Avancée	+0,60 m/an(1)
Pointe Sainte-Marie	1950-2008	Avancée	+0,30 m/an(1)
	2003-2008	Stable	— (2)

1| Il ne s'agit pas d'une mesure systématique du déplacement du trait de côte, car les données sont hétérogènes, la valeur indiquée traduit l'intensité de l'évolution du trait de côte.

Figure 6.14 : Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'unité 2, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018)



- 31,1 % présentent un recul du trait de côte : 26,3 % avec un recul compris entre -0,10 et -0,50 m/an ; 4,7 % avec une vitesse intermédiaire entre -0,50 et -1,50 m/an.

6.1.2.a Évolution historique

Au niveau de la pointe de la ravine des Chèvres, une accrétion moyenne de +0,15 m/an est observée, et ce depuis 1950 jusqu'en 2008 (Cerema, 2018).

Entre 1978 et 2003, la bordure sommitale des **falaises de Sainte-Suzanne** a reculé de 18 m. La micro-falaise du Temple, édifice religieux construit en front de mer, voit quant à elle son trait de côte avancer d'une trentaine de mètres entre 1966 et 2008 (De la Torre *et al.*, 2012).

La confrontation de données topographiques récentes face aux digitalisations de relevés aériens de 1966 permet de visualiser une évolution du trait de côte (Figure 6.15). Depuis 1966 à 2016, le haut de plage a avancé d'environ +35 m sur l'océan. Cette avancée relève de dépôts de matériaux. Ces rechargements se sont déroulés en plusieurs étapes. La première fut établie entre 1966 et 1978, puis une période de stabilité est identifiée de 1978 à 2003. Enfin, une dernière phase d'accrétion est observée jusqu'en 2009 pour enfin découler sur une période de stabilité jusqu'en 2016 (Belon, Salomero, 2017).

À l'est, la pointe des Haziers gagne sur le large avec une valeur moyenne de +0,20 m/an. Ce même phénomène est observé de manière continue sur l'ensemble du linéaire côtier, et ce de la pointe de Bel-Air (Sainte-Suzanne) jusqu'à la pointe de Champ-Borne (Saint-André). Cette généralité est ponctuée de quelques points d'érosions (Cerema, 2018).

Au niveau du **centre-ville de Sainte-Suzanne**, les micro-falaises présentent une certaine stabilité entre 1966 et 2003, même si un recul de 10 m est constaté entre 1966 et 1978 (De la Torre *et al.*, 2012). Sur le front de mer de la commune, entre l'embouchure de la rivière Sainte-Suzanne et la grande rivière Saint-Jean, un recul isolé de -0,10 m/an est estimé face à l'intersection de la rue de l'Assomption et de la rue des Pêcheurs.

Dans la commune attenante de **Saint-André**, face à la distillerie du Bois-Rouge, un recul côtier compris entre -0,10 et -0,25 m/an est enregistré. Dans cette même commune, une troisième érosion de -0,10 m/an est identifiée à l'est de la carrière se trouvant entre le cartier de l'Étang et du Colosse (Cerema, 2018).

Plus précisément, au niveau du chemin **Champ-Borne** (Saint-André), non loin du restaurant « Beau Rivage », une avancée de 33 m a pu être observée entre 1978 et 1997 en raison de l'aménagement du front de mer par des remblais et des plantations juste après le passage

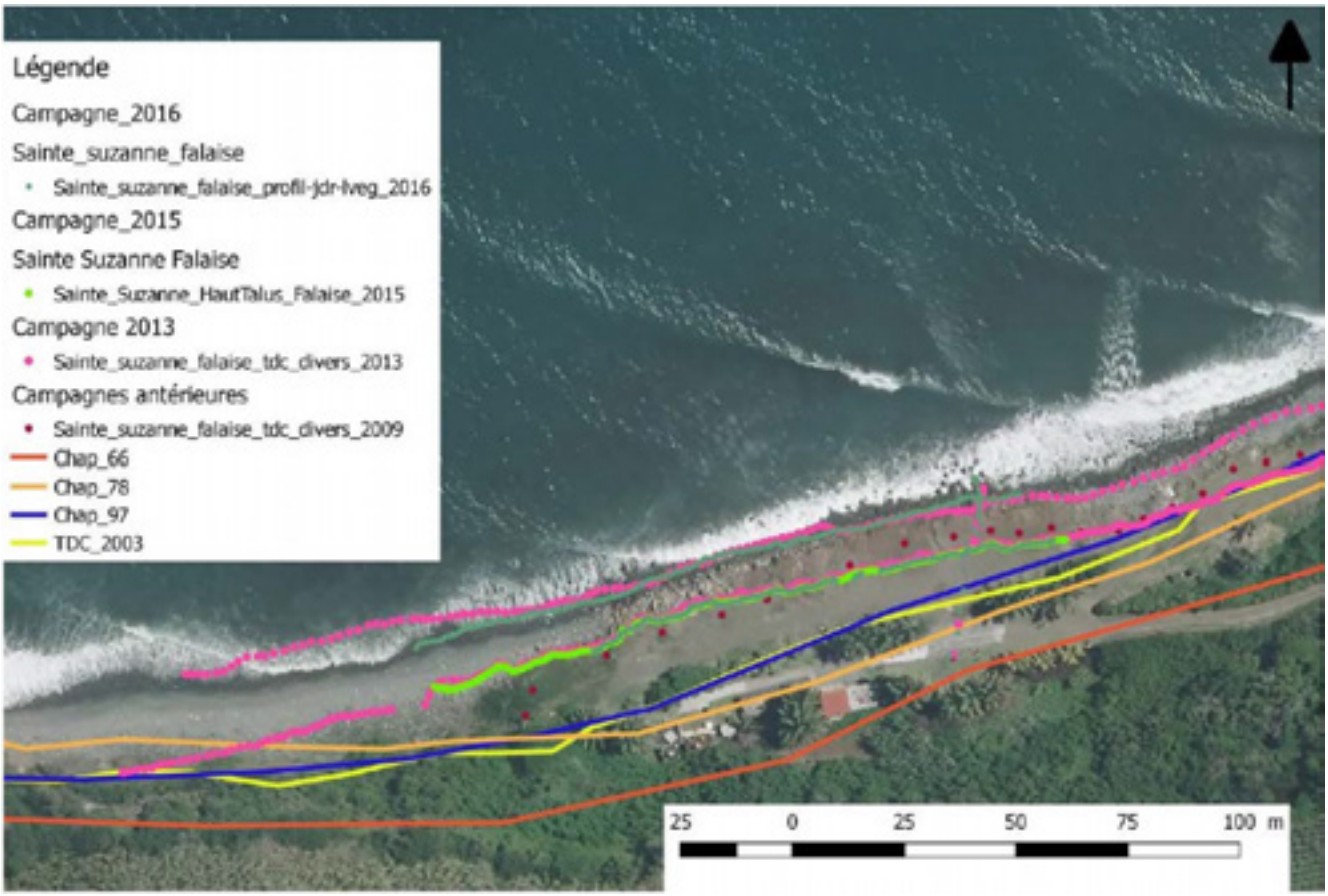


Figure 6.15 : Évolution du haut de talus du littoral de Sainte-Suzanne, au droit du Temple, entre 1966 et 2016 (Belon, Salomero, 2017)

du cyclone Clotilda de 1987 et Firinga de 1989 (De la Torre *et al.*, 2012).

Une érosion globale s'inscrit au sein du linéaire côtier qui s'étend du croisement du chemin Fourchon et du chemin Agenor, dans le quartier Grand-Canal (Saint-André), jusqu'à la digue du port de Saint-Benoît. Ce recul est évalué à une moyenne de -0,30 m/an, entre 1950 et 2008. Une érosion relativement marquée de l'ordre de -1,5 m/an est observée à la pointe de la Rivière du Mât entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018).

Au niveau du port de **Saint-Benoît**, le trait de côte au nord de la digue a reculé d'environ -20 m entre 1966 et 2003. Un recul de -7 m de la micro-falaise entre 1978 et 1997 s'observe au niveau de sa limite supérieure qui a été retenue comme trait de côte de référence. En revanche, entre 1966 et 1978, une avancée de cette dernière avait été relevée (De la Torre *et al.*, 2012).

Au sud de la pointe de la Ravine Sèche, un léger recul de l'ordre de -0,5 à -1 m/an est constaté le long de la RN2 à Sainte-Anne, entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018).

6.1.2.b Évolution récente

À **Sainte-Marie**, la plage située aux abords du boulevard de la Fraternité présente une diminution de quelques mètres sur sa largeur, entre 2013 et 2015. Le niveau de la plage semble aussi s'être abaissé d'une cinquantaine de centimètres.

L'absence de phénomène cyclonique durant la saison humide de 2015 à 2016 a eu pour conséquence d'engendrer un phénomène d'engraissement sédimentaire. À titre indicatif, la végétation (*Ipomoea pes-caprae*) présente sur les micro-falaises semble s'être densifiée (Belon, Salomero, 2017).

Entre 2003 et 2008, aucune évolution significative n'est constatée au niveau du linéaire côtier compris entre la pointe Sainte-Marie et la grande rivière Saint-Jean (De la Torre *et al.*, 2012).

En 2008, la **micro-falaise du Temple** (Sainte-Suzanne) a fait l'objet d'une avancée de +15 m, alors que plus au nord, un recul de -10 m se manifeste. Le cyclone Gamède a déplacé des sédiments terrestres pour les déposer sur la partie sous-marine lors de son passage en 2007. Un engraissement des petit-fonds (jusqu'à -15 m) se discerne bien suite à son passage (Figure 6.17). Entre 2009 et 2011, aucun évènement météorologique extrême n'a été recensé et le profil n'a par conséquent pas connu de réelles modifications, la végétation est demeurée présente sur le cordon de galets émergé (De la Torre *et al.*, 2012).

La micro-falaise bordant le cordon de galets de la plage du Temple semble plutôt instable dû aux phénomènes érosifs. Cependant, il ne semble pas y avoir eu d'évolution remarquable depuis 2015. En revanche, un léger abaissement du profil de plage de l'ordre du décimètre est relevé en 2016, ainsi qu'une progression du talus d'environ 1 m. Utilisés comme un lieu de dépôt des déchets organiques par le Temple, ces remblaiements ne permettent pas de stabiliser le haut de plage (Belon, Salomero, 2017).

Entre la pointe de Bel-Air (Sainte-Suzanne) et la pointe de Champ-Borne (Saint-André), une accrétion est observée et ponctuée de quelques points d'érosion. L'analyse des profils en face du **centre-ville de Sainte-**

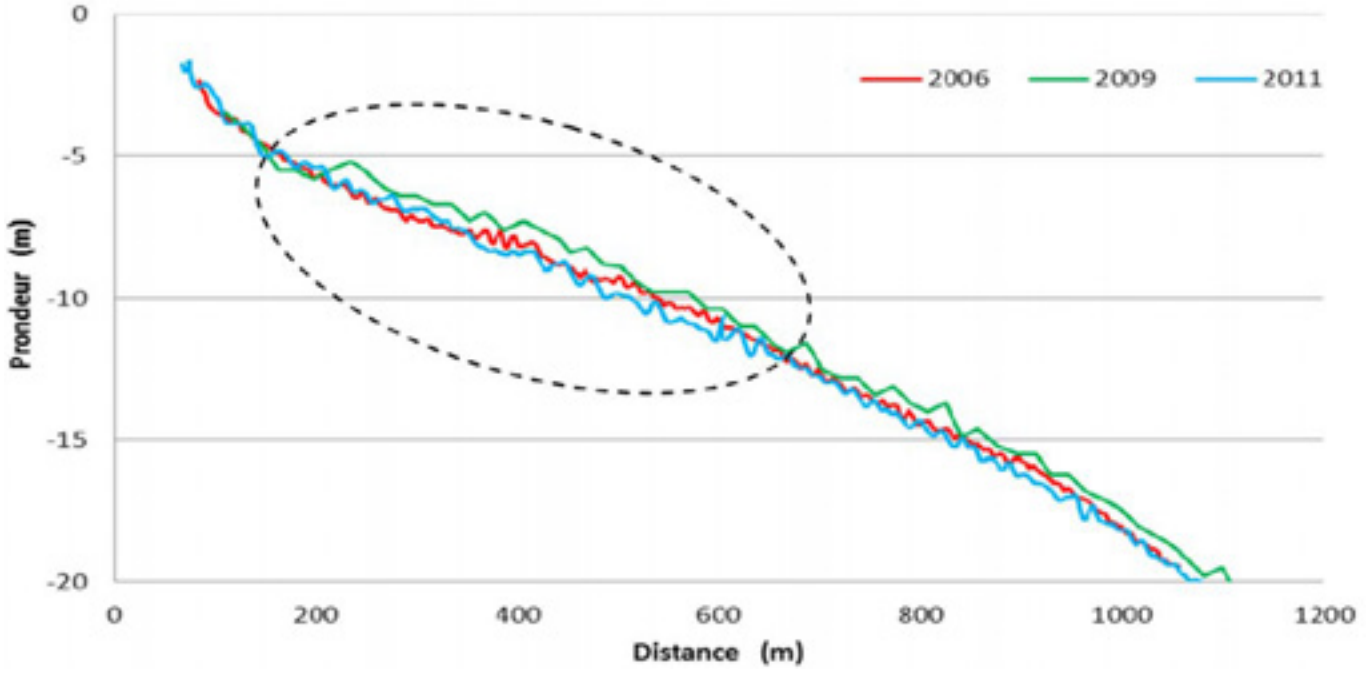
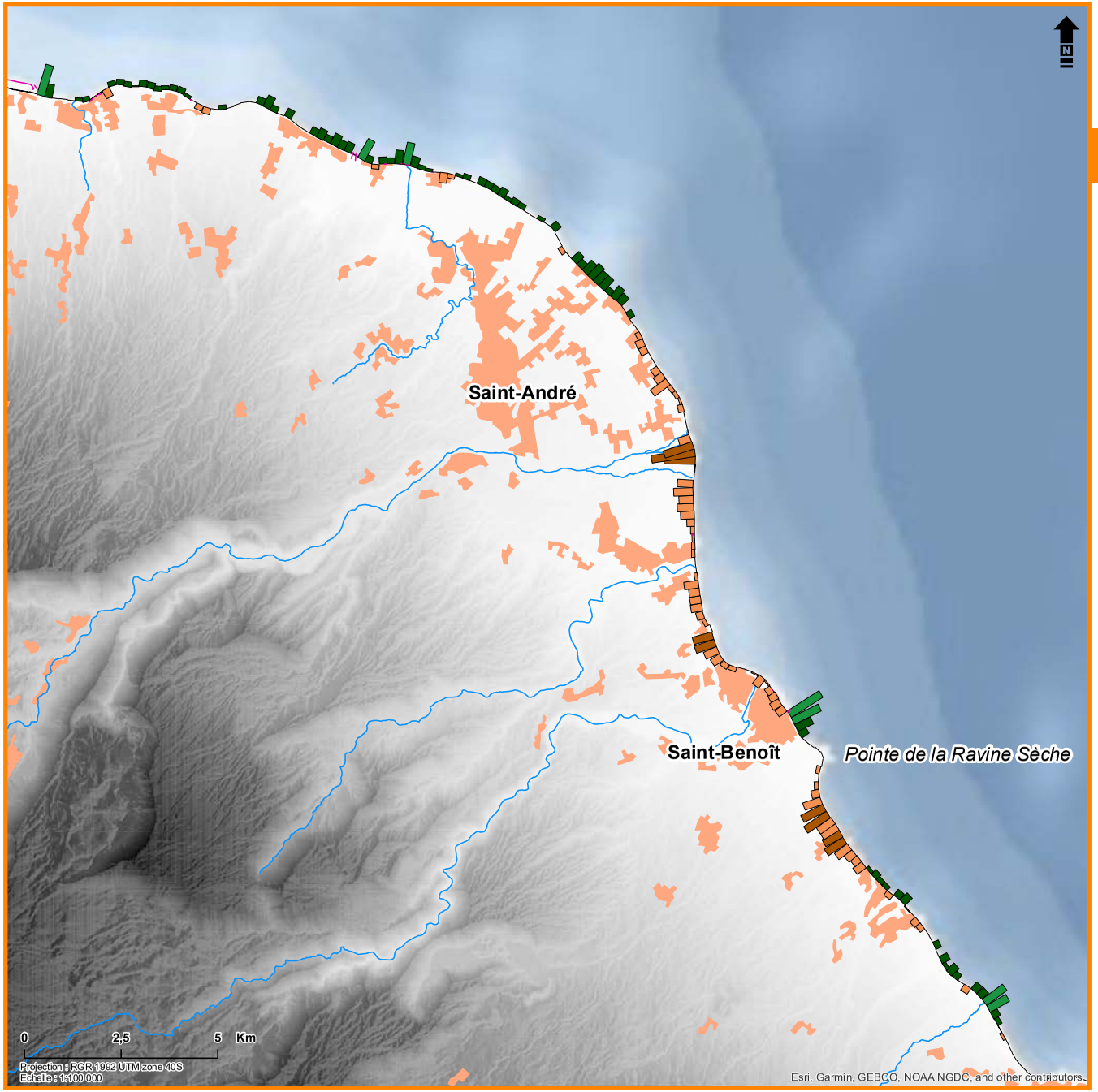


Figure 6.17 : Évolution du profil bathymétrique au pied des falaises de Sainte-Suzanne, au droit du Temple, entre 2006 et 2011 (De la Torre et al., 2012)

Figure 6.16 : A) Évolution passée du trait de côte de l'unité 2 de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018)



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Evolution passée du trait de côte

Réseau hydrographique permanent

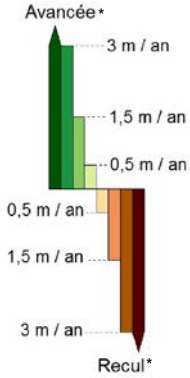
Bâti

Artificialisation

Ouvrage de défense et autre construction

* au delà de 3 m / an d'avancée ou de recul les barres respectives : et sont tronquées

Evolution du trait de côte en 58 ans entre 1950 et 2008.



Ces données sont issues de l'indicateur national de l'érosion côtière. Cet indicateur est basé sur les taux de l'évolution passée du trait de côte, observée sur orthophotographies entre deux dates éloignées de plusieurs décennies. Les prises de vues aériennes utilisées sont issues :

- Pour les plus anciennes, des archives traitées par l'Ifremer, de la BD -Ortho historique de l'IGN et du CRIGE PACA sur la période 1920-1955,
- Pour les plus récentes, de l'Orthol ittorale V2 et la BD -Ortho® IGN sur la période 2005-2012.

L'indicateur représente des tendances d'évolution pluriannuelles entre deux dates qui ne rendent pas nécessairement compte des dynamiques d'évolution au sein même de la période observée, ni des potentiels changements récents de dynamique. L'indi cateur n'est pas calculé lorsqu'un ouvrage se substitue au trait de côte naturel ; il ne remonte pas dans les estuaires et ne couvre généralement pas les extrémités des flèches sableuses.

Les taux d'évolution du trait de côte comportent une part d'incertit ude liée à l'orthorectification et au calage des photographies, à l'interprétation et à l'influence des ouvrages et aménagements côtiers.

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topopgraphie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Indicateur national de l'érosion côtière - Cerema & MEEM
Ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer) - Cerema & MEEM
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 6.16 : B) Évolution passée du trait de côte de l'unité 2 de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018)

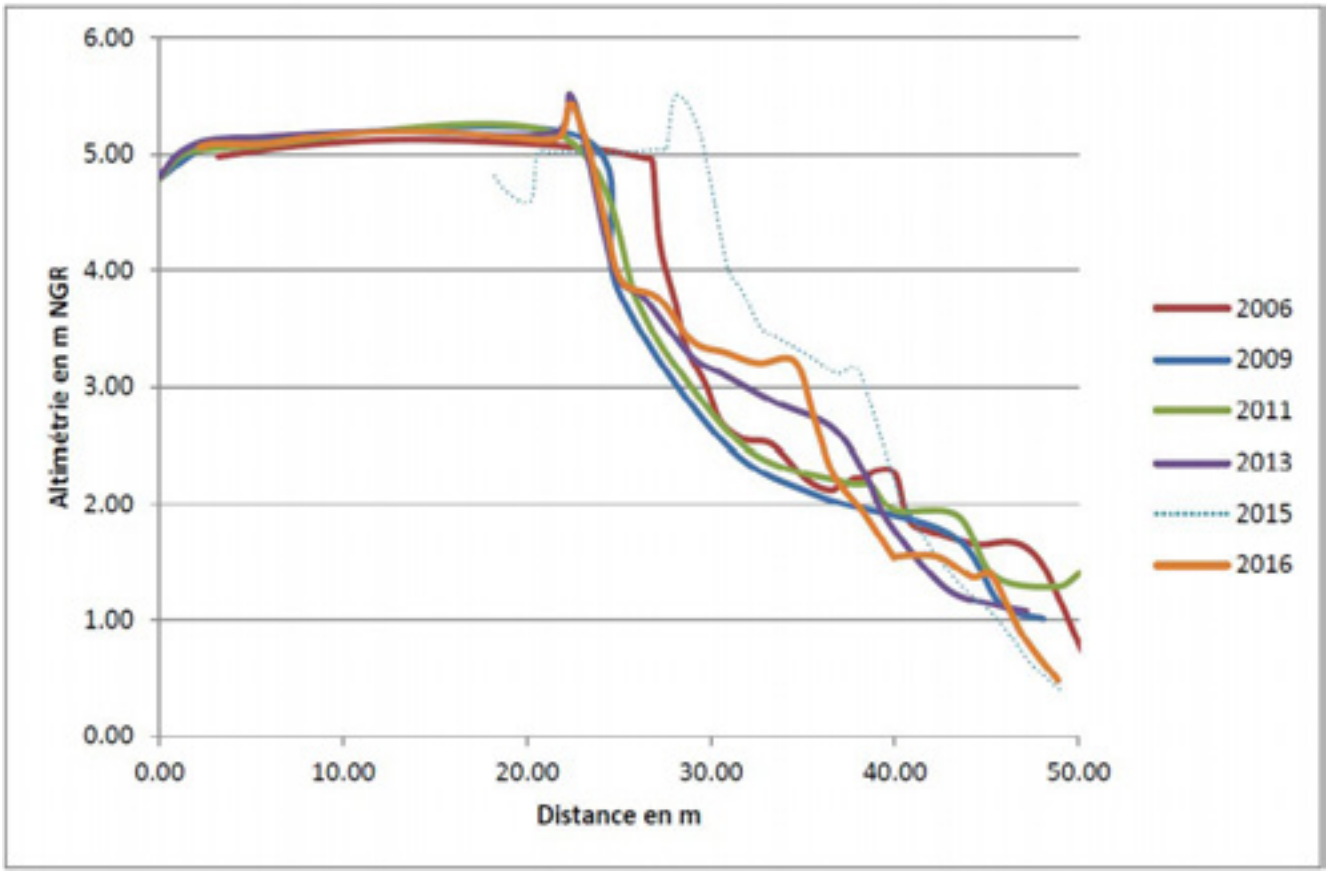


Figure 6.18 : Profils topographiques du site de Sainte-Suzanne (centre-ville) entre 2006 et 2016 (Belon, Salomero, 2017)

Suzanne souligne entre 2006 et 2009 un recul de la micro-falaise située en haut du cordon (Figure 6.18), probablement dû au cyclone Gamède de mars 2007. Depuis 2009, le cordon tend à se réengraisser avec la présence d'une berme culminant à +3,2 m. Durant la période 2009-2016, le cyclone Bejisa du 02/01/2014 n'a vraisemblablement pas eu d'impact sur ce secteur (Belon, Salomero, 2017).

En 2016, la plage de Sainte-Suzanne montre une avancée de quelques mètres du couvert végétal (*Ipomoea pes-caprae*) sur l'estran. D'un aspect général, la plage semble avoir gardé un profil semblable à celui de 2015. Cependant un léger abaissement du profil est constaté en partie nord-ouest du front de mer (Belon, Salomero, 2017).

Au niveau du restaurant « Beau Rivage », près du chemin **Champ-Borne** à **Saint-André**, un recul de 20 m s'est manifesté entre 1997 et 2003, suite au passage du cyclone Dina de 2002. Entre 2003 et 2008, un remblaiement établi sur le cordon de galets a accompagné une progradation de 35 m (De la Torre *et al.*, 2012). Comme à Sainte-Suzanne, un engraissement des petit-fonds s'est opéré après le passage du cyclone Gamède de 2007, mais un rééquilibrage s'est effectué jusqu'en 2011 pour revenir à un profil similaire à celui observé en 2006 (De la Torre *et al.*, 2012).

Depuis 2016 des apports anthropiques sont versés sur le haut du cordon sédimentaire que constitue le front de mer. Ce phénomène engendre une avancée du trait de côte, mais sans pour autant constituer une consolidation pérenne. En partie nord du cordon, le profil semble s'être élargi par rapport à 2015. L'évolution des profils topographiques entre 2013 et 2016 montre une avancée du trait de côte (Figure 6.19). Cela se traduit par une accrétion de plus de 8 m du talus de haut de plage. Le raidissement du profil de plage constaté a alors tendance à amplifier l'impact du jet de rive sur la partie supérieure du talus (Belon, Salomero, 2017).

Au niveau du **port de Saint-Benoît**, le trait de côte au sud de la digue du Butor s'est engraissé de +7 m entre 2003 et 2008, précédant son accrétion de +20 m observée entre 1966 et 2003. Cette accrétion met en évidence le rôle de blocage des sédiments qu'entraîne la jetée du Butor. Au nord, le cordon se retrouve en déficit sédimentaire. Une micro-falaise surmonte cette dernière portion et le substratum rocheux y est affleurant. Sur le bas de plage, les évolutions constatées depuis 2006 restent relativement faibles en raison de la faible quantité de sédiments présents sur site. Au nord de la digue, la plage a reculé de -6 m entre 2003 et 2008. Depuis 1997, la micro-falaise connaît une relative stabilité (De la Torre *et al.*, 2012).

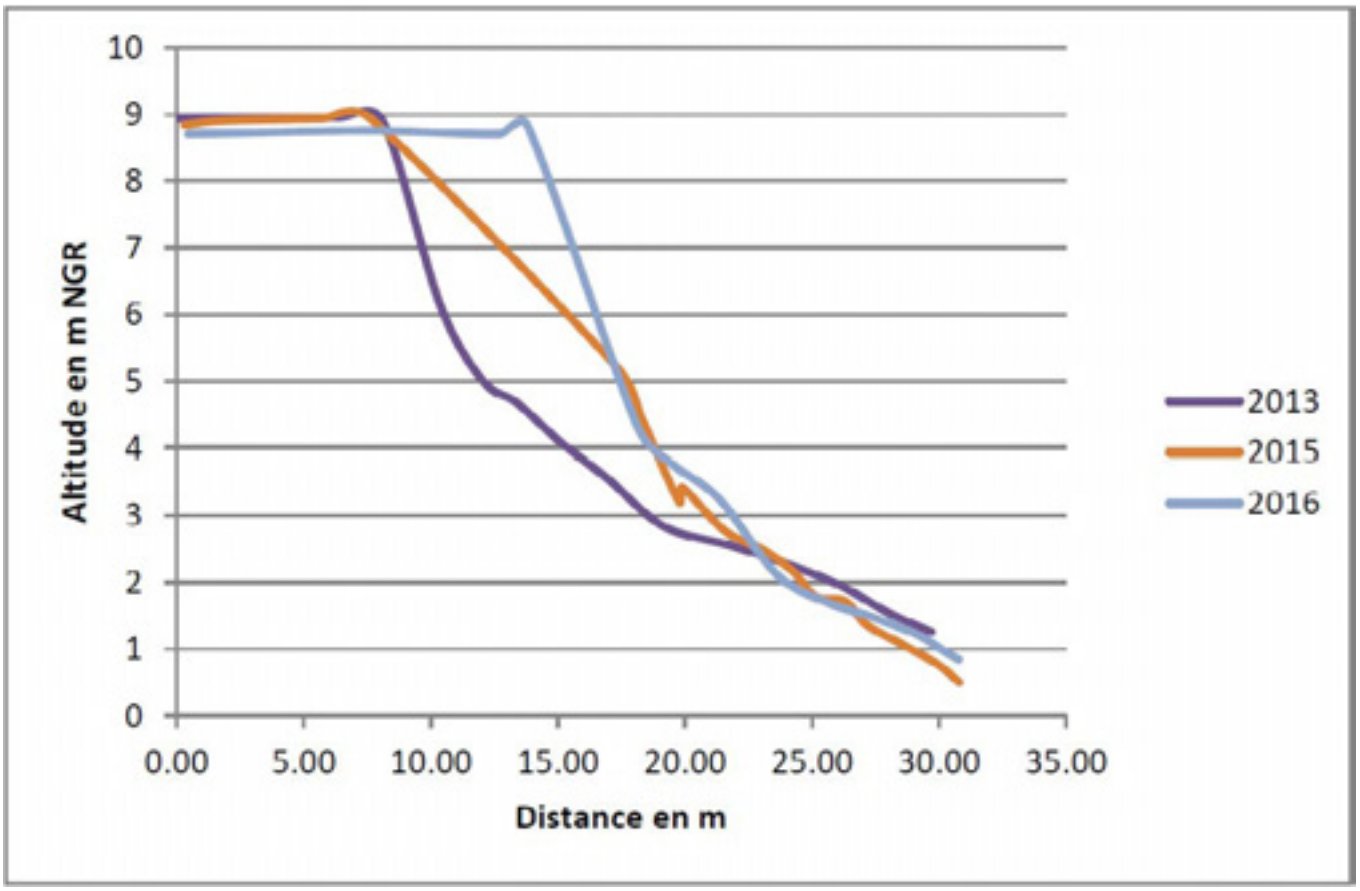


Figure 6.19 : Profils topographiques sur le site de Saint-André (Champ-Borne) entre 2013 et 2016 (Belon, Salomero, 2017)

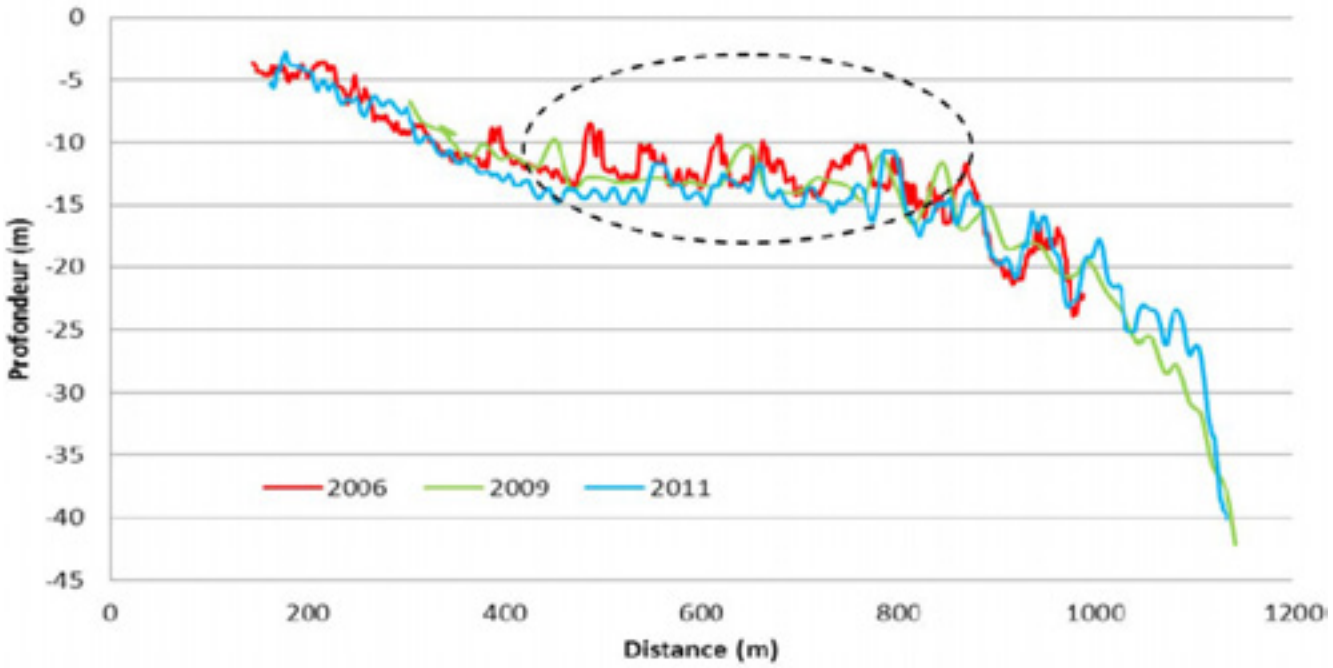


Figure 6.20 : Évolution du profil bathymétrique sud de la jetée du port du Butor (Saint-Benoît) entre 2006 et 2011 (De la Torre et al., 2012)

Au sud de la digue, le cordon s'engraisse avec une formation successive de bermes. En 2016, la première culmine à +6 m, la seconde aux alentours de +4,5 m. Ces formations n'avaient pas été observées depuis 2006. La détérioration de la houle contre la jetée paraît plus destructive en 2016 que les années précédentes (Belon, Salomero, 2017).

Dans la partie sous-marine, la pente est assez douce au sud de l'épi et caractérisée par des dépôts de sédiments entre -10 et -20 m, contrairement à la partie nord où celle-ci est beaucoup plus raide traduisant un large déficit sédimentaire (Figure 6.20 ; Figure 6.21) (De la Torre *et al.*, 2012).

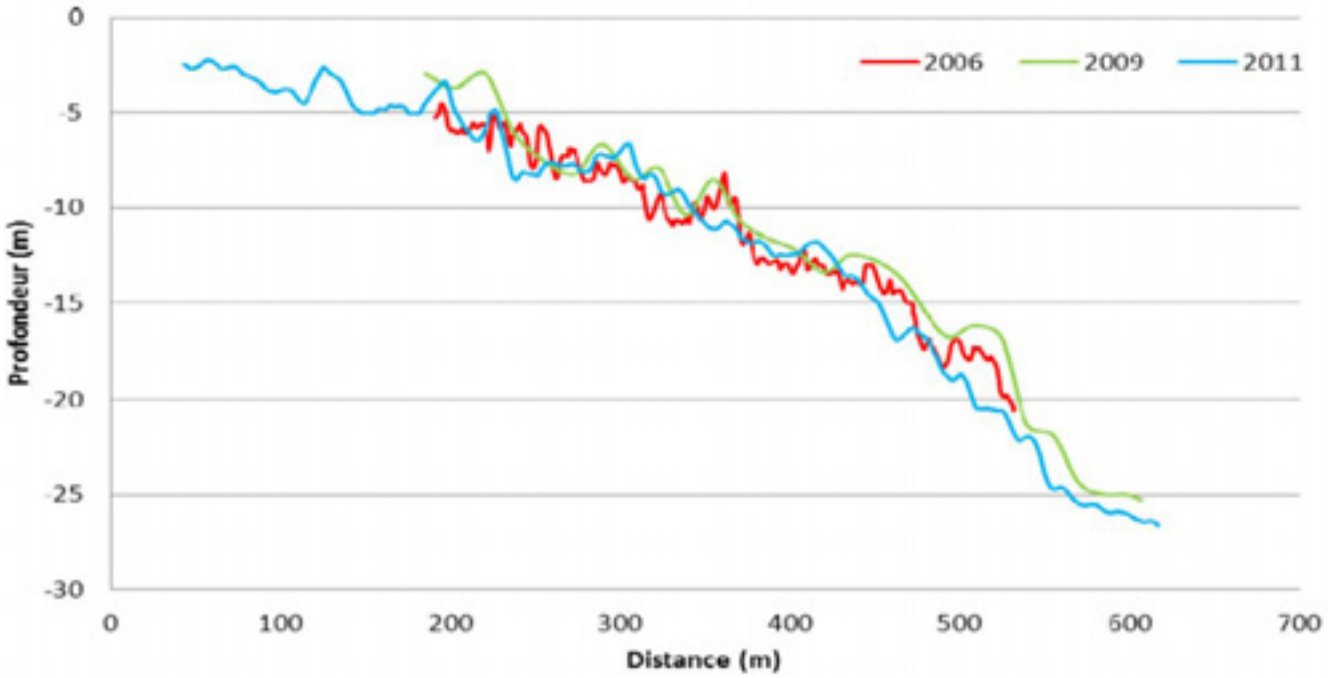


Figure 6.21 : Évolution du profil bathymétrique nord de la jetée du port du Butor (Saint-Benoît) entre 2006 et 2011 (De la Torre et al., 2012)

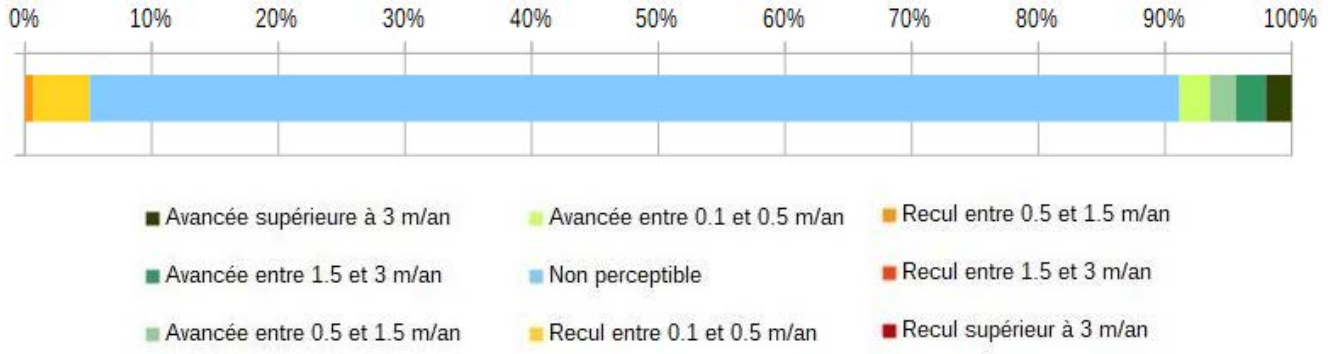


Figure 6.22 : Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'unité 3, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018)

Le tableau (Tableau 6.2) présente quelques valeurs moyennes pour l'évolution locale du trait de côte, extraites de différentes sources dont celle de l'indicateur national d'érosion côtière établi par le Cerema (2018). Les périodes d'évaluation diffèrent d'une source à l'autre (De la Torre *et al.*, 2012 ; Belon, Salomero, 2017 ; Cerema, 2018), elles traduisent notamment ici des évolutions passées.

6.1.3 Unité 3 : de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste

Pour l'**unité 3** de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste, la comparaison de la position du trait de côte s'est effectuée entre les orthophotographies de 1950 et 2008 disponibles sur chaque secteur de côte, pour une période totale de 58 ans (Cerema, 2018). Au sein du linéaire de rivage où une vitesse a pu être estimée (Figure 6.22) :

- 86,1 % de l'unité 3 montrent une évolution non perceptible par la méthode employée, soit inférieure en valeur absolue à 0,10 m/an ;
- 6,8 % sont en progression avec des avancées comprises entre +0,10 et +3,00 m/an ; 2,0 % présentent une vitesse supérieure à +3,00 m/an ;
- 5,1 % présentent un recul du trait de côte : 4,4 % avec un recul compris entre -0,10 et -0,50 m/an ; 0,7 % avec une vitesse intermédiaire entre -0,50 et -1,50 m/an.

6.1.3.a Évolution historique

Sur le secteur de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste, l'évolution du trait de côte n'est pas perceptible. Ce secteur côtier rocheux évolue principalement via les éruptions volcaniques du Piton de la Fournaise. Un pic d'accrétion de plus de +2,30 m/an est constaté à la pointe Lacroix entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018). Il est la conséquence d'une coulée de lave issue de l'éruption du volcan en mars 1977 (source : https://fournaise.info).

Entre le quai de la Rouville et le quai de la Vierge (**Sainte-Rose**), la tendance est à l'érosion avec une

Tableau 6.2 : Quantifications de l'évolution du littoral de l'unité 2 de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance (1-Cerema, 2018 ; 2-De la Torre et al., 2012 ; 3-Belon, Salomero, 2017)

Secteur	Période	Évolution du trait de côte	Quantification [1]
Falaises de Sainte-Suzanne	1950-2008	Pointe de la ravine des Chèvres : avancée	+0,15 m/an(1)
	1978-2003	Recul	-0,70 m/an(2)
Temple de Sainte-Suzanne	1966-2008	Avancée	+0,70 m/an(2)
	1950-2008	Pointe des Haziers : avancée	+0,20 m/an(1)
	1966-2016	Avancée	+0,70 m/an(3)
Centre-ville de Sainte-Suzanne	1950-2008	Exutoire de la rivière Sainte-Suzanne et Saint-Jean : avancée	+0,25 m/an(1)
	1966-2003	Stable	— (2)
	1966-1978	Recul	-0,80 m/an(2)
Saint-André	1950-2008	Bois-Rouge : recul	-0,20 m/an(1)
	1950-2008	De l'étang de Bois-Rouge au Petit-Étang : avancée	+0,15 m/an(1)
	1950-2008	Du Colosse à Champ-Borne : avancée	+0,30 m/an(1)
Champ-Borne	1978-1997	Avancée	+1,70 m/an(2)
	1997-2003	Recul	-3,30 m/an(2)
	2003-2008	Avancée	+7,00 m/an(2)
	2013-2016	Avancée	+2,50 m/an(3)
Embouchure Grand-Canal	1950-2008	Recul	-0,20 m/an(1)
Le Cœur-Saignant	1950-2008	Recul	-0,20 m/an(1)
Rive gauche de l'embouchure de la rivière du Mât	1950-2008	Recul	-0,80 m/an(1)
De la rivière du Mât à la rivière des Roches	1950-2008	Recul	-0,25 m/an(1)
Saint-Benoît	1950-2008	De la rivière des Roches à la pointe du Bourbier : recul	-0,20 m/an(1)
	1950-2008	De la pointe du Bourbier à la rive gauche de la rivière des Marsouins : recul	-0,30 m/an(1)
	1950-2008	Embouchure de la rivière des Marsouins : recul	-0,10 m/an(1)
	1950-2008	Rive droite de la rivière des Marsouins au Butor : recul	-0,20 m/an(1)
	2006-2016	Sud de la jetée du Butor : avancée	+ 1,50 m/an(3)
Port de Saint-Benoît	1950-2008	Nord de la digue : recul	-0,25 m/an(1)
	1966-2003	Nord de la digue : recul	-0,55 m/an(2)
	1950-2008	Sud de la digue : avancée	+0,60 m/an(1)
	1966-2003	Recul	-0,55 m/an(2)
	2003-2008	Nord de la digue : recul	-1,20 m/an(2)
	2003_2008	Sud de la digue : avancée	+3,30 m/an(2)
Micro-falaise de Saint-Benoît	1978-1997	Recul	-0,35 m/an(2)
Sainte-Anne (Saint-Benoît)	1950-2008	Avancée	+0,10 m/an(1)
	1950-2008	Sud ravine Sèche : recul	-0,75 m/an(1)
Petit Saint-Pierre (Saint-Benoît)	1950-2008	Recul	-0,15 m/an(1)
Ravine des Orangers (Saint-Benoît)	1950-2008	Avancée	+0,20 m/an(1)
Ravine de l'Est (Sainte-Rose)	1950-2008	Avancée	+0,25 m/an(1)

1| Il ne s'agit pas d'une mesure systématique du déplacement du trait de côte, car les données sont hétérogènes, la valeur indiquée traduit l'intensité de l'évolution du trait de côte.

moyenne de -0,35 m/an de 1950 à 2008 (Cerema, 2018). Cependant, deux accrétions se démarquent sur les pointes du quai de la Rouville et de la Vierge : respectivement +1,10 m/an et +1,50 m/an. Ce résultat est, là aussi, dû aux apports de laves du volcan attenant (Cerema, 2018).

L'évolution du trait de côte n'est pas perceptible entre 1950 et 2008 pour les communes de **Saint-Philippe**, de **Saint-Joseph** et de **Petite-Île**, jusqu'à l'est du cap Auguste (Cerema, 2018).

6.1.3.b Évolution récente

En 2016, les aménagements surplombant le trait de côte de Manapany-les-Bains (**Saint-Joseph**) ne semblent pas avoir été affectés par les phénomènes paroxysmiques qui impactent l'anse. Depuis 2013, ce linéaire côtier composé d'un cordon de galets et de blocs basaltiques semble garder un bon équilibre hydrosédimentaire par rapport aux années précédentes (Belon, Salomero, 2017).

Le tableau (Tableau 6.3) présente quelques valeurs moyennes pour l'évolution locale du trait de côte, extraites de différentes sources dont celle de l'indicateur national d'érosion côtière établi par le Cerema (2018). Les périodes d'évaluation traduisent notamment ici des évolutions passées.

6.1.4 Unité 4 : du cap Auguste à la pointe de l'Étang-Salé

Pour l'**unité 4** du cap Auguste à la pointe de l'Étang-Salé, la comparaison de la position du trait de côte s'est effectuée entre les orthophotographies de 1950 et 2008 disponibles sur chaque secteur de côte, pour une période totale de 58 ans (Cerema, 2018). Au sein du linéaire de rivage où une vitesse a pu être estimée (Figure 6.24) :

- 58,8 % de l'unité 4 montrent une évolution non perceptible par la méthode employée, soit inférieure en valeur absolue à 0,10 m/an ;
- 6,1 % sont en progression avec des avancées comprises entre +0,10 et +0,50 m/an ;
- 35,1 % présentent un recul du trait de côte : 17,5 % avec un recul compris entre -0,10 et -0,50 m/an ; 17,5 % avec une vitesse intermédiaire entre -0,50 et -1,50 m/an.

6.1.4.a Évolution historique

Sur la commune de **Petite-Île**, au niveau de la plage de **Grande Anse**, la partie nord de la plage affiche un recul de 15,9 m entre 1966 et 2003. Néanmoins, le recul est dégressif en allant vers le sud et atteint -10 m au centre, voire aucun recul au sud de la plage (De la Torre *et al.*, 2012). D'après l'indicateur du Cerema (2018), un léger recul inférieur à -0,10 m/an s'exprime à l'extrême nord-ouest de la plage de Grande Anse (au pied du cap de l'Abri).

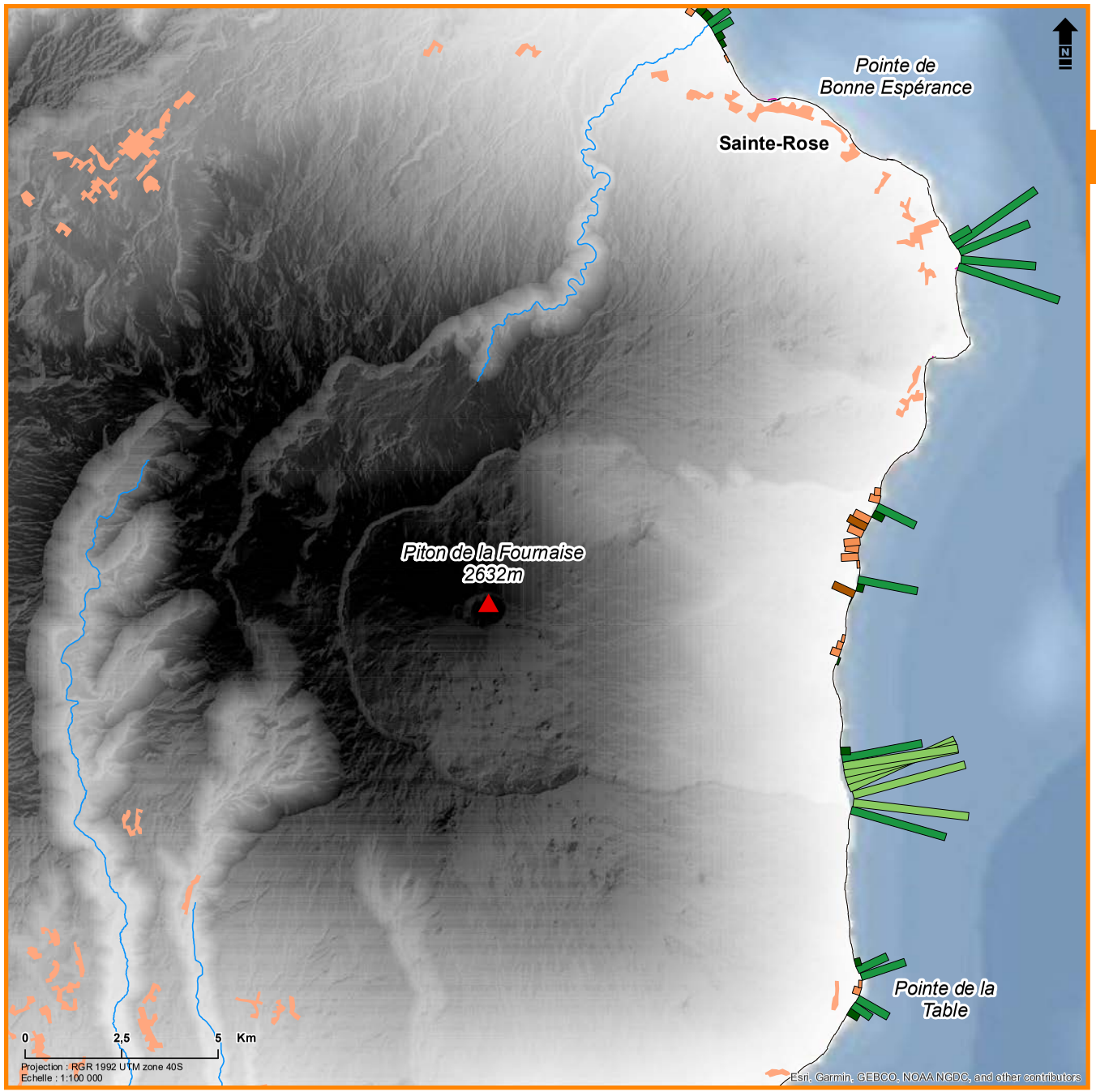
Au niveau de la **pointe du Diable** à **Saint-Pierre** (Figure 6.25), la falaise accuse un recul de 14 m à

Figure 6.24 : Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'unité 4, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018)

Tableau 6.3 : Quantifications de l'évolution du littoral de l'unité 3 de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste (1-Cerema, 2018)

Secteur	Période	Évolution du trait de côte	Quantification[1]
Pointe Lacroix (Sainte-Rose)	1950-2008	Avancée	+2,30 m/an(1)
Du quai de la Rouville au quai de la Vierge	1950-2008	Recul	-0,35 m/an(1)
Pointe du quai de la Rouville (Sainte-Rose)	1950-2008	Avancée	+1,10 m/an(1)
Pointe du quai de la Vierge (Saint-Philippe)	1950-2008	Avancée	+1,50 m/an(1)
Pointe du Tremblet (Saint-Philippe)	1950-2008	Avancée	+4,60 m/an(1)

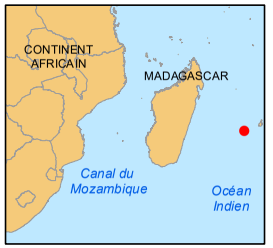
1| Il ne s'agit pas d'une mesure systématique du déplacement du trait de côte, car les données sont hétérogènes, la valeur indiquée traduit l'intensité de l'évolution du trait de côte.



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Evolution passée du trait de côte



Volcan

Réseau hydrographique permanent

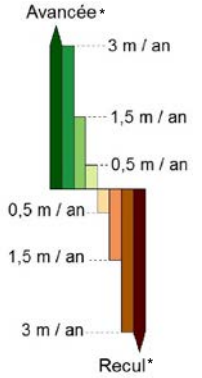
Bâti

Artificialisation

Ouvrage de défense et autre construction

* au delà de 3 m / an d'avancée ou de recul les barres respectives : et sont tronquées

Evolution du trait de côte en 58 ans entre 1950 et 2008.



Ces données sont issues de l'indicateur national de l'érosion côtière. Cet indicateur est basé sur les taux de l'évolution passée du trait de côte, observée sur orthophotographies entre deux dates éloignées de plusieurs décennies. Les prises de vues aériennes utilisées sont issues :

- Pour les plus anciennes, des archives traitées par l'Ifremer, de la BD -Ortho historique de l'IGN et du CRIGE PACA sur la période 1920-1955,
- Pour les plus récentes, de l'Ortholittorale V2 et la BD -Ortho® IGN sur la période 2005-2012.

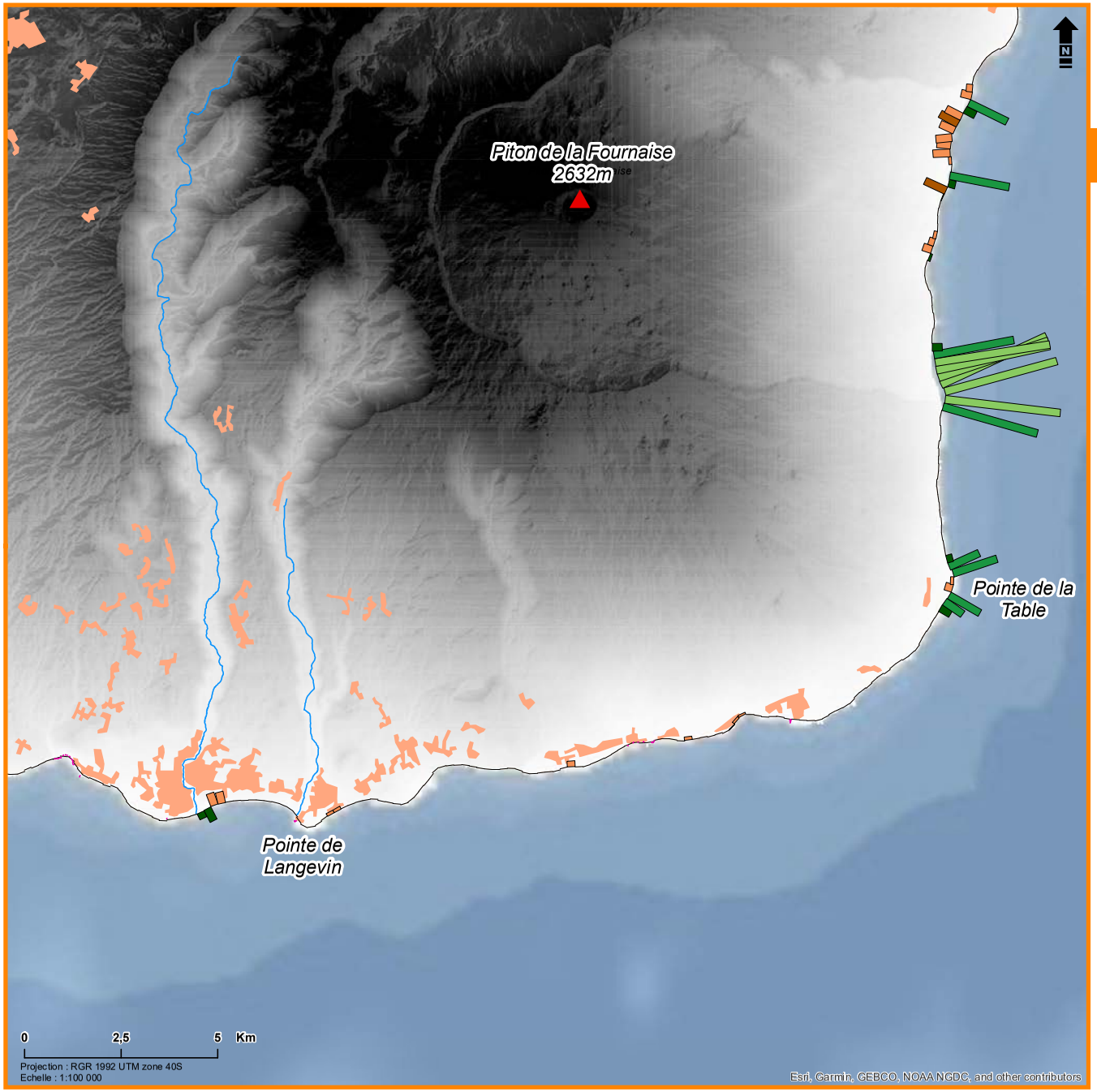
L'indicateur représente des tendances d'évolution pluriannuelles entre deux dates qui ne rendent pas nécessairement compte des dynamiques d'évolution au sein même de la période observée, ni des potentiels changements récents de dynamique. L'indi cateur n'est pas calculé lorsqu'un ouvrage se substitue au trait de côte naturel ; il ne remonte pas dans les estuaires et ne couvre généralement pas les extrémités des flèches sableuses.

Les taux d'évolution du trait de côte comportent une part d'incertit ude liée à l'orthorectification et au calage des photographies, à l'interprétation et à l'influence des ouvrages et aménagements côtiers.

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topopgraphie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Indicateur national de l'érosion côtière - Cerema & MEEM
Ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer) - Cerema & MEEM
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 6.23 : A) Évolution passée du trait de côte de l'unité 3 de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018)



Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Evolution passée du trait de côte

Volcan

Réseau hydrographique permanent

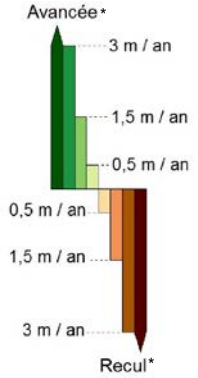
Bâti

Artificialisation

Ouvrage de défense et autre construction

* au delà de 3 m / an d'avancée ou de recul les barres respectives : et sont tronquées

Evolution du trait de côte en 58 ans entre 1950 et 2008.



Ces données sont issues de l'indicateur national de l'érosion côtière. Cet indicateur est basé sur les taux de l'évolution passée du trait de côte, observée sur orthophotographies entre deux dates éloignées de plusieurs décennies. Les prises de vues aériennes utilisées sont issues :

- Pour les plus anciennes, des archives traitées par l'Ifremer, de la BD -Ortho historique de l'IGN et du CRIGE PACA sur la période 1920-1955,
- Pour les plus récentes, de l'Ortholittorale V2 et la BD -Ortho® IGN sur la période 2005-2012.

L'indicateur représente des tendances d'évolution pluriannuelles entre deux dates qui ne rendent pas nécessairement compte des dynamiques d'évolution au sein même de la période observée, ni des potentiels changements récents de dynamique. L'indi cateur n'est pas calculé lorsqu'un ouvrage se substitue au trait de côte naturel ; il ne remonte pas dans les estuaires et ne couvre généralement pas les extrémités des flèches sableuses.

Les taux d'évolution du trait de côte comportent une part d'incertit ude liée à l'orthorectification et au calage des photographies, à l'interprétation et à l'influence des ouvrages et aménagements côtiers.

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topopgraphie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Indicateur national de l'érosion côtière - Cerema & MEEM
Ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer) - Cerema & MEEM
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 6.23 : B) Évolution passée du trait de côte de l'unité 3 de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018)

l'ouest et de 26 m au sud, entre 1966 et 2003 (De la Torre *et al.*, 2012).

Par le prisme d'une analyse diachronique des photographies aériennes de l'IGN entre 1950 et 1997, l'évolution du trait de côte du secteur de la plaine de la rivière Saint-Étienne a pu être analysé par Aubié *et al.* (2001). La photo-interprétation décrit cinq secteurs allant de la pointe du Diable (Saint-Pierre) à la roche des Oiseaux (l'Étang-Salé).

Dans le secteur du cap Rond (Saint-Pierre), le trait de côte fait état d'une avancée de +70 m entre 1950 et 1997. À l'ouest, entre l'exutoire de la ravine Sèche et la roche aux Oiseaux (l'Étang-Salé), un recul de -72 m est observé entre 1961 et 1997. Dans cette même dynamique, le cône de la rivière Saint-Étienne a subi lui aussi une érosion côtière de l'ordre de -47 m de 1950 à 1997. Entre 1961 et 1997, aucune modification du trait de côte est observée au niveau de la roche aux Oiseaux. Ce constat se répète entre l'exutoire de la ravine Sèche jusqu'au cône actif de la rivière Saint-Étienne ; de même pour le secteur délimité entre l'ancien cône de la rivière Saint-Étienne à la pointe du Diable (Aubié *et al.*, 2001).

D'après l'indicateur du Cerema (2018), le secteur côtier de Bel-Air, compris entre Saint-Pierre et la pointe de l'Étang-Salé est globalement en érosion selon un taux moyen de l'ordre de -0,40 m/an, entre 1950 et 2008.

6.1.4.b Évolution récente

La plage de **Grande Anse (Petit-Île)** est constituée de sédiments biodétritiques fournis par les récifs coralliens frangeants. D'aspect visuel, la plage ne semble pas montrer de changement substantiel depuis 2013. Cependant le *beachrock* affleure toujours, marquant une perte en sédiments, mais il ne semble pas avoir été impacté par les houles parfois très importantes dans ce secteur.

D'un point de vue topo-bathymétrique, deux profils ont été étudiés depuis 2006 par Belon et Salomero (2017). Le premier, situé au sud, montre un raidissement continu de la pente de la plage entre 2006 et 2016 (Figure 6.27). Une épaisseur de sable de l'ordre de +0,50 m s'est déposée sur près de 20 m de linéaire. Ce raidissement de profil trahit une exposition plus marquée aux évènements énergétiques et aux phénomènes d'érosion associés (Belon, Salomero, 2017). Là où la plage est protégée par le bassin de baignade, un recul de 9 m est observé entre 2003 et 2008, car le stock de sédiments est plus maigre et davantage impacté par l'influence des évènements tempétueux (De la Torre *et al.*, 2012). Entre 2009 et 2011, le trait de côte n'a guère évolué. En 2011, les observations de terrain permettent de discerner un recul qui n'est pas observable sur les photographies aériennes (Belon, Salomero, 2017).

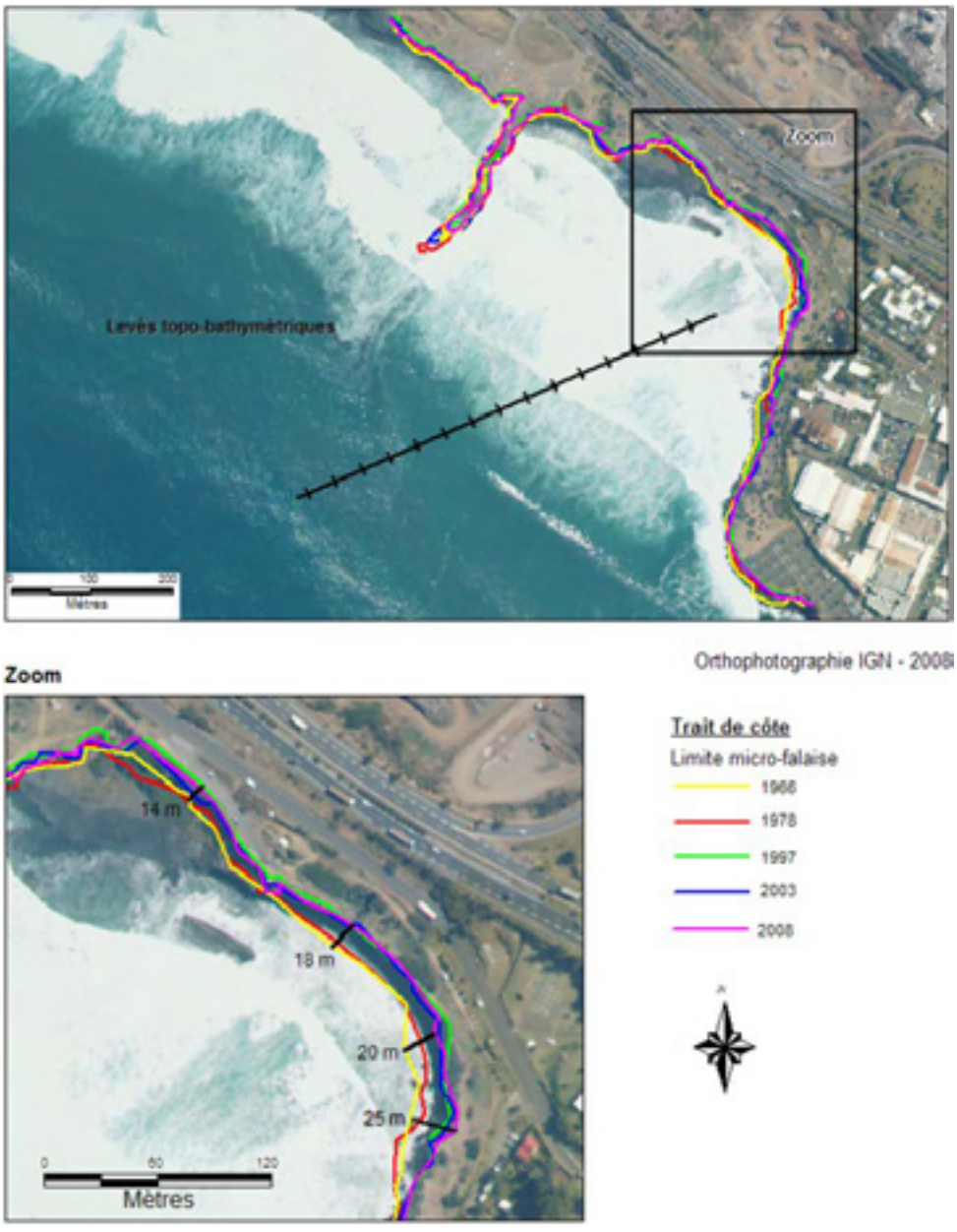


Figure 6.25 : Localisation du levé bathymétrique et des traits de côte de la pointe du Diable (Saint-Pierre) entre 1966 et 2008 (De la Torre et al., 2012)

Figure 6.26 : Évolution passée du trait de côte de l'unité 4 du cap Auguste à la pointe de l'Étang-Salé entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018)

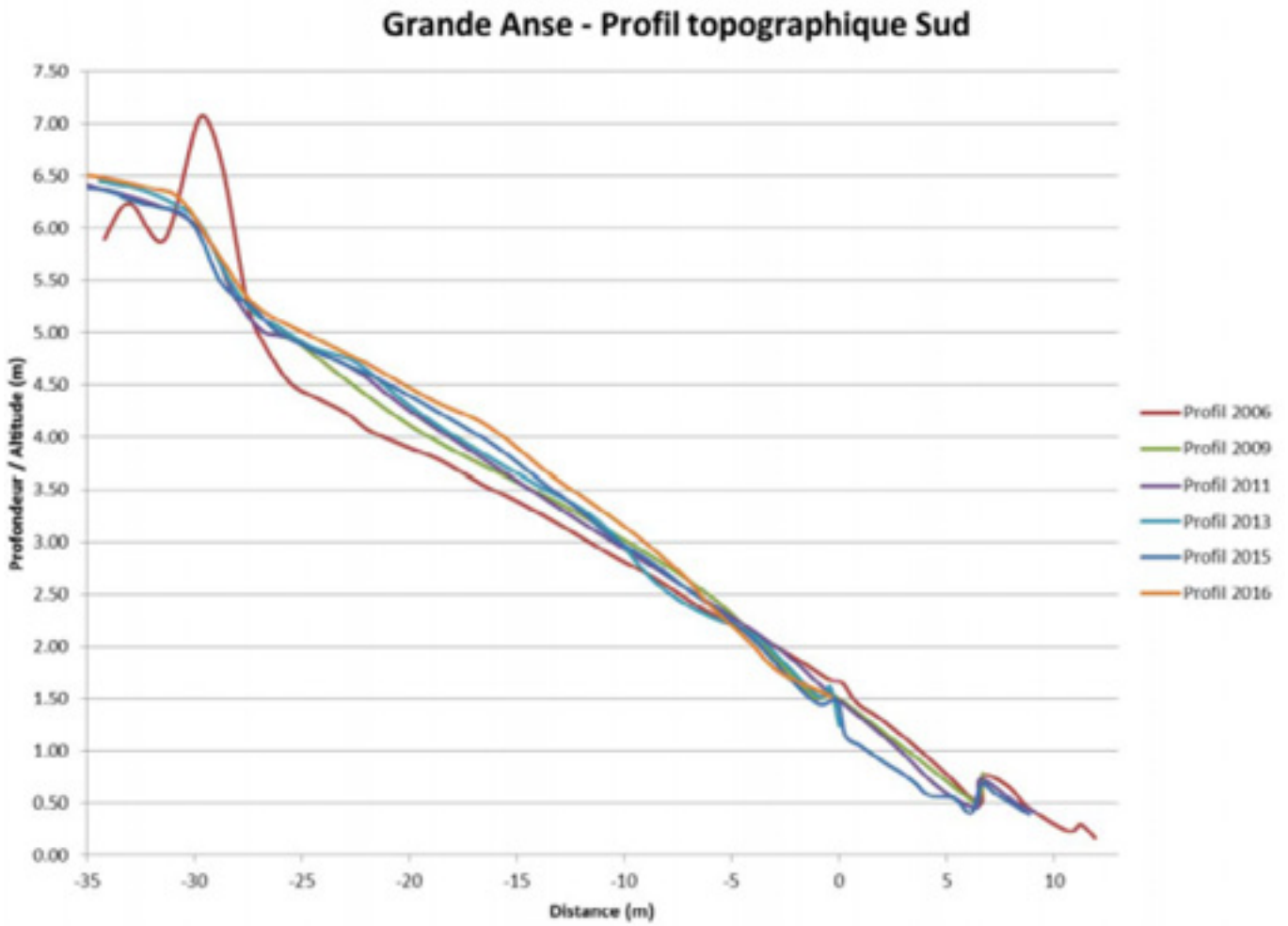


Figure 6.27 : Profils topographiques au sud de la plage de Grande Anse entre 2006 et 2016 (Belon, Salomero, 2017)

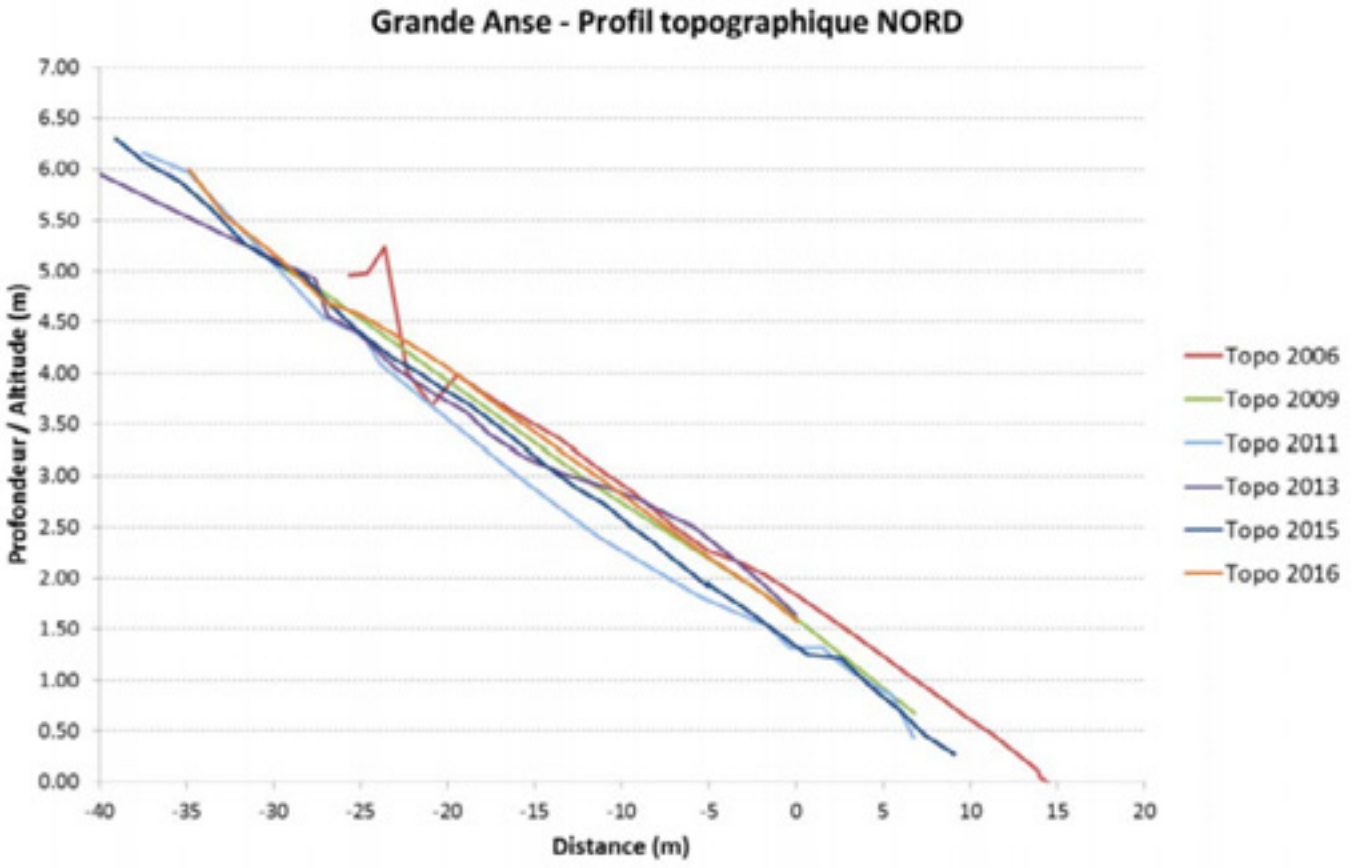


Figure 6.28 : Profils topographiques au nord de la plage de Grande Anse entre 2006 et 2016 (Belon, Salomero, 2017)

Le nord de Grande Anse a subi une érosion entre 2006 et 2011, avec une perte altimétrique de plus de -0,50 m sur la totalité de son profil (Figure 6.28). Cependant, un réengraissement est constaté jusqu'en 2016. Ces alternances entre érosion et accrétion montrent une relative résilience naturelle du profil. Ce dernier bénéficie certainement d'apports sédimentaires venant du sud de la plage. Néanmoins, le bas de profil ne retrouve pas sa position initiale de 2006. L'affleurement récent du *beachrock* montre une tendance érosive, cependant moins importante que dans le secteur sud. Globalement, la plage de Grande Anse est marquée par une tendance érosive qui se caractérise par un raidissement des deux profils topo-bathymétriques. Ce constat paraît plus important au sud du site et semble plus limité au nord (Belon, Salomero, 2017).

À **Saint-Pierre**, la plage de Grand Bois bénéficie d'un apport biodétritique en corail où le massif est attenant. Sa pente est relativement raide et des dalles de *beachrock* sont affleurantes sur l'ensemble du linéaire côtier. De plus, un recul accru de la végétation en haut de plage est observable entre 2013 et 2015 et cette dernière n'avait pas repris en 2016. Cet effet a tendance à rendre le haut de plage plus vulnérable aux impacts de jets de rive pendant les évènements tempétueux (Belon, Salomero, 2017).

Au niveau de la gendarmerie (centre-ville de Saint-Pierre), l'évolution de la plage est différente selon les secteurs étudiés : entre 1966 et 2003, les parties centrale et méridionale se sont élargies de +16 m, grâce à des opérations de rechargement anthropique régulières et sont en situation de stabilité entre 2008 et 2011. Un recul important est à noter devant les murs de protection mis en place dans les années 1950 au-devant des habitations longeant la plage de Saint-Pierre. En 2003, -13 m de recul sont constatés dans la partie ouest de la plage, ainsi qu'un retrait de -11 à -13 m à l'est de la zone aménagée. D'un point de vue global, les levés topographiques indiquent une tendance à l'érosion (Figure 6.29) : un abaissement et redressement régulier important du profil est constaté entre 2002 et 2011, soit une perte d'environ -2 m d'épaisseur de sédiments en bas du profil sur les dix dernières années (De la Torre *et al.*, 2012).

Depuis 2006, les relevés topographiques du BRGM, en complément des relevés antérieurs du LSTUR (Laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de la Réunion), montrent un profil assez raide de la plage de Saint-Pierre. Avant 2006, la pente observée était de 10 %, puis 14 % pour les années suivantes. À partir de 2011, le profil montre un taux d'élévation plus bas qui suggère une phase d'érosion. En 2016, le profil confirme cette tendance érosive étudiée entre 2011 et 2015. La partie subaquatique du profil présente une petite dépression située à -1,2 m qui laisse place à un platier sub-horizontal de grès de plage situé à environ -0,5 m. Ce platier est rehaussé d'une quarantaine de centimètres (Belon, Salomero, 2017).

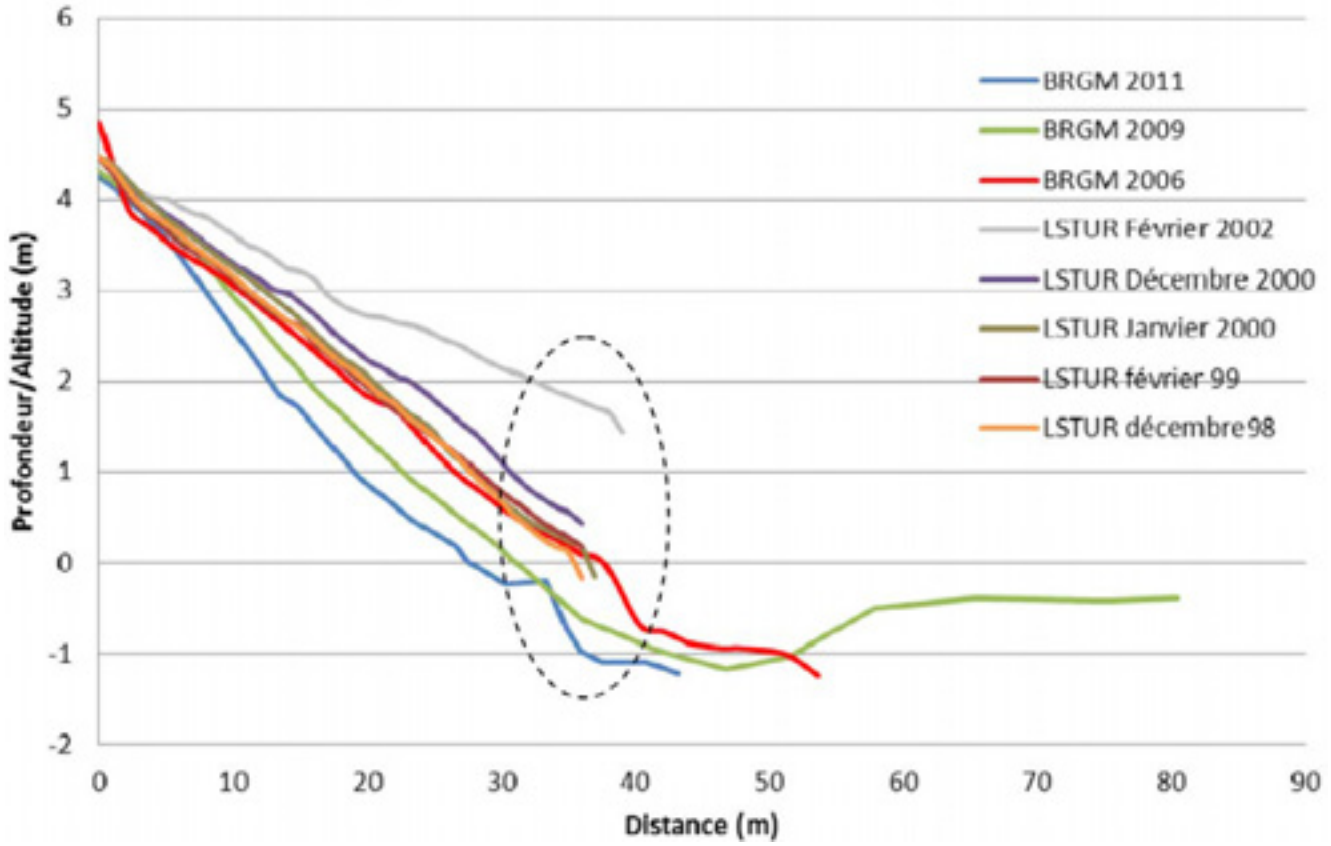


Figure 6.29 : Évolution du profil topo-bathymétrique de la plage de Saint-Pierre entre 1998 et 2011 (De la Torre et al., 2012)

Sur le flanc ouest du centre-ville de Saint-Pierre, la pointe de la Ravine Blanche fait face à une barrière récifale. Cette configuration permet de protéger cette avancée des houles australes. Malgré cela, une tendance à l'érosion est observée. Depuis 2013, le profil semble s'être abaissé et le *beachrock* effleure dans la partie nord-ouest. Néanmoins, le secteur ne semble pas évoluer de manière significative depuis cette date (Belon, Salomero, 2017).

Au niveau de la **pointe du Diable**, la tendance au recul est moins marquée entre 2003 et 2008 (De la Torre *et al.*, 2012). Au niveau de la partie sous-marine, le profil a une hauteur plus élevée en 2009 par rapport à 2006 et 2011. Ce constat est dû aux tempêtes australes de mai 2007 où les sédiments du pied de falaise ont migré vers la partie sous-marine (De la Torre *et al.*, 2012).

Plus tard, la pointe présente des cônes d'éboulements qui ont été constatés en 2015, mais ils ne semblent pas avoir évolué en 2016 (Figure 6.30). En revanche, la plage située en fond de baie laisse percevoir un recul de quelques mètres depuis 2013, accompagné d'une modification granulométrique depuis 2016. En effet, le sable fin a disparu depuis 2013 pour laisser place à des galets plus grossiers. Cette évolution décrit une érosion marquée de la plage. Le profil bathymétrique étudié dans la zone depuis 2006 montre peu d'évolution (± 1 m) (Belon, Salomero, 2017).

Au niveau de la micro-falaise surmontant la plage de Bel-Air (Saint-Louis), des effondrements sont observés localement, générant ainsi un recul du haut de talus. Ce phénomène engendre un risque élevé de submersion marine pour les aménagements situés en arrière, lors des phénomènes paroxysmiques. Depuis 2013, le profil de plage semble se raidir. Le recul constaté entre 2016 et 2017 peut être imputable dans sa majorité à l'impact des houles australes de juillet 2017 (Figure 6.31). En

Figure 6.31 : Évolution du haut de talus du littoral de Bel-Air entre mai 2016 et juillet 2017 (orthopho ©IGN 2012, Belon, Salomero, 2017)

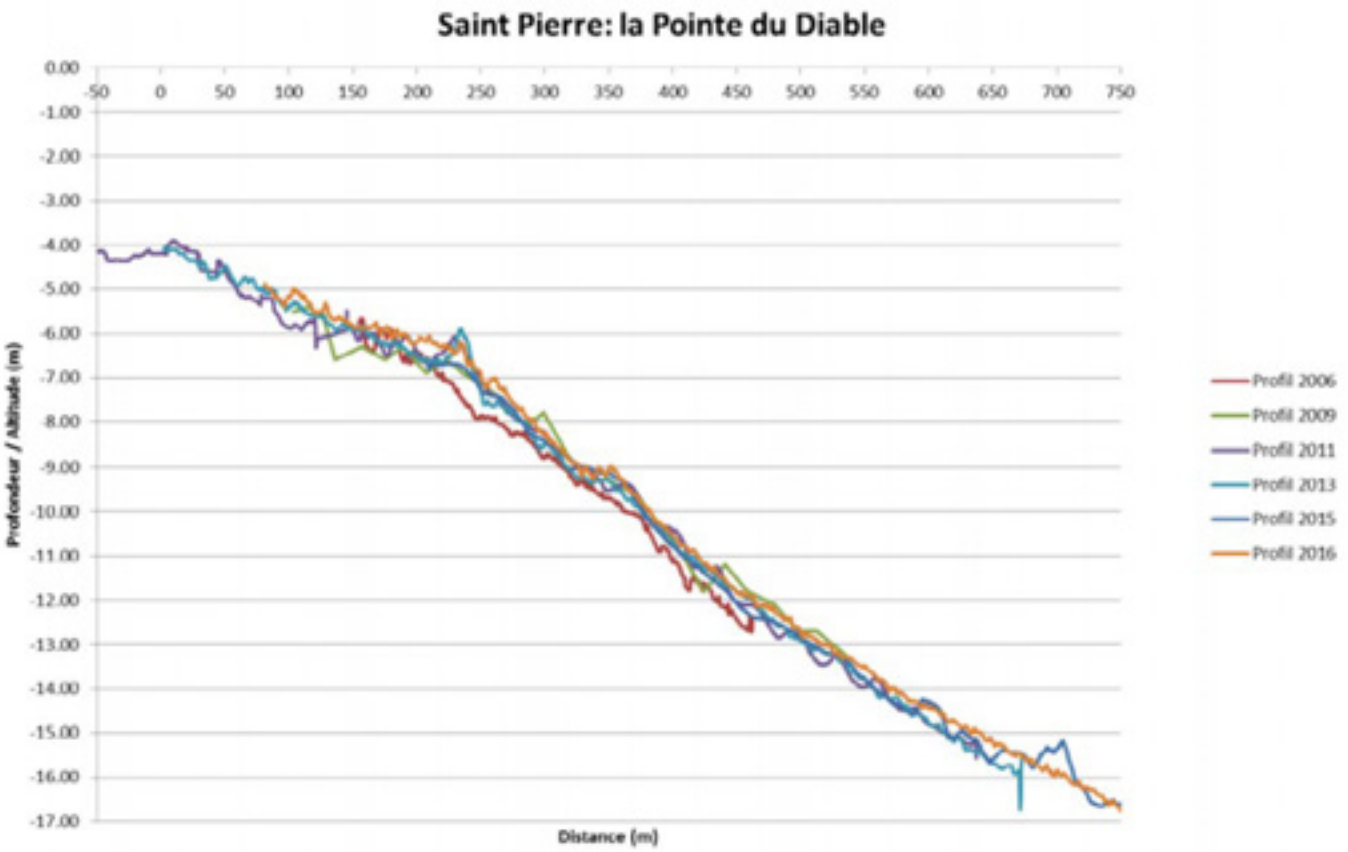


Figure 6.30 : Profils bathymétriques (localisation en Figure 6.25) du site de la pointe du Diable (Saint-Pierre) entre 2006 et 2016 (Belon, Salomero, 2017)

Tableau 6.4 : Quantifications de l'évolution du littoral de l'unité 4 (1-Cerema, 2018 ; 2-De la Torre et al., 2012 ; 3-Aubié et al., 2001)

Secteur	Période	Évolution du trait de côte	Quantification [1]
Plage de Grande Anse (Petite-Île)	1966-2003	Nord de la plage :recul	-0,40 m/an(2)
	1966-2003	Centre de la plage :recul	-0,25 m/an(2)
	2003-2008	Recul	-1,80 m/an(2)
	2009-2011	Stable	— (2)
Plage de Saint-Pierre	1966-2003	Centre et sud: avancée	+0,40 m/an(2)
Pointe du Diable (Saint-Pierre)	1966-2003	Ouest : recul	-0,35 m/an(2)
	1966-2003	Sud :recul	-0,55 m/an(2)
Cap Rond (Saint-Pierre)	1950-1997	Avancée	+70,00 m/an(3)
De la pointe du Diable à la rivière Saint-Étienne (Saint-Pierre)	1950-1997	Stable	—(3)
Cône de la rivière Saint-Étienne (Saint-Pierre)	1950-1997	Recul	-1,00 m/an(3)
De la rivière Saint-Étienne (Saint-Pierre) à la ravine Sèche (l'Étang-Salé)	1961-1997	Stable	—(3)
Roche aux Oiseaux (l'Étang-Salé)	1961-1997	Stable	—(3)
Ravine Sèche à la Roche aux Oiseaux (l'Étang-Salé)	1961-1997	Recul	-2,00 m/an(3)
De Saint-Pierre à l'Étang-Salé-les-Bains (secteur Bel-Air à Saint-Louis)	1950-2008	Recul	-0,40 m/an(1)

1| Il ne s'agit pas d'une mesure systématique du déplacement du trait de côte car les données sont hétérogènes, la valeur indiquée traduit l'intensité de l'évolution du trait de côte.

haut de talus, une érosion de 3 m est constatée par endroits (Belon, Salomero, 2017).

Le tableau (Tableau 6.4) présente quelques valeurs moyennes pour l'évolution locale du trait de côte, extraites de différentes sources dont celle de l'indicateur national d'érosion côtière établi par le Cerema (2018). Les périodes d'évaluation diffèrent d'une source à l'autre (Aubié *et al.*, 2001 ; De la Torre *et al.*, 2012 ; Cerema, 2018), elles traduisent notamment ici des évolutions passées.

6.1.5 Unité 5 : de la pointe de l'Étang-Salé au cap la Houssaye

Pour l'**unité 5** de la pointe de l'Étang-Salé au cap la Houssaye, la comparaison de la position du trait de côte s'est effectuée entre les orthophotographies de 1950 et 2008 disponibles sur chaque secteur de côte, pour une période totale de 58 ans (Cerema, 2018). Au sein du linéaire de rivage où une vitesse a pu être estimée (Figure 6.32) :

- 59,5 % de l'unité 5 montrent une évolution non perceptible par la méthode employée, soit inférieure en valeur absolue à 0,10 m/an ;
- 9,2 % sont en progression avec des avancées comprises entre +0,10 et +1,50 m/an ; dont 2,6 % avec une vitesse intermédiaire entre +0,50 et +1,50 m/an ;
- 31,4 % présentent un recul du trait de côte : 30,7 % avec un recul compris entre -0,10 et -0,50 m/an ; 0,7 % avec une vitesse intermédiaire entre -0,50 et -1,50 m/an.

6.1.5.a Évolution historique

Un recul régulier de -10 m concerne l'ensemble de la plage de l'Étang-Salé-les-Bains, au sein du bassin Pirogue, entre 1966 et 2003 (Figure 6.33). Plus

Figure 6.32 : Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'unité 5, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018)

précisément, un recul maximum de -15 m est observé dans la partie nord et de -17 m dans l'extrême sud (De la Torre *et al.*, 2012).

À l'inverse, les observations du Cerema (2018) comprises entre 1950 et 2008 font état d'une accrétion de la dite plage. L'avancée moyenne est de +0,20 m/an. Les extrémités nord et sud présentent des avancées similaires de +0,55 m/an. De même, une érosion de l'ordre de -0,50 à -1,50 m/an semble se manifester sur la côte longeant la Forêt Domaniale de la Côte-sous-le-Vent, au droit de la commune de l'Étang-Salé (Cerema, 2018).

Entre la pointe de la Bretagne et la pointe au Sel, dans la commune de Saint-Leu, un recul est observé. Selon l'indicateur du Cerema (2018), le retrait moyen est de -0,15 m/an de 1950 à 2008. Plus au nord, la plage située au sud du centre-ville présente elle aussi un recul moyen estimé à -0,20 m/an (Cerema, 2018).

Attenant à cette plage, l'exutoire de la ravine des Poux présente une avancée de la côte de l'ordre +0,15 m/an. Au nord du centre-ville, entre la ravine de la Fontaine et la ravine de la Chaloupe, le trait de côte s'est érodé d'environ -0,35 m/an. Ce même phénomène a aussi été relevé sur la rive gauche de l'exutoire de la ravine des Colimaçons, selon un taux moyen de -0,40 m/an entre 1950 et 2008. Enfin, sur la rive droite de la même ravine, un recul est aussi observé avec une moyenne de -0,10 m/an (Cerema, 2018).

Sur la commune des Trois-Bassins, entre la rive droite de l'embouchure de la Grande-Ravine et la passe des Trois-Bassins, une érosion de -0,35 m/an est observée pour la période comprise entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018).

La plage de l'Ermitage voit sa partie aérienne s'élargir entre 1966 et 2003 (De la Torre *et al.*, 2012). Dans l'ensemble le site paraît stable. Néanmoins, le haut de plage est érodé et reste vulnérable aux évènements extrêmes (cyclones ou houles australes). Elles peuvent générer des érosions significatives, à l'exemple des reculs causés par le cyclone Giovani en février 2011 au nord de l'île.

Dans la commune de Saint-Paul, entre la plage du Trou-d'Eau et l'école de voile de La-Saline-les-Bains, une accrétion moyenne de +0,15 m/an est observée entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018). Au cours de la même période, le trait de côte situé entre le village de vacances (rive gauche de la ravine de l'Ermitage) et la Villa-Bourbon, se trouve en érosion moyenne de -0,20 m/an. Partant de ce dernier point jusqu'à la digue des Chameaux, le trait de côte avance de

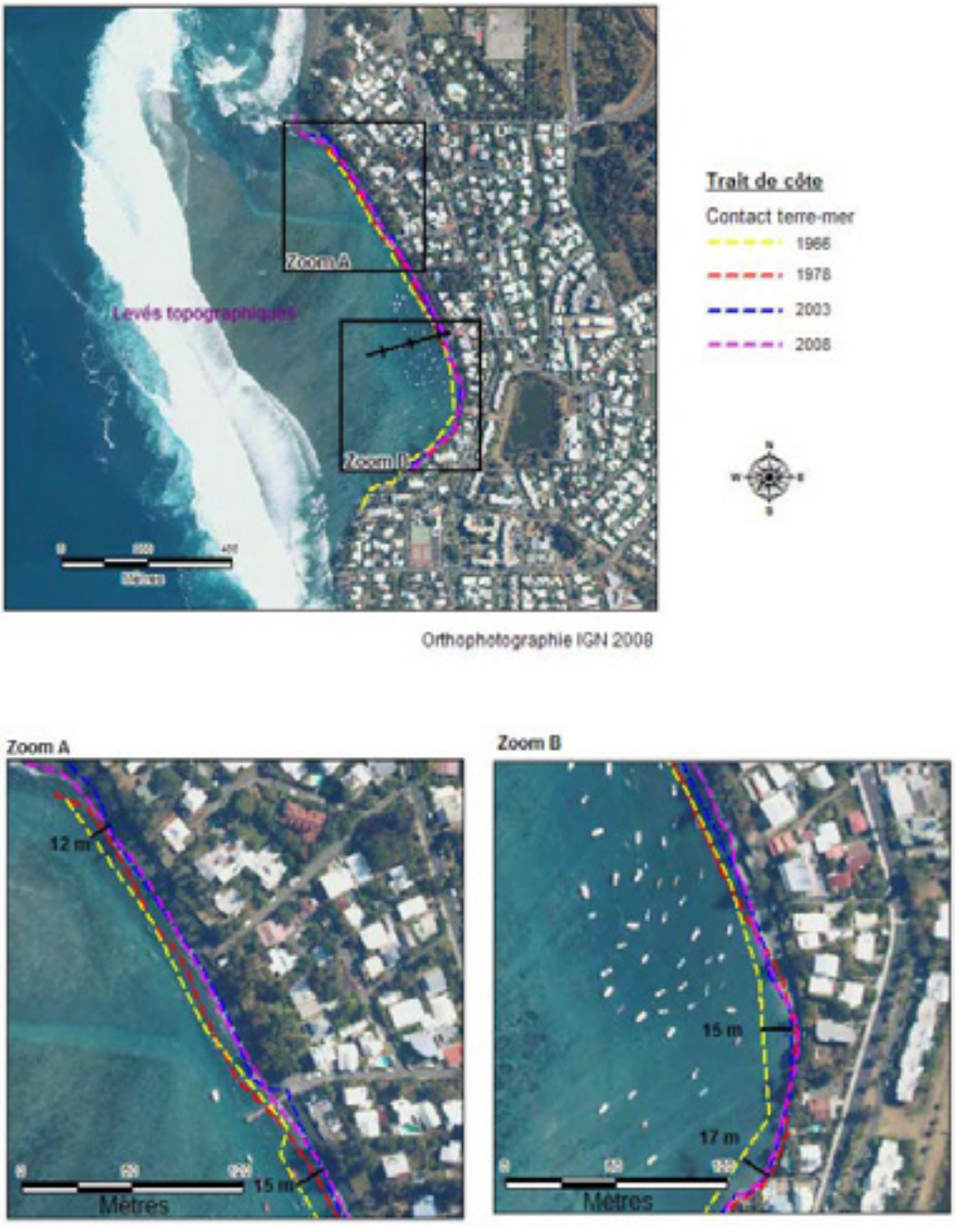


Figure 6.33 : Position des traits de côte du bassin Pirogue (l'Etang-Salé-les-Bains) entre 1966 et 2008 (De la Torre et al., 2012)

Ces données sont issues de l'indicateur national de l'érosion côtière. Cet indicateur est basé sur les taux de l'évolution passée du trait de côte, observée sur orthophotographies entre deux dates éloignées de plusieurs décennies. Les prises de vues aériennes utilisées sont issues :

- Pour les plus anciennes, des archives traitées par l'Ifremer, de la BD -Ortho historique de l'IGN et du CRIGE PACA sur la période 1920-1955.
- Pour les plus récentes, de l'Ortholittorale V2 et la BD -Ortho® IGN sur la période 2005-2012.

L'indicateur représente des tendances d'évolution pluriannuelles entre deux dates qui ne rendent pas nécessairement compte des dynamiques d'évolution au sein même de la période observée, ni des potentiels changements récents de dynamique. L'indicateur n'est pas calculé lorsqu'un ouvrage se substitue au trait de côte naturel : il ne remonte pas dans les estuaires et ne couvre généralement pas les extrémités des flèches sableuses.

Les taux d'évolution du trait de côte comportent une part d'incertitude liée à l'orthorectification et au calage des photographies, à l'interprétation et à l'influence des ouvrages et aménagements côtiers.

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Topographie - BDAlti® - ©IGN - Reproduction interdite
Indicateur national de l'érosion côtière - Cerema & MEEM
Ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer) - Cerema & MEEM
Réseau hydrographique - BDCarthage®
BDAdresse® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 6.34 : Évolution passée du trait de côte de l'unité 5 de la pointe de l'Étang-Salé au cap la Houssaye entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018)

+0,15 à +0,75 m/an au cours de la période 1950-2008 (Cerema, 2018).

Sur le littoral de Saint-Gilles, la tendance à l'érosion entre 1950 et 2008 s'exprime de l'ordre de -0,5 m/an, notamment entre les rochers des Trois Chameaux et le cap la Houssaye, où la zone est fortement urbanisée. L'érosion est un peu plus marquée (entre -0,50 et -1,00 m/an) au niveau de la plage des Roches Noires, en aval-dérive de l'exutoire de la ravine Saint-Gilles. Parallèlement, une accrétion est observée sur la plage des Brisants de l'ordre de +0,5 à +1,5 m/an, en amont-dérive de l'exutoire de la ravine (Cerema, 2018).

Au nord de la plage des Roches Noires, l'érosion s'exprime de l'ordre de -0,70 m/an, entre 1950 et 2008. Cette tendance érosive est perceptible sur l'ensemble du trait de côte jusqu'à l'anse des Eaux-Blanches, située à 600 m en amont du cap la Houssaye (Cerema, 2018).

6.1.5.b Évolution récente

Entre 2003 et 2008, le recul de la plage de l'Étang-Salé-les-Bains tend à s'atténuer avec des variations de l'ordre de 5 m. Les levés topographiques du BRGM (**Figure 6.35**) attestent d'une légère accrétion du secteur à partir de 2006 (De la Torre *et al.*, 2012).

Dans la partie sous-marine (entre -1 et -2 m de profondeur), un comblement du chenal d'accès au bassin Pirogue se distingue entre 2006 et 2011. Une accumulation sédimentaire s'établit au contact du récif frangeant (De la Torre *et al.*, 2012).

Le secteur reste relativement stable d'un point de vue sédimentaire. En 2006, la présence d'une petite fosse située à 80 m du début du profil ne se retrouve pas les années suivantes. Il est possible que cette dernière se soit décalée planimétriquement d'une dizaine de mètres par rapport aux années précédentes. Aucune évolution remarquable n'est identifiée dans le bassin Pirogue depuis 2013. Cependant, un léger recul a été constaté dans la partie nord-ouest de la plage (Belon, Salomero, 2017).

Depuis 2013, la plage de la Souris Blanche, au sein de la commune des Trois-Bassins, bénéficie d'un suivi d'observation paysager par le BRGM (Belon, Salomero, 2017). La végétation en haut de plage (*Ipomoea pes-caprae*) a disparu. Un abaissement décimétrique du profil de plage a été constaté, notamment au niveau des aménagements situés en haut de plage.

Au sud du port de Saint-Leu, la plage est soumise à la protection du récif corallien. Par conséquent, cette dernière n'a subi aucune évolution récente. Néanmoins,

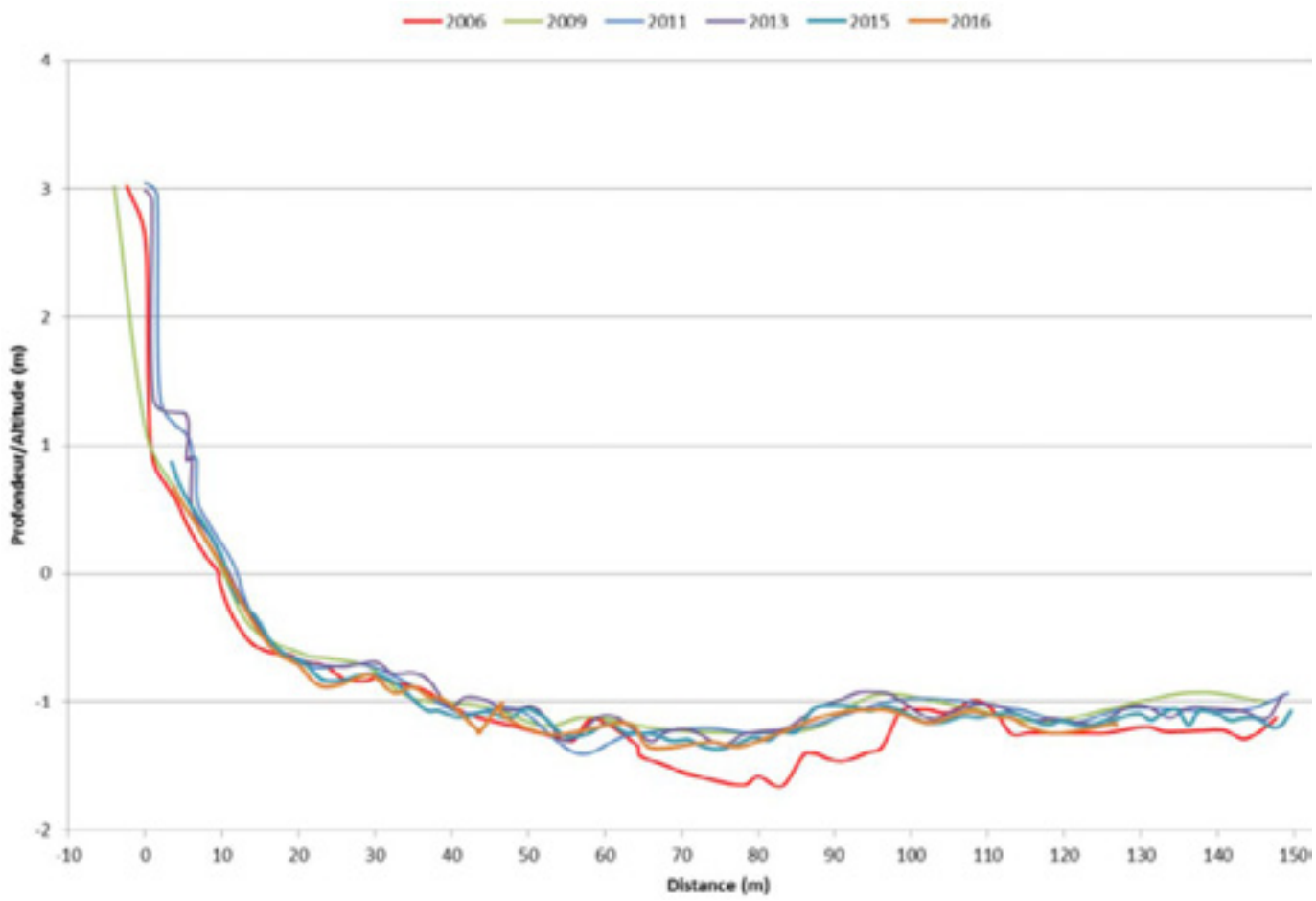


Figure 6.35 : Profils topographiques du site du bassin Pirogue (l'Etang-Salé-les-Bains) entre 2006 et 2016 (Belon, Salomero, 2017)

en raison du profil bas de la plage les aménagements restent toujours soumis au risque de submersion marine en cas de cyclone (Belon, Salomero, 2017).

Au droit de la plage de l'Ermitage, l'estran tend à s'amincir entre 2003 et 2008, avec un recul du trait de côte de -18 m dans la partie nord de la plage. À partir de 2006, un transfert de sédiments du haut de plage vers la partie immergée est constaté (Figure 6.36). L'abaissement des petits fonds observé en 2009 semble être attribué au cyclone tropical intense Gaël qui était passé à l'ouest de La Réunion (Belon, Salomero, 2017).

Entre 2009 et 2011, peu d'évolution apparaît sur le secteur, sauf pour le haut de plage où la pente s'adoucit et tend vers un léger reprofilage. En revanche, des observations de terrain montrent une tendance à l'érosion en haut de plage (De la Torre *et al.*, 2012).

Une compilation de données, réalisée depuis 1999 par le LSTUR et associée aux données du BRGM depuis 2006, a permis d'étudier le profil de la plage en face de la passe de l'Ermitage (Figure 6.37). Si les évolutions altimétriques du bas de plage restent dans une gamme d'évolution interannuelle de l'ordre d'une cinquantaine de centimètres, le haut de plage subit une érosion accrue de -1 m entre 2013 et 2017. D'un point de vue paysager, les observations entre 2013 et 2016 soulignent une phase de « reprofilage » vers le sud-est de la plage (Belon, Salomero, 2017).

Sur la plage de Boucan-Canot (Saint-Paul) entre 2013 et 2016, un engraissement général est observé. Ce

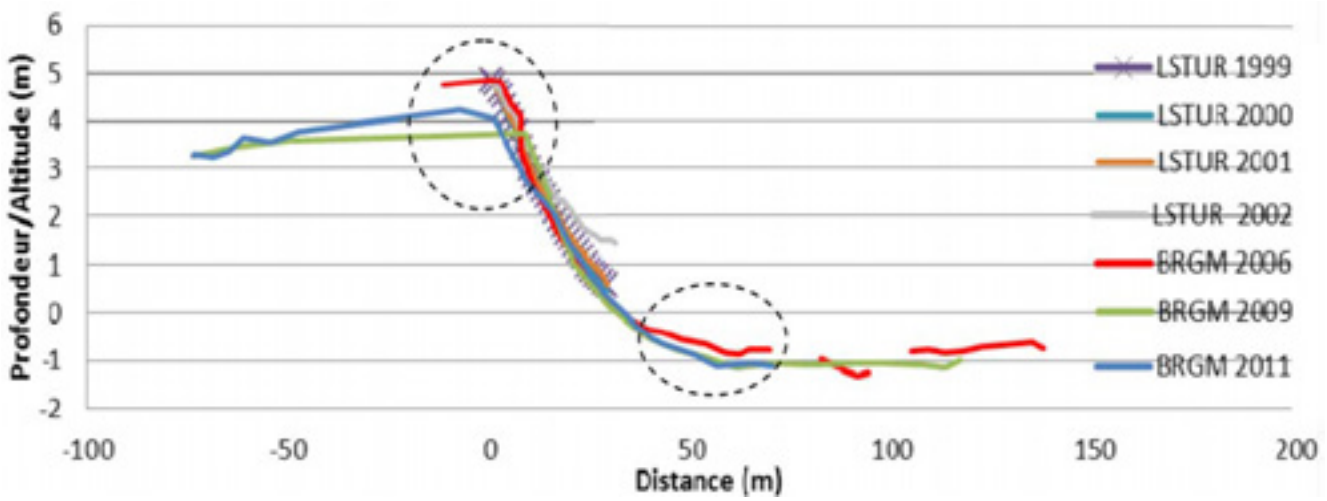


Figure 6.36 : Évolution du profil topo-bathymétrique de la plage de l'Ermitage entre 1999 et 2011 (De la Torre et al.. 2012)

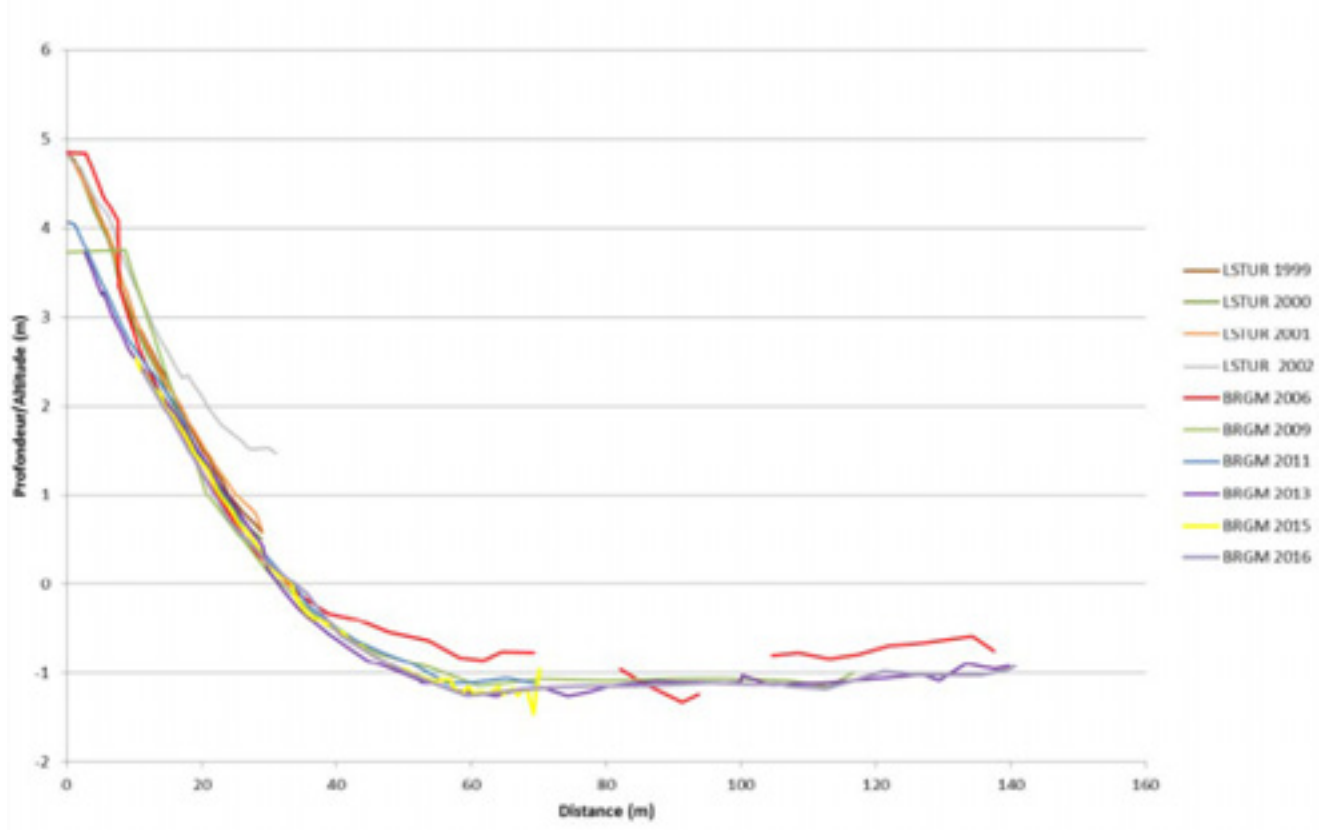


Figure 6.37 : Profils topographiques du site de la plage en face de la passe de l'Ermitage (Saint-Paul) entre 1999 et 2016 (Belon, Salomero, 2017)

Tableau 6.5 : Quantifications de l'évolution du littoral de l'unité 5 de la pointe de l'Étang-Salé au cap la Houssaye (1-Cerema, 2018 ; 2-De la Torre et al., 2012 ; 3-Belon, Salomero, 2017)

Secteur	Période	Evolution du trait de côte	Quantification [1]
Plage de l'Étang-Salé-les-Bains	1950-2008	Avancée	+0,20 m/an(1)
	1966-2003	Recul	-0,35 m/an(2)
	1966-2003	Nord de la plage : recul	-0,40 m/an(2)
	1966-2003	Sud de la plage : recul	-0,45 m/an(2)
Forêt Domaniale de la Côte-sous-le-Vent	1950-2008	Recul	-0,10 m/an(1)
Pointe de la Bretagne (Saint-leu)	1950-2008	Recul	-0,15 m/an(1)
Pointe au Sel (Saint-leu)	1950-2008	Recul	-0,15 m/an(1)
De la pointe au Sel à la pointe des Châteaux (Saint-Leu)	1950-2008	Recul	-0,20 m/an(1)
Les-Trois-Bassins	1950-2008	Recul	-0,20 m/an(1)
La-Saline-les-Bains (Saint-Paul)	1950-2008	Avancée	+0,15 m/an(1)
Plage de l'Ermitage (Saint-Paul)	1950-2008	Recul	-0,20 m/an(1)
	1966-2003	Avancée	—(2)
	2003-2008	Nord de la plage : recul	-3,60 m/an(3)
	2013-2017	Passe : recul	-0,25 m/an(3)
Saint-Gilles-les-Bains (Saint-Paul)	1950-2008	Sud du port : avancée	+0,50 m/an(1)
Du nord de la plage des Roches Noires à Boucan-Canot (Saint-Paul)	1950-2008	Recul	-0,70 m/an(1)

1| Il ne s'agit pas d'une mesure systématique du déplacement du trait de côte car les données sont hétérogènes, la valeur indiquée traduit l'intensité de l'évolution du trait de côte.

Tableau 6.6 : Synthèse des évolutions du trait de côte et des fonds d'après les analyses du BRGM portées sur douze sites sensibles (d'après De la Torre et al., 2012) [1]

SITES	ÉVOLUTION PLURIDECENNALE (1966 à 2008)	ÉVOLUTION RÉCENTE (2006 à 2011)
Saint-Paul (Baie)	Bonne résilience de la plage mais recul de la micro-falaise : -20 m entre 2003 et 2008 (cyclone Gamède)	Rechargement naturel de la plage aérienne en 2011 : +2 m d'épaisseur localement
Le Port (Pointe des Galets)	- Recul régulier de la pointe : -170 m - Érosion moins forte sur la partie orientale	- Recul inquiétant des buttes de remblais (-15 m après Gamède) qui alimentent encore les pertes de la plage - Dégradation des ouvrages de défense du Port-Ouest
Saint-Denis (Boulevard Lancastel)	- Équilibre du cordon de galet alimenté par la dérive littorale est-ouest - Recul de la micro-falaise (-20 m)	Stabilisation entre 2009 et 2011 mais pas de retour à l'état initial de 2006
Sainte-Suzanne Falaises (Temple)	- Recul des falaises depuis 1966 (-18 m) - Progradation de la micro-falaise de remblais (+30 m)	Espace gagné artificiellement sur la mer depuis 2003 (+18 m)
Sainte-Suzanne Centre-ville	- Cordon de galet en équilibre - Recul général de la micro-falaise compensé par des remblayages	Stabilisation entre 2009 et 2011 mais pas de retour à l'état initial de 2006
Saint-André (Champ Borne)	Progradation de la micro-falaise par des opérations de remblayage	Espace gagné artificiellement sur la mer entre 2003 et 2008 (+35 m)
Saint-Benoît (Butor)	Impact de la jetée du port : - progradation au sud (+20 m) - érosion au nord (-20 m)	- Accumulation de +2 m d'épaisseur de galets au sud de la jetée du Butor - Ralentissement du recul au nord
Petite-Île (Grande Anse)	Recul du haut de plage (-16 m)	Largeur de la plage aérienne stable mais perte d'épaisseur au nord (jusqu'à -1 m en haut de plage)
Saint-Pierre (Plage)	- Érosion, voire disparition totale, de certaines portions de plage (localement -13 m de recul) - Progradation de +16 m liée à des rechargements artificiels	Amincissement (-2 m) : perte d'épaisseur de sable dans le secteur de la gendarmerie notamment
Saint-Pierre (Petite Baie)	Recul lent mais inexorable de la falaise (-25 m)	Pas de mouvement de masse récent
L'Étang-Salé (Bassin Pirogue)	Recul du trait de côte à cause des aménagements (jusqu'à -17 m)	Stabilisation de l'érosion
Saint-Gilles (l'Hermitage)	Érosion du haut de plage (-40 m)	- Recul de -16 m (houle de mai 2007) - Abaissement du profil de -1 m

1 Source : Illustration 55 – Synthèse des évolutions par sites « Morphodynamique des littoraux de La Réunion – phase 4 » BRGM, 2012. p69

qui entraîne une disparition visuelle progressive des affleurements de *beachrocks*. Dans le même temps il est à noter une disparition progressive du couvert végétal (*Ipomoea pes-caprae*) en haut d'estran (Belon, Salomero, 2017).

Le tableau (Tableau 6.5) présente quelques valeurs moyennes pour l'évolution locale du trait de côte, extraites de différentes sources dont celle de l'indicateur national d'érosion côtière établi par le Cerema (2018). Les périodes d'évaluation diffèrent d'une source à l'autre (De la Torre *et al.*, 2012 ; Belon, Salomero, 2017 ; Cerema, 2018), elles traduisent notamment ici des évolutions passées.

Le tableau (Tableau 6.6) synthétise les évolutions du trait de côte et des fonds entre 1966 et 2011 d'après les études réalisées par le BRGM (De la Torre *et al.*, 2012).

6.2 Évolution événementielle sur le littoral

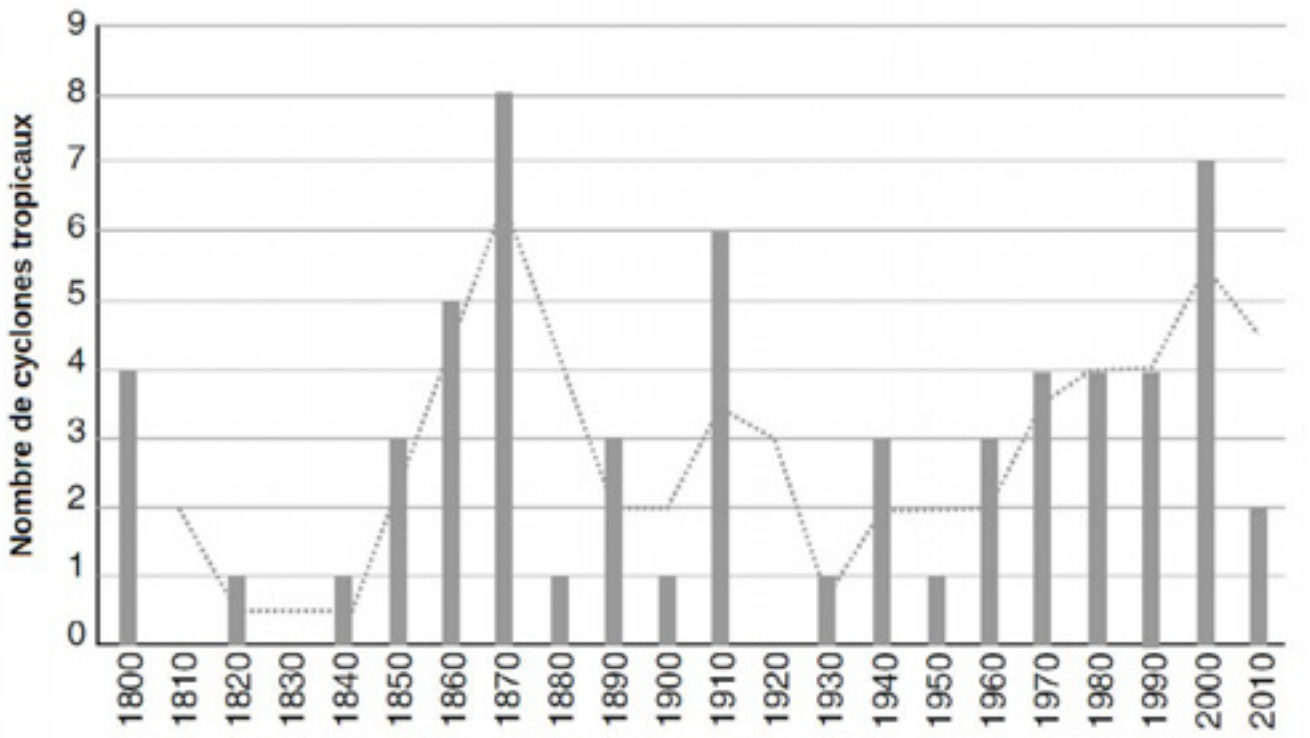
L'évolution événementielle du littoral dépend des types de côte. Suite au passage de tempêtes ou de cyclones, les côtes d'accumulation peuvent subir des reculs ponctuels pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres et/ou des abaissements métriques de l'estran. Ces formes d'érosion côtière peuvent générer des submersions marines dans les zones basses, notamment lorsqu'elles attaquent des cordons littoraux étroits (cordons dunaires, cordons de galets). Les côtes d'accumulation disposent toutefois d'une capacité de régénération, ou résilience, si elles disposent d'un temps et d'un stock de sédiments suffisants pour se reconstruire après le passage de la tempête.

Les côtes à falaises évoluent le plus souvent au rythme d'éboulements, d'effondrements ou de glissements. Ces événements ponctuels dans le temps et dans l'espace ne sont pas nécessairement liés à la manifestation d'un événement météorologique extrême mais sont irréversibles. Ils peuvent se traduire occasionnellement par des reculs plurimétriques.

Les cyclones peuvent être d'autant plus dévastateurs qu'ils sont associés à d'autres phénomènes météo-marins significatifs tels que de forts coefficients de marée, produisant un phénomène de surcote d'ampleur inhabituelle. Leurs impacts dépendent notamment du moment où se produit la surcote pendant le cycle quotidien de la marée : les processus d'érosion s'avèrent de toute évidence plus intenses dans le cas d'une surcote qui s'effectue lors d'une marée haute que lors d'une marée basse.

Les premières traces écrites de cyclones tropicaux remontent au début du XIX^{e} siècle avec les « Grandes Avalasses », évènement dramatique de 1806 qui frappa l'île de La Réunion deux fois en un mois. Environ une soixantaine de cyclones ont affecté l'île au cours des deux derniers siècles. Ces évènements varient selon les décennies (Figure 6.38). À titre d'exemple, jusqu'à huit cyclones ont été enregistrés dans les années 1870 et sept dans les années 2000. La moyenne par décennie est de 2,8 cyclones (Cazes-Duvat, Magnan, *et al.*, 2016).

Figure 6.38 : Fréquence des cyclones tropicaux par décennie à La Réunion entre 1806 et 2014 (Cazes-Duvat, Magnan, et al., 2016)



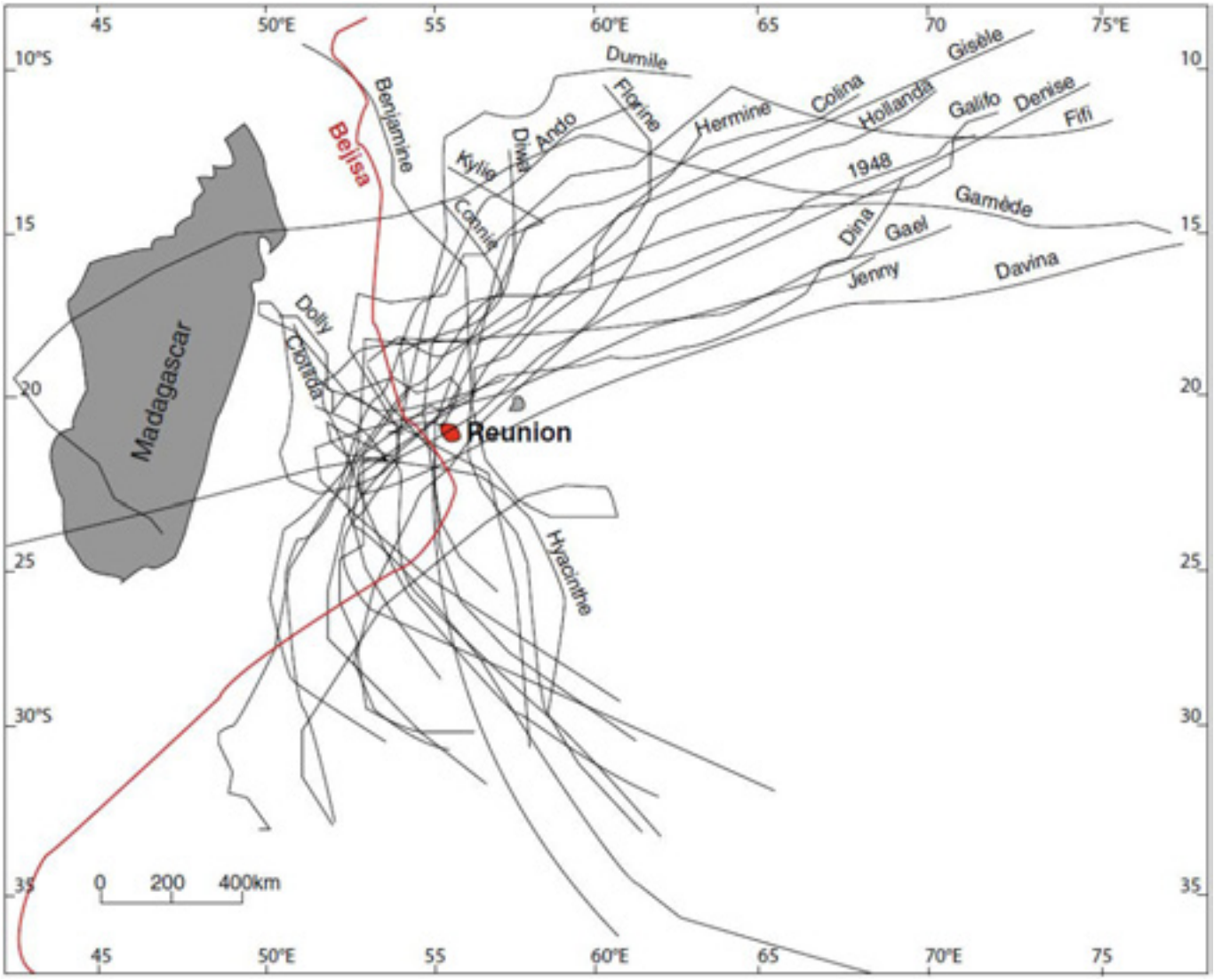


Figure 6.39 : Trajectoires des cyclones tropicaux ayant évolué près de La Réunion entre 1948 et 2014 (Cazes-Duvat, Magnan, et al., 2016)

La plupart des cyclones affectant l'île de la Réunion se forment dans le nord-est entre 10°S / 15°S et 60°E / 75°E, puis se déplacent vers le sud-ouest avant de disparaître. En conséquence, les côtes est et nord de l'île sont les plus exposées à ces phénomènes (**Figure 6.39** ; (Cazes-Duvat, Magnan, *et al.*, 2016).

Les paragraphes qui suivent ont pour objectif de présenter les principaux événements de cette nature, classés par type de côte touchée et ordre chronologique.

6.2.1 Côtes basses d'accumulation

La morphodynamique des côtes basses d'accumulation et le transport sédimentaire sont directement influencés par les forçages météorologiques et hydrodynamiques marins. Lors d'événements tempétueux, la côte est touchée par des phénomènes accompagnant les cyclones comme la surcote marine (voir **3.2.1.d** Surcote) et de fortes précipitations (voir **3.1.1.b** Typologie des perturbations). L'impact des coups de vent peut également se porter sur l'accélération de la vitesse de transport des sédiments : tant du point de vue du transport sédimentaire marin (impact sur l'hydrodynamisme par l'augmentation de la profondeur d'eau et de la vitesse des courants maximaux) que de la migration éolienne des dunes sableuses.

Il est néanmoins pertinent de noter que les systèmes dunaires et les plages démontrent une certaine robustesse face aux dommages que causent les tempêtes ou les cyclones. Suite à la manifestation d'événements extrêmes, les falaises vives et les entailles d'érosion que présentent les dunes sont plus ou moins rapidement remaniées par le vent : les caoudeyres, les siffle-vents et les cuvettes de déflation sont autant de formes d'évolution qui apparaissent fréquemment le long du cordon dunaire. Les falaises sableuses éolisées voient alors leurs encoches se combler grâce à la formation progressive d'avant-dunes. Lorsqu'il est observé, ce phénomène atteste de la bonne résilience du système dunaire.

L'érosion sur l'île de La Réunion concerne principalement les secteurs morphosédimentaires compris entre le cap Auguste et la pointe de Bonne Espérance, où le linéaire

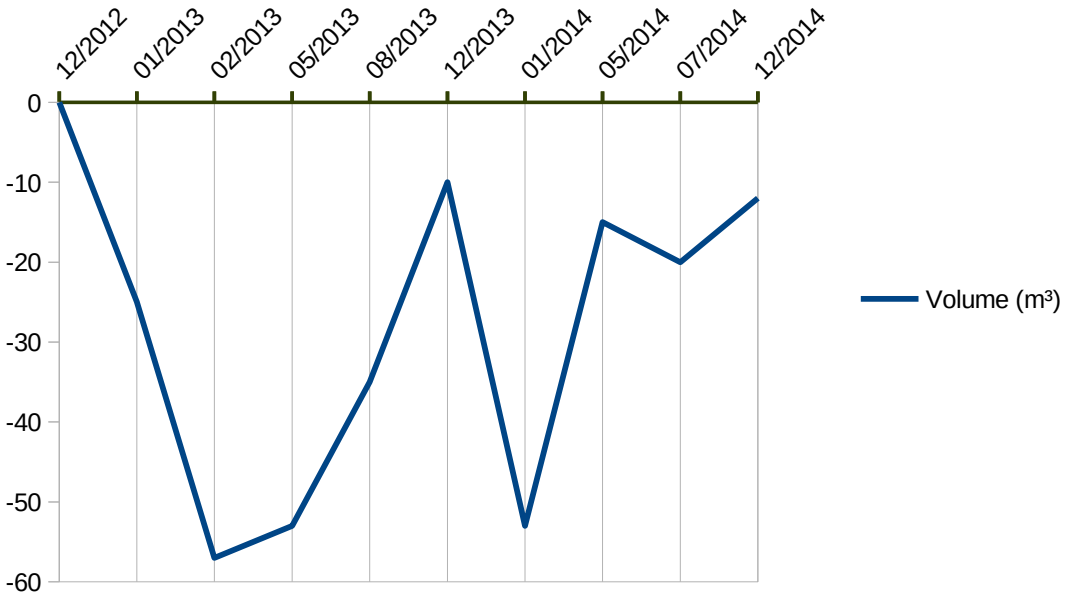


Figure 6.40 : Volume sédimentologique cumulé sur la plage nord de Boucan-Canot entre 2012 et 2014 (d'après Mahabot, 2016)

côtier est majoritairement constitué de sable et/ou de galets (Cerema, 2015). Les processus d'érosion en lien avec la hausse du niveau marin connaissent généralement des vitesses lentes, mais leurs conséquences peuvent parfois se révéler instantanées et brutales lors de la conjonction d'événements météo-marins extrêmes et de fortes houles, pouvant générer de sérieux dommages sur les dunes ou les côtes meubles.

Sur les côtes sableuses de l'île de La Réunion, les épisodes tempétueux et cycloniques ont ponctuellement provoqué des désordres ou des reculs plus ou moins importants du trait de côte. Sur ces secteurs, le rôle des houles est déterminant du fait de l'amplification de leur énergie et de leur fréquence. La capacité morphogène de celles-ci est donc renforcée. Entre 2000 et 2015, 16 épisodes de houles cycloniques et 63 épisodes de houles australes ont été enregistrés. Dina (2002), Gamède (2007) et Gaël (2009) ont été les plus morphogènes, avec des hauteurs moyennes de houle de 7 m (Mahabot, 2016).

Cyclone Ando (2001)

En janvier 2001, suite aux houles engendrées par le cyclone Ando, une érosion massive est constatée (estimations de recul non communiquées ; Cordier, 2007).

Cyclone Gamède (2007)

En mars 2007, suite au passage du cyclone Gamède, un recul de -10 m est observé sur le cordon de galets de Saint-Denis, le long du Boulevard Lancastel (De la Torre *et al.*, 2012). À l'inverse, à l'est de la pointe des Galets (Le Port) le passage du même cyclone a engendré, en 2008, un retour initial de la position du cordon de galets équivalant à celui de 1978. En raison de la trajectoire du cyclone Gamède, les houles cycloniques de secteur ouest ont provoqué une inversion ponctuelle de la dérive littorale vers l'est. L'extrémité occidentale du cordon a pu rétablir son équilibre sédimentaire grâce aux stocks « tampons » disponibles (Belon, Salomero, 2017).

Houles australes (2007, 2013, 2014)

Les houles australes du 12/05/2007, du 20-22/08/2013 et du 21/06/2014 ont été particulièrement morphogènes. Ces évènements puissants ont modifié la morphologie et le bilan sédimentaire sur la côte entre le cap Champagne et l'Ermitage/la Saline de manière ponctuelle : recul et aplanissement de la berme, exhaussement du bas de plage. En termes de bilan sédimentaire, les volumes de sable déplacés sont très variables. À Boucan-Canot, entre 2012 et 2014, des volumes importants de sédiments ont été déplacés, principalement en raison de la saison cyclonique de 2013 qui avait provoqué une érosion maquée (**Figure 6.40**). Bien que la saison des houles australes ait contribué à un apport conséquent de sédiments, ceux-ci n'ont pas suffi à rééquilibrer la plage. Le pic en janvier 2014 correspond au cyclone Bejisa (Mahabot, 2016).

Un peu plus au sud, au droit de la plage en arrière-récif des Aigrettes, les volumes déplacés sont nettement moins importants grâce au rôle protecteur qu'assurent les coraux (**Figure 6.41**). Les pics correspondant à la saison cyclonique de 2013 et 2014 sont marqués mais ont déplacé beaucoup moins de sédiments qu'au nord de Boucan-Canot, où la plage est ouverte (Mahabot, 2016).

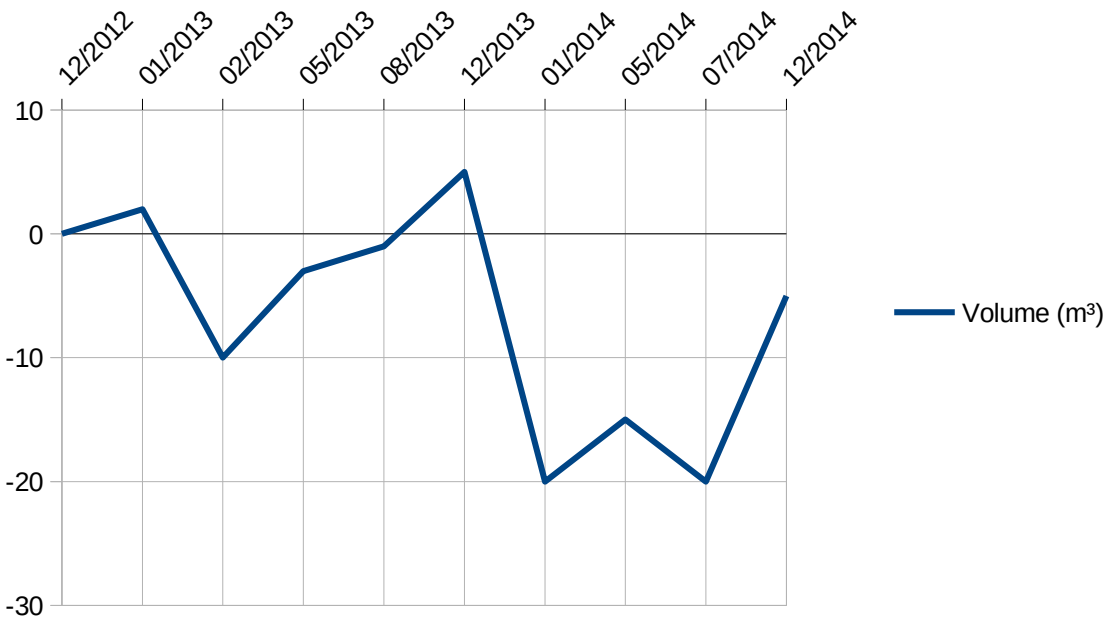


Figure 6.41 : Volume sédimentologique cumulé sur la plage des Aigrettes entre 2012 et 2014 (d'après Mahabot, 2016)

La résilience est évaluée par rapport au profil constaté quatre mois après les évènements de 2013 et six mois après pour les évènements de 2014. Il est constaté à Boucan-Canot un engraissement par exhaussement de l'estran avec un gain d'environ 23 m³ (Figure 6.42).

Globalement, cette portion du trait de côte a eu tendance à se maintenir en équilibre, particulièrement après l'épisode des houles australes de 2014. Sur certains secteurs, les apports sédimentaires sont supérieurs aux pertes subies en juin 2014, notamment sur les plages des Aigrettes, de Boucan-Canot et des Brisants (Saint-Gilles). Ces apports se traduisent par une accrétion de la berme et/ou par la reconstruction du bourrelet en bas de plage (Mahabot, 2016).

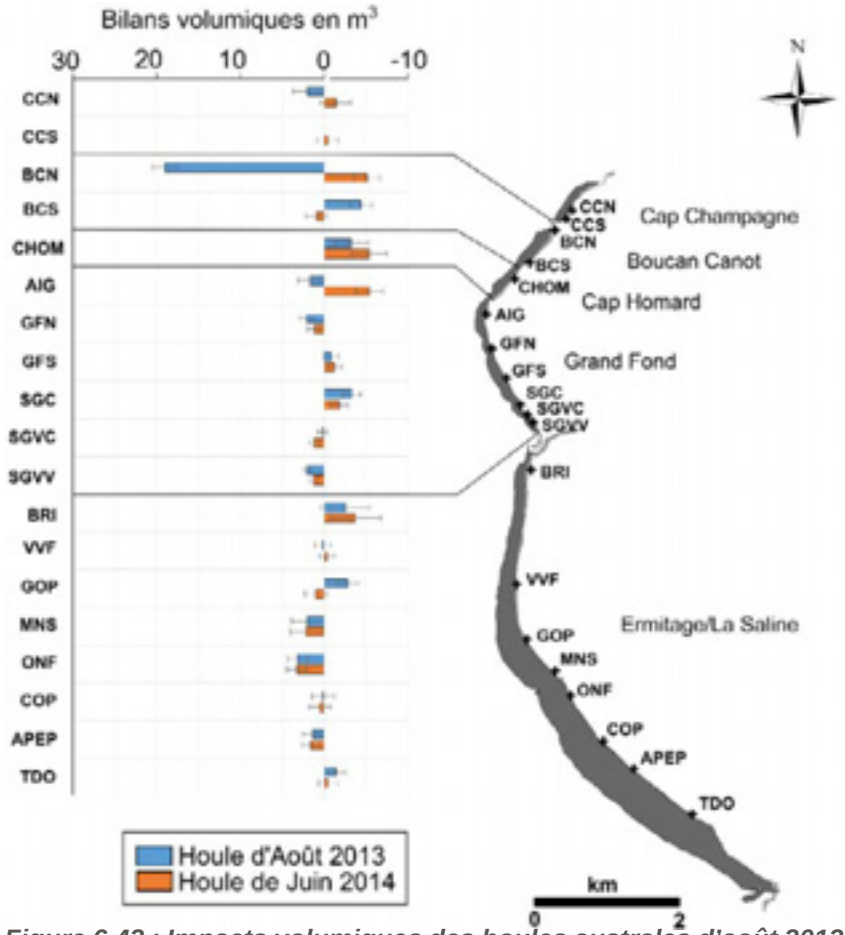


Figure 6.42 : Impacts volumiques des houles australes d'août 2013 et de juin 2014 (Mahabot, 2016)

Cyclones Dumile (2013), Felleng (2013) et Bejisa (2014)

Entre 2013 et 2014, trois cyclones tropicaux se sont succédés. Le centre du cyclone tropical Dumile est passé à environ 100 km de la côte ouest, le 03/01/2013. Le 01/02/2013, le cyclone Felleng est passé a environ 440 km de la côte ouest. Enfin, le centre du cyclone Bejisa est passé à environ 50 km de la côte ouest le 02/01/2014. À la suite de chaque évènement, des relevés ont été réalisés par Mahabot *et al.* (2016), du sud du cap la Houssaye au quartier du Trou-d'Eau à Saint-Paul ; et ce durant deux années après les passages des cyclones. Cela a permis de constituer un bilan sédimentaire des profils de plage et d'étudier leur résilience (Figure 6.43). Les impacts de Felleng et de Bejisa se sont avérés plus importants que ceux de Dumile sur tous les profils de plage (Mahabot *et al.*, 2016).

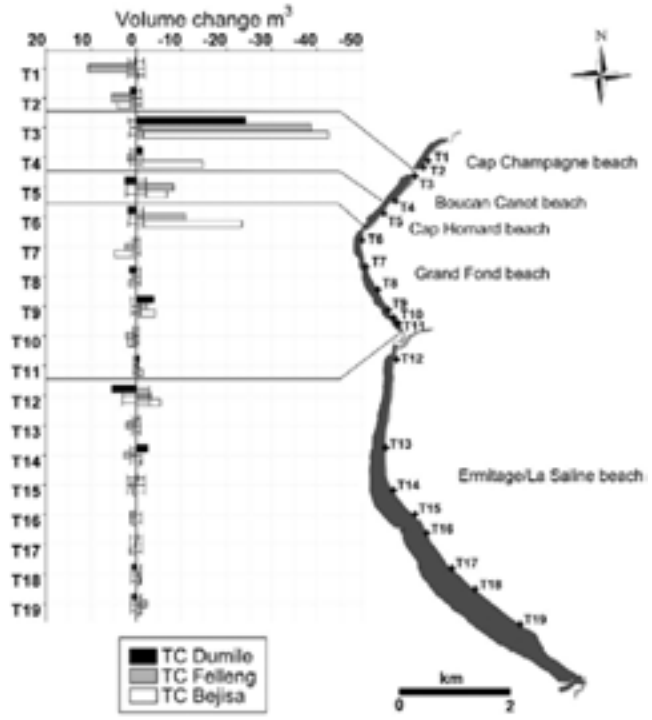


Figure 6.43 : Impacts volumiques des houles cycloniques associées aux systèmes Dumile (2013), Felleng (2013) et Bejisa (2014) (Mahabot et al., 2016)

Cyclone Dumile (03/01/2013)

L'effet du cyclone Dumile n'a pas eu d'effet significatif sur le bilan sédimentaire des profils (**Figure 6.43**). L'ordre de grandeur des variations de volume ne dépassait pas 5 m³ sauf pour le nord de Boucan-Canot (T3) où le récif est absent avec une perte de -24 ± 2 m³ de sable et pour la plage des Brisants (T12), au sud du port de Saint-Gilles, avec un gain de +5,3 ± 3 m³ de sable. Une courte érosion s'est également produite dans les compartiments de plage de Grand-Fond (T9 : -3,9 ± 1,1 m³) et de l'Ermitage (T14 : -2,6 ± 1,3 m³) (Mahabot *et al.*, 2016).

Cyclone Felleng (02/02/2013)

Au Cap Champagne, la plage montre une tendance à l'accrétion avec un gain de +10,6 ± 1,9 m³ au nord (T1) et de +5,4 ± 1,2 m³ au sud (T2) suite au passage du cyclone Felleng (Mahabot *et al.*, 2016). La plage du cap Homard a quant à elle été soumise à une érosion de -8,3 ± 2,2 m³ (T5). La plage des Brisants s'est également érodée durant le cyclone Felleng (T12 : -3,2 ± 3,0 m³). L'accrétion au niveau des plages de l'Ermitage (T13 et T14) suggère un échange possible avec la plage des Brisants (Mahabot *et al.*, 2016).

Cyclone Bejisa (02/01/2014)

Par rapport aux deux précédents évènements, le cyclone Bejisa a été le plus violent. Quatrième système dépressionnaire de la saison cyclonique de 2013/2014, ce fut le seul à toucher La Réunion pendant cette période. Le 30/12/2013, le cyclone Bejisa commence à se former à plus de 1400 km au nord-nord-ouest des côtes réunionnaises. Le 02/01/2014, l'œil du cyclone passe à 50 km des côtes ouest de l'île, ce qui a eu pour conséquence d'engendrer une intensification des vents et de la houle cyclonique. Les vitesses de vent maximales enregistrées près des côtes étaient de 114 km/h à l'aéroport Gillot-Roland Garros et de 140 km/h à l'aéroport Pierrefonds. Alors que la pression était au plus bas (950 hPa), de fortes pluies ont touché l'ensemble de l'île. En raison de la trajectoire de Bejisa et des houles cycloniques associées, la façade ouest de l'île fut la plus exposée aux impacts résultant de ce phénomène (Cazes-Duvat, Magnan *et al.*, 2016).

Le front de mer de Saint-Denis, attenant au boulevard Lancsatel a subit une érosio. D'après les observations du BRGM effectuée suite au cyclone Bejisa (Belon, Salomero, 2017), une quantité importante de blocs décimétriques a disparu entre 2013 et 2015. Dans le même temps, une réduction de la largeur de la plage et un abaissement d'une cinquantaine de centimètres du profil ont été observés.

Au Cap Champagne, la plage gagne +4,1 ± 1,3 m³ au sud (T2) suite au passage du cyclone. Une érosion dans la partie nord de cette plage (T1) a probablement eu lieu, mais aucun profil n'a été étudié dans cette zone pour confirmer cette hypothèse (Mahabot *et al.*, 2016).

Sur la plage de Boucan-Canot, l'érosion la plus importante s'est produite au nord de la plage en raison de l'absence de plate-forme récifale. Suite à Bejisa, la partie sud s'est érodée de manière significative (T4 : -14,8 ± 1,4 m³), alors qu'aucune érosion importante ne s'était produite lors du cyclone Felleng (Mahabot *et al.*, 2016).

Sur la plage du cap Homard, le profil situé dans la partie nord du secteur montre également une érosion (T5 : -6,8 ± 2,2 m³). Le sable s'est probablement déplacé vers la partie sud de la plage, mais aucun profil n'a été relevé dans cette zone (Mahabot *et al.*, 2016).

La plage des Brisants (T12) s'est également érodée suite au passage du cyclone Bejisa, ce qui a entraîné une perte de -5.4 ± 3.1 m³. Des plages de La Saline au Trou-d'Eau (T15 à T19), aucun changement volumétrique significatif n'est survenu, à l'exception du dernier site (T19) où une perte de -2,4 ± 1,1 m³ est évaluée (Mahabot *et al.*, 2016).

Suite au cyclone Bejisa, les processus d'érosion semblent avoir principalement impacté la côte ouest depuis la baie de Saint-Paul jusqu'à la pointe des Aigrettes. Au niveau de la côte sud, un phénomène

Figure 6.44 : Carte de localisation des 6 cellules hydrosédimentaires (C) et des 26 profils de plage (P) étudiés sur la côte ouest de La Réunion (Cazes-Duvat, Magnan, et al., 2016)

d'accrétion est plus généralement constaté. Ces résultats semblent en accord avec l'intensité des houles cycloniques qui décroissent vers le sud (Cazes-Duvat, Magnan, *et al.*, 2016).

En vertu des impacts plus importants causés par le cyclone Bejisa sur la façade occidentale de La Réunion, une étude complémentaire menée par Cazes-Duvat *et al.* (2016), répartie sur 26 transects (**Figure 6.44**), décrit plus précisément les impacts morphogènes du cyclone sur les plages (**Tableau 6.7**) et leur capacité de résilience. De manière générale, un rétablissement des profils de plage semble s'effectuer 3 mois après le passage de Felleng et 4 mois après Bejisa (Mahabot *et al.*, 2016).

Houles australes (2017)

Au niveau de la gendarmerie située au centre-ville de Saint-Pierre, un relevé topographique avait été réalisé par le BRGM (Belon, Salomero, 2017) peu de temps avant l'épisode de houle australe de juillet 2017. Les mesures ont permis d'observer la position d'un profil post-évènement énergétique vis-à-vis des relevés inter-annuels. L'ensemble du profil de 2017 s'est effectivement abaissé d'environ -3 m par rapport à 2016.

Tableau 6.7 : Impacts morphogènes du cyclone Bejisa sur les plages de la côte ouest de La Réunion (Cazes-Duvat et al., 2016)

Cellules (C)	Profils P (longueur en m)	Impact morphogène du cyclone Bejisa Sur les plages en volume net (m^3)
C1. Baie de Saint-Paul/Delta de la rivière des Galets	P1 (37 m)	Érosion : -45,5 m^3
	P2 (54 m)	Érosion : -60 m^3
	P3 (61 m)	Érosion : -45 m^3
	P4 (32 m)	Érosion : -35 m^3
C2. Plage de Boucan Canot	P5 (16 m)	Érosion : -10 m^3
	P6 (44 m)	Érosion : -30 m^3
	P7 (45 m)	Accrétion : +4,5 m^3
	P8 (28 m)	Érosion : -6,5 m^3
	P9 (76 m)	Érosion : -11,5 m^3
C4. Plage du cap Homard	P10 (89 m)	Érosion : -10 m^3
	P11 (32 m)	Érosion : -15 m^3
	P12 (27 m)	Érosion : -1,5 m^3
C5. Plage des Grands-Fonds	P13 (40 m)	Érosion : -18,5 m^3
	P14 (18 m)	Accrétion : +4,5 m^3
C6. Plage de l'Ermitage/la Saline	P15 (51 m)	Accrétion : +18,5 m^3
	P16 (14 m)	Érosion : -14 m^3
	P17 (53 m)	Accrétion : +2,5 m^3
	P18 (71 m)	Érosion : -3,5 m^3
	P19 (38 m)	Accrétion : +0,5 m^3
	P20 (29 m)	Érosion : -2,5 m^3
	P21 (30 m)	Érosion : -2 m^3
	P22 (30 m)	Accrétion : +8 m^3
	P23 (22 m)	Érosion : -0,5 m^3
	P24 (30 m)	Accrétion : +2 m^3
	P25 (16 m)	Accrétion : +1,5 m^3
	P26 (46 m)	Accrétion : +9 m^3

Le profil de plage suite aux houles australes de juillet 2017 est redevenu approximativement similaire à celui de 2015. Cependant, un léger abaissement de l'ensemble du profil sur quelques centimètres est à noter (Belon, Salomero, 2017).

6.2.2 Falaises

Les évolutions des côtes rocheuses de La Réunion, telles qu'elles ont été décrites dans la partie 6.1. Évolution historique et récente du littoral et des fonds, traduisent en réalité une succession d'évolutions « événementielles », survenues lors d'épisodes pluvieux intenses et de forçages hydrodynamiques contraignants. Leurs conséquences majeures se manifestent par la fragilisation de l'abrupt et/ou le pied des falaises rocheuses, générant des mouvements de terrain de plus ou moins grande ampleur. Par ailleurs, il sera intéressant de constater qu'à tempête égale, les dégâts peuvent se révéler, quant à eux, bien inégaux.

Les évolutions concernant les falaises côtières sont plus ou moins importantes selon la lithologie et les agents d'érosion. L'effondrement des falaises est une manifestation naturelle des impacts croisés de la houle, des courants marins, de la marée, de la pluie et du vent. Les actions de l'homme (déforestation, dévégétalisation) peuvent également engager une déstabilisation des côtes à falaises.

Sur l'île de La Réunion, les tempêtes semblent exercer des évolutions ponctuelles plus marquées sur les côtes basses d'accumulation que sur les côtes à falaises, où les roches essentiellement indurées et volcaniques sont moins sensibles à l'érosion. Néanmoins, les événements tempétueux sont fréquents et ont par conséquent un impact marqué sur l'ensemble du littoral.

Les falaises de La Réunion sont principalement héritées des coulées basaltiques provenant de l'activité volcanique de l'île. L'érosion de celles-ci est issue de l'action mécanique des vagues qui sont responsables d'un sous-cavage. Par effet de gravité, des blocs vont se détacher petit à petit par effondrements successifs de pans. L'évolution des falaises va être particulièrement marquée lors d'épisodes météo-marins extrêmes. Très peu de données chiffrées existent sur l'érosion des falaises, notamment parce que la plupart n'accueillent pas d'enjeux particuliers.

Au niveau de la pointe du Tremblet, une portion du littoral affiche une accrétion de plus de +4,60 m/an entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018). Ce phénomène est en réalité dû à une éruption volcanique en avril 2007 où les laves avaient atteint la mer (source : https://guide-reunion.fr).

Les secteurs à falaise reculent plus ou moins lentement selon le substrat qui les constitue. L'érosion sera d'autant plus rapide que le substrat sera tendre comme à Saint-Pierre, au droit de la pointe du Diable, où la côte est composée de tufs ponceux. Bien qu'aucun événement particulier n'a affecté ce type de côte, la pointe du Diable recule assez rapidement (0,1 m/an) sous l'action de la houle (De la Torre *et al.*, 2012).

En revanche, à Saint-André, au niveau du site de Champ-Borne, le cyclone Dina (2002) semble avoir été responsable d'un recul de 20 m de la falaise (De la Torre *et al.*, 2012). Dans ce secteur, après chaque événement d'érosion important, des remblais et une avancée artificielle du trait de côte sont effectués (Blangy *et al.*, 2009).

La base nationale des mouvements de terrain, disponible sur Géorisques (source : http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain), permet de recenser les mouvements de terrain au niveau du rivage. Cette donnée est issue de recherches bibliographiques, d'enquêtes auprès des communes, de recueils de données auprès des services techniques concernés et d'observations visuelles sur le terrain.

6.3 Impact du changement climatique

Du fait de son impact sur les facteurs hydrodynamiques (en particulier le niveau de la mer et le régime des précipitations, voir Chapitre 3 Facteurs hydrodynamiques) et sur les habitats naturels, les changements climatiques ne seront pas sans conséquences sur les évolutions des rivages océaniques et des fonds marins. Cependant, très peu d'études disposent d'un échantillon suffisant de données fiables, homogènes et couvrant une période assez longue sur les relations entre les formes littorales et les processus d'évolution. Ce manque de connaissance rend difficile à confirmer une éventuelle accélération des phénomènes sédimentaires à l'échelle du siècle passé (ONERC, 2015).

Les phénomènes d'érosion et de recul du trait de côte seront renforcés avec les effets du changement climatique. L'élévation du niveau de la mer modifie en effet l'aléa d'érosion côtière. La ligne de rivage actuelle sera déplacée vers le domaine terrestre, non de manière graduelle mais par étapes, à l'occasion de fortes tempêtes associées à des marées hautes provoquant des submersions marines. Enfin la dégradation des habitats naturels côtiers, terrestres ou sous-marins qui participent à la résilience des systèmes côtiers tendra également à aggraver les impacts du changement climatique en matière d'érosion et de submersion marine. Les effets sont variables selon les types de côte rencontrés.

La modélisation fidèle des vitesses et des rythmes d'évolution reste partielle et la capacité de résilience de certaines formes un domaine méconnu. L'érosion côtière n'est donc pas un phénomène généralisable : elle dépend des capacités intrinsèques d'adaptation de chaque milieu. Au-delà d'un certain seuil, bientôt ou déjà atteint, les évolutions et adaptations passées du milieu ne seront plus représentatives des évolutions futures (ONERC, 2015). Sans en dramatiser les effets potentiels, les changements climatiques doivent donc être pris en compte afin d'adapter au mieux les territoires et réduire leur vulnérabilité. Les effets potentiels sur les mécanismes sédimentaires sont listés ci-après en fonction des types de côte : côtes d'accumulation et côtes à falaises rocheuses ; l'impact des changements climatiques sur l'évolution des habitats naturels (herbiers et récifs coralliens) est également abordé.

6.3.1 Côtes basses d'accumulation

L'érosion des côtes basses d'accumulation est aujourd'hui essentiellement liée à une pénurie naturelle d'apports en sédiments, aggravée par des actions humaines contemporaines (notamment construction d'ouvrages, extraction de sable dans les cours d'eau, sur les plages et dans les dunes, etc) (Paskoff, 2000).

L'élévation du niveau de la mer est souvent invoquée pour expliquer l'érosion contemporaine des plages, notamment du fait de la « loi de Bruun » (Bruun, 1962 ; Paskoff, 2000). Pourtant son rôle direct est difficile à évaluer et à isoler des autres facteurs de mobilité et elle ne saurait rendre compte seule des évolutions spatiales et temporelles du trait de côte. L'accélération de l'élévation du niveau de la mer, du fait du niveau marin atteint et de son impact sur la propagation des houles, devrait ainsi contribuer à accentuer l'érosion des plages là où elle se manifeste déjà et, éventuellement, atteindre de nouveaux territoires, jusque-là abrités, lorsque les apports en sédiments ne permettront plus au système de s'adapter (Paskoff, 2000 ; Wong *et al.*, 2014). Les modifications des courants littoraux, des vents dominants ou du régime des tempêtes pourraient être plus préjudiciables que la montée des eaux (Maspataud, 2011). Du fait des fortes incertitudes d'évolution de ces paramètres climatiques et hydrodynamiques, l'adaptation des côtes d'accumulation reste aujourd'hui difficile à appréhender et dépendra fortement des contextes locaux.

Par ailleurs, du fait de l'élévation du niveau moyen de la mer, les côtes basses meubles, qui ne se seront pas suffisamment élevées par adaptation naturelle aux nouvelles conditions, seront susceptibles d'être plus régulièrement « attaquées » par les vagues voire submergées (Psuty, Silveira, 2010). Une augmentation en fréquence des événements tempétueux diminuerait la capacité de résilience des dunes qui auraient alors potentiellement moins de temps pour se reconstruire entre deux événements. Les cordons littoraux d'ores et déjà identifiés comme étroits et fragiles du fait d'un faible apport en sédiments ne s'adapteront probablement pas à des conditions fortes d'élévation du niveau de la mer ; leur rupture pourra être à l'origine de submersions marines. À l'échelle de La Réunion, l'avant-côte de la façade sud-ouest est constituée par des récifs coralliens frangeants qui peuvent, si leur vitalité reste bonne, suivre la montée du niveau marin.

L'élévation du niveau marin couplée à une recrudescence éventuelle des événements tempétueux ou cycloniques engendrera des phénomènes de submersion plus fréquents à l'égard des zones basses littorales. La houle atteindra des zones de plus en plus hautes sur les côtes basses et y arrivera avec plus d'énergie. Ainsi, les zones basses littorales pourraient être submergées de manière plus fréquente et les submersions centennales atteindraient alors des territoires qui étaient jusqu'à présent épargnés. Le Cerema a dans cette mesure cartographié les zones basses en Outre-Mer, à savoir les zones continentales situées sous les niveaux marins centennaux (CETMEF *et al.*, 2012).

La position du trait de côte dépend aussi grandement du bilan sédimentaire de la zone côtière, en fonction des apports et des pertes de sédiments dans la cellule hydrosédimentaire (Maspataud, 2011 ; Héquette *et al.*, 2013). Les études actuelles projettent sa position par extrapolation des tendances passées. Cependant, en raison des redistributions des stocks sédimentaires actuellement actifs ou qui le deviendraient, il est impossible de garantir que les zones actuellement en érosion ou en sédimentation naturelle (telles que les baies) le seront toujours dans un siècle (ONERC, 2015). Il est toutefois probable qu'en cas d'élévation rapide du niveau de la mer, les systèmes côtiers ne disposeront pas d'un temps suffisant pour s'adapter, ce qui aura des répercussions sur le recul du trait de côte (Planton *et al.*, 2015).

6.3.1.a Plages et massifs dunaires

À l'échelle mondiale, la majorité des plages est constituée de matériaux hérités de la dernière transgression marine. Leur érosion est aujourd'hui essentiellement liée à une pénurie naturelle d'apports en sédiments, aggravée par des actions humaines contemporaines : travaux de régularisation des débits des cours d'eau, notamment par des barrages ; extractions de sable et de galets dans les cours d'eau, sur les plages et dans les dunes (Paskoff, 2000).

Les côtes sont très dépendantes des conditions hydro-météorologiques en raison de deux influences importantes : le climat de houle d'une part et le niveau moyen de la mer d'autre part. Une première approche simple pour estimer l'évolution future du trait de côte le long des plages sableuses serait d'employer la loi de Bruun (1962) (**Figure 6.45**) : une élévation du niveau de 1 cm pourrait correspondre à un recul de 1 m. Les côtes meubles de l'archipel pourraient donc reculer de plusieurs dizaines de mètres en un siècle.

Pourtant le rôle direct de l'élévation du niveau de la mer est difficile à isoler des autres facteurs de mobilité et l'approche simple précédemment évoquée ne saurait rendre compte seule des évolutions spatiales et temporelles du trait de côte. Pour préciser ces estimations, les processus impliquant un transfert sédimentaire transversal doivent également être pris en compte ainsi que le gradient de dérive littorale qui est souvent le moteur principal de l'évolution à long terme du trait de côte sur des échelles spatio-temporelles étendues. Cette approche est également inappropriée dans les secteurs à proximité des lagunes, des courants

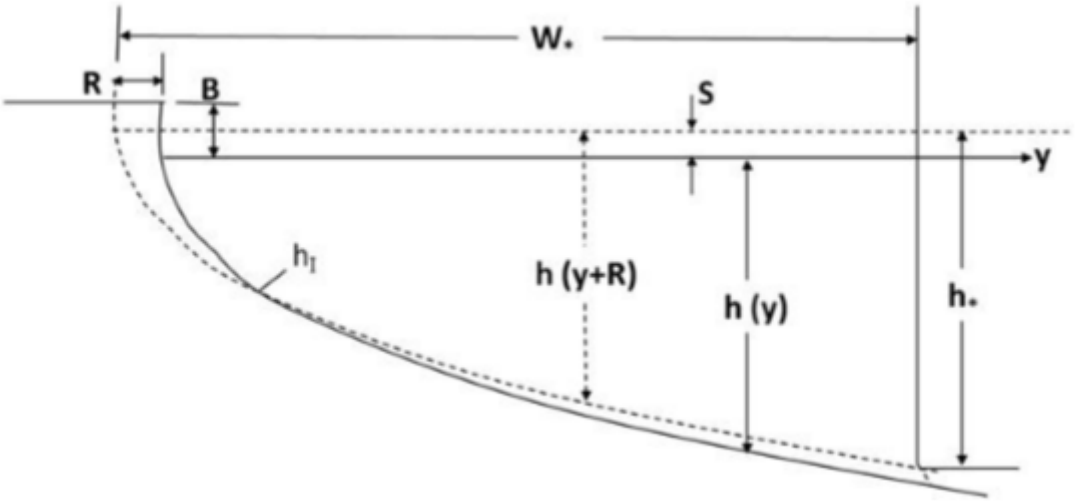


Figure 6.45 : Évolution schématique du profil côtier due à l'élévation du niveau de la mer, selon la règle de Bruun (1962) (d'après Rosati et al., 2013). R=S(W/B+h) où R est le recul du trait de côte, S l'élévation du niveau de la mer, W la largeur du profil de la plage, B l'altitude de la berme et h la profondeur de fermeture (hauteur entre l'isobathe et le pied de dune)

côtiers et des embouchures de cours d'eau, influencés par les courants de marée (voir 6.3.1.b Marais et lagunes).

Les effets de la dérive littorale rendent en effet très difficile également l'estimation du recul littoral qui serait occasionné par les modifications du climat de houle. Une approche, en mesure de s'affranchir de toutes ces difficultés, est l'hypothèse qu'une accentuation des tendances serait actuellement incluse dans les évolutions historiques quantifiables avec fiabilité.

6.3.1.b Marais et lagunes

L'évolution des marais, des étangs et des lagunes, sous l'effet du changement climatique, est complexe et dépend de nombreux facteurs. L'élévation relative du niveau de la mer, s'accompagnant d'une augmentation des courants de flot et d'un remplissage du bassin tidal, se traduirait en effet différemment selon la vitesse d'élévation du niveau marin (van Maanen *et al.*, 2013 ; IFREMER *et al.*, 2014) :

- en cas d'une montée lente, la surface de l'estran pourrait augmenter vers l'amont, par inondation de secteurs auparavant exondés, ce qui pourrait provoquer une dominance de jusant et l'export de sédiments ;
- ou au contraire diminuer, en cas d'une montée rapide (dominance du flot) liée à une source de sédiments insuffisante, ce qui conduirait alors à une évolution de type lagune.

L'élévation rapide du niveau de la mer pourrait se traduire par un rétrécissement de la superficie des plans d'eau lagunaires. Celle-ci dépendra de la réaction des cordons qui séparent la lagune des zones basses riveraines, en fonction de la disponibilité en sédiments, de l'énergie des éléments météo-marins, de la pente de l'avant-côte et de la vitesse de variation du niveau de la mer. La pénurie des côtes en sédiments n'est pas en faveur du scenario d'un maintien et d'une stabilité à très long terme.

Plus généralement, si pour les lagunes bordées de cordons dunaires de faible hauteur, une élévation rapide du niveau de la mer pourrait provoquer la submersion de ces cordons et par conséquent la disparition des lagunes, un scenario intermédiaire peut être une migration des cordons plus élevés, accompagnée de leur amincissement et de leur tronçonnement, pouvant là aussi conduire à terme à leur disparition (Figure 6.46).

Ce dernier scenario d'évolution des lagunes est notamment constaté lors d'événements météorologiques extrêmes. De nouvelles passes pourraient donc s'établir dans les cordons littoraux, et accentuer la disparition du caractère lagunaire, avec une salinité accrue entraînant des modifications dans la composition de la flore et de la faune (Paskoff, 2000).

Les barrières transgressives vont probablement continuer de reculer en lien avec l'élévation du niveau de la mer, dans un contexte de diminution des apports sédimentaires. De ce fait, le matériel prélevé au niveau de l'avant-côte des cordons par l'effet des processus érosifs serait susceptible d'être mobilisé par la dérive littorale et transporté vers une autre partie du système. La barrière peut également subir les effets des submersions marines qui provoquent des dépôts de *washover* (par débordement) à l'arrière du cordon et donc sa translation.

L'évolution de la végétation subtidale ainsi que l'évolution de la végétation intertidale exerceront également une influence importante sur le devenir

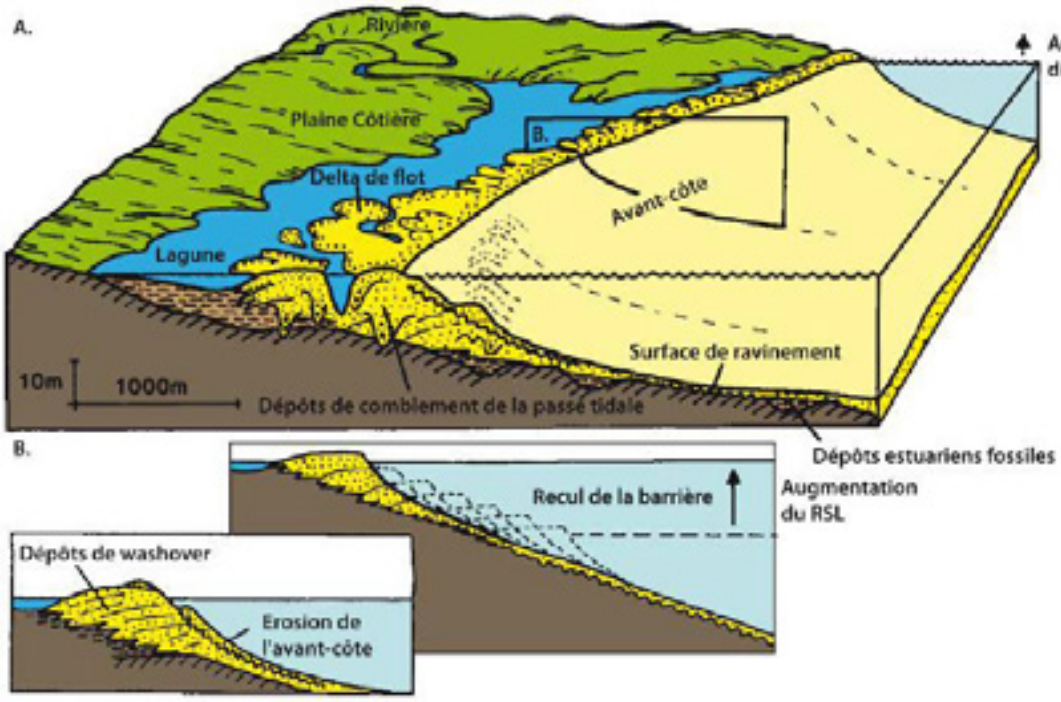


Figure 6.46 : A- Schéma de l'évolution d'une barrière lagunaire transgressive dans un contexte d'élévation du niveau marin. B- Coupe de la barrière illustrant le retrait du cordon littoral vers l'intérieur de la lagune et l'organisation stratigraphique des dépôts sédimentaires sur la partie supérieure de la barrière (d'après Roy et al., 1994). RSL : niveau de la mer (Relative Sea Level)

des marais littoraux. En cas d'accélération de la montée du niveau de la mer, une diminution d'accrétion dans le marais pourrait se traduire par un taux d'inondation trop important pour le maintien de la végétation, une disparition progressive de celle-ci et un ralentissement ou un arrêt de l'accrétion, conduisant à la conversion du marais en estran nu voire en surface subtidale.

Le seuil critique d'élévation du niveau marin, qu'il ne faudrait pas dépasser pour maintenir le marais, augmente avec le marnage et la concentration en MES des chenaux d'alimentation. Ainsi, si les marais microtidaux ou de faible concentration en MES dans la colonne d'eau risquent fort d'être submergés (même pour des scénarios d'augmentation modérée du niveau marin), les zones intertidales soumises à un marnage supérieur à 3 m et des concentrations de MES supérieures à 30 mg/l subsisteraient pour des taux de montée du niveau marin supérieurs à 20 mm/an (IFREMER *et al.*, 2014 ; Kirwan Matthew L. *et al.*, 2010).

6.3.2 Côtes à falaises rocheuses

Parmi les perspectives futures associées aux changements climatiques et ses effets sur l'évolution des côtes rocheuses, il est prudent d'envisager que les côtes à falaises continueront de s'éroder à un rythme éventuellement plus fort selon leur composition et les processus d'érosion. Une grande partie des falaises rocheuses de La Réunion est stable ou évolue faiblement actuellement. Cependant, certaines côtes à falaises rocheuses sont plus friables et plus évolutives. Parmi les paramètres intervenant dans les processus d'évolution des falaises, se trouvent en priorité ici :

- pour les processus marins, les vagues et les courants marins qui déblaient les matériaux éboulés en pied de falaise et peuvent attaquer directement la paroi, créant potentiellement des sous-cavages déstabilisants,
- pour les processus subaériens ou continentaux, les précipitations et les infiltrations, la salinité de l'air et de l'eau, qui agissent par désagrégation mécanique ou chimique des roches.

Au défaut de connaissances actuelles en matière d'incidence d'une modification des forçages maritimes et en matière de disparition des matériaux en pied de falaise, s'ajoute le rôle certainement important de la modification des précipitations (favorisant le ruissellement, la fracturation à court terme et l'altération des roches à long terme), il n'est pas établi de tendance prévisible pour ce rôle.

En outre, l'impact des changements climatiques sur l'érosion des côtes rocheuses pourrait prendre la forme :

- d'une plus grande disparition des structures sédimentaires meubles (plages de poche, plages frangeantes en pied de falaise),
- d'une intensification de l'action mécanique des vagues sur les falaises (sous-cavages notamment),
- d'une mise en pression de l'eau continentale contenue dans les cavités karstiques.

De même, des changements de direction de houle auraient des conséquences localisées à l'échelle de chaque plage ou baie qui ne sont pas connues actuellement.

La difficulté de déterminer l'efficacité respective des divers processus marins et continentaux qui se combinent et se relaient pour aboutir au recul des falaises conduit donc à manier les résultats proposés avec beaucoup de prudence (ONERC, 2015).

Pour conclure, l'ONERC (2012) propose plusieurs pistes d'adaptation aux changements climatiques pour les Outre-Mer français, notamment :

- réduire la vulnérabilité actuelle (recul stratégique, prévention des risques) et future (zonage de l'urbanisation) ;
- mener une politique globale de soutien des bonnes pratiques ;
- poursuivre le contrôle de l'urbanisation, par le biais des Plans de Prévention des Risques mais également par la prise en compte des risques naturels directement dans les documents d'urbanisme, en empêchant les constructions dans les secteurs exposés aux aléas ;
- préserver les écosystèmes protecteurs ;
- évaluer et cartographier la vulnérabilité et développer l'observation ;
- développer le dispositif de gestion des risques.

En matière d'aménagement, l'adaptation au changement climatique peut passer par une diversité de mesures de défense côtière, de végétalisation, de stabilisation des dunes, de création de zones tampons, de marges de reculement. Les structures de défense côtières perturbent cependant les processus côtiers et peuvent aggraver l'érosion, la dégradation et la perte d'habitats et de services écosystémiques par compression de l'estran.

6.3.3 Habitats naturels

Les évolutions du niveau marin seront particulièrement importantes pour les systèmes côtiers tropicaux, en particulier pour les mangroves et les récifs coralliens, ainsi que les systèmes morphosédimentaires associés.

Les récifs coralliens sont directement concernés par les changements climatiques et les pressions anthropiques (Thomassin *et al.*, 2011). L'augmentation de la température de l'eau menace l'équilibre qui relie les polypes et les zooxanthelles provoquant le phénomène de blanchissement des coraux (Hoegh-Guldberg, Salvat, 1995). Au niveau mondial, les suivis de l'état de santé des milieux coralliens montrent une régression forte et continue. Le blanchiment des coraux diffère selon les espèces (Pandolfi *et al.*, 2011).

En 2016, la proportion de récifs connaissant un blanchissement dépasse 60 %, elle est quatre fois supérieure à celle de 1998 ou de 2002. Seulement 8,9 % des 1 156 récifs étudiés en 2016 n'ont pas connu de blanchissement, contre 42,4 % des 631 récifs en 2002 et 44,7 % des 638 récifs en 1998 (Hughes, Kerry, *et al.*, 2017).

D'ici le milieu du XIX^{e} siècle, 75 % pourraient atteindre un degré de menace critique (Cazes-Duvat, 2012). Les écosystèmes coralliens de l'océan Indien sont moins étendus que les récifs du Pacifique mais la densité de population est très importante (200 à 500 habitants/km^2) et induit de fortes pressions sur cet habitat (Cazes-Duvat, 2012 ; Hughes, Barnes, *et al.*, 2017).

L'acidification des océans représente un risque majeur pour les formations coralliennes, l'augmentation en dioxyde de carbone (CO_2) atmosphérique est absorbé par l'océan, contribuant à diminuer le pH de l'eau de mer (Hughes, Barnes, *et al.*, 2017). Cette acidification fait alors chuter la concentration en ions carbonatés, diminuant la capacité des coraux à construire leur squelette. Le pH moyen des eaux de surface des océans a diminué au cours des 200 dernières années d'environ 0,1 unité (pH 8,21 à pH 8,10). Une nouvelle diminution de 0,3-0,4 unités (pH 7,7-7,8) se produirait si la concentration du dioxyde de carbone atmosphérique atteignaient 800 ppm. Cependant, selon la modélisation la plus récente du GIEC, l'équilibre atmosphérique est de 450 ppm, ce qui permet de maintenir un pH de 7,9-8,1 dans la plupart des eaux océaniques tropicales, favorable à la survie des coraux (Gattuso *et al.*, 1999 ; Buddemeier *et al.*, 2004 ; Hughes, Barnes, *et al.*, 2017).

Les récifs frangeants, tels que ceux de La Réunion, sont les plus soumis aux impacts des activités anthropiques. Depuis les années 1960, les apports de sédiments terrigènes ont augmenté, en lien avec de mauvaises pratiques agricoles et des travaux d'aménagement (Petit, Prudent, 2010).

La montée du niveau des océans et de la température des eaux côtières, provoquée par les changements climatiques, devrait également modifier la distribution des herbiers de phanérogames. Ces modifications seront variables selon les régions du globe et des extensions ou régressions des surfaces d'herbier sont à attendre (Hily *et al.*, 2010).

Chapitre 7
Conclusion : Bilan sédimentaire général

Rédacteurs
Sylvain LENDRE (Cerema, DtecEMF)

Boris LECLERC (Cerema, DtecEMF)

Contributeurs
Rémi BELON (BRGM Réunion)

Pascal TALEC, Florent BABY, Bruno GODEFROY (DEAL Réunion)

Denis ROY, François BONNARDOT,Emmanuel CLOPET (Météo-France)

Marine DEDEKEN (RNMR)

Alice MAILLOT (ONF Réunion)

Gwenaëlle PENNOBER, Myriam MAHABOT (Université de La Réunion)

Roland TROADEC (LGSR, GIP RNMR, Vie Océane)

Page de gauche : Plage de Boucan Canot (Saint-Gilles-les-Bains) © Cerema/S. Lendre, 2019

7 Conclusion : Bilan Sédimentaire Général

La Réunion est une île volcanique tropicale du sud-ouest de l'océan Indien. Située dans l'hémisphère sud, à 700 km à l'est de Madagascar par 21°S et 55°E, l'île présente une forme elliptique sur environ 70 km de longueur et 50 km de largeur, selon une orientation nord-ouest – sud-est. D'une superficie de 2520 km², il s'agit là de la partie émergée d'un édifice colossal d'environ 7 000 m de hauteur, essentiellement sous-marin, et dont seulement 3 % du volume émergent.

L'île se compose de deux entités basaltiques jumelées qui correspondent aux principales formations géologiques de La Réunion : les massifs du Piton des Neiges et du Piton de la Fournaise. Dans la partie nord-ouest, le Piton des Neiges (3 069 m) est le plus haut sommet de l'océan Indien et surplombe les trois cirques de Cilaos, Salazie et Mafate. La Plaine des Cafres et la Plaine des Palmistes assurent la liaison entre les deux massifs. Au sud-est, le Piton de la Fournaise (2 631 m) est un volcan de type hawaïen, faisant partie des plus grands et des plus actifs du monde.

Avec un relief globalement très montagneux et accidenté, les espaces côtiers sont les zones les plus planes de La Réunion et s'étendent sur un linéaire d'environ 256 km. L'île peut se diviser en trois unités morphosédimentaires définies en fonction du type de côte que présente le littoral réunionnais, sur des critères de géomorphologie et de géologie, de bathymétrie et de pressions anthropiques (Figure 7.1) :

- Façade nord et est avec zones meubles dominantes qui correspondent majoritairement aux formations géologiques du massif du Piton des Neiges, depuis le cap la Houssaye (Saint-Paul) à la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose). L'unité présente des secteurs de côte artificialisée et des formations meubles associées au réseau hydrographique des plaines alluviales créées par les principales rivières pérennes.
- Façade sud et est avec zones rocheuses basaltiques continues qui correspondent aux formations géologiques les plus récentes du massif de la Fournaise, depuis la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste du Piton de Grande Anse (Petite-Île). L'unité présente des zones de substrats rocheux d'origine basaltique ainsi que des petites zones où affleurent des substrats meubles issus d'un processus érosif récent.
- Façade ouest avec zones récifales coralliennes discontinues formées par des récifs frangeants de taille variable à l'ouest et au sud-ouest de l'île, depuis le cap Auguste au cap la Houssaye. L'unité présente des zones de substrats meubles (plaine littorale, arrière-récif, platier, pente externe) caractérisées par des formations sableuses d'origine bioclastique différentes de par leur nature et leur composition des zones de substrats meubles d'origine basaltique.

Les trois unités morphosédimentaires ont été définies afin de mieux organiser la synthèse des connaissances sédimentologiques du territoire. Leur caractérisation repose davantage sur un critère physiographique et non un découpage en « cellules hydrosédimentaires » qui n'a toujours pas été renseigné dans la littérature scientifique actuelle et qu'il reste encore à faire avec précision ; indépendantes de toute structure administrative, elles constituent pourtant l'échelle minimale préconisée pour l'analyse des dynamiques sédimentaires et les stratégies de gestion du littoral.

7.1 Bilan sédimentaire actuel

La morphologie de La Réunion est le résultat d'épanchements volcaniques, de fusions, de solidifications, d'érosions, d'accumulations et plus localement de sécrétions calcaires (par les polypes de coraux). Le littoral réunionnais décrit un tracé relativement régulier caractérisé par une alternance de petites falaises et bandes de galets approvisionnées en matériel alluvial par un réseau hydrographique relativement dense, à l'exception de la côte occidentale de l'île qui présente 25 km de plages de sable blanc protégées par des récifs frangeants.

Le linéaire côtier se divise en quatre types de côte distincts (voir Chapitre 2 Contexte général : données physiographiques et Chapitre 4 Données sédimentologiques) :

Figure 7.1 : Vue aérienne sur l'île de La Réunion (source : www.tribloo.com)

- les côtes rocheuses regroupent les falaises et les plate-formes rocheuses basaltiques qui occupent principalement le sud et le sud-est de l'île ;
- les côtes alluvionnaires, constituées par l'accumulation de sédiments terrigènes, composent les cordons de galets et les plages de sable basaltique « noir et vert » d'origine fluviatile, particulièrement abondants à proximité des exutoires de cours d'eau et majoritairement remaniés par les actions marines tout autour de l'île ;
- les côtes coralliennes, associées à des récifs frangeants distribués le long de la façade sud et ouest de l'île, décrivent des plages abritées et approvisionnées en sable « blanc » biodétritique ;
- les côtes aménagées (ports, ouvrages de protection contre la mer et autres artificialisations du trait de côte) combinent différents stades d'artificialisation majoritairement développés dans les principales agglomérations sur les côtes ouest et nord de La Réunion.

Le trait de côte de La Réunion est à 86 % naturel (Cerema, 2015) : les côtes d'accumulation (constituées de sables et/ou galets) sont proportionnellement majoritaires et représentent 45 % du linéaire de l'île, contre 41 % de falaises et côtes rocheuses. Les côtes paraissent relativement assez artificialisées avec près de 14 % du linéaire réunionnais aménagé (voir Chapitre 5 Interventions humaines le long du littoral). L'île de La Réunion comporte au total 35,6 km d'aménagements côtiers, d'ouvrages de défense et d'infrastructures portuaires : c'est le troisième territoire ultramarin français le plus artificialisé en termes de linéaire côtier cumulé, le deuxième après Mayotte (16 %) en termes de proportion (Cerema, 2017).

Les dynamiques morphologiques et sédimentaires à l'origine de l'évolution du littoral et des fonds sont complexes et très contrastées entre les différentes unités morphosédimentaires, plus particulièrement en raison du type de côte, de la lithologie et de la morphologie sous-marine qui les caractérisent ainsi que des forçages climatiques, hydrologiques et hydrodynamiques (vent, pluie, houles, marées et courants associés) qui s'y manifestent.

La dynamique actuelle du littoral de l'île de La Réunion est principalement conditionnée par l'hydrodynamique marine (voir Chapitre 3 Facteurs hydrodynamiques). La dynamique marine affectant les côtes réunionnaises présente un double caractère :

- un phénomène chronique généré par les houles modales d'alizés ;
- des phénomènes événementiels (houles australes, tempêtes tropicales et cyclones).

L'île est donc exposée à trois types de houle dont les plus fréquentes demeurent les houles d'alizés, de secteur dominant sud-est (Troadec, 1991 ; Roy *et al.*, 2009 ; Pedreros *et al.*, 2009 ; Jumaux *et al.*, 2012). Les façades nord et est ainsi qu'une partie des façades ouest (au nord de la pointe des Aigrettes) et sud (au nord de la pointe de la Table) sont sous influence des houles cycloniques. Le reste des façades occidentales et méridionales sont en revanche plus impactées à la côte par les houles australes (Pedreros *et al.*, 2009).

À proximité du rivage, les houles générées par les alizés sont à l'origine de deux dérives littorales, contournant l'île par l'est et l'ouest, et dont les courants convergent du côté opposé, entre la pointe des Galets et l'embouchure de la rivière des Galets (Troadec, 1991 ; Bastone, De la Torre, 2011).

La redistribution *long-shore* des sédiments de part et d'autre des débouchés de rivière s'effectue grâce aux courants côtiers impulsés par la dérive littorale, à l'origine de la constitution des cordons de galets et des plages de sable volcanique du littoral réunionnais. Ces courants, principalement induits par le déferlement des vagues, peuvent être influencés par le balancement des marées, notamment en zone d'arrière-récif (Cordier, 2007 ; BRGM, 2012).

La dynamique alterne entre des périodes calmes favorables à la sédimentation et des périodes de fortes houles entaillant le haut de plage et déplaçant le sable vers la zone infra-littorale. La résultante *cross-shore* du transit sédimentaire s'établit principalement sous l'action des houles destructives (houles de forte intensité) qui transportent les sédiments vers le fond et les stockent sous la forme de barres pré-littorales. Les houles constructives (vagues de « beau temps ») ramènent les sédiments vers la surface et créent une berme de haut de plage (BRGM, 2012).

Le bilan sédimentaire des plages réunionnaises est essentiellement associé à des événements ponctuels générant des conditions hydrodynamiques extrêmes : notamment les houles australes et cycloniques (Troadec, 1991 ; De la Torre, 2004). Les événements cycloniques peuvent avoir des conséquences importantes sur les côtes meubles qui peuvent être directement affectées :

- par les impacts des vagues en fonction de la nature du substrat et de la présence ou non de protections récifales ;
- par les submersions marines dépendant de l'énergie des dynamiques marines et de la topographie.

Au niveau des systèmes coralliens, les processus hydrométéorologiques influencent la dynamique hydrosédimentaire des plages qui sont plus sensibles aux courants de marée, aux vents et aux houles de tempête (Murray *et al.*, 1977 ; Kench, 1994, 1998 ; Angwenyi, Rydberg, 2005 ; Tamura *et al.*, 2007).

Des courants intra-récifaux particuliers se manifestent consécutivement au déferlement de la houle sur la barrière récifale (Bouchon, 1979 ; Jamon, 2002). Par ailleurs, la marée provoque des courants de flux et de reflux particulièrement sensibles au sein des dépressions arrière-récifales et notamment à proximité des passes (Brander *et al.*, 2004 ; De la Torre, 2004 ; Storlazzi *et al.*, 2004). Les mouvements de sédiments le long des plages coralliennes sont également influencés par la morphologie, la géométrie et la rugosité des récifs (Roberts, 1980 ; De la Torre, 2004 ; Cordier, 2007).

Le long des côtes rocheuses, ce sont les falaises, dont la dégradation est plus lente mais tout aussi inéluctable, qui constituent des stocks locaux de sédiments. Ces derniers jouent un rôle d'auto-protection de la falaise à un stade où l'accumulation présente une certaine résistance à l'énergie océanique, puis entrent ensuite localement dans la dynamique de circulation subtidale (De la Torre, 2004 ; Bastone *et al.*, 2012).

À partir des caractéristiques de houle et de la configuration du littoral réunionnais, une estimation des flux sédimentaires sur tout ou partie de l'île a successivement été réalisée par Bouchon (1979), Faure (1982), Gabrié (1985), Troadec (1991), Aubié et Pedreros (2002), Jamon (2002), Antea-In Vivo (2003), Cazes-Duvat et Paskoff (2004), Fèvre (2005), De la Torre (2004 ; 2006), Lozion et Villeneuve (2007), Cordier (2007), De la Torre et Louzé (2008), Blangy *et al.* (2009), Pedreros *et al.* (2009), Actimar (2011), Bastone et De la Torre (2011), Bastone *et al.* (2012), Le Berre *et al.* (2012), le BRGM (2006, 2012), Cazes-Duvat *et al.* (2016), Mahabot (2016), Mahabot *et al.* (2016), ACOA Conseil (2017).

Le bilan sédimentaire de La Réunion est globalement déficitaire et l'érosion prédomine sur la sédimentation (voir 4.5 Bilan sur les mouvements de sédiments). Les secteurs ou le bilan sédimentaire est globalement positif sont ceux qui bénéficient des apports extérieurs leur permettant de se recharger en sédiments (BRGM, 2012) : il s'agit des zones voisines aux exutoires des grands cônes alluviaux et des zones alimentées en apports sédimentaires par production de sables bioclastiques ou débris de falaise, par conséquent les zones en retrait des récifs ou des falaises peu cohérentes.

Hormis ces dernières zones, l'érosion affecte tous les autres types de côte et le bilan sédimentaire demeure déficitaire pour la moitié des espaces côtiers de l'île. Un cinquième du littoral réunionnais est jugé en équilibre dynamique en présentant une bonne résilience aux événements extrêmes. Résultant de facteurs naturels extrêmes comme les houles cycloniques ou australes, les tendances déficitaires du bilan sédimentaire sont ponctuellement aggravées par les actions anthropiques (aménagements côtiers, extractions, piétinement, etc) qui perturbent la dynamique naturelle (Troadec, 2002 ; BRGM, 2006 ; Chateauminois *et al.*, 2016).

7.2 Évolution du littoral et des fonds

Les observations du trait de côte présentent des particularités locales d'évolution liées à la géomorphologie littorale et à l'expression des agents dynamiques météo-marins et continentaux. En matière de géomorphologie littorale, le type de côte (côte rocheuse, côte meuble), la morphologie des petits fonds et du plateau continental, l'orientation du trait de côte sont autant de facteurs qui influencent sensiblement les dynamiques d'évolution du système littoral.

L'évolution morphologique des côtes de La Réunion est régie par des formations rocheuses basaltiques mises en place il y a trois millions d'années, lors de l'édification de l'île par des coulées volcaniques arrivant, encore aujourd'hui, jusqu'à la mer. La côte est entrecoupée d'un réseau de rivières et ravines approvisionnant le littoral en matériel alluvial à l'origine des cordons de galets, des plages et des dunes adjacentes aux exutoires. Enfin, le développement de récifs frangeants le long de la façade sud et ouest de La Réunion détermine des modes d'évolution spécifiques aux plages coralliennes (De la Torre, 2004).

Les évolutions du littoral et des fonds sont notamment dues à l'ampleur des mouvements sédimentaires, tant dans le profil que sous l'effet de la dérive littorale (voir 4.3 Mouvements des sédiments ; 4.5 Bilan sur les mouvements de sédiments et 7.1 Bilan sédimentaire actuel), ainsi qu'aux agents morphogènes (vents, précipitations, courants, marées, états de mer, hydrologie) qui interagissent avec le milieu côtier (voir Chapitre 3 : Facteurs hydrodynamiques).

Les côtes basses d'accumulation décrivent une dynamique annuelle et évoluent principalement d'une part sous l'action des houles de forte intensité et d'autre part, sous l'action des vents dominants est-sud-est (alizés). Les côtes à falaises évoluent quant à elles plus lentement, par mouvements de terrain engendrés par des forçages aussi bien marins que continentaux.

L'influence des événements météorologiques extrêmes est souvent déterminante pour l'évolution morphologique des côtes meubles : ces événements peuvent engendrer des amaigrissements et des reculs ponctuels très importants (voir 6.2 Évolution événementielle du littoral). La saison cyclonique (de novembre à avril) accompagnée de forts vents et de fortes houles d'est en ouest joue un rôle particulièrement érosif sur les côtes nord et nord-est (Troadec, 1991 ; De la Torre, 2004). Mais la saison hivernale australe n'est pas en reste : les houles

générées par les dépressions dans les quarantièmes rugissants participent à la dynamique morphogène des littoraux sud et sud-ouest.

L'érosion est plus prononcée sur les formes littorales d'accumulation telles que les plages et les micro-falaises meubles qui surmontent les cordons de galets. En effet, la pérennité d'un cordon littoral dépend de l'équilibre dynamique de son budget sédimentaire. Cet équilibre résulte du bilan entre les apports de sédiments venant des rivières et des côtes alentours (transport de sédiments par la dérive littorale) d'une part, et des pertes issues principalement de l'action des vagues et du vent d'autre part (Blangy *et al.*, 2009 ; Bastone *et al.*, 2012).

Le recul du trait de côte sur les cordons résulte d'un déficit sédimentaire temporaire ou permanent. Les pertes de matériaux sont souvent d'origine naturelle à destination des puits sédimentaires définitifs (grands fonds au-delà du talus sous-marin ou du récif corallien, dunes littorales de l'arrière-pays) ou temporaires (dunes bordières, herbiers de phanérogames marines), mais elles peuvent être largement aggravées par l'impact des aménagements anthropiques :

- soit en réduisant les apports fluviatiles ou marins par des prélèvements ou l'implantation d'ouvrages de protection qui bloquent les transits sédimentaires ;
- soit en implantant par exemple des ouvrages de défense longitudinaux (murs, enrochements) et transversaux (épis, digues) ou en prélevant des sédiments directement sur le cordon.

Les côtes à falaises évoluent principalement sous l'effet de processus marins (mitraillages de galets engendrés par les houles sur les pieds de falaise, sapements, sous-cavages, effondrements gravitaires) et continentaux (ruissellements, glissements). Leur érosion n'est pas continue : elle résulte plutôt d'événements ponctuels irréversibles. Les falaises meubles et mixtes de l'île sont sujettes à des transformations au fil des saisons, dues aux conditions hydriques de l'été austral et parfois aux tempêtes, qui concourent à leur instabilité. Les côtes rocheuses à falaises basaltiques évoluent, quant à elles, sur des échelles de temps plus longues, multi-décennales ou géologiques (De la Torre, 2004).

L'indicateur national d'érosion côtière (Cerema, 2018), est destiné à fournir des éléments représentatifs de l'ampleur des transformations affectant chaque tronçon de côte exposé à l'agitation océanique (voir Chapitre 6 Évolution générale du littoral et des fonds). Il a été établi à partir d'observations aériennes du littoral suffisamment espacées dans le temps et affine de manière homogène la connaissance des caractéristiques des mouvements de la côte sur l'ensemble du rivage. Les taux de déplacement révélés par cet indicateur rejoignent généralement les tendances mises en lumière et quantifiées par les autres études d'évolution du trait de côte (Aubié *et al.*, 2001 ; De la Torre, 2004 ; De La Torre, 2006 ; Blangy *et al.*, 2009 ; De la Torre *et al.*, 2012 ; BRGM, 2012 ; Cazes-Duvat, Salmon, *et al.*, 2016 ; Cazes-Duvat, Magnan, *et al.*, 2016 ; Mahabot, 2016 ; Mahabot *et al.*, 2016 ; Belon, Salomero, 2017 ; Chateauminois *et al.*, 2017).

Les évolutions événementielles, saisonnières et interannuelles du littoral sont plus contrastées et correspondent à des échelles de temps plus courtes que celle précédemment évoquée. La côte peut ainsi connaître une alternance de phases d'érosion, de stabilité et d'accrétion. Cette évolution non linéaire à court et moyen terme est fortement dépendante des conditions météo-marines : en période peu énergétique (conditions météo-marines relativement calmes), la tendance du bilan sédimentaire est à la stabilité, voire à l'accrétion : on parle alors de résilience du système littoral pour les côtes sableuses. À l'inverse, en période énergétique (houles australes, tempêtes, cyclones), la tendance est à l'érosion.

Dans l'ensemble, les côtes rocheuses à falaises semblent relativement stables au cours de la période 1950-2008 : 88,5 % d'entre elles ne présentent pas d'évolution perceptible par l'indicateur et seules 4 % témoignent d'une faible érosion majoritairement comprise entre -0,1 et -0,5 m/an. À l'inverse, plus d'un tiers des formes d'accumulation de l'île (37,3 %) évoluent selon des taux moyens de l'ordre de -0,1 à -1,5 m/an. Près d'un cinquième des côtes meubles (22 %) affichent une accrétion majoritairement comprise entre +0,1 et +0,5 m/an (Cerema, 2018).

Les principales zones de recul où les taux moyens annuels d'érosion peuvent dépasser -0,5 m/an sont situées entre Saint-Louis et l'est de l'Étang-Salé (de part et d'autre de l'étang du Gol), au niveau de la plage des Roches Noires (Saint-Gilles-les-Bains), le long du linéaire de Saint-Paul (de part et d'autre de l'étang éponyme) et plus localement au droit des falaises de Saint-Benoît et des cordons de galets de Saint-François. D'autres secteurs présentent également une propension à l'érosion, mais relativement moins prononcée (inférieure à -0,5 m/an) : la baie de La Possession ainsi que les cordons sédimentaires du sud de Saint-André, de Bras-Panon et de Saint-Benoît (Cerema, 2018).

De manière générale, l'érosion domine globalement les plages coralliennes de Grande Anse (Petite-Île), Saint-Leu, l'Ermitage-les-Bains, Saint-Gilles-les-Bains, Grand Fond et Boucan-Canot. Saint-Pierre, l'Étang-Salé-les-Bains, La-Saline-les-Bains et les Brisants (Saint-Gilles-les-Bains) présentent en revanche des plages en progradation, jusqu'à +1,5 m/an (Cerema, 2018).

Les zones où le trait de côte présente une forte avancée (supérieure à +3 m/an) sont localisées au droit du Piton Sainte-Rose et de la pointe du Tremblet, en raison des coulées de lave issues de l'éruption du volcan de la Fournaise (respectivement en mars 1977 et en avril 2007). Pour le reste, les accrétions dont les taux sont évalués entre +0,5 et +1,5 m/an concernent plus généralement les cordons de galets présents à proximité des exutoires des cours d'eau (rivière Saint-Denis, ravine de la Patate à Durand, rivière des Pluies, Grande Rivière Saint-Jean, rivière de l'Est, etc) ou en amont-dérive d'ouvrages côtiers bloquant le transit sédimentaire (est du port de Sainte-Marie, est des digues de Sainte-Suzanne, sud de la digue du Butor à Saint-Benoît, etc) (Cerema, 2018).

7.3 Prospective et impact du changement climatique

Les modifications du climat actuellement constatées sont au cœur des analyses du Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Évolution du Climat (GIEC) et sont associées à une évolution majeure pour le littoral : la montée des eaux des océans. Une telle montée n'est pas restreinte à la période de présence humaine à la surface du globe. Malgré cela, elle est sensiblement influencée par les activités humaines et montre actuellement une rapidité singulière. En conséquence, les côtes de La Réunion vont être affectées par une combinaison de cette élévation du plan d'eau océanique et d'une potentielle modification du régime de houle, également dépendant du climat. C'est la possible élévation du niveau de plus de 1 m par siècle qui fait redouter un remodelage important et irréversible des côtes par une telle combinaison (Cazes-Duvat, 2012 ; Cazenave, Le Cozannet, 2014 ; Le Cozannet *et al.*, 2015 ; Planton *et al.*, 2015).

Ce sont les côtes meubles, très vulnérables face à la houle et au niveau moyen de la mer, qui seront les plus particulièrement touchées par ce remodelage. Les côtes à falaises sont quant à elles très peu sensibles à l'élévation du niveau de la mer, le besoin d'adaptation y est moins fort, mais la vulnérabilité des falaises vis-à-vis d'évolutions possibles du régime des pluies et des houles associées aux événements extrêmes ne doit pas être écartée.

Au sein des systèmes coralliens, les modifications des courants de marée viendront s'ajouter aux effets sur la dynamique liée à l'agitation. En effet, ces courants de marée se forment sous le contrôle des niveaux extrêmes atteints par la surface de l'eau entre pleine et basse mer. L'élévation du niveau de la mer aura probablement un fort impact sur la submersion dans les lagons et les dépressions d'arrière-récif, ainsi que pour toutes les autres zones basses côtières en situation comparable. Cependant pour prédire l'impact du changement climatique sur toutes les zones basses côtières de l'île, les incertitudes scientifiques sont encore très nombreuses à ce jour.

L'impact du changement climatique sur les écosystèmes marins d'Outre-Mer, généralement insulaires, est bien plus sensible qu'en métropole. L'élévation des températures, la montée et l'acidification des eaux modifient le fonctionnement des écosystèmes. Il existe un fort besoin de recherche sur les scénarios à envisager, à court, moyen et long terme (CGDD, DRI, 2012).

Le GIEC a effectué un inventaire des forçages côtiers qui pourraient évoluer avec le changement climatique (GIEC, 2007) :

- l'élévation du niveau de la mer pourra ainsi aggraver les aléas tels que l'érosion, les intrusions salines dans les aquifères, les submersions temporaires et également créer un nouvel aléa de submersion permanente des zones basses ;
- il y aura vraisemblablement une augmentation de l'intensité des cyclones tropicaux, avec en revanche une incertitude sur l'évolution de leur fréquence ;
- la modification des régimes de tempête (pression atmosphérique, direction et force du vent) entraînera une modification du régime des surcotes ;
- l'acidification des océans affectera les organismes vivants, notamment les coraux, qui forment une protection des littoraux tropicaux contre l'agression des vagues (Quod, 2000) ;
- l'augmentation des cumuls de précipitation (ONERC, 2012) entraînera des changements dans les apports de sédiments fluviaux, aggravant ainsi les processus érosifs des roches tendres et augmentant le risque d'inondations côtières ;

Les modifications de température et l'augmentation du pH des océans pourraient provoquer des modifications de certains habitats, notamment les récifs coralliens, et donc diminuer une source de sédiments calcaires détritiques (Petit, Prudent, 2010 ; Nicholls *et al.*, 2014).

Le changement climatique est à considérer comme une « chaîne d'impacts » qui va perturber le système climatique par des évolutions de certains grands paramètres (température de l'air, précipitations, niveau de la mer), et donc potentiellement avoir des répercussions sur la fréquence, l'intensité et la répartition des aléas. Ceux-ci pourront provoquer des répercussions sur les ressources naturelles (eau, sols, espace terrestre …), et donc sur les conditions de maintien et de développement de certaines activités humaines (agriculture, production d'énergie, aménagement du territoire …). Certains secteurs d'activité, comme le tourisme ou la santé, sont directement sensibles aux évolutions des conditions climatiques. Il paraît donc nécessaire d'appréhender cette chaîne d'impacts afin de pouvoir comprendre en

Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances des côtes de La Réunion

Carte d'identité des unités morphosédimentaires

- Pics
- Volcan
- Réseau hydrographique permanent
- Bâti
- Limite communale

Unité morphosédimentaire

- Cap Auguste au cap la Houssaye
- Cap la Houssaye à la pointe de Bonne Espérance
- Pointe de Bonne Espérance au cap Auguste

Pour en savoir plus : www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr

Source - Copyrights :
Réseau hydrographique - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Occupation du sol - BDCarto® - ©IGN Paris - Reproduction interdite
BD Alti - ©IGN Paris - Reproduction interdite
Fond bathymétrique : ESRI

Figure 7.2 : Carte résumant l'identité des unités morphosédimentaires

quoi le changement climatique risque de perturber les territoires et les sociétés (ONERC, 2012).

Le Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) a dans ce sens réalisé des études préliminaires de l'impact du changement climatique sur les risques naturels à La Réunion (Bastone, De la Torre, 2011). Concernant les effets associés à l'élévation du niveau marin induite par le changement climatique, un diagnostic préalable aux conséquences sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers de La Réunion a également été mené par Aunay et de Broch d'Hotelans (2011). D'autres bureaux d'études tels que ASCONIT et PARETO (2011) se sont également attachés à évaluer la vulnérabilité des côtes réunionnaises au changement climatique.

Une autre conséquence des modifications du climat pourrait être l'accentuation des phénomènes de dégradation mécanique des rivages, avec l'augmentation de la fréquence et de la force des vagues formées lors des tempêtes ou des cyclones. Cette dégradation revêt une importance accrue dans le cas des côtes rocheuses, où les phénomènes liés à la circulation interne des eaux (pénétration ou circulation dans les cavités, eaux de pluie infiltrées) contribuent à la fracturation et à la dégradation des matériaux durs. Des changements de direction de houle auraient par ailleurs des conséquences localisées à l'échelle de chaque plage ou baie qui ne sont pas connues actuellement.

Face aux incertitudes des impacts futurs du changement climatique, il devient délicat et nécessaire à la fois de définir des stratégies de gestion du littoral en contexte de modifications du climat, notamment au regard du coût des défenses de plus en plus élevé et des capacités limitées de financement qu'apporte la puissance publique. Après avoir concentré ses efforts ces dix dernières années sur la couverture de l'île de La Réunion en matière de risques d'inondations et de mouvements de terrain (douze PPR « inondation », six PPR « inondation et mouvements de terrain », trois PPR « mouvements de terrain » approuvés), les services de l'État ont investi le champ des risques littoraux depuis 2012.

Sur l'île de La Réunion, des plans de prévention des risques littoraux, ciblant les secteurs à forts aléas et forts enjeux, ont été élaborés depuis ces dernières années par la DEAL, avec le concours du BRGM. Le PPRL a pour but d'arbitrer les différents modes de gestion de l'érosion côtière, effectués en toute transparence et adaptés aux enjeux, à la fois de sécurisation des personnes face au risque et de préservation de l'environnement.

Sur le long terme, le choix entre le maintien et le renforcement des défenses côtières, la mise en place d'une adaptation plus souple par ajustement aux évolutions physiques et la renaturation qui peut être accompagnée d'une remise en libre évolution de certains espaces littoraux, devra prendre en considération de manière collective aussi bien l'importance des coûts de défense, que les difficultés techniques, réglementaires et financières de la libération des espaces littoraux menacés par la relocalisation des activités et des biens en arrière du littoral. Les futures approches d'aménagement devront tenir compte de tous ces éléments, dans le cadre de dynamiques à la fois locales, perceptibles dès à présent, et des changements globaux dont la perception doit s'améliorer dans l'avenir (Le Cozannet *et al.*, 2015).

7.4 Perspectives

Les risques naturels touchent les DROM-COM qui, par leur position géographique et leur contexte géologique, sont particulièrement sujets aux aléas de type météorologique (tempêtes, cyclones, inondations) et géologique (glissements de terrain, séismes, tsunamis, éruptions volcaniques ou érosion côtière). Ces risques font l'objet de travaux de recherche souvent conduits par les organismes nationaux (Météo-France, SHOM, BRGM, IRD, Ifremer…) et s'appuient sur des observatoires existants (volcans, séismes) ou en devenir comme les systèmes d'alerte aux tsunamis dans le bassin de l'océan Indien (CGDD, DRI, 2012).

Dans un contexte de pression anthropique croissante et d'augmentation des risques d'érosion côtière, le BRGM conduit depuis 2004 des études sur la morphodynamique des littoraux de La Réunion afin de mieux appréhender et suivre le phénomène d'érosion du littoral de l'île et de formuler des recommandations en matière de remédiation des sites sensibles. Le protocole de suivi mis en œuvre s'appuie sur l'analyse de l'évolution historique et récente du trait de côte et de profils topo-bathymétriques. Sur la base des connaissances acquises et des recommandations de gestion formulées pour remédier à l'érosion sur les sites sensibles, un guide de gestion du littoral de La Réunion a été élaboré (source : www.brgm.fr).

L'État, le Conseil Régional de La Réunion et le BRGM se sont associés pour réaliser le projet OBSCOT (Observation et gestion de l'érosion Côtière à La Réunion) qui aide à suivre et gérer l'érosion du littoral réunionnais, plus particulièrement sur des sites sensibles comportant des enjeux. Le projet OBSCOT conduit, depuis 2013, un double objectif avec d'une part, des observations sur les sites identifiés comme sensibles et d'autre part, un volet d'aide à la gestion de l'érosion côtière. La première étape du projet a notamment permis la rencontre des acteurs du littoral, parmi les décideurs et les gestionnaires du littoral ainsi que la communauté scientifique (source : www.brgm.fr).

Afin de pérenniser le suivi de l'évolution morphologique des plages et des transferts sédimentaires en contexte corallien sur la côte occidentale de La Réunion, le SOERE « Trait de côte » (Système d'Observation et d'Expérimentation à long terme pour la Recherche en Environnement labellisé par l'Alliance Nationale pour l'Environnement) a pour vocation, depuis 2011, de constituer un réseau d'observation dédié à l'évolution du trait de côte et des paramètres de forçage tels que les conditions climatiques et houlographiques. Il s'appuie sur des techniques de mesures modernes faisant appel à la télédétection et permettant d'atteindre des précisions de l'ordre centimétrique (source : la-reunion.ird.fr).

L'objectif est de pérenniser les séries de mesures à long terme sur des sites ateliers et de garantir l'interopérabilité et la diffusion des données. En 2012, dans le cadre de l'Observatoire des Sciences de l'Univers de La Réunion (OSU-R), trois sites test dans la zone de l'Ermitage ont intégré le SOERE et constituent actuellement les seuls sites en contexte corallien dans ce dispositif (source : la-reunion.ird.fr).

Plus récemment, dans le cadre du Service National d'Observation DYNALIT labellisé par le CNRS INSU (Institut National des Sciences de l'Univers), des chercheurs, des enseignants-chercheurs et des doctorants rattachés à l'OSU-R et l'Université de La Réunion, ainsi que des ingénieurs réunionnais s'impliquent dans l'étude sur la dynamique du littoral et du trait de côte. À l'échelle nationale, DYNALIT gère sur le long terme l'acquisition, la collecte et la mise en cohérence de données métrologiques sur une trentaine de sites ateliers (côtes sableuses, falaises, embouchures) répartis sur toutes les façades maritimes françaises afin de nourrir à la fois la recherche académique et les stratégies de gestion du trait de côte (source : www.dynalit.fr).

À La Réunion, DYNALIT s'inscrit dans la nécessité d'observer quantitativement l'hydro-morphodynamique du site-test de l'Ermitage. Les paramètres étudiés localement sont plus particulièrement la morphologie (trait de côte, topographie, bathymétrie), les flux sédimentaires, la turbidité et les forçages marins (niveaux et états de mer). Cet impératif répond à des finalités de deux ordres (source : www.dynalit.fr) :

- scientifique : compréhension des processus dont la question emblématique du GIEC concernant la modification du régime des événements météorologiques extrêmes ;
- sociétal : gestion du littoral autour notamment des risques d'érosion.

Les perspectives de progrès global dans la connaissance des dynamiques sédimentaires sur l'île de La Réunion demeurent néanmoins nombreuses, car celle-ci présente encore à ce jour des lacunes qui privent l'analyse du bilan sédimentaire global de données qui pourraient pourtant se révéler décisives. Le stock sédimentaire et les flux doivent par conséquent être mieux connus qu'à l'heure actuelle.

Les principaux manques de connaissance sur le littoral et les fonds réunionnais concernent :

- la répartition des sédiments sur certains secteurs de côte ;
- les transits sédimentaires sur certains secteurs de côte ;
- une quantification des apports sédimentaires fluviatiles et marins ;
- une quantification des pertes, définitives ou temporaires, de sédiments notamment à destination des grands fonds océaniques et à travers les passes des récifs frangeants de La Réunion.

Dans l'état actuel des connaissances, aucune étude ne s'est attachée à estimer de manière quantitative les flux sédimentaires côtiers (transits *long-shore* et *cross-shore*). Les perspectives de développement des deux approches d'évaluation quantitative des flux de sédiments que sont les mesures *in situ* et les modélisations sont grandes à ce jour, avec la mise en œuvre d'outils d'observation plus précis et répétitifs, ainsi que de modèles d'évolution morphologique du rivage plus performants. Ces approches se doivent d'être généralisées à l'ensemble de l'île, ou a minima dans les secteurs très évolutifs et à enjeux.

Les observations doivent par conséquent se poursuivre, s'étendre et s'améliorer pour permettre d'une part de mieux connaître les conséquences des événements hydro-météorologiques présents affectant la côte, mais aussi pour fournir une matière première aux travaux de modélisation de la dynamique sédimentaire et atteindre une capacité de prédiction valide à l'échelle locale. La modélisation est en outre amenée à constituer un auxiliaire précieux pour faire évoluer l'approche déterministe du trait de côte vers une approche probabiliste, appropriée pour un aménagement à plus long terme de l'espace côtier et des milieux naturels qui le constituent ou qui doivent y retrouver leur place.

Si des observations venaient à être effectuées, elles doivent également continuer de tirer bénéfice des progrès constants en matière de mesures environnementales en milieu marin (lidar marin, mesures de houle, photogrammétrie au sol et par drone volant, mesures par drone flottant, imagerie sous-marine, etc). Alors que le suivi du trait de côte s'effectuait essentiellement auparavant par des techniques d'analyse planimétrique (comparaison et

interprétation d'orthophotographies), le développement récent des méthodologies dans l'analyse diachronique des plages sableuses permet dorénavant de travailler avec des modèles numériques de terrain à haute résolution aussi bien à l'échelle évènementielle que pluriannuelle. Il est également nécessaire de compenser le déficit actuel de connaissances par une estimation parallèle des incertitudes, insuffisamment expliquées mais suffisamment homogènes pour être représentatives de tendances objectives et assorties d'une marge d'erreur partagée.

Des perspectives d'amélioration des connaissances sont aussi ouvertes par la nécessaire analyse des liens entre les mécanismes sédimentaires, les pressions anthropiques tant sur le littoral que sur le bassin versant (urbanisme, aménagements, activités), les phénomènes météorologiques (instantanés ou à travers des tendances) et leurs conséquences. Les observations régulières telles qu'elles sont actuellement effectuées par le BRGM ou l'OSU-R, complétées par des constats opérés à la suite des tempêtes ou des cyclones les plus importants, permettront à terme d'améliorer les stratégies locales de gestion du littoral.

À La Réunion, les efforts doivent plus précisément s'orienter vers une clarification des plans de gestion des sédiments afin de coordonner les opérations de dragage portuaire et les rechargements de plage sur un espace port/plage où interviennent parfois plusieurs gestionnaires sans concertation. Une gestion plus cohérente et intégrée des sédiments est en ce sens la solution indispensable à moyen terme, car la relocalisation des enjeux est pour le moment compromise. Des lacunes se dégagent également quant à la gestion des sédiments de dragage d'entretien pour lesquels il n'existe pas encore de réelles directives si jamais ces derniers venaient à dépasser le seuil de pollution.

Les cordons littoraux réunionnais, par la force de leurs mouvements de recul, amènent enfin à des adaptations et des interventions susceptibles d'interférer avec ce recul. Ces adaptations se situent dans deux types de cadre. Le premier se rapproche de l'accompagnement des mécanismes naturels à travers la gestion de la végétation. Dans ce contexte, l'Office National des Forêts (ONF) assure la gestion durable des cordons sableux du littoral occidental de l'île de La Réunion (entre Saint-Paul et l'Étang-Salé), tout en conjuguant développement économique et urbanisation. Pour faire face à l'érosion, l'ONF entreprend sur les littoraux de planter des filaos et des chocas afin de stabiliser les plages et les protéger face aux houles, au vent et à l'élévation du niveau de la mer. À l'intérieur des terres, les dunes de sable éolien de l'Étang-Salé sont reboisées pour faire face au ruissellement des eaux (source : wikhydro.developpement-durable.gouv.fr).

Cette démarche permet
(source : wikhydro.developpement-durable.gouv.fr) :

- la préservation de la « naturalité » du littoral de La Réunion ;
- la création d'une « zone tampon » protégeant les zones urbanisées ;
- le maintien des sols grâce au système racinaire des plantes ;
- la réduction du ruissellement grâce au système foliaire ;
- la réduction de l'érosion éolienne grâce à la forêt qui réduit l'impact du vent.

Si la gestion souple des cordons par la revégétalisation est actuellement maîtrisée, l'expérimentation pour une adaptation aux évolutions de leur environnement devient nécessaire. Les projets de reboisement par les filaos peuvent plus particulièrement être discutés. Ces arbres (*Casuarina equisetifolia*), dits pionniers, sont capables de coloniser des sols pauvres en éléments minéraux comme les sols volcaniques de La Réunion. Importés de Madagascar, les filaos ont rapidement colonisé les régions côtières où ils ont été plantés à l'origine pour lutter contre l'érosion des plages sableuses. Ils se développent aujourd'hui en abondance et sont devenus très envahissants, notamment à Sainte-Rose, à Saint-Benoît et sur les laves du Grand-Brûlé où ils poussent spontanément. De cette façon, *Casuarina equisetifolia* remplace la végétation indigène et les habitats naturels, perturbe les successions végétales et empêche la recolonisation du milieu par la flore indigène. L'espèce est effectivement dominante ou co-dominante dans les milieux naturels ou semi-naturels, avec un fort impact sur la composition, la structure et le fonctionnement des écosystèmes. Par ailleurs, cette essence abaisse la nappe phréatique, assèche les sols et n'est pas adaptée pour la ponte des tortues (CBN-CPIE Mascarin, 2018).

Le second type d'adaptation est constitué par des actions de génie civil, insérant dans le milieu naturel des constructions prévues pour durer en l'état (enrochements, structures en béton). Les deux approches ont des objectifs et des résultats communs pour certains, divergents pour d'autres. Les mesures prises doivent faire l'objet de diagnostics d'impacts et d'évaluations pour les connaître en toute objectivité, et se tourner vers les orientations stratégiques les plus équilibrées. Certaines infrastructures et constructions sont encore peu sujettes à expérimentation ou évaluation, qu'elles soient des réalisations à caractère privé ou public. Enfin un large travail d'amélioration des connaissances attend les acteurs du littoral en matière de résilience des espaces côtiers, et d'adaptation à des effets encore très mal estimés du changement climatique.

8 Annexes

8.1 Bibliographie

8.1.1 Chapitre 2

AGRESTE LA RÉUNION, 2015. 98 : La protection du foncier agricole à La Réunion [en ligne]. Analyses. S.l. DAAF La Réunion. [Consulté le 22 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Protection-foncier-La-Reunion_cle8a8933.pdf.

AUBIÉ, S. et PEDREROS, R., 2002. BRGM/RP52047-FR : Dynamique sédimentaire en milieu corallien à l'île de La Réunion. S.l. BRGM - Laboratoire ARGO - LST Université de La Réunion.

BABONNEAU, N., DELACOURT, C., CANCOUËT, R., SISAVATH, E., BACHÈLERY, P., MAZUEL, A., JORRY, S.J., DESCHAMPS, A., AMMANN, J. et VILLENEUVE, N., 2013. Direct sediment transfert from land to deep-sea : Insights into shallow multibeam bathymetry at La Réunion Island. In : Marine Geology © Elsevier B.V. 2013. n° 346, p. 47-57.

BACHÈLERY, P., 1981. Le Piton de la Fournaise (Ile de la Réunion). Etude volcanologique, structurale et pétrologique. Thèse. S.l. : Université Clermont-Ferrand II.

BACHÈLERY, P., 2004a. Evolution of Piton des Neiges and Piton de la Fournaise volcanoes, construction and destruction by flank-collapse event and caldera edifice dynamics. Baslatic Volcanism - Seismology. Saint-Pierre (La Réunion). IGP Paris, Piton de la Fournaise Volcano Observatory (PFVO), La Réunion University. Workshop on Réunion Island.

BACHÈLERY, P., 2004b. Geological evolution of La Réunion. In : European workshop on Edifice Dynamics, Basaltic Volcanism and Seismology. La Réunion : s.n. 2004.

BACHÈLERY, P. et LÉNAT, J.F., 1993. Le Piton de la Fournaise. In : Mémoires de la Société Géologique de France. 1993. n° 163, p. 221-229.

BACHÈLERY, P. et MAIRINE, P., 1990. Evolution volcano-structurale du Piton de la Fournaise depuis 0,53 Ma. In : Volcanisme de La Réunion. S.l. : J.F. Lénat (Ed.). Monographie. p. 213-242.

BACHÈLERY, P. et MONTAGGIONI, L., 1983. Morphostructure du flanc oriental du volcan de la Fournaise, île de La Réunion (océan Indien). In : Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. 1983. Vol. 297, n° 2, p. 81-84.

BACHÈLERY, P., ROBINEAU, B., COURTEAUD, M. et SAVIN, C., 2003. Debris avalanches on the western flank of Piton des Neiges shield volcano (Reunion Island). In : Bulletin de la Société Géologique de France. 2003. Vol. 174, n° 2, p. 125-140.

BACHÈLERY, P. et VILLENEUVE, N., 2013. Hot spots and large igneous provinces. In : Treatise on Geomorphology. Academic Press. San Diego, CA : Shroder, J. (Editor in Chief), Owen, L.A. (Ed.). Tectonic Geomorphology. p. 193-233. ISBN doi:10.1016/B978-0-12-374739-6.00084-1.

BARCELO, A., 1996. Analyse des mécanisme hydrologiques en domaine volcanique insulaire tropical à relief jeune. Massif de la Fournaise (île de La Réunion). Thèse. S.l. : Université de La Réunion.

BASTONE, V., DE LA TORRE, Y., TROADEC, R., FONTANEL, J.-L., HARDOUIN, E., LOMBARD, K. et LATREILLE, C., 2012. Guide de gestion de l'érosion du littoral de La Réunion [en ligne]. Guide de l'érosion du littoral. S.l. BRGM - Vie Océane - Géosciences Réunion - ONF - DEAL - Conservatoire du Littoral. [Consulté le 25 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.risquesnaturels.re/pdf/BRGM%20guide%2032p.pdf.

BATTISTINI, R., BOURROUILH, F., CHEVALIER, J., COUDRAY, J., DENIZOT, M., FAURE, G., FISHER, J., GUILCHER, A., HARMELIN-VIVIEN, M., JAUBERT, J., LABOREL, J., MONTAGGIONI, L., MASSE, J., MAUGE, L., PEYROT-CLAUSADE, M., PICHON, M., PLANTE, R., PLAIZAT, J., PLESSIS, Y., RICHARD, G., SALVAT, B., THOMASSIN, B., VASSEUR, P. et WEYDERT, P., 1975. Eléments de terminologie récifale Indo pacifique. In : Téthys. 1975. Vol. 7, p. 1-111.

BIGOT, L., 2006. Les communautés de macrofaune benthique des sédiments côtiers en zone tropicale non récifale : diversité et réponses aux modifications de l'environnement marin à La Réunion, océan Indien [en ligne]. La Réunion : Université de La Réunion, UFR des Sciences et Technologies - ECOMAR Laboratoire d'Ecologie Marine. [Consulté le 17 juin 2019]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00468129/document. tel-00468129

BILLARD, G. et VINCENT, P.M., 1974. Cartes géologiques de la France - La Réunion. Carte en 4 feuilles au 1/50 000 et notice explicative. 1974. S.l. : BRGM.

BORUM, J., DUARTE, C.M., KRAUSE-JENSEN, D. et GREVE, T.M., 2004. European seagrasses : an introduction to monitoring and management. EU project Monitoring and Managing of European Seagrasses. S.l. M & MS.

BOUCHON, C., 1979. Étude quantitative des peuplements à base de Scléractiniaires d'un récif frangeant de l'île de La Réunion, Océan Indien. Thèse de Doctorat, spécialité Océanographie. S.l. : Université Aix-Marseille II.

BOUCHON, C., 1981. Quantitative study of the Scleractinian coral communities of a fringing reef of Reunion Island (Indian Ocean). In : Marine Ecology - Progress Series. 1981. Vol. 4, p. 273-288. 171-8630/81/0004/0273

BOUCHON, C. et BOUCHON-NAVARO, Y., 1982. Etude d'environnement du lagon du récif de l'Hermitage (Lieu-dit : Go-Payet). Rapport du Centre Universitaire de La Réunion. L'Hermitage. Laboratoire de Biologie Marine.

BOURON, J.-B., 2017. Mesurer les Zones Économiques Exclusives. In : Géoconfluences [en ligne]. 2017. [Consulté le 27 mai 2019]. Disponible à l'adresse : geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/oceans-et-mondialisation/geographie-appliquee/mesurer-les-zee.

BRET, L., 2002. Minéralogie et géochimie des séries anciennes du Piton des Neiges : Modélisation et implication hydrogéologiques. S.l.

BRET, L., FÈVRE, Y., JOIN, J.L., ROBINEAU, B. et BACHÈLERY, P., 2003. Deposits related to degradation processes on Piton des Neiges volcano (Reunion Island) : overview and geological hazard. In : Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2003. n° 123, p. 25-41.

BRET, L., JOIN, J.L., LEGAL, X., COUDRAY, J. et FRITZ, B., 2003. Argiles et zéolites dans l'altération d'un volcan bouclier en milieu tropical (le Piton des Neiges, La Réunion). In : Comptes Rendus Geosciences. 2003. Vol. 335, n° 14, p. 1031-1038.

BRGM, 1986. B6 REU 30 : Atlas hydrogéologique de La Réunion [en ligne]. S.l. BRGM, Conseil Général de La Réunion, Ministère de l'Agriculture. [Consulté le 17 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/86-REU-030.pdf.

BRGM, 2006. Kit pédagogique Sciences de la Terre - La Réunion. 2006. S.l. : BRGM.

CADET, L.J.Ph, 1980. La végétation de l'île de La Réunion. Etude phytoécologique et phytosociologique. Saint-Denis-de-La-Réunion. Imp. Cazal.

CALHOUN, R., FLETCHER, S. et HARNEY, J.N., 2002. A budget of marine and terrigenous sediments, Hanalei Bay, Kauai, Hawaiian Islands. In : Sedimentary Geology. 2002. Vol. 150, n° 1, p. 61-87.

CAMOIN, G.F., COLONNA, M., MONTAGGIONI, L., CASANOVA, J., FAURE, G. et THOMASSIN, B., 1997. Holocene sea-level changes and reef development in the southwestern Indian Ocean. In : Coral Reefs. 1997. n° 16, p. 247-259.

CAMOIN, G.F., MONTAGGIONI, L. et BRAITHWAITE, C.J.R., 2004. Late glacial to post glacial sea levels in the Western Indian Ocean. In : Marine Geology. 2004. n° 206, p. 119-146.

CAREX et ARVAM, 2005. Cartographie des récifs coralliens du Parc Marin de La Réunion : phase 2 (Saint-Gilles, Saint-Leu et Saint-Pierre) [en ligne]. 2005. S.l. : Documentation Ifrecor. Disponible à l'adresse : http://ifrecordoc.fr/items/show/1091.

CAS, R.A.F. et WRIGHT, J.V., 1988. Volcanic Successions, modern and ancient, a Geological Approach to Processes, Products and Successions. S.l.

CEREMA, 2015. Nature du trait de côte [en ligne]. S.l. : Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement. Disponible à l'adresse : http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/telechargement-en-ligne-donnees-geolittoral-a802.html#sommaire_10.

CHABANET, P., 1989. Comparaison du peuplement ichtyologique en deux secteurs (perturbé et non perturbé) du lagon de Saint-Gilles-La-Saline (île de La Réunion). DEA Environnement Marin. Université Aix-Marseille.

CHABANET, P., 1994. Étude des relations entre les peuplements benthiques et les peuplements ichtyologiques sur le complexe récifal de Saint-Gilles/La Saline (Île de la Réunion). Thèse. Marseille : Université Aix-Marseille III.

CHEVALLIER, L. et BACHÈLERY, P., 1981. Evolution structurale du volcan actif du Piton de la Fournaise, île de La Réunion - océan Indien occidental. In : Bulletin volcanologique. 1981. Vol. 44, n° 4, p. 723-741.

CLÉMENT, J.P., LEGENDRE, C., CAROFF, M., GUILLOU, H., COTTEN, J., BOLLINGER, C. et GUILLE, G., 2002. Epiclastic deposits and « horseshoe shaped » calderas in Tahiti (Society Islands) and Ua Huka (Marquesas Archipelago), French Polynesia. In : Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2002. n° 120, p. 87-101.

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. Thèse. S.l. : Université d'Aix Marseille I.

COLONNA, M., 1996. 322 : Reconstruction of sea-level changes during the Holocene in the south western part of Indian Ocean. Fascicule a-Sciences de la Terre et des Planètes. S.l. Comptes rendus de l'Académie des Sciences Série II.

COQUE, R., 2002. Géomorphologie. Sixième édition. Paris : Armand Colin. Cursus - Géographie.

CORDIER, E., 2007. Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage / La Saline (La Réunion) : processus physiques et flux sédimentaires [en ligne]. Thèse. La Réunion : Université de La Réunion. [Consulté le 2 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://coraux.univ-reunion.fr/IMG/pdf/These-EmmanuelCordier-2007.pdf.

CUET, P., 1989. Influence des résurgences d'eau douce sur les caractéristiques physico-chimiques et métaboliques de l'écosystème récifal à La Réunion (océan Indien). Thèse. S.l. : Aix-Marseille III.

CUET, P., 1994. Sources de l'enrichissement en sels nutritifs de l'écosystème récifal de La Réunion : impacts des eaux sous-terraines. In : Environnement et Milieu Tropical. Paris : ESTEM : Coudray, J., Bouguerra, M.L. (eds.). p. 105-110.

CUVILIER, Alexis, 2016. Dynamique et fonctionnement des herbiers marins dans un complexe récifal anthropisé (île de La Réunion, océan Indien) [en ligne]. S.l. : Université de La Réunion, ENTROPIE [Réunion] - Ecologie marine tropicale dans les Océans Pacifique et Indien. [Consulté le 24 octobre 2019]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01485579/document.

DE LA TORRE, Y., 2004. RP53307-FR : Synthèse morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 1 : état des lieux et tendances d'évolution à l'échelle de l'île [en ligne]. S.l. BRGM. [Consulté le 4 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53307-FR.pdf.

DE LA TORRE, Y., 2010. Réseaux d'observation et aide à la gestion du trait de côte en outre-mer : La Réunion et Mayotte. In : Journées Scientifiques et Techniques [en ligne]. Brest : s.n. 2010. p. 12. [Consulté le 9 décembre 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/260389970_Reseaux_d%27observation_et_aide_a_la_gestion_du_trait_de_cote_en_outre-mer_La_Reunion_et_Mayotte.

DE LA TORRE, Y., BASTONE, V., BODERE, G. et DESPREZ, A., 2012. BRGM/RP-60714-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 4 [en ligne]. Rapport final - Etude réalisée dans le cadre des projets de Service Public du BRGM 2009 10LITA05. S.l. BRGM. [Consulté le 20 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60714-FR.pdf.

DELBOSC, P., LACOSTE, M. et PICOT, F., 2011. 5 : Cahiers des habitats littoraux de La Réunion [en ligne]. Rapport technique. Saint-Leu, La Réunion. Conservatoire Botanique National de Mascarin - CPIE Mascarin - Conservatoire du Littoral - Kelonia l'observatoire des tortues marines. [Consulté le 27 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/CAHIER-DES-HABITATS-LITTORAUX_version-finale-light_cle773c17.pdf.

DIREN, 2005. A 2003-42 / 31090 N : Etat des lieux du district hydrographique de La Réunion [en ligne]. Caractérisation du district - Registre des zones protégées. S.l. Direction Régionale de l'Environnement de La Réunion. [Consulté le 17 juin 2019]. Disponible à l'adresse : https://wwz.ifremer.fr/lareunion/content/download/24629/348222/file/Etat%20des%20Lieux%202005.pdf.

FAURE, G., 1982. Recherche sur les peuplements de Scléractiniaires des récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien occidental). Thèse de Sciences Naturelles. S.l. : Université Aix-Marseille II.

FÈVRE, Y., 2005. Mécanismes et vitesses d'érosion à l'échelle géologique sur une île volcanique jeune à relief élevé - La Réunion (océan Indien) [en ligne]. Thèse en Hydrologie. La Réunion : Université de La Réunion. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00789183/document. tel-00789183

FÈVRE, Y., BRET, L., ODON, O., ARNAUD, N. et BACHÈLERY, P., 2003. New insights on Mafate - Saint-Gilles debris avalanche deposits (westward Piton des Neiges volcano - Reunion Island). In : Proceeding EGS - AGU - EUG Joint Assembly. Nice, France : s.n. 2003.

FURET, M., CORDONNIER, T. et BONNIER, J., 2012. Modélisation numérique en densité variable du système aquifère « gol-coco-pierrefonds » au sud-ouest de La Réunion. La Réunion. Office de l'Eau Réunion.

GARCIN, M., POISSON, B. et POUGET, R., 2005. High rates of geomorphological processes in a tropical area : the Remparts River case study (Réunion Island, Indian Ocean). In : Geomorphology. 2005. Vol. 67, n° 3-4, p. 335-350. DOI 10.1016/j.geomorph.2004.11.002.

GILLOT, P.-Y., NATIVEL, P. et CONDOMINES, M., 1990. Géochronologie du Piton de la Fournaise. In : Volcanisme de La Réunion. S.l. : J.F. Lénat (Ed.). Monographie. p. 243-256.

GLYNN, P., 1997. Bioerosion and coral reef growth : A dynamic balance. Chapman and Hall. New York : Birkeland, C., eds.

GUILLAUME, M., PAYRI, C. et FAURE, G., 1983. Blatant degradation of coral reefs at La Réunion Island (West Indian Ocean). In : Biologie et Ecologie des Recifs Coralliens. 1983.

GUILLOT, P.Y. et NATIVEL, P.E., 1982. K-Ar chronology of the ultimate activity of Piton des Neiges volcano, Réunion island, Indian Ocean. In : J. Volc. Geotherm. Res. 1982. n° 13, p. 131-146.

HILY, C., DUCHÊNE, J., BOUCHON, C., BOUCHON-NAVARO, Y., GIGOU, A., PAYRI, C. et VÉDIE, F., 2010. Hily C., Gabrié C., Duncombe M. coord. : Les herbiers de phanérogames marines de l'outre-mer français. S.l. IFRECOR, Conservatoire du Littoral.

IEDOM, 2015. La Réunion [en ligne]. Rapport annuel 2015. Siège social : 164, rue de Rivoli - 75001 PARIS. Institut d'Emission des Départements d'Outre-Mer. [Consulté le 27 mai 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.iedom.fr/IMG/pdf/ra_2015_iedom_reu_.pdf.

INSEE, 2016. 146 : Recensement de la population : populations légales 2016 [en ligne]. Insee Flash Réunion. La Réunion. Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques. Les publications régionales. Disponible à l'adresse : https://www.insee.fr/fr/statistiques/3681228.

JOIN, J.L., 1991. Caractérisation hydrogéologique du milieu volcanique insulaire. Le Piton des Neiges (île de La Réunion). Thèse. S.l. : Université de Montpellier.

KORUP, O., 2012. Earth's portfolio of extreme sediment transport events. In : Earth-Science Reviews. 2012. Vol. 112, n° 3-4, p. 115-125. DOI 10.1016/j.earscirev.2012.02.006.

LABAZUY, P., 1991. Recurrent landslides events on the submarine flank of Piton de La Fournaise volcano (Reunion Island). In : in McGuire, W.J., Jones, A.P. and Neuberg, J., eds., Volcano Instability on the Earth and Other Planets, Geological Society Special Publication. 1991. n° 110, p. 295-306.

LACOSTE, M., DELBOSC, P. et PICOT, F., 2011. 6 : Cahiers d'habitats de La Réunion : Zones humides [en ligne]. Rapport technique. Saint-Leu, La Réunion. Conservatoire Botanique National de Mascarin - FEDER Fond Européen pour le Développement Régional - DIREN Réunion - Parc National de La Réunion - Région Réunion. [Consulté le 27 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Cahier_d_habitats_zones_humides_20111231_diff_light_cle67519b.pdf.

LACOSTE, M., DELBOSC, P. et PICOT, F., 2014. 8 : Typologie Descriptive des Habitats naturels et semi-naturels de La Réunion [en ligne]. Rapport technique. Saint-Leu, La Réunion. Conservatoire Botanique National de Mascarin - CPIE Mascarin - FEDER Fond Européen pour le Développement Régional - DEAL Réunion - Parc National de La Réunion - Région Réunion. [Consulté le 27 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Typologie_des_habitats_naturels_de_la_Reunion_20141010web_cle2382a1.pdf.

LACOSTE, M. et PICOT, F., 2009. Les zones humides de La Réunion - Volume 1 : Rapport & Annexes [en ligne]. Rapport final. S.l. CBNM, DIREN Réunion. [Consulté le 21 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/les_zones_humides_de_la_reunion_volume_1_rapport_cle5d364e.pdf.

LARKUM, A.W.D., ORTH, R.J. et DUARTE, C.M., 2006. Seagrasses : Biology, Ecology and Conservation. Springer. S.l. : s.n.

LEMAHIEU, A., 2015. Fréquentation et usages littoraux dans la Réserve Naturelle Marine de La Réunion - Elaboration d'un suivi pour l'analyse des dynamiques spatio-temporelles et apports de l'outil à la gestion et la recherche disciplinaire [en ligne]. Thèse de Géographie. S.l. : Université Paris I Panthéon Sorbonne - Ecole doctorale de Géographie de Paris. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01308703/file/Th%C3%A8se_Lemahieu.pdf.

LÉNAT, J.F. et LABAZUY, P., 1990. Morphologies et structures sous-marines de La Réunion. S.l. : Lénat, J.F., eds.

LETOURNEUR, Y., 1992. Dynamique des peuplements ichtyologiques des platiers récifaux de l'île de La Réunion. S.l. : Université d'Aix Marseille II.

LOUVAT, P. et ALLÈGRE, C.J., 1997. Present denudation rates on the island of Réunion determined by river geochemistry: Basalt weathering and mass budget between chemical and mechanical erosions. In : Geochimica et Cosmochimica Acta. 1997. Vol. 61, n° 17, p. 3645-3669. DOI 10.1016/S0016-7037(97)00180-4.

MAHABOT, Marie-Myriam, PENNOBER, Gwenaëlle, SUANEZ, Serge, TROADEC, Roland et DELACOURT, Christophe, 2016. Effect of Tropical Cyclones on Short-Term Evolution of Carbonate Sandy Beaches on Reunion Island, Indian Ocean. In : Journal of Coastal Research. 2016. Vol. 33, n° 4, p. 839-853. DOI 10.2112/JCOASTRES-D-16-00031.1.

MAHABOT, M.-M., 2016. Suivi morphodynamique des plages récifales de La Réunion en contexte d'observatoire [en ligne]. Thèse de Doctorat, spécialité Géographie. La Réunion : Université de La Réunion. [Consulté le 4 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01521588/file/Manuscrit_Th%C3%A8se_MAHABOT_Myriam.pdf.

MAINA, J., VENUS, M., MCCLANAHAN, M.-R. et ATEWEBERHAN, M., 2008. Modelling susceptibility of coral reefs to environmental stress. In : Coral Reefs. 2008. Vol. 123 Author's personal copy using remote sensing data and GIS models, n° 212, p. 180-199.

MAZUEL, Aude, SISAVATH, Emmanuelle, BABONNEAU, Nathalie, JORRY, Stephan J., BACHÈLERY, Patrick et DELACOURT, Christophe, 2016. Turbidity current activity along the flanks of a volcanic edifice : the Mafate volcaniclastic complex, La Réunion Island, Indian Ocean. In : Sedimentary Geology. 2016. Vol. 335, p. 34-50. DOI 10.1016/j.sedgeo.2016.01.020.

MCPHIE, J., DOYLE, M. et ALLEN, R., 1993. Volcanic textures : a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. University of Tasmania. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies.

MIOCHE, D., 1998. Aspects du cycle de la matière sur les récifs frangeants de l'île de la Réunion (océan Indien) : signature des dégradations et mécanismes de l'eutrophisation. Thèse. S.l. : Université de La Réunion.

MIOCHE, D. et TROADEC, R., 2002. Relations entre l'équilibre sédimentaire des plages, la structure des communautés et le budget des carbonates dans l'écosystème corallien de La Réunion. In : The Journal of Nature (Réunion). 2002. Vol. Tome 14, n° 1, p. 35-43. hal-00913745

MIRAULT, Émilie et DAVID, Gilbert, 2009. Fonctions et logiques d'interface des récifs coralliens sur le littoral de la Réunion. Communication présentée aux XIe Journées de Géographie tropicale, « Les interfaces. Ruptures, transitions et mutations », 7-10 novembre 2005, et actualisée en décembre 2009. In : Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux. 2009. Vol. 62, n° 248, p. 571-588. DOI 10.4000/com.5820.

MONTAGGIONI, L., 1970. D : Essai de chronologie relative des épisodes récifaux à l'île de La Réunion (océan Indien) ; leur incidence sur la morphologie récifale actuelle. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences. S.l.

MONTAGGIONI, L., 1971. Premières observations sur la répartition granulométrique et minéralogique des sables volcaniques littoraux de l'île de La Réunion (Océan Indien). In : Téthys suppl. 1971. p. 299-324.

MONTAGGIONI, L., 1978. Recherches géologiques sur les complexes récifaux de l'archipel des Mascareignes (océan Indien Occidental). Thèse (volume I et volume II). S.l. : Université de Marseille.

MONTAGGIONI, L. et FAURE, G., 1980. Les récifs coralliens des mascareignes (océan Indien). Univ. Fr. O. Indien. Université de La Réunion : s.n. Coll. Trav. Centre Univ.

NAIM, O., 1989. Les platiers récifaux de l'île de La Réunion. Géomorphologie, contexte hydrodynamique et peuplement benthiques. Rapport non publié AUR. S.l. Laboratoire d'Ecologie Marine, Université de La Réunion.

NAIM, O., 1993. Seasonal responses of a fringing reef community to eutrophication (Reunion Island, Western Indian Ocean). In : Marine Ecology - Progress Series. 1993. Vol. 99, p. 307-315.

NAIM, O., 1994. Structure des communautés benthiques et eutrophisation en milieu corallien. In : Environnement en Milieu Tropical. Paris : ESTEM : Coudray, J., Bouguerra, M.L. (eds.). p. 99-104.

NAIM, O., CHABANET, P., DONE, T. et TOURRAND, C., 2002. Reef regeneration 11 years after the impact of the cyclone Firinga (Reunion, SW Indian Ocean). In : Proc. 9 th Intern. Coral Reef Symp. Bali : s.n. 2002. p. 547-554.

NAIM, O. et CUET, P., 1989. Les platiers récifaux de l'île de la Réunion. Géomorphologie, contexte hydrodynamique et peuplements benthiques. Qualité des eaux. Bilan des dégradations de l'écosystème récifal. Rapport final. S.l. Université de La Réunion.

NATIVEL, P., 1978. Volcans de La Réunion. Pétrologie. Faciès Zéolite (Piton des Neiges) Sublimés (La Fournaise). Thèse Doct. es Sc. Orsay : Université Paris-Sud.

NÉDELLEC, J.L. et CRUCHET, M., 2008. BRGM/RP-56729-FR : Analyse des modes d'effondrement en masse sur plusieurs sites de La Réunion [en ligne]. Etude réalisée dans le cadre des projets de recherche du BRGM. S.l. BRGM. [Consulté le 19 juin 2019]. Projet de recherche : Les mouvements de terrain de grande ampleur dans les cirques et les grandes ravines de La Réunion. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-56729-FR.pdf.

NEHLIG, Pierre et BUCELLE, Marie, 2005. Connaissance géologique de La Réunion. Livret de l'enseignant. La Réunion. BRGM. Kit pédagogique Sciences de la Terre. ISBN : 2-7159-0974-8

NEHLIG, Pierre, QUINQUIS, Jean Pierre, BUCELLE, Marie et ODON, Olivier, 2006. Carte géologique de La Réunion [en ligne]. [Carte géologique]. BRGM. S.l. : BRGM. [Consulté le 19 juin 2019]. Kit pédagogique Sciences de la Terre. ISBN 2-7159-0995-0. Disponible à l'adresse : https://www.brgm.fr/sites/default/brgm/edutheque/kits_pedagogiques/reunion/fichier/carte/Reunion_KIT.pdf.

NICET, J.B., MOUQUET, P., TOLLIS, S. et BIGOT, L., 2016. Cartographie des habitats des récifs coralliens de La Réunion - Elaboration des fiches « Habitats Marins » et cartographie associée (préfiguration de la trame « bleue marine »). Rapport Université / Pareto / MAREX pour le compte de la DEAL Réunion. S.l.

OEHLER, J.F., 2005. Les déstabilisations de flanc des volcans de l'Ile de La Réunion (Océan Indien) : Mise en évidence, implications et origines. Thèse de Doctorat. S.l. : Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand.

OEHLER, J.F., LÉNAT, J.F. et LABAZUY, P., 2008. Growth and collapse of the Reunion Island volcanoes. In : Bulletin of Volcanology. 2008. Vol. 70, p. 717-742.

OFFICE DE L'EAU RÉUNION, 2012. Modélisation hydrogéologique des systèmes aquifères du nord de La Réunion [en ligne]. S.l. Office de l'Eau Réunion. [Consulté le 19 juin 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.eaureunion.fr/fileadmin/user_upload/Etudes/ETUDE_00928.PDF.

PINAULT, M., 2013. Evaluation de la fonctionnalité des récifs artificiels à vocation non extractive, dans un contexte d'habitats naturels fragmentés - côte nord-ouest de l'île de La Réunion. Thèse de doctorat de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, mention Systèmes Intégrés, Environnement et Biodiversité pour l'obtention du grade de Docteur / Spécialité : Ecologie Marine. 66860 Perpignan Cedex - France : Université de Perpignan.

PIPER, D. J.W. et NORMARK, W. R., 2009. Processes that initiate turbidity currents and their influence on turbidites : A marine geology perspective. In : Journal of Sedimentary Research. 2009. Vol. 79, n° 6, p. 347-362. DOI 10.2110/jsr.2009.046.

PLANCHAT, C., COUILLAUD, A., MACHECLER, M. et COLAS, S., 2012. 75 : Démographie et économie des communes littorales des départements ultramarins Guadeloupe – Guyane – Martinique – Réunion. Etudes & documents. S.l. Commissariat Général au Développement Durable - Service de l'Observation et des Statistiques. Environnement.

PNR, 2012. La Charte du Parc National de La Réunion : les Pitons,cirques et remparts au centre d'un projet de territoire. 2012. S.l. : Projet arrêté par le conseil d'administration le 21 juin 2012.

QUOD, J.-P., 2000. Des récifs coralliens et des hommes face au changement climatique. Pour une gestion durable et le maintien des services écologiques et écosystémiques des récifs coralliens du sud-ouest de l'océan indien. Rapport de vision. S.l. Coral Reef Facility.

RAUNET, M., 1991. Le milieu physique et les sols de l'île de La Réunion - Conséquences pour la mise en valeur agricole [en ligne]. S.l. : CIRAD - Région Réunion. Disponible à l'adresse : http://open-library.cirad.fr/files/2/522__946767618.pdf.

READING, H.G. et RICHARD, M.T., 1994. The classification of deep-water siliciclastic depositional systems by grain size and feeder systems. In : AAPG Bulletin. 1994. n° 78, p. 792-822.

RÉSERVE NATURELLE MARINE DE LA RÉUNION, 2010. Rapport d'activité 2010 [en ligne]. Rapport d'activité. S.l. GIP RNMR. [Consulté le 21 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.reservemarinereunion.fr/images/reserve/pdf/rapports_activites/rapport_activite_2010_gip_rnmr.pdf.

RÉSERVE NATURELLE MARINE DE LA RÉUNION, 2012. Plan de gestion 2013-2017 Section A - Diagnostic de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. S.l.

RIVALS, P., 1989. Histoire géologique de l'île de La Réunion. Broché. Saint-Denis : Azalées.

ROBERT, R., 1974. Morphologie littorale de l'île de La Réunion. Thèse de troisième cycle. S.l. : Université de Montpellier.

ROBERT, R., 1986. Climat et hydrologie à La Réunion : Etude typologique et régionale des pluies et de l'écoulement. Thèse d'état. S.l. : Université Paul Valery, Montpellier II.

ROY, D., QUETELARD, H. et JUMAUX, G., 2009. Étude pour l'identification des évolutions des changements climatiques à La Réunion. Saint-Denis, France. Rapport Météo-France. S.l. Direction Interrégionale de La Réunion.

SAINT-ANGE, F., 2009. La sédimentation volcanoclastique en contexte de point chaud (île de La Réunion, Océan Indien). Thèse en vue de l'obtention de Docteur en Sciences de la Terre - spécialité : Sédimentologie. Ecole doctorale interdisciplinaire : Université de La Réunion.

SAINT-ANGE, F., SAVOYE, B., MICHON, L., BACHÈLERY, P., DEPLUS, C., DE VOOGD, B., DYMENT, J., LE DREZEN, E., VOISSET, M., LE FRIANT, A. et BOUDON, G., 2011. A volcaniclastic deep-sea fan off La Réunion Island (Indian Ocean) : gradualism versus catastrophism. In : Geology. 2011. n° 39, p. 271-274.

SAINT-ANGE, Francky, BACHÈLERY, Patrick, BABONNEAU, Nathalie, MICHON, Laurent et JORRY, Stephan J., 2013. Volcaniclastic sedimentation on the submarine slopes of a basaltic hotspot volcano : Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island, Indian Ocean). In : Marine Geology. 2013. Vol. 337, p. 35-52. DOI 10.1016/j.margeo.2013.01.004.

SALVANY, T., LAHITTE, P., NATIVEL, P. et GILLOT, P.-Y., 2012. Geomorphic evolution of the Piton des Neiges volcano (Réunion Island, Indian Ocean): competition between volcanic construction and erosion since 1.4 Ma. In : Geomorphology. 2012. n° 136, p. 132-147. DOI 10.1016/j. geomorph.2011.06.009.

SALVANY, Tiffany, 2009. Evolution morphostructurale de volcans boucliers intraplaques océaniques : exemple des volcans de l'île de la Réunion (Océan Indien) [en ligne]. Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre. S.l. : Paris 11. [Consulté le 22 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.theses.fr/2009PA112375. 2009PA112375 ER

SCOPELITIS, J., ANDRÉFOUËT, S., PHINN, S., CHABANET, P., NAIM, O., TOURRAND, C. et DONE, T., 2009. Changes of coral communities over 35 years : integrating in situ and remote-sensing data on Saint-Leu Reef (La Reunion, Indian Ocean). In : Estuarine Coastal and Shelf Science. 2009. Vol. 84, n° 3, p. 342-352. DOI 10.1016/j. ecss.2009.04.030. Centre IRD de Bondy

SERVICE HYDROGRAPHIQUE ET OCÉANOGRAPHIQUE DE LA MARINE, 2016. Références Altimétriques Maritimes. S.l.

SINGH, C., GILLET, A., NACHBAUR, A. et LOMBARD, M., 2019. Guide pour la gestion de l'érosion littorale en Martinique. S.l.

SISAVATH, E., MAZUEL, A., JORRY, S.J., BABONNEAU, N., BACHÈLERY, P., DE VOOGD, B., SALPIN, M., EMMANUEL, L., BEAUFORT, L. et TOUCANNE, S., 2012. Processes controlling a volcaniclastic turbiditic system during the last climatic cycle: Example of the Cilaos deep-sea fan, offshore La Réunion Island. In : Sedimentary Geology. 2012. Vol. 281, p. 180-193. DOI 10.1016/j.sedgeo.2012.09.010.

SISAVATH, Emmanuelle, 2011. Processus de transfert des éléments volcanodétritiques dans les plaines abyssales autour de l'île de la Réunion (océan Indien) : exemple du système turbiditique de Cilaos. Sciences de la Terre. La Réunion : Université de La Réunion. tel-00844754

SISAVATH, Emmanuelle, BABONNEAU, Nathalie, SAINT-ANGE, Francky, BACHÈLERY, Patrick, JORRY, Stephan J., DEPLUS, Christine, DE VOOGD, Béatrice et SAVOYE, Bruno, 2011. Morphology and sedimentary architecture of a modern volcaniclastic turbidite system: The Cilaos fan, offshore La Réunion Island. In : Marine Geology. 2011. Vol. 288, n° 1-4, p. 1-17. DOI 10.1016/j.margeo.2011.06.011.

SPENCER, T. et VILES, H., 2002. Bioconstruction, bioerosion and disturbance on tropical coasts: coral reefs and rocky limestone shores. In : Geomorphology. 2002. Vol. 48, p. 23-50.

TROADEC, R., 1991. Courantologie et sédimentologie des baies de Saint-Paul et de La Possession à l'île de La Réunion. S.l. : Université Aix Marseille II, Université de La Réunion.

TROADEC, R., 2003. L'entretien des plages à La Réunion - Principes généraux. S.l. Parc Marin de La Réunion. Guide technique pour l'entretien des plages coralliennes de La Réunion.

VILLENEUVE, N., BACHÈLERY, P. et KEMP, J., 2014. La Réunion Island: A typical example of a basaltic shield volcano with rapid evolution. Springer Science+Business Media. Dordrecht : M. Fort and M.-F. André (eds.). Landscapes and Landforms of France, World Geomorphological Landscapes. ISBN DOI 10.1007/978-94-007-7022-5_25.

8.1.2 Chapitre 3

ASCONIT et PARETO, 2011. Études de vulnérabilité aux changements climatiques, évaluation qualitative. Rapport National de La Réunion. S.l.

AUNAY, B. et DE BROCH D'HOTELANS, B., 2011. BRGM/RP-59049-FR : Montée du niveau marin induite par le changement climatique. Année 1 – Diagnostic préalable aux conséquences sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers de La Réunion [en ligne]. Rapport final - Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2010 PSP10EAU95. S.l. BRGM. [Consulté le 5 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59049-FR.pdf.

BADAT, F., 2011. ISSN : 2103-933X : Etat de la ressource et des usages de l'eau à La Réunion [en ligne]. Synthèse 2010. Office de l'eau Réunion - 49 rue mazagran - 97400 Saint-Denis - Ile de la Réunion. Office de l'Eau Réunion. [Consulté le 5 novembre 2019]. Chroniques de l'Eau. Disponible à l'adresse : https://www.eaureunion.fr/fileadmin/user_upload/Donnees_eau/1105_ETAT_RESSOURCE_ET_USAGES_EAU_SYNTHESE_2010.pdf.

BARAILLE, R. et FILATOFF, N., 1995. 003/95 : Modèle shallow-water multicouches isopycnal de Miami. Rapport technique. S.l. SHOM/CMO.

BERTRAND, J., BIAIS, G. et TAQUET, M., 1987. Etude des activités halieutiques le long du littoral - Relevés thermographiques en baie de La Possession et en baie de Saint-Paul (La Réunion). Rapport multigraphié. S.l. Convention Ifremer-EDF-REAM.

BIAIS, G., 1981. Etude courantologique au droit des passes du lagon de La Saline. Contrat d'étude ISTPM. Mairie de Saint-Paul. IFREMER La Réunion.

BIAIS, G. et TAQUET, M., 1992. Rapport n°2 : La pêche locale aux abords de La Réunion. S.l. Institut français de recherche pour l'exploitation de la Mer. Repères Océan.

BOUCHON, C., 1979. Étude quantitative des peuplements à base de Scléractiniaires d'un récif frangeant de l'île de La Réunion, Océan Indien. Thèse de Doctorat, spécialité Océanographie. S.l. : Université Aix-Marseille II.

BOUDOU, M., 2015. Monographie des inondations du cyclone Hyacinthe, janvier 1980, Ile de La Réunion [en ligne]. In : Approche multidisciplinaires pour la caractérisation d'inondations remarquables (https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01305937), Chapitre : Annexes de la thèse de M. Boudou, Approche multidisciplinaires pour la caractérisation d'inondations remarquables. S.l. Université Paul-Valéry Montpellier III. [Consulté le 25 octobre 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/301790681_Monographie_des_inondations_du_cyclone_Hyacinthe_janvier_1980_Ile_de_La_Reunion.

BRGM, 1997. 97 REU 14-R39391 : Etude de la filière matériaux et minéraux industriels à la Réunion. Analyse des ressources potentiellement renouvelables dans le lit des principales ravines. S.l.

BULTEAU, T., BAILLS, A., PETITJEAN, L., GARCIN, M., PALANISAMY, H. et LE COZANNET, G., 2015. Gaining insight into regional coastal changes on La Réunion island through a Bayesian data mining approach. In : Geomorphology. 2015. n° 228, p. 134-146.

CASITAS, S., PASQUET, A., MICHAUD, H., BARAILLE, R. et JOURDAN, D., 2018. Modélisation des surcotes avec HYCOM pour les départements d'outre-mer. In : ResearchGate [en ligne]. La Rochelle : Paralia CFL. 2018. p. 27-36. [Consulté le 5 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/325752266_Modelisation_des_surcotes_avec_HYCOM_pour_les_departements_d%27outre-mer.

CAZENAVE, Anny, DIENG, Habib-Boubacar, MEYSSIGNAC, Benoit, VON SCHUCKMANN, Karina, DECHARME, Bertrand et BERTHIER, Etienne, 2014. The rate of sea-level rise. In : Nature Clim. Change. 2014. Vol. 4, n° 5, p. 358-361.

CGDD, 2011. N° 55 : Impacts à long terme du changement climatique sur le littoral métropolitain. S.l. Commissariat Général au Développement Durable, Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. Etudes et documents.

CHABANET, P., DUFOUR, V. et GALZIN, R., 1995. Disturbance impact on reef fish communities in Reunion Island (Indian Ocean). In : Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 1995. n° 188, p. 29-48.

CHURCH, John A., CLARK, Peter U., CAZENAVE, Anny, GREGORY, Jonathan M., JEVREJEVA, Svetlana, LEVERMANN, Anders, MERRIFIELD, Mark A., PAYNE, Anthony J., PFEFFER, W. Tad, STAMMER, Detlef et UNNIKRISHNAN, Alakkat S., 2013. Sea Level Change. In : Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S.l. : Stocker, T.F., D. Qin, G. - K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Bosc hung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). p. 1137-1216.

CHURCH, John A. et WHITE, Neil J., 2011. Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century. In : Surveys in Geophysics. 2011. Vol. 32, n° 4, p. 585-602. DOI 10.1007/s10712-011-9119-1.

CORDIER, E., 2007. Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage / La Saline (La Réunion) : processus physiques et flux sédimentaires [en ligne]. Thèse. La Réunion : Université de La Réunion. [Consulté le 2 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://coraux.univ-reunion.fr/IMG/pdf/These-EmmanuelCordier-2007.pdf.

CUET, P., 1989. Influence des résurgences d'eau douce sur les caractéristiques physico-chimiques et métaboliques de l'écosystème récifal à La Réunion (océan Indien). Thèse. S.l. : Aix-Marseille III.

CUET, P., 2001. Influence de l'irrigation du littoral Ouest sur la qualité du milieu naturel, suivi du réseau qualitatif. Rapport final. Université de La Réunion. Laboratoire d'écologie marine, facultés des sciences et technologies.

CUET, P., 2002. Rapport n°2 : Volet 1 de l'opération « Évaluation de l'influence de l'irrigation du littoral Ouest sur la qualité du milieu naturel ». Mise en œuvre du « Point 0-2000 ». Université de La Réunion. Laboratoire d'écologie marine, facultés des sciences et technologies.

CUET, P., 2005. Suivi de réseau qualitatif de l'Antenne 4, années 2004-2005. Rapport final. Université de La Réunion. Laboratoire d'écologie marine, facultés des sciences et technologies.

CUVILIER, Alexis, 2016. Dynamique et fonctionnement des herbiers marins dans un complexe récifal anthropisé (île de La Réunion, océan Indien) [en ligne]. S.l. : Université de La Réunion, ENTROPIE [Réunion] - Ecologie marine tropicale dans les Océans Pacifique et Indien. [Consulté le 24 octobre 2019]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01485579/document.

DE LA TORRE, Y. et LOUZÉ, J., 2008. RP-56589-FR : Méthodologie pour l'évaluation et la cartographie des aléas côtier à La Réunion - Phase 2 [en ligne]. S.l. BRGM. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-56589-FR.pdf.

DEAL RÉUNION, 2010. Rapport données historiques 2010. Synthèse des évènements : Hyacinthe, cyclone tropical (16 au 27 janvier 1980). S.l. Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral de La Réunion.

DIREN, 2005. A 2003-42 / 31090 N : Etat des lieux du district hydrographique de La Réunion [en ligne]. Caractérisation du district - Registre des zones protégées. S.l. Direction Régionale de l'Environnement de La Réunion. [Consulté le 17 juin 2019]. Disponible à l'adresse : https://wwz.ifremer.fr/lareunion/content/download/24629/348222/file/Etat%20des%20Lieux%202005.pdf.

DONGUY, J.-R. et MEYERS, G., 1996. Seasonal variations of sea-surface salinity and temperature in the tropical Indian Ocean. In : Deep Sea Res Part I. 1996. n° 43, p. 117-138.

EDF R&D, 2014. LHSV-2014-01-A : Modélisation de l'évolution des climats de houle sur les côtes françaises de l'île de La Réunion - Rapport final. Note technique. S.l.

EUGÉNIE, G. et JUMAUX, G., 2018. Bulletin climatologique 2017 de l'île de La Réunion [en ligne]. Bulletin Climatologique Annuel 2017. 50 Boulevard du Chaudron, 97490 Sainte-Clotilde. Météo-France / Direction Interrégionale pour l'Océan Indien. [Consulté le 24 septembre 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.meteofrance.re/documents/3714872/20731758/BCA2017.pdf.

FAURE, G., 1982. Recherche sur les peuplements de Sclératiniaires des récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien occidental). Thèse de Sciences Naturelles. S.l. : Université Aix-Marseille II.

GABRIÉ, C. et MONTAGGIONI, L., 1986. Rapport 1985-1986 : Erosion des plages. In : Réunion U de La (ed) Définition, origine et impact des pollutions sur le littoral marin réunionnais. S.l.

GAMBERONI, L., GERONIMI, J. et MURAIL, J.F., 1984. MD 32/Réunion : Structure hydrologique aux abords immédiats de l'île de La Réunion en période hivernale (août-septembre 1982). Document multigraphié. S.l.

GIEC, 2013. Climate change 2013 : The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,. S.l. : Stocker, T.F., Qin, D, Plattner, G.-K., Tignor, M., Aller, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. et Midgley P.M (eds).

GUYOMARD, David, PETIT, Michel, DESRUISSEAUX, Martin, STRETTA, Jean-Michel et GARDEL, Laure, 2017. Hydroclimat du Sud-Ouest de l'océan Indien et océanographie spatiale. In : HUYNH, Frédéric (éd.), Halieutique et environnement océanique : Le cas de la pêche palangrière à l'espadon depuis l'île de la Réunion [en ligne]. IRD Éditions. Marseille : s.n. Synthèses. p. 39-65. [Consulté le 28 octobre 2019]. ISBN 978-2-7099-2290-6. Disponible à l'adresse : http://books.openedition.org/irdeditions/10023.

HASTENRATH, S. et LAMB, P.J., 1979. Climatic Atlas of the Indian Ocean. Part I : Surface climate and atmospheric circulation. S.l. The University of Winsonsin Press.

IFREMER, UBO, ARTÉLIA et GIP LOIRE ESTUAIRE, 2014. Conséquences du Changement Climatique sur l'Eco-géomorphologie des Estuaires (projet C3E2). Rapport final, partie 1. S.l. Coordonné par Pierre Le Hir (Ifremer). Programme Gestion et Impacts du Changement Climatique (GICC).

IZUMO, T., VIALARD, J., LENGAIGNE, M., BOYER, M., BEHERA, S. K., LUO, J. J., CRAVATTE, S., MASSON, S. et YAMAGATA, T., 2010. Influence of the Indian Ocean Dipole on following year's El Niño. In : Nature Geoscience. 2010. DOI 10.1038/ngeo760.

JAMON, A., 2002. Contribution à l'élaboration d'un plan de zonage de la réserve naturelle marine de La Réunion. Mémoire de DESS. Université de La Réunion.

JOIN, J.L., 1991. Caractérisation hydrogéologique du milieu volcanique insulaire. Le Piton des Neiges (île de La Réunion). Thèse. S.l. : Université de Montpellier.

JUMAUX, G., QUETELARD, H. et ROY, D., 2012. Atlas climatique de La Réunion [en ligne]. S.l. Météo France. [Consulté le 1 octobre 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/doc/IFD/IFD_REFDOC_0511546/atlas-climatique-de-la-reunion. 9782111286238

KOSSIN, J. P., EMMANUEL, K. A. et VECCHI, G. A., 2014. The poleward migration of the location of tropical cyclone maximum intensity. In : Nature. 2014. n° 509, p. 349-352. DOI 10.1038/nature13278.

LACOSTE, M. et PICOT, F., 2009. Les zones humides de La Réunion - Volume 1 : Rapport & Annexes [en ligne]. Rapport final. S.l. CBNM, DIREN Réunion. [Consulté le 21 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/les_zones_humides_de_la_reunion_volume_1_rapport_cle5d364e.pdf.

LARRAS, J., 1957. Cours d'hydraulique maritime et travaux maitimes. Dunod. Paris : s.n.

LE BIVIC, Réjanne, 2017. Quantification des processus d'érosion et de transport sur l' île de la Réunion à partir de données multisources [en ligne]. Thèse de doctorat en Sciences de la Terre. Brest : École doctorale Sciences de la mer (Plouzané, Finistère) en partenariat avec Laboratoire Géosciences Océan (Plouzané, Finistère). [Consulté le 17 décembre 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.theses.fr/2017BRES0053.

LÉZÉ, J., 2012. Modélisation de l'impact des forçages océaniques sur les nappes côtières. Étude de l'Ermitage (île de La Réunion) [en ligne]. Sciences de la Terre. S.l. : Université de La Réunion. [Consulté le 29 octobre 2019]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01196314/file/2012lare0016_JLeze.pdf. NNT: 2012LARE0016tel-01196314

LLOVEL, W., WILLIS, J.K., LANDERER, F.W. et FUKUMORI, I., 2014. Deep-ocean contribution to sea level and energy budget not detectable over the past decade. In : Nature. 2014. Vol. 4, n° 11, p. 1031-1035.

LONGUET-HIGGINS, M. S., 1970. Longshore currents generated by obliquely incident sea waves. In : Journal of Geophysical Research. 1970. Vol. 75, n° 33, p. 6778-6789.

LORION, David, 2006. Endiguements et risques d'inondation en milieu tropical. L'exemple de l'île de la Réunion. In : Norois. 2006. n° 4, p. 45-66.

MEEDDM, 2010. La gestion du trait de côte [en ligne]. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer. S.l. : Quae. [Consulté le 8 novembre 2018]. Savoir faire. ISBN 978-2-7592-0360-4. Disponible à l'adresse : http://www.quae.com/fr/r1123-la-gestion-du-trait-de-cote.html. 02149

MICHAUD, H., LECKLER, F., JOURDAN, D., BRU, C., CASITAS, S., PASQUET, A., DALPHINET, A., PARADIS, D., AOUF, L. et JEANSON, M., 2017. XX : Modélisation des états de mer en zone côtière de Mayotte et la Réunion pour la prévision marine. Projet Homonim - version V1. Projet Homonim. S.l. SHOM.

MONTAGGIONI, L. et FAURE, G., 1980. Les récifs coralliens des mascareignes (océan Indien). Univ. Fr. O. Indien. Université de La Réunion : s.n. Coll. Trav. Centre Univ.

NELLEMANN, C., HAIN, S. et ALDER, J., 2008. Merging of climate change with pollution, over-harvest, and infestations in the world's fishing grounds. GRID-Arendal, Norvège. Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

NEREM, R. S., CHAMBERS, D. P., CHOE, C. et MITCHUM, G. T., 2010. Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions. In : Marine Geodesy. 2010. Vol. 33, n° sup1, p. 435-446. DOI 10.1080/01490419.2010.491031.

NICHOLLS, Robert J., HANSON, Susan E., LOWE, Jason A., WARRICK, Richard A., LU, Xianfu et LONG, Antony J., 2014. Sea-level scenarios for evaluating coastal impacts. In : Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. 2014. Vol. 5, n° 1, p. 129-150. DOI 10.1002/wcc.253.

ONERC, 2012. Les outre-merface au défi du changement climatique. S.l. La documentation Française.

ONERC, 2015. Le littoral dans le contexte du changement climatique. Rapport au Premier ministre et au parlement. S.l. Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique.

OUZEAU, G, DÉQUÉ, Michel, JOUINI, M, PLANTON, Serge et VAUTARD, Robert, 2014. Volume 4 : Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. S.l. ONERC. Le climat de la France au XXIe siècle, rapport de la mission Jean Jouzel.

PALANISAMY, H., CAZENAVE, A., DELCROIX, T. et MEYSSIGNAC, B., 2014. Regional sea level variability, total relative sea level rise and its impacts on islands and coastal zones of Indian Ocean over the last sixty years. In : Global and Planetary Change. 2014. n° 116, p. 54-67.

PALANISAMY, H., CAZENAVE, A., DELCROIX, T. et MEYSSIGNAC, B., 2015. Spatial trend patterns in the Pacific Ocean sea level during the altimetry era : the contribution of thermocline depth change and internal climate variability. In : Ocean Dynamics. 2015. p. 1-16.

PEDREROS, R., LECACHEUX, S., LE COZANNET, G., BLANGY, A. et DE LA TORRE, Y., 2009. BRGM/RP-57829-FR : HOULREU - Quantification de la houle centennale de référence sur les façades littorales de La Réunion [en ligne]. Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2009 09RISY01. S.l. BRGM. [Consulté le 25 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57829-FR.pdf.

PEINGS, Yannick, JAMOUS, Marc, PLANTON, Serge et LE TREUT, Hervé, 2011. Volume 1 : Scénarios climatiques : indices sur la France métropolitaine pour les modèles français ARPEGE-Climat et LMDZ et quelques projections pour les DOM-COM. S.l. ONERC. Le climat de la France au XXIe siècle, rapport de la mission Jean Jouzel.

PETIT, V., 2006. BRGM/RP-54591-FR : Projet DYNTOR. Synthèse, Rapport final. S.l. BRGM.

PIGB, COI, SCOR, 2013. Acidification des océans - Résumé à l'intention des décideurs. In : Troisième Symposium sur « L'océan dans un monde avec un taux élevé de CO2 ». Stockholm : Programme international sur la géosphère et la biosphère. 2013.

PITON, Bernard et TAQUET, Marc, 1992. Océanographie physique des parages de l'île de La Réunion (océan Indien) [en ligne]. Document scientifique ORSTOM. BP60, 97822 Le Port Cédex, La Réunion. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération La Réunion. [Consulté le 23 octobre 2019]. Disponible à l'adresse : http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-06/010025163.pdf.

PLANTON, Serge, LE COZANNET, Goneri, CAZENAVE, Anny, COSTA, Stéphane, DOUEZ, Olivier, GAUFRÈS, Pierre, HISSEL, François, IDIER, Déborah, LABORIE, Vanessya, PETIT, Vincent et SERGENT, Philippe, 2015. Volume 5 : Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises [en ligne]. S.l. ONERC. Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises. Disponible à l'adresse : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01288453/document.

POUGET, R. et GARCIN, M., 2003. BRGM/RP-52841-FR : Etude diagnostic du transport solide et de l'évolution du fond du lit de la rivière des Pluies, île de La Réunion [en ligne]. Etude réalisée dans le cadre du projet de service public du BRGM 03 RES B37. S.l. BRGM. [Consulté le 6 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-52841-FR.pdf.

RAUNET, M., 1991. Le milieu physique et les sols de l'île de La Réunion - Conséquences pour la mise en valeur agricole [en ligne]. S.l. : CIRAD - Région Réunion. Disponible à l'adresse : http://open-library.cirad.fr/files/2/522__946767618.pdf.

ROY, D., QUETELARD, H. et JUMAUX, G., 2009. Étude pour l'identification des évolutions des changements climatiques à La Réunion. Saint-Denis, France. Rapport Météo-France. S.l. Direction Interrégionale de La Réunion.

SAINT-ANGE, F., SAVOYE, B., MICHON, L., BACHÈLERY, P., DEPLUS, C., DE VOOGD, B., DYMENT, J., LE DREZEN, E., VOISSET, M., LE FRIANT, A. et BOUDON, G., 2011. A volcaniclastic deep-sea fan off La Réunion Island (Indian Ocean) : gradualism versus catastrophism. In : Geology. 2011. n° 39, p. 271-274.

SERVICE HYDROGRAPHIQUE ET OCÉANOGRAPHIQUE DE LA MARINE, 2016. Références Altimétriques Maritimes. S.l.

SOGREAH, 1966. R9221 : Protections à réaliser dans la rivière des Pluies pour l'allongement de l'aérodrome de Saint-Denis Gillot. Volume 1 : Etude sur modèle réduit. S.l.

SOGREAH et LCHF, 1988. Schéma d'extraction de la rivière des Pluies. S.l.

SOLER, O., 1997. Atlas climatique de La Réunion. S.l. Météo France - Direction Interrégionale de La Réunion.

STIELTJES, L., STEENHOUDT, M., GOURGAND, B. et DAESSLE, M., 1986. 86REU30 : Atlas hydrogéologique de La Réunion [en ligne]. Atlas pour le compte du Conseil Général de La Réunion. S.l. BRGM - Service Géologique Régional de l'océan Indien - Conseil Général de La Réunion - Ministère de l'Agriculture. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/86-REU-030.pdf.

STOLL, A., 2006. Intrusion d'eau saline à l'île de La Réunion : Test méthodologique de modélisation en densité variable [en ligne]. Thèse de diplôme 2006 Sciences d'Ingénieur en Environnement. S.l. Office de l'Eau. Disponible à l'adresse : http://www.eaureunion.fr/fileadmin/user_upload/Etudes/ETUDE_00002.PDF.

TOLMAN, H. L., 2016. Technical note. User manual and system documentation of WAVEWATCH III R. version 5.16. S.l. Development Group. Environmental Modeling Center Marine Modeling and Analysis Branch.

TROADEC, R., 1989. 2 : Télédétection des émergences d'eau douce en mer sur le littoral ouest et sud de l'île de La Réunion par thermographie infrarouge aéroportée. Rapport final. Université de La Réunion, Département de Géologie. Convention Région Réunion - ADER Provence- Alpes-Côte d'Azur. Apports à la connaissance de la courantologie. Exemple des baies de La Possession et de Saint-Paul.

TROADEC, R., 1991. Courantologie et sédimentologie des baies de Saint-Paul et de La Possession à l'île de La Réunion. S.l. : Université Aix Marseille II, Université de La Réunion.

ULLMANN, A., 2008. Surcotes dans le Golf du Lion et forçages atmosphériques: variabilité contemporaine et future (1905-2100). Thèse de Doctorat. S.l. : Université de Provence Aix-Marseille 1.

WENZEL, Manfred et SCHRÖTER, Jens, 2014. Global and regional sea level change during the 20th century. In : Journal of Geophysical Research: Oceans. 2014. Vol. 119, n° 11, p. 7493-7508. DOI 10.1002/2014JC009900.

WERNER, A.D. et SIMMONS, C.T., 2009. Impact of Sea Level Rise on Sea Water Intrusion in Coastal Aquifers. In : Groundwater. 2009. Vol. 47, n° 2, p. 197-204. DOI 10.1111/j.1745-6584.2008.00535.x.

WÖPPELMANN, G., LETETREL, C., SANTAMARIA, A., BOUIN, M.-N., COLLILIEUX, X., ALTAMIMI, Z., WILLIAMS, S. D. P. et MIGUEZ, B. Martin, 2009. Rates of sea-level change over the past century in a geocentric reference frame. In : Geophysical Research Letters [en ligne]. 2009. Vol. 36, n° 12. DOI 10.1029/2009GL038720. Disponible à l'adresse : http://dx.doi.org/10.1029/2009GL038720.

WRIGHT, L. D., 1977. Sediment transport and deposition at river mouths : a synthesis. In : Geological Society of America Bulletin. 1977. n° 88, p. 857-868.

WYRTKI, K., 1971. Oceanographic atlas of the International Indian Ocean Expedition. Washington. Nat. Sci. Foundation.

8.1.3 Chapitre 4

ACOA CONSEIL, 2017. Version 1C : Dragages d'entretien du Port de Saint-Leu - Déclaration Loi sur l'Eau [en ligne]. Saint-Leu. ACOA Conseil - Conseil Environnement & Ingenierie de Projet. Disponible à l'adresse : http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/dle_tco_dragage_st_leu_v1c_20_10_17_la.pdf.

ACTIMAR, 2011. 1.POC.0410-Rév. 1 : Projet d'aménagement du port de Saint-Leu [en ligne]. Rapport final - Etude hydrosédimentaire. Saint-Leu. Mairie de Saint-Leu. [Consulté le 9 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/annexe-9_actimar-portsaint-leu-poc-0410-v1.pdf.

ALABYAN, A.M. et CHALOV, R., 1998. Types of river channel patterns and their natural controls. In : Earth Surface Processes and Landfo rms. 1998. n° 23, p. 467-474.

ANGWENYI, C.-M. et RYDBERG, L., 2005. Wave-driven circulation across the coral reet at Bamburi Lagoon, Kenya. In : Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2005. Vol. 63, p. 447-454.

ANTEA/IN VIVO, 2003. ZALM de Grande Anse. Etude de courantologie et de sensibilité du milieu. S.l.

AUBIÉ, S., GUÉRIN, I. et OLIVEROS, C., 2001. RP-50814-FR – 2001 SGR/REU 06 : Evolution du trait de côte de 1950 à 1997 de la plaine de la rivière Saint-Etienne – Pierrefonds, Ile de La Réunion. S.l. BRGM.

AUBIÉ, S. et PEDREROS, R., 2002. BRGM/RP52047-FR : Dynamique sédimentaire en milieu corallien à l'île de La Réunion. S.l. BRGM - Laboratoire ARGO - LST Université de La Réunion.

BASTONE, V. et DE LA TORRE, Y., 2011. Etude préliminaire de l'impact du changement climatique sur les risques naturels à La Réunion. S.l.

BASTONE, V., DE LA TORRE, Y., TROADEC, R., FONTANEL, J.-L., HARDOUIN, E., LOMBARD, K. et LATREILLE, C., 2012. Guide de gestion de l'érosion du littoral de La Réunion [en ligne]. Guide de l'érosion du littoral. S.l. BRGM - Vie Océane - Géosciences Réunion - ONF - DEAL - Conservatoire du Littoral. [Consulté le 25 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.risquesnaturels.re/pdf/BRGM%20guide%2032p.pdf.

BATTISTINI, R., BOURROUILH, F., CHEVALIER, J., COUDRAY, J., DENIZOT, M., FAURE, G., FISHER, J., GUILCHER, A., HARMELIN-VIVIEN, M., JAUBERT, J., LABOREL, J., MONTAGGIONI, L., MASSE, J., MAUGE, L., PEYROT-CLAUSADE, M., PICHON, M., PLANTE, R., PLAIZAT, J., PLESSIS, Y., RICHARD, G., SALVAT, B., THOMASSIN, B., VASSEUR, P. et WEYDERT, P., 1975. Eléments de terminologie récifale Indo pacifique. In : Téthys. 1975. Vol. 7, p. 1-111.

BELLE, P., 2014. Contribution des processus hydrologiques et hydrogéologiques aux glissements de terrain de grande ampleur : application au contexte tropical de la Réunion [en ligne]. Thèse de doctorat en Hydrogéologie, Géologie appliquée. S.l. : Université de La Réunion. [Consulté le 15 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01155266/document.

BIGOT, L., 2006. Les communautés de macrofaune benthique des sédiments côtiers en zone tropicale non récifale : diversité et réponses aux modifications de l'environnement marin à La Réunion, océan Indien [en ligne]. La Réunion : Université de La Réunion, UFR des Sciences et Technologies - ECOMAR Laboratoire d'Ecologie Marine. [Consulté le 17 juin 2019]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00468129/document. tel-00468129

BLANGY, A., DE LA TORRE, Y. et VASELT, E., 2009. RP-57431-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 3 : suivi et gestion de l'érosion côtière sur 12 sites identifiés comme sensibles [en ligne]. Rapport final. S.l. BRGM. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57431-FR.pdf.

BOUCHON, C., 1979. Étude quantitative des peuplements à base de Scléractiniaires d'un récif frangeant de l'île de La Réunion, Océan Indien. Thèse de Doctorat, spécialité Océanographie. S.l. : Université Aix-Marseille II.

BOUCHON, C., 1981. Quantitative study of the Scleractinian coral communities of a fringing reef of Reunion Island (Indian Ocean). In : Marine Ecology - Progress Series. 1981. Vol. 4, p. 273-288. 171-8630/81/0004/0273

BRANDER, R.-W., KENCH, P.-S. et HART, D., 2004. Spatial and temporal variations in wave characteristics across a reef platform, Warraber Island, Torres Strait Australia. In : Marine Geology. 2004. Vol. 207, p. 169-184.

BRGM, 2006. Kit pédagogique Sciences de la Terre - La Réunion. 2006. S.l. : BRGM.

BRGM, 2012. Dynamique des systèmes littoraux et des millieux marins côtier : Zoom sur le littoral de La Réunion [en ligne]. S.l. : Ministère de l'Ecologie du Développement Durable de l'Energie - BRGM. [Consulté le 4 janvier 2015]. Explore 2070 Eau et Changement Climatique. Disponible à l'adresse : https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/RE_Explore2070_Littoral_Reunion.pdf.

BROWN, E., COLLING, A., PARK, D., PHILLIPS, J., ROTHERY, D. et WRIGHT, J., 2002. Waves, tides and shallow-water processes. The Open University eds. S.l. : Butterworth - Heinemann.

CALHOUN, R., FLETCHER, S. et HARNEY, J.N., 2002. A budget of marine and terrigenous sediments, Hanalei Bay, Kauai, Hawaiian Islands. In : Sedimentary Geology. 2002. Vol. 150, n° 1, p. 61-87.

CAMOIN, G.F., COLONNA, M., MONTAGGIONI, L., CASANOVA, J., FAURE, G. et THOMASSIN, B., 1997. Holocene sea-level changes and reef development in the southwestern Indian Ocean. In : Coral Reefs. 1997. n° 16, p. 247-259.

CAMOIN, G.F., MONTAGGIONI, L. et BRAITHWAITE, C.J.R., 2004. Late glacial to post glacial sea levels in the Western Indian Ocean. In : Marine Geology. 2004. n° 206, p. 119-146.

CAZES-DUVAT, V., 2008. L'évolution de la recherche sur les systèmes coralliens (1960-2007). In : VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]. 2008. Vol. 8, n° 2, p. 17.

CAZES-DUVAT, V. et PASKOFF, R., 2004. Les littoraux des Mascareignes entre nature et aménagement. L'Harmattan. S.l. : s.n.

CAZES-DUVAT, V., SALMON, C. et MAGNAN, A., 2016. hal-01446007 : Trajectoire de vulnérabilité des littoraux de l'île de La Réunion aux risques liés à la mer (1950-actuel) [en ligne]. S.l. Institut du Développement Durable et des Relations Internationales. [Consulté le 9 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01446007/document.

CHABANET, P., 1989. Comparaison du peuplement ichtyologique en deux secteurs (perturbé et non perturbé) du lagon de Saint-Gilles-La-Saline (île de La Réunion). DEA Environnement Marin. Université Aix-Marseille.

CHABANET, P., 1994. Étude des relations entre les peuplements benthiques et les peuplements ichtyologiques sur le complexe récifal de Saint-Gilles/La Saline (Île de la Réunion). Thèse. Marseille : Université Aix-Marseille III.

CHABANET, P., DUFOUR, V. et GALZIN, R., 1995. Disturbance impact on reef fish communities in Reunion Island (Indian Ocean). In : Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 1995. n° 188, p. 29-48.

CHATEAUMINOIS, E., BELON, R., LE MOIGNE, B. et SALOMERO, J., 2016. BRGM/RP-65261-FR : IMOCOR - Evaluation de l'Impact Morphodynamique des Ouvrages COtiers de La Réunion [en ligne]. Rapport final - Etude réalisée dans le cadre des projets d'appui aux politiques publiques du BRGM 20 13-PSP13REU43. S.l. BRGM. [Consulté le 7 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : https://dl.brgm.fr/liens/qnXL3NYWUCBYccHk/Rapport_RP-65261-FR_final.pdf.

CORDIER, E., 2007. Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage / La saline (La Réunion) : Processus phusiques et flux sédimentaires. PhD Thesis. La Réunion : Université de la Réunion.

CUET, P., 1989. Influence des résurgences d'eau douce sur les caractéristiques physico-chimiques et métaboliques de l'écosystème récifal à La Réunion (océan Indien). Thèse. S.l. : Aix-Marseille III.

CUET, P., 1994. Sources de l'enrichissement en sels nutritifs de l'écosystème récifal de La Réunion : impacts des eaux sous-terraines. In : Environnement et Milieu Tropical. Paris : ESTEM : Coudray, J., Bouguerra, M.L. (eds.). p. 105-110.

DE LA TORRE, Y., 2004. RP-53307-FR : Synthèse morphodynamique des littoraux de La Réunion. Rapport final. La Réunion. BRGM.

DE LA TORRE, Y., 2004. RP53307-FR : Synthèse morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 1 : état des lieux et tendances d'évolution à l'échelle de l'île [en ligne]. S.l. BRGM. [Consulté le 4 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53307-FR.pdf.

DE LA TORRE, Y., 2006. RP-55014-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 2. S.l.

DE LA TORRE, Y., BASTONE, V., BODERE, G. et DESPREZ, A., 2012. BRGM/RP-60714-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 4 [en ligne]. Rapport final - Etude réalisée dans le cadre des projets de Service Public du BRGM 2009 10LITA05. S.l. BRGM. [Consulté le 20 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60714-FR.pdf.

DE LA TORRE, Y. et LOUZÉ, J., 2008. RP-56589-FR : Méthodologie pour l'évaluation et la cartographie des aléas côtier à La Réunion - Phase 2 [en ligne]. S.l. BRGM. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-56589-FR.pdf.

DE VOOGD, B., PALOME, S.P., HIM, A., CHARVIS, P., GALLART, J., ROUSSET, D., DANOBEITA, J. et PERROUD, H., 1999. Vertical movements and material transport during hotspot activity: Seismic reflection profiling offshore La Reunion. In : Journal of Geophysical Research-Solid Earth. 1999. n° 104, p. 2855-2874.

EATON, B.C., MILLAR, R.G. et DAVIDSON, S., 2010. Channel patterns : Braided, anabranching, and single-thread. In : Geomorphology. 2010. n° 120, p. 353-364.

FAURE, G., 1982. Recherche sur les peuplements de Sclératiniaires des récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien occidental). Thèse de Sciences Naturelles. S.l. : Université Aix-Marseille II.

FAVENNEC, J., 2006. Dunes : Genèse, écologie, dynamique. S.l. : s.n.

FÈVRE, Y., 2005. Mécanismes et vitesses d'érosion à l'échelle géologique sur une île volcanique jeune à relief élevé - La Réunion (océan Indien) [en ligne]. Thèse en Hydrologie. La Réunion : Université de La Réunion. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00789183/document. tel-00789183

FREEZE, R.A., 1974. Streamflow Generation. In : Reviews of Geographysics and Space Physics. 1974. n° 12, p. 627-647.

GABRIÉ, C., 1985. L'érosion des plages balnéaires à La Réunion. Contrat. Université de La Réunion. Ministère de l'Education Nationale - Conseil Général de La Réunion - Conseil Régional de La Réunion, Laboratoire de Géologie, Université de La Réunion.

GABRIÉ, C. et MONTAGGIONI, L., 1985. Sediments from fringing reefs of Reunion Island, Indian Ocean. In : Sedimentary Geology. 1985. n° 31, p. 281-301.

GUENNOC, P., VILLAIN, C., THINON, I. et LE ROY, M., 2008. RP-56579-FR : Cartomar : Cartographie morpho-sédimentologique des fonds marins côtiers de La Réunion [en ligne]. Rapport final. La Réunion. BRGM. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-56579-FR.pdf.

GUILLAUME, M., PAYRI, C. et FAURE, G., 1983. Blatant degradation of coral reefs at La Réunion Island (West Indian Ocean). In : Biologie et Ecologie des Recifs Coralliens. 1983.

HART, D.-E. et KENCH, P.-S., 2007. Carbonate production of an emergent reef platform, Warraber Island, Torres Strait, Australia. In : Coral Reefs. 2007. Vol. 26, p. 53-68.

JAMON, A., 2002. Contribution à l'élaboration d'un plan de zonage de la réserve naturelle marine de La Réunion. Mémoire de DESS. Université de La Réunion.

JOSSOT, O. et POUGET, R., 2004. RP-53233-FR : Projet de recherche sur l'érosion, le transport solide, et la dynamique torrentielle des rivières de La Réunion. Etat d'équilibre, évolution. S.l. BRGM.

KENCH, P.-S., 1994. Hydrodynamic observations of the cocos (keeling) islands lagoon. In : Atoll research bulletin. 1994. Vol. 408, p. 21.

KENCH, P.-S., 1998. Physical processes in an indian ocean atoll. In : Coral reefs. 1998. n° 17, p. 155-168.

KOMAR, P.-D., 1988. Flow-competence evaluations of the hydraulic parameters of floods : an assessment of the technique and Geophysics Program - 1987. S.l.

LE BERRE, P., 2010. RP-57788-FR : Schéma départemental des carrières de La Réunion [en ligne]. Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2008 et 2009 – Fiches 08RESB24 et 09RESB26 -27- 28. S.l. BRGM. [Consulté le 2 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/schema_departemental_des_carrieres_cle538cef.pdf.

LEOPOLD, L.B. et WOLMAN, M.G., 1957. River Channel Patterns : Braided, Meandering and Straight. In : U.S. Geological Survey professional paper. 1957. n° 282-B.

LETOURNEUR, Y., 1992. Dynamique des peuplements ichtyologiques des platiers récifaux de l'île de La Réunion. S.l. : Université d'Aix Marseille II.

LONGUET-HIGGINS, M. S., 1970. Longshore currents generated by obliquely incident sea waves. In : Journal of Geophysical Research. 1970. Vol. 75, n° 33, p. 6778-6789.

LORION, David et VILLENEUVE, Nicolas, 2007. Les risques littoraux à l'île de la Réunion. In : Approches des littoraux réunionnais et martiniquais. 2007. p. 169-191. hal-02162141

MAHABOT, Marie-Myriam, PENNOBER, Gwenaëlle, SUANEZ, Serge, TROADEC, Roland et DELACOURT, Christophe, 2016. Effect of Tropical Cyclones on Short-Term Evolution of Carbonate Sandy Beaches on Reunion Island, Indian Ocean. In : Journal of Coastal Research. 2016. Vol. 33, n° 4, p. 839-853. DOI 10.2112/JCOASTRES-D-16-00031.1.

MAHABOT, M.-M., 2016. Suivi morphodynamique des plages récifales de La Réunion en contexte d'observatoire [en ligne]. Thèse de Doctorat, spécialité Géographie. La Réunion : Université de La Réunion. [Consulté le 4 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01521588/file/Manuscrit_Th%C3%A8se_MAHABOT_Myriam.pdf.

MIOCHE, D., 1998. Aspects du cycle de la matière sur les récifs frangeants de l'île de la Réunion (océan Indien) : signature des dégradations et mécanismes de l'eutrophisation. Thèse. S.l. : Université de La Réunion.

MIOCHE, D. et TROADEC, R., 2002. Relations entre l'équilibre sédimentaire des plages, la structure des communautés et le budget des carbonates dans l'écosystème corallien de La Réunion. In : The Journal of Nature (Réunion). 2002. Vol. Tome 14, n° 1, p. 35-43. hal-00913745

MONTAGGIONI, L., 1971. Premières observations sur la répartition granulométrique et minéralogique des sables volcaniques littoraux de l'île de La Réunion (Océan Indien). In : Téthys suppl. 1971. p. 299-324.

MONTAGGIONI, L., 1978. Recherches géologiques sur les complexes récifaux de l'archipel des Mascareignes (océan Indien Occidental). Thèse (volume I et volume II). S.l. : Université de Marseille.

MONTAGGIONI, L. et FAURE, G., 1980. Les récifs coralliens des mascareignes (océan Indien). Univ. Fr. O. Indien. Université de La Réunion : s.n. Coll. Trav. Centre Univ.

MURRAY, S.-P., ROBERTS, H.-H., CONLON, D.-M. et RUDDER, G.-M., 1977. Nearshore current fields arround coral islands : control on sediment accumulation and reef growth. In : Proceedings of the 3rd International Coral Reef Symposium. Miami : s.n. 1977. p. 53-59.

NAIM, O., 1989. Les platiers récifaux de l'île de La Réunion. Géomorphologie, contexte hydrodynamique et peuplement benthiques. Rapport non publié AUR. S.l. Laboratoire d'Ecologie Marine, Université de La Réunion.

NAIM, O., 1993. Seasonal responses of a fringing reef community to eutrophication (Reunion Island, Western Indian Ocean). In : Marine Ecology - Progress Series. 1993. Vol. 99, p. 307-315.

NAIM, O., 1994. Structure des communautés benthiques et eutrophisation en milieu corallien. In : Environnement en Milieu Tropical. Paris : ESTEM : Coudray, J., Bouguerra, M.L. (eds.). p. 99-104.

PASKOFF, R., 1998. Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution. Paris : Armand Colin.

PEDREROS, R., LECACHEUX, S., LE COZANNET, G., BLANGY, A. et DE LA TORRE, Y., 2009. BRGM/RP-57829-FR : HOULREU - Quantification de la houle centennale de référence sur les façades littorales de La Réunion [en ligne]. Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2009 09RISY01. S.l. BRGM. [Consulté le 25 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57829-FR.pdf.

PENNOBER, G., 2014. Etat d'avancement du projet de labellisation nationale des protocoles de suivi des dynamiques littorales du site Pilote de l'Ermitage (La Réunion). S.l. UMR 228 Espace-Dev / GéoSciences Réunion / OSU-Réunion.

PHILIPPOT, F., 1984. La sédimentation volcanogène récente autour de l'ile de la Réunion. Paris-Sud. S.l. : s.n.

ROBERTS, H.-H., 1980. Physical processes and sediment flux through reef-lagoon systems. In : Proceedings of the 17th International Conference of Coastal Engineering. S.l. : s.n. 1980. p. 946-962.

ROBERTS, H.-H., 1989. Physical processes as agents of sediment transport in carbonate systems : examples from St. Croix, U.S.V.I. In : 12th Carribean Geological Conference. S.l. : s.n. 1989. p. 95-103.

ROCHE, A., COSTA, S., COLAS, S. et GARNIER, E., 2016. Développer la connaissance et l'observation du trait de côte - Contribution nationale pour une gestion intégrée. 2016. S.l. : MEDDE - DGALN - Cerema.

ROSGEN, D.L., 1994. A classification of natural rivers. In : Catena. 1994. n° 22, p. 169-199.

SAINT-ANGE, F., 2009. La sédimentation volcanoclastique en contexte de point chaud (île de La Réunion, Océan Indien). Thèse en vue de l'obtention de Docteur en Sciences de la Terre - spécialité : Sédimentologie. Ecole doctorale interdisciplinaire : Université de La Réunion.

SAINT-ANGE, F., SAVOYE, B., MICHON, L., BACHÈLERY, P., DEPLUS, C., DE VOOGD, B., DYMENT, J., LE DREZEN, E., VOISSET, M., LE FRIANT, A. et BOUDON, G., 2011. A volcaniclastic deep-sea fan off La Réunion Island (Indian Ocean) : gradualism versus catastrophism. In : Geology. 2011. n° 39, p. 271-274.

SCHUMM, S.A., 1985. Patterns of alluvial rivers. In : Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 1985. n° 13, p. 5-27.

SISAVATH, Emmanuelle, 2011. Processus de transfert des éléments volcanodétritiques dans les plaines abyssales autour de l'île de la Réunion (océan Indien) : exemple du système turbiditique de Cilaos. Sciences de la Terre. La Réunion : Université de La Réunion. tel-00844754

SMITH, G.A., 1986. Coarse-grained nonmarine volcaniclastic sediment : terminology and depositional process. In : GSA Bulletin. 1986. n° 97, p. 1-10.

STORLAZZI, C.-D., OGSTON, A.-S., BOTHNER, M.-H., FIELD, M.-E. et PRESTO, M.-K., 2004. Wave and tidally driven flow and sediment flux across a fringe coral reef : Southern Molokai, Hawaii. In : Continental Shelf Research. 2004. Vol. 24, p. 1397-1419.

TAMURA, H., NADAOKA, K. et PARINGIT, E.-C., 2007. Hydrodynamic characteristics of a fringing coral reef on the east coast of Ishigaki Island, southwest Japan. In : Coral Reefs. 2007. Vol. 26, n° 1, p. 17-34.

TROADEC, R., 1991. Courantologie et sédimentologie des baies de Saint-Paul et de La Possession à l'île de La Réunion. S.l. : Université Aix Marseille II, Université de La Réunion.

TROADEC, R., 2002. Suivi de l'évolution du profil des plages coralliennes de La Réunion entre 1998 et 2001. Université de La Réunion. Convention Parc Marin - Université de La Réunion (Laboratoire des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences Technologiques).

TROADEC, R., 2003. Analyse de la prise en considération du phénomène d'érosion affectant les plages coralliennes à La Réunion et proposition d'actualisation des techniques d'entretien de ces plages. Convention ONF - LSTUR. 15 avenue René Cassin, 97 715 SAINT-DENIS Messag Cedex 9. Laboratoire des Sciences de la Terre - Faculté des Sciences et Technologie.

VAN DEN BERG, J.H., 1995. Prediction of alluvial channel pattern of perennial rivers. In : Geomorphology. 1995. n° 12, p. 259-279.

WOODROFFE, C.D., 2002. Coasts : form, process and evolution [en ligne]. Cambridge University Press. School of Geosciences, University of Wollongong, NSW 2522, Australia : s.n. [Consulté le 2 juillet 2019]. ISBN 0 521 81254 2. Disponible à l'adresse : https://pdfs.semanticscholar.org/b776/94725eff1a32aec17ae8d3a1cd7eb5faafcf.pdf.

8.1.4 Chapitre 5

ACOA CONSEIL, 2017. Version 1C : Dragages d'entretien du Port de Saint-Leu - Déclaration Loi sur l'Eau [en ligne]. Saint-Leu. ACOA Conseil - Conseil Environnement & Ingenierie de Projet. Disponible à l'adresse : http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/dle_tco_dragage_st_leu_v1c_20_10_17_la.pdf.

ALLISON, W.R., 1996. Snorkeler damage to reef corals in the Maldives Islands. In : Coral Reef. 1996. Vol. 15, n° 4, p. 215-218.

ANDRAL, B., CAMBERT, H., TURQUET, J., ROPERT, M., DUVAL, M., VERMENOT, C., BOISSERY, P. et TALEC, P., 2013. Guide méthodologique pour la surveillance des rejets urbains dans les eaux littorales de La Réunion. S.l. Ifremer / ARVAM / Agence de l'eau.

BLANGY, A., DE LA TORRE, Y. et VASELT, E., 2009. RP-57431-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 3 : suivi et gestion de l'érosion côtière sur 12 sites identifiés comme sensibles [en ligne]. Rapport final. S.l. BRGM. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57431-FR.pdf.

BOUCHON, C. et BOUCHON-NAVARO, Y., 1982. Etude d'environnement du lagon du récif de l'Hermitage (Lieu-dit : Go-Payet). Rapport du Centre Universitaire de La Réunion. L'Hermitage. Laboratoire de Biologie Marine.

BRGM et PRÉFECTURE DE LA RÉUNION, 2016. Dossier Départemental des Risques Majeurs de la Réunion [en ligne]. 2016. S.l. : Préfecture de La Réunion. [Consulté le 17 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/ddrm_final_v11f_decembre2016_signe_basse_definition.pdf.

BRIGAND, L., LE BERRE, S., LE CORRE, N. et PEUZIAT, I., 2008. Connaitre et suivre la fréquentation touristique, une clé pour mieux gérer les espaces insulaires ? In : Actes du colloque international pluridisciplinaire. Lille, France : s.n. 2008.

BRL INGÉNIERE, 2014. 00661_GPM_de_la Réunion V9 : Projet stratégique 2014-2018 du Grand Port Maritime de La Réunion [en ligne]. Rapport d'évaluation environnementale. S.l. BRL Ingénierie - Port Réunion. [Consulté le 23 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.reunion.port.fr/IMG/pdf/evaluation_environnementale-_gpmdlr.pdf.

CAMBRONNE, N., 2018. Octobre 2018 : Mémento 2018 : Agricole et rural - Chiffres 2017 [en ligne]. Mémento régional. La Réunion. Agreste La Réunion - DAAF La Réunion. [Consulté le 25 juillet 2019]. Agreste, la statistique, l'évaluation et la prospective agricole. Disponible à l'adresse : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R97418C01.pdf.

CAREX et ARVAM, 2005. Cartographie des récifs coralliens du Parc Marin de La Réunion : phase 2 (Saint-Gilles, Saint-Leu et Saint-Pierre) [en ligne]. 2005. S.l. : Documentation Ifrecor. Disponible à l'adresse : http://ifrecordoc.fr/items/show/1091.

CAZES-DUVAT, V., 2003. Etude de vulnérabilité des plages coralliennes de l'île de La Réunion. Etude réalisée pour le compte de l'ONF et de l'Association Parc Marin de La Réunion. S.l.

CAZES-DUVAT, V., 2008. L'évolution de la recherche sur les systèmes coralliens (1960-2007). In : VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]. 2008. Vol. 8, n° 2, p. 17.

CAZES-DUVAT, V., SALMON, C. et MAGNAN, A., 2016. hal-01446007 : Trajectoire de vulnérabilité des littoraux de l'île de La Réunion aux risques liés à la mer (1950-actuel) [en ligne]. S.l. Institut du Développement Durable et des Relations Internatioanles. [Consulté le 9 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01446007/document.

CAZES-DUVAT, V. et TROADEC, R., 2003. L'entretien des plages coralliennes à La Réunion. Guide technique. S.l. Conseil Scientifique du Parc Marin de La Réunion.

CCEE RÉUNION, 2013. Rapport sur le tourisme à La Réunion [en ligne]. Rapport sur le tourisme. S.l. Conseil de la Culture, de l'Education et de l'Environnement de la Réunion. [Consulté le 24 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.ccee.re/IMG/pdf/-94.pdf.

CEREMA, 2017. Cartographie nationale des ouvrages et aménagements littoraux. In : [en ligne]. 2017. Disponible à l'adresse : http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/cartographie-nationale-des-ouvrages-et-r502.html.

CHABANET, P., 1994. Étude des relations entre les peuplements benthiques et les peuplements ichtyologiques sur le complexe récifal de Saint-Gilles/La Saline (Île de la Réunion). Thèse. Marseille : Université Aix-Marseille III.

CHATEAUMINOIS, E., BELON, R., LE MOIGNE, B. et SALOMERO, J., 2016. BRGM/RP-65261-FR : IMOCOR - Evaluation de l'Impact Morphodynamique des Ouvrages COtiers de La Réunion [en ligne]. Rapport final - Etude réalisée dans le cadre des projets d'appui aux politiques publiques du BRGM 20 13-PSP13REU43. S.l. BRGM. [Consulté le 7 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : https://dl.brgm.fr/liens/qnXL3NYWUCBYccHk/Rapport_RP-65261-FR_final.pdf.

COLE, D. N., 1995. Wilderness management principles : Science, Logical Thinking or Personal Opinion? In : Trends, Wilderness Research. 1995. Vol. 32, n° 1, p. 6-9.

CRESTEY, N., 1991. La chaufournerie à La Réunion. Communication. In : Protection des lagons de La Réunion. La Réunion : A.P.B.G. 1991.

DE LA TORRE, Y., 2004. RP53307-FR : Synthèse morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 1 : état des lieux et tendances d'évolution à l'échelle de l'île [en ligne]. S.l. BRGM. [Consulté le 4 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53307-FR.pdf.

DE LA TORRE, Y., BASTONE, V., BODERE, G. et DESPREZ, A., 2012. BRGM/RP-60714-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 4 [en ligne]. Rapport final - Etude réalisée dans le cadre des projets de Service Public du BRGM 2009 10LITA05. S.l. BRGM. [Consulté le 20 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60714-FR.pdf.

DELENCRE, G., 2013. Les projets Energies Marines à La Réunion [en ligne]. La Réunion. ARER - Agence Régionale Energie Réunion. [Consulté le 25 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.arer.org/IMG/pdf/Fiches-projets-EMR-REUNION.pdf.

DESPREZ, M., 1993. Impact de l'extraction de granulats marins sur le milieu marin [en ligne]. Compte-rendu de la réunion de travail annuelle du Groupe de Travail sur les Effets de l'extraction de sédiments marins sur les pêches (ICES - meeting n°53 ; Council Resolution 2:43). Saint-Valery-sur-Somme. Ifremer - GEMEL Groupe d'Etude des Milieux Estuariens et Littoraux - CIEM Conseil International pour l'Exploitation de la Mer. [Consulté le 23 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://archimer.ifremer.fr/doc/00103/21459/19040.pdf.

DEWATRE, J., 1991. Arrêté n°91.3729DICV/3 portant interdiction d'extraction sur le rivage de la mer des sables, pierres, amendements marins et autres matières, et abrogeant l'arrêté n°1110-PC du 5 décembre 1949 [en ligne]. 1991. S.l. : Préfecture de La Réunion. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53307-FR.pdf.

DUHAZE, B., TROADEC, R. et CAZES-DUVAT, V., 2009. Guide : « L'entretien des plages à La Réunion ». S.l. RNMR / Département de La Réunion / UE.

EGIS, 2008. HER/71112R : Etude 2 - Phase 2 : Etude d'aménagement à long terme, Nouvelle Liaison Saint-Denis Ouest (NLSDO) - Etudes d'APS - DUP Loi sur l'Eau - Etudes hydrauliques digue en mer - Rapport final de l'étude hydrosédimentaire. S.l.

FAURE, G., 1982. Recherche sur les peuplements de Sclératiniaires des récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien occidental). Thèse de Sciences Naturelles. S.l. : Université Aix-Marseille II.

GROSDEMANGE, D., 2005. Guide pour la gestion des opérations de dragage. S.l. Fédération Francaise des Ports de Plaisance.

GUEGUEN, Jean-Jacques et JONCA, Fabienne, 2010. L'île aux ouvrages : La Réunion. Sainte-Clotilde (La Réunion) : 4 épices. ISBN 978-2-9527204-6-5.

GUILLAUME, M., PAYRI, C. et FAURE, G., 1983. Blatant degradation of coral reefs at La Réunion Island (West Indian Ocean). In : Biologie et Ecologie des Recifs Coralliens. 1983.

GUINGAND, A., 2012. Activités de baignade, fréquentation des plages / SRM MMDN. Ifremer Brest. AAMP. DCSMM.

HILY, C., DUCHÊNE, J., BOUCHON, C., BOUCHON-NAVARO, Y., GIGOU, A., PAYRI, C. et VÉDIE, F., 2010. Hily C., Gabrié C., Duncombe M. coord. : Les herbiers de phanérogames marines de l'outre-mer français. S.l. IFRECOR, Conservatoire du Littoral.

IEDOM, 2015. La Réunion [en ligne]. Rapport annuel 2015. Siège social : 164, rue de Rivoli - 75001 PARIS. Institut d'Emission des Départements d'Outre-Mer. [Consulté le 27 mai 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.iedom.fr/IMG/pdf/ra_2015_iedom_reu_.pdf.

IFREMER, 2012. Suivi des pêches à pied traditionnelles et de la chasse sous-marine de 2008 à 2011 dans la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Rapport d'étude Ifremer. S.l. Etude Ifremer Délégation Océan Indien.

INSEE, 2016. 146 : Recensement de la population : populations légales 2016 [en ligne]. Insee Flash Réunion. La Réunion. Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques. Les publications régionales. Disponible à l'adresse : https://www.insee.fr/fr/statistiques/3681228.

JAQUES, E. et ORRU, J.F., 2008. RP56105-FR : Etat des lieux socio-économiques du secteur des granulats à La Réunion [en ligne]. Rapport final - Phases 1 et 2. S.l. BRGM. [Consulté le 23 juillet 2019]. Contribution à la révision programmée du Schéma Départemental des Carrières. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-56105-FR.pdf.

JAUZE, Jean-Michel, 1998. L'urbanisation de l'Île de la Réunion : évolution et modèles de villes. In : Cahiers de géographie du Québec. 1998. Vol. 42, n° 116, p. 195-221. DOI https://doi.org/10.7202/022737ar.

JORAM, F., 2018. Arrêté n°2018-1625/SG/DRECV du 31/08/2018 portant autorisation au titre de l'article L.214-3 du code de l'environnement concernant les dragages d'entretien du Port-Ouest sur la commune du Port [en ligne]. 2018. S.l. : Préfecture de La Réunion. Disponible à l'adresse : http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/arrete_no_2018-1625_du_31_aout_2018-2.pdf.

KAY, A. M. et LIDDLE, M. J., 1989. Impact of Human Trampling in Different Zones of a Coral Reef Flat. In : Environmental Management. 1989. Vol. 13, n° 4, p. 509-520.

LAGABRIELLE, E., METZGER, P., MARTIGNAC, C., LORTIC, B. et DURIEUX, L., 2007. Les dynamiques d'occupation du sol à La Réunion (1989-2002). In : M@ppemonde. 2007. Vol. 2, p. 86.

LE BERRE, I., LOUZE, J. et DAVID, L., 2012. Atlas de sensibilité du littoral aux pollutions marines [en ligne]. Annexe technique du dispositif Polmar-Terre. S.l. LETG-Brest Géomer / DEAL de La Réunion / IFREMER. [Consulté le 18 juin 2019]. Dispositif opérationnel ORSEC départemental de La Réunion. Disponible à l'adresse : https://www.ifremer.fr/sextant_doc/polmar_reunion/Documents/Atlas_Polmar_Reunion_04_2013_bd.pdf.

LE BERRE, P., 2010. RP-57788-FR : Schéma départemental des carrières de La Réunion [en ligne]. Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2008 et 2009 – Fiches 08RESB24 et 09RESB26 -27- 28. S.l. BRGM. [Consulté le 2 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/schema_departemental_des_carrieres_cle538cef.pdf.

LE BERRE, P., DE LA TORRE, Y. et CRUCHET, M., 2005. RP-53684-FR : Faisabilité de l'extraction de granulats marins à La Réunion [en ligne]. Etude Préliminaire. S.l. [Consulté le 23 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53684-FR.pdf.

LEMAHIEU, A., 2015. Fréquentation et usages littoraux dans la Réserve Naturelle Marine de La Réunion - Elaboration d'un suivi pour l'analyse des dynamiques spatio-temporelles et apports de l'outil à la gestion et la recherche disciplinaire [en ligne]. Thèse de Géographie. S.l. : Université Paris I Panthéon Sorbonne - Ecole doctorale de Géographie de Paris. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01308703/file/Th%C3%A8se_Lemahieu.pdf.

LOCHU, S., DUVAL, M., CASSAI, C. et TALEC, P., 2017. RST-DOI/2017-09 : Guide méthodologique des diagnostics à mettre en œuvre au préalable des opérations de dragage de sédiments marins à La Réunion [en ligne]. Guide. S.l. Ifremer -DEAL. [Consulté le 23 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://archimer.ifremer.fr/doc/00413/52438/53232.pdf.

MACCIONI, Pierre-Henry, 2008. Arrêté préfectoral n°435/08 du 21 février 2008 réglementant le mouillage et le stationnement des navires dans les eaux territoriales de l'île de La Réunion [en ligne]. 2008. S.l. : Préfecture de La Réunion. [Consulté le 24 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://administration.reunion.gouv.fr/raa/2008/aout/arrete_435.pdf.

MAHABOT, M.-M., 2016. Suivi morphodynamique des plages récifales de La Réunion en contexte d'observatoire [en ligne]. Thèse de Doctorat, spécialité Géographie. La Réunion : Université de La Réunion. [Consulté le 4 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01521588/file/Manuscrit_Th%C3%A8se_MAHABOT_Myriam.pdf.

MASSON, M., 1991. Protection de la plage de l'Hermitage à Saint-Gilles contre l'érosion. Rapports intermédiaires et étude complémentaire au rapport de 1987. La Réunion. CETE Méditerranée - Direction Départementale de l'Equipement de La Réunion.

MASSON, M., 1996. Protection de la plage de l'Hermitage à Saint-Gilles contre l'érosion. Rapport final à l'étude complémentaire de 1991. La Réunion. CETE Méditerranée - Direction Départementale de l'Equipement de La Réunion.

MESPOULHE, R. et TROADEC, R., 1994. 2/920294 : Suivi expérimental sur le nettoyage et la sauvegarde des plages balnéaires de La Réunion. Convention Région - Département - Université. Faculté des Sciences - Département des Sciences de la Terre. Université de La Réunion.

MEUR-FEREC, C., 2007. Entre surfréquentation et sanctuarisation des espaces littoraux de nature. In : Espace Géographique. 2007. n° 36, p. 41-50.

NAIM, O. et CUET, P., 1989. Les platiers récifaux de l'île de la Réunion. Géomorphologie, contexte hydrodynamique et peuplements benthiques. Qualité des eaux. Bilan des dégradations de l'écosystème récifal. Rapport final. S.l. Université de La Réunion.

NEHLIG, Pierre et BUCELLE, Marie, 2005. Connaissance géologique de La Réunion. Livret de l'enseignant. La Réunion. BRGM. Kit pédagogique Sciences de la Terre. ISBN : 2-7159-0974-8

OBSERVATOIRE RÉGIONAL DU TOURISME, 2019. Edition spéciale-2019 : Fréquentation touristique : 2018 [en ligne]. Rapport sur le tourisme. La Réunion. Institut Réunionnais du Tourisme. [Consulté le 24 juillet 2019]. Tourisme Infos - île de La Réunion Tourisme. Disponible à l'adresse : https://observatoire.reunion.fr/frequentation/destination-et-ocean-indien/frequentation-touristique-2018.

OCEA CONSULT', 2012. 2012-24/A : Expertise sur le fonctionnement sédimentaire des plages coralliennes de la commune de Saint Paul : risques d'érosion et gestion du nettoyage des coraux. Rapport final. Commune de Saint-Paul - île de La Réunion. OCEA Organisme Consultant en Environnement Aquatique.

PELLET, L., 2008. Vers une réhabilitation de l'assainissement sur le littoral réunionnais. Application sur le périmètre de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Mémoire de Master 2 Génie Urbain et Environnement, dir. Emmanuel Tessier. Université de La Réunion.

PINAULT, M., 2013. Evaluation de la fonctionnalité des récifs artificiels à vocation non extractive, dans un contexte d'habitats naturels fragmentés - côte nord-ouest de l'île de La Réunion. Thèse de doctorat de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, mention Systèmes Intégrés, Environnement et Biodiversité pour l'obtention du grade de Docteur / Spécialité : Ecologie Marine. 66860 Perpignan Cedex - France : Université de Perpignan.

RARD, M., 2013. Les Protocoles de l'Observatoire Marin de La Réunion « Opération de nettoyage des déchets » [en ligne]. 2013. S.l. : OMAR Observatoire Marin de La Réunion - Réseau d'Observation du Milieu Marin à La Réunion et dans l'Océan Indien. [Consulté le 25 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://omar.fr/wp-content/uploads/2013/06/ProtocolesOMAR-CollecteDechetsLittoral.pdf.

RÉSERVE NATURELLE MARINE DE LA RÉUNION, 2012. Plan de gestion 2013-2017 Section A - Diagnostic de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. S.l.

ROOS, D., TESSIER, E., BERTHIER, P. et BERTHIER, L., 2000. Les métiers de la pêche à La Réunion : description et évolution des techniques de pêche sur les DCP. FADs fishing methods. La Réunion. Ifremer - CRPMEM Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins.

SAFEGE, 2016. 16MRU047 Version 7 : Réaménagement du port de la commune de Saint-Leu [en ligne]. Etude d'impact. Saint-Leu. TCO Territoire de la Côte Ouest / SAFEGE Ingénieurs Conseils. Disponible à l'adresse : http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/16mru047_etude-d_impact_v7.pdf.

THOMASSIN, B., GARCIA, F., SARRAZIN, F., SCHEMBRI, L., WAFO, T., LAGADEC, V., RISSOUL, V. et WICKEL, J., 2011. Coastal seawater pollutants in the coral reef lagoon of a small tropical island in development : the Mayotte example (N Mozambique Channel, SW Indian Ocean). In : Global change : mankindmarine environment interactions. Springer. Netherlands : Ceccaldi HJ, Dekeyser I, Girault M, Stora G (eds). p. 401-407.

TOCQUET, A. et PORCHER, M., 1987. Problèmes d'érosion des plages des lagons de Saint-Gilles. Rapport interne. La Réunion. CETE Méditerranée - Direction Départementale de l'Equipement de La Réunion.

TRAIMOND, G., 2017. Arrêté n°2017-1886/SG/DRECV du 08 septembre 2017 modifiant l'arrêté préfectoral n°2014-3023 du 14 mars 2014 au titre de l'article L.214-3 du Code de l'Environnement, autorisant la CINOR à réaliser des travaux de dragage du port de pêche et de plaisance de Sainte-Marie [en ligne]. 2017. S.l. : Préfecture de La Réunion. [Consulté le 23 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/arrete_no_2017-1886_du_8_septembre_2017.pdf.

TROADEC, R., 1991. Courantologie et sédimentologie des baies de Saint-Paul et de La Possession à l'île de La Réunion. S.l. : Université Aix Marseille II, Université de La Réunion.

TROADEC, R., 1996. Contribution à l'évaluation de l'impact de la chasse sous-marine sur les récifs coralliens de l'île de La Réunion. La Réunion. Association Parc Marin de La Réunion / DIREN La Réunion / Association Vie Océane.

TROADEC, R., 2002. Suivi de l'évolution du profil des plages coralliennes de La Réunion entre 1998 et 2001. Université de La Réunion. Convention Parc Marin - Université de La Réunion (Laboratoire des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences Technologiques).

TROADEC, R., 2003a . Analyse de la prise en considération du phénomène d'érosion affectant les plages coralliennes à La Réunion et proposition d'actualisation des techniques d'entretien de ces plages. Convention ONF - LSTUR. 15 avenue René Cassin, 97 715 SAINT-DENIS Messag Cedex 9. Laboratoire des Sciences de la Terre - Faculté des Sciences et Technologie.

TROADEC, R., 2003b. L'entretien des plages à La Réunion - Principes généraux. S.l. Parc Marin de La Réunion. Guide technique pour l'entretien des plages coralliennes de La Réunion.

WELLHOFF, F., ALLAIN, Y.V., DE CHALVRON, J.G. et GOULAM, Y., 2009. CGEDD N° 005860-01 / N° 09-004-01 : Les difficultés d'application du décret relatif aux concessions de plage. Rapport de mission du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable et de l'Inspection Générale de l'Administration. S.l.

8.1.5 Chapitre 6

AUBIÉ, S., GUÉRIN, I. et OLIVEROS, C., 2001. RP-50814-FR – 2001 SGR/REU 06 : Evolution du trait de côte de 1950 à 1997 de la plaine de la rivière Saint-Etienne – Pierrefonds, Ile de La Réunion. S.l. BRGM.

BASTONE, V., DE LA TORRE, Y., TROADEC, R., FONTANEL, J.-L., HARDOUIN, E., LOMBARD, K. et LATREILLE, C., 2012. Guide de gestion de l'érosion du littoral de La Réunion [en ligne]. Guide de l'érosion du littoral. S.l. BRGM - Vie Océane - Géosciences Réunion - ONF - DEAL - Conservatoire du Littoral. [Consulté le 25 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.risquesnaturels.re/pdf/BRGM%20guide%2032p.pdf.

BELON, R. et SALOMERO, J., 2017. BRGM/RP-67353-FR : OBSCOT 2016-2017 – Observation et gestion de l'érosion côtière à La Réunion. Rapport final. S.l. BRGM.

BLANGY, A., DE LA TORRE, Y. et VASELT, E., 2009. RP-57431-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 3 : suivi et gestion de l'érosion côtière sur 12 sites identifiés comme sensibles [en ligne]. Rapport final. S.l. BRGM. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57431-FR.pdf.

BRGM, 2012. Dynamique des systèmes littoraux et des millieux marins côtier : Zoom sur le littoral de La Réunion [en ligne]. S.l. : Ministère de l'Ecologie du Développement Durable de l'Energie - BRGM. [Consulté le 4 janvier 2015]. Explore 2070 Eau et Changement Climatique. Disponible à l'adresse : https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/RE_Explore2070_Littoral_Reunion.pdf.

BRUUN, P., 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. In : Journal of Waterways and Harbours Division. 1962. Vol. 88, n° 1-3, p. 117-130.

BUDDEMEIER, R.W., KLEYPAS, J.A. et ARONSON, R.B., 2004. Coral reefs and global climate change. In : Pew Center on Global Climate Change. 2004. Vol. 10.

CAZES-DUVAT, V., 2012. Les Outre-Mer face au défi du changement climatique. La Documentation Française. S.l. : s.n.

CAZES-DUVAT, V., MAGNAN, A. K., ETIENNE, S., SALMON, C. et PIGNON-MUSSAUD, C., 2016. Assessing the impacts of and resilience to Tropical Cyclone Bejisa, Reunion Island (Indian Ocean). In : Natural Hazards. 2016. Vol. 83, n° 1, p. 601-640. DOI 10.1007/s11069-016-2338-5.

CAZES-DUVAT, V., SALMON, C. et MAGNAN, A., 2016. hal-01446007 : Trajectoire de vulnérabilité des littoraux de l'île de La Réunion aux risques liés à la mer (1950-actuel) [en ligne]. S.l. Institut du Développement Durable et des Relations Internatioanles. [Consulté le 9 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01446007/document.

CEREMA, 2015. Nature du trait de côte [en ligne]. S.l. : Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement. Disponible à l'adresse : http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/telechargement-en-ligne-donnees-geolittoral-a802.html#sommaire_10.

CEREMA, 2018. Cartographie de l'indicateur national de l'érosion côtière. In : [en ligne]. 2018. Disponible à l'adresse : http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-r473.html.

CETMEF, CETE MÉDITERRANNÉE et CETE OUEST, 2012. C 12.03 : Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux : Outre-Mer. Rapport CETMEF. S.l.

CHATEAUMINOIS, E., BUTTARAZI, I, LE MOIGNE, B., SALOMERO, J. et THIRARD, G., 2017. BRGM/RP-66592-FR : OBSCOT 2014 – Observation et gestion de l'érosion côtière à La Réunion. Rapport final. S.l. BRGM.

CORDIER, E., 2007. Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage / La Saline (La Réunion) : processus physiques et flux sédimentaires [en ligne]. Thèse. La Réunion : Université de La Réunion. [Consulté le 2 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://coraux.univ-reunion.fr/IMG/pdf/These-EmmanuelCordier-2007.pdf.

DE LA TORRE, Y., 2004. RP53307-FR : Synthèse morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 1 : état des lieux et tendances d'évolution à l'échelle de l'île [en ligne]. S.l. BRGM. [Consulté le 4 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53307-FR.pdf.

DE LA TORRE, Y., 2006. RP-55014-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 2 : estimation de l'érosion côtière sur les sites estimés comme sensibles [en ligne]. Rapport final. S.l. BRGM. [Consulté le 4 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-55014-FR.pdf.

DE LA TORRE, Y., BASTONE, V., BODERE, G. et DESPREZ, A., 2012. BRGM/RP-60714-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 4 [en ligne]. Rapport final - Etude réalisée dans le cadre des projets de Service Public du BRGM 2009 10LITA05. S.l. BRGM. [Consulté le 20 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60714-FR.pdf.

FICHAUT, Bernard et SUANEZ, Serge, 2008. Les blocs cyclopéens de l'île de Banneg (archipel de Molène, Finistère) : accumulations supratidales de forte énergie. In : Géomorphologie : relief, processus, environnement. 2008. Vol. 14, n° 1, p. 15-31. DOI 10.4000/geomorphologie.5793.

GATTUSO, J.-P., ALLEMAND, D. et FRANKIGNOULLE, M., 1999. Photosynthesis and calcification at cellular, organismal and community levels in coral reefs: a review on interactions and control by carbonate chemistry. In : American zoologist. 1999. Vol. 39, n° 1, p. 160-183.

HÉQUETTE, A., ANTHONY, E.J., RUZ, M.H., MASPATAUD, A., AERNOUTS, D. et HEMDANE, Y., 2013. The influence of nearshore sand banks on coastal hydrodynamics and sediment transport, northern coast of France. In : Proceedings Coastal Dynamics. Arcachon : s.n. 2013. p. 801-810.

HILY, C., DUCHÊNE, J., BOUCHON, C., BOUCHON-NAVARO, Y., GIGOU, A., PAYRI, C. et VÉDIE, F., 2010. Hily C., Gabrié C., Duncombe M. coord. : Les herbiers de phanérogames marines de l'outre-mer français. S.l. IFRECOR, Conservatoire du Littoral.

HOEGH-GULDBERG, O. et SALVAT, B., 1995. Periodic mass bleaching and elevated seawater temperatures : bleaching of outer reef slope communities in Moorea, French Polynesia. In : Mar. Ecol. Prog. Ser. 1995. Vol. 121, p. 181-190.

HUGHES, T.P., BARNES, M.L., BELLWOOD, D.R., CINNER, J.E., CUMMING, G.S., JACKSON, J.B. et PALUMBI, S.R., 2017. Coral reefs in the Anthropocene. In : Nature. 2017. Vol. 546, n° 7656, p. 82.

HUGHES, T.P., KERRY, J.T., ALVAREZ-NORIEGA, M., ALVAREZ-ROMERO, J.G., ANDERSON, K.D., BAIRD, A.H. et BRIDGE, T.C., 2017. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. In : Nature. 2017. Vol. 543, n° 7645, p. 373.

IFREMER, UBO, ARTÉLIA et GIP LOIRE ESTUAIRE, 2014. Conséquences du Changement Climatique sur l'Ecogéomorphologie des Estuaires (projet C3E2). Rapport final, partie 1. S.l. Coordonné par Pierre Le Hir (Ifremer). Programme Gestion et Impacts du Changement Climatique (GICC).

KIRWAN MATTHEW L., GUNTENSPERGEN GLENN R., D'ALPAOS ANDREA, MORRIS JAMES T., MUDD SIMON M. et TEMMERMAN STIJN, 2010. Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea level. In : Geophysical Research Letters. 2010. Vol. 37, n° 23, p. 5. DOI 10.1029/2010GL045489.

MAHABOT, Marie-Myriam, PENNOBER, Gwenaëlle, SUANEZ, Serge, TROADEC, Roland et DELACOURT, Christophe, 2016. Effect of Tropical Cyclones on Short-Term Evolution of Carbonate Sandy Beaches on Reunion Island, Indian Ocean. In : Journal of Coastal Research. 2016. Vol. 33, n° 4, p. 839-853. DOI 10.2112/JCOASTRES-D-16-00031.1.

MAHABOT, M.-M., 2016. Suivi morphodynamique des plages récifales de La Réunion en contexte d'observatoire [en ligne]. Thèse de Doctorat, spécialité Géographie. La Réunion : Université de La Réunion. [Consulté le 4 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01521588/file/Manuscrit_Th%C3%A8se_MAHABOT_Myriam.pdf.

MASPATAUD, A., 2011. Impacts des tempêtes sur la morphodynamique du profil côtier en milieu macrotidal. Thèse de doctorat en Géosciences, Écologie, Paléontologie, Océanographie. S.l. : Université du Littoral Côte d'Opale. tel-00658671

ONERC, 2012. Les outre-merface au défi du changement climatique. S.l. La documentation Française.

ONERC, 2015. Le littoral dans le contexte du changement climatique. Rapport au Premier ministre et au parlement. S.l. Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique.

PANDOLFI, J.M., CONNOLLY, S.R., MARSHALL, D.J. et COHEN, A.L., 2011. Projecting coral reef futures under global warming and ocean acidification. In : Science. 2011. Vol. 333, n° 6041, p. 418-422.

PASKOFF, R., 2000. Les plages et l'élévation du niveau de la mer : risques et réponses. In : Le changement climatique et les espaces côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses. Arles : s.n. 2000. p. 14-19.

PETIT, J. et PRUDENT, G., 2010. Changement climatique et biodiversité dans l'outre-mer européen. Gland, Suisse & Bruxelles, Belgique : UICN.

PLANTON, Serge, LE COZANNET, Goneri, CAZENAVE, Anny, COSTA, Stéphane, DOUEZ, Olivier, GAUFRÈS, Pierre, HISSEL, François, IDIER, Déborah, LABORIE, Vanessya, PETIT, Vincent et SERGENT, Philippe, 2015. Volume 5 : Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises [en ligne]. S.l. ONERC. Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises. Disponible à l'adresse : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01288453/document.

PSUTY, N.P. et SILVEIRA, T., 2010. Global climate change: An opportunity for coastal dunes ? In : Journal of Coastal Conservation. 2010. Vol. 14, n° 2, p. 153-160. DOI 10.1007/s11852-010-0089-0.

ROSATI, J.D., DEAN, R.G. et WALTON, T.L., 2013. The modified Bruun Rule extended for landward transport. In : Marine Geology. 2013. n° 340, p. 71-81.

ROY, P.S., COWELL, P.J., FERLAND, M.A. et THOM, B.G., 1994. Wave dominated coast. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom : R.W.G. Carter, C.D. Woodroffe (Eds.). Coastal Evolution, Late Quaternary Shoreline Morphodynamics.

THOMASSIN, B., GARCIA, F., SARRAZIN, F., SCHEMBRI, L., WAFO, T., LAGADEC, V., RISSOUL, V. et WICKEL, J., 2011. Coastal seawater pollutants in the coral reef lagoon of a small tropical island in development : the Mayotte example (N Mozambique Channel, SW Indian Ocean). In : Global change : mankindmarine environment interactions. Springer. Netherlands : Ceccaldi HJ, Dekeyser I, Girault M, Stora G (eds). p. 401-407.

TROADEC, R., 1991. Courantologie et sédimentologie des baies de Saint-Paul et de La Possession à l'île de La Réunion. S.l. : Université Aix Marseille II, Université de La Réunion.

VAN MAANEN, B., COCO, G., BRYAN, K.R. et FRIEDRICHS, C. T., 2013. Modeling the morphodynamic response of tidal embayments to sea-level rise. In : Ocean Dynamics. 2013. Vol. 63, n° 11, p. 1249-1262. DOI 10.1007/s10236-013-0649-6.

WONG, P. P., LOSADA, I. J., GATTUSO, J.-P., HINKEL, J., KHATTABI, A., MCINNES, K. L., SAITO, Y. et SALLENGER, A., 2014. Coastal systems and low-lying areas. In : FIELD, C. B., BARROS, V. R., DOKKEN, D. J., MACH, K. J., MASTRANDREA, M. D., BILIR, T. E., CHATTERJEE, M., EBI, K. L., ESTRADA, Y. O., GENOVA, R. C., GIRMA, B., KISSEL,

E. S., LEVY, A. N., MACCRACKEN, S., MASTRANDREA, P. R. et WHITE, L. L. (éd.), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA : Cambridge University Press. p. 361-409.

8.1.6 Chapitre 7

ACOA CONSEIL, 2017. Version 1C : Dragages d'entretien du Port de Saint-Leu - Déclaration Loi sur l'Eau [en ligne]. Saint-Leu. ACOA Conseil - Conseil Environnement & Ingenierie de Projet. Disponible à l'adresse : http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/dle_tco_dragage_st_leu_v1c_20_10_17_la.pdf.

ACTIMAR, 2011. 1.POC.0410-Rév. 1 : Projet d'aménagement du port de Saint-Leu [en ligne]. Rapport final - Etude hydrosédimentaire. Saint-Leu. Mairie de Saint-Leu. [Consulté le 9 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/annexe-9_actimar-portsaint-leu-poc-0410-v1.pdf.

ANGWENYI, C.-M. et RYDBERG, L., 2005. Wave-driven circulation across the coral reet at Bamburi Lagoon, Kenya. In : Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2005. Vol. 63, p. 447-454.

ANTEA/IN VIVO, 2003. ZALM de Grande Anse. Etude de courantologie et de sensibilité du milieu. S.l.

ASCONIT et PARETO, 2011. Études de vulnérabilité aux changements climatiques, évaluation qualitative. Rapport National de La Réunion. S.l.

AUBIÉ, S., GUÉRIN, I. et OLIVEROS, C., 2001. RP-50814-FR – 2001 SGR/REU 06 : Evolution du trait de côte de 1950 à 1997 de la plaine de la rivière Saint-Etienne – Pierrefonds, Ile de La Réunion. S.l. BRGM.

AUBIÉ, S. et PEDREROS, R., 2002. BRGM/RP52047-FR : Dynamique sédimentaire en milieu corallien à l'île de La Réunion. S.l. BRGM - Laboratoire ARGO - LST Université de La Réunion.

AUNAY, B. et DE BROCH D'HOTELANS, B., 2011. BRGM/RP-59049-FR : Montée du niveau marin induite par le changement climatique. Année 1 – Diagnostic préalable aux conséquences sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers de La Réunion [en ligne]. Rapport final - Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2010 PSP10EAU95. S.l. BRGM. [Consulté le 5 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59049-FR.pdf.

BASTONE, V. et DE LA TORRE, Y., 2011. Etude préliminaire de l'impact du changement climatique sur les risques naturels à La Réunion. S.l.

BASTONE, V., DE LA TORRE, Y., TROADEC, R., FONTANEL, J.-L., HARDOUIN, E., LOMBARD, K. et LATREILLE, C., 2012. Guide de gestion de l'érosion du littoral de La Réunion [en ligne]. Guide de l'érosion du littoral. S.l. BRGM - Vie Océane - Géosciences Réunion - ONF - DEAL - Conservatoire du Littoral. [Consulté le 25 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.risquesnaturels.re/pdf/BRGM%20guide%2032p.pdf.

BELON, R. et SALOMERO, J., 2017. BRGM/RP-67353-FR : OBSCOT 2016-2017 – Observation et gestion de l'érosion côtière à La Réunion. Rapport final. S.l. BRGM.

BLANGY, A., DE LA TORRE, Y. et VASELT, E., 2009. RP-57431-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 3 : suivi et gestion de l'érosion côtière sur 12 sites identifiés comme sensibles [en ligne]. Rapport final. S.l. BRGM. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57431-FR.pdf.

BOUCHON, C., 1979. Étude quantitative des peuplements à base de Scléractiniaires d'un récif frangeant de l'île de La Réunion, Océan Indien. Thèse de Doctorat, spécialité Océanographie. S.l. : Université Aix-Marseille II.

BRANDER, R.-W., KENCH, P.-S. et HART, D., 2004. Spatial and temporal variations in wave characteristics across a reef platform, Warraber Island, Torres Strait Australia. In : Marine Geology. 2004. Vol. 207, p. 169-184.

BRGM, 2006. Kit pédagogique Sciences de la Terre - La Réunion. 2006. S.l. : BRGM.

BRGM, 2012. Dynamique des systèmes littoraux et des millieux marins côtier : Zoom sur le littoral de La Réunion [en ligne]. S.l. : Ministère de l'Ecologie du Développement Durable de l'Energie - BRGM. [Consulté le 4 janvier 2015]. Explore 2070 Eau et Changement Climatique. Disponible à l'adresse : https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/RE_Explore2070_Littoral_Reunion.pdf.

CAZENAVE, A. et LE COZANNET, G., 2014. Sea level rise and its coastal impacts. In : Earth's Future. 2014. Vol. 2, n° 2, p. 15-34. DOI 10.1002/2013EF000188.

CAZES-DUVAT, V., 2012. Les Outre-Mer face au défi du changement climatique. La Documentation Française. S.l. : s.n.

CAZES-DUVAT, V., MAGNAN, A. K., ETIENNE, S., SALMON, C. et PIGNON-MUSSAUD, C., 2016. Assessing the impacts of and resilience to Tropical Cyclone Bejisa, Reunion Island (Indian Ocean). In : Natural Hazards. 2016. Vol. 83, n° 1, p. 601-640. DOI 10.1007/s11069-016-2338-5.

CAZES-DUVAT, V. et PASKOFF, R., 2004. Les littoraux des Mascareignes entre nature et aménagement. L'Harmattan. S.l. : s.n.

CAZES-DUVAT, V., SALMON, C. et MAGNAN, A., 2016. hal-01446007 : Trajectoire de vulnérabilité des littoraux de l'île de La Réunion aux risques liés à la mer (1950-actuel) [en ligne]. S.l. Institut du Développement Durable et des Relations Internatioanles. [Consulté le 9 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01446007/document.

CBN-CPIE MASCARIN, 2018. Filao [en ligne]. 2018. S.l. : GEIR. [Consulté le 7 janvier 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.especesinvasives.re/spip.php?action=acceder_document&arg=1356&cle=06c2352aaf6c8649f23ca2b5f3beec0f4273f3e6&file=pdf%2FFiche_Flore_Casuarina_equisetifolia.pdf.

CEREMA, 2015. Nature du trait de côte [en ligne]. S.l. : Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement. Disponible à l'adresse : http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/telechargement-en-ligne-donnees-geolittoral-a802.html#sommaire_10.

CEREMA, 2017. Cartographie nationale des ouvrages et aménagements littoraux. In : [en ligne]. 2017. Disponible à l'adresse : http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/cartographie-nationale-des-ouvrages-et-r502.html.

CEREMA, 2018. Cartographie de l'indicateur national de l'érosion côtière. In : [en ligne]. 2018. Disponible à l'adresse : http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-r473.html.

CGDD et DRI, 2012. Le programme mer. État des lieux et enjeux de la recherche et de l'innovation en sciences marines. S.l. Références.

CHATEAUMINOIS, E., BELON, R., LE MOIGNE, B. et SALOMERO, J., 2016. BRGM/RP-65261-FR : IMOCOR - Evaluation de l'Impact Morphodynamique des Ouvrages COtiers de La Réunion [en ligne]. Rapport final - Etude réalisée dans le cadre des projets d'appui aux politiques publiques du BRGM 20 13-PSP13REU43. S.l. BRGM. [Consulté le 7 novembre 2019]. Disponible à l'adresse : https://dl.brgm.fr/liens/qnXL3NYWUCBYccHk/Rapport_RP-65261-FR_final.pdf.

CHATEAUMINOIS, E., BUTTARAZI, I, LE MOIGNE, B., SALOMERO, J. et THIRARD, G., 2017. BRGM/RP-66592-FR : OBSCOT 2014 – Observation et gestion de l'érosion côtière à La Réunion. Rapport final. S.l. BRGM.

CORDIER, E., 2007. Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage / La saline (La Réunion) : Processus phusiques et flux sédimentaires. PhD Thesis. La Réunion : Université de la Réunion.

DE LA TORRE, Y., 2004. RP53307-FR : Synthèse morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 1 : état des lieux et tendances d'évolution à l'échelle de l'île [en ligne]. S.l. BRGM. [Consulté le 4 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53307-FR.pdf.

DE LA TORRE, Y., 2006. RP-55014-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 2. S.l.

DE LA TORRE, Y., BASTONE, V., BODERE, G. et DESPREZ, A., 2012. BRGM/RP-60714-FR : Morphodynamique des littoraux de La Réunion - phase 4 [en ligne]. Rapport final - Etude réalisée dans le cadre des projets de Service Public du BRGM 2009 10LITA05. S.l. BRGM. [Consulté le 20 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60714-FR.pdf.

DE LA TORRE, Y. et LOUZÉ, J., 2008. RP-56589-FR : Méthodologie pour l'évaluation et la cartographie des aléas côtier à La Réunion - Phase 2 [en ligne]. S.l. BRGM. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-56589-FR.pdf.

FAURE, G., 1982. Recherche sur les peuplements de Sclératiniaires des récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien occidental). Thèse de Sciences Naturelles. S.l. : Université Aix-Marseille II.

FÈVRE, Y., 2005. Mécanismes et vitesses d'érosion à l'échelle géologique sur une île volcanique jeune à relief élevé - La Réunion (océan Indien) [en ligne]. Thèse en Hydrologie. La Réunion : Université de La Réunion. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00789183/document. tel-00789183

GABRIÉ, C., 1985. L'érosion des plages balnéaires à La Réunion. Contrat. Université de La Réunion. Ministère de l'Education Nationale - Conseil Général de La Réunion - Conseil Régional de La Réunion, Laboratoire de Géologie, Université de La Réunion.

GIEC, 2007. Climate change 2007 : The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,. S.l. : Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. et Miller, H.L (eds).

JAMON, A., 2002. Contribution à l'élaboration d'un plan de zonage de la réserve naturelle marine de La Réunion. Mémoire de DESS. Université de La Réunion.

JUMAUX, G., QUETELARD, H. et ROY, D., 2012. Atlas climatique de La Réunion [en ligne]. S.l. Météo France. [Consulté le 1 octobre 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/doc/IFD/IFD_REFDOC_0511546/atlas-climatique-de-la-reunion. 9782111286238

KENCH, P.-S., 1994. Hydrodynamic observations of the cocos (keeling) islands lagoon. In : Atoll research bulletin. 1994. Vol. 408, p. 21.

KENCH, P.-S., 1998. Physical processes in an indian ocean atoll. In : Coral reefs. 1998. n° 17, p. 155-168.

LE BERRE, I., LOUZE, J. et DAVID, L., 2012. Atlas de sensibilité du littoral aux pollutions marines [en ligne]. Annexe technique du dispositif Polmar-Terre. S.l. LETG-Brest Géomer / DEAL de La Réunion / IFREMER. [Consulté le 18 juin 2019]. Dispositif opérationnel ORSEC départemental de La Réunion. Disponible à l'adresse : https://www.ifremer.fr/sextant_doc/polmar_reunion/Documents/Atlas_Polmar_Reunion_04_2013_bd.pdf.

LE COZANNET, Gonéri, ROHMER, Jeremy, CAZENAVE, Anny, IDIER, Déborah, WAL, Roderik van de, WINTER, Renske de, PEDREROS, Rodrigo, BALOUIN, Yann, VINCHON, Charlotte et OLIVEROS, Carlos, 2015. Evaluating uncertainties of future marine flooding occurrence as sea-level rises. In : Environmental Modelling & Software. 2015. Vol. 73, p. 44-56. DOI 10.1016/j.envsoft.2015.07.021.

LORION, David et VILLENEUVE, Nicolas, 2007. Les risques littoraux à l'île de la Réunion. In : Approches des littoraux réunionnais et martiniquais. 2007. p. 169-191. hal-02162141

MAHABOT, Marie-Myriam, PENNOBER, Gwenaëlle, SUANEZ, Serge, TROADEC, Roland et DELACOURT, Christophe, 2016. Effect of Tropical Cyclones on Short-Term Evolution of Carbonate Sandy Beaches on Reunion Island, Indian Ocean. In : Journal of Coastal Research. 2016. Vol. 33, n° 4, p. 839-853. DOI 10.2112/JCOASTRES-D-16-00031.1.

MAHABOT, M.-M., 2016. Suivi morphodynamique des plages récifales de La Réunion en contexte d'observatoire [en ligne]. Thèse de Doctorat, spécialité Géographie. La Réunion : Université de La Réunion. [Consulté le 4 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01521588/file/Manuscrit_Th%C3%A8se_MAHABOT_Myriam.pdf.

MURRAY, S.-P., ROBERTS, H.-H., CONLON, D.-M. et RUDDER, G.-M., 1977. Nearshore current fields arround coral islands : control on sediment accumulation and reef growth. In : Proceedings of the 3rd International Coral Reef Symposium. Miami : s.n. 1977. p. 53-59.

NICHOLLS, Robert J., HANSON, Susan E., LOWE, Jason A., WARRICK, Richard A., LU, Xianfu et LONG, Antony J., 2014. Sea-level scenarios for evaluating coastal impacts. In : Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. 2014. Vol. 5, n° 1, p. 129-150. DOI 10.1002/wcc.253.

ONERC, 2012. Les outre-merface au défi du changement climatique. S.l. La documentation Française.

PEDREROS, R., LECACHEUX, S., LE COZANNET, G., BLANGY, A. et DE LA TORRE, Y., 2009. BRGM/RP-57829-FR : HOULREU - Quantification de la houle centennale de référence sur les façades littorales de La Réunion [en ligne]. Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2009 09RISY01. S.l. BRGM. [Consulté le 25 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57829-FR.pdf.

PETIT, J. et PRUDENT, G., 2010. Changement climatique et biodiversité dans l'outre-mer européen. Gland, Suisse & Bruxelles, Belgique : UICN.

PLANTON, Serge, LE COZANNET, Goneri, CAZENAVE, Anny, COSTA, Stéphane, DOUEZ, Olivier, GAUFRÈS, Pierre, HISSEL, François, IDIER, Déborah, LABORIE, Vanessya, PETIT, Vincent et SERGENT, Philippe, 2015. Volume 5 : Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises [en ligne]. S.l. ONERC. Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises. Disponible à l'adresse : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01288453/document.

QUOD, J.-P., 2000. Des récifs coralliens et des hommes face au changement climatique. Pour une gestion durable et le maintien des services écologiques et écosystémiques des récifs coralliens du sud-ouest de l'océan indien. Rapport de vision. S.l. Coral Reef Facility.

ROBERTS, H.-H., 1980. Physical processes and sediment flux through reef-lagoon systems. In : Proceedings of the 17th International Conference of Coastal Engineering. S.l. : s.n. 1980. p. 946-962.

ROY, D., QUETELARD, H. et JUMAUX, G., 2009. Étude pour l'identification des évolutions des changements climatiques à La Réunion. Saint-Denis, France. Rapport Météo-France. S.l. Direction Interrégionale de La Réunion.

STORLAZZI, C.-D., OGSTON, A.-S., BOTHNER, M.-H., FIELD, M.-E. et PRESTO, M.-K., 2004. Wave and tidally driven flow and sediment flux across a fringe coral reef : Southern Molokai, Hawaii. In : Continental Shelf Research. 2004. Vol. 24, p. 1397-1419.

TAMURA, H., NADAOKA, K. et PARINGIT, E.-C., 2007. Hydrodynamic characteristics of a fringing coral reef on the east coast of Ishigaki Island, southwest Japan. In : Coral Reefs. 2007. Vol. 26, n° 1, p. 17-34.

TROADEC, R., 1991. Courantologie et sédimentologie des baies de Saint-Paul et de La Possession à l'île de La Réunion. S.l. : Université Aix Marseille II, Université de La Réunion.

TROADEC, R., 2002. Suivi de l'évolution du profil des plages coralliennes de La Réunion entre 1998 et 2001. Université de La Réunion. Convention Parc Marin - Université de La Réunion (Laboratoire des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences Technologiques).

8.2 Description des champs de la base de données et méthode de renseignement des fiches OUVRAGE du BRGM

N°	Nom du champ	Type de données	Choix multiples	Description du champ	Source
N°	N°	NuméroAuto	-	Numéro automatique attribué par Access	
1	Commune	Texte	Saint-Paul Trois-Bassins Saint-Leu Etang-Salé Saint-Pierre	Nom de la commune sur laquelle est implanté l'ouvrage	
2	Numéro de l'ouvrage	Texte	-	Numéro individuel de l'ouvrage (initiales de la commune de référence + numéro incrémentiel)	
3	Date du constat	Date/Heure	-	Date de la visite de l'ouvrage	
4	X	Texte	-	Coordonnées en X en mètres (en RGR92 - UTM40S)	
5	Y	Texte	-	Coordonnées en Y en mètres (en RGR92 - UTM40S)	
6	Altitude min	Numérique	-	Altitude minimale du TN sur l'implantation de l'ouvrage (en mètres)	Litto3D
7	Altitude max	Numérique	-	Altitude maximale du TN sur l'implantation de l'ouvrage (en mètres)	Litto3D
8	H min	Numérique	-	Hauteur minimale de l'ouvrage au dessus du TN (en mètres)	Mesure terrain
9	H max	Numérique	-	Hauteur maximale de l'ouvrage au dessus du TN (en mètres)	Mesure terrain
10	Nature	Texte	Mur Escalier Clôture Portail Batiment Pont Epi Digue Cale …	Nature de l'ouvrage	Observation terrain
11	Fonction	Texte	Accès Délimitation de parcelle Habitation Restauration Vocation industrielle Vocation portuaire Maintien du trait de côte Protection propriété …	Fonction de l'ouvrage	Observation terrain
12	Arrière côte	Texte	Habitation batiment public Espace public	Description de l'occupation du sol en arrière de l'ouvrage	Observation terrain
13	Constitution	Texte	Maçonnerie Béton Grillage Bois Gabion …	Type de matériau constitutif de l'ouvrage	Observation terrain
14	Propriétaire	Texte	Privé Commune …	Identification du propriétaire de l'ouvrage	Observation terrain
15	Gestionnaire	Texte	Privé Commune …	Identification du gestionnaire de l'ouvrage	Observation terrain
16	Titre d'occupation DPM	Oui/Non	Oui	Autorisation ou non à occuper le domaine public maritime	Source DEAL

N°	Nom du champ	Type de données	Choix multiples	Description du champ	Source
N°	N°	NuméroAuto	-	Numéro automatique attribué par Access	
			Non		
17	Date de réalisation	Texte	-	Identification de la période durant laquelle l'ouvrage a été réalisé (par comparaison des photographies aériennes historiques)	Analyse SIG
18	Etat général	Texte	Très mauvais Mauvais Moyen Bon Très bon	Etat général dans lequel se trouve l'ouvrage lors de la visite de terrain	Observation terrain
19	Commentaires	Texte	-	Commentaires associés à la visite de terrain	Observation terrain
20	Localisation	Pièce jointe	-	Illustration permettant la localisation de l'ouvrage (ortho 2011)	Travail SIG
21	Photo 1	Pièce jointe	-	Photographie n°1 de l'ouvrage	Observation terrain
22	Photo 2	Pièce jointe	-	Photographie n°2 de l'ouvrage	Observation terrain
23	Linéaire CS ZA (m)	Numérique	-	Linéaire *cross-shore* de l'ouvrage inclus dans ZA (en mètres) (cf rapport pour définition de ZA)	Travail SIG
24	Linéaire CS ZB (m)	Numérique	-	Linéaire *cross-shore* de l'ouvrage inclus dans ZB (en mètres) (cf rapport pour définition de ZB)	Travail SIG
25	Linéaire CS ZC (m)	Numérique	-	Linéaire *cross-shore* de l'ouvrage inclus dans ZC (en mètres) (cf rapport pour définition de ZC)	Travail SIG
26	Linéaire CS ZD (m)	Numérique	-	Linéaire *cross-shore* de l'ouvrage inclus dans ZD (en mètres) (cf rapport pour définition de ZD)	Travail SIG
27	Linéaire LS ZA (m)	Numérique	-	Linéaire longshore de l'ouvrage inclus dans ZA (en mètres) (cf rapport pour définition de ZA)	Travail SIG
28	Linéaire LS ZB (m)	Numérique	-	Linéaire longshore de l'ouvrage inclus dans ZB (en mètres) (cf rapport pour définition de ZB)	Travail SIG
29	Linéaire LS ZC (m)	Numérique	-	Linéaire longshore de l'ouvrage inclus dans ZC (en mètres) (cf rapport pour définition de ZC)	Travail SIG
30	Linéaire LS ZD (m)	Numérique	-	Linéaire longshore de l'ouvrage inclus dans ZD (en mètres) (cf rapport pour définition de ZD)	Travail SIG
31	Surface interception fluides - Eau (m^2)	Numérique	-	Surface d'interception de l'ouvrage vis-à-vis du courants ou du vent (en m^2) Dans l'eau cette surface sera CSZA x (Hmin+Hmax)/2 Sur la plage on prendra la somme des surfaces exposées des batiments aux vents OnShore + CrossShore	Mesure terrain
32	Distance du TC (m)	Numérique	-	Distance minimale entre l'ouvrage et le trait de côte (limite PMMA) (en mètres)	Analyse SIG
33	Altitude min (m)	Numérique	-	Altitude minimale du TN sur l'implantation de l'ouvrage (en mètres) - Redondance du champ pour mise en correspondance évidente avec la distance du TC	Mesure terrain
34	Dénivelé TN (m)	Numérique	-	Ce champ doit permettre de mettre en évidence un dénivelé du terrain engendré par la présence de l'ouvrage si celui-ci est observable. On mesure alors un dénivelé du terrain naturel de part et d'autre de l'ouvrage (en mètres) (avant/arrière ou de coté)	Mesure terrain
35	Végétalisation	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Degré de végétalisation face à l'ouvrage. **Nul :** aucune végétation n'est présente devant l'ouvrage **Faible :** des traces de végétation sont présentent mais d'une faible efficacité (piégage du sable) **Modéré :** La végétation présente une densité permettant un piégage du sable efficace **Fort :** Forte densité de végétation. Configuration optimale **Très Fort:** Forte densité de végétation. Un entretien est visiblement réalisé (riverain ou gestionnaire)	Observation terrain
36	Tendance du secteur	Texte	Erosion forte Erosion modérée Erosion faible Stabilité Accrétion faible Accrétion modérée Accrétion forte	Tendance évolutive du grand secteur morphologique de l'ouvrage Notation en fonction de la vitesse d'évolution du TC.	Analyse des BDD existantes (Topo/Photos)
37	Transport éolien	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Capacité de l'ouvrage à intercepter les sédiments transportés par le vent En première approche on propose une évaluation en fonction de la valeur de la case 31 ou [23+24+25+26]: et avec par exemple **Nul :** si [31] = $0m^2$ **Faible :** si $0<[31]<20m^2$	Observation terrain

N°	Nom du champ	Type de données	Choix multiples	Description du champ	Source
N°	N°	NuméroAuto	-	Numéro automatique attribué par Access	
				Modéré : si 20<[31]<50m² **Fort : s**i 50<[31]<100m² **Très fort :** si 100<[31]	
39	Transport longshore du *swash*	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Capacité de l'ouvrage à perturber le transport sédimentaire lié au transport longshore du *swash* Proposition de la règle suivante : **Nul** : si ouvrage est hors de ZD **Faible** : si ouvrage présent dans ZD **Modéré** : si ouvrage présent dans ZC **Fort** : si ouvrage présent dans ZB	Observation terrain
41	Transport longshore des courants	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Capacité de l'ouvrage à perturber le transport sédimentaire lié au transport longshore des courants Proposition d'une fonction proportionnelle à la case [23]: et avec par exemple ValeurMax= [Largeur de la *DAR*] **Nul :** 0 % de ValeurMax **Faible :** 0 à 25% de ValeurMax **Modéré :** 25 à 50% de ValeurMax **Fort :** 50 à 75% de ValeurMax **Très fort :** 75 à 100% de ValeurMax	Observation terrain
43	Transport *cross-shore*	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Capacité de l'ouvrage à perturber le transport sédimentaire lié au transport *cross-shore* Proposition de la règle suivante : **Nul** : si ouvrage est hors de ZD **Faible** : si ouvrage présent dans ZD **Modéré** : si ouvrage présent dans ZC **Fort** : si ouvrage présent dans ZB ou ZA	Observation terrain
45	Ruissellement	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Capacité de l'ouvrage à concentrer les eaux pluviales et à participer au ruissellement En première approche on propose une notation suivant la valeur de la case [31] : **Nul** : 0 si [31]=0 **Faible** : si 0<[30]<10 **Modéré** : si 10<[30]<30 **Fort** : si 30<[30]<50 **Très fort** : si 50<[30] + noter les facteurs aggravants: -Présence de gouttières de toit -Rejet devant ou en arrière -Fortes pentes au niveau du rejet -Terrain non absorbant	Observation terrain
47	Blocage morphologique	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Capacité de l'ouvrage à bloquer une réponse morphologique de la plage vis-à-vis des forcages marins Notation suivant la position de l'ouvrage et de son linéaire LongShore: case [27]ou[25]ou[29]ou[30]: On peut aussi prendre en considération la nature de ses fondations: l'ouvrage empeche-t-il la mobilité du sable ? Ouvrage sur piloti sur-élevé : **Nul à Faible** Un ouvrage posé sur le sable : **Modéré à Fort** Un ouvrage avec des fondations profondes : **Fort à Très Fort**	Observation terrain
49	Transport anthropique	Texte	Nul Faible Modéré Fort	Capacité de l'ouvrage à participer au transport sédimentaire anthropique (piétinement, activités balnéaires...) Notation suivant une évaluation de l'expert : **Nul** : si l'ouvrage n'entraine aucune fréquentation supplémentaire des secteurs limitrophes **Faible** : si l'ouvrage entraine une fréquentation légère "non organisée" et non commercialisée **Modéré** : si l'ouvrage entraine une fréquentation "organisée" légère (buvette mais pas de terrasse) ou si l'ouvrage permet un passage préférentiel du public **Fort** : si l'ouvrage entraine une fréquentation "organisée" intense (buvette et terrasse) ou si l'ouvrage entraine un passage obligatoire du public	

N°	Nom du champ	Type de données	Choix multiples	Description du champ	Source
N°	N°	NuméroAuto	-	Numéro automatique attribué par Access	
51	Synthèse sur transferts	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Impact moyenné de l'ouvrage sur les transferts sédimentaires Pondération et intensité: Nul = 0 Faible = 1 Modéré = 2 Fort = 3 Très fort = 4 [Note globale]=Somme([ponderation]*[intensite]) et ensuite : **Nul** : si [NoteGlobale]=0 **Faible** : si 0<[NoteGlobale]<25% de [NoteMax] **Modéré** : si 25%<[NoteGlobale]<50% de [NoteMax] **Fort** : si 50%<[NoteGlobale]<75% de [NoteMax] **Très fort** : si 75%<[NoteGlobale]<100% de [NoteMax]	
52	Surface interception fluides - Air (m^2)	Numérique	-	Surface d'interception de l'air (surface hors d'eau) par l'ouvrage (en m^2)	
53	Surface de drainage (m^2)	Numérique	-	Surface de l'ouvrageinterceptant les eaux de pluie et participant au ruissellement (en m^2)	
54	Aléa sub PPRL	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Classe d'aléa dans laquelle est situé l'ouvrage au sein du PPRL communal	SIG
55	Enjeux	Texte	Biens publics Biens privés Personnes	Type d'enjeux (biens et personnes) situés en arrière de l'ouvrage	Observation terrain
56	Distance des enjeux (m)	Numérique	-	Distance minimale séparant les enjeux et l'ouvrage (en mètres) Par exemple : distance entre la cloture et la maison	Mesure terrain
57	Imperméabilité écoulements	Texte	Nul Faible Modéré Fort	Capacité de l'ouvrage à être imperméable aux écoulements de submersion (ex : un grillage sera plus perméable qu'un mur de parpaings) **Nul** : ouvrage totalement perméable aux écoulements **Faible** : ouvrage présentant un faible obstacle hydrodynamique aux écoulements. Ceux-si ne sont saiblement ou quasiment pas modifiés (grillage par exemple) **Modéré** : ouvrage présentant un obstacle hydrodynamique aux écoulements. Ceux-si sont modifiés significativement (muret bas par exemple) **Fort** : ouvrage totalement imperméable aux écoulements	Observation terrain
58	Impact indirect morpho TN	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Le champ doit donner une indication sur le role de l'ouvrage sur une hypothétique retenue des terrains. **Nul** : aucune modification du TN de part et d'autre de l'ouvrage **Faible** : faible retenue des terrains par l'ouvrage <0.50m **Modéré** : retenue modérée des terrains par l'ouvrage <1.00m **Fort** : forte retenue des terrains >1.00m	Mesure de terrain
59	Ouvrage biotechnologique	Oui/Non	-	Précision du caractère biotechnologique ou non de l'ouvrage L'ouvrage a-t-il été concu en intégrant des espèces végétales dans son fonctionnement ? (Exemple ouvrage du cimentière de Saint Paul)	Observation terrain
60	Végétation	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Degré de végétalisation face à l'ouvrage. **Nul** : aucune végétation n'est présente devant l'ouvrage **Faible** : des traces de végétation sont présentent mais d'une faible efficacité (piégage du sable) **Modéré** : La végétation présente une densité permettant un piégage du sable efficace **Fort** : Forte densité de végétation. Configuration optimale **Très Fort:** Forte densité de végétation. Un entretien est visiblement réalisé (riverain ou gestionnaire)	
61	Risque affouillement	Texte	Nul Faible Modéré Fort	Importance de la vulnérabilité de l'ouvrage au risque d'affouillement Dépend pincipalement de la profondeur de fondation.	Observation terrain

N°	Nom du champ	Type de données	Choix multiples	Description du champ	Source
N°	N°	NuméroAuto	-	Numéro automatique attribué par Access	
62	Risque destructuration	Texte	Nul Faible Modéré Fort	Importance de la vulnérabilité de l'ouvrage au risque de destructuration Dépend de la nature et du dimentionnement de l'ouvrage	Observation terrain
63	Risque basculement	Texte	Nul Faible Modéré Fort	Importance de la vulnérabilité de l'ouvrage au risque de basculement Dépend de la géométrie, du poid de l'ouvrage et de ses appuis	Observation terrain
64	Risque d'érosion évènementielle après sinistre	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Ce champ permet d'indiquer le niveau de risque du phénomènes d'érosion évènementielle qui pourrait subvenir si l'ouvrage venait à céder: les terrains en arrière pourraient-ils être rapidement érodés? Ce risque peut notamment être important si l'ouvrage a un rôle de retenu des terrains en arrière (cf champ [58])	Observation terrain
65	Evolution du risque de submersion en arrière après sinistre	Texte	Diminution Identique Augmentation Forte augmentation	Caractérisation du niveau de protection de l'ouvrage après le sinistre de celui-ci (ex : un enrochement déstructuré constitue une protection plus efficace qu'un mur effondré)	Observation terrain
66	Incidence sur secteurs limitrophes	Texte	Nulle Diminution Aggravation	Impact de l'ouvrage sur la submersion des terrains limitrophes (aggravation ou diminution de la vulnérabilité)	Observation terrain
67	Synthèse sur submersion	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Impact général de l'ouvrage vis-à-vis de l'aléa submersion marine	
68	Impact global	Texte	Nul Faible Modéré Fort Très fort	Notation globale de l'ouvrage quant à son impact sur l'érosion et la submersion	

8.3 Analyse des données de simulations numériques des états de mer Anemoc-2 sur La Réunion

8.3.1 Introduction

La présente analyse a été effectuée dans le cadre du projet d'actualisation du « catalogue sédimentologique des côtes françaises » lancé en 2011 et confié par la DGALN au Cerema.

L'analyse porte sur les données ANEMOC-2 de la Réunion. ANEMOC-2 est une base de données de simulations numériques rétrospectives des états de mer (hindcast) s'étalant sur 31 ans (de 1979 à 2010) et construite à l'aide du logiciel TOMAWAC (EDF – LNHE). Cette base est le fruit d'une collaboration entre le Cerema et EDF R&D-LNHE.

Les résultats présentés ici sont donc à considérer avec prudence car reposant sur une analyse de données de simulation numériques

8.3.2 Généralités

Localisation

Les états de mer sont étudiés pour six points de simulation dont la localisation est présentée figure 1.

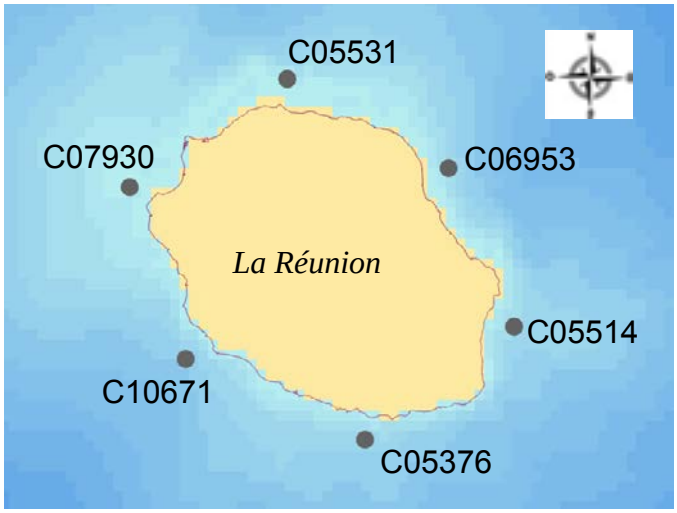


Figure 1 : Localisation des points de simulation numérique.

Paramètres d'états de mer

Les paramètres d'état de mer étudiés sont la hauteur significative spectrale H_{m0}, la direction moyenne de provenance Dir_{moy} et la période moyenne spectrale T_{02}.

La cambrure significative S_z est calculée par la formule suivante : $$S_z = \frac{2\pi H_{m0}}{g T_{02}^2}$$.

Pour référence, pour un vent fort local (>20 m/s) soufflant sur un fech important (>100 km), la cambrure significative est généralement comprise entre 1/16 et 1/20[1]. La cambrure associée aux houles océaniques est bien plus faible.

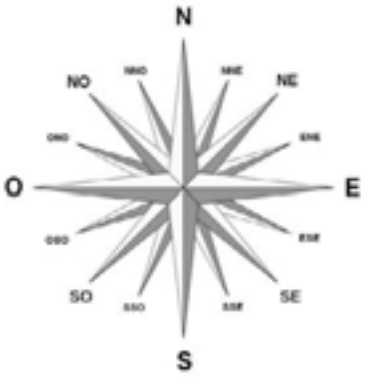
Dates de tempêtes et cyclones tropicaux

Dans cette analyse il est fait un parallèle entre les pics de tempête simulés et les dates de tempêtes et cyclones tropicaux. La base de données utilisées pour les dates est celle de CycloneXtrème (http://www.cyclonextreme.com). Elle ne contient pas d'information sur les cyclones survenus avant 1984.

Il est important de noter que les tempêtes et cyclones tropicaux référencés concernent le sud-ouest de l'Océan Indien et non exclusivement l'île de La Réunion. Certains événements sont donc passés très au large de l'île et l'occurrence avec un pic de tempête simulé (d'une hauteur généralement peu élevée dans ce cas) peut être fortuite.

Convention

Les directions sont repérées par une rose de vents à 16 directions (voir figure 2) ou par un angle de 0° à 360° (0° au nord, rotation dans le sens d'une aiguille d'une montre).



N :	348,75° à 11,25°	-	S :	168,75° à 191,25°
NNE :	11,25° à 33,75°	-	SSO :	191,25° à 213,75°
NE :	33,75° à 56,25°	-	SO :	213,75° à 236,25°
ENE :	56,25° à 78,75°	-	OSO :	236,25° à 258,75°
E :	78,75° à 101,25°	-	O :	258,75° à 281,25°
ESE :	101,25° à 123,75°	-	ONO :	281,25° à 303,75°
SE :	123,75° à 136,25°	-	NO :	303,75° à 326,25°
SSE :	136,25° à 168,75°	-	NNO :	326,25° à 348,75°

Figure 2 : Repérage des directions de provenance des vagues.

Analyse des valeurs extrêmes

L'analyse des valeurs extrêmes repose sur la théorie des valeurs extrêmes.

La méthode d'échantillonnage utilisée est la POT (Peak Over Threshold). Les distributions paramétriques sont ajustées aux pics de hauteur significative par la méthode du maximum de vraisemblance. Deux distributions sont utilisées, la GPD (Genaralized Pareto Distribution) et la loi Exp. (exponentielle). Les calculs sont effectués à l'aide du package « POT » du logiciel R (https://cran.r-project.org).

1 Tucker M.J. and Pitt E.G. (2001). Wave in ocean engineering. Edition Elsevier.

8.3.3 Point Réunion_C05531

Localisation

Le point Réunion_C05531 est localisé au nord de l'île par une profondeur de 1277 mètres (voir figure 3).

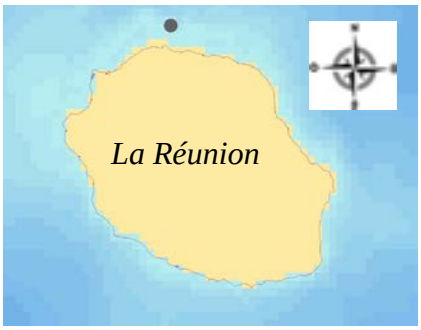


Figure 3 : Localisation du point.

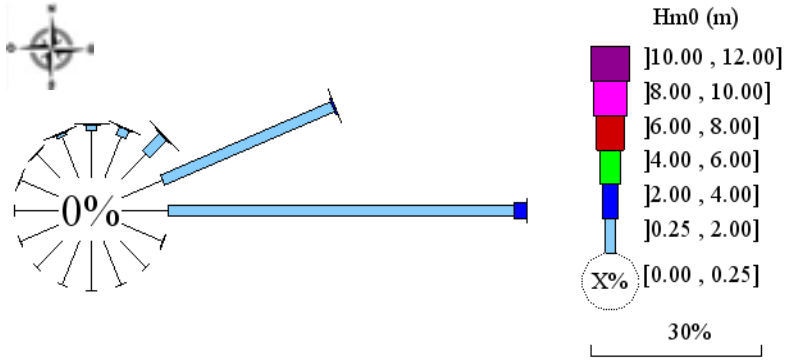


Figure 4 : Rose des houles.

Rose de houles

La rose des houles (voir figure 4) montrent que la direction de provenance privilégiée des vagues (plus 90 % des horodates simulées) est de secteur ENE à E. Les plus forte hauteur de vagues sont observées avec une provenance légèrement plus nord (NO).

Pics de tempêtes

L'analyse des directions des pics de tempête (voir figure 5), montre que leur provenance est répartie sur un secteur plus large (NO à E) que le secteur privilégié identifié sur la rose des houles (pour mémoire : ENE à E).

La comparaison entre les dates de pics de tempête observés et les dates de tempêtes et cyclones tropicaux référencées, montre une bonne corrélation.

Sur les 31 plus forts pics de tempête modélisés (valeur atteinte en moyenne une fois par an), la hauteur significative s'étend de 3,39 à 11,89 mètres pour une cambrure moyenne de l'ordre 1/23 (entre 1/16 et 1/50, voire entre 1/14 et 1/53 si on prend en compte tous les états de mer et pas seulement les pics, voir figures 5 et 6 et tableau 1).

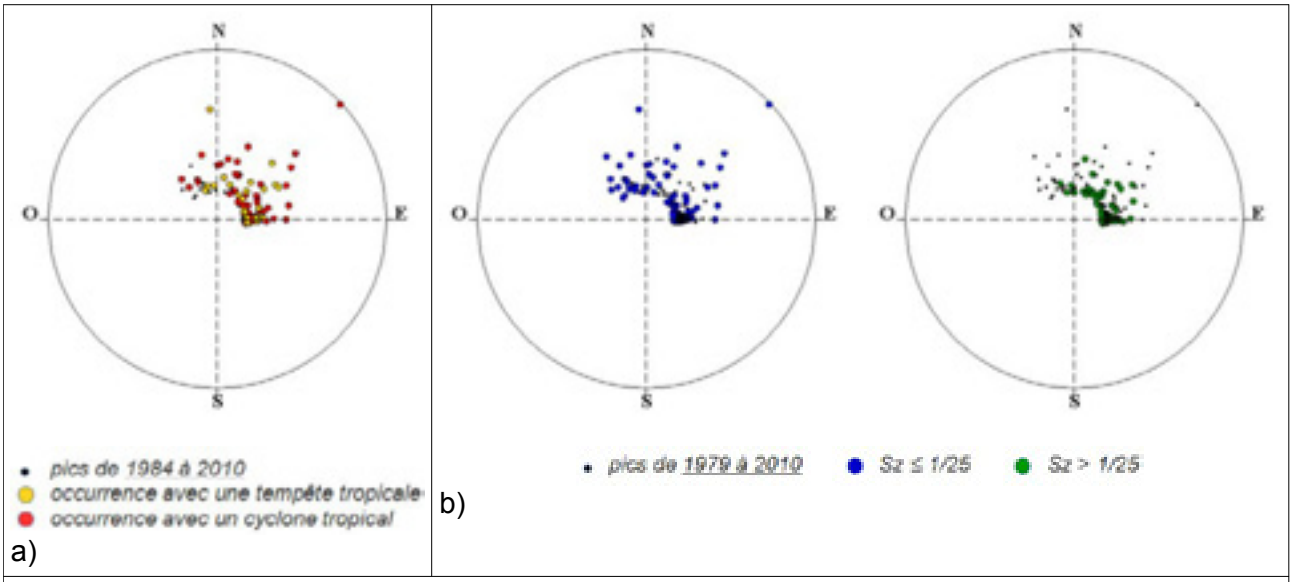


Figure 5 : Analyse des pics de tempêtes (H_{m0} > Q95%) par direction de provenance, en fonction des dates (a) et de la cambrure moyenne au pic (b).

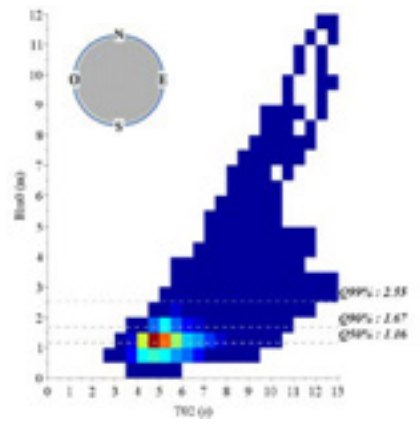


Figure 6 : Corrélogramme hauteur significative / période moyenne (H_{m0}/T_{02}).

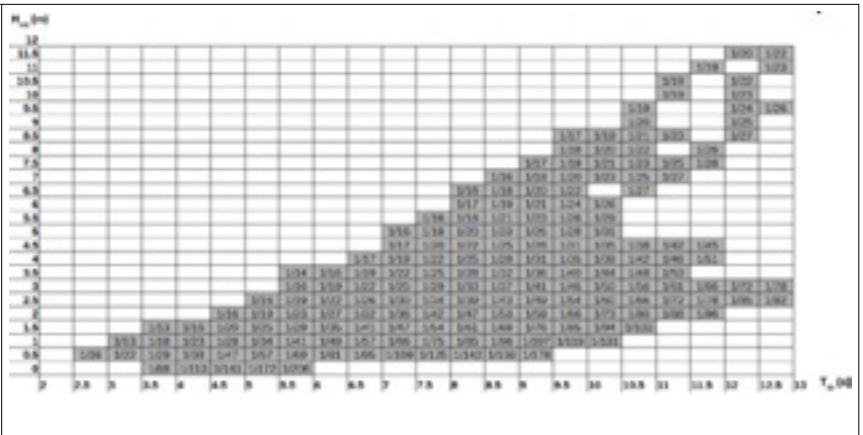


Tableau 1 : Cambrure moyenne des vagues (S_z) fonction de la hauteur significative (H_{m0}) et de la période moyenne (T_{02}).

Ajustement statistique des valeurs extrêmes

Les résultats de l'analyse statistique des valeurs extrêmes sont présentés figure 7.

La comparaison des figures 5 et 7 semble montrer que l'analyse statistique présentée ici porte sur les états de mer associés aux tempêtes et cyclones tropicaux.

Paramètres des lois d'ajustement

GPD : $Pr(H_{m0} > h | h > u) = \left(1 + \xi \frac{h-u}{\sigma}\right)^{-1/\xi}$

avec u = 3.10 m pour 1.45 évts/an

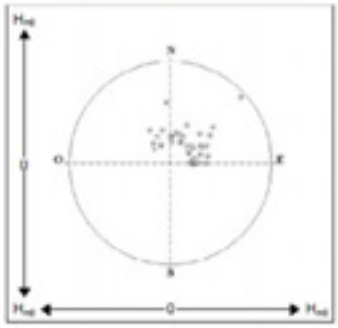
σ = 1.0188 et ξ = 0.2060

Loi Exp. : $Pr(H_{m0} > h | h > u) = \exp[-\rho(h-u)]$

avec u = 3.30 m pour 1.13 évts/an

et ρ = 0.7034

Dir_{moy} au pic de tempête



Niveaux de retour

Période de retour	H_{m0} (mètre)		Int. de Conf. 70% (mètre)		Int. de Conf. 95% (mètre)	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	5.59	5.76	de 5.11 à 6.01	de 5.32 à 6.22	de 4.80 à 6.52	de 5.01 à 6.64
10 ans	6.74	6.75	de 5.90 à 7.40	de 6.13 à 7.38	de 5.40 à 8.20	de 5.70 à 7.97
20 ans	8.05	7.73	de 6.66 à 9.25	de 6.94 à 8.55	de 5.86 à 10.63	de 6.39 à 9.31
50 ans	10.11	9.03	de 7.59 à 12.38	de 8.01 à 10.10	de 6.29 à 15.24	de 7.29 à 11.07
100 ans	11.94	10.02	de 8.24 à 15.60	de 8.82 à 11.26	de 6.67 à 20.36	de 7.98 à 12.41

Ajustement statistique :

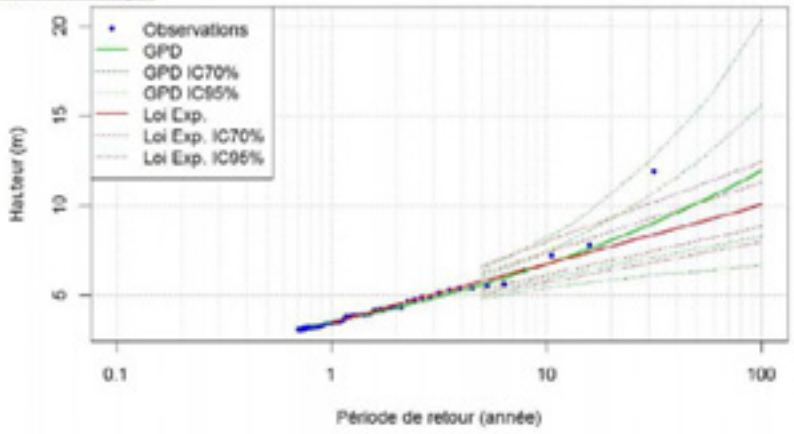


Figure 7 : Résultat d'ajustement statistique des valeurs extrêmes pour les états de mer de direction de provenance de 0° à 360°.

8.3.4 Point Réunion_C06953

Localisation

Le point Réunion_C06953 est localisé au NE de l'île par une profondeur de 1012 mètres (voir figure 8).

Figure 8 : Localisation du point.

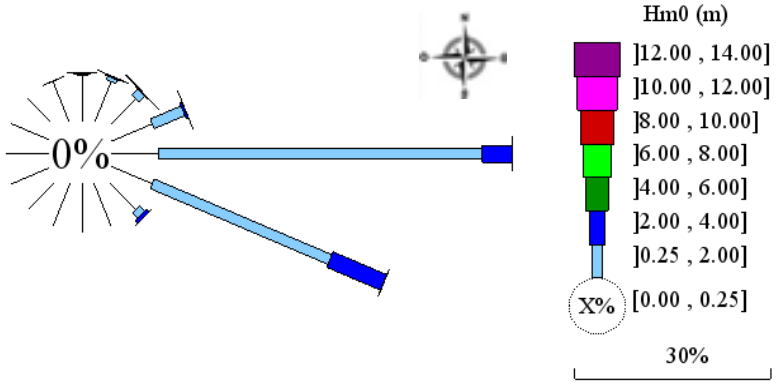


Figure 9 : Rose des houles.

Rose de houles

La rose des houles (voir figure 9) montrent que la direction de provenance privilégiée des vagues (plus 90 % des horodates simulées) est de secteur E à ESE. Les plus fortes hauteurs de vagues sont observées avec une provenance légèrement plus nord (NE).

Pics de tempêtes

L'analyse des directions des pics de tempête (voir figure 10), permet d'identifier deux secteurs de provenance distincts : un secteur plutôt NE (350° à 90°) et un secteur plutôt ESE (90° à 170°).

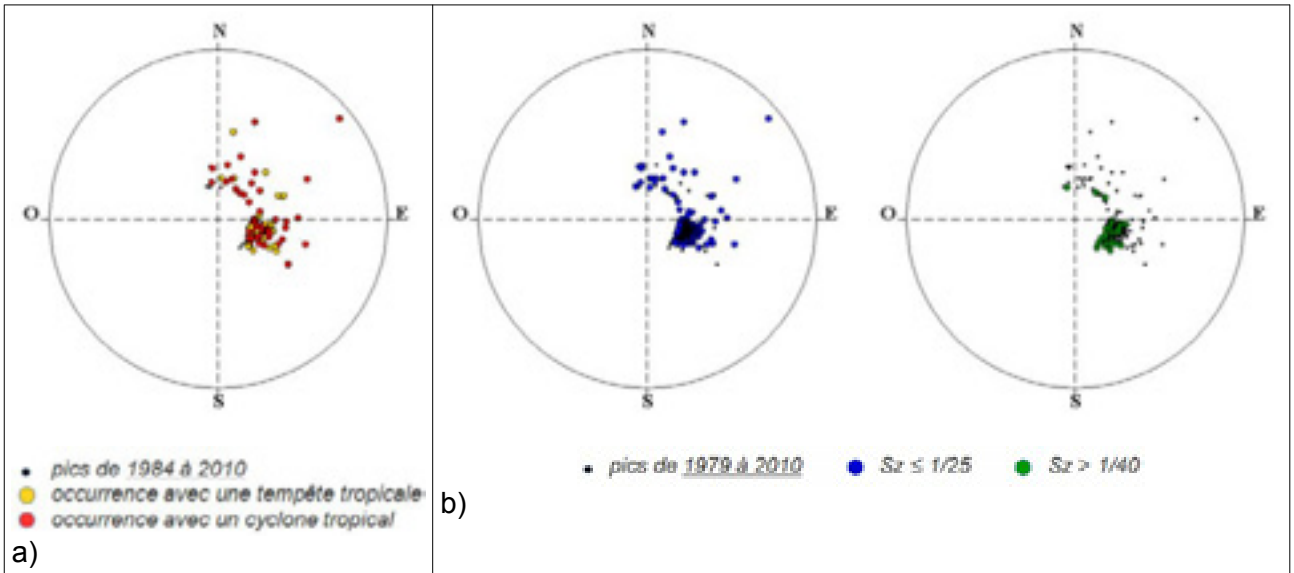


Figure 10 : Analyse des pics de tempêtes (H_{m0} > Q95%) par direction de provenance, en fonction des dates (a) et de la cambrure moyenne au pic (b).

La comparaison entre les dates de pics de tempête observés et les dates de tempêtes et cyclones

tropicaux référencées montre une bonne corrélation sur l'ensemble des pics.

Sur les 31 plus forts pics de tempête modélisés (hauteur significative atteinte en moyenne une fois par an) :

- 13 pics correspondent au secteur de provenance NE, la hauteur significative s'étend de 4,21 à 12,09 mètres pour une cambrure moyenne de l'ordre 1/21 (entre 1/16 et 1/34) ;
- contre 18 pics pour le secteur de provenance SE, la hauteur significative s'étend de 4,07 à 6,92 mètres pour une cambrure moyenne de l'ordre 1/24 (entre 1/18 et 1/39).

Les fortes hauteurs observées en provenance du NE semblent pouvoir être reliées aux tempêtes et cyclones tropicaux. Les fortes hauteurs observées en provenance du SE, seraient pour partie liées aux tempêtes et cyclones tropicaux, et pour partie liées à des houles de plus faible cambrure (houles générées par les alizés ?). Les hauteurs de vagues associées aux tempêtes et cyclones tropicaux sont supérieures à celles associées aux houles de plus faible cambrure.

Corrélogramme hauteur significative / période moyenne

L'analyse du corrélogramme représentant la hauteur significative en fonction de la période moyenne (voir figure 11 et tableau 2), permet de caractériser un peu plus les deux régimes distincts :

- le haut de corrélogramme (plus fortes hauteurs significatives, cambrures élevées) est occupé par les états de mer en provenance du NE ;
- la partie basse du corrélogramme s'étalant vers les plus grandes périodes (hauteurs significatives moins élevées, cambrures plus faibles) est occupé par les états de mer en provenance du SE.

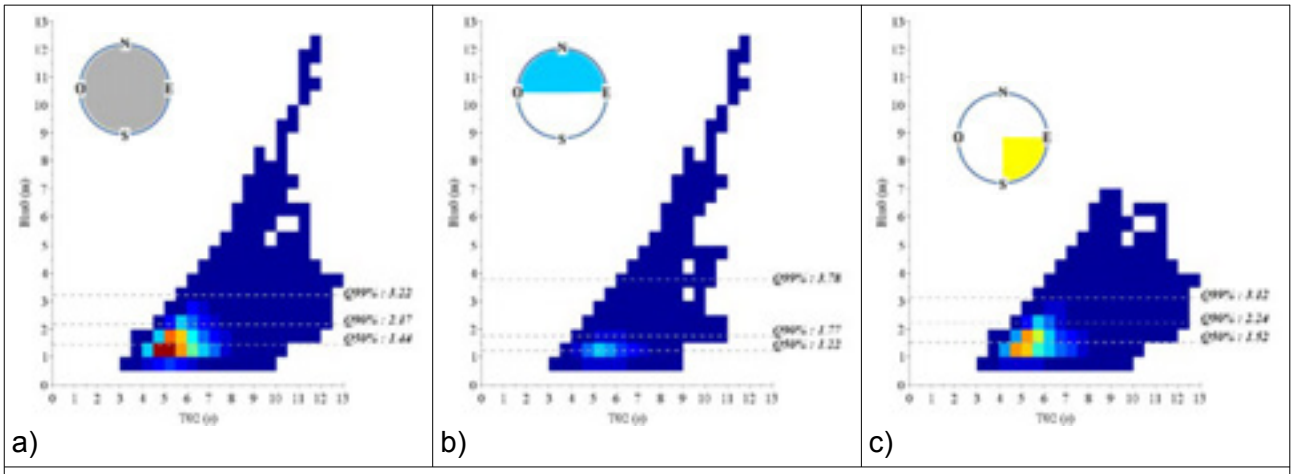


Figure 11 : Corrélogramme hauteur significative / période moyenne (H_{m0}/T_{02}) pour les directions de provenance de 0° à 360° (a), de 270° à 90° (b) et de 90° à 180°(c).

Tableau 2 : Cambrure moyenne des vagues (S_z) fonction de la hauteur significative (H_{m0}) et de la période moyenne (T_{02}) pour les directions de provenance de 270° à 180°.

Ajustement statistique des valeurs extrêmes

Les résultats de l'analyse statistique des valeurs extrêmes sont présentés figure 12.

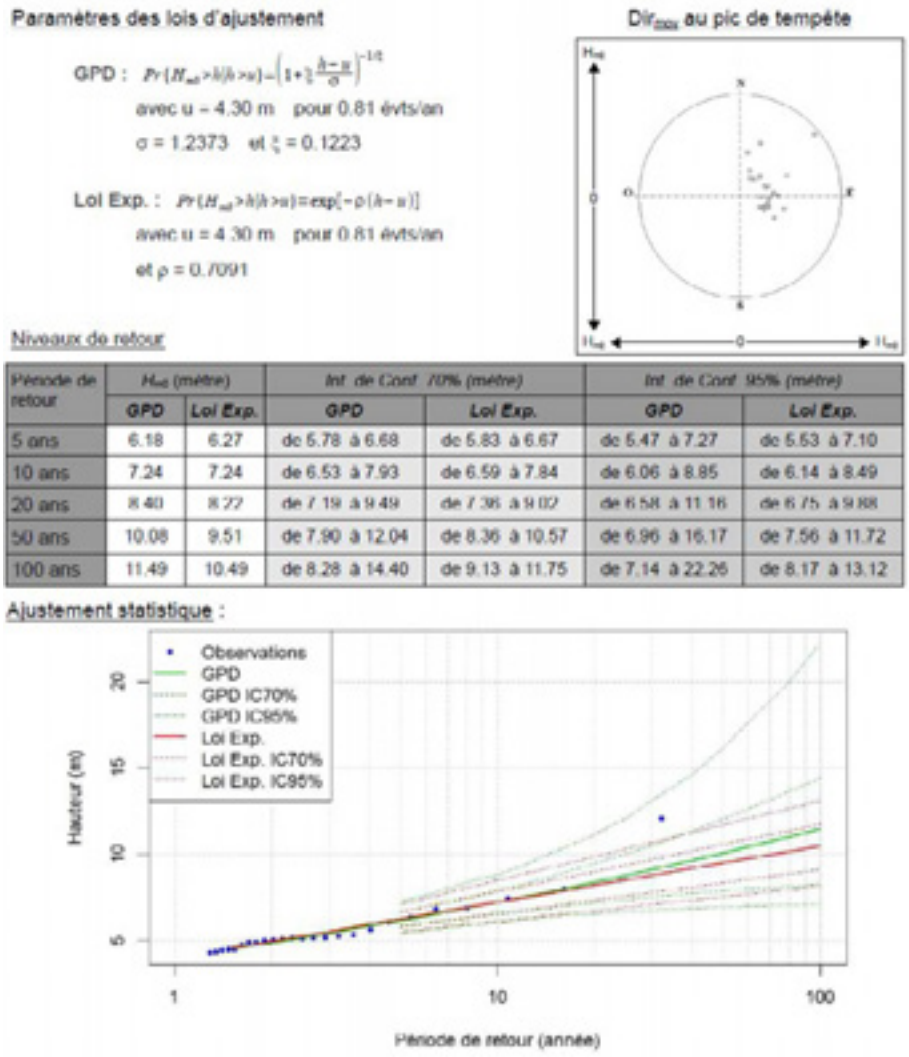


Figure 12 : Résultat d'ajustement statistique des valeurs extrêmes pour les états de mer de direction de provenance de 0° à 360°.

La comparaison des figures 10a et 12 semble montrer que l'analyse statistique des valeurs extrêmes présentées ici porte sur les états de mer associés aux tempêtes et cyclones tropicaux.

8.3.5 Point Réunion_C05514

Localisation

Le point Réunion_C05514 est localisé à l'est de l'île par une profondeur de 1022 mètres (voir figure 13).

Figure 13 : Localisation du point.

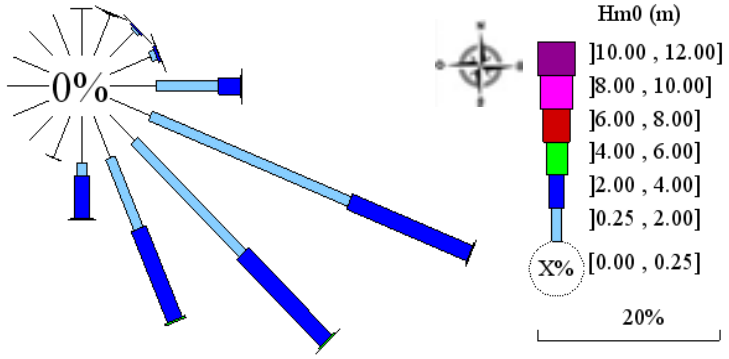


Figure 14 : Rose des houles.

Rose de houles

La rose des houles (voir figure 14) montrent que la direction de provenance privilégiée des vagues (plus 80 % des horodates simulées) est de secteur ESE à SSE. Les plus fortes hauteurs de vagues sont observées avec une provenance plus nord (NE).

Pics de tempêtes

L'analyse des directions des pics de tempête (voir figure 15), permet d'identifier deux secteurs de provenance distincts : un secteur plutôt NE à SE (0° à 170°) et un secteur plutôt E à S (90° à 190°).

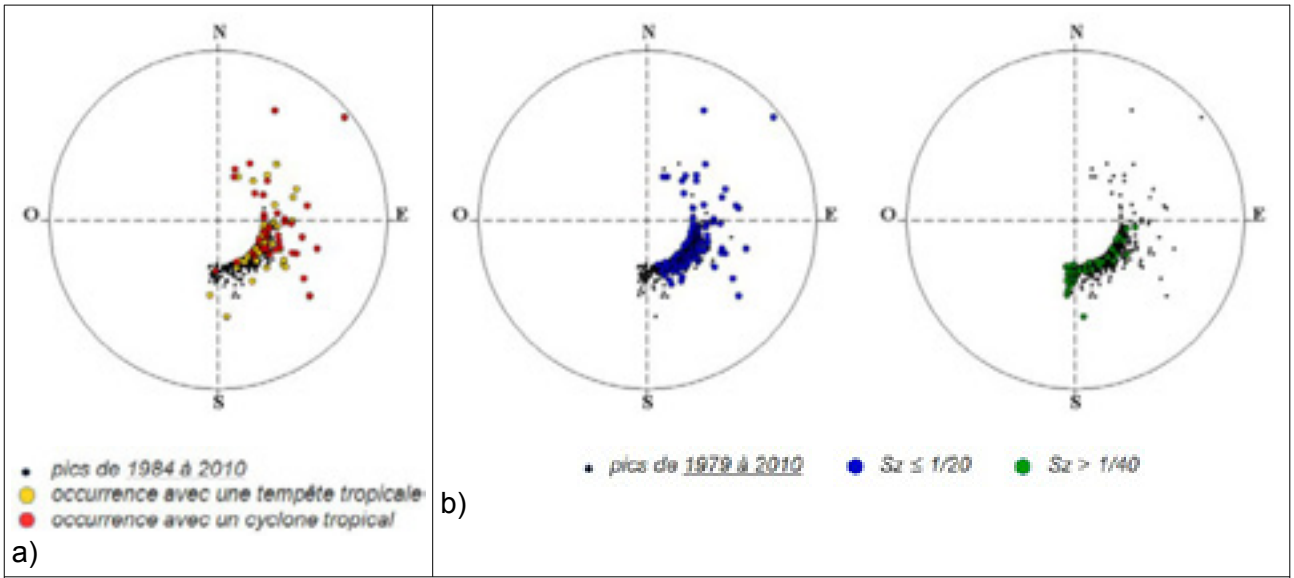


Figure 15 : Analyse des pics de tempêtes (H_{m0} > Q95%) par direction de provenance, en fonction des dates (a) et de la cambrure moyenne au pic (b).

La comparaison entre les dates de pics de tempête observés et les dates de tempêtes et cyclones tropicaux référencées montre :

- une bonne corrélation avec les pics du secteur nord-est à sud-est ;
- une mauvaise corrélation avec les pics en provenance du sud.

Sur les 31 plus forts pics de tempête modélisés (hauteur significative atteinte en moyenne une fois par an), la hauteur significative s'étend de 4,79 à 11,50 mètres pour une cambrure moyenne de l'ordre 1/23 (entre 1/14 et 1/59).

Les fortes hauteurs observées en provenance du NE semblent pouvoir être reliées aux tempêtes et cyclones tropicaux. Les fortes hauteurs observées en provenance du SE seraient pour partie liées aux tempêtes et cyclones tropicaux, et pour partie liées à des houles de plus faible cambrure (houles générées par les alizés ?). Les hauteurs de vagues associées aux tempêtes et cyclones tropicaux sont supérieures à celles associées aux houles de plus faible cambrure.

Corrélogramme hauteur significative / période moyenne

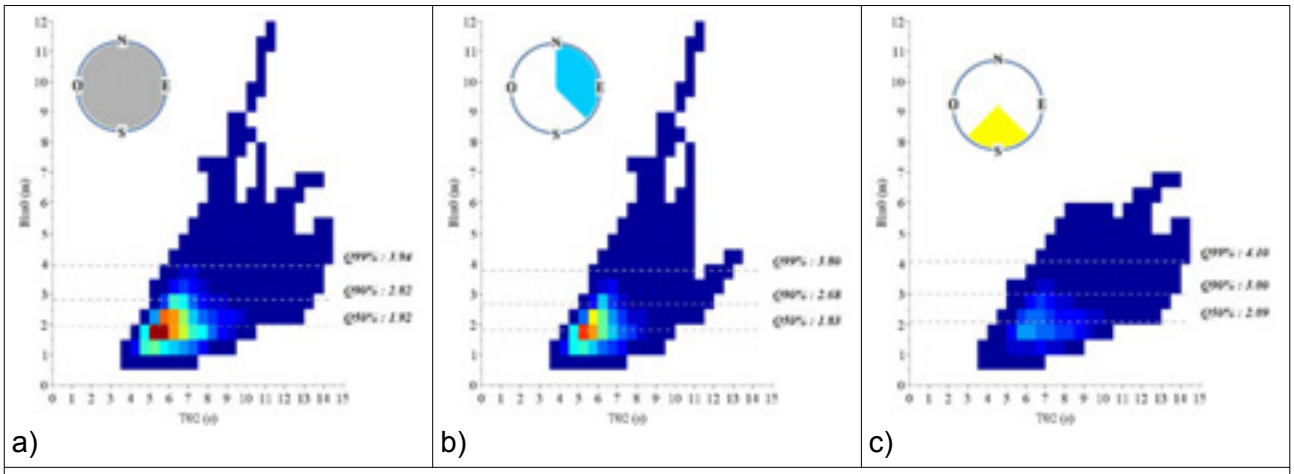


Figure 16 : Corrélogramme hauteur significative / période moyenne (H_{m0}/T_{02}) pour les directions de provenance de 0° à 360° (a), de 0° à 135° (b) et de 135° à 225°(c).

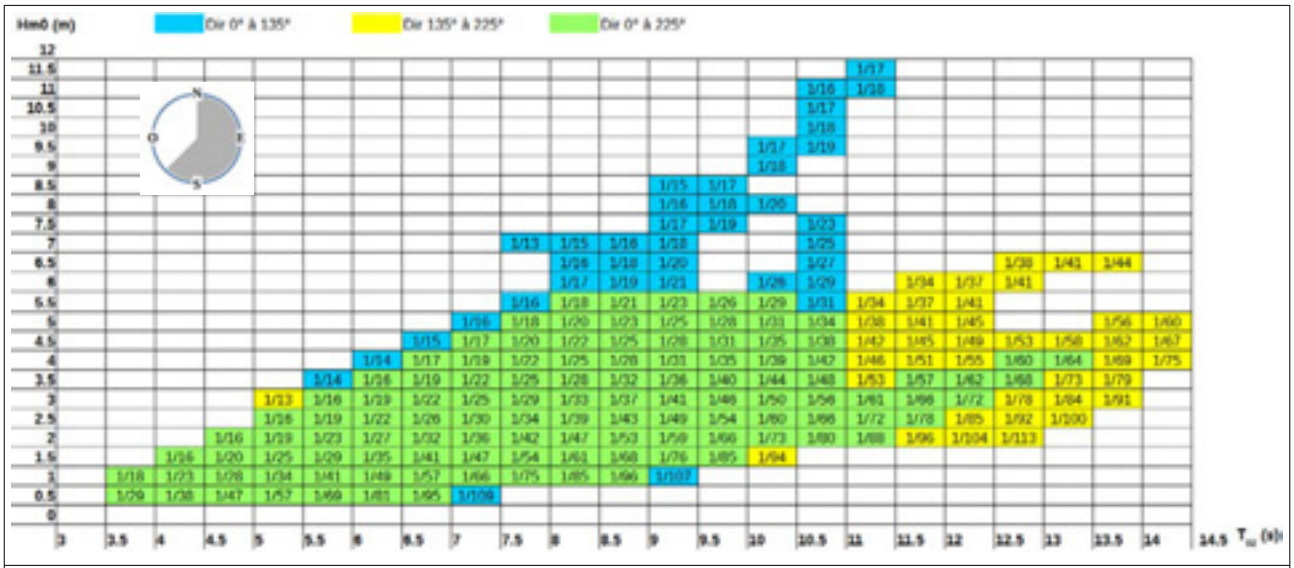


Tableau 3 : Cambrure moyenne des vagues (S_z) fonction de la hauteur significative (H_{m0}) et de la période moyenne (T_{02}) pour les directions de provenance de 0° à 225°.

L'analyse du corrélogramme représentant la hauteur significative en fonction de la période

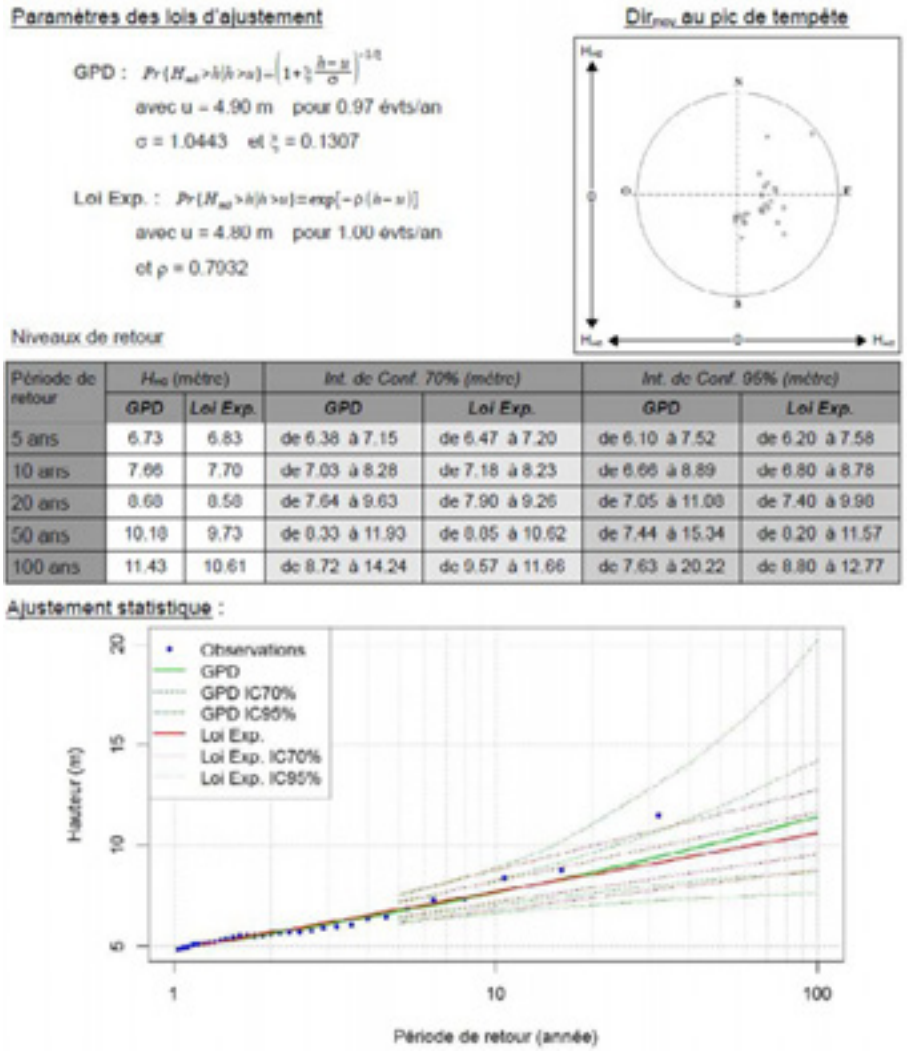
moyenne (voir figure 16 et tableau 3), permet de caractériser un peu plus les deux régimes distincts :

- le haut de corrélogramme (plus fortes hauteurs significatives, cambrures élevées) est occupé par les états de mer de provenance N à SE ;
- la partie basse du corrélogramme s'étalant vers les plus grandes périodes (hauteurs significatives moins élevées, cambrures plus faibles) est occupé par les états de mer de provenance SE à SO.

Ajustement statistique des valeurs extrêmes

Les résultats de l'analyse statistique des valeurs extrêmes sont présentés figure 17.

La comparaison des figures 15a et 17 semble montrer l'analyse statistique des valeurs extrêmes présentées ici porte sur les états de mer associés aux tempêtes et cyclones tropicaux.



Période de retour	H_{s0} (mètre)		Int. de Conf. 70% (mètre)		Int. de Conf. 95% (mètre)	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	6.73	6.83	de 6.38 à 7.15	de 6.47 à 7.20	de 6.10 à 7.52	de 6.20 à 7.58
10 ans	7.66	7.70	de 7.03 à 8.28	de 7.18 à 8.23	de 6.66 à 8.89	de 6.80 à 8.78
20 ans	8.68	8.58	de 7.64 à 9.63	de 7.90 à 9.26	de 7.05 à 11.08	de 7.40 à 9.98
50 ans	10.10	9.73	de 8.33 à 11.93	de 8.85 à 10.62	de 7.44 à 15.34	de 8.20 à 11.57
100 ans	11.43	10.61	de 8.72 à 14.24	de 9.57 à 11.66	de 7.63 à 20.22	de 8.80 à 12.77

Figure 17 : Résultat d'ajustement statistique des valeurs extrêmes pour les états de mer de direction de provenance de 0° à 360°.

8.3.6 Point Réunion_C05376

Localisation

Le point Réunion_C05376 est localisé au sud de l'île par une profondeur de 854 mètres (voir figure 18).

Figure 18 : Localisation du point

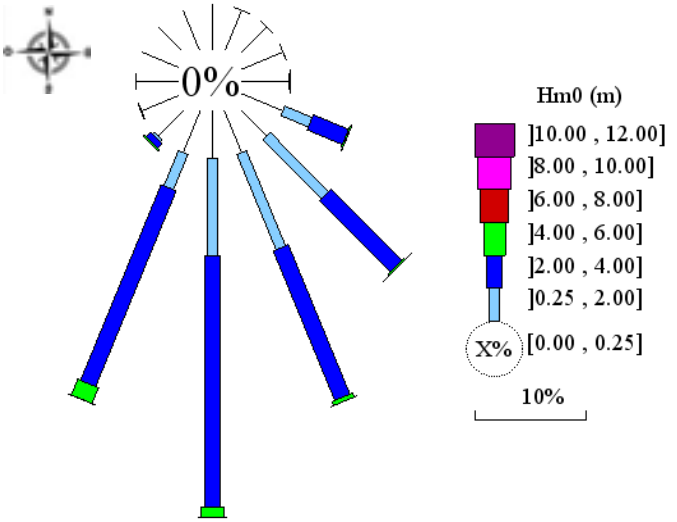


Figure 19 : Rose des houles.

Rose de houles

La rose des houles (voir figure 19) montrent que la direction de provenance privilégiée des vagues (plus 90 % des horodates simulées) est de secteur SE à SSO. Les plus fortes hauteurs de vagues sont observées en provenance du SE.

Pics de tempêtes

L'analyse des directions des pics de tempête (voir figure 20), permet d'identifier deux secteurs de provenance distincts : un secteur plutôt SE (90° à 180°) et un secteur plutôt SO (180° à 225°).

La comparaison entre les dates de pics de tempête observés et les dates de tempêtes et cyclones tropicaux référencées montre :

- une bonne corrélation avec les pics de secteur SE ;
- une moins bonne corrélation avec les pics de secteur SO.

Sur les 31 plus forts pics de tempête modélisés (hauteur significative atteinte en moyenne une fois par an) :

- 15 pics correspondent au secteur de provenance SE, la hauteur significative s'étend de 5,43 à 10,49 mètres pour une cambrure moyenne de l'ordre 1/20 (entre 1/15 et 1/30) ;
- contre 16 pics pour le secteur de provenance SO, la hauteur significative s'étend de 5,34 à 7,17 mètres pour une cambrure moyenne de l'ordre 1/40 (entre 1/22 et 1/60).

Les fortes hauteurs observées en provenance du SE semblent pouvoir être reliées aux tempêtes et cyclones tropicaux. Les fortes hauteurs observées en provenance du SO, seraient pour partie liées aux tempêtes et cyclones tropicaux, et pour partie liées à des houles de plus faible cambrure (houles australes ?). Les hauteurs de vagues associées aux tempêtes et cyclones tropicaux semblent un peu supérieures à celles associées aux houles de plus faible cambrure.

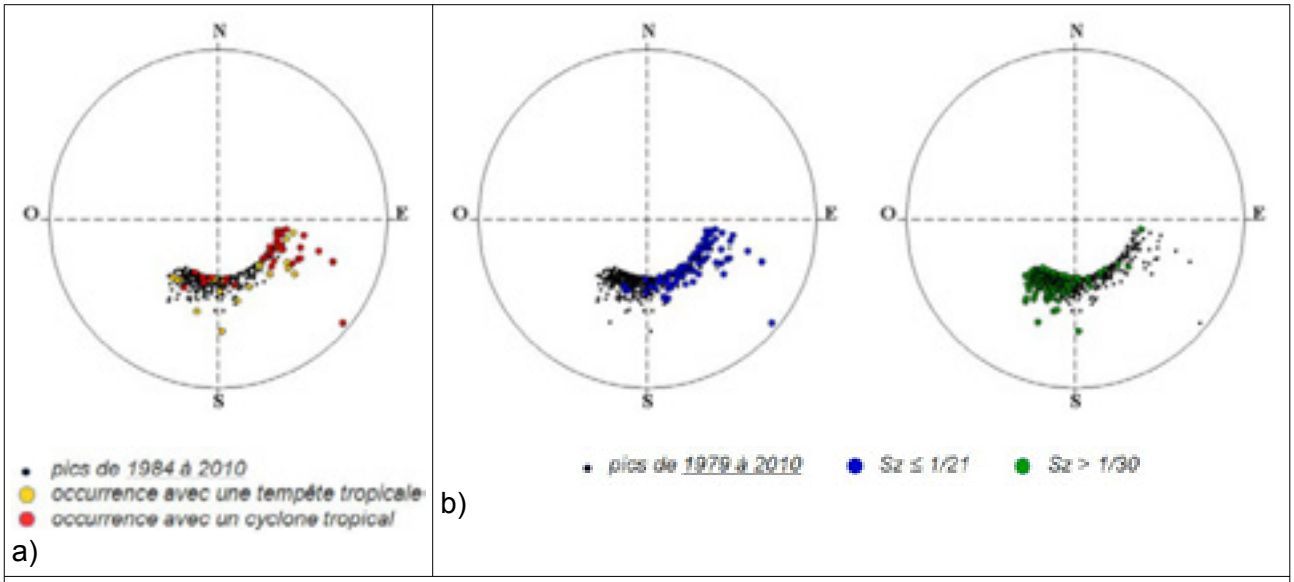


Figure 20 : Analyse des pics de tempêtes (H_{m0} > Q95%) par direction de provenance, en fonction des dates (a) et de la cambrure moyenne au pic (b).

Corrélogramme hauteur significative / période moyenne

L'analyse du corrélogramme représentant la hauteur significative en fonction de la période moyenne (voir figure 21 et tableau 4), permet de caractériser un peu plus les deux régimes distincts :

- le haut de corrélogramme (plus fortes hauteurs significatives, cambrures élevées) est occupé par les états de mer de provenance N à SE ;
- la partie basse du corrélogramme s'étalant vers les plus grandes périodes (hauteurs significatives moins élevées, cambrures plus faibles) est occupé par les états de mer de provenance SO.

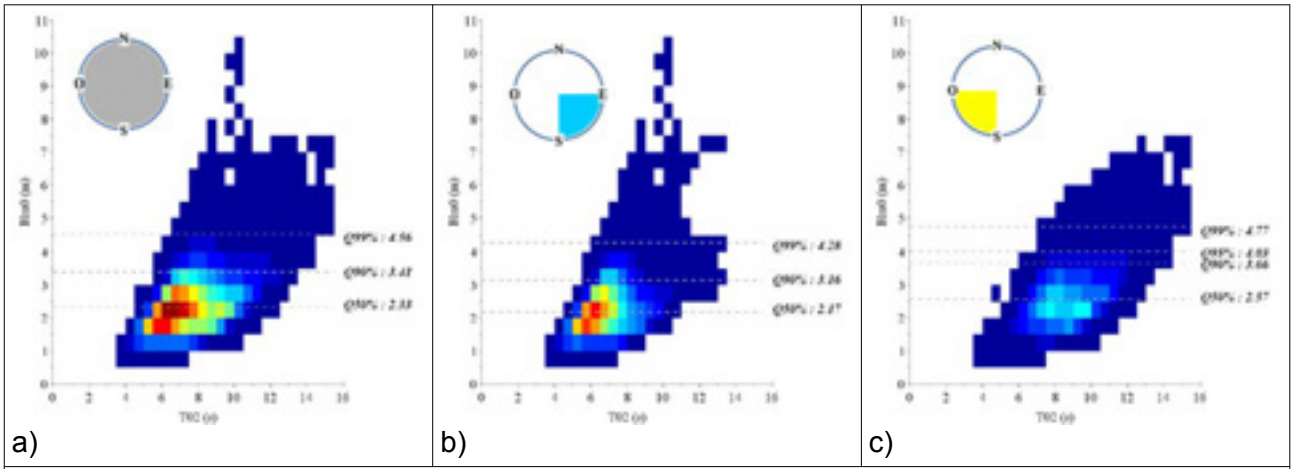


Figure 21 : Corrélogramme hauteur significative / période moyenne (H_{m0}/T_{02}) pour les directions de provenance de 0° à 360° (a), de 90° à 180° (b) et de 180° à 270°(c).

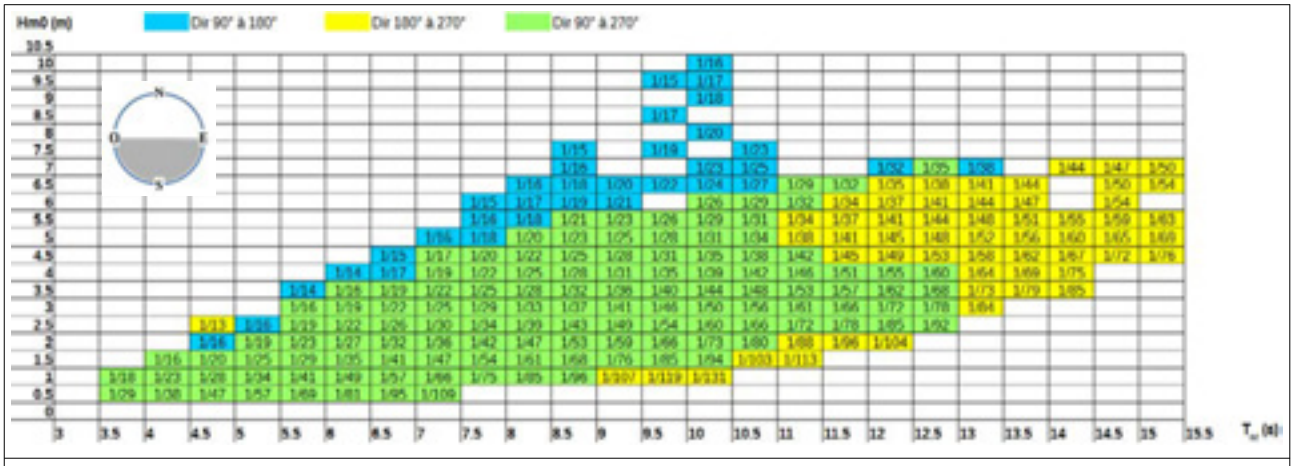


Tableau 4 : Cambrure moyenne des vagues (S_z) fonction de la hauteur significative (H_{m0}) et de la période moyenne (T_{02}) pour les directions de provenance de 90° à 270°.

Ajustement statistique des valeurs extrêmes

Les résultats de l'analyse statistique des valeurs extrêmes sont présentés figure 22 et 23.

Paramètres des lois d'ajustement

GPD : $Pr(H_{s0}>h|h>u)=\left(1+\xi\frac{h-u}{\sigma}\right)^{-1/\xi}$

avec u = 5.00 m pour 0.81 évts/an

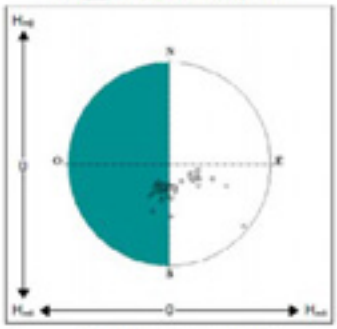
σ = 0.7352 et ξ = 0.1996

Loi Exp. : $Pr(H_{s0}>h|h>u)=\exp[-\rho(h-u)]$

avec u = 5.10 m pour 0.74 évts/an

et ρ = 1.1176

Dir_{max} au pic de tempête



Niveaux de retour

Période de retour	H_{s0} (mètre)		Int. de Conf. 70% (mètre)		Int. de Conf. 95% (mètre)	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	6.18	6.27	de 5.92 à 6.51	de 6.02 à 6.53	de 5.72 à 6.85	de 5.86 à 6.86
10 ans	6.90	6.89	de 6.41 à 7.35	de 6.51 à 7.28	de 6.13 à 7.96	de 6.26 à 7.80
20 ans	7.73	7.51	de 6.86 à 8.47	de 7.00 à 8.04	de 6.43 à 9.59	de 6.67 à 8.73
50 ans	8.02	8.33	de 7.38 à 10.44	de 7.65 à 9.03	de 6.68 à 13.10	de 7.20 à 9.96
100 ans	10.16	8.95	de 7.69 à 12.44	de 8.13 à 9.79	de 6.81 à 17.52	de 7.60 à 10.90

Ajustement statistique :

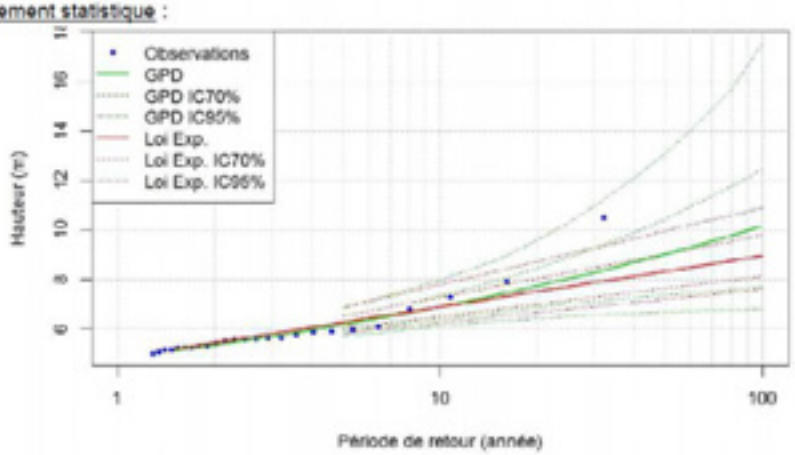
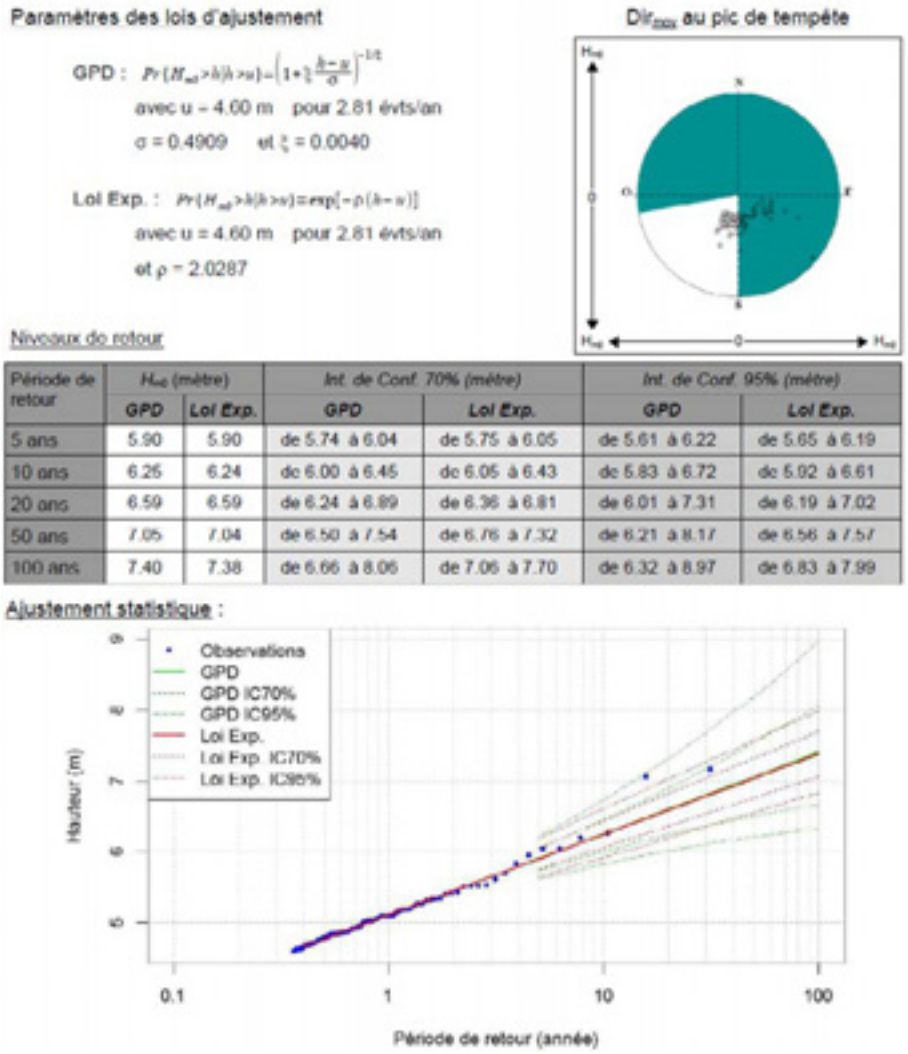


Figure 22 : Résultat d'ajustement statistique des valeurs extrêmes pour les états de mer de direction de provenance de 0° à 180°.



Période de retour	H_{s0} (mètre)		Int. de Conf. 70% (mètre)		Int. de Conf. 95% (mètre)	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	5.90	5.90	de 5.74 à 6.04	de 5.75 à 6.05	de 5.61 à 6.22	de 5.65 à 6.19
10 ans	6.25	6.24	de 6.00 à 6.45	de 6.05 à 6.43	de 5.83 à 6.72	de 5.92 à 6.61
20 ans	6.59	6.59	de 6.24 à 6.89	de 6.36 à 6.81	de 6.01 à 7.31	de 6.19 à 7.02
50 ans	7.05	7.04	de 6.50 à 7.54	de 6.76 à 7.32	de 6.21 à 8.17	de 6.56 à 7.57
100 ans	7.40	7.38	de 6.66 à 8.06	de 7.06 à 7.70	de 6.32 à 8.97	de 6.83 à 7.99

Figure 23 : Résultat d'ajustement statistique des valeurs extrêmes pour les états de mer de direction de provenance de 180° à 260°.

Les figures 22 et 23 montrent que les hauteurs de vagues en provenance du SE sont plus élevées (hauteur centennale de 10,16 mètres selon la GPD) que celles en provenance du SO (hauteur centennale de 7,40 mètres selon la GPD).

La comparaison avec la figure 20 indiquerait que les analyses statistiques des valeurs extrêmes présentées ici portent :

- pour le secteur de provenance SE, sur les états de mer associés aux tempêtes et cyclones tropicaux ;
- pour le secteur de provenance du SO, plutôt sur des houles océaniques (houles australes vraisemblablement).

8.3.7 Point Réunion_C10671

Localisation

Le point Réunion_C10671 est localisé au SO de l'île par une profondeur de 1034 mètres (voir figure 24).

Figure 24 : Localisation du point.

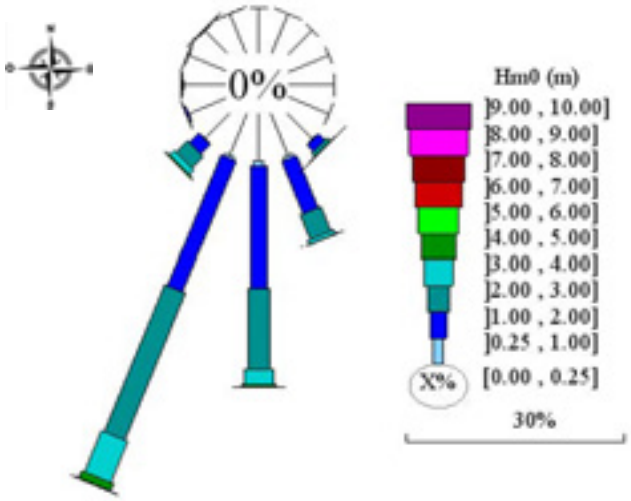


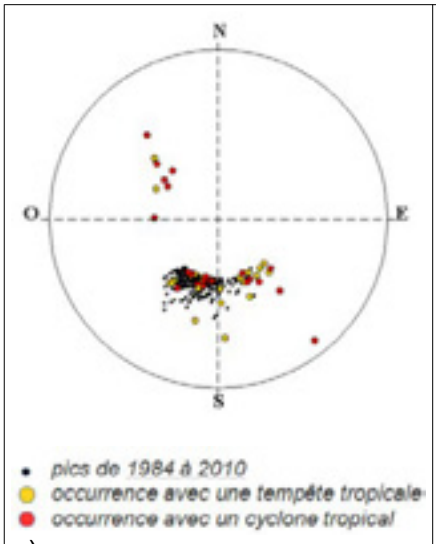
Figure 25 : Rose des houles.

Rose de houles

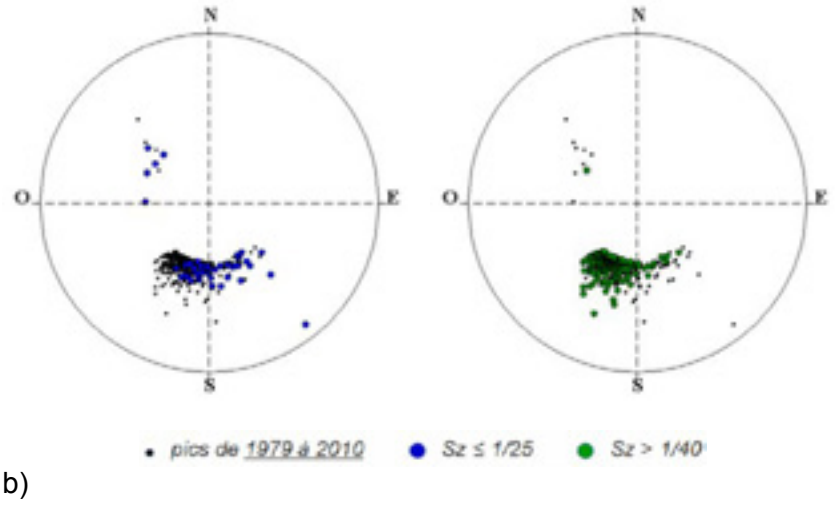
La rose des houles (voir figure 25) montrent que la direction de provenance privilégiée des vagues (plus 90 % des horodates simulées) est de secteur SSE à SSO. Les plus fortes hauteurs de vagues sont observées dans ce secteur, mais aussi en provenance du SE et en provenance du NO.

Pics de tempêtes

L'analyse des directions des pics de tempête (voir figure 26), permet d'identifier trois secteurs de provenance distincts : un secteur plutôt SSE, un secteur plutôt SSO et un secteur plutôt NO.



a)



b)

Figure 26 : Analyse des pics de tempêtes (H_{m0} > Q95%) par direction de provenance, en fonction des dates (a) et de la cambrure moyenne au pic (b).

La comparaison entre les dates de pics de tempête observés et les dates de tempêtes et cyclones tropicaux référencées montre :

- une bonne corrélation avec les pics des secteurs NO et SSE ;
- une moins bonne corrélation avec les pics du secteur SSO.

Sur les 31 plus forts pics de tempête modélisés (hauteur significative atteinte en moyenne une fois par an) :

- 5 pics correspondent au secteur de provenance SSE, la hauteur significative s'étend de 5,05 à 9,15 mètres pour une cambrure moyenne de l'ordre 1/34 (entre 1/17 et 1/49) ;
- contre 24 pics pour le secteur de provenance SO, la hauteur significative s'étend de 5,01 à 7,03 mètres pour une cambrure moyenne de l'ordre 1/47 (entre 1/26 et 1/64) ;
- et 2 pics pour le secteur de provenance NO, respectivement 5,25 et 6,52 mètres de hauteurs significatives et 1/26 et 1/40 de cambrure.

Les fortes hauteurs observées de provenance SSE et NO semblent pouvoir être reliées aux tempêtes et cyclones tropicaux. Les fortes hauteurs observées de provenance SSO, seraient liées des houles de plus faible cambrure (houles australes ?).

Corrélogramme hauteur significative / période moyenne

L'analyse du corrélogramme représentant la hauteur significative en fonction de la période moyenne (voir figure 25 et tableau 6), permet de caractériser un peu plus les deux régimes distincts :

- le haut de corrélogramme (plus fortes hauteurs significatives, cambrures élevées) est occupé par les états de mer en provenance du SSE et du NO ;
- la partie basse du corrélogramme s'étalant vers les plus grandes périodes (hauteurs significatives moins élevées, cambrures plus faibles) est occupé par les états de mer en provenance du SSO.

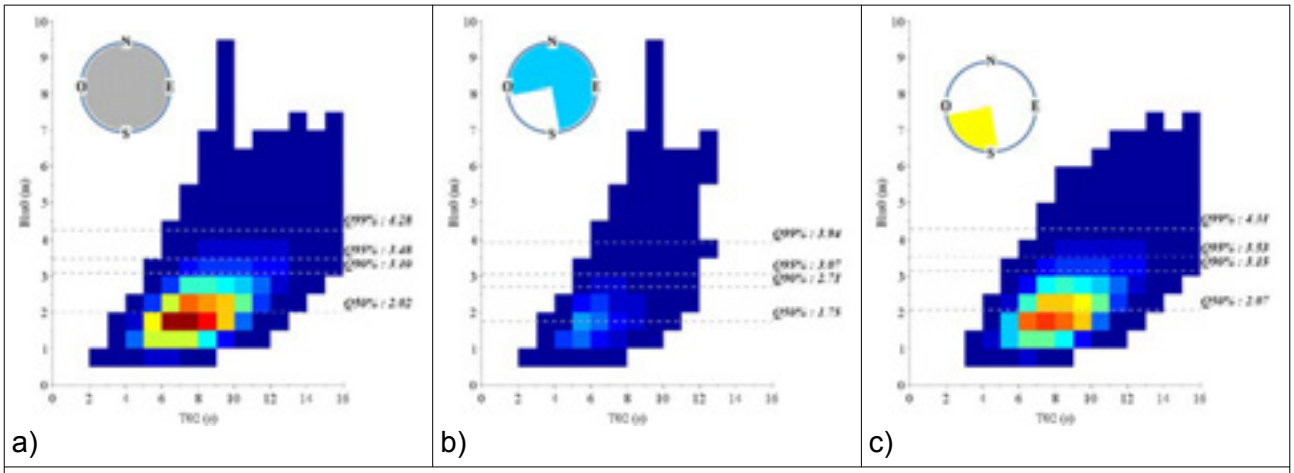
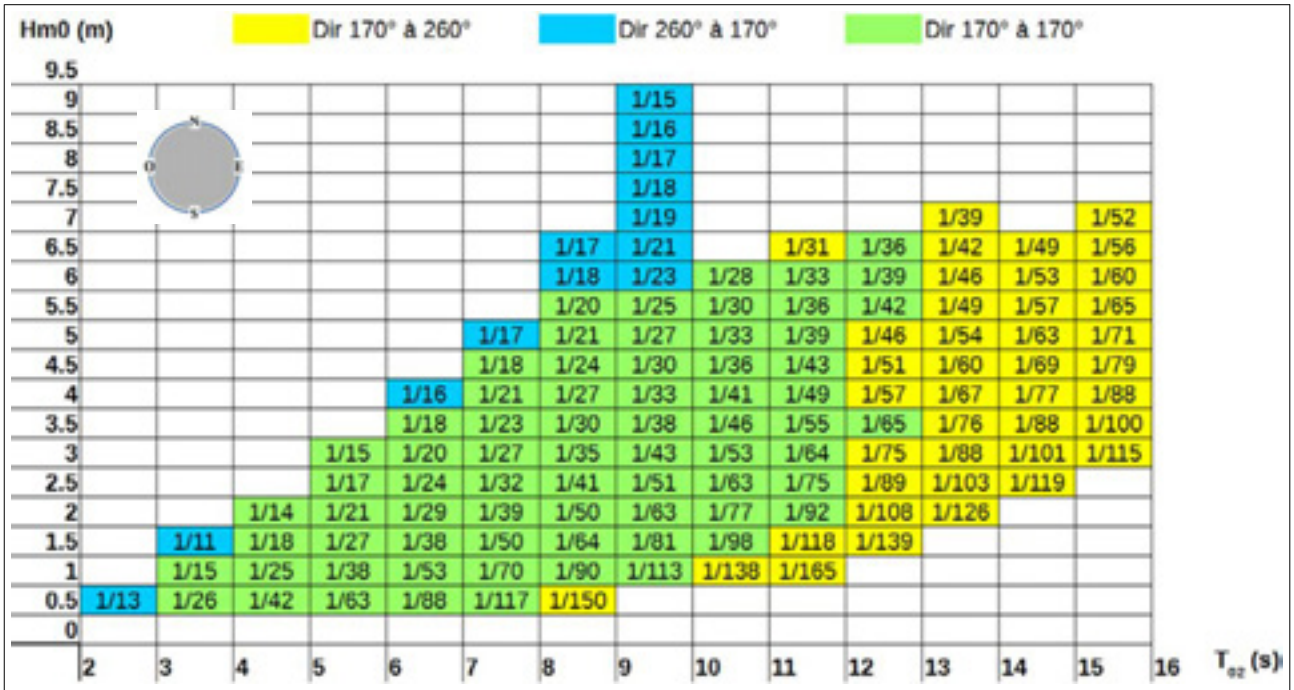


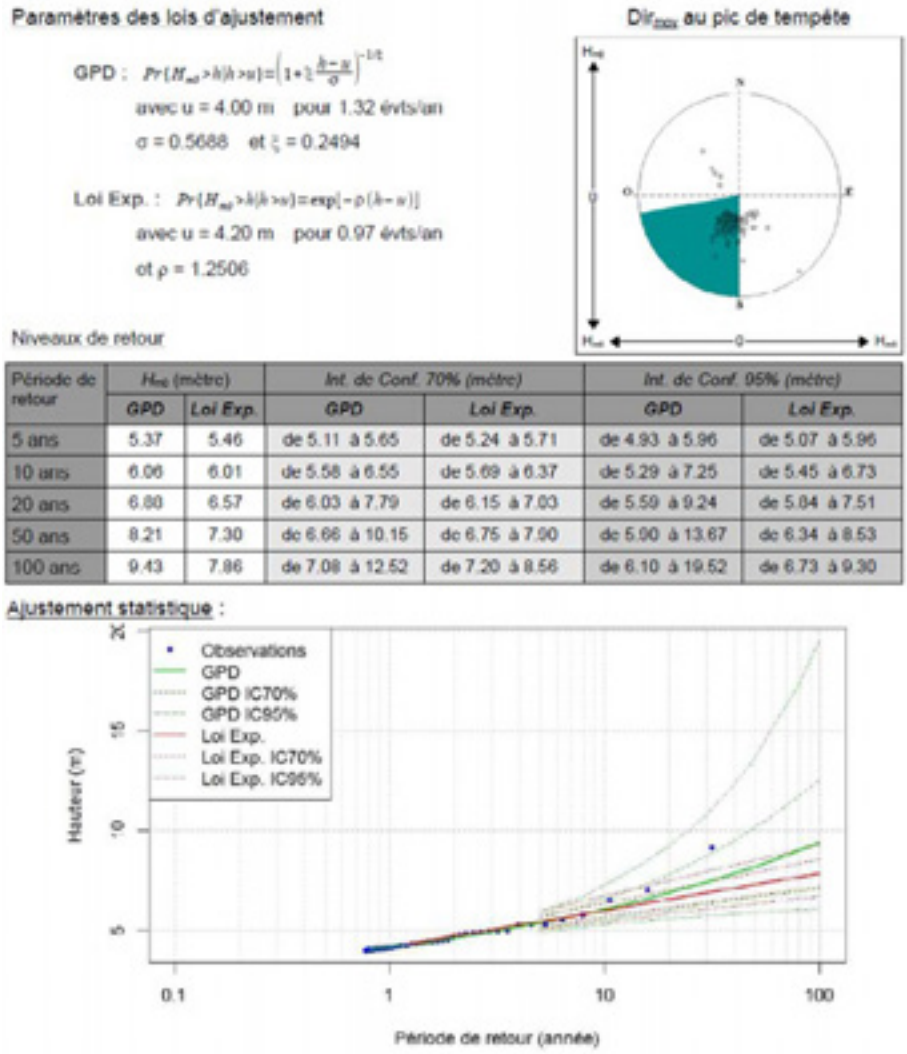
Figure 27 : Corrélogramme hauteur significative / période moyenne (H_{m0}/T_{02}) pour les directions de provenance de 0° à 360° (a), de 260° à 170° (b) et de 170° à 260°(c).



<u>Tableau 5</u> : Cambrure moyenne des vagues (S_z) fonction de la hauteur significative (H_{m0}) et de la période moyenne (T_{02}) pour les directions de provenance de 0° à 360°.

Ajustement statistique des valeurs extrêmes

Les résultats de l'analyse statistique des valeurs extrêmes sont présentés figure 28 et 29.



Période de retour	H_{m0} (mètre)		Int. de Conf. 70% (mètre)		Int. de Conf. 95% (mètre)	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	5.37	5.46	de 5.11 à 5.65	de 5.24 à 5.71	de 4.93 à 5.96	de 5.07 à 5.96
10 ans	6.06	6.01	de 5.58 à 6.55	de 5.69 à 6.37	de 5.29 à 7.25	de 5.45 à 6.73
20 ans	6.80	6.57	de 6.03 à 7.79	de 6.15 à 7.03	de 5.59 à 9.24	de 5.84 à 7.51
50 ans	8.21	7.30	de 6.66 à 10.15	de 6.75 à 7.90	de 5.90 à 13.67	de 6.34 à 8.53
100 ans	9.43	7.86	de 7.08 à 12.52	de 7.20 à 8.56	de 6.10 à 19.52	de 6.73 à 9.30

Figure 28 : Résultat d'ajustement statistique des valeurs extrêmes pour les états de mer de direction de provenance de 260° à 180°.

Paramètres des lois d'ajustement

GPD : $Pr(H_{s0}>h|h>u)=\left(1+\frac{1}{\sigma}\frac{h-u}{\sigma}\right)^{-1/\xi}$

avec u = 4.30 m pour 3.58 évts/an

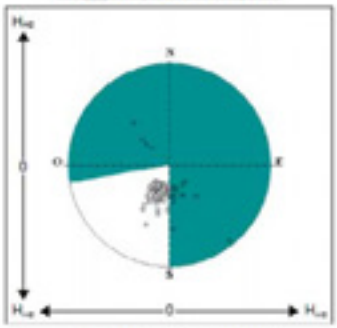
σ = 0.4744 et ξ = 0.0414

Loi Exp. : $Pr(H_{s0}>h|h>u)=\exp[-\rho(h-u)]$

avec u = 4.20 m pour 4.23 évts/an

et ρ = 1.9571

Dir$_{moy}$ au pic de tempête



Niveaux de retour

Période de retour	H_{s0} (mètre)		Int. de Conf. 70% (mètre)		Int. de Conf. 95% (mètre)	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	5.75	5.76	de 5.57 à 5.91	de 5.63 à 5.90	de 5.45 à 6.06	de 5.52 à 6.05
10 ans	6.13	6.11	de 5.85 à 6.34	de 5.96 à 6.29	de 5.68 à 6.63	de 5.81 à 6.47
20 ans	6.52	6.47	de 6.11 à 6.85	de 6.28 à 6.68	de 5.87 à 7.25	de 6.11 à 6.89
50 ans	7.04	6.94	de 6.42 à 7.56	de 6.71 à 7.19	de 6.07 à 8.27	de 6.51 à 7.44
100 ans	7.46	7.29	de 6.63 à 8.15	de 7.04 à 7.58	de 6.19 à 9.25	de 6.81 à 7.86

Ajustement statistique :

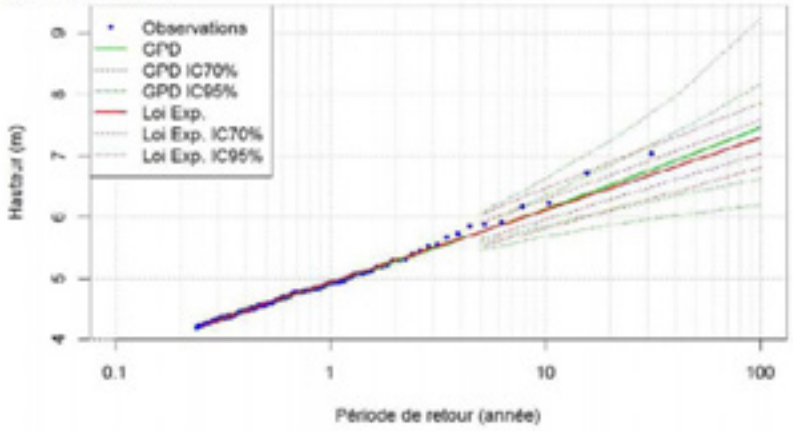


Figure 29 : Résultat d'ajustement statistique des valeurs extrêmes pour les états de mer de direction de provenance de 180° à 260°.

Les figures 28 et 29 montrent que les hauteurs de vagues en provenance du NO et du SE sont plus élevées (hauteur centennale de 9,43 mètres selon la GPD) que celles en provenance du SO (hauteur centennale de 7,46 mètres selon la GPD).

La comparaison avec la figure 26 indiquerait que les analyses statistiques des valeurs extrêmes présentées ici portent :

- pour les secteurs de provenance NO et SE, sur les états de mer associés aux tempêtes et cyclones tropicaux ;
- pour le secteur de provenance SO, plutôt sur des houles océaniques (houles australes vraisemblablement).

8.3.8 Point Réunion_C07930

Localisation

Le point Réunion_C07930 est localisé au NO de l'île par une profondeur de 66 mètres (voir figure 30).

Figure 30 : Localisation du point.

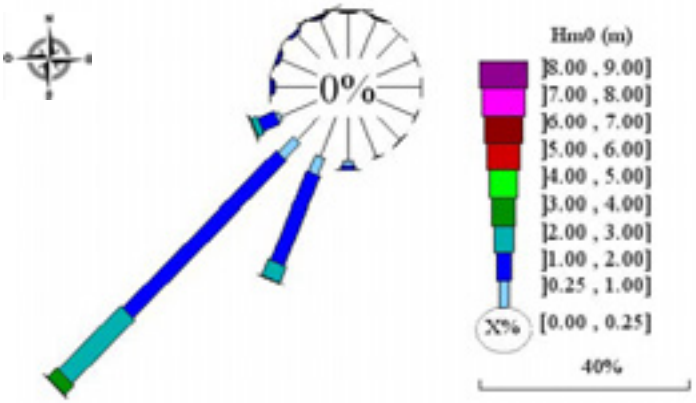


Figure 31 : Rose des houles.

Rose de houles

La rose des houles (voir figure 31) montrent que la direction de provenance privilégiée des vagues (plus de 90 % des horodates simulées) est de secteur SSO à OSO. Par contre les plus fortes hauteurs de vagues sont observées pour une provenance plus nord (NNO à N).

Pics de tempêtes

L'analyse des directions des pics de tempête (voir figure 32), permet d'identifier deux secteurs de provenance distincts : un secteur plutôt NO (260° à 20°) et un secteur plutôt SO (190° à 260°).

La comparaison entre les dates de pics de tempête observés et les dates de tempêtes et cyclones tropicaux référencées montre :

- une bonne corrélation avec les pics du secteur NO ;
- une mauvaise corrélation avec les pics du secteur SO, excepté les pics les plus sud.

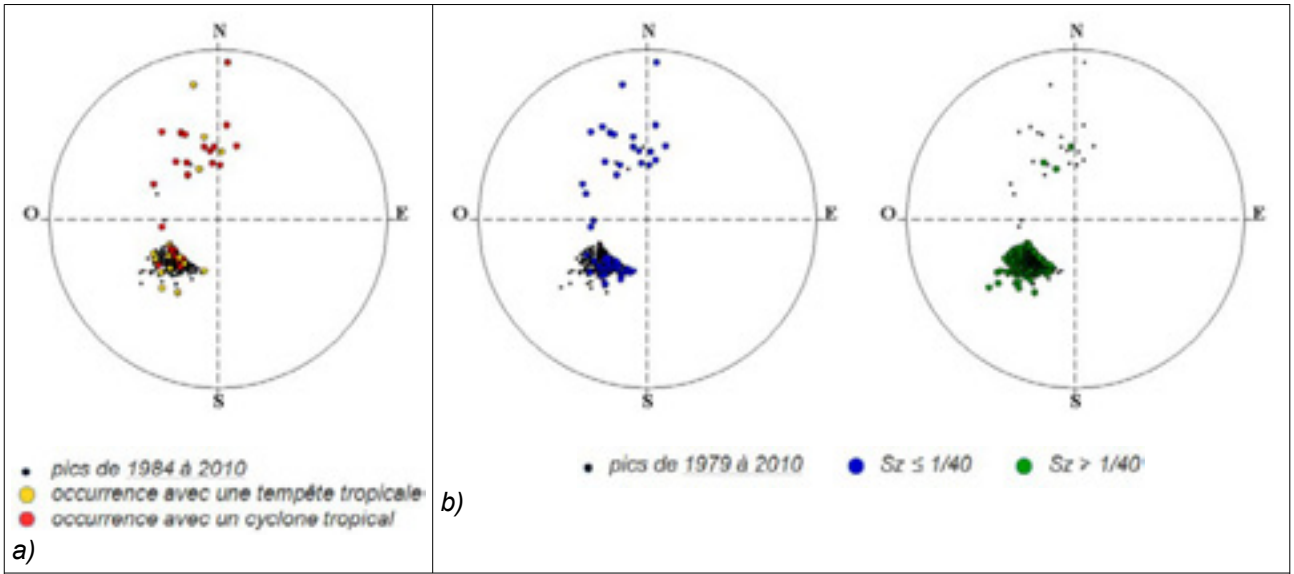


Figure 32 : Analyse des pics de tempêtes (H_{m0} > Q95%) par direction de provenance, en fonction des dates (a) et de la cambrure moyenne au pic (b).

Sur les 31 plus forts pics de tempête modélisés (hauteur significative atteinte en moyenne une fois par an) :

- 8 pics correspondent au secteur de provenance NO, la hauteur significative s'étend de 4,44 à 8,35 mètres pour une cambrure moyenne de l'ordre 1/21 (entre 1/16 et 1/37) ;
- contre 23 pics pour le secteur de provenance SO, la hauteur significative s'étend de 4,15 à 5,87mètres pour une cambrure moyenne de l'ordre 1/64 (entre 1/35 et 1/85).

Les fortes hauteurs observées de provenance NO et SSO semblent pouvoir être reliées aux tempêtes et cyclones tropicaux. Les fortes hauteurs observées de provenance SO seraient liées des houles de plus faible cambrure (houles australes ?). Les plus fortes hauteurs de vagues seraient observées en provenance du NO.

Corrélogramme hauteur significative / période moyenne

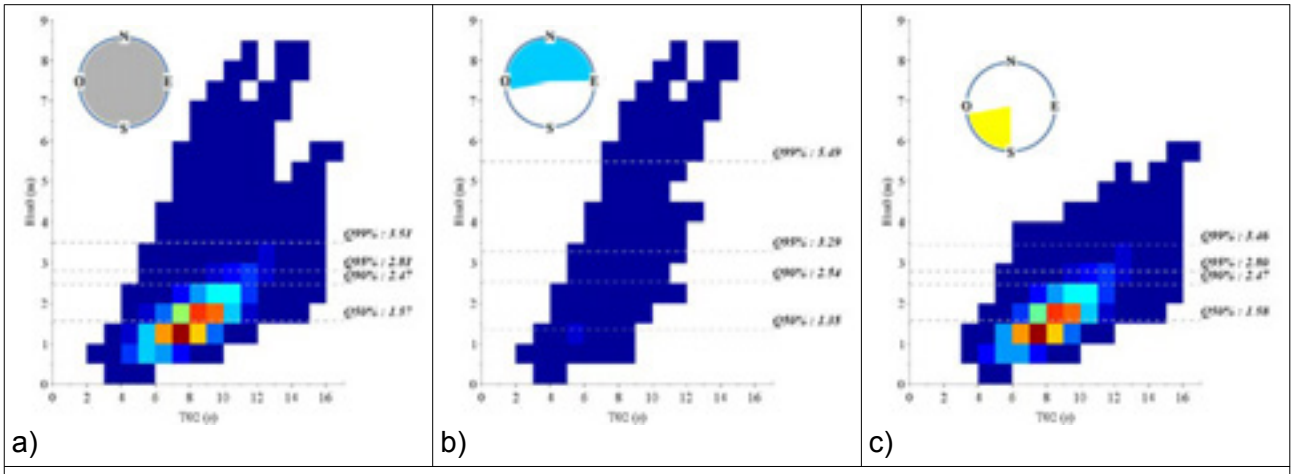
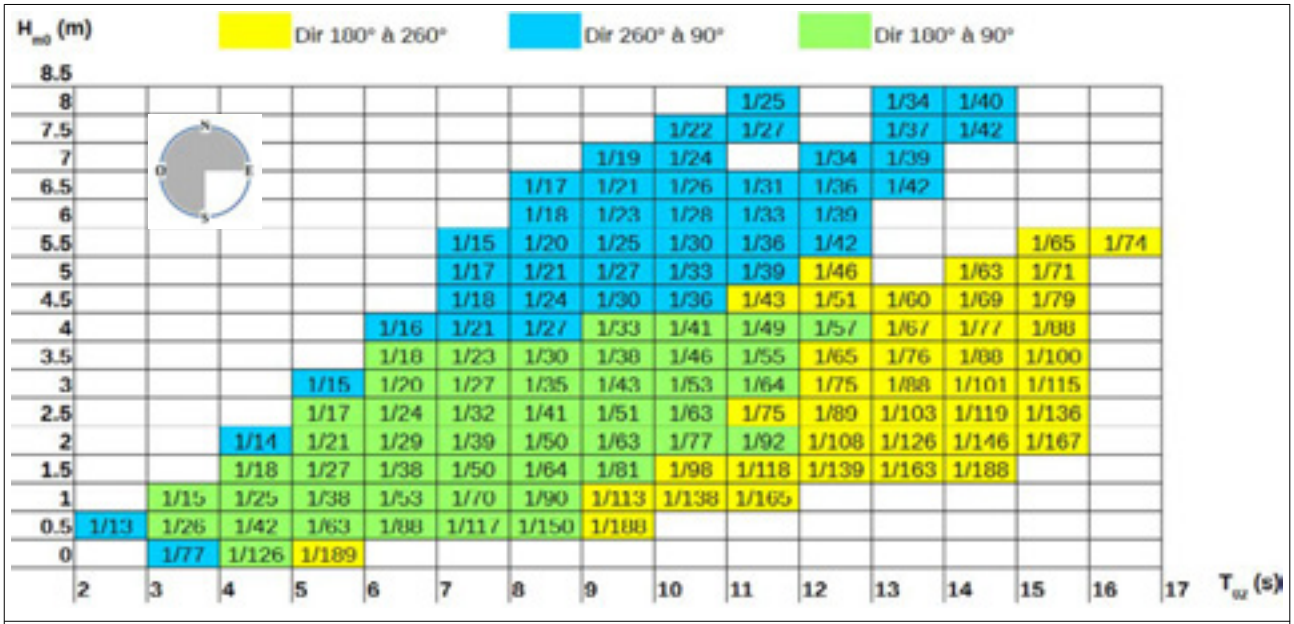


Figure 33 : Corrélogramme hauteur significative / période moyenne (H_{m0}/T_{02}) pour les directions de provenance de 0° à 360° (a), de 260° à 90° (b) et de 180° à 260°(c).



H_{m0} (m)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
8.5																
8										1/25		1/34	1/40			
7.5									1/22	1/27		1/37	1/42			
7								1/19	1/24		1/34	1/39				
6.5							1/17	1/21	1/26	1/31	1/36	1/42				
6							1/18	1/23	1/28	1/33	1/39					
5.5						1/15	1/20	1/25	1/30	1/36	1/42			1/65	1/74	
5						1/17	1/21	1/27	1/33	1/39	1/46		1/63	1/71		
4.5						1/18	1/24	1/30	1/36	1/43	1/51	1/60	1/69	1/79		
4					1/16	1/21	1/27	1/33	1/41	1/49	1/57	1/67	1/77	1/88		
3.5					1/18	1/23	1/30	1/38	1/46	1/55	1/65	1/76	1/88	1/100		
3				1/15	1/20	1/27	1/35	1/43	1/53	1/64	1/75	1/88	1/101	1/115		
2.5				1/17	1/24	1/32	1/41	1/51	1/63	1/75	1/89	1/103	1/119	1/136		
2			1/14	1/21	1/29	1/39	1/50	1/63	1/77	1/92	1/108	1/126	1/146	1/167		
1.5			1/18	1/27	1/38	1/50	1/64	1/81	1/98	1/118	1/139	1/163	1/188			
1		1/15	1/25	1/38	1/53	1/70	1/90	1/113	1/138	1/165						
0.5	1/13	1/26	1/42	1/63	1/88	1/117	1/150	1/188								
0		1/77	1/126	1/189												

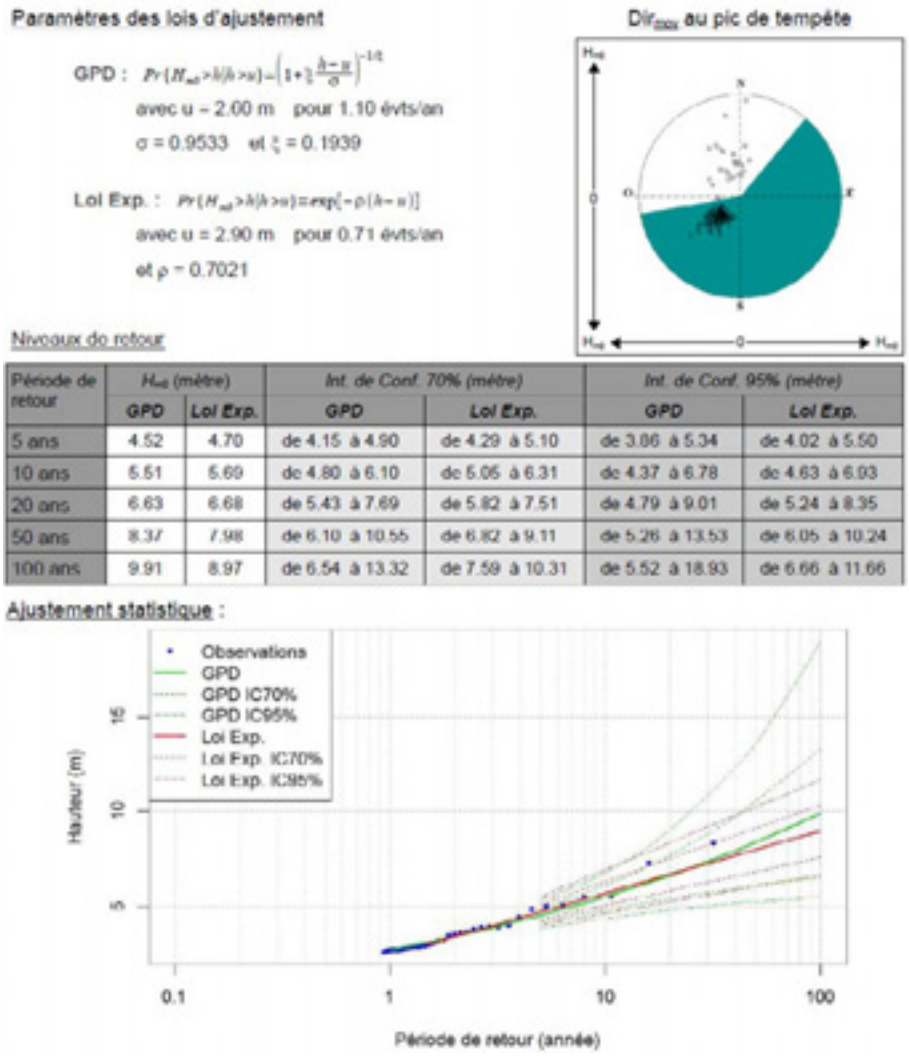
Tableau 6 : Cambrure moyenne des vagues (S_z) fonction de la hauteur significative (H_{m0}) et de la période moyenne (T_{02}) pour les directions de provenance de 180° à 90°.

L'analyse du corrélogramme représentant la hauteur significative en fonction de la période moyenne (voir figure 33 et tableau 6), permet de caractériser un peu plus les deux régimes distincts :

- le haut de corrélogramme (plus fortes hauteurs significatives, cambrures élevées) est occupé par les états de mer de provenance plutôt NO (260° à 20°) ;
- la partie basse du corrélogramme s'étalant vers les plus grandes périodes (hauteurs significatives moins élevées, cambrures plus faibles) est occupé par les états de mer en provenance du SO.

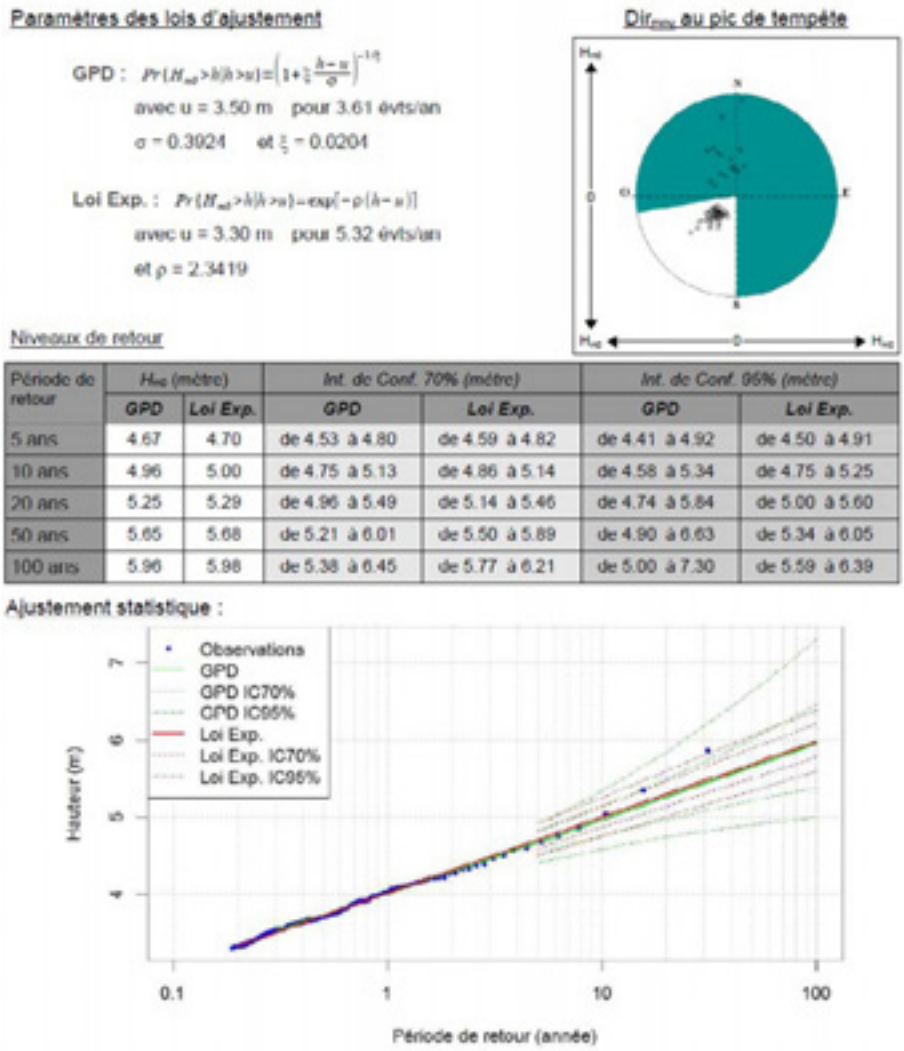
Ajustement statistique des valeurs extrêmes

Les résultats de l'analyse statistique des valeurs extrêmes sont présentés figure 34 et 35.



Période de retour	H_{s0} (mètre)		Int. de Conf. 70% (mètre)		Int. de Conf. 95% (mètre)	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	4.52	4.70	de 4.15 à 4.90	de 4.29 à 5.10	de 3.86 à 5.34	de 4.02 à 5.50
10 ans	5.51	5.69	de 4.80 à 6.10	de 5.05 à 6.31	de 4.37 à 6.78	de 4.63 à 6.93
20 ans	6.63	6.68	de 5.43 à 7.69	de 5.82 à 7.51	de 4.79 à 9.01	de 5.24 à 8.35
50 ans	8.37	7.98	de 6.10 à 10.55	de 6.82 à 9.11	de 5.26 à 13.53	de 6.05 à 10.24
100 ans	9.91	8.97	de 6.54 à 13.32	de 7.59 à 10.31	de 5.52 à 18.93	de 6.66 à 11.66

Figure 34 : Résultat d'ajustement statistique des valeurs extrêmes pour les états de mer de direction de provenance de 260° à 45°.



Période de retour	H_{s0} (mètre)		Int. de Conf. 70% (mètre)		Int. de Conf. 95% (mètre)	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	4.67	4.70	de 4.53 à 4.80	de 4.59 à 4.82	de 4.41 à 4.92	de 4.50 à 4.91
10 ans	4.96	5.00	de 4.75 à 5.13	de 4.86 à 5.14	de 4.58 à 5.34	de 4.75 à 5.25
20 ans	5.25	5.29	de 4.96 à 5.49	de 5.14 à 5.46	de 4.74 à 5.84	de 5.00 à 5.60
50 ans	5.65	5.68	de 5.21 à 6.01	de 5.50 à 5.89	de 4.90 à 6.63	de 5.34 à 6.05
100 ans	5.96	5.98	de 5.38 à 6.45	de 5.77 à 6.21	de 5.00 à 7.30	de 5.59 à 6.39

Figure 35 : Résultat d'ajustement statistique des valeurs extrêmes pour les états de mer de direction de provenance de 180° à 260°.

Les figures 34 et 35 montrent que les hauteurs de vagues en provenance du N sont plus élevées (hauteur centennale de 9,91 mètres selon la GPD) que celles en provenance du SO (hauteur centennale de 5,96 mètres selon la GPD).

La comparaison avec la figure 26 indiquerait que les hauteurs de vagues extrêmes peuvent être associées :

- provenance du N aux tempêtes et cyclones tropicaux ;
- provenance du SO plutôt à des houles océaniques (houles australes vraisemblablement).

8.3.9 Synthèse

L'île de la Réunion est exposée (Météo-France, 2009[2]) :

- aux tempêtes et cyclones tropicaux venant principalement du NE ;
- aux houles des alizées venant du SE ;
- aux houles australes venant du SO.

La présente analyse montre que le cône de dispersion des directions de provenance est plus étroit au N et au NE (points C05531 et C06953), que sur le reste la façade maritime. Le N et le NE de l'île serait donc essentiellement exposé aux vagues de provenance ENE à ESE, tandis que le reste du littoral doit faire face à plus de variabilité concernant les directions de provenance.

Les plus fortes hauteurs de vagues sont observées sur la façade est (plus particulièrement du nord au sud-est) avec une hauteur centennale de l'ordre de 10 à 12 mètres (selon la localisation et le type de loi utilisé pour l'ajustement statistique) pour des cambrures assez fortes (1/20 à 1/25 au pic). Ces événements seraient liés à l'activité cyclonique.
Les cyclones se feraient sentir sur le reste du littoral (du sud au nord-ouest) avec des états de mer contournant l'île par le sud (littoral sud à sud-ouest) ou par le nord littoral nord-ouest à sud-ouest). Le sud-ouest de l'île serait le moins impacté avec une hauteur centennale de l'ordre de 7,9 à 9,4 mètres (selon le type de loi utilisé pour l'ajustement statistique).

Les états de mer engendrés par les alizés normalement présents au sud-est de l'île ne semble pas dimensionnant car dépassés par les états de mer issus des cyclones (même direction de provenance pour des hauteurs significatives plus élevées).

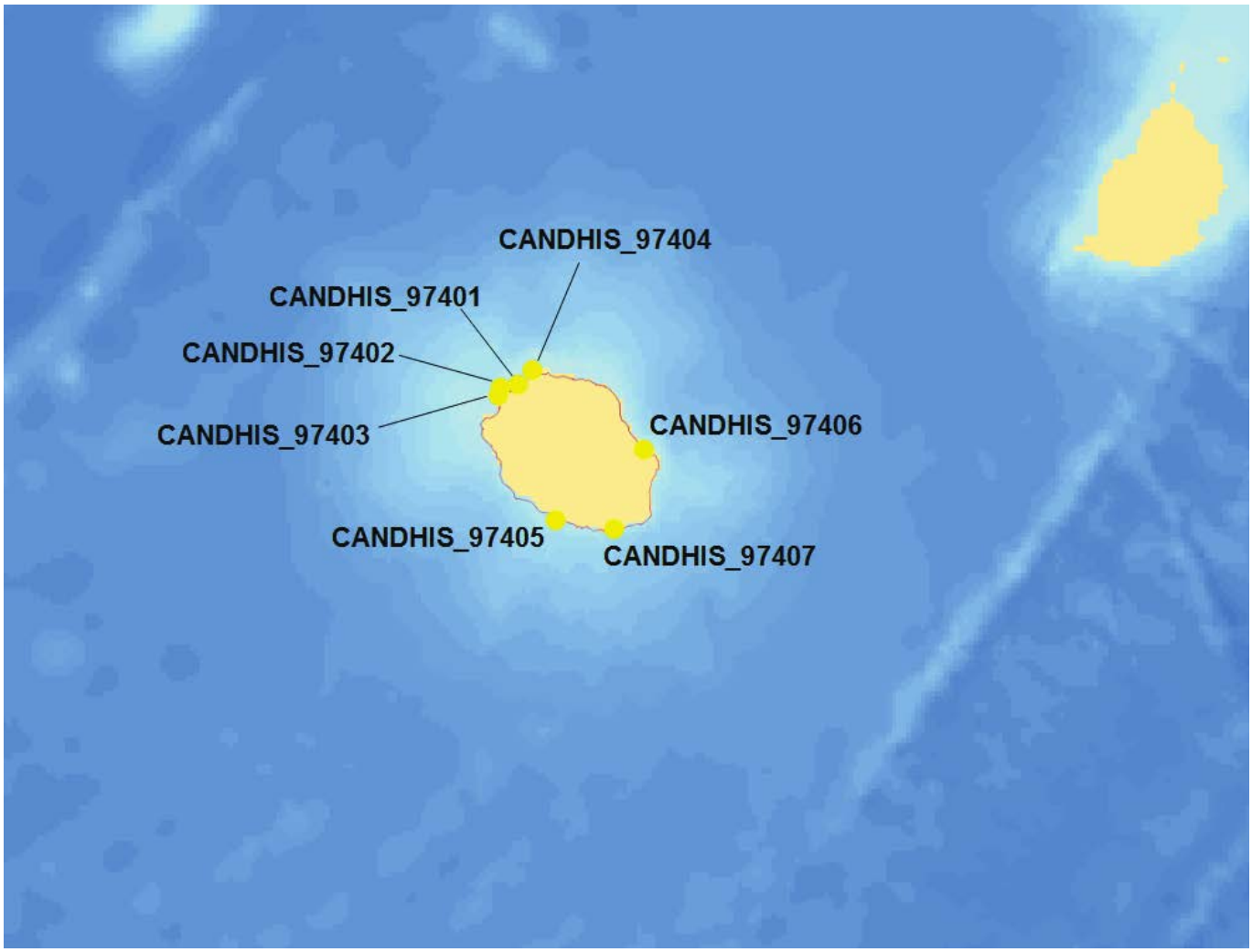
Le sud de l'Île jusqu'au nord-ouest doit aussi faire face à de fortes hauteurs de vagues en provenance du sud-ouest, avec une hauteur centennale de l'ordre de 6,0 à 7,5mètres (selon la localisation et le type de loi utilisé pour l'ajustement statistique) pour des cambrures relativement faibles (de l'ordre de 1/40 à 1/65 au pic). Ces événements seraient liés aux houles australes. Selon l'exposition de la côte le littoral sud à nord-ouest peut être plus sensible à ces houles australes, ou événements cycloniques.

2 Roy D., Quetelard H., and Jumaux G. (2009). Étude pour l'identification des évolutions des changements climatiques à La Réunion. Saint-Denis, France, Rapport Météo France – Direction Interrégionale de la Réunion. pp. 78

8.4 Mesure des états de mer du réseau CANDHIS

La Réunion

Campagne	Dépt.	Période de mesure	Durée effective (année)
97401_ Baie de la Possession	974	du 19/11/1996 au 12/04/2015	14,76
97402_ Pointe du Phare	974	du 07/02/1997 au 20/11/1997	0,66
97403 _ Rivière des Galets	974	du 25/02/1997 au 30/12/2016	15,88
97404 _ Pointe du Gouffre	974	du 15/05/2000 au 03/01/2013	9,53
97405 _ Saint Pierre	974	du 26/09/2000 au 16/11/2010	6,31
97406 _ Sainte Rose	974	du 22/11/2000 au 05/02/2002	0,85
97407 _ Vincendo	974	du 03/09/2004 au 20/03/2009	2,59



Source : *Kergadallan X., Le Berre A., Sanquer R. (2017). Fiches synthétiques de mesure des états de mer du réseau CANDHIS, Tome 3 – Outre-mer, Mise à jour 2017. Edition Cerema.*

CANDHIS : 97401 – Baie de la Possession

Informations générales

Durée d'observation :
14.76 ans
du 19/11/96 au 12/04/15

Mesures directionnelles : Non

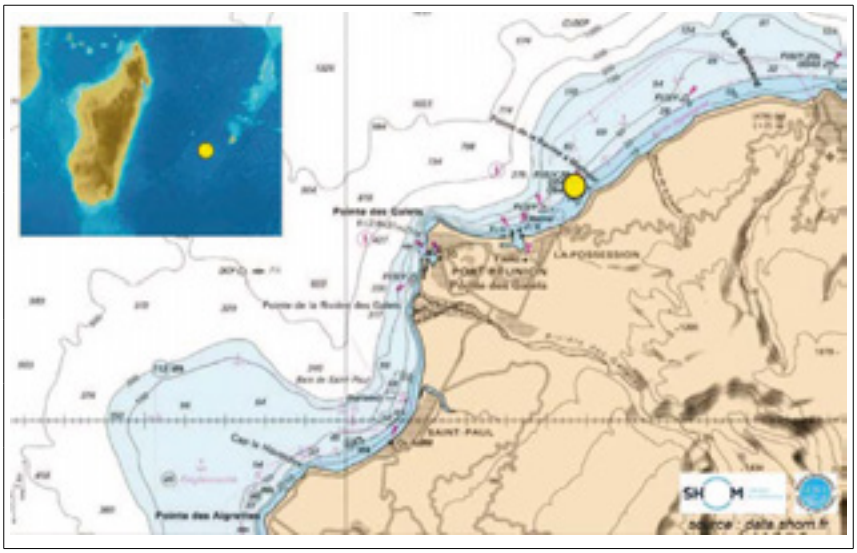
Longitude : 55°20.759'E

Latitude : 20°54.611'S

Profondeur : 25 m

Distance à la côte : 1.3 mile

Marnage (VEM) : 1 m



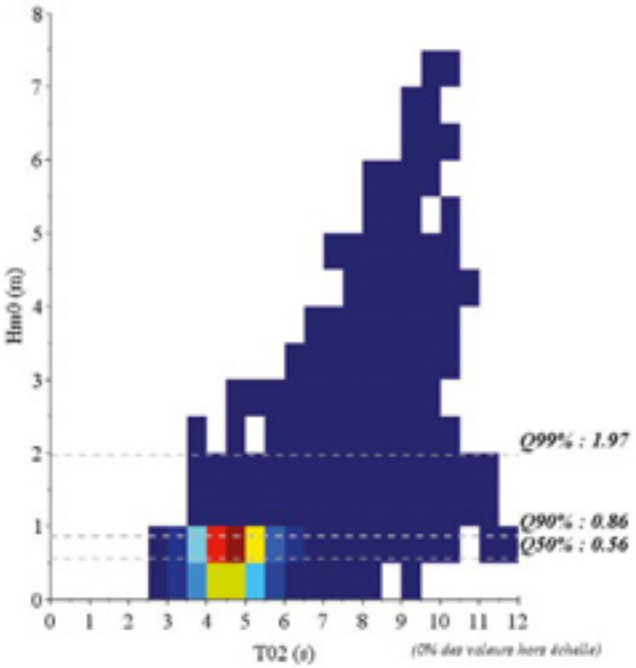
Taux de disponibilité :

	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37.2%	96.4%	11.1%
1997	99.3%	90.3%	-	-	92.9%	25.8%	99.3%	100.0%	79.3%	78.8%	99.2%	96.5%	71.8%
1998	96.4%	-	61.0%	96.3%	98.5%	100.0%	90.4%	93.4%	98.5%	100.0%	100.0%	98.1%	86.1%
1999	56.9%	100.0%	100.0%	100.0%	58.7%	41.8%	95.3%	87.8%	-	-	-	-	53.4%
2000	-	-	-	-	51.1%	88.5%	54.4%	98.1%	92.2%	92.9%	89.3%	83.7%	54.2%
2001	89.4%	89.4%	74.3%	96.8%	98.9%	100.0%	96.1%	97.2%	87.6%	99.3%	98.8%	85.6%	92.8%
2002	-	-	78.4%	97.7%	87.1%	98.5%	100.0%	97.8%	95.3%	69.4%	71.0%	91.9%	73.9%
2003	93.0%	96.3%	81.2%	95.3%	92.2%	89.7%	83.7%	92.4%	92.7%	94.8%	96.2%	85.5%	91.1%
2004	88.9%	84.8%	86.1%	79.9%	95.6%	89.0%	77.3%	81.3%	78.0%	88.1%	87.4%	87.0%	85.3%
2005	90.7%	95.1%	76.4%	82.6%	72.0%	92.7%	76.7%	29.0%	-	88.8%	92.7%	91.9%	74.1%
2006	86.5%	79.6%	76.6%	71.5%	64.5%	87.4%	-	-	16.8%	98.5%	94.4%	97.6%	64.5%
2007	100.0%	91.7%	100.0%	99.2%	87.6%	81.1%	41.5%	44.5%	21.8%	98.9%	98.5%	66.0%	77.6%
2008	12.1%	99.2%	94.8%	90.3%	97.0%	95.6%	96.1%	99.3%	99.2%	87.6%	98.5%	69.6%	86.6%
2009	27.1%	5.3%	60.1%	99.2%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	97.7%	100.0%	100.0%	100.0%	82.5%
2010	100.0%	100.0%	97.2%	100.0%	100.0%	99.4%	89.7%	80.6%	26.4%	99.6%	99.5%	100.0%	91.0%
2011	99.5%	97.9%	100.0%	99.4%	100.0%	100.0%	100.0%	94.7%	70.6%	-	76.1%	88.5%	85.6%
2012	95.6%	97.0%	100.0%	100.0%	98.0%	98.5%	92.5%	100.0%	92.6%	96.4%	100.0%	96.7%	97.3%
2013	100.0%	100.0%	84.2%	100.0%	97.8%	83.8%	91.9%	99.5%	100.0%	94.0%	100.0%	88.7%	95.0%
2014	96.6%	100.0%	58.6%	11.9%	-	46.1%	100.0%	100.0%	100.0%	97.5%	100.0%	99.1%	75.8%
2015	97.1%	95.5%	96.4%	32.0%	-	-	-	-	-	-	-	-	26.8%
Total	**71.5%**	**71.1%**	**71.3%**	**72.6%**	**74.6%**	**75.9%**	**74.2%**	**74.8%**	**62.4%**	**74.2%**	**81.9%**	**81.1%**	**73.8%**

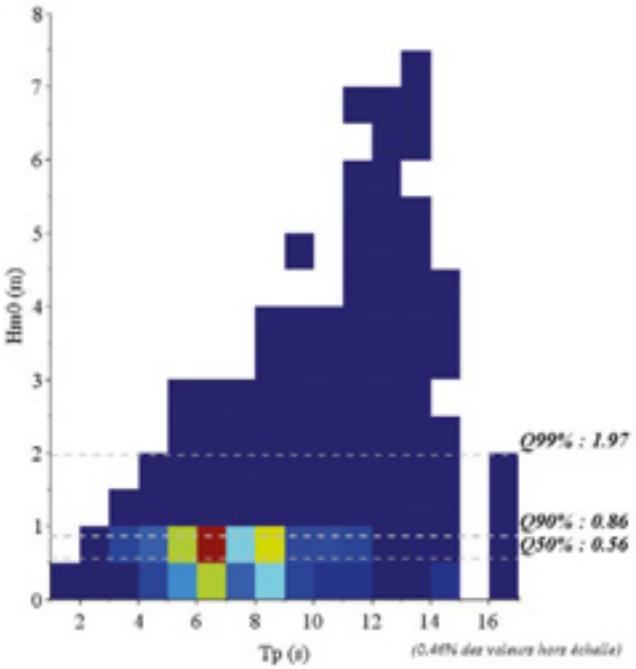
CANDHIS : 97401 – Baie de la Possession

Climatologie moyenne

► H_{m0} fonction de T_{02}



► H_{m0} fonction de T_p



Échelle de couleurs normalisée :

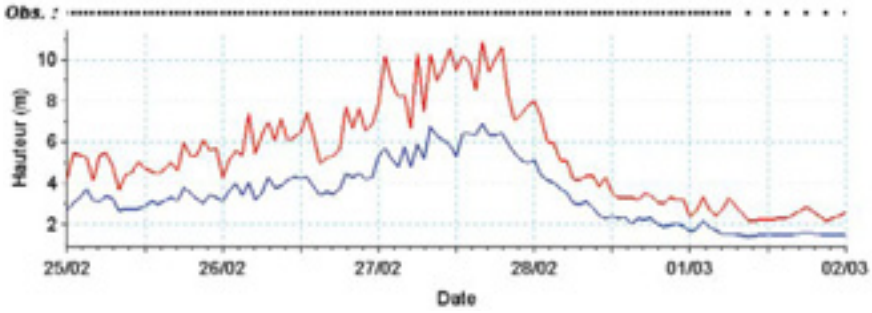
CANDHIS : 97401 – Baie de la Possession

Sélection des événements remarquables

Tempête du 27/02/07

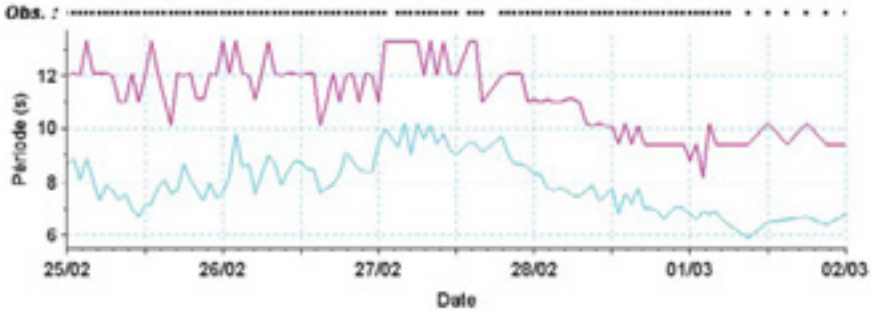
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

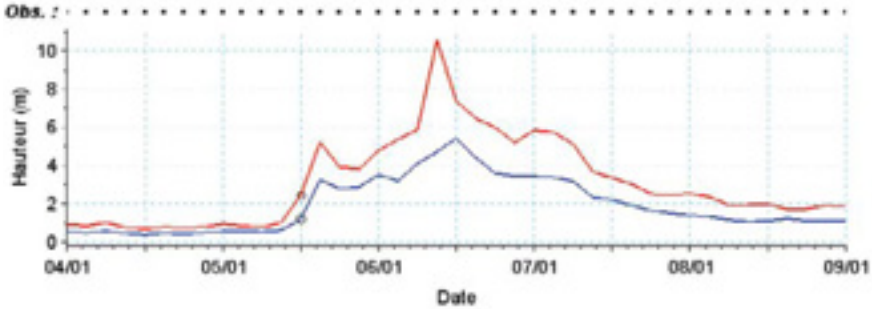


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
27/02 16:00	6.89	10.87	11.9	11.9	6.74	11.0	9.1	11.1	NA	NA

Tempête du 06/01/01

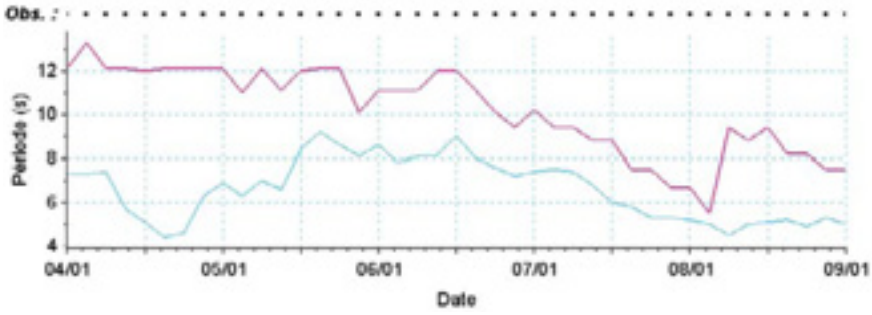
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
06/01 12:00	5.44	7.37	11.1	10.8	6.29	12.0	9.0	10.7	NA	NA

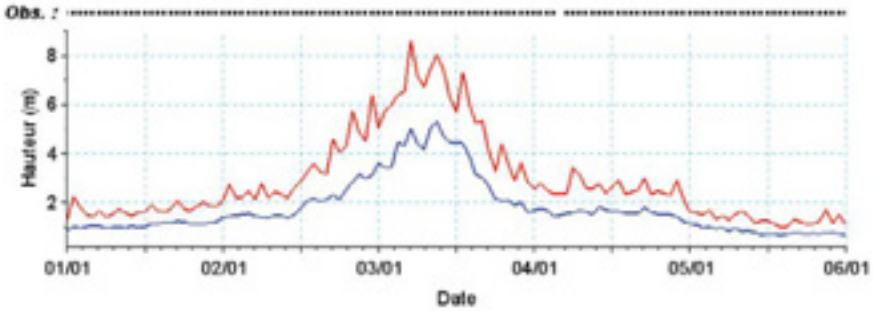
CANDHIS : 97401 – Baie de la Possession

Sélection des événements remarquables

Tempête du 03/01/13

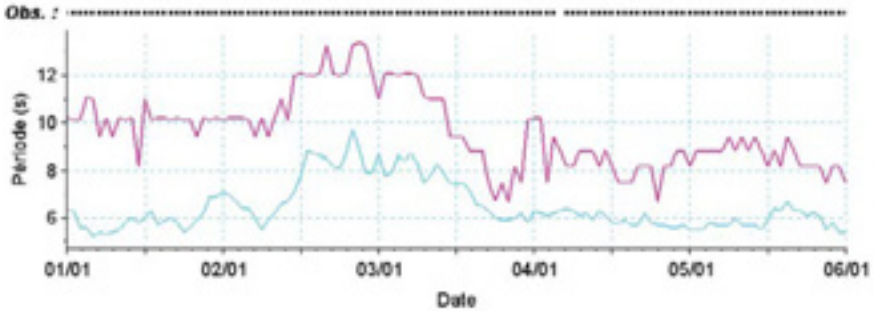
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

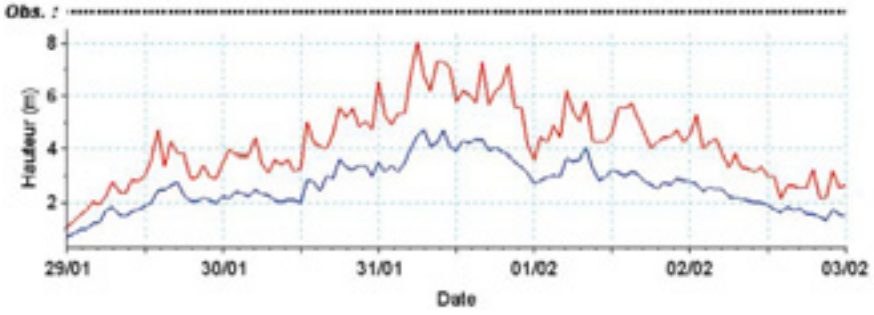


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
03/01 09:00	5.31	8.02	9.9	9.6	5.88	11.0	8.3	9.6	NA	NA

Tempête du 31/01/13

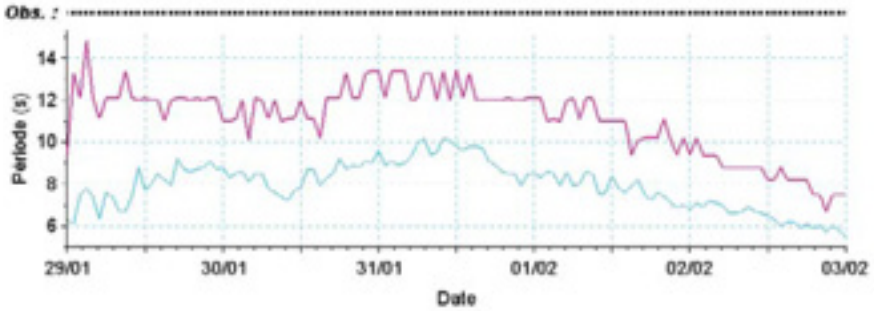
Évolution de H_{max}

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}, Dir_p

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
31/01 07:00	4.71	6.75	12.0	12.4	5.16	13.3	10.2	11.6	NA	NA

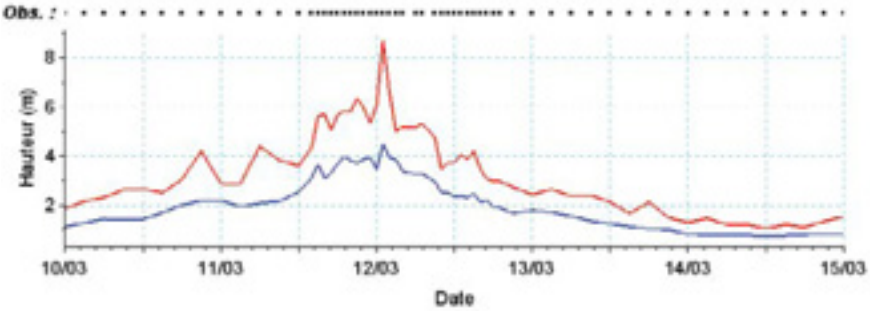
CANDHIS : 97401 – Baie de la Possession

Sélection des événements remarquables

Tempête du 12/03/02

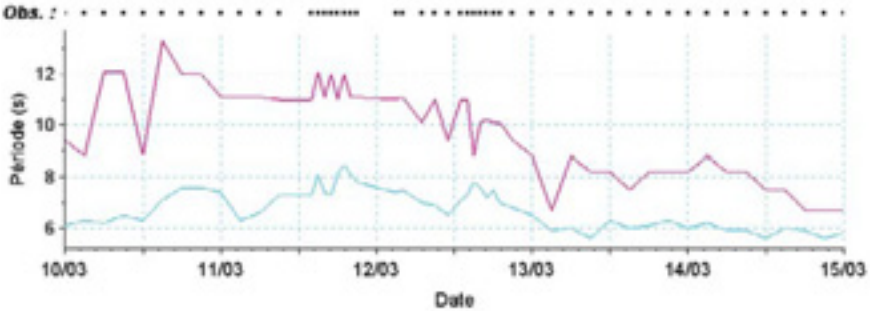
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

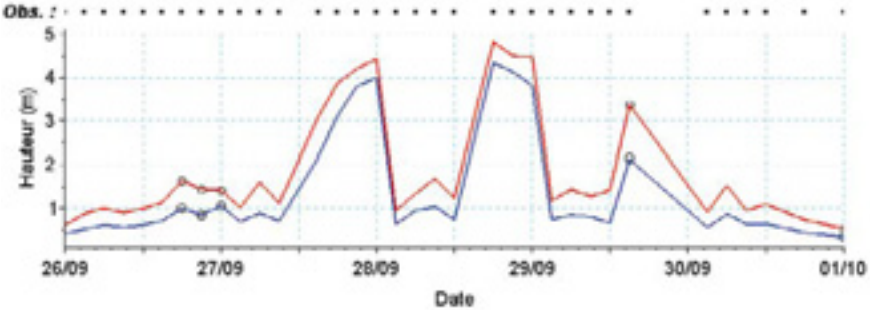


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
12/03 01:00	4.50	8.68	9.8	10.7	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Tempête du 28/09/02

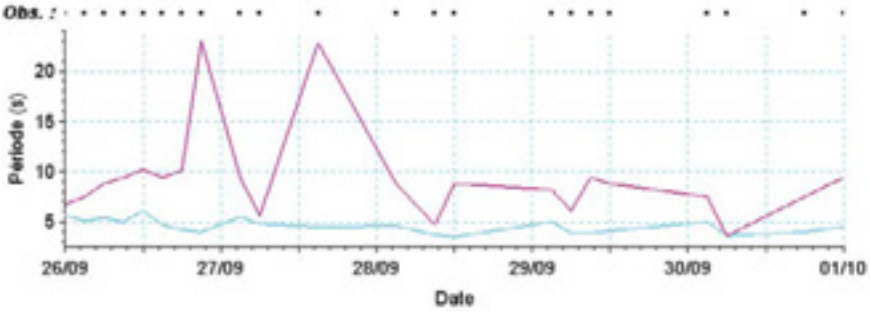
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
28/09 18:00	4.34	4.82	18.3	19.3	NA	NA	NA	NA	NA	NA

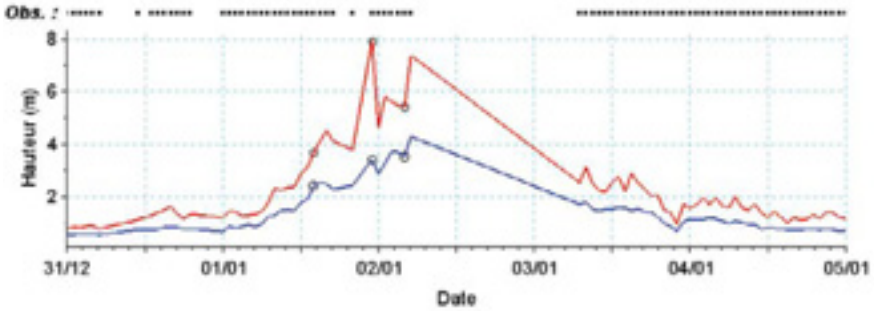
CANDHIS : 97401 – Baie de la Possession

Sélection des événements remarquables

Tempête du 02/01/14

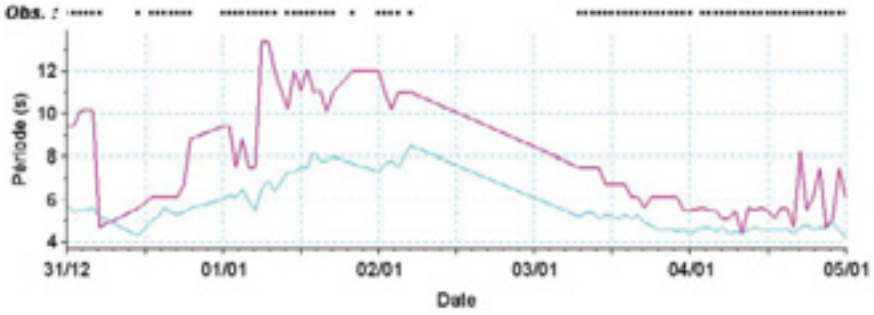
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

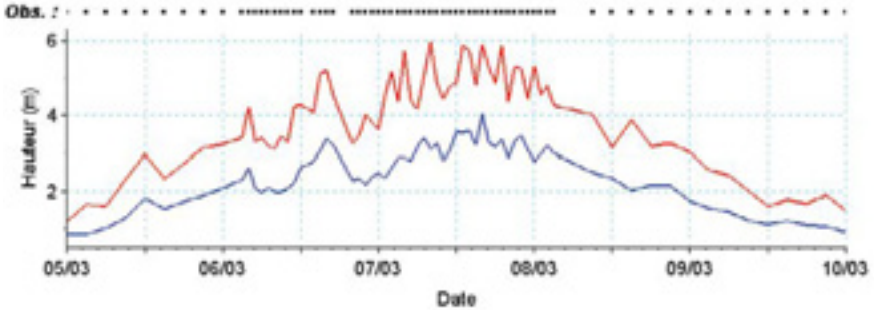


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
02/01 05:00	4.29	7.37	10.3	10.1	4.98	11.0	8.5	10.0	NA	NA

Tempête du 07/03/04

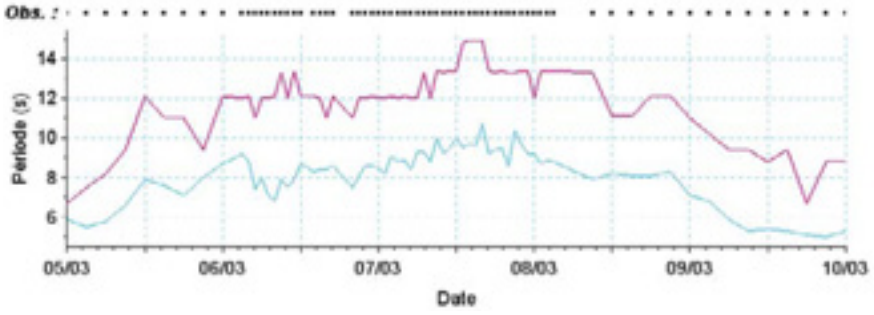
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
07/03 16:00	4.04	5.91	12.7	13.2	4.19	14.9	10.7	12.6	NA	NA

CANDHIS : 97402 – Pointe du Phare

Informations générales

Durée d'observation :
0.66 an
du 07/02/97 au 20/11/97

Mesures directionnelles : Non

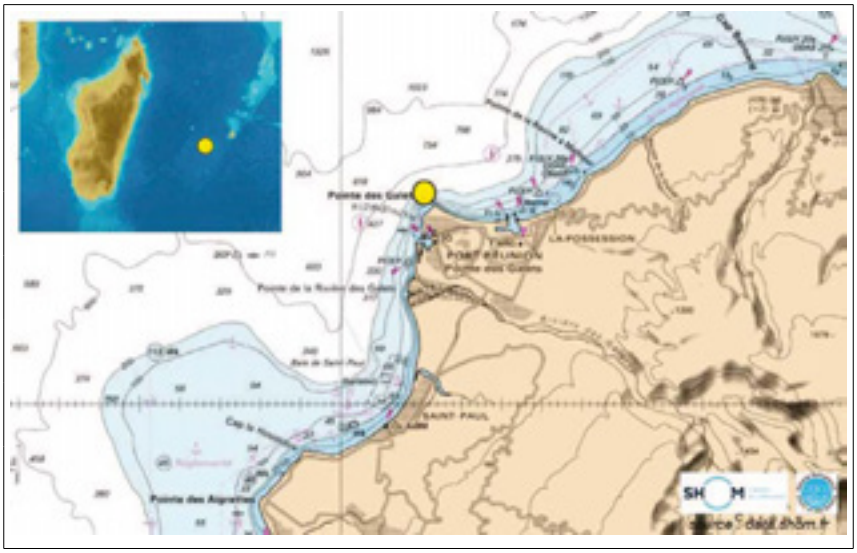
Longitude : 55°17.21'E

Latitude : 20°55.26'S

Profondeur : 20 m

Distance à la côte : 0.2 mile

Marnage (VEM) : 1 m



Taux de disponibilité :

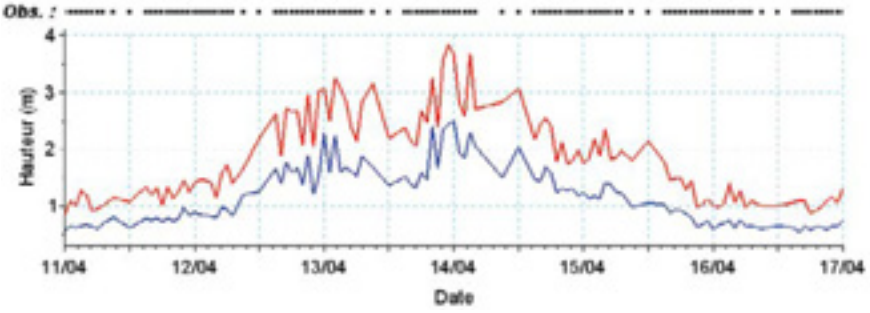
	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total
1997	-	65.8%	12.1%	97.9%	99.3%	93.8%	99.3%	100.0%	79.3%	78.8%	63.4%	-	65.8%
Total	**0.0%**	**65.8%**	**12.1%**	**97.9%**	**99.3%**	**93.8%**	**99.3%**	**100.0%**	**79.3%**	**78.8%**	**63.4%**	**0.0%**	**65.8%**

Sélection des événements remarquables

Tempête du 14/04/97

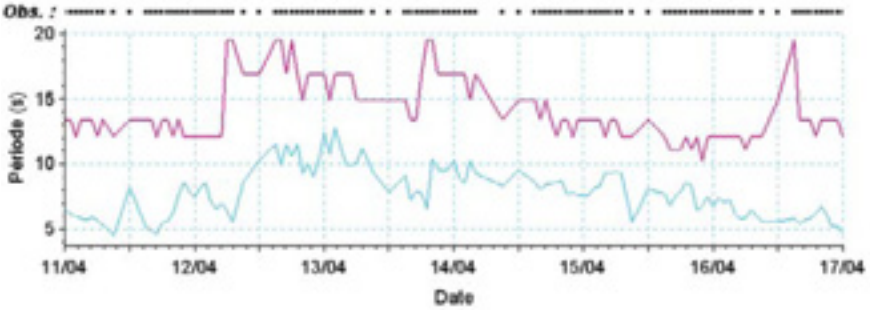
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
H_{max}
$H_{1/3}$
|Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
T_p
T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
14/04 00:00	2.50	3.66	16.5	16.7	2.62	16.9	10.3	15.9	NA	NA

CANDHIS : 97403 – Rivière des Galets

Informations générales

Durée d'observation :
15.88 ans
du 25/02/97 au 30/12/16

Mesures directionnelles : Non

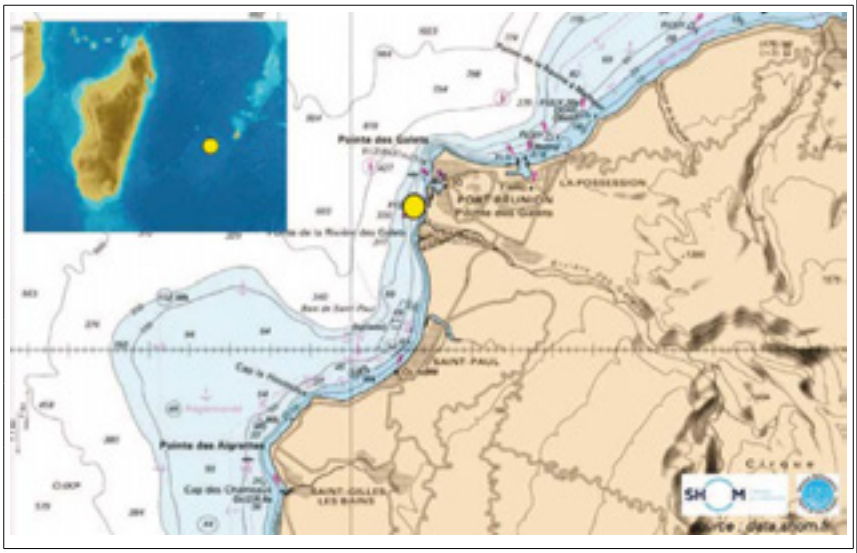
Longitude : 55°16.639'E

Latitude : 20°56.743'S

Profondeur : 33 m

Distance à la côte : 0.2 mile

Marnage (VEM) : 1 m



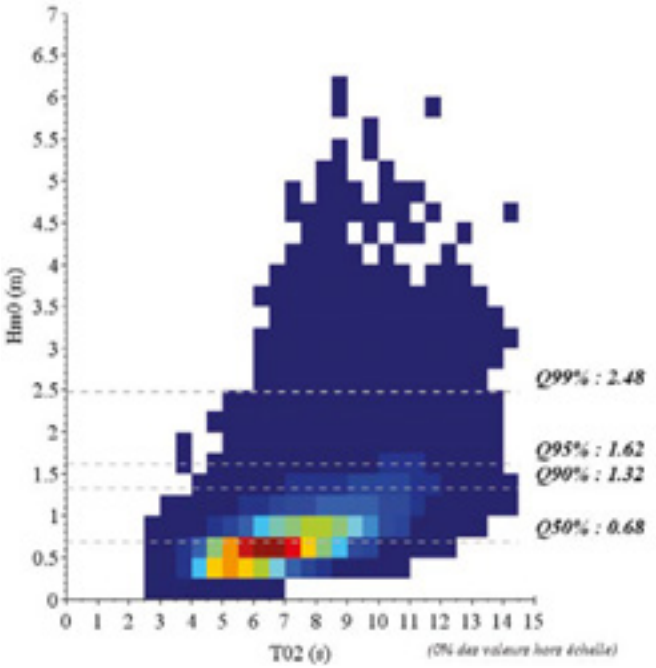
Taux de disponibilité :

	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total
1997	-	3.6%	12.5%	97.6%	99.3%	93.1%	99.3%	100.0%	79.3%	78.8%	54.2%	96.5%	67.9%
1998	96.4%	-	73.0%	93.1%	98.5%	100.0%	100.0%	93.4%	99.2%	100.0%	100.0%	98.1%	87.6%
1999	56.9%	100.0%	100.0%	100.0%	59.1%	39.8%	95.3%	87.1%	-	-	-	-	53.2%
2000	-	-	-	-	54.0%	94.3%	92.0%	96.3%	86.1%	28.4%	93.9%	83.7%	52.4%
2001	89.4%	95.1%	74.3%	96.8%	98.9%	100.0%	96.1%	97.2%	87.6%	100.0%	98.8%	85.6%	93.3%
2002	-	-	79.2%	95.4%	85.6%	98.5%	100.0%	97.0%	79.0%	69.6%	89.5%	86.0%	73.3%
2003	91.9%	90.9%	76.7%	94.7%	89.9%	78.9%	85.3%	92.1%	92.7%	97.0%	96.9%	85.5%	89.4%
2004	91.5%	88.9%	88.8%	85.0%	95.6%	90.6%	78.4%	81.7%	78.0%	85.9%	49.2%	87.4%	83.4%
2005	91.4%	96.7%	79.8%	86.0%	72.0%	93.1%	80.2%	29.8%	-	88.8%	91.9%	90.0%	75.0%
2006	84.3%	80.4%	77.0%	60.0%	42.0%	88.1%	-	-	17.6%	98.5%	94.4%	97.6%	61.7%
2007	100.0%	91.7%	100.0%	98.5%	85.7%	99.2%	28.6%	67.4%	99.2%	98.9%	98.5%	95.7%	88.6%
2008	73.1%	99.2%	99.3%	91.0%	97.8%	95.6%	96.1%	100.0%	97.7%	87.6%	98.5%	82.9%	93.2%
2009	91.5%	100.0%	15.5%	2.5%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	97.7%	100.0%	100.0%	100.0%	83.9%
2010	100.0%	100.0%	97.2%	100.0%	100.0%	99.4%	89.9%	92.8%	72.8%	94.7%	99.5%	100.0%	95.5%
2011	99.5%	97.9%	100.0%	36.4%	88.8%	72.4%	100.0%	93.3%	88.5%	79.5%	65.7%	65.5%	82.3%
2012	54.1%	41.4%	84.3%	100.0%	60.1%	50.1%	88.5%	88.2%	84.9%	91.7%	100.0%	96.7%	78.3%
2013	100.0%	100.0%	83.1%	95.6%	97.2%	97.8%	95.8%	96.2%	90.5%	90.2%	91.5%	90.8%	94.1%
2014	96.6%	54.8%	40.3%	92.4%	99.4%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	97.4%	100.0%	99.1%	90.0%
2015	97.1%	95.5%	96.4%	99.2%	100.0%	83.1%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	97.0%	97.4%
2016	69.0%	61.9%	100.0%	100.0%	82.7%	64.4%	49.3%	-	-	-	-	46.8%	47.8%
Total	**74.1%**	**69.9%**	**73.9%**	**81.2%**	**85.3%**	**86.9%**	**83.7%**	**80.6%**	**72.5%**	**79.4%**	**81.1%**	**84.2%**	**79.4%**

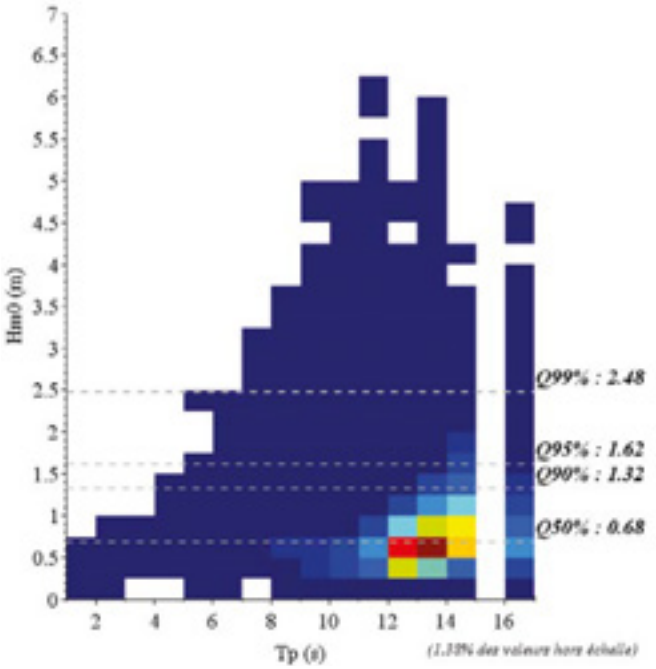
CANDHIS : 97403 – Rivière des Galets

Climatologie moyenne

► H_{m0} fonction de T_{02}



► H_{m0} fonction de T_p



Échelle de couleurs normalisée :

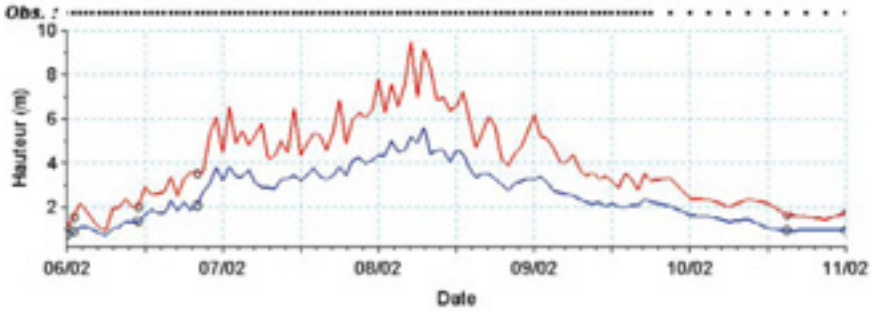
CANDHIS : 97403 – Rivière des Galets

Sélection des événements remarquables

Tempête du 08/02/09

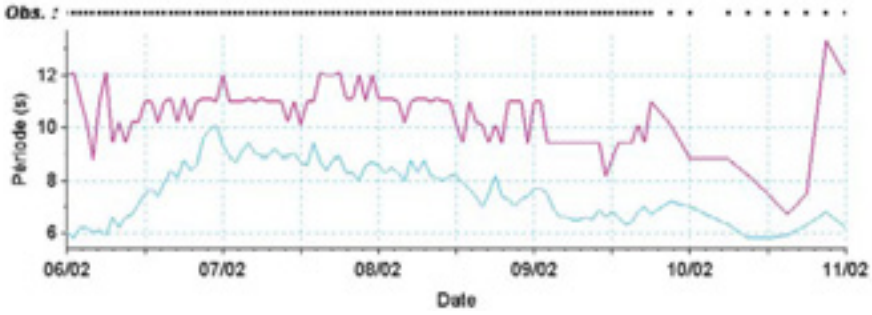
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

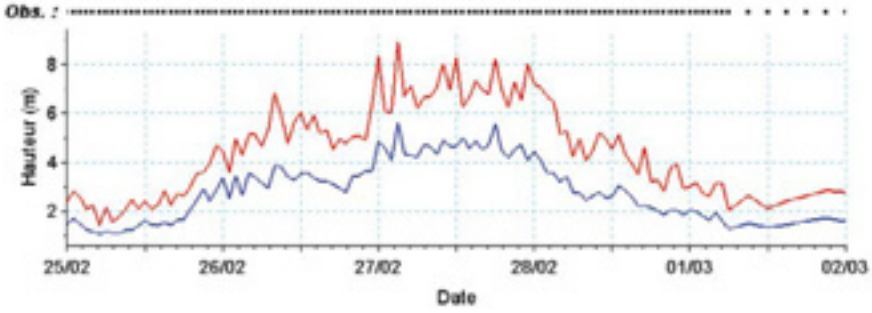


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
08/02 07:00	5.63	9.17	10.4	10.1	6.00	11.1	8.8	10.0	NA	NA

Tempête du 27/02/07

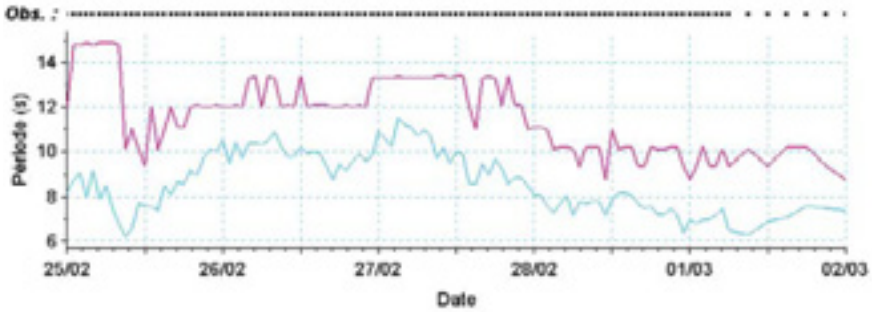
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
27/02 03:00	5.59	8.91	12.7	12.7	5.79	13.4	11.5	12.4	NA	NA

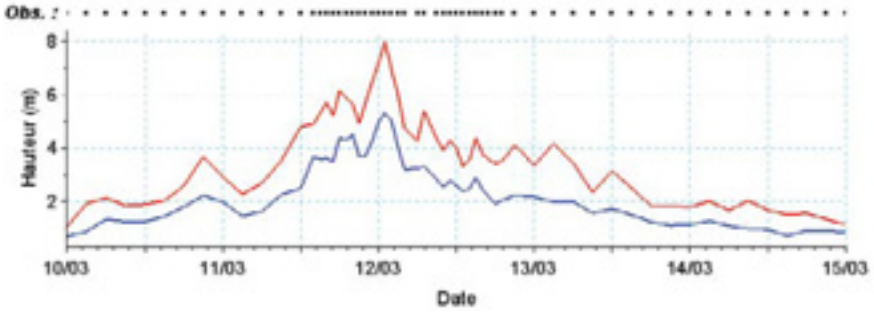
CANDHIS : 97403 – Rivière des Galets

Sélection des événements remarquables

Tempête du 12/03/02

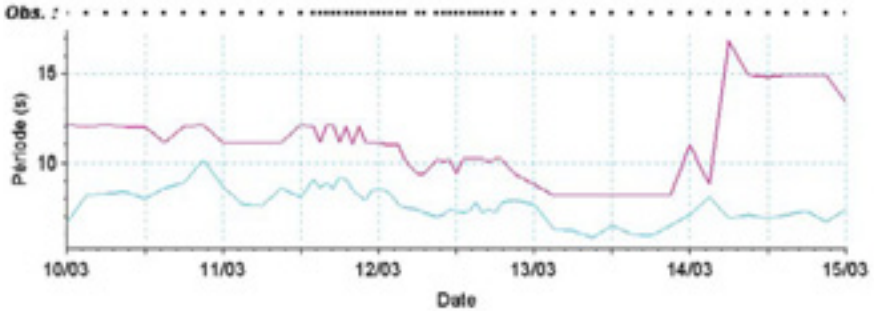
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

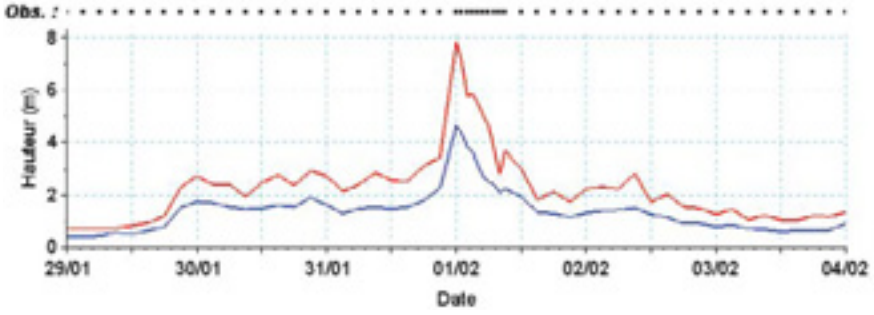


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
12/03 01:00	5.31	7.97	10.3	10.5	5.47	11.0	8.5	9.7	NA	NA

Tempête du 01/02/08

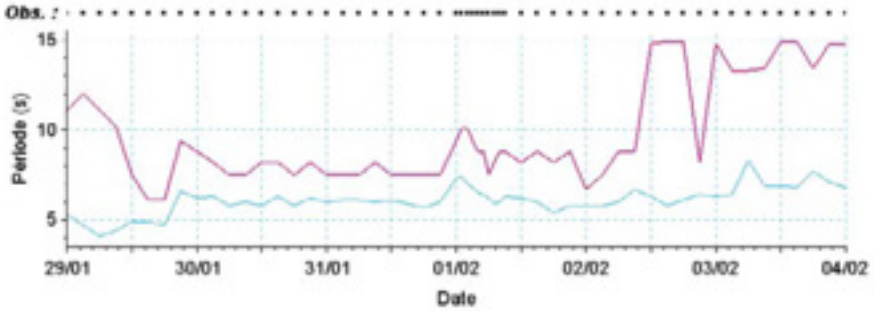
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
01/02 00:00	4.61	7.83	8.6	8.0	4.82	9.4	7.3	8.3	NA	NA

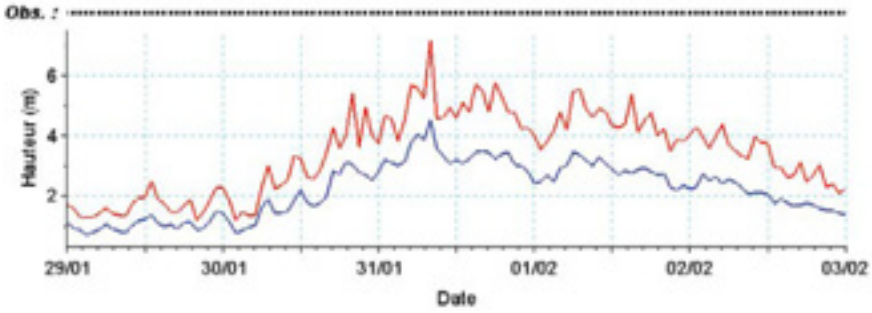
CANDHIS : 97403 – Rivière des Galets

Sélection des événements remarquables

Tempête du 31/01/13

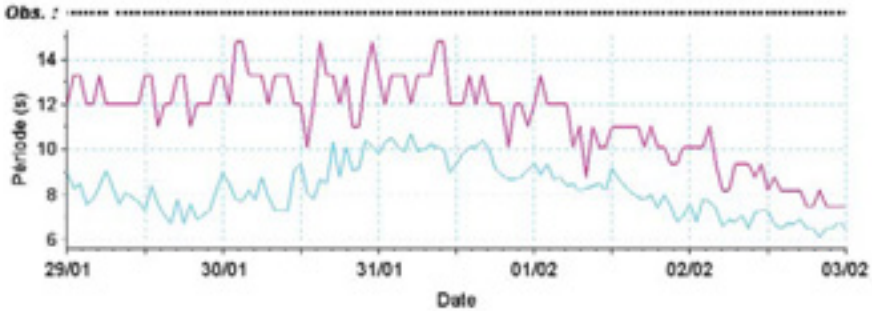
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

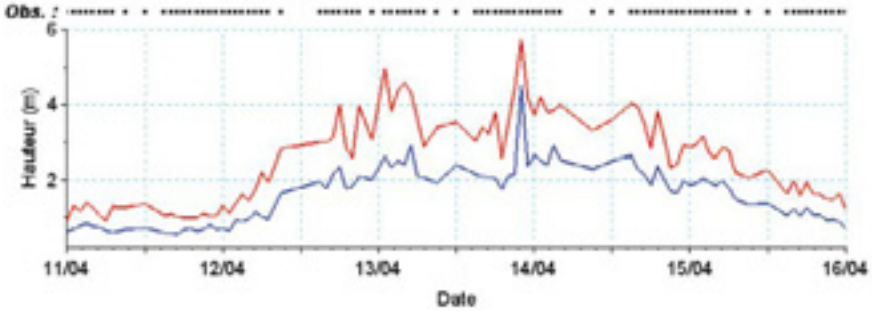


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
31/01 08:00	4.51	7.16	12.3	11.6	4.64	13.3	10.2	11.6	NA	NA

Tempête du 13/04/97

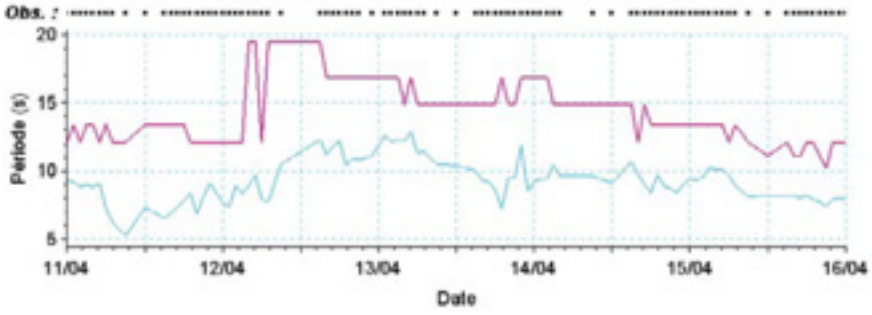
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
13/04 22:00	4.49	5.74	17.1	15.3	4.54	16.9	11.9	15.9	NA	NA

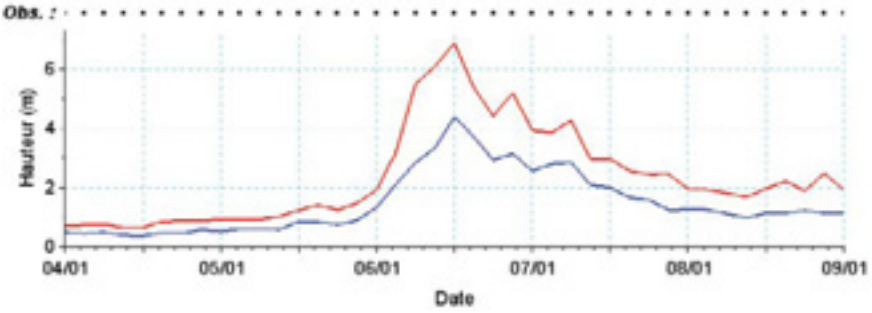
CANDHIS : 97403 – Rivière des Galets

Sélection des événements remarquables

Tempête du 06/01/01

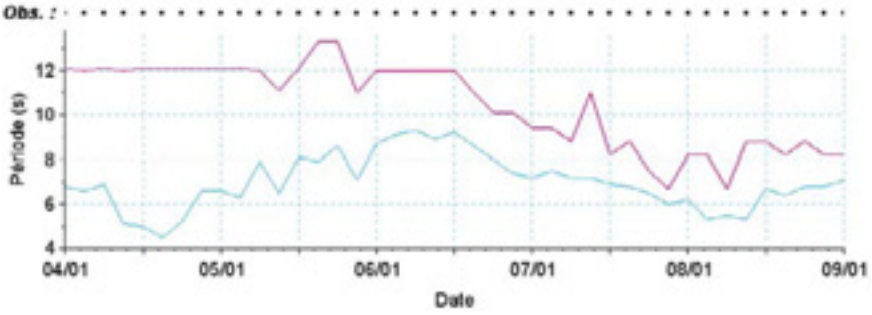
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

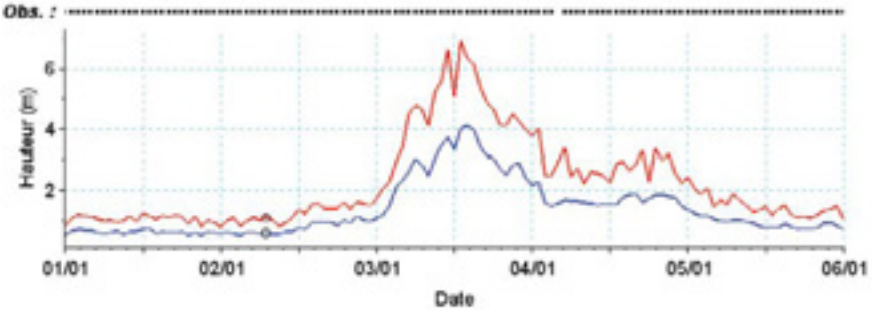


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
06/01 12:00	4.39	6.89	11.0	12.9	4.63	12.0	9.2	10.6	NA	NA

Tempête du 03/01/13

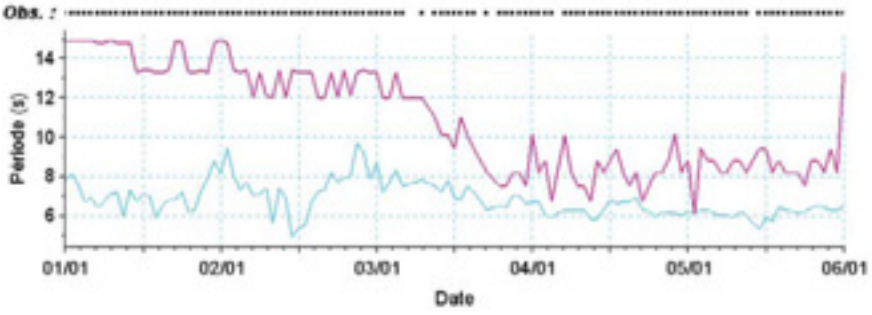
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
03/01 14:00	4.12	6.35	9.3	8.6	4.42	10.1	7.5	8.7	NA	NA

CANDHIS : 97404 – Pointe du Gouffre

Informations générales

Durée d'observation :
9.53 ans
du 15/05/00 au 03/01/13

Mesures directionnelles : Non

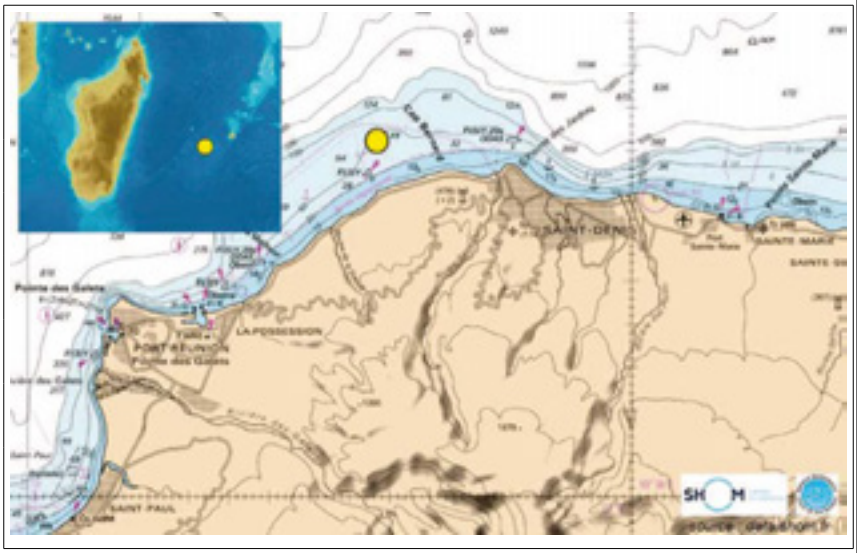
Longitude : 55°23.75'E

Latitude : 20°51.83'S

Profondeur : 31 m

Distance à la côte : 1.0 mile

Marnage (VEM) : 1 m



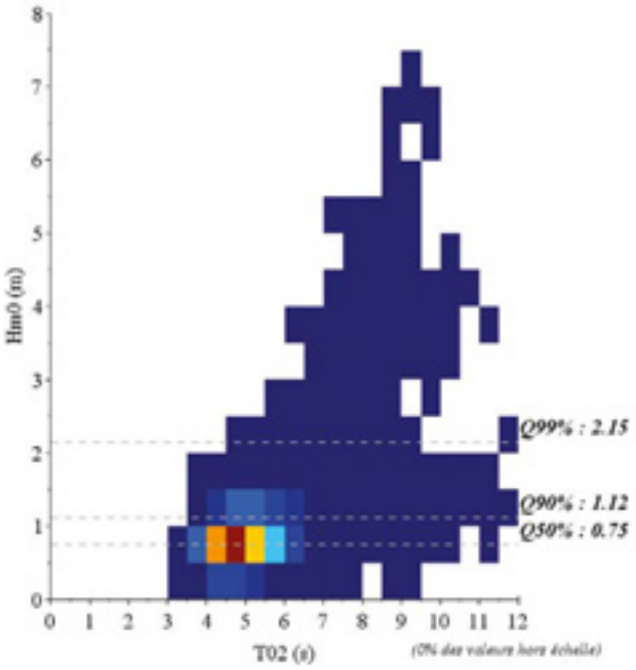
Taux de disponibilité :

	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total
2000	-	-	-	-	53.3%	94.3%	92.7%	98.1%	50.3%	69.6%	17.1%	5.0%	40.0%
2001	78.3%	96.7%	73.6%	96.0%	98.9%	100.0%	96.1%	68.2%	-	-	85.1%	85.6%	73.2%
2002	-	-	79.9%	98.5%	87.1%	98.5%	100.0%	97.8%	99.2%	88.5%	90.3%	91.1%	77.6%
2003	93.0%	97.5%	81.2%	100.0%	94.4%	91.3%	88.3%	94.3%	98.8%	98.5%	97.7%	89.2%	93.7%
2004	92.3%	93.2%	90.6%	91.1%	98.5%	91.0%	79.9%	86.6%	82.6%	95.6%	90.8%	93.8%	90.5%
2005	93.6%	96.7%	87.3%	94.5%	56.9%	-	-	-	-	94.0%	95.8%	92.6%	59.3%
2006	89.4%	84.1%	80.5%	77.5%	73.8%	91.9%	-	-	16.4%	35.5%	1.0%	-	45.8%
2007	18.5%	91.7%	100.0%	99.2%	87.6%	99.2%	97.8%	80.1%	96.9%	98.1%	65.3%	60.1%	82.9%
2008	98.5%	99.2%	92.9%	90.3%	97.0%	95.6%	96.1%	100.0%	99.2%	87.6%	98.5%	85.1%	95.0%
2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62.2%	100.0%	13.5%
2010	100.0%	100.0%	97.2%	100.0%	99.5%	99.4%	89.9%	92.8%	44.7%	-	94.9%	99.5%	84.8%
2011	99.5%	97.9%	100.0%	99.4%	99.5%	100.0%	100.0%	94.7%	78.8%	100.0%	100.0%	99.4%	97.4%
2012	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	99.4%	98.5%	97.2%	100.0%	92.6%	96.4%	100.0%	96.7%	98.4%
2013	6.5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5%
Total	**62.1%**	**68.4%**	**70.2%**	**74.8%**	**74.7%**	**75.7%**	**67.0%**	**65.2%**	**54.3%**	**61.7%**	**71.3%**	**71.3%**	**68.1%**

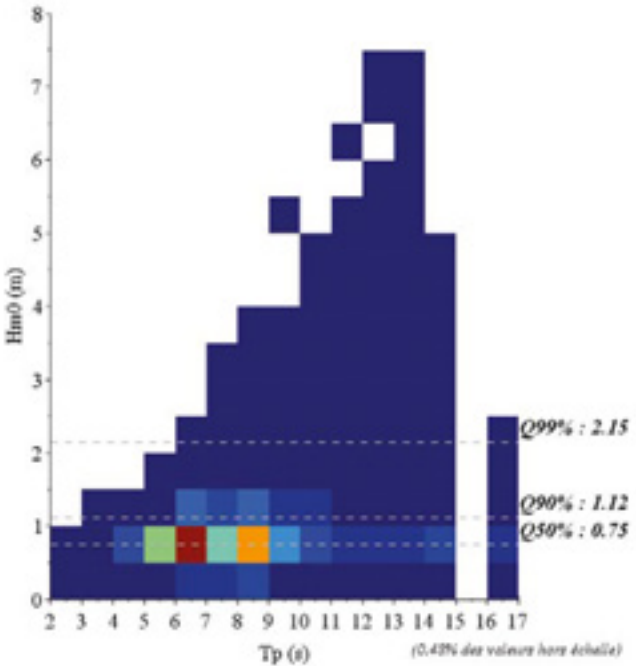
CANDHIS : 97404 – Pointe du Gouffre

Climatologie moyenne

► H_{m0} fonction de T_{02}



► H_{m0} fonction de T_p



Échelle de couleurs normalisée :

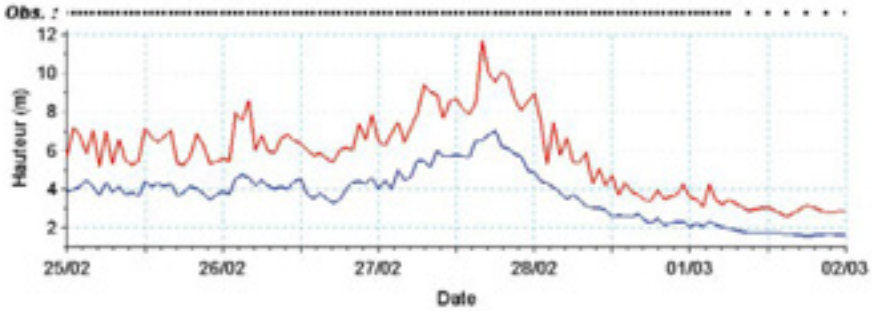
CANDHIS : 97404 – Pointe du Gouffre

Sélection des événements remarquables

Tempête du 27/02/07

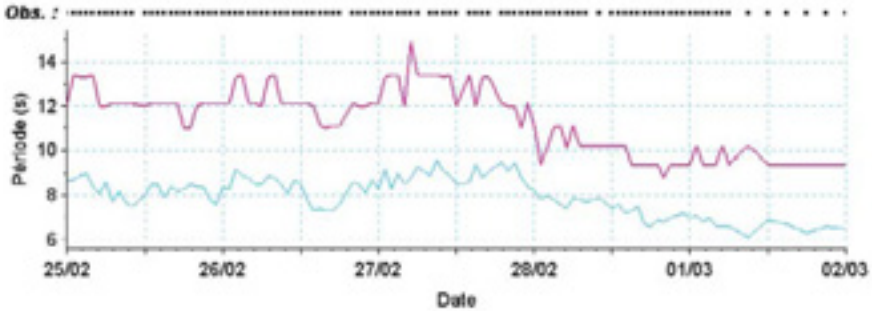
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

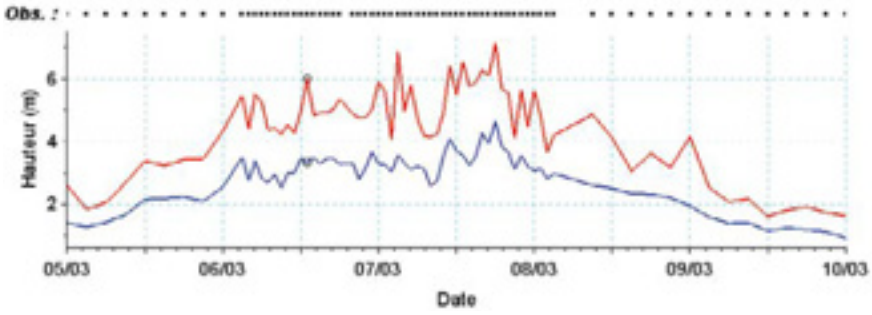


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
27/02 18:00	7.02	9.56	12.4	12.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Tempête du 07/03/04

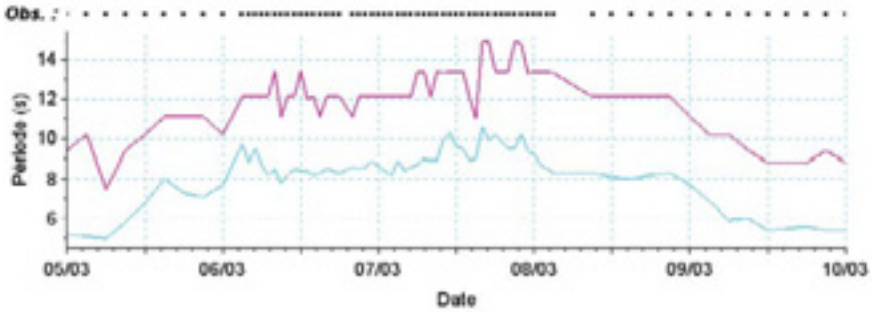
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
07/03 18:00	4.65	7.13	12.7	12.4	4.82	13.4	10.2	12.1	NA	NA

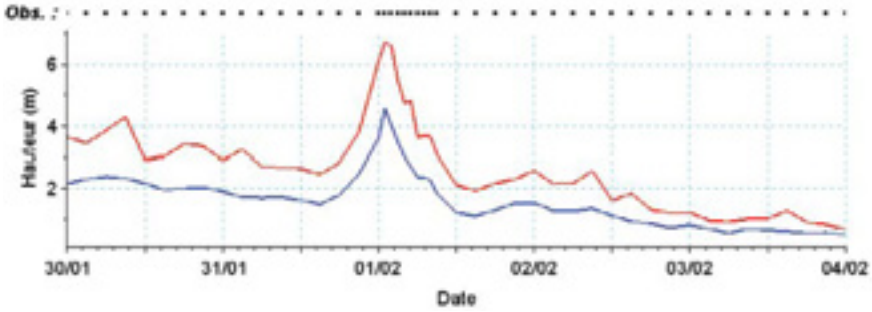
CANDHIS : 97404 – Pointe du Gouffre

Sélection des événements remarquables

Tempête du 01/02/08

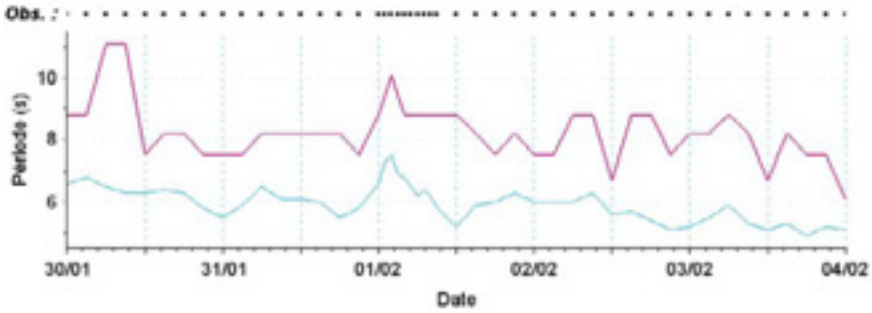
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
H_{max}
$H_{1/3}$
|Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
T_p
T_{02}

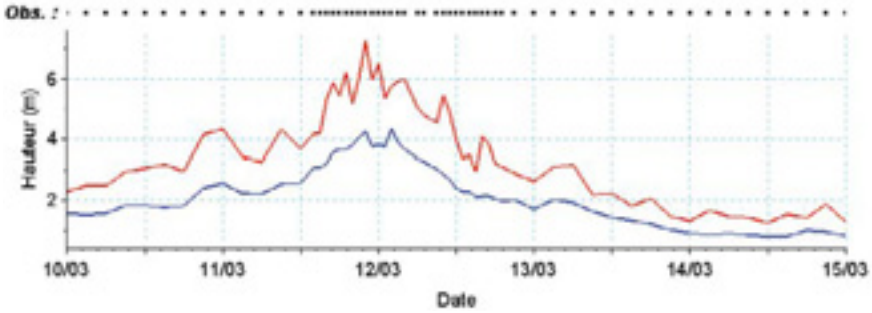


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
01/02 01:00	4.59	6.72	8.8	8.4	5.11	9.4	7.3	8.4	NA	NA

Tempête du 12/03/02

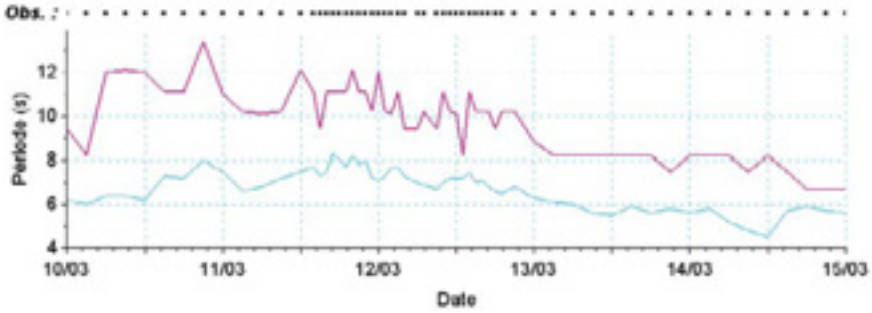
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
H_{max}
$H_{1/3}$
|Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
T_p
T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
12/03 02:00	4.35	5.76	9.5	10.9	4.51	10.1	7.7	9.0	NA	NA

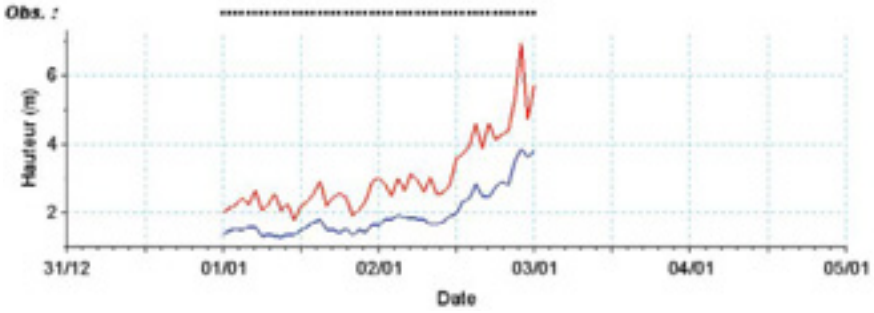
CANDHIS : 97404 – Pointe du Gouffre

Sélection des événements remarquables

Tempête du 02/01/13

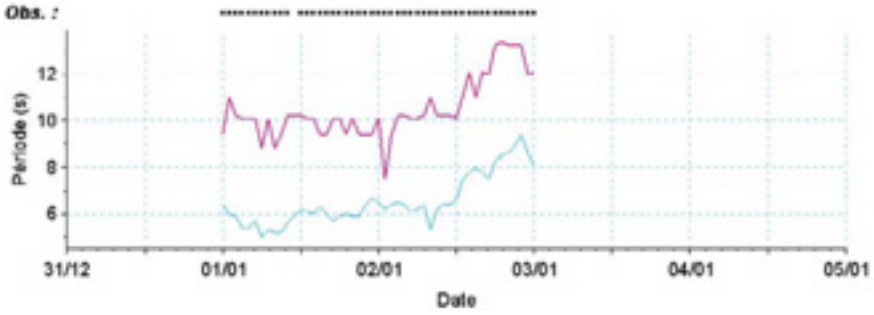
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

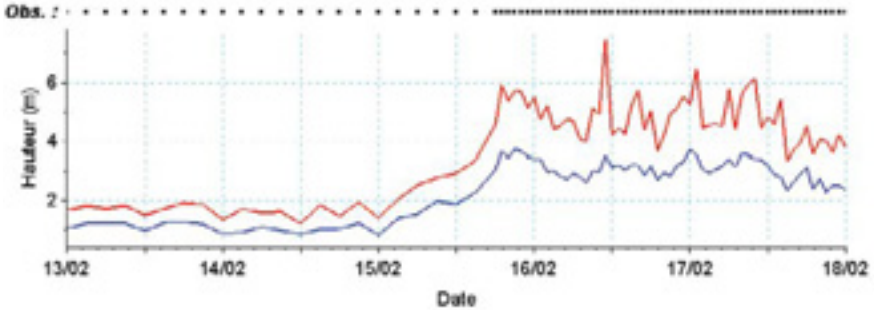


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
02/01 22:00	3.86	6.93	12.4	13.6	4.27	13.3	9.4	12.0	NA	NA

Tempête du 15/02/08

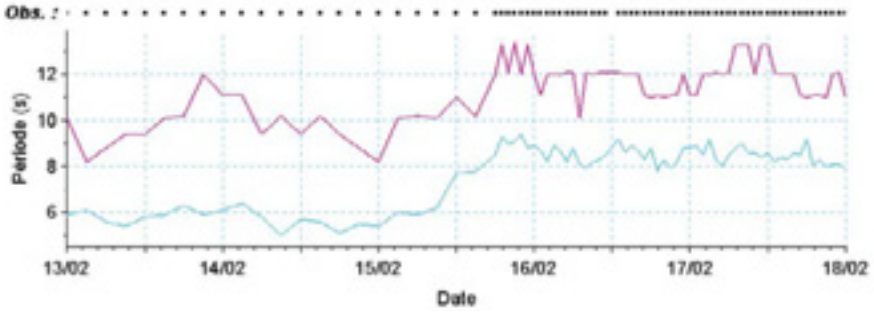
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
15/02 21:00	3.73	5.71	11.1	12.6	3.95	13.4	9.1	11.0	NA	NA

CANDHIS : 97405 – Saint Pierre

Informations générales

Durée d'observation :
6.31 ans
du 26/09/00 au 16/11/10

Mesures directionnelles : Non

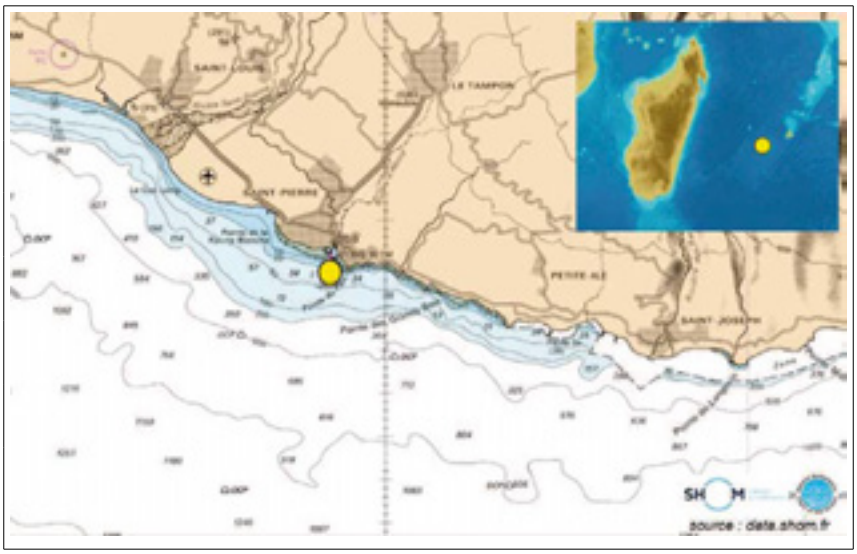
Longitude : 55°28.66'E

Latitude : 21°21.17'S

Profondeur : 27 m

Distance à la côte : 0.3 mile

Marnage (VEM) : 1 m



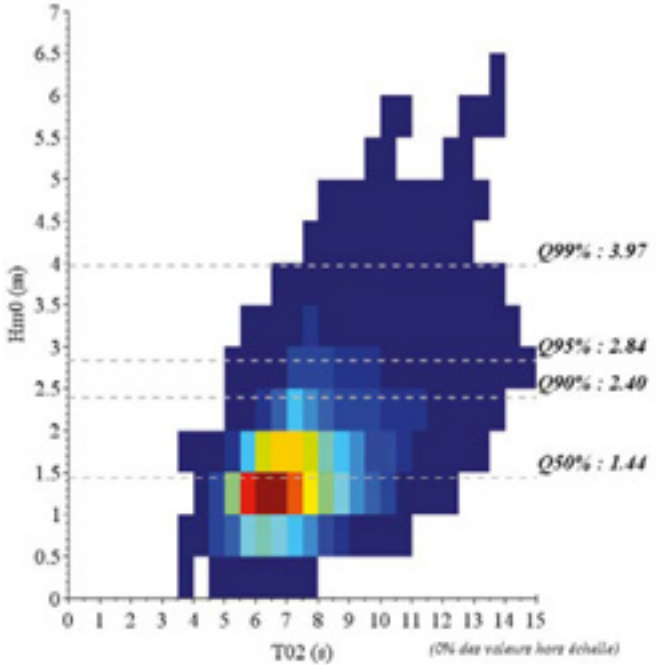
Taux de disponibilité :

	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	14.6%	90.3%	77.7%	87.2%	22.5%
2001	99.3%	53.3%	24.2%	89.8%	95.3%	92.7%	92.5%	96.8%	96.3%	79.6%	91.4%	100.0%	84.3%
2002	96.1%	85.0%	79.1%	98.5%	95.8%	95.6%	87.6%	99.3%	91.8%	97.2%	98.5%	97.2%	93.5%
2003	98.5%	8.2%	-	48.8%	100.0%	99.4%	99.3%	98.1%	96.0%	99.3%	93.5%	93.3%	77.9%
2004	26.3%	-	-	-	-	-	8.9%	93.6%	82.4%	98.5%	56.3%	72.8%	36.6%
2005	87.2%	52.7%	99.3%	100.0%	99.3%	97.6%	84.3%	-	-	60.5%	100.0%	80.6%	71.8%
2006	100.0%	85.3%	100.0%	58.5%	70.2%	98.9%	52.3%	2.3%	100.0%	98.3%	100.0%	100.0%	80.5%
2007	100.0%	100.0%	82.9%	34.1%	34.0%	-	-	-	-	-	-	-	29.2%
Total	**64.2%**	**43.5%**	**44.1%**	**48.1%**	**53.7%**	**55.9%**	**55.9%**	**53.6%**	**61.9%**	**74.3%**	**69.6%**	**63.2%**	**57.3%**

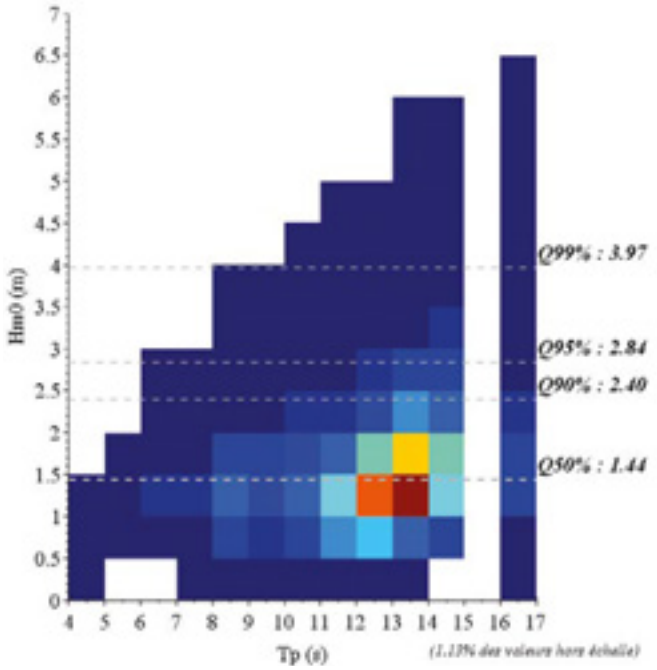
CANDHIS : 97405 – Saint Pierre

Climatologie moyenne

► H_{m0} fonction de T_{02}



► H_{m0} fonction de T_p



Échelle de couleurs normalisée :

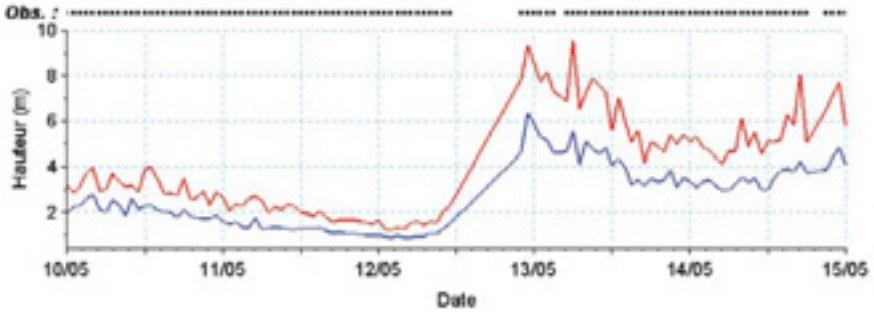
CANDHIS : 97405 – Saint Pierre

Sélection des événements remarquables

Tempête du 12/05/07

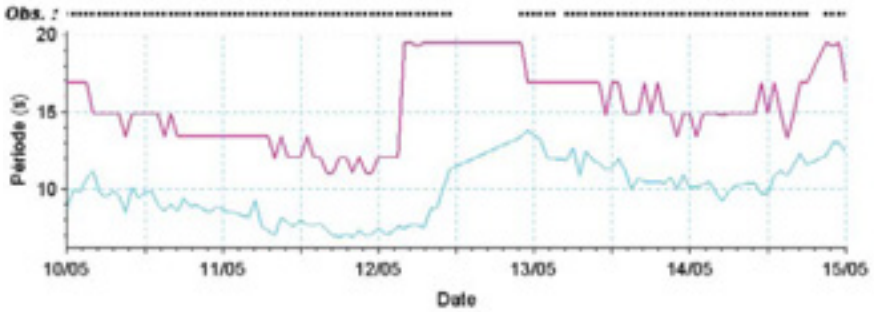
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

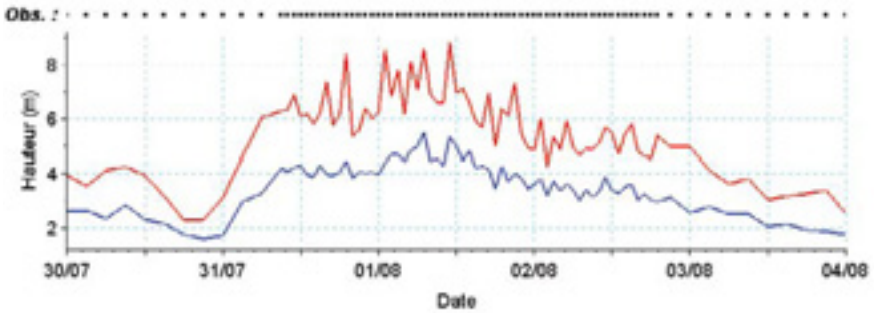


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
12/05 23:00	6.36	9.36	16.9	17.7	6.37	16.9	13.8	16.2	NA	NA

Tempête du 01/08/03

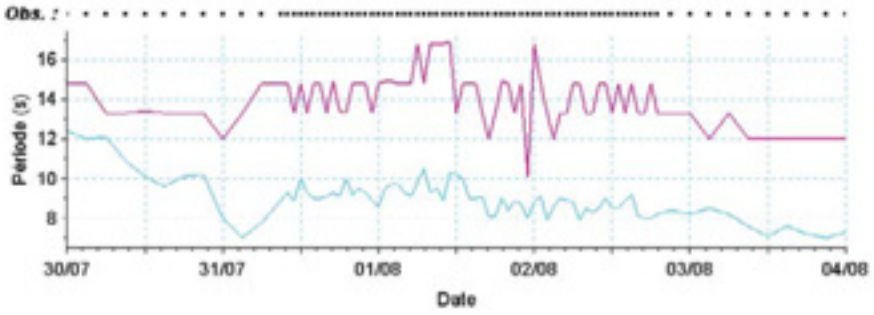
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
01/08 07:00	5.52	8.58	14.3	14.9	5.84	14.8	10.5	13.5	NA	NA

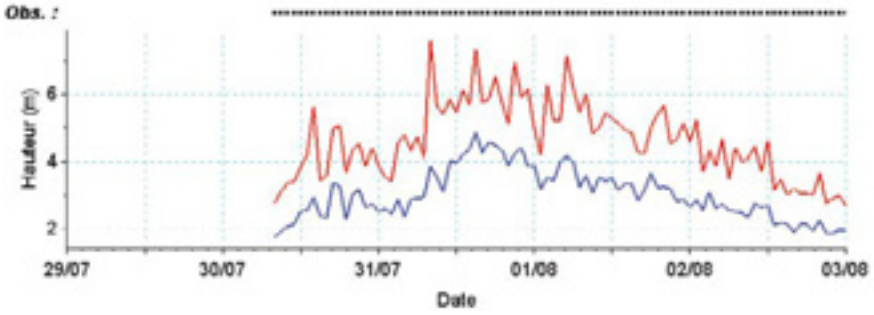
CANDHIS : 97405 – Saint Pierre

Sélection des événements remarquables

Tempête du 31/07/10

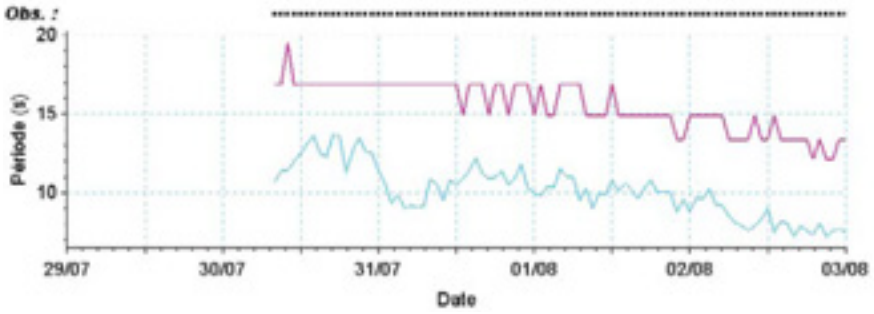
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

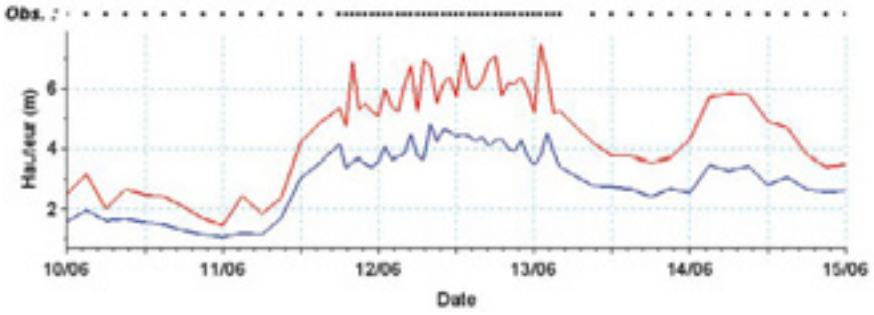


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
31/07 15:00	4.84	7.35	15.1	14.1	5.22	16.9	12.2	15.0	NA	NA

Tempête du 12/06/03

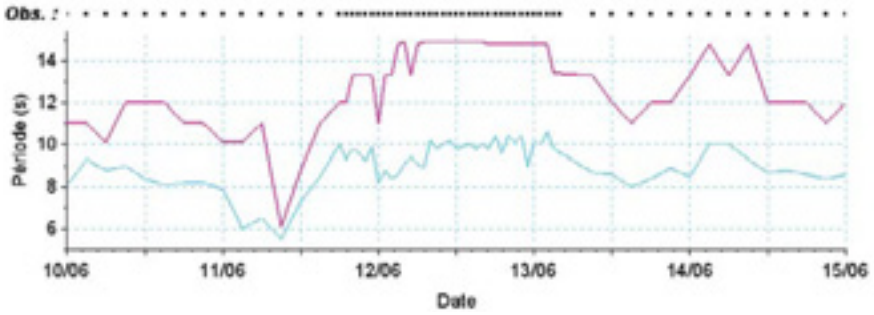
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
12/06 08:00	4.80	6.74	13.2	14.5	5.18	14.9	10.2	12.7	NA	NA

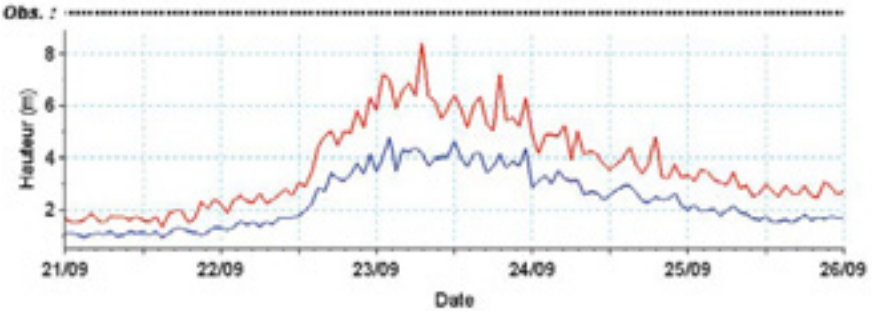
CANDHIS : 97405 – Saint Pierre

Sélection des événements remarquables

Tempête du 23/09/06

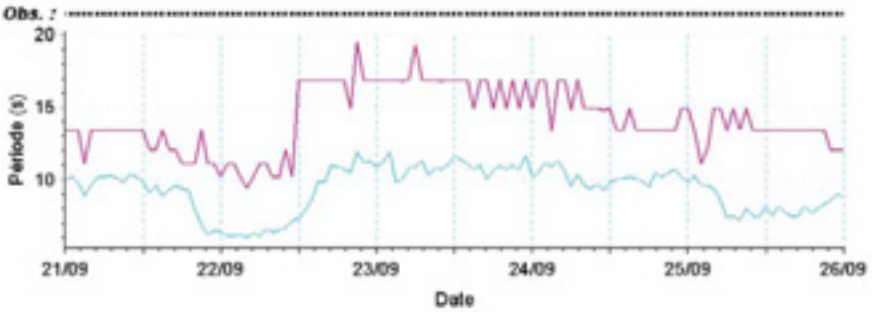
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
H_{max}
$H_{1/3}$
|Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
T_p
T_{02}

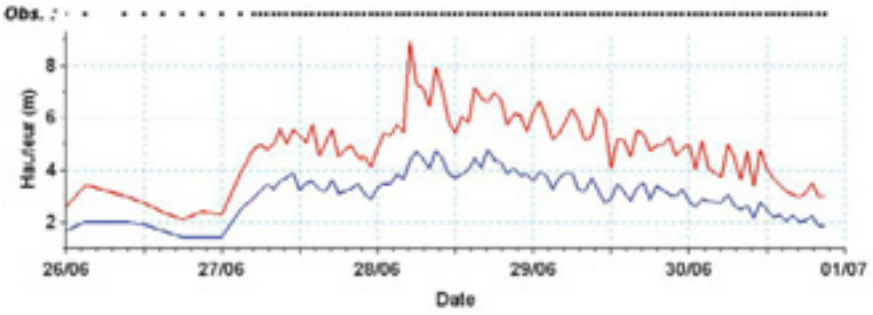


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
23/09 02:00	4.76	7.01	15.8	14.7	4.88	16.9	11.9	15.5	NA	NA

Tempête du 28/06/06

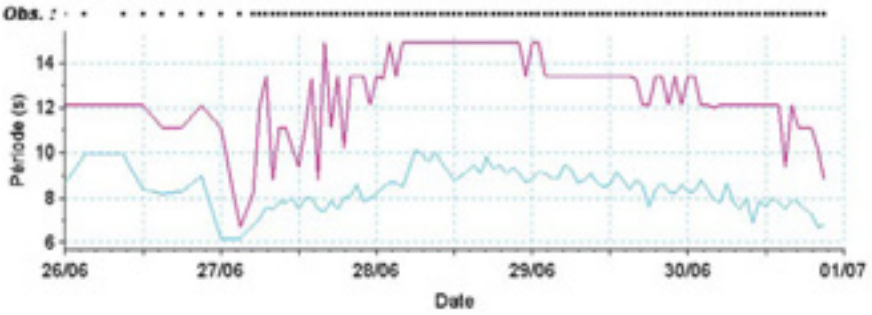
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
H_{max}
$H_{1/3}$
|Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
T_p
T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
28/06 17:00	4.75	6.59	13.0	13.1	4.98	14.9	9.8	12.4	NA	NA

CANDHIS : 97406 – Sainte Rose

Informations générales

Durée d'observation :
0.85 an
du 22/11/00 au 05/02/02

Mesures directionnelles : Non

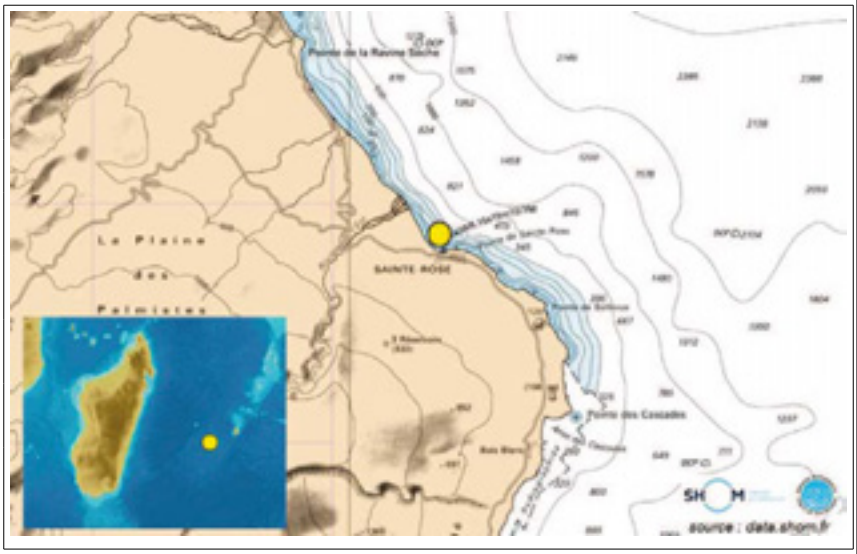
Longitude : 55°47.05'E

Latitude : 21°07.28'S

Profondeur : 35 m

Distance à la côte : 0.2 mile

Marnage (VEM) : 1 m



Taux de disponibilité :

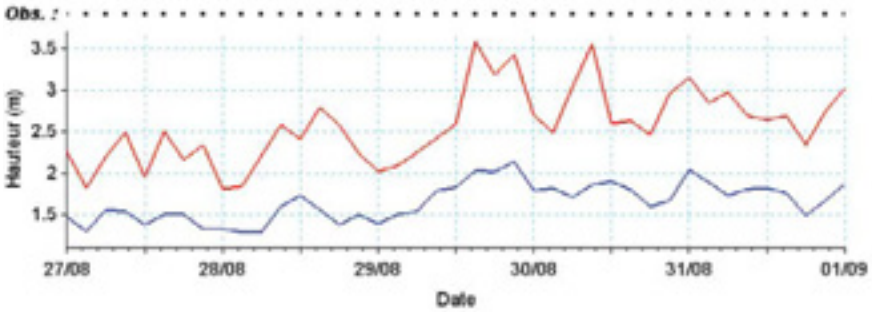
	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total
2001	13.6%	91.8%	85.0%	97.2%	99.3%	98.5%	100.0%	97.6%	48.9%	27.8%	96.9%	99.3%	79.7%
2002	67.7%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6%
Total	**40.7%**	**45.9%**	**42.5%**	**48.6%**	**49.6%**	**49.2%**	**50.0%**	**48.8%**	**24.4%**	**13.9%**	**48.4%**	**49.6%**	**42.6%**

Sélection des événements remarquables

Tempête du 29/08/01

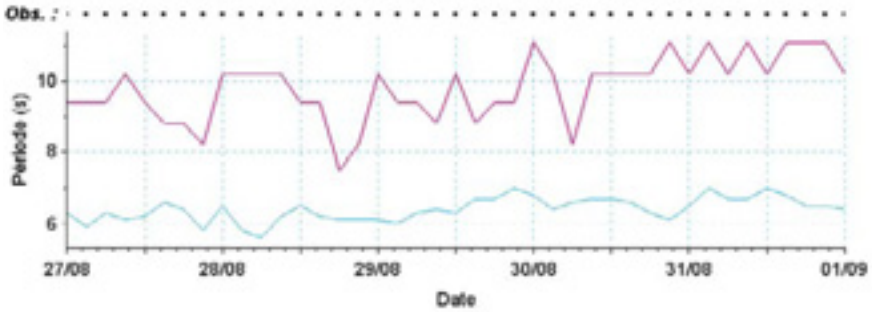
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
H_{max}
$H_{1/3}$
|Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
T_p
T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
29/08 21:00	2.14	3.43	8.6	8.5	2.29	9.4	7.0	8.2	NA	NA

Annexes

CANDHIS : 97407 – Vincendo

Informations générales

Durée d'observation :
2.59 ans
du 03/09/04 au 20/03/09

Mesures directionnelles : Non

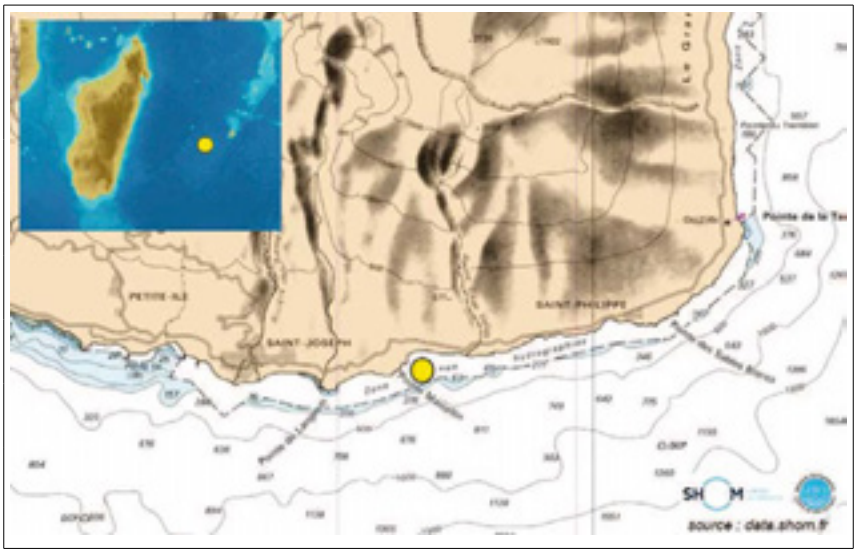
Longitude : 55°40.86'E

Latitude : 21°22.86'S

Profondeur : 30 m

Distance à la côte : 0.3 mile

Marnage (VEM) : 1 m



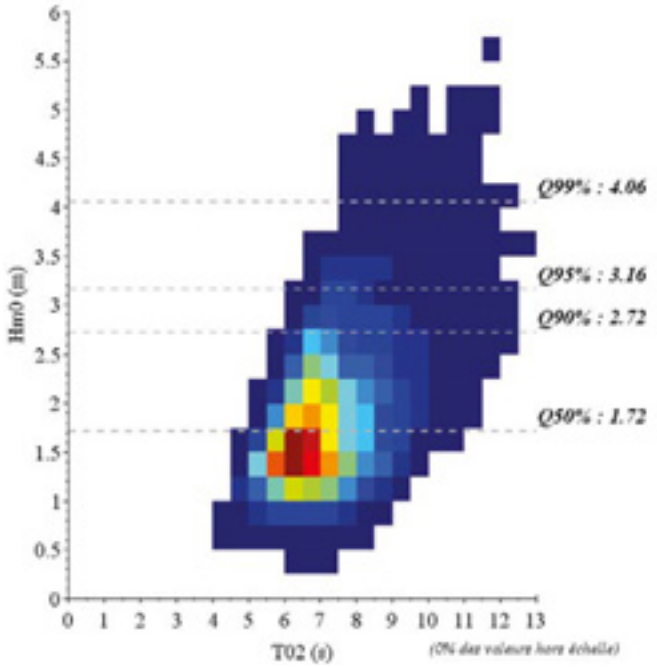
Taux de disponibilité :

	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	86.5%	99.3%	100.0%	96.4%	31.8%
2005	99.3%	98.7%	58.3%	30.1%	66.5%	22.8%	89.6%	100.0%	50.2%	33.3%	100.0%	99.3%	70.7%
2006	45.1%	77.7%	100.0%	100.0%	100.0%	99.9%	99.3%	76.6%	79.1%	-	-	-	64.8%
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
2008	8.7%	86.4%	27.4%	75.6%	70.7%	63.5%	21.0%	96.3%	95.7%	95.8%	100.0%	96.4%	69.8%
2009	100.0%	99.2%	60.6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.7%
Total	**42.2%**	**60.3%**	**41.1%**	**34.3%**	**39.5%**	**31.1%**	**35.0%**	**45.5%**	**51.9%**	**38.1%**	**50.0%**	**48.7%**	**43.1%**

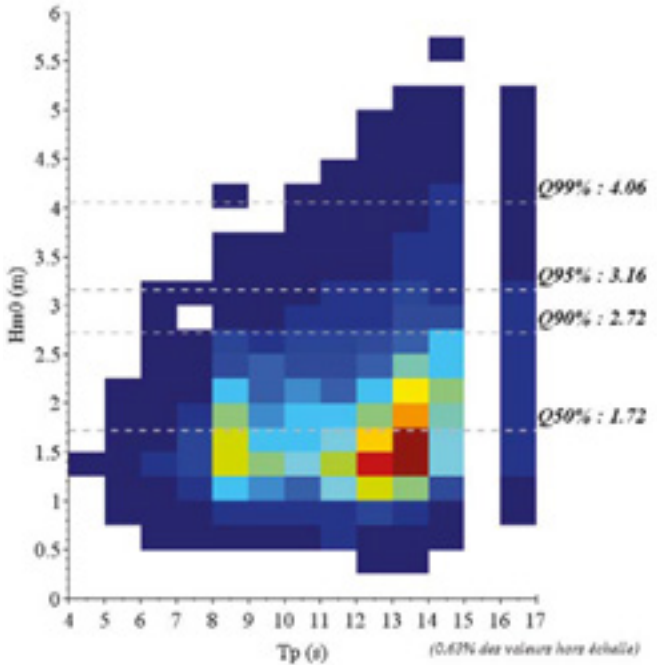
CANDHIS : 97407 – Vincendo

Climatologie moyenne

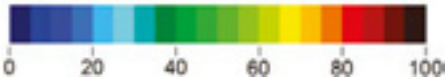
► H_{m0} fonction de T_{02}



► H_{m0} fonction de T_p



Échelle de couleurs normalisée :



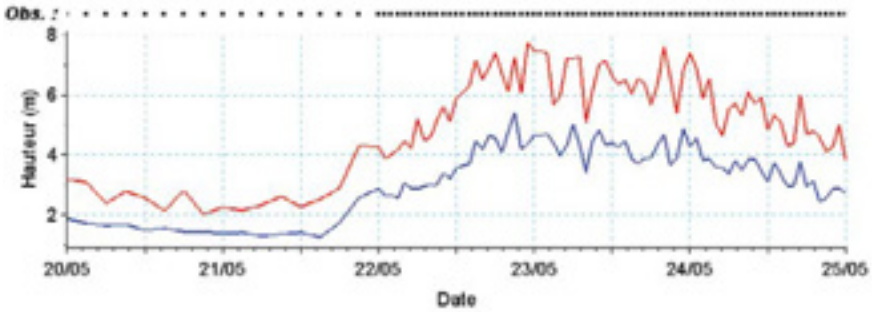
CANDHIS : 97407 – Vincendo

Sélection des événements remarquables

Tempête du 22/05/05

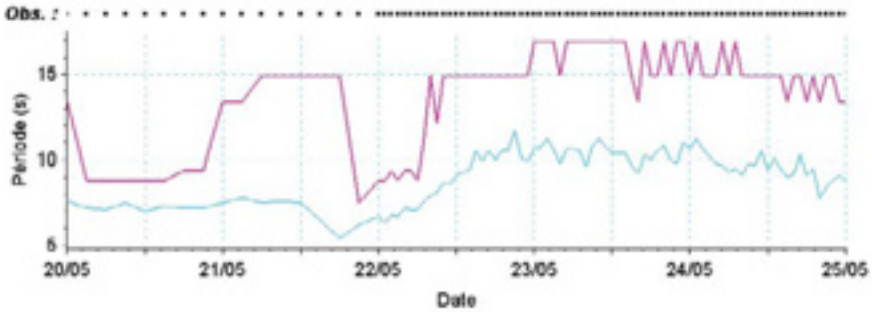
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}

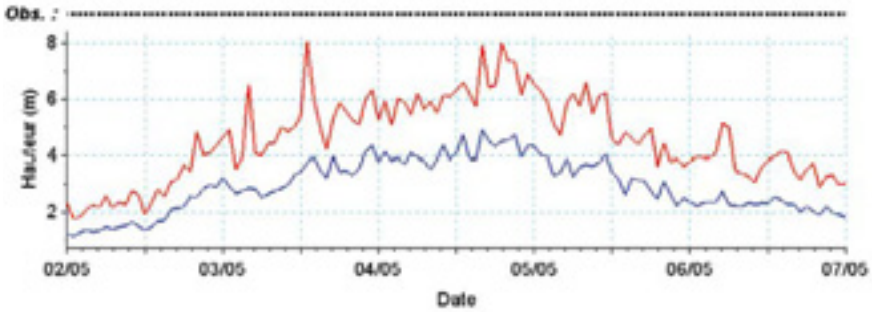


Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
22/05 21:00	5.43	7.27	14.9	13.7	5.65	14.9	11.7	14.2	NA	NA

Tempête du 04/05/06

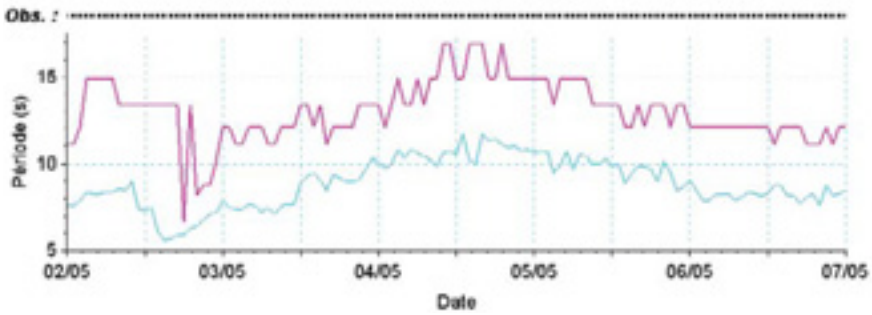
Évolution de H_{max}, $H_{1/3}$

Légende :
- H_{max}
- $H_{1/3}$
- |Skew|>0.25 & Kurt>4 ○



Évolution de T_p, T_{02}

Légende :
- T_p
- T_{02}



Pic du	$H_{1/3}$ (m)	H_{max} (m)	$T_{H1/3}$ (s)	T_{Hmax} (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	T_{02} (s)	T_e (s)	Dir_p (°)	Etal (°)
04/05 16:00	4.89	7.92	15.0	14.9	4.96	16.9	11.7	14.4	NA	NA

8.5 Fiches climatologiques de La Réunion (Météo-France)

Nomenclature des postes dans leurs région et commune respectives

REGION NORD

Commune	Nom du poste[1]	Numéro Insee	Date l'ouverture	Paramètres mesurés[2]	Altitude (en m)	Latitude Sud	Longitude Est
ST-DENIS	**La Grande Chaloupe** (Région Réunion)	97411141	01/10/1997	RR(97)	7	-20°53'52"	55°22'30"
	Le Brûlé-Val-Fleuri	97411164	01/09/1956	RR(56)	1065	-20°56'26"	55°25'58"
	Le Chaudron	97411132	01/01/1967	RR(67)	38	-20°53'49"	55°29'42"
	Montauban	97411155	01/10/2009	RR(09)	420	-20°56'19"	55°29'49"
	Plaine des Chicots	97411170	01/01/1982	RR, T(00)	1834	-20°59'14"	55°26'41"
	Pointe du Gouffre (Région Réunion)	97411105	01/10/1997	RR(97)	8	-20°52'55"	55°23'43"
	Radar Colorado	97411146	26/02/2003	RR(03), T(16)	746	-20°54'43"	55°25'19"
	St-François	97411150	01/03/1953	RR (53)	545	-20°55'17"	55°27'23"
STE-MARIE	*Beaufond Ste-Marie*	97418150	01/01/1958	RR(58)	225	-20°55'38"	55°33'34"
	Gillot-Aéroport	97418110	01/01/1953	RR, T, V, I, U, P(53) - Rg(83)	8	-20°53'33"	55°31'43"
	La Mare (CIRAD)	97418123	01/01/2001	RR, T, W, Rg(01)	68	-20°54'13"	55°31'55"
	Plaine des Fougères	97418170	01/06/1993	RR(93)	1062	-20°58'03"	55°31'41"

REGION NORD-EST

Commune	Nom du poste	Numéro Insee	Date l'ouverture	Paramètres mesurés	Altitude (en m)	Latitude Sud	Longitude Est
BRAS-PANON	**Bellevue Bras-Panon**	97402240	01/09/1990	RR, T, V, Rg(90), U(14)	480	-21°00'18"	55°37'22"
PLAINE-DES-PALMISTES	**Plaine-des-Palmistes**	97406220	01/01/1952	RR(52) - T(61) - V(87) - Rg(88), U(16)	1032	-21°08'10"	55°37'38"
ST-ANDRÉ	*Bois-Rouge*	97409210	01/01/1952	RR(52)	3	-20°54'50"	55°38'20"
	Le Colosse	97409230	01/03/1957	RR(57) - T, Rg(04)	16	-20°56'04"	55°39'52"
	Menciol	97409240	01/01/1953	RR(53) - T(61)	181	-20°57'40"	55°37'32"
ST-BENOÎT	**Beauvallon**	97410202	01/01/1952	RR(52) - T(01)	16	-21°00'29"	55°41'36"
	Chemin de Ceinture	97410265	24/07/2003	RR(03-11,->13)	255	-21°04'35"	55°41'08"
	St-Benoît	97410238	01/01/1952	RR(52)- T, V(87) -Rg(88), U(15)	43	-21°03'32"	55°43'10"
	Takamaka-PK12	97410250	01/11/1971	RR(71)	660	-21°04'35"	55°37'51"
STE-SUZANNE	**Bagatelle**	97420150	01/01/1953	RR(53) - T(01)	262	-20°55'52"	55°34'36"
	Bras-Pistolet	97420180	01/12/2002	RR, T(02)	555	-20°58'09"	55°35'15"
	Le Grand-Hazier (CIRAD)	97420110	01/01/1953	RR(53)	72	-20°54'19"	55°35'19"
SALAZIE	**Gîte de Bélouve**	97421260	01/09/1955	RR(55)	1500	-21°03'39"	55°32'11"
	Grand-Ilet	97421220	01/07/1973	RR(73), T(16)	1185	-21°01'43"	55°28'18"
	Hell-Bourg	97421270	01/11/1950	RR(50)	975	-21°03'58"	55°31'28"
	Ilet à Vidot	97421265	01/12/2003	RR(03)	940	-21°03'47"	55°30'37"
	Mare à Vieille Place	97421210	01/07/1989	RR, T(89)	870	-21°01'40"	55°30'44"
	Salazie Village	97421240	01/03/1996	RR(96)	476	-21°01'54"	55°32'19"

[1] **En gras** : les postes à mesure automatique.
En italique : les postes climatologiques bénévoles à mesure manuelle

[2] **Paramètres indiqués :** entre parenthèses figure, l'année en 2 chiffres de début des mesures du ou des paramètres. Les paramètres séparés par une virgule ont la même date de début de la mesure, les paramètres séparés par un tiret ont des dates de début de mesure différentes. Ainsi pour St-Benoît (RR(52)- T, V(87) -Rg(88)) : la pluie est mesurée depuis 1952, le vent et la température depuis 1987 et le rayonnement global depuis 1988.
D'autre part, pour certains paramètres, notamment l'humidité, il peut y avoir des trous, plus ou moins longs, dans la série de données.
En **bleu** sont indiqués les nouveaux postes ou nouveaux paramètres. Liste des paramètres principaux :

RR : mesure des précipitations
T : mesure des températures
V : mesure de la vitesse et de la direction du vent à 10 m
W : mesure du vent à 2 m pour les stations CIRAD
Rg : mesure du rayonnement global
I : mesure de l'insolation
U : mesure de l'humidité
P : mesure de la pression

REGION EST

Commune	Nom du poste	Numéro Insee	Date d'ouverture	Paramètres mesurés	Altitude (en m)	Latitude Sud	Longitude Est
ST-JOSEPH	**Cratère Commerson**	97412302	01/01/1968	RR(68)	2310	-21°12'29"	55°38'37"
	Grand-Coude	97412336	01/01/1978	RR(78) - T(90)	1085	-21°18'06"	55°37'53"
	Grand-Galet	97412340	06/08/1953	RR(53)	505	-21°18'40"	55°38'22"
	La Crête (CIRAD)	97412356	01/10/1968	RR(68)	650	-21°20'17"	55°40'02"
	St-Joseph (CIRAD)*	97412384	01/04/1960	RR(60) - T(91) - W, Rg(97)	17	-21°22'56"	55°36'24"
ST-PHILIPPE	**Le Baril**	97417360	01/02/1989	RR, T, V, Rg(89), U(15)	115	-21°21'34"	55°43'56"
	Le Tremblet	97417340	01/01/1953	RR(53)	90	-21°19'04"	55°48'04"
STE-ROSE	**Gîte de Bellecombe**	97419380	01/11/1966	RR(66) - T(68) - V, Rg(98)- U(12)	2245	-21°13'04"	55°41'13"
	Gros Piton Ste-Rose	97419350	01/09/1987	RR, T, V, Rg(87), U(17)	181	-21°10'46"	55°49'44"
	Hauts de Ste-Rose	97419320	01/07/1973	RR(73) - T(96)	820	-21°09'34"	55°45'49"
	Rivière de l'Est (CIRAD)	97419310	01/01/1953	RR(53) - Rg(07)	144	-21°07'13"	55°45'31"

REGION SUD

Commune	Nom du poste	Numéro Insee	Date d'ouverture	Paramètres mesurés	Altitude (en m)	Latitude Sud	Longitude Est
L'ENTRE-DEUX	**Bras-Long**	97403435	25/05/2013	RR, T(13)	510	-21°13'42"	55°28'29"
	Bras-Long-1	97403440	01/11/1966	RR(66)	430	-21°14'17"	55°28'15"
	Le Dimitile	97403410	27/09/2013	RR, T(13)	1808	-21°11'20"	55°28'53"
PETITE-ÎLE	**Petite-Ile** (CIRAD)	97405480	01/03/2000	RR, T, W, Rg (00)	155	-21°21'55"	55°33'30"
	Piton-Bloc (CIRAD)	97405420	01/01/1990	RR, W(90) - T, Rg(02)	813	-21°19'17"	55°34'21"
ST-PIERRE	**Ligne-Paradis** (CIRAD)	97416465	01/01/1966	RR, T(66) - W, Rg, U(97)	156	-21°19'09"	55°29'07"
	Pierrefonds (CIRAD)	97416415	01/01/1953	RR(53) - T, W, Rg(97)	61	-21°18'35"	55°26'16"
	Pierrefonds-Aéroport	97416463	01/01/1999	RR, T, V, U, P, Rg(13)	21	-21°19'12"	55°25'32"
	Ravine des Cabris (CIRAD)	97416410	01/01/1997	RR, T, W, Rg(97)	310	-21°16'28"	55°28'31"
LE TAMPON	*Bras-Sec*	97422445	01/08/1970	RR(70)	1210	-21°12'26"	55°31'32"
	Le Tampon-PK13 (CIRAD)	97422465	01/01/1958	RR, T(69) - W, Rg(02)	860	-21°15'06"	55°31'49"
	Plaine des Cafres	97422440	01/01/1948	RR(48) -T, V, U(65) - Rg(87)	1560	-21°12'33"	55°34'22"
	Pont d'Yves	97422455	19/07/1977	RR(77)	835	-21°13'53"	55°30'11"

* : *station en panne depuis le 22/07/2017*

REGION SUD-OUEST

Commune	Nom du poste	Numéro Insee	Date l'ouverture	Paramètres mesurés	Altitude (en m)	Latitude Sud	Longitude Est
LES AVIRONS	**Les Avirons** (CIRAD)	97401540	01/01/1952	RR(52) - Rg(02)	180	-21°14'28"	55°19'37"
	Le Tévelave	97401520	01/01/1953	RR(53)	908	-21°12'37"	55°21'34"
L'ÉTANG-SALÉ	**Pont-Mathurin**	97404540	01/06/1961	RR(61) - T, V, Rg(90), U(15)	20	-21°15'55"	55°22'48"
ST-LEU	**Colimaçons** (CIRAD)	97413520	01/08/1963	RR(63)-T(64)- Rg(97) V(16), U(16)	798	-21°07'49"	55°18'17"
	Etang-St-Leu (CIRAD)	97413550	01/02/2002	RR, T, W, Rg(02)	429	-21°10'24"	55°18'32"
	Ferme Corail	97413536	01/02/1990	RR(90)	3	-21°09'10"	55°16'49"
	Piton St-Leu (CIRAD)	97413580	01/02/1973	RR(73) - T, W, Rg(00)	530	-21°12'55"	55°19'33"
	St-Leu	97413542	01/10/1950	RR(50)	55	-21°10'52"	55°17'28"
	St-Leu (CIRAD)	97413545	01/01/1997	RR, W, Rg(97), T(16)	222	-21°11'14"	55°18'03"
ST-LOUIS	**Le Gol les Hauts** (CIRAD)	97414431	01/01/1997	RR, T, W, Rg(97)	365	-21°14'45"	55°25'41"
	Plaine des Makes	97414409	29/12/2004	RR, T(04)	980	-21°11'58"	55°24'33"
	Tapage (CIRAD)	97414451	25/03/2002	RR(02)	863	-21°13'29"	55°26'39"
CILAOS	**Cilaos**	97424410	01/01/1952	RR(52) - T(69) - V, Rg(89)- U(12)	1197	-21°08'03"	55°28'18"
	Ilet à Cordes	97424450	08/08/1977	RR(77)	1067	-21°09'13"	55°26'18"
	Palmiste-Rouge	97424460	01/01/1962	RR(62)	830	-21°10'07"	55°28'28"

REGION OUEST

Commune	Nom du poste	Numéro Insee	Date l'ouverture	Paramètres mesurés	Altitude (en m)	Latitude Sud	Longitude Est
LE PORT	**Le Port**	97407520	18/04/1971	RR(71) - T(74) - V, P(76) - Rg(85), U(15)	9	-20°56'46"	55°16'55"
LA POSSESSION	**Aurère**	97408560	01/01/1952	RR(52), T(16)	940	-21°01'08"	55°25'29"
	Dos d'Ane	97408540	01/11/1966	RR(66)	915	-20°58'52"	55°22'34"
	La Nouvelle	97408580	01/01/1970	R(70-06, 13→) -T(89-06, 13→)	1415	-21°04'36"	55°25'24"
	La Possession (Région Réunion)	97408510	01/10/1997	RR(97)	9	-20°55'17"	55°20'46"
ST-PAUL	**Bois-de-Nèfles** (CIRAD)	97415516	01/01/1952	RR(52) - T, W, Rg(02)	595	-20°59'51"	55°20'28"
	La Saline les Hauts (CIRAD)	97415581	01/09/1987	RR(87)	463	-21°04'40"	55°16'04"
	Le Guillaume	97415557	01/01/1953	RR(53)	1042	-21°03'52"	55°19'29"
	L'Ermitage (CIRAD)	97415550	01/05/2002	RR, T, W, Rg(02)	147	-21°03'11"	55°14'29"
	Petite-France	97415536	01/09/1999	RR(99) – T, V, Rg, U(11)	1200	-21°02'42"	55°20'31"
	Piton Maïdo	97415566	18/11/1998	RR, T, V, Rg(98)-U(11)	2195	-21°04'08"	55°23'14"
	Plateau-Caillou (CIRAD)	97415520	19/04/2007	RR(07)	242	-21°01'37"	55°16'06"
	Pointe des Trois Bassins	97415590	02/10/1987	RR, T, V, Rg (87)	5	-21°06'19"	55°14'52"
	St-Paul (CIRAD)	97415511	27/04/1997	RR, T, W, Rg(97)	186	-20°58'31"	55°19'30"
	Tan-Rouge (CIRAD)	97415541	01/01/1960	RR(60) - T, W, Rg, U(02)	750	-21°04'09"	55°17'59"
	Vue-Belle les Hauts (CIRAD)	97415579	11/09/2003	RR(03)	722	-21°04'55"	55°17'34"

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

FICHE CLIMATOLOGIQUE

Statistiques 1981–2010 et records

GILLOT–AEROPORT (974)

Indicatif : 97418110, alt : 8m, lat : 20°53'18"S, lon : 55°31'24"E

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
La température la plus élevée (°C)													Records établis sur la période du 01–01–1953 au 03–11–2019
	35.2	34	33.1	32.7	30.6	29.9	29	28.2	29.2	30.5	31.8	32.9	**35.2**
Date	28–1993	11–2012	01–2002	24–2018	05–2016	03–1978	28–2013	17–1994	23–2018	30–1991	23–2014	27–1993	**1993**
Température maximale (moyenne en °C)													
	30	30	29.8	29.1	27.5	26.1	25.2	25.3	25.9	26.9	28.1	29.1	**27.7**
Température moyenne (moyenne en °C)													
	26.6	26.7	26.4	25.5	23.9	22.4	21.6	21.6	22.1	23.2	24.4	25.7	**24.2**
Température minimale (moyenne en °C)													
	23.2	23.5	23	22	20.3	18.7	17.9	17.8	18.3	19.5	20.7	22.3	**20.6**
La température la plus basse (°C)													Records établis sur la période du 01–01–1953 au 03–11–2019
	18.2	18.6	18.4	15.6	15.3	13.6	12.9	12.8	13	13.4	15	17.8	**12.8**
Date	08–1964	16–1957	09–1979	27–1956	23–2016	28–1957	29–1963	25–1991	05–1963	11–2006	03–1958	30–1954	**1991**
Nombre moyen de jours avec													
Tx >= 30°C	15.7	16.1	14.6	5.4	0.1	.	.	.	.	0.2	1.7	6.7	**60.4**
Tx >= 25°C	31.0	28.2	30.9	30.0	30.3	25.9	19.7	20.8	24.6	30.0	29.9	30.9	**332.2**
Tn >= 20°C	30.8	28.1	30.7	27.9	19.4	6.7	1.8	1.4	2.9	12.6	21.5	30.0	**213.7**
Tn <= 10°C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**.**
Tn <= 0°C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**.**
Tn : Température minimale, Tx : Température maximale													
La hauteur quotidienne maximale de précipitations (mm)													Records établis sur la période du 01–01–1953 au 03–11–2019
	365	335.9	354.4	215.7	121.9	139.4	90.6	118.8	91.9	77.6	212.4	295.4	**365**
Date	04–1987	05–1977	18–1958	21–1976	19–1972	08–1982	08–1987	22–1972	06–1969	11–1994	10–1962	30–1995	**1987**
Hauteur de précipitations (moyenne en mm)													
	278.6	351	232.5	154.3	97.6	76.9	57.8	57.8	50	43.4	70	188.7	**1658.6**
Nombre moyen de jours avec													
Rr >= 1 mm	13.3	14.3	13.0	11.3	9.6	7.2	8.8	9.6	8.1	7.1	5.9	11.1	**119.4**
Rr >= 5 mm	8.6	9.3	7.5	6.3	4.8	3.1	3.1	2.9	2.9	2.1	2.4	6.4	**59.4**
Rr >= 10 mm	6.3	6.8	4.9	3.8	2.6	1.9	1.4	1.3	1.4	1.0	1.4	4.1	**36.8**
Rr >= 50 mm	1.6	2.1	1.3	0.7	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.9	**7.7**
Rr >= 100 mm	0.3	0.7	0.5	0.1	.	0.1	.	.	.	.	0.1	0.3	**2.0**
Rr : Hauteur quotidienne de précipitations													

Edité le : 06/11/2019 dans l'état de la base

N.B.: La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues en l'état ou sous forme de produits dérivés est strictement interdite sans l'accord de METEO–FRANCE

METEO–FRANCE – Direction de la Production
42 avenue Gaspard Coriolis 31057 Toulouse Cedex
https://donneespubliques.meteofrance.fr

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

FICHE CLIMATOLOGIQUE

Statistiques 1981–2010 et records

GILLOT–AEROPORT (974)

Indicatif : 97418110, alt : 8m, lat : 20°53'18"S, lon : 55°31'24"E

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Degrés Jours Unifiés (moyenne en °C)													
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.
Rayonnement global (moyenne en J/cm²)												Statistiques établies sur la période 1984–2010	
	70892	60170	63492	54948	48279	44155	47822	53525	59736	67192	68326	71927	**710464.0**
Durée d'insolation (moyenne en heures)												Statistiques établies sur la période 1993–2010	
	216.6	194.7	215.3	220	212.6	215.8	221.7	210.9	208.1	210.3	211.2	219.7	**2556.9**
Nombre moyen de jours avec fraction d'insolation												Statistiques établies sur la période 1993–2010	
Données non disponibles													
Evapotranspiration potentielle (ETP Penman moyenne en mm)													
Données non disponibles													
La rafale maximale de vent (m/s)												Records établis sur la période du 01–01–1981 au 03–11–2019	
	53	48	26.2	30.5	24.1	23	25	26	25	23.7	25	34	**53.0**
Date	19–1993	13–1987	13–1995	24–2018	04–1995	03–2019	03–1995	15–1995	13–1997	15–1997	09–1999	08–1996	**1993**
Vitesse du vent moyenné sur 10 mn (moyenne en m/s)													
	5.2	5.3	5.3	5.1	5.1	5.2	5.8	6	5.7	5.8	5.4	5	**5.4**
Nombre moyen de jours avec rafales													
>= 16 m/s	4.4	6.8	7.1	5.4	6.4	7.7	10.8	11.2	7.9	6.7	4.3	3.2	**81.8**
>= 28 m/s	0.2	0.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.0	**0.5**
16 m/s = 58 km/h, 28 m/s = 100 km/h													
Nombre moyen de jours avec													
Brouillard	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Orage	2.9	3.6	1.5	1.0	0.4	.	0.0	.	.	0.0	0.5	1.8	**11.8**

– : donnée manquante . : donnée égale à 0

Ces statistiques sont établies sur la période 1981–2010 sauf pour les paramètres suivants : rayonnement global (1984–2010), insolation (1993–2010).

Edité le : 06/11/2019 dans l'état de la base

N.B.: La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues en l'état ou sous forme de produits dérivés est strictement interdite sans l'accord de METEO–FRANCE

METEO–FRANCE – Direction de la Production
42 avenue Gaspard Coriolis 31057 Toulouse Cedex
https://donneespubliques.meteofrance.fr

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

FICHE CLIMATOLOGIQUE

Statistiques 1981–2010 et records

PIERREFONDS–AEROPORT (974)

Indicatif : 97416463, alt : 21m, lat : 21°19'12"S, lon : 55°25'30"E

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
La température la plus élevée (°C)													Records établis sur la période du 01–10–1999 au 03–11–2019
	35.8	35.1	34.8	33.1	32	29.9	30.5	28.6	28.6	30.6	32.1	33.8	**35.8**
Date	15–2000	06–2004	06–2004	07–2019	13–2014	06–2015	02–2011	03–2005	27–2014	31–2004	25–2008	19–2014	**2000**
Température maximale (moyenne en °C)													Statistiques établies sur la période 1999–2010
	31.5	31.2	30.8	29.7	27.9	26.1	25.1	25.4	26.3	27.5	28.9	30.5	**28.4**
Température moyenne (moyenne en °C)													Statistiques établies sur la période 1999–2010
	27.6	27.4	26.9	25.8	24.1	22.2	21.2	21.3	22.1	23.3	24.7	26.4	**24.4**
Température minimale (moyenne en °C)													Statistiques établies sur la période 1999–2010
	23.7	23.7	23	21.8	20.3	18.2	17.3	17.1	17.9	19	20.4	22.4	**20.4**
La température la plus basse (°C)													Records établis sur la période du 01–10–1999 au 03–11–2019
	20.6	20.1	20.2	18.7	15.7	14.6	14.2	13.8	15.3	15.1	16.5	18.8	**13.8**
Date	18–2018	17–2002	29–2003	13–2014	31–2004	30–2004	02–2003	04–2003	18–2002	02–2003	01–2007	07–1999	**2003**
Nombre moyen de jours avec													Statistiques établies sur la période 1999–2010
Tx >= 30°C	27.8	23.0	23.6	11.9	2.5	.	.	.	.	0.1	4.6	22.4	**115.8**
Tx >= 25°C	31.0	28.3	31.0	30.0	30.3	23.7	18.4	22.6	27.0	29.7	30.0	30.8	**332.7**
Tn >= 20°C	31.0	28.3	31.0	28.0	18.4	3.0	0.8	0.5	1.5	6.3	19.7	30.3	**198.6**
Tn <= 10°C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**.**
Tn <= 0°C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	**.**
Tn : Température minimale, Tx : Température maximale													
La hauteur quotidienne maximale de précipitations (mm)													Records établis sur la période du 01–01–2000 au 03–11–2019
	228.4	92.8	115	82.8	54.2	41	51.6	46.6	50	59	145.6	47.8	**228.4**
Date	22–2002	27–2007	05–2006	24–2018	16–2003	03–2010	03–2002	17–2003	29–2015	22–2018	07–2009	19–2007	**2002**
Hauteur de précipitations (moyenne en mm)													Statistiques établies sur la période 1999–2010
	72.5	106.8	79	64.5	60.1	57.2	66.3	30.8	27.2	17.2	22.8	35.5	**639.9**
Nombre moyen de jours avec													Statistiques établies sur la période 1999–2010
Rr >= 1 mm	6.3	7.5	6.5	6.3	6.5	7.0	7.5	4.6	3.4	2.2	1.5	3.8	**62.7**
Rr >= 5 mm	2.8	4.5	3.9	3.3	3.0	3.6	3.1	1.3	1.7	1.0	0.6	1.8	**30.6**
Rr >= 10 mm	1.2	3.2	2.6	2.0	1.9	1.9	2.2	0.7	0.9	0.4	0.4	1.4	**18.6**
Rr >= 50 mm	0.2	0.7	0.1	0.3	0.1	.	0.1	.	.	.	0.1	.	**1.5**
Rr >= 100 mm	0.1	.	0.1	.	.	.	.	.	.	.	0.1	.	**0.3**
Rr : Hauteur quotidienne de précipitations													

Edité le : 06/11/2019 dans l'état de la base

N.B.: La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues en l'état ou sous forme de produits dérivés est strictement interdite sans l'accord de METEO–FRANCE

METEO–FRANCE – Direction de la Production
42 avenue Gaspard Coriolis 31057 Toulouse Cedex
https://donneespubliques.meteofrance.fr

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

FICHE CLIMATOLOGIQUE

Statistiques 1981–2010 et records

PIERREFONDS–AEROPORT (974)

Indicatif : 97416463, alt : 21m, lat : 21°19'12"S, lon : 55°25'30"E

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Degrés Jours Unifiés (moyenne en °C)													Statistiques établies sur la période 1999–2010
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.
Rayonnement global (moyenne en J/cm²)													
Données non disponibles													
Durée d'insolation (moyenne en heures)													
Données non disponibles													
Nombre moyen de jours avec fraction d'insolation													
Données non disponibles													
Evapotranspiration potentielle (ETP Penman moyenne en mm)													
Données non disponibles													
La rafale maximale de vent (m/s)													Records établis sur la période du 08–10–1999 au 03–11–2019
	50	35	26	32.1	24	25	28	25	28	25	29	22	**50.0**
Date	22–2002	25–2007	10–2015	24–2018	07–2004	01–2015	12–2006	29–2010	02–2003	21–2008	21–2002	31–2012	**2002**
Vitesse du vent moyenné sur 10 mn (moyenne en m/s)													Statistiques établies sur la période 1999–2010
	4.1	4.8	4.6	4.4	4.6	5.2	5.5	5.5	4.9	4.7	4.6	4	**4.7**
Nombre moyen de jours avec rafales													Statistiques établies sur la période 1999–2010
>= 16 m/s	5.5	8.6	9.3	7.6	7.5	11.7	12.9	14.2	9.8	8.7	6.5	5.0	**107.2**
>= 28 m/s	0.3	0.4	.	.	.	.	0.1	.	0.1	.	0.1	.	**0.9**
16 m/s = 58 km/h, 28 m/s = 100 km/h													
Nombre moyen de jours avec brouillard / orage / grêle / neige													
Données non disponibles													

– : donnée manquante . : donnée égale à 0

Ces statistiques sont établies sur la période 1981–2010 sauf pour les paramètres suivants : précipitations (1999–2010), température (1999–2010), vent (1999–2010).

Edité le : 06/11/2019 dans l'état de la base

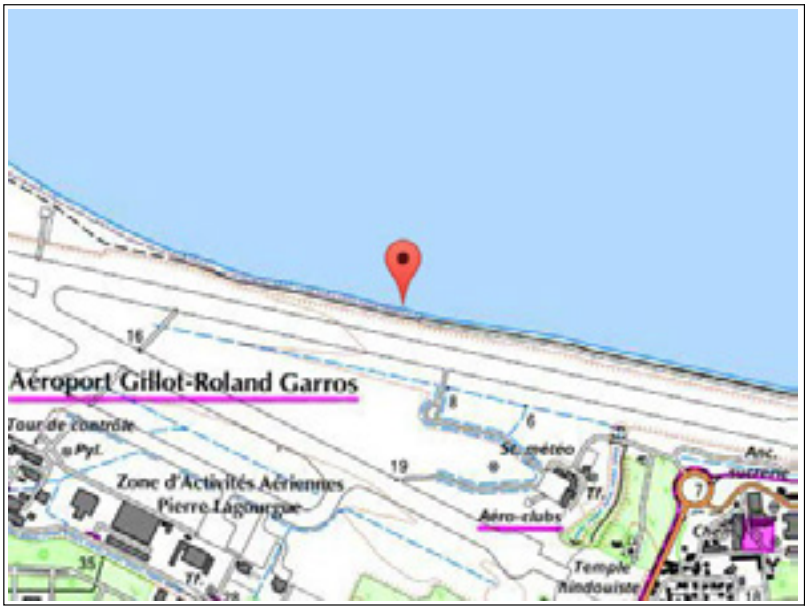
N.B.: La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues en l'état ou sous forme de produits dérivés est strictement interdite sans l'accord de METEO–FRANCE

METEO–FRANCE – Direction de la Production
42 avenue Gaspard Coriolis 31057 Toulouse Cedex
https://donneespubliques.meteofrance.fr

Editée le 23/10/2019
Données du 23/10/2019 à 12:10 UTC

97418110
GILLOT-AEROPORT
Aéroport de Saint-Denis Gillot

Emplacement du poste, plan au 1:13542



LOCALISATION	
Département:	LA REUNION(974)
Commune:	SAINTE-MARIE
Lieu-dit:	Aéroport de Saint-Denis Gillot
Latitude:	20°53'20" Sud
Longitude:	55°31'26" Est
Date localisation:	17/12/2007
Altitude:	8 m
Date d'ouverture:	01/01/1953
Date de fermeture:	Ouvert

EMPLACEMENTS SUCCESSIFS

Lieu_dit (lat,lon,altitude)	du	au
GILLOT - AEROPORT (20°52'48" Sud, 55°31'12" Est, 22 m)	01/01/1953	06/10/2004
Aéroport de Saint-Denis Gillot (20°53'20" Sud, 55°31'26" Est, 8 m)	07/10/2004	

QUALITE DU SITE

Paramètre	Classe(*)	Réf.	Début	Fin	Méthode	Date du relevé	Commentaire
Humidite	2	Nr35B	28/09/2016		2	27/09/2016	
Humidite	2	Nr35	01/01/1999	27/09/2016	2	24/01/2012	
Pluie	1	Nr35B	28/09/2016		2	27/09/2016	
Pluie	1	Nr35	01/01/1999	27/09/2016	2	24/01/2012	
Ray_glo_diff	1	Nr35B	28/09/2016		2	27/09/2016	
Ray_glo_diff	1	Nr35	01/01/1999	27/09/2016	2	24/01/2012	
Rugosite_e	1	Nr35B	01/01/1999		1	28/09/2016	
Rugosite_n	1	Nr35B	01/01/1999		1	28/09/2016	
Rugosite_o	3	Nr35B	01/01/1999		1	28/09/2016	
Rugosite_s	3	Nr35B	01/01/1999		1	28/09/2016	
Temperature	2	Nr35B	28/09/2016		2	27/09/2016	
Temperature	2	Nr35	01/01/1999	27/09/2016	2	24/01/2012	
Vent	1	Nr35	01/01/1999		2	24/01/2012	

CLASSE MESURES

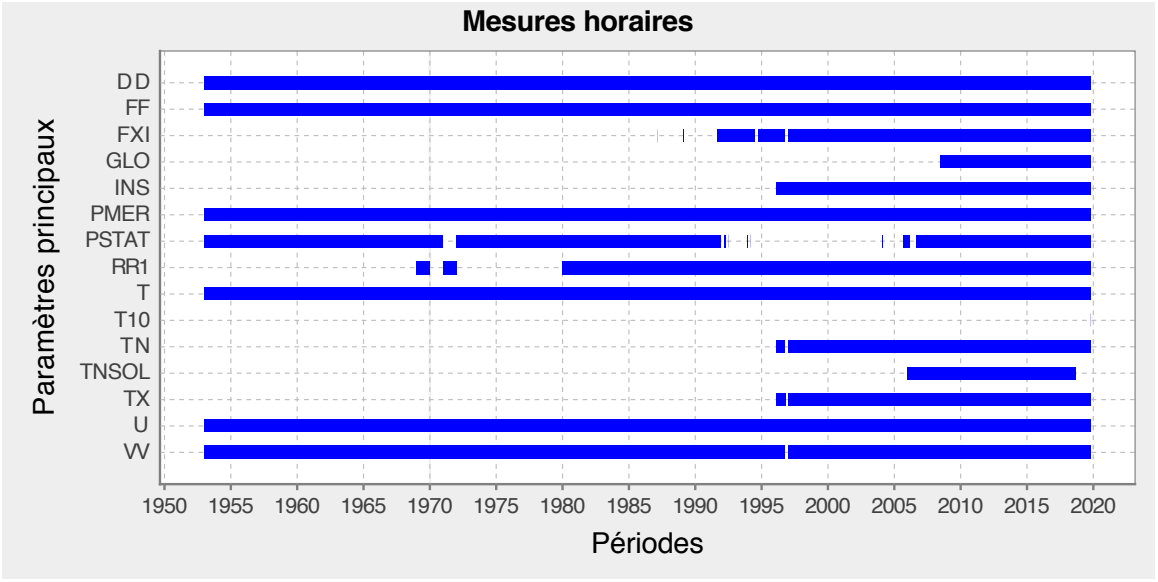
Paramètre	Classe(**)	Ref.	Début	Fin	Date du relevé	Commentaire
Humidite	B	NS/162/07	02/11/2007		02/11/2007	
Pluie	B	NS/162/07	02/11/2007		02/11/2007	
Pression	B	NS/162/07	02/11/2007		02/11/2007	
Rayonnement	B	NS/162/07	02/11/2007		02/11/2007	
Tempe_a	B	NS/162/07	02/11/2007		02/11/2007	
Tempe_s	B	NS/162/07	02/11/2007		02/11/2007	

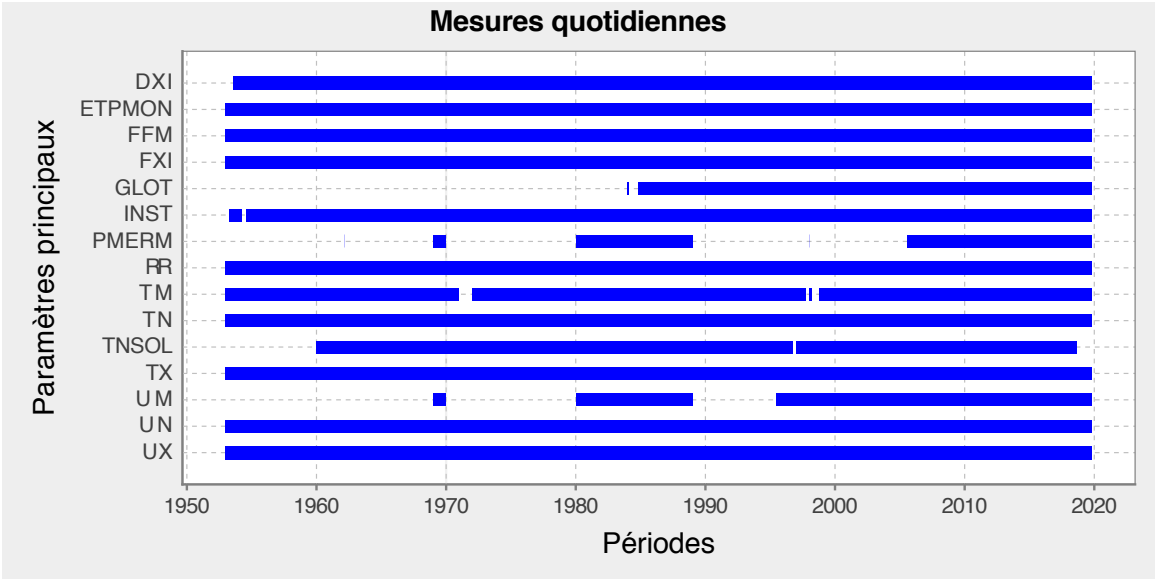
CLASSE MESURES						
Paramètre	**Classe(**)**	**Ref.**	**Début**	**Fin**	**Date du relevé**	**Commentaire**
Temperature	B	NS/162/07	02/11/2007		02/11/2007	
Vent	B	NS/162/07	02/11/2007		02/11/2007	
Visibilite	B	NS/162/07	02/11/2007		02/11/2007	

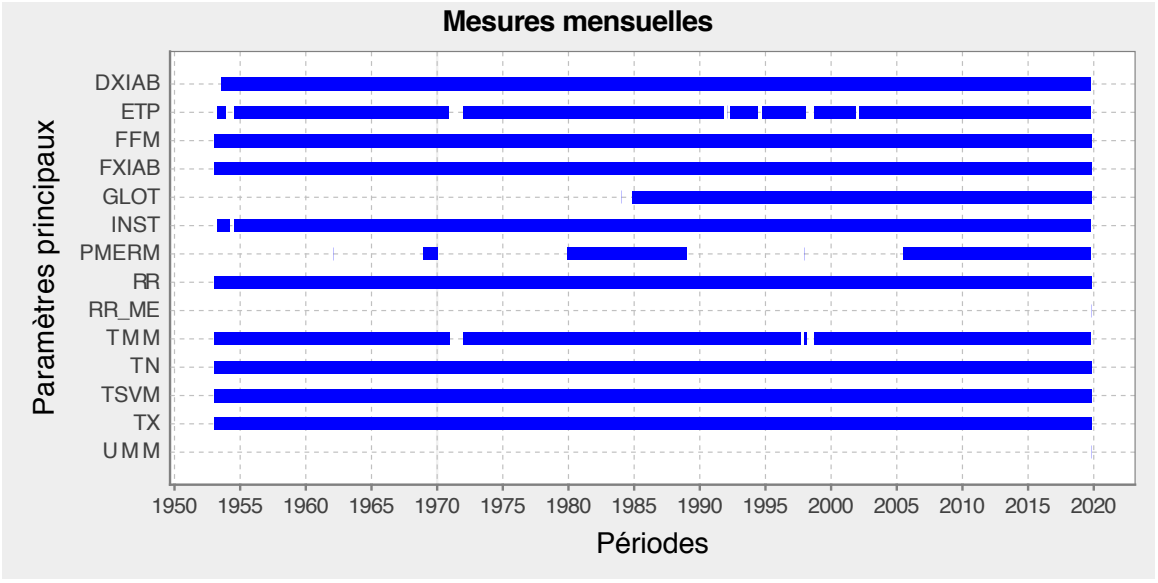
INSTRUMENTS							
Capteur	**Début**	**Fin**	**Modèle**	**H. capteur**	**Alti.**	**Lat_100**	**Lon_100**
ABRI METEO	04/09/2014		Abri météo réduit avec support		8	-208925	553172
STATION AUTO	15/06/2008		Opale				
STATION AUTO	01/09/1994	27/06/2008	MIRIA OM 16V		8	205355	553172
CAPTEUR TEMPS PRESENT	30/10/2018		Capteur Temps présent Vaisala PWD 22		8	-208925	553172
TELEMETRE	16/05/2012		Télémètre Vaisala CL31		8	-208925	553172
BAROMETRE	21/03/2017		Baromètre Vaisala PTB220				
ANEMOMETRE	21/03/2017		Anémomètre Déolia 96		8	-208925	553172
ANEMOMETRE	14/03/2017		Anémomètre Déolia 96		8	-208925	553172
GIROUETTE	21/03/2017		Girouette Déolia 96		8		
GIROUETTE	14/03/2017		Girouette Déolia 96		8		
SONDE THERMOMETRIQUE	11/05/2016		Sonde Pyrocontrole au platine T° sol		8	-208925	553172
SONDE THERMOMETRIQUE	03/12/2013		Sonde Pyrocontrole au platine T° dans le sol				
SONDE THERMOMETRIQUE	03/12/2013		Sonde Pyrocontrole au platine T° air		8	-208925	553172
PLUVIOMETRE	18/04/2017		Détecteur de précipitations Thies		8	-208925	553172
PLUVIOMETRE	14/11/2013		Pluviomètre PM de 400 cm²		8	-208925	553172
SONDE HYGROMETRIQUE	21/03/2017	12/03/2019	Sonde humidité Vaisala HMP45D en 0-1 V		8	-208925	553172
SONDE HYGROMETRIQUE	12/03/2019		Sonde humidité Vaisala HMP110 en 0-1 V				
DIFFUSOMETRE	26/06/2008		Diffusomètre Degréane DF320				
PYRANOMETRE	20/09/2019		Pyranomètre K&Z CMP11				
PYRANOMETRE	13/01/2016	20/09/2019	Pyranomètre K&Z CM6B		8		
RADIOSONDE	14/03/2012	11/04/2018	Station de radiosondage SR10 intégrée		8	-208925	555287

Catalogue des mesures principales pour GILLOT-AEROPORT (97418110)

Ces diagrammes ne tiennent pas compte d'une absence de données inférieure à 4 mois.







* Définitions des classes de qualité de site

Vent		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
Nr35B	1	obstacles h > 4m doivent etre situes a plus de 30 fois leur hauteur, classe rugosite < 4
Nr35	1	obstacles h > 2m doivent etre situes a plus de 10 fois leur hauteur
Nr35B	2	obstacles h > 4m doivent etre situes a plus de 10 fois leur hauteur, classe rugosite < 5
Nr35	2	obstacles h > 3m doivent etre situes a plus de 10 fois leur hauteur
Nr35B	3	obstacles h > 4m doivent etre situes a plus de 5 fois leur hauteur
Nr35	3	obstacles h > 4m doivent etre situes a plus de 5 fois leur hauteur
Nr35B	4	obstacles h > 6m doivent situes a plus de 2.5 fois leur hauteur
Nr35	4	obstacles h > 6m doivent situes a plus de 2.5 fois leur hauteur
Nr35B	4S	hauteur de mesure non standard, applications particulieres
Nr35B	5	obstacles de hauteur > 8m dans un rayon de 25m
Nr35	5	obstacles de hauteur > 8m dans un rayon de 25m
Nr35B	5S	hauteur de mesure non standard, applications particulieres

Température			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	1	sources chaleur ou etendues eau a plus de 100m, vegetation < 10cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	1	sources chaleur ou etendues eau a plus de 100m, vegetation < 10cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 3°
Nr35	2	sources chaleur ou etendues eau entre 30 et 100m, vegetation < 25cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35B	2	sources chaleur ou etendues eau entre 30 et 100m, vegetation < 25cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°
Nr35B	3	sources chaleur ou etendues eau entre 10 et 30m, vegetation <25cm	pas d ombres portees si hauteur soleil >7°
Nr35	3	sources chaleur ou etendues eau entre 10 et 30m, vegetation <25cm	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	4	sources chaleur ou etendues eau a moins de 10m	ombres portees presentes si hauteur soleil > 5°
Nr35B	4	sources chaleur ou etendues eau a moins de 10m	ombres portees presentes si hauteur soleil > 7°
Nr35	5	au milieu de sources de chaleur ou d etendues d eau	
Nr35B	5	au milieu de sources de chaleur ou d etendues d eau	

Rugosité - tous secteurs		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
Nr35B	1	mer ouverte, fetch d au moins 5km, zo=0.0002m
Nr35	1	mer ouverte, fetch d au moins 5km, zo=0.0002m
Nr35	2	terrains bourbeux plats, neige, pas de vegetation ou d obstacles, zo=0.005m
Nr35B	2	terrains bourbeux plats, neige, pas de vegetation ou d obstacles, zo=0.005m
Nr35	3	terrain plat ouvert, herbe, rares obstacles isoles, zo=0.03m
Nr35B	3	terrain plat ouvert, herbe, rares obstacles isoles, zo=0.03m
Nr35	4	cultures basses, larges obstacles occasionnels : (distance au vent) / hauteur > 20, zo=0.1m
Nr35B	4	cultures basses, larges obstacles occasionnels : (distance au vent) / hauteur > 20, zo=0.1m
Nr35B	5	cultures elevees, obstacles disperses, 15 < (distance au vent) / hauteur < 20, zo=0.25m
Nr35	5	cultures elevees, obstacles disperses, 15 < (distance au vent) / hauteur < 20, zo=0.25m
Nr35	6	terres cloturees, buissons, obstacles nombreux : (distance au vent) / hauteur = 10, zo=0.5m
Nr35B	6	terres cloturees, buissons, obstacles nombreux : (distance au vent) / hauteur = 10, zo=0.5m
Nr35B	7	couverture reguliere par de larges obstacles (faubourgs, forets), zo=1m
Nr35	7	couverture reguliere par de larges obstacles (faubourgs, forets), zo=1m
Nr35B	8	centre ville avec batiments de differentes hauteurs
Nr35	8	centre ville avec batiments de differentes hauteurs

Rayonnement Global et/ou Diffus			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	1	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 5°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	1	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 5°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 2°
Nr35B	2	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 7°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°
Nr35	2	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 7°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	3	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 10°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°
Nr35B	3	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 15°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 10°
Nr35B	4	obstacles avec hauteur angulaire > 10° presents	ombres portees presentes si hauteur soleil > 7°
Nr35	4	obstacles avec hauteur angulaire > 10° presents	ombres portees presentes si hauteur soleil > 7°
Nr35	5	obstacles sur au moins 30% du trajet du soleil	ombres portees pendant au moins 30% du temps

Rayonnement Global et/ou Diffus			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	5	obstacles sur au moins 30% du trajet du soleil	

Rayonnement Direct			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	1		pas d ombres portees si hauteur soleil > 3°
Nr35B	1S	classe 1 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 3° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	2		pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35B	2S	classe 2 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	3		pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°
Nr35B	3S	classe 3 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	4		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee toute l'annee
Nr35B	4S		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee toute l'annee - zone specifique (montagne, littoral …)
Nr35B	5		ombres portees pendant + de 30% de la journee au moins un jour dans l'annee
Nr35B	5S		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee au moins un jour dans l'annee - zone specifique (montagne, littoral …)

Pluie		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
Nr35B	1	pente<19° et presence d'un brise-vent artificiel ou naturel:pluviometre entoure d'obstacles de hauteur angulaire uniforme entre 14 et 26,5°
Nr35	1	obstacles situes a plus de 4 fois leur hauteur, pente < 19°
Nr35B	2	obstacles situes a plus de 2 fois leur hauteur, pente < 19°
Nr35	2	obstacles situes a plus de 2 fois leur hauteur, pente < 19°
Nr35	3	obstacles situes a plus de 1 fois leur hauteur, pente < 30°
Nr35B	3	obstacles situes a plus de 1 fois leur hauteur, pente < 30°
Nr35	4	obstacles situes a moins de 1 fois leur hauteur, pente > 30°
Nr35B	4	obstacles situes a plus de la moitie leur hauteur, pente > 30°
Nr35B	4S	classe 4 liee a la pente uniquement
Nr35B	5	obstacles situes a moins de la moitie leur hauteur
Nr35	5	obstacles situes au dessus du pluviometre
Nr35B	5S	application particulieres

Insolation			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	1		pas d ombres portees si hauteur soleil > 3°
Nr35B	1S	classe 1 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 3° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	2		pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35B	2S	classe 2 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	3		pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°
Nr35B	3S	classe 3 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	4		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee toute l'annee
Nr35B	4S		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee toute l'annee - zone specifique (montagne, littoral …)
Nr35B	5		ombres portees pendant + de 30% de la journee au moins un jour dans l'annee
Nr35B	5S		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee au moins un jour dans l'annee - zone specifique (montagne, littoral …)

Humidité			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	1	sources chaleur ou etendues eau a plus de 100m, vegetation < 10cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	1	sources chaleur ou etendues eau a plus de 100m, vegetation < 10cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 3°
Nr35B	2	sources chaleur ou etendues eau entre 30 et 100m, vegetation < 25cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°

Humidité			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35	2	sources chaleur ou etendues eau entre 30 et 100m, vegetation < 25cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	3	sources chaleur ou etendues eau entre 10 et 30m, vegetation <25cm	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35B	3	sources chaleur ou etendues eau entre 10 et 30m, vegetation <25cm	pas d ombres portees si hauteur soleil >7°
Nr35	4	sources chaleur ou etendues eau a moins de 10m	ombres portees presentes si hauteur soleil > 5°
Nr35B	4	sources chaleur ou etendues eau a moins de 10m	ombres portees presentes si hauteur soleil > 7°
Nr35B	5	au milieu de sources de chaleur ou d etendues d eau	
Nr35	5	au milieu de sources de chaleur ou d etendues d eau	

* Qualité du site: Définition des méthodes employées	
1	examen visuel
2	examen avec outil simple
3	examen avec jumelles

** Définitions des classes de performance de la mesure d'un site

Visibilité		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	+/- 50 m en dessous de 600m +/- 10% entre 600 et 1500m +/-20% au dessus de 1500m
NR37	A	dans 95% des cas : incertitude de 50m en dessous de 600m, de 10% entre 600 et 1500m, de 20% au dessus de 1500m
NS/162/07	B	+/- 20% dans 90% des cas
NR37	B	dans 90% des cas : incertitude de 20% ou 50m
NS/162/07	C	+/- 40% de precision
NR37	C	dans 90 %, incertitude de 40 % ou 100m, entre 0 et 10kms
NS/162/07	D	capteur de performance inconnue
NR37	D	specifications moindres que la classe c ou pas de maintenance reguliere
NR37	E	performance et maintenance inconnues
NS/162/07	E	specifications inconnues

Vent		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	+/- 10% sur la vitesse +/- 5% sur la direction
NR37	A	incertitude de 10% ou 0,5m/s sur la vitesse et de 5° sur la direction
NS/162/07	B	+/- 10% sur la vitesse +/- 10% sur la direction et seuil de demarrage<1m/s
NR37	B	incertitude de 10% ou 0,5m/s sur la vitesse et de 10° sur la direction
NS/162/07	C	+/- 10% sur la vitesse +/- 10% sur la direction et seuil de demarrage< 2m/s
NR37	C	incertitude de 15% ou 0,5m/s sur la vitesse et de 20° sur la direction
NR37	D	incertitude superieure a 15% ou 1m/s sur la vitesse ou superieure a 20° sur la direction
NS/162/07	D	capteur de performance inconnue
NS/162/07	E	specifications inconnues
NR37	E	performance et maintenance inconnues

Température		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	incertitude globale de 0.1 deg c
NR37	A	incertitude globale de 0.2°c
NR37	B	incertitude globale de 0.5°c
NS/162/07	B	incertitude globale de 0.15 deg c
NR37	C	incertitude globale de 1°c
NS/162/07	C	incertitude globale de 0.4 deg c
NS/162/07	D	incertitude globale inconnue
NR37	D	incertitude globale pouvant etre superieure a 1°c
NR37	E	performance et maintenance inconnues
NS/162/07	E	specifications inconnues

Température dans le sol		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	incertitude globale de 0.2 deg c
NR37	A	incertitude de meure de 0,5°c
NS/162/07	B	incertitude globale de 0.15 deg c
NR37	B	incertitude de meure de 1°c
NS/162/07	C	incertitude globale de 0.4 deg c
NR37	C	incertitude de meure de 1,5°c
NS/162/07	D	incertitude globale inconnue
NR37	D	incertitude de meure pouvant etre superieure a 1,5°c
NR37	E	performance et maintenance inconnues
NS/162/07	E	specifications inconnues

Température au dessus du sol		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	incertitude globale de 0.2 deg c
NR37	A	incertitude de meure de 0,5°c
NS/162/07	B	incertitude globale de 0.15 deg c
NR37	B	incertitude de meure de 1°c
NS/162/07	C	incertitude globale de 0.4 deg c
NR37	C	incertitude de meure de 1,5°c
NS/162/07	D	incertitude globale inconnue

Température au dessus du sol		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NR37	D	incertitude de meure pouvant etre superieure a 1,5°c
NR37	E	performance et maintenance inconnues
NS/162/07	E	specifications inconnues

Rayonnement Global et/ou Diffus et/ou Direct		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NR37	A	capteur de classe 1 iso ventile (incertitude inferieure a 5% sur les cumuls quotidiens)
NS/162/07	A	capteur de classe 1 ventile
NS/162/07	B	capteur de classe 1 non ventile
NR37	B	capteur de classe 1 iso non ventile
NR37	C	capteur de classe 2 iso non ventile
NS/162/07	C	capteur de classe 2
NR37	D	incertitude pouvant etre superieure a 10% pour les cumuls quotidiens
NS/162/07	D	capteur de performance inconnue
NS/162/07	E	specifications inconnues
NR37	E	performance et maintenance inconnues

Pression		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	incertitude de mesure de 0.1hpa
NR37	A	incertitude de mesure de 0.3hpa
NS/162/07	B	incertitude de mesure de 0.5hpa
NR37	B	incertitude de mesure de 0.5hpa
NS/162/07	C	incertitude de mesure de 1hpa
NR37	C	incertitude de mesure de 1hpa
NS/162/07	D	specifications plus laches ou capteur de performance inconnue
NR37	D	incertitude de meure pouvant etre superieure a 1ha
NS/162/07	E	specifications inconnues
NR37	E	performance et maintenance inconnues

Pluie		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	+/- 0.1mm pour rr<5mm et +/- 2% au dessus
NR37	A	incertitude inferieure a 5% ou 0,1mm
NS/162/07	B	capteur specifie pour +/- 5%
NR37	B	incertitude inferieure a 5% ou 0,2mm
NR37	C	incertitude inferieure a 10% ou 0,5mm
NS/162/07	C	capteur specifie pour +/- 10%
NS/162/07	D	capteur de performance inconnue
NR37	D	incertitude pouvant etre superieure a 10%
NR37	E	performance et maintenance inconnues
NS/162/07	E	specifications inconnues

Humidité		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NR37	A	incertitude de mesure de 3%
NS/162/07	A	incertitude de mesure de 1%
NS/162/07	B	incertitude de mesure de 6%
NR37	B	incertitude de mesure de 6%
NS/162/07	C	incertitude de mesure de 10%
NR37	C	incertitude de mesure de 10%
NR37	D	incertitude de mesure pouvant etre superieure a 10%
NS/162/07	D	incertitude de mesure > 10%
NS/162/07	E	specifications inconnues
NR37	E	performance et maintenance inconnues

Editée le 23/10/2019
Données du 23/10/2019 à 16:10 UTC

97416463
PIERREFONDS-AEROPORT
Aéroport de Saint-Pierre Pierrefonds

Emplacement du poste, plan au 1:13542

LOCALISATION	
Département:	LA REUNION(974)
Commune:	SAINT-PIERRE
Lieu-dit:	Aéroport de Saint-Pierre Pierrefonds
Latitude:	21°19'12" Sud
Longitude:	55°25'32" Est
Date localisation:	18/12/2007
Altitude:	21 m
Date d'ouverture:	01/01/1999
Date de fermeture:	Ouvert

EMPLACEMENTS SUCCESSIFS

Lieu_dit (lat,lon,altitude)	du	au
Aéroport de Saint-Pierre Pierrefonds (21°19'12" Sud, 55°25'32" Est, 21 m)	01/01/1999	

QUALITE DU SITE

Paramètre	Classe(*)	Réf.	Début	Fin	Méthode	Date du relevé	Commentaire
Humidite	1	Nr35	01/01/1999		1	16/04/2012	
Pluie	1	Nr35	01/01/1999		1	16/04/2012	
Ray_glo_diff	1	Nr35	01/01/1999		1	16/04/2012	
Rugosite_e	3	Nr35B	01/01/1999		1	28/09/2016	
Rugosite_n	3	Nr35B	01/01/1999		1	28/09/2016	
Rugosite_o	3	Nr35B	01/01/1999		1	28/09/2016	
Rugosite_s	3	Nr35B	01/01/1999		1	28/09/2016	
Temperature	1	Nr35	01/01/1999		1	16/04/2012	
Vent	1	Nr35	01/01/1999		1	16/04/2012	

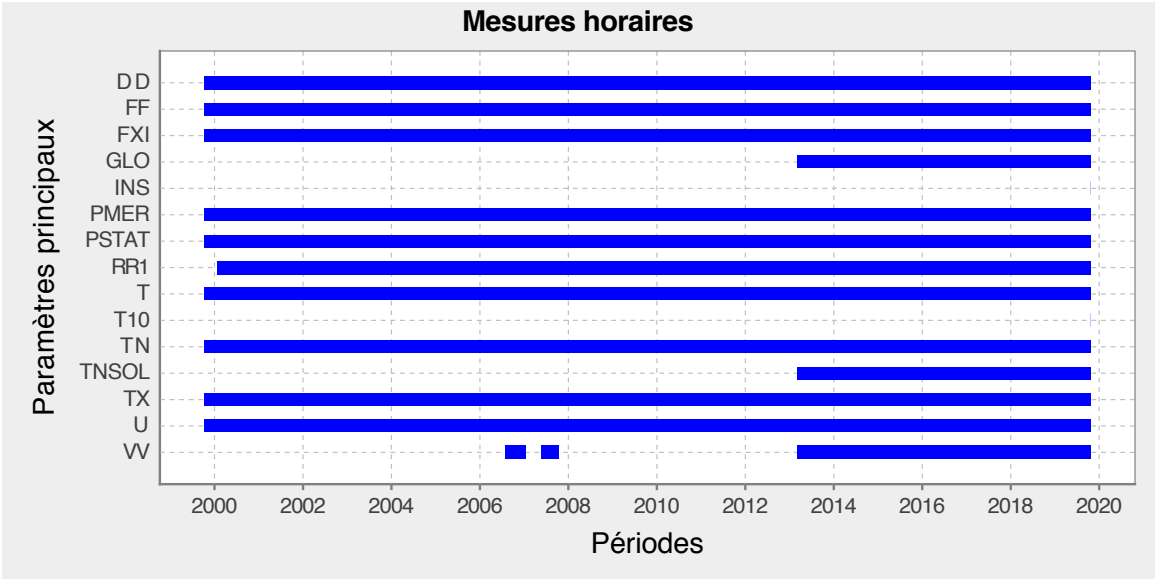
CLASSE MESURES

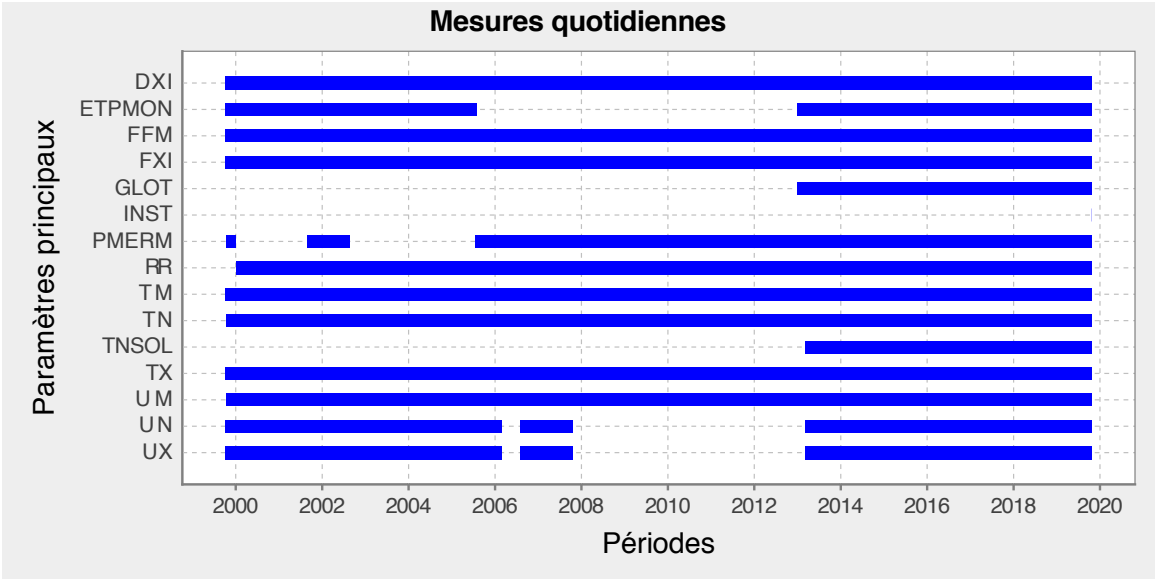
Paramètre	Classe(**)	Ref.	Début	Fin	Date du relevé	Commentaire
Pluie	B	NR37	07/03/2013		01/04/2013	
Pluie	E	NS/162/07	02/11/2007	06/03/2013	02/11/2007	
Pression	B	NR37	16/02/2016		01/03/2016	
Pression	E	NS/162/07	02/11/2007	15/02/2016	02/11/2007	
Temperature	B	NR37	06/03/2013		01/10/2016	
Temperature	E	NS/162/07	02/11/2007	05/03/2013	02/11/2007	
Vent	B	NR37	04/02/2016		01/10/2016	
Vent	E	NS/162/07	02/11/2007	03/02/2016	02/11/2007	

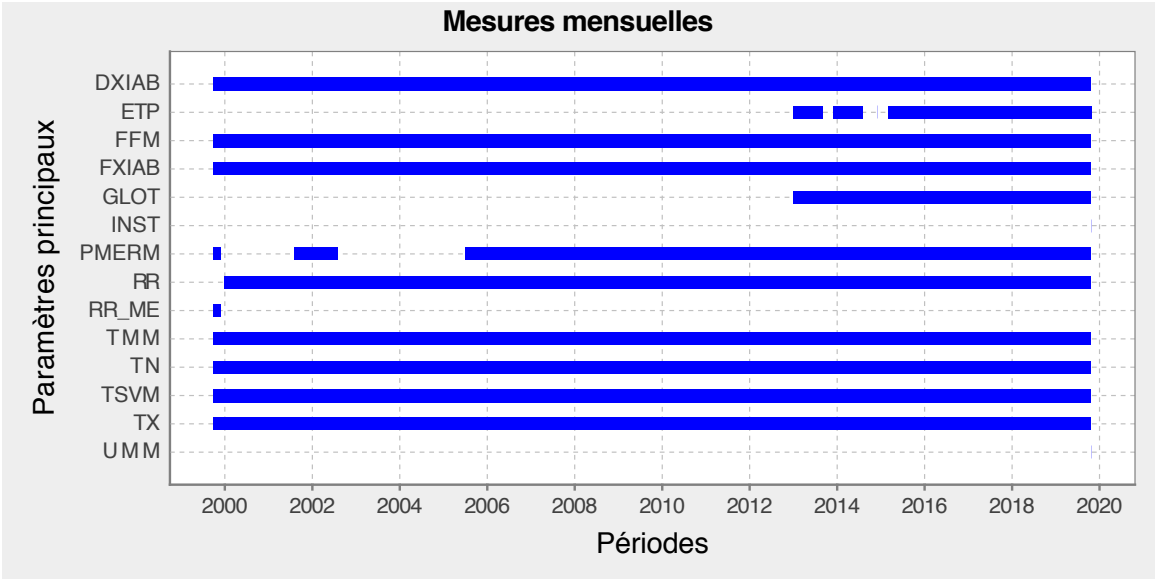
INSTRUMENTS							
Capteur	**Début**	**Fin**	**Modèle**	**H. capteur**	**Alti.**	**Lat_100**	**Lon_100**
ABRI METEO	07/03/2013		Abri météo réduit avec support		21	-211920	552553
ABRI METEO	06/03/2013		Radome : Abri miniature pour TT et UU (Bus CAN, tiges inox)		21	-211920	552553
STATION AUTO	20/12/1998	06/03/2013	MIRIA5		21	211920	552553
STATION AUTO	07/03/2013		SA_Opale		21	-211920	552553
CAPTEUR TEMPS PRESENT	04/09/2015		Capteur Temps présent Vaisala PWD 22				
TELEMETRE	07/03/2013		Télémètre Vaisala CL31				
BAROMETRE	16/02/2016		Baromètre Vaisala PTB220		21	-211920	552553
ANEMOMETRE	01/04/2009		Anémomètre Déolia 96		21	-211920	552553
GIROUETTE	01/04/2009		Girouette Déolia 96		21	-211920	552553
SONDE THERMOMETRIQUE	14/02/2013		Sonde Pyrocontrole au platine T° air		21	-211920	552553
SONDE THERMOMETRIQUE	07/03/2013		Sonde Pyrocontrole au platine T° air		21	-211920	552553
PLUVIOMETRE	07/03/2013		Pluviomètre PM de 400 cm²		21	-211920	552553
SONDE HYGROMETRIQUE	29/06/2016	22/01/2019	Sonde humidité Vaisala HMP45D en 0-1 V		21	-211920	552553
SONDE HYGROMETRIQUE	22/01/2019		Sonde humidité Vaisala HMP110 en 0-1 V				
PYRANOMETRE	25/02/2015		Pyranomètre K&Z CM6B		21	-211920	552553

Catalogue des mesures principales pour PIERREFONDS-AEROPORT (97416463)

Ces diagrammes ne tiennent pas compte d'une absence de données inférieure à 4 mois.







* Définitions des classes de qualité de site

Vent		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
Nr35B	1	obstacles h > 4m doivent etre situes a plus de 30 fois leur hauteur, classe rugosite < 4
Nr35	1	obstacles h > 2m doivent etre situes a plus de 10 fois leur hauteur
Nr35B	2	obstacles h > 4m doivent etre situes a plus de 10 fois leur hauteur, classe rugosite < 5
Nr35	2	obstacles h > 3m doivent etre situes a plus de 10 fois leur hauteur
Nr35B	3	obstacles h > 4m doivent etre situes a plus de 5 fois leur hauteur
Nr35	3	obstacles h > 4m doivent etre situes a plus de 5 fois leur hauteur
Nr35B	4	obstacles h > 6m doivent situes a plus de 2.5 fois leur hauteur
Nr35	4	obstacles h > 6m doivent situes a plus de 2.5 fois leur hauteur
Nr35B	4S	hauteur de mesure non standard, applications particulieres
Nr35B	5	obstacles de hauteur > 8m dans un rayon de 25m
Nr35	5	obstacles de hauteur > 8m dans un rayon de 25m
Nr35B	5S	hauteur de mesure non standard, applications particulieres

Température			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	1	sources chaleur ou etendues eau a plus de 100m, vegetation < 10cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	1	sources chaleur ou etendues eau a plus de 100m, vegetation < 10cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 3°
Nr35	2	sources chaleur ou etendues eau entre 30 et 100m, vegetation < 25cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35B	2	sources chaleur ou etendues eau entre 30 et 100m, vegetation < 25cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°
Nr35B	3	sources chaleur ou etendues eau entre 10 et 30m, vegetation <25cm	pas d ombres portees si hauteur soleil >7°
Nr35	3	sources chaleur ou etendues eau entre 10 et 30m, vegetation <25cm	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	4	sources chaleur ou etendues eau a moins de 10m	ombres portees presentes si hauteur soleil > 5°
Nr35B	4	sources chaleur ou etendues eau a moins de 10m	ombres portees presentes si hauteur soleil > 7°
Nr35	5	au milieu de sources de chaleur ou d etendues d eau	
Nr35B	5	au milieu de sources de chaleur ou d etendues d eau	

Rugosité - tous secteurs		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
Nr35B	1	mer ouverte, fetch d au moins 5km, zo=0.0002m
Nr35	1	mer ouverte, fetch d au moins 5km, zo=0.0002m
Nr35	2	terrains bourbeux plats, neige, pas de vegetation ou d obstacles, zo=0.005m
Nr35B	2	terrains bourbeux plats, neige, pas de vegetation ou d obstacles, zo=0.005m
Nr35	3	terrain plat ouvert, herbe, rares obstacles isoles, zo=0.03m
Nr35B	3	terrain plat ouvert, herbe, rares obstacles isoles, zo=0.03m
Nr35	4	cultures basses, larges obstacles occasionnels : (distance au vent) / hauteur > 20, zo=0.1m
Nr35B	4	cultures basses, larges obstacles occasionnels : (distance au vent) / hauteur > 20, zo=0.1m
Nr35B	5	cultures elevees, obstacles disperses, 15 < (distance au vent) / hauteur < 20, zo=0.25m
Nr35	5	cultures elevees, obstacles disperses, 15 < (distance au vent) / hauteur < 20, zo=0.25m
Nr35	6	terres cloturees, buissons, obstacles nombreux : (distance au vent) / hauteur = 10, zo=0.5m
Nr35B	6	terres cloturees, buissons, obstacles nombreux : (distance au vent) / hauteur = 10, zo=0.5m
Nr35B	7	couverture reguliere par de larges obstacles (faubourgs, forets), zo=1m
Nr35	7	couverture reguliere par de larges obstacles (faubourgs, forets), zo=1m
Nr35B	8	centre ville avec batiments de differentes hauteurs
Nr35	8	centre ville avec batiments de differentes hauteurs

Rayonnement Global et/ou Diffus			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	1	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 5°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	1	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 5°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 2°
Nr35B	2	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 7°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°
Nr35	2	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 7°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	3	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 10°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°
Nr35B	3	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 15°	pas d ombres portees si hauteur soleil > 10°
Nr35B	4	obstacles avec hauteur angulaire > 10° presents	ombres portees presentes si hauteur soleil > 7°
Nr35	4	obstacles avec hauteur angulaire > 10° presents	ombres portees presentes si hauteur soleil > 7°
Nr35	5	obstacles sur au moins 30% du trajet du soleil	ombres portees pendant au moins 30% du temps

Rayonnement Global et/ou Diffus			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	5	obstacles sur au moins 30% du trajet du soleil	

Rayonnement Direct			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	1		pas d ombres portees si hauteur soleil > 3°
Nr35B	1S	classe 1 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 3° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	2		pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35B	2S	classe 2 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	3		pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°
Nr35B	3S	classe 3 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	4		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee toute l'annee
Nr35B	4S		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee toute l'annee - zone specifique (montagne, littoral …)
Nr35B	5		ombres portees pendant + de 30% de la journee au moins un jour dans l'annee
Nr35B	5S		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee au moins un jour dans l'annee - zone specifique (montagne, littoral …)

Pluie		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
Nr35B	1	pente<19° et presence d'un brise-vent artificiel ou naturel:pluviometre entoure d'obstacles de hauteur angulaire uniforme entre 14 et 26,5°
Nr35	1	obstacles situes a plus de 4 fois leur hauteur, pente < 19°
Nr35B	2	obstacles situes a plus de 2 fois leur hauteur, pente < 19°
Nr35	2	obstacles situes a plus de 2 fois leur hauteur, pente < 19°
Nr35	3	obstacles situes a plus de 1 fois leur hauteur, pente < 30°
Nr35B	3	obstacles situes a plus de 1 fois leur hauteur, pente < 30°
Nr35	4	obstacles situes a moins de 1 fois leur hauteur, pente > 30°
Nr35B	4	obstacles situes a plus de la moitie leur hauteur, pente > 30°
Nr35B	4S	classe 4 liee a la pente uniquement
Nr35B	5	obstacles situes a moins de la moitie leur hauteur
Nr35	5	obstacles situes au dessus du pluviometre
Nr35B	5S	application particulieres

Insolation			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	1		pas d ombres portees si hauteur soleil > 3°
Nr35B	1S	classe 1 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 3° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	2		pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35B	2S	classe 2 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	3		pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°
Nr35B	3S	classe 3 en presence d'ombres portees liees a un relief representatif	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7° par des obstacles proches non representatifs
Nr35B	4		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee toute l'annee
Nr35B	4S		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee toute l'annee - zone specifique (montagne, littoral …)
Nr35B	5		ombres portees pendant + de 30% de la journee au moins un jour dans l'annee
Nr35B	5S		pas d ombres portees pendant + de 30% de la journee au moins un jour dans l'annee - zone specifique (montagne, littoral …)

Humidité			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35B	1	sources chaleur ou etendues eau a plus de 100m, vegetation < 10cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	1	sources chaleur ou etendues eau a plus de 100m, vegetation < 10cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 3°
Nr35B	2	sources chaleur ou etendues eau entre 30 et 100m, vegetation < 25cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 7°

Humidité			
Réf.	**Classe**	**Commentaires**	**Ombres portées**
Nr35	2	sources chaleur ou etendues eau entre 30 et 100m, vegetation < 25cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35	3	sources chaleur ou etendues eau entre 10 et 30m, vegetation <25cm	pas d ombres portees si hauteur soleil > 5°
Nr35B	3	sources chaleur ou etendues eau entre 10 et 30m, vegetation <25cm	pas d ombres portees si hauteur soleil >7°
Nr35	4	sources chaleur ou etendues eau a moins de 10m	ombres portees presentes si hauteur soleil > 5°
Nr35B	4	sources chaleur ou etendues eau a moins de 10m	ombres portees presentes si hauteur soleil > 7°
Nr35B	5	au milieu de sources de chaleur ou d etendues d eau	
Nr35	5	au milieu de sources de chaleur ou d etendues d eau	

* Qualité du site: Définition des méthodes employées	
1	examen visuel
2	examen avec outil simple
3	examen avec jumelles

** Définitions des classes de performance de la mesure d'un site

Visibilité		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	+/- 50 m en dessous de 600m +/- 10% entre 600 et 1500m +/-20% au dessus de 1500m
NR37	A	dans 95% des cas : incertitude de 50m en dessous de 600m, de 10% entre 600 et 1500m, de 20% au dessus de 1500m
NS/162/07	B	+/- 20% dans 90% des cas
NR37	B	dans 90% des cas : incertitude de 20% ou 50m
NS/162/07	C	+/- 40% de precision
NR37	C	dans 90 %, incertitude de 40 % ou 100m, entre 0 et 10kms
NS/162/07	D	capteur de performance inconnue
NR37	D	specifications moindres que la classe c ou pas de maintenance reguliere
NR37	E	performance et maintenance inconnues
NS/162/07	E	specifications inconnues

Vent		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	+/- 10% sur la vitesse +/- 5% sur la direction
NR37	A	incertitude de 10% ou 0,5m/s sur la vitesse et de 5° sur la direction
NS/162/07	B	+/- 10% sur la vitesse +/- 10% sur la direction et seuil de demarrage<1m/s
NR37	B	incertitude de 10% ou 0,5m/s sur la vitesse et de 10° sur la direction
NS/162/07	C	+/- 10% sur la vitesse +/- 10% sur la direction et seuil de demarrage< 2m/s
NR37	C	incertitude de 15% ou 0,5m/s sur la vitesse et de 20° sur la direction
NR37	D	incertitude superieure a 15% ou 1m/s sur la vitesse ou superieure a 20° sur la direction
NS/162/07	D	capteur de performance inconnue
NS/162/07	E	specifications inconnues
NR37	E	performance et maintenance inconnues

Température		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	incertitude globale de 0.1 deg c
NR37	A	incertitude globale de 0.2°c
NR37	B	incertitude globale de 0.5°c
NS/162/07	B	incertitude globale de 0.15 deg c
NR37	C	incertitude globale de 1°c
NS/162/07	C	incertitude globale de 0.4 deg c
NS/162/07	D	incertitude globale inconnue
NR37	D	incertitude globale pouvant etre superieure a 1°c
NR37	E	performance et maintenance inconnues
NS/162/07	E	specifications inconnues

Température dans le sol		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	incertitude globale de 0.2 deg c
NR37	A	incertitude de meure de 0,5°c
NS/162/07	B	incertitude globale de 0.15 deg c
NR37	B	incertitude de meure de 1°c
NS/162/07	C	incertitude globale de 0.4 deg c
NR37	C	incertitude de meure de 1,5°c
NS/162/07	D	incertitude globale inconnue
NR37	D	incertitude de meure pouvant etre superieure a 1,5°c
NR37	E	performance et maintenance inconnues
NS/162/07	E	specifications inconnues

Température au dessus du sol		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	incertitude globale de 0.2 deg c
NR37	A	incertitude de meure de 0,5°c
NS/162/07	B	incertitude globale de 0.15 deg c
NR37	B	incertitude de meure de 1°c
NS/162/07	C	incertitude globale de 0.4 deg c
NR37	C	incertitude de meure de 1,5°c
NS/162/07	D	incertitude globale inconnue

Température au dessus du sol		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NR37	D	incertitude de meure pouvant etre superieure a 1,5°c
NR37	E	performance et maintenance inconnues
NS/162/07	E	specifications inconnues

Rayonnement Global et/ou Diffus et/ou Direct		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NR37	A	capteur de classe 1 iso ventile (incertitude inferieure a 5% sur les cumuls quotidiens)
NS/162/07	A	capteur de classe 1 ventile
NS/162/07	B	capteur de classe 1 non ventile
NR37	B	capteur de classe 1 iso non ventile
NR37	C	capteur de classe 2 iso non ventile
NS/162/07	C	capteur de classe 2
NR37	D	incertitude pouvant etre superieure a 10% pour les cumuls quotidiens
NS/162/07	D	capteur de performance inconnue
NS/162/07	E	specifications inconnues
NR37	E	performance et maintenance inconnues

Pression		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	incertitude de mesure de 0.1hpa
NR37	A	incertitude de mesure de 0.3hpa
NS/162/07	B	incertitude de mesure de 0.5hpa
NR37	B	incertitude de mesure de 0.5hpa
NS/162/07	C	incertitude de mesure de 1hpa
NR37	C	incertitude de mesure de 1hpa
NS/162/07	D	specifications plus laches ou capteur de performance inconnue
NR37	D	incertitude de meure pouvant etre superieure a 1ha
NS/162/07	E	specifications inconnues
NR37	E	performance et maintenance inconnues

Pluie		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NS/162/07	A	+/- 0.1mm pour rr<5mm et +/- 2% au dessus
NR37	A	incertitude inferieure a 5% ou 0,1mm
NS/162/07	B	capteur specifie pour +/- 5%
NR37	B	incertitude inferieure a 5% ou 0,2mm
NR37	C	incertitude inferieure a 10% ou 0,5mm
NS/162/07	C	capteur specifie pour +/- 10%
NS/162/07	D	capteur de performance inconnue
NR37	D	incertitude pouvant etre superieure a 10%
NR37	E	performance et maintenance inconnues
NS/162/07	E	specifications inconnues

Humidité		
Réf.	**Classe**	**Commentaires**
NR37	A	incertitude de mesure de 3%
NS/162/07	A	incertitude de mesure de 1%
NS/162/07	B	incertitude de mesure de 6%
NR37	B	incertitude de mesure de 6%
NS/162/07	C	incertitude de mesure de 10%
NR37	C	incertitude de mesure de 10%
NR37	D	incertitude de mesure pouvant etre superieure a 10%
NS/162/07	D	incertitude de mesure > 10%
NS/162/07	E	specifications inconnues
NR37	E	performance et maintenance inconnues

8.6 Rapport météorologique suite au passage à proximité de La Réunion du Cyclone Tropical «BEJISA» (du 1er au 3 janvier 2014)

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

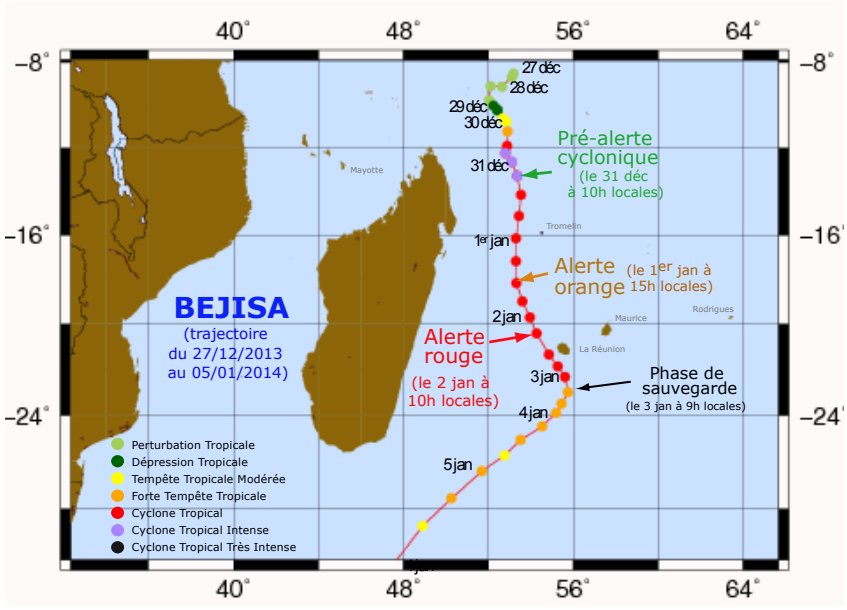
I- Situation générale

Le futur cyclone BEJISA a commencé à prendre corps le 28 décembre 2013 au voisinage de l'archipel seychellois des Farquhar, une zone du bassin où les cyclogenèses sont relativement rares.

Malgré cette zone de genèse inhabituelle, la formation de ce système dépressionnaire avait cependant été impeccablement anticipée depuis déjà plusieurs jours par les modèles numériques de prévision. BEJISA a d'ailleurs constitué une nouvelle démonstration éclatante des progrès étonnants réalisés par la modélisation numérique ces dernières années, que ce soit pour prévoir les cyclogenèses (certainement le plus remarquable), mais aussi, bien sûr, en terme de prévisions de trajectoires.

Dans le cas présent, il faut, en particulier, tirer un coup de chapeau appuyé au modèle du Centre Européen, dont la prévision à 9 jours du 24 décembre à 00 UTC, s'est révélée in fine quasiment parfaite, plaçant pour le 2 janvier 2014 un cyclone tropical au voisinage du 20ème parallèle Sud, en approche finale de La Réunion, avec un positionnement et un timing parfaits. Les prévisions suivantes seront toutefois un peu moins excellentes, décalant pendant plusieurs simulations les trajectoires prévues plus vers l'île Maurice, avec également des fluctuations significatives en terme de timing.

Malgré ces quelques aléas de prévision, la tendance générale initiale sera maintenue dans les grandes lignes, à savoir le développement d'un cyclone tropical mature de relativement petite taille, se déplaçant sur une trajectoire très méridienne, et menaçant ainsi directement les îles sœurs de Maurice et de La Réunion, avec simplement une incertitude sur la "cible" finale et sur le timing.



Le météore est encore en phase de pré-genèse, dans le nord-est proche de l'atoll de Farquhar, quand il est officiellement pris en charge par le CMRS/Centre des Cyclones Tropicaux de La Réunion, dans l'après-midi du 28 décembre donc. La cyclogenèse intervient dès le lendemain et est parachevée en première partie de nuit du 29 au 30, avec la transformation du système en tempête tropicale modérée, nommée BEJISA. Le centre du système se situe à cet instant à plus de 1150 km au nord-nord-ouest de La Réunion.

Sur l'île, les regards ne sont toutefois pas encore tournés vers ce nouveau venu, qui arrive sur la scène quelques jours seulement après les "cadors" AMARA et BRUCE, et qui est encore bien éloigné du département. Mais parce qu'il faut aussi gérer d'autres préoccupations plus immédiates, et l'on ne parle pas encore des festivités de la Saint-Sylvestre… L'après-midi de ce dimanche 29 décembre a, en effet, été marquée à La Réunion par un black-out électrique total (une première) sur l'ensemble de l'île, suite à un foudroiement de lignes à haute tension occasionné par un très violent orage. Cette forte activité orageuse (orages de "chaleur" développés par évolution diurne sur l'intérieur de l'île et donc totalement indépendants de BEJISA), a concerné la partie sud-est de l'île, causant, outre la panne électrique générale (induite par des disjonctions en cascade sur le réseau), des désordres importants dans le secteur du Tampon, qui a été la plus affecté par des précipitations temporairement diluviennes (160 mm tombés en moins de 100 min !).

Suite à son baptême, BEJISA connaît une phase de développement éclair, favorisée par la taille réduite du cœur de sa circulation dépressionnaire. Dès le milieu de journée du 30, un œil minuscule (à peine 10 km de diamètre) apparaît sur l'imagerie satellitaire. BEJISA devient cyclone tropical dans l'après-midi, puis cyclone tropical intense en début de nuit suivante, avant d'atteindre ce qui constituera son maximum absolu d'intensité en début de journée du 31 décembre. Le centre du cyclone se situe alors à quelque 900 km au nord-nord-ouest de La Réunion, avec un déplacement en direction du sud-sud-est, mais qui va prendre une orientation quasiment plein sud quelques heures plus tard.

S'ensuit une phase d'affaiblissement du météore, consécutive à un cycle de remplacement du mur de l'œil, qui s'accompagne de changements de structure importants au cœur du phénomène. Le minuscule œil initial

s'évanouit progressivement au fil journée et est remplacé par un nouvel œil, beaucoup plus large, en fin de journée. Cette mutation s'accompagne, parallèlement, d'un élargissement de la zone de vents forts associée à la circulation dépressionnaire et de l'amorce d'une ré-intensification.

En milieu de journée de ce même 31 décembre, La Réunion a été placée en pré-alerte cyclonique (à 12h locales). Le centre de BEJISA est alors distant d'un peu plus de 800 km des côtes du département. Les prévisions ont commencé de s'affiner. Depuis la veille au soir, les prévisions de trajectoire du CMRS/Centre des Cyclones tropicaux de La Réunion se sont calées pour la première fois sur un passage du centre du phénomène à proximité sud-ouest de La Réunion (alors que l'option d'un passage à l'est avait été privilégiée jusque là). Elles ne bougeront plus les jours suivants, confirmant obstinément, bulletin après bulletin, la menace pour le département…

La nuit du réveillon est agitée à Tromelin, où le passage de BEJISA (dont le centre transite à l'ouest de l'îlot, en deuxième partie de nuit, à 120 km au plus près) est fortement ressenti, avec un bon coup de tabac (vents atteignant la force 9 sur l'échelle de Beaufort – fort coup de vent).

A La Réunion, le changement d'année s'est déroulé beaucoup plus en douceur et n'a pas été perturbé par BEJISA, qui s'est juste contenté de couvrir le ciel d'un voile de nuages d'altitude (mais sans masquer totalement les étoiles cependant). Après un passage d'averses en début de journée (première bande ultra-périphérique associée à BEJISA), le reste de la journée se passe sans encombre. Un temps nuageux, mais sec, et avec des vents plutôt faibles perdure jusqu'en fin de journée quasiment. Ce calme est trompeur et ce n'est pas la petite houle qui a gentiment commencé de produire quelques rouleaux sur le littoral nord à nord-ouest de l'île, qui peut suffire à mettre en éveil ceux qui ne se seraient pas tenus informés de la présence et de l'évolution d'un cyclone dans les parages.

Seul un signal fort, à savoir le déclenchement de l'alerte orange, peut bousculer les corps et les esprits alourdis par les agapes de la courte nuit précédente et inciter à se mettre en action pour prendre toutes les mesures de prévention, afin que tout un chacun se prépare au mieux pour affronter l'arrivée du cyclone, dont le passage est désormais prévu en fin de journée du lendemain 2 janvier. Ce qui est fait dans l'après-midi, avec l'annonce par la Préfecture du passage en alerte orange (à 15h locales). Le centre de BEJISA s'est, à cet instant, rapproché à moins de 400 km des côtes réunionnaises. Le cyclone fait toujours route en direction du sud, ce qui pourrait laisser croire que le météore va transiter à distance suffisante pour épargner La Réunion. Mais ce n'est pas ce qui est prévu. Une inflexion de la trajectoire en direction du sud-est est attendue avant la fin de nuit suivante.

Elle se produit effectivement. Le météore se dirige désormais plus directement vers La Réunion, qui ne pourra pas échapper à des conditions cycloniques (rafales maximales de vent dépassant le seuil des 150 km/h). L'alerte rouge entrera en vigueur à 10h locales, ce jeudi 2 janvier, annonce faite par la Préfecture à 7h (conformément au préavis de 3h requis), alors que le centre de BEJISA n'est plus distant que de 160 km.

La Réunion va être abordée par le cœur actif du météore. Mais le temps s'est déjà sensiblement dégradé. La veille au soir, les premières pluies ont touché l'île et se sont renforcées au fil de la nuit. Il en est allé de même des vents, dont les rafales maximales viennent de dépasser, en fin de nuit, la barre des 100 km/h, dans les lieux les plus exposés au flux de nord-est (Plaine des Cafres tout particulièrement).

C'est donc un cyclone tropical mature qui arrive par le nord-ouest, une trajectoire inhabituelle, qui fait que le secteur qui devrait être a priori concerné par les vents les plus forts, est la façade ouest à sud-ouest de l'île (de Saint-Gilles à l'Etang Salé), région ordinairement relativement protégée par le relief, pour les cyclones arrivant classiquement par le nord-est ou par le nord, et donc moins habituée à subir les assauts d'un cyclone.

Le temps continue de se dégrader et les vents de se renforcer. Des conditions cycloniques sont avérées à la mi-journée et les différents secteurs de l'île vont être touchés tour à tour, en fonction de la rotation des vents, qui soufflent de nord-est, puis nord, avant de basculer au nord-ouest quand l'œil du cyclone arrive à proximité du littoral ouest. Si le centre de BEJISA passe à quelque 50 km au large, le mur de l'œil, là où se trouvent les plus violents associés au phénomène, frôle la côte, transitant à seulement une dizaine de km de la Pointe des Trois Bassins. Les vents pénètrent progressivement sur toute la zone Sud-Ouest, puis Sud. Dans le même temps, les vents reprennent de la vigueur dans le Nord, avec la bascule au nord-ouest (c'est d'ailleurs à ce moment-là que les vents les plus forts seront observés dans ce secteur), tandis que la région Est, jusque là moins ventée, subit les assauts de ces vents de nord-ouest. De fortes pluies continuent d'affecter l'ensemble de l'île et les lames d'eau deviennent importantes dans les Hauts. Elles dépasseront le mètre de précipitations à Cilaos (en moins de 48h).

En fin de journée et soirée, le centre de BEJISA commence de s'éloigner au sud de l'île. Mais très lentement. De sorte que La Réunion demeure sous l'emprise du météore toute la nuit, avec des vents qui continuent de souffler puissamment, ne ralentissant que très graduellement. L'amélioration est plus rapide et plus franche par contre au niveau des précipitations, qui s'atténuent sensiblement en deuxième partie de nuit (du 2 au 3). En fin de nuit des rafales de plus de 100 km/h sont encore présentes dans les secteurs exposés, mais la fin de l'épisode très perturbé tire à sa fin et dès le courant de matinée, les conditions météorologiques redeviennent "praticables". BEJISA s'éloigne définitivement et tout risque cyclonique est désormais écarté. L'alerte rouge est levée à 9h par le Préfet. Lui succède une Phase de Sauvegarde.

Image satellite en composition colorée
du 2 janvier 2014
à 15 h locales
(Meteosat 7)

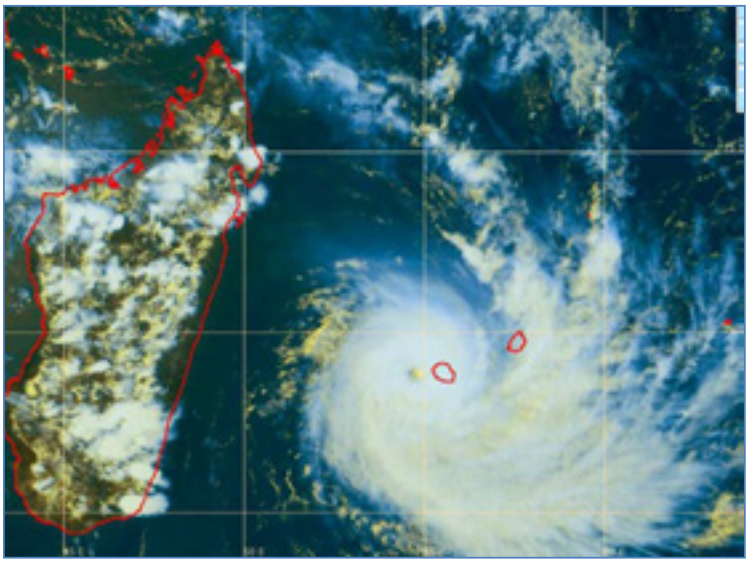


Image radar (mosaïque)
du 3 janvier 2014 à 15h20 locales

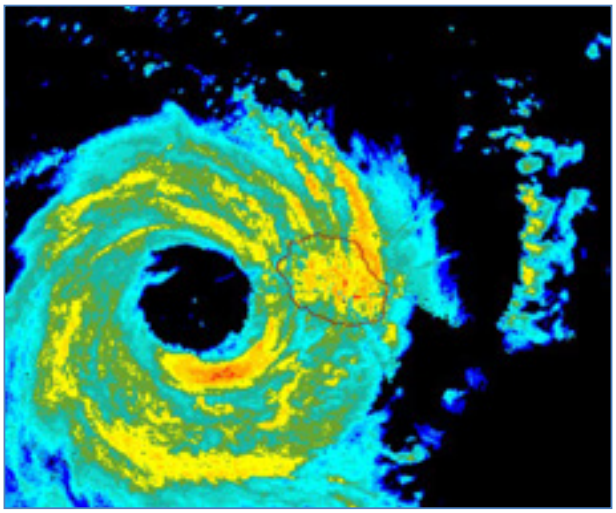
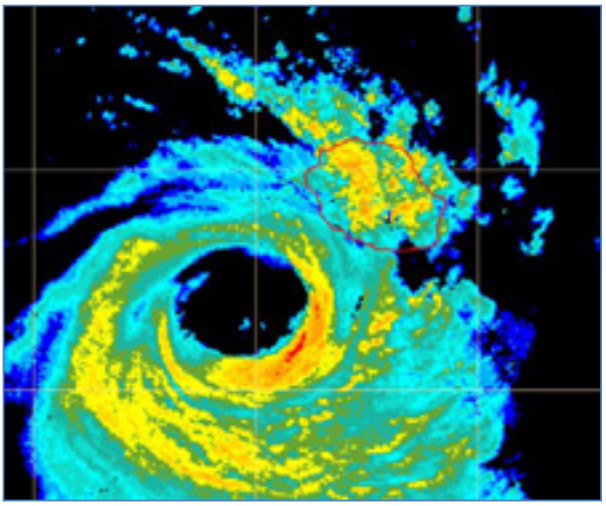


Image radar (mosaïque)
du 3 janvier 2014 à 18h05 locales



Les images ci-dessus présentent les échos des précipitations vus par la mosaïque radar (fusion des images du radar du Colorado et celui du Piton Villers). Du fait du relief, qui empêche la propagation du faisceau radar, les précipitations dans certains secteurs de l'île peuvent être sous-estimée ou occultées.

II- Conséquences sur La Réunion

1. LE VENT

Sur la bande littorale, avec le passage du cyclone à l'ouest de La Réunion et la proximité du mur de l'œil (siège des vents les plus violents), ce sont les régions de l'ouest et du sud-ouest qui ont été confrontées aux rafales les plus fortes.

Au niveau de la chronologie, c'est la région du Port qui a subi, en premier, les vents tempétueux de "Bejisa" (rafale la plus forte relevée de 140 km/h à 13h15) un peu avant le passage au plus près de l'œil du cyclone puis les rafales sont restées supérieures à 100 km/h pendant près de 13 heures de suite (entre 5h et 18h).

C'est ensuite la région de St-Leu qui est fortement touchée. Le poste de la Pointe des Trois Bassins affiche 143 km/h à 14h50. La station de Colimaçons Cirad (798 m d'altitude) mesure le vent à 2 m mais en appliquant un coefficient multiplicateur pour estimer le vent à 10m (hauteur des mesures effectuées par le réseau de Météo-France), on obtient une valeur équivalente à 168 km/h. C'est d'ailleurs sur les premières hauteurs entre St-Gilles et St-Louis que l'on estime que les vents ont été les plus virulents pour des zones urbanisées avec des valeurs très probables entre 150 à 180 km/h. De telles rafales ont également pu balayer certaines parties de la côte entre St Gilles et St-Leu.

Avec le déplacement vers le sud-est du météore, c'est la région de St-Pierre à St-Joseph qui est frappée par les rafales en soirée, 140 km/h à Pierrefonds-Aéroport à 20h18.

En cours de nuit, le cyclone poursuit sa trajectoire vers le sud-est mais en ralentissant. C'est alors au tour de la région nord de subir ses plus violentes rafales depuis le début de l'épisode, le vent de nord-ouest s'accélère le long du relief de la Montagne et s'engouffre sur le chef-lieu et ses hauteurs pendant une bonne partie de la nuit du jeudi 2 au vendredi 3 janvier. Les rafales maximales sur Gillot-Aéroport sont restées légèrement en-dessous de 120 km/h mais les pointes les plus fortes ont certainement approché des valeurs cycloniques (150 km/h) sur les hauteurs entre St-Denis et Ste-Suzanne.

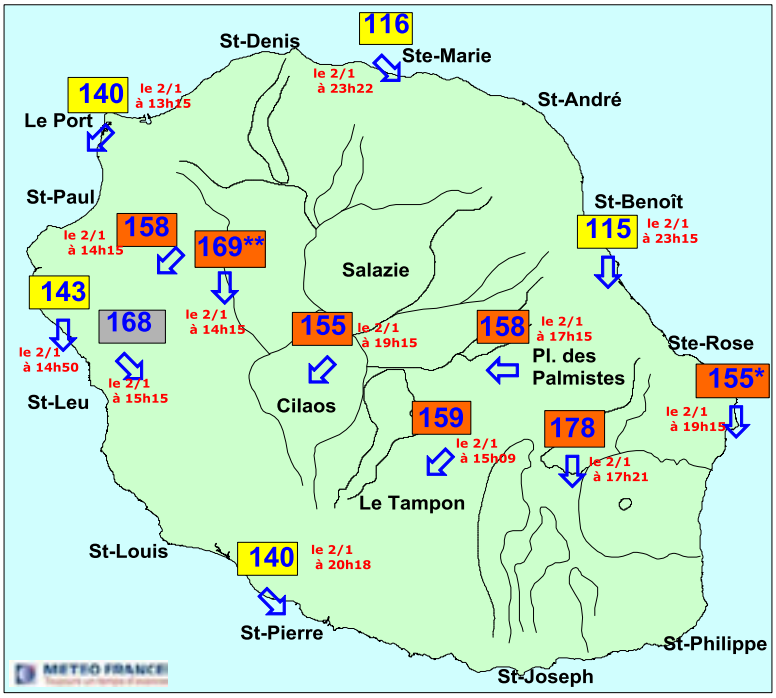
Dans les Hauts (au-dessus de 1000m), les vents cycloniques (rafales > 150km/h) ont été dépassés sur l'ensemble des stations de Météo-France disposant de mesures de vent ; la rafale maximale a été observée au Gîte de Bellecombe à 17h21 le 2 janvier (**178 km/h**).

Dans le rectangle grisé de la carte ci-contre, la valeur estimée du poste de Colimaçons Cirad auquel on fait référence dans le commentaire ci-dessus.

*** Le vent au **Piton Maïdo** (à 2195m d'altitude), est mesuré à une hauteur non standard (5 m) ; de plus, particulièrement exposé en bordure de rempart.*

** **Gros Piton Ste-Rose** (181m d'altitude) est un point de mesure non représentatif de la zone pour le vent car situé sur un piton.*

CYCLONE TROPICAL "BEJISA"
Rafales maximales en km/h
du 1er janvier au 3 janvier 2014



En étudiant les vents moyens sur 10 minutes, seul le poste de Gros Piton Ste-Rose dépasse les 100 km/h (104 km/h le 2 janvier à minuit).

Tableau comparatif des vents maxi instantanés mesurés au cours des cyclones les plus récents

(en rouge la plus forte valeur observée par poste depuis 1989 et en orange la seconde plus forte valeur)

STATION	FIRINGA (29/01/1989)	COLINA (19/01/1993)	HOLLANDA (11/02/1994)	DANIELLA (08/12/1996)	DAVINA (10/03/1999)	CONNIE (29/01/2000)	ANDO (06/01/2001)	DINA (22/01/2002)	GAMEDE (24-28/02/2007)	DUMILE (23/01/2013)	BEJISA (02/01/2014)	Rang depuis 1989
Cilaos		134	108	68	101	137	83	**180**	115	108	**155**	2/25 ans
Gillot Aéroport	177	**191**	162	125	79	111	76	**187**	140	92	116	>10/25 ans
Gîte de Bellecombe					162	158	140	**209**	167	162	**178**	2/16 ans
Gros Piton Ste-Rose	187	**194**	**234**	160	169	101	97	119	122	122	155	>10/25 ans
Le Baril		111	**140**	104	126	108	101	>115	90	90	>95	>10/25 ans
Le Port	**148**	119	137	36	97	133	108	**180**	137	137	140	4/25 ans
Petite France	158	122	122	50	76	155	115	**191**	**162**		158	4/25 ans
Piton Maïdo					112	**216**	155	**277**	212	180	169	7/15 ans
Plaine des Cafres	**>216**	181	119	72	104	104	133	**220**	163	162	159	7/25 ans
Plaine des Palmistes	**184**	**206**	148	72	94	108	104	>140	119	122	158	3/25 ans
Pointe des 3 Bassins	**166**	119	104	97	86	90	90	133	112	108	**143**	2/25 ans
Pont Mathurin		111	144	86	115	108	50	**187**	104			
Saint-Benoit	184	109	**115**	104	90	86	72	**115**	83	72	**115**	2/25 ans
St-Pierre/Pierrefonds	>216	144		97	108	119	79	**180**	126	79	140	4/25 ans

Grâce à ce tableau, on constate que Dina (janvier 2002) est incontestablement le cyclone qui a généré les vents les plus violents sur l'île depuis 25 ans. Néanmoins pour 3 postes (ayant au moins 25 années de mesure, les valeurs relevées lors du passage au plus près de "Bejisa" se classent au 2ème rang des plus fortes (Cilaos, Pointe des Trois Bassins et St-Benoît) ; cependant la valeur de 115 km/h relevée à St-Benoît a déjà été atteinte 3 fois par le passé.

Néanmoins, même si les valeurs relevées lors de l'épisode "Bejisa" sont remarquables (proches de valeurs de durée de retour décennale), elles ne le sont pas au regard des valeurs retenues pour qualifier l'évènement d'exceptionnel (145 km/h en vent moyen sur 10 minutes ou 215 km/h en vent maximum instantané).

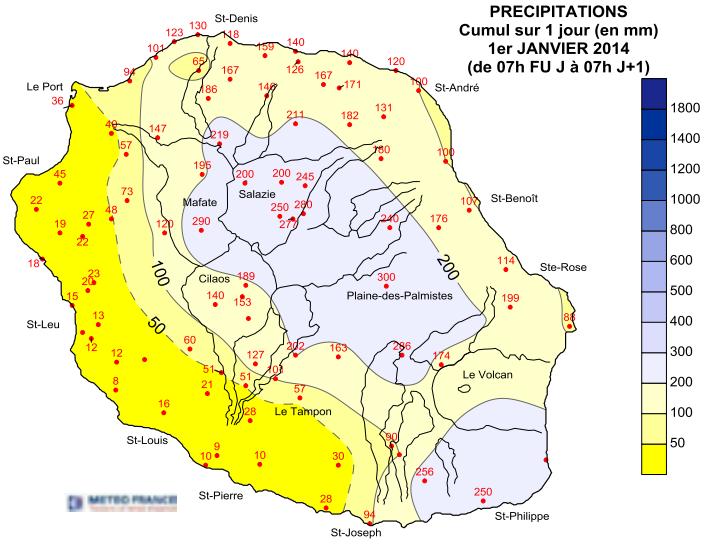
Remarque sur le vent à La Réunion

L'orographie très marquée de La Réunion déforme considérablement la structure spatiale du champ de vent généré par un cyclone. En fonction de la position du centre du système, certains secteurs de l'île peuvent se retrouver pendant quelques heures dans une zone d'accélération locale du vent par effet venturi (par exemple, vent qui s'engouffre et s'accélère dans une vallée). Dans les cirques et les ravines, les vents cycloniques sont extrêmement turbulents et se ressentent sous la forme de violentes rafales. L'effet de percussion des rafales (agissant comme coups de butoir) vient s'ajouter au vent moyen généré par le gradient de pression autour du cyclone. Le relief très marqué de l'île de La Réunion explique également les accélérations observées des vents dés la moyenne altitude. Etant donné qu'il n'est pas réaliste de disposer de stations météorologiques mesurant la force du vent en tout point du département, la représentation de sa très forte variabilité spatiale reste un challenge. Ainsi, à quelques centaines de mètres (c'est-à-dire sur le territoire d'une même commune), les dégâts peuvent être d'une grande variabilité. Certaines exploitations agricoles du Nord ont ainsi subi d'importants dégâts liés aux vents cycloniques alors que les instruments de mesure de Météo-France, compte tenu de leur nombre limité, n'ont pas permis de mesurer localement la force du vent. L'effet « couloir » des vents était d'ailleurs particulièrement visible depuis les airs, témoignant de la violence des vents dans le contexte géographique très particulier des cirques, en particulier le cirque de Cilaos. Il est toutefois possible d'estimer, à dire d'expert, les vents certainement atteints dans les zones d'altitude. (Météo-France estime la force des rafales à 180 km/h dans les Hauts de l'ouest).

2. LA PLUIE

A. **Cumuls quotidiens** (Répartition spatiale des pluies)

Mercredi 1er janvier :



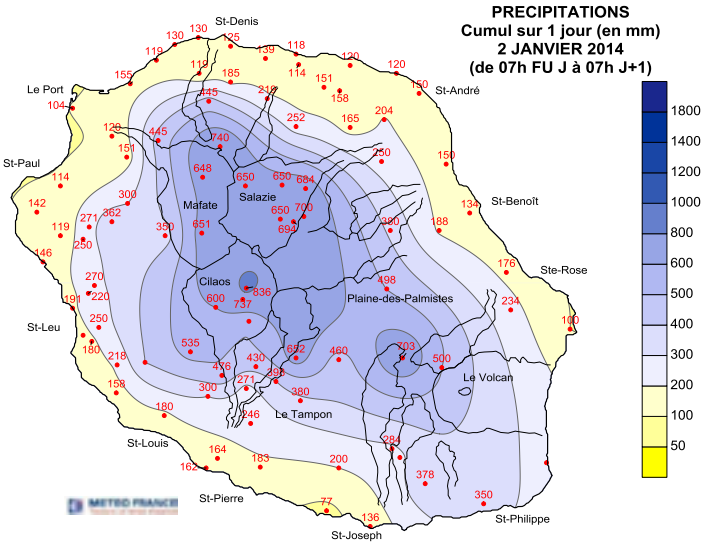
La journée se déroule sous un ciel globalement bien nuageux mais avec juste quelques ondées par endroits.

A partir de la mi-journée, la présence de "Bejisa" (alors à un peu plus de 400 km au nord-nord-ouest des côtes réunionnaises) est trahie par l'arrivée des premiers trains de houle cyclonique sur les côtes nord et nord-ouest. Le vent commence également à se renforcer dans les Hauts et les Cirques.

En soirée et début de nuit, une première bande périphérique active arrose copieusement le nord et l'est de l'île. Le météore suit une trajectoire plus sud-est le rapprochant plus directement de l'île ; cela a pour conséquence un renforcement des vents dans les Hauts de l'ouest (148 km/h au Piton Maïdo) mais également sur la côte nord-ouest (on atteint les 100 km/h au Port).

Les précipitations sont soutenues sur le Nord, les Hauts ainsi que sur les Cirques et suffisantes dans le sud pour emporter le radier du "Ouaki".

Jeudi 2 janvier :



En cours de matinée, les conditions se dégradent rapidement ; l'alerte rouge est effective à 10 heures. Les pluies redoublent d'intensité sur le Tampon (136 mm entre 9h et 12h) et le Volcan (242 mm au Cratère Commerson entre 10h30 et 13h30).
En début d'après-midi, avec le mur de l'œil au plus proche de la côte, les vents deviennent violents sur toute la façade ouest ainsi que les Hauts. Des pluies torrentielles s'abattent sur les hauts de St-Denis (179 mm à la Plaine des Chicots entre 12h et 15h), sur le cirque de Cilaos (191 mm entre 12h et 15h) et le cirque de Mafate (178 mm).

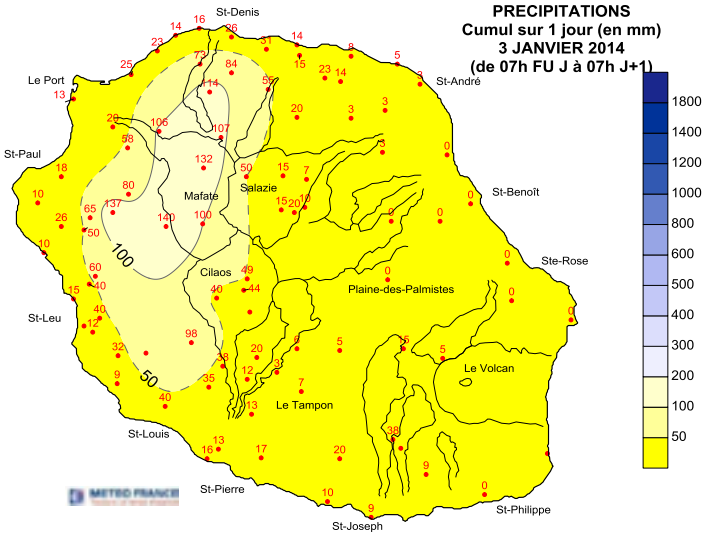
Avec le déplacement vers le sud-est du cyclone, c'est au tour du cirque de Salazie d'avoir les plus fortes intensités (202mm entre 14h30 et 17h30). En soirée et la nuit suivante, les pluies se poursuivent mais en étant moins soutenues et en affectant surtout les hauteurs.

Vendredi 3 janvier :

L'amélioration est nette sur la moitié est et le sud mais il continue de pleuvoir sur le quart nord-ouest soumis encore à de fortes bourrasques de nord-ouest.

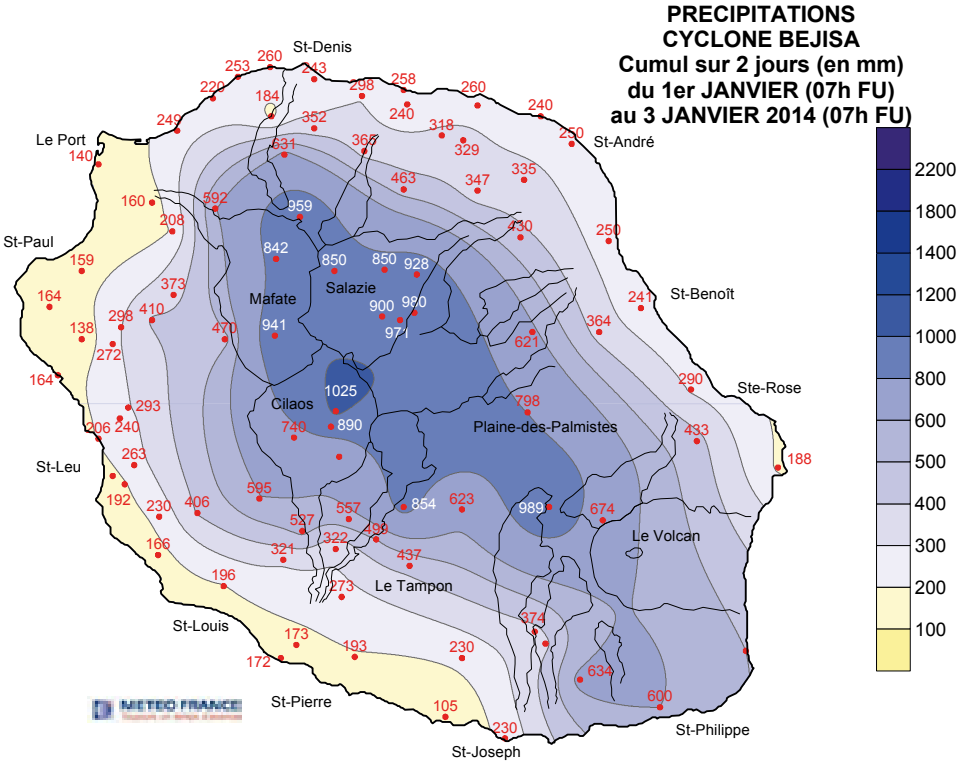
A 9h, l'alerte rouge est levée mais La Réunion demeure en phase de sauvegarde.

L'après-midi, le temps s'améliore, des éclaircies apparaissent et les averses deviennent plus rares.



Cumul sur 2 jours (1er et 2 janvier 2014)

Sur 2 jours climatologiques* (du 1er janvier à 7h au 3 janvier à 7 h),
le cumul maximal a été enregistré dans le cirque de Cilaos (1197m) : **1025 mm**.
Les autres valeurs les plus élevées se situent sur la route du Volcan (**989 mm** au Cratère Commerson) et à la Plaine des Chicots (**959 mm**).
Les 980 mm au Gîte de Belouve ont été estimés avec la lame d'eau radar (le pluviomètre s'étant rapidement bouché au début de l'épisode).



Définition de la journée climatologique
La notion de journée climatologique correspond à la période de 7h le jour à 7h le lendemain. Cette notion a une explication historique. En effet, avant l'apparition des stations automatiques qui mesurent les précipitations à des pas de temps pouvant descendre jusqu'à 6 minutes, la plupart des mesures de hauteurs de précipitations étaient effectuées manuellement tous les matins vers 7h locales le lendemain (pour des raisons pratiques évidentes) pour le jour J. Pour ces cumuls dits quotidiens, on dispose bien évidemment de séries de données beaucoup plus

nombreuses et beaucoup plus longues que pour les chroniques horaires.

B. Durée de retour des précipitations journalières

Tableau des cumuls quotidiens (sur 1 et 2 jours) et valeurs des quantiles décennaux

Commune	Station	alti-tude	Cumul maximum sur 1 jour	DR	DR10	Cumul maximum sur 2 jours	DR	DR10
Les Avirons	Les Avirons (CIRAD)	180	158	5	188(G)	167	1	237(G)
Bras-Panon	Bellevue Bras-Panon	480	250	1	523(R)	430	1	699(R)
L'Entre-Deux	Dimitile	740	430	5	507(S)	557	5	715(S)
L'Étang-Salé	Pont-Mathurin	20	180	10	170(G)	220	10	216(G)
Petite-Île	Piton-Bloc (CIRAD)	813	200	1	375(R)	230	1	516(R)
	Petite-Ile (CIRAD)	155	77	1	225(R)	105	1	316(R)
Plaine-des-Palmistes	Plaine-des-Palmistes	1032	498	1	688(G)	798	1	1091(G)
Le Port	Le Port	9	104	1	196(G)	140	1	269(G)
La Possession	La Possession	9	155	1	245(R)	249	1	350(R)
	Aurère	940	648	5	660(S)	842	5	935(S)
	La Nouvelle	1415	651	10	638(G)	941	10	926(G)
St-André	Le Colosse	16	150	1	254(G)	250	1	380(G)
	Menciol	181	204	1	357(G)	335	1	526(G)
St-Benoît	Beauvallon	16	150	1	325(G)	250	1	485(G)
	St-Benoît	43	134	1	371(G)	241	1	536(G)
	Takamaka-PK12	660	380	1	798(G)	621	1	1131(G)
	Chemin de Ceinture	260	188	1	548(S)	364	1	762(S)
St-Denis	Cap Bernard	8	130	1	177(S)	260	10	223(S)
	Pointe du Gouffre	8	130	1	289(S)	253	1	396(S)
	St-Denis Collège	36	125	1	303(S)	243	1	410(S)
	Le Chaudron	38	159	1	274(G)	298	1	382(G)
	La Grande Chaloupe	7	119	1	214(R)	220	1	326(R)
	Radar Colorado	746	119	1	418(S)	192	1	580(S)
	Montauban	420	219	1	560(S)	365	1	784(S)
	Le Brûlé-Val-Fleuri	1065	445	5	525(G)	631	5	784(G)
	Plaine des Chicots	1834	740	5	791(S)	959	5	1119(S)
St-Joseph	Cratère Commerson	2310	703	1	1075(G)	989	1	1680(G)
	Grand-Coude	1085	284	1	607(G)	374	1	802(G)
	La Crête (CIRAD)	650	378	1	584(G)	634	1	808(G)
	St-Joseph (CIRAD)	17	136	1	288(G)	230	1	386(G)
St-Leu	Colimaçons (CIRAD)	798	270	10	266(G)	329	5	374(G)
	Mascarin	520	220	10	217(R)	260	5	290(R)
	St-Leu (CIRAD)	222	180	10	167(R)	192	5	215(R)
	Etang-St-Leu (CIRAD	429	250	10	191(S)	290	10	247(S)
	Piton St-Leu (CIRAD)	565	218	5	227(G)	250	5	314(G)

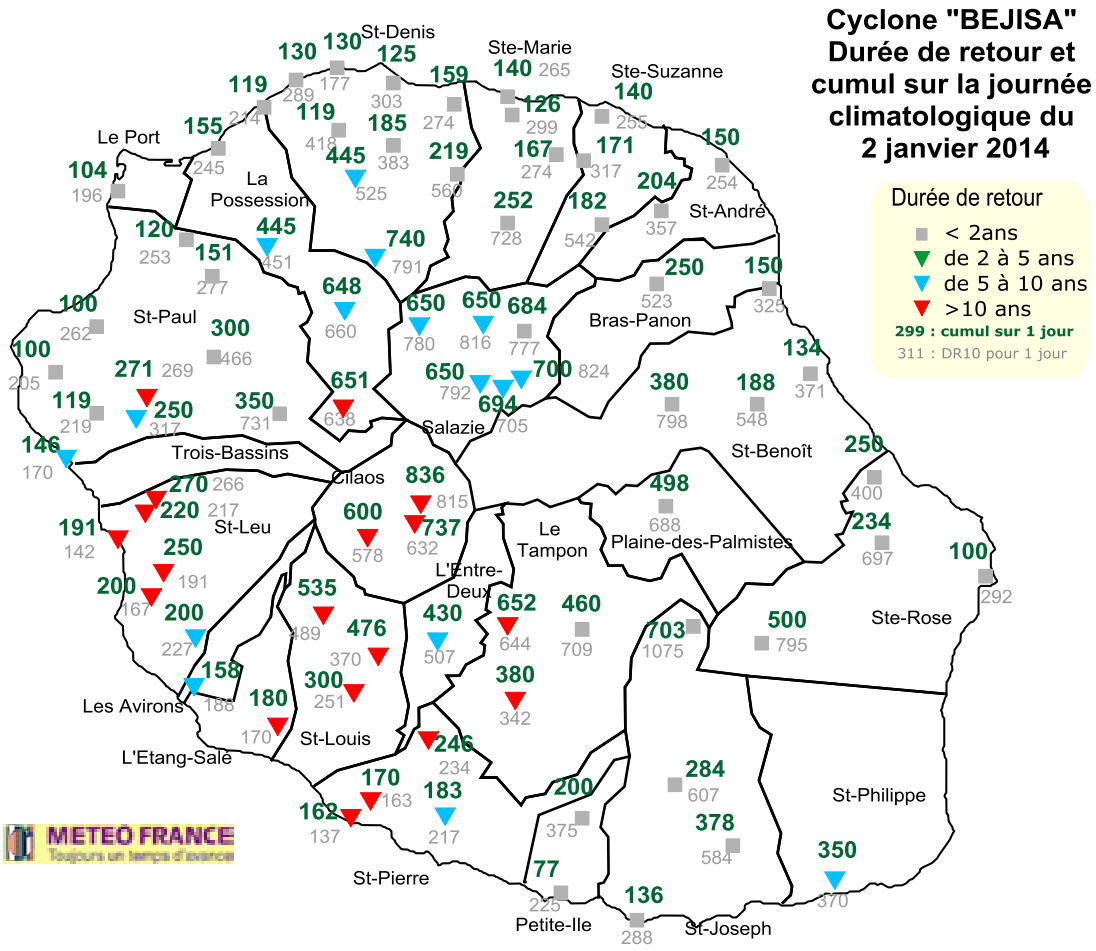
Commune	Station	alti-tude	Cumul maximum sur 1 jour	DR	DR10	Cumul maximum sur 2 jours	DR	DR10
St-Louis	Les Makes	980	535	10	489(S)	633	5	687(S)
	Le Gol les Hauts (CIRAD)	365	300	10	251(R)	335	10	307(R)
	Tapage (CIRAD)	863	476	10	370(S)	527	10	516(S)
St-Paul	St-Paul (CIRAD)	186	120	1	253(R)	160	1	340(R)
	Bois-de-Nèfles St-Paul (CI	595	151	1	277(G)	209	1	387(G)
	Plateau-Caillou	242	114	1	262(S)	159	1	354(S)
	Petite-France	1200	300	1	466(R)	380	1	596(R)
	Tan-Rouge (CIRAD)	750	271	10	269(G)	335	5	359(G)
	L'Ermitage (CIRAD)	147	142	1	205(S)	164	1	268(S)
	Vue-Belle les Hauts (CIRAD	722	250	5	317(S)	300	5	439(S)
	La Saline les Hauts (CIRAD	463	119	1	219(G)	145	1	268(G)
	Pointe des Trois Bassins	5	146	5	170(G)	164	5	207(G)
St-Pierre	Ravine des Cabris (CIRAD)	310	246	10	234(R)	273	5	282(R)
	Pierrefonds (CIRAD)	61	164	10	163(G)	177	5	215(G)
	Pierrefonds-Aéroport	21	162	10	137(R)	179	10	169(R)
	Ligne-Paradis (CIRAD)	156	183	5	217(G)	199	1	286(G)
St-Philippe	Le Baril	115	350	5	370(G)	600	5	635(G)
Ste-Marie	Gillot-Aéroport	8	140	1	265(G)	258	1	370(G)
	La Mare (CIRAD)	68	126	1	299(S)	240	1	408(S)
	Plaine des Fougères	1062	252	1	728(R)	463	1	932(R)
Ste-Rose	Rivière de L'Est	144	176	1	400(G)	290	1	589(G)
	Hauts de Ste-Rose	820	234	1	697(G)	433	1	1090(G)
	Gros Piton Ste-Rose	181	100	1	292(G)	188	1	428(G)
	Gîte de Bellecombe	2245	500	1	795(G)	674	1	1208(G)
Ste-Suzanne	Le Grand-Hazier	72	140	1	255(G)	260	1	371(G)
	Bagatelle	262	171	1	317(G)	329	1	473(G)
	Bras-Pistolet	555	182	1	542(S)	347	1	756(S)
Salazie	Mare à Vieille Place	870	650	5	816(G)	850	1	1210(G)
	Grand Ilet	1185	650	5	780(S)	850	5	1106(S)
	Salazie Village	476	684	5	777(S)	928	5	1100(S)
	Gîte de Belouve	1500	700	5	824(G)	980	1	1287(G)
	Ilet à Vidot	940	650	5	792(S)	900	5	1122(S)
Le Tampon	Plaine des Cafres	1560	460	1	709(G)	623	1	1037(G)
	Le Tampon (CIRAD)	860	380	10	342(G)	437	5	494(G)
Cilaos	Cilaos	1197	836	10	815(G)	1025	5	1188(G)
	Mare-Sèche	1110	737	10	632(S)	890	5	895(S)
	Ilet à Cordes	1067	600	10	578(G)	740	5	816(G)

DR10 (en mm) : cumul d'une durée de retour de 10 ans pour le poste
DR : indique la valeur de la durée de retour (**1**=DR<2ans; **2** =DR entre 2 et 5 ans; **5** = DR entre 5 et 10 ans; **10** = DR > 10ans)
Elle est calculée, soit par la méthode **GEV** (nécessite plus de 25 ans de données), soit par la méthode **GPD** (loi de Pareto).
Par défaut (série de données<10 ans), les valeurs décennales issues de la méthode **SHYPRE** sont utilisées.

L'épisode cyclonique "Béjisa" a surtout été marquant pour les précipitations tombées lors de la journée climatologique du 2 janvier 2014.

En ce qui concerne les données journalières, les communes de **Cilaos**, **La Possession (Cirque de Mafate), L'Etang-Salé**, **Le Tampon**, **St-Leu**, **St-Louis**, **St-Paul** et de **St-Pierre** ont chacune au moins un poste qui dépasse les valeurs de durée de retour de 10 ans.

Aucune station de Météo-France ne se situe sur la commune de **Trois-Bassins**. Cependant, les postes sur le nord de St-Leu peuvent faire référence pour cette commune et on peut en déduire que les valeurs décennales ont également été certainement dépassées pour cette commune.



La couleur du triangle correspond au quantile du cumul quotidien (journée du 2 janvier 2014, la plus arrosée de l'épisode); le carré gris indiquant un cumul maximal inférieur à la valeur de durée de retour de 2 ans.

On indique également sur cette carte la valeur du cumul journalier et celle du quantile d'une durée de retour de 10 ans (en gris).

C. Cumuls horaires glissants et intensités.

Les données 6 minutes et horaires des stations automatiques nous permettent de calculer les cumuls glissants maxima pour des durées allant de 1 heure à 48 heures. Ces données (en vert) se retrouvent dans le tableau ci-dessous, associées aux valeurs de durée de retour de 10 ans (DR10).

De nombreux postes (mesurant les précipitations au pas de temps horaire et infra-horaire) sont tombés en panne ; d'autres se sont bouchés au cours de l'épisode. Par conséquent, il n'a pas été possible de calculer les cumuls horaires glissants pour ces postes.

Pour les postes qui ont fonctionné "normalement", il s'avère que les intensités de pluies ont surtout été marquantes pour les pas de temps allant de 6 h à 48 h glissantes. Les cumuls les plus forts sur 48h glissantes ont été enregistrés à Cilaos (**1065 mm**) et à la Plaine des Chicots (**1010 mm**)

Au moins un poste sur chacune des communes des **Avirons**, de **l'Entre-Deux**, de **La Possession**, de **St-Joseph**, de **St-Louis**, de **St-Paul**, du **Tampon** et de **Cilaos** dépasse les valeurs de durée de retour de 10 ans.

Commune	Station	alti-tude	Cumul glissant maximum sur																			
			1h	DR	DR10	2h	DR	DR10	3h	DR	DR10	6h	DR	DR10	12h	DR	DR10	24h	DR	DR10	48h	DR	DR10
LES AVIRONS	Les Avirons (CIRAD)	180	26	1	63(R)	45	1	73(R)	58	1	81(R)	83	2	100(R)	124	10	111(R)	160	10	145(R)	173	10	171(R)
L'ENTRE-DEUX	Dimitile	740	41	1	80(S)	67	1	125(S)	94	2	161(S)	163	2	247(S)	301	5	397(S)	476	5	601(S)	576	5	814(S)
	Bras-Long	850	47	2	68(S)	78	2	104(S)	111	5	134(S)	188	5	201(S)	311	5	319(S)	435	5	474(S)	498	5	635(S)
PETITE-ÎLE	Petite-Ile (CIRAD)	155	12	1	69(R)	15	1	104(R)	18	1	124(R)	28	1	170(R)	45	1	228(R)	85	1	289(R)	114	1	354(R)
PLAINE-DES-PALMISTES	Plaine-des-Palmistes	1032	70	1	96(R)	103	1	158(R)	127	1	208(R)	241	2	301(R)	444	5	474(R)	706	5	720(R)	808	2	1014(R)
LE PORT	Le Port	9	18	1	62(G)	25	1	83(G)	34	1	96(G)	60	1	134(G)	95	1	174(G)	127	1	230(G)	146	1	289(G)
LA POSSESSION	Aurère	940	79	2	95(R)	126	2	176(R)	178	2	239(R)	302	2	382(R)	509	5	664(R)	700	2	1042(R)	931	2	1452(R)
	La Nouvelle	1415	71	2	94(S)	126	5	151(S)	175	5	200(S)	323	10	312(S)	585	10	510(S)	836	10	785(S)	941	5	1076(S)
ST-ANDRÉ	Menciol	181	41	1	87(G)	49	1	138(G)	56	1	173(G)	84	1	227(G)	157	1	312(G)	276	1	410(G)	335	1	575(G)
ST-BENOÎT	St-Benoît	43	31	1	95(R)	46	1	152(R)	54	1	185(R)	92	1	239(R)	117	1	298(R)	207	1	402(R)	266	1	512(R)
	Takamaka-PK12	660	52	1	128(G)	83	1	200(G)	108	1	251(G)	195	1	405(G)	313	1	612(G)	558	1	880(G)	627	1	1247(G)
	Chemin de Ceinture	260	34	1	93(S)	59	1	141(S)	69	1	179(S)	116	1	272(S)	183	1	431(S)	314	1	648(S)	381	1	865(S)
ST-DENIS	Pointe du Gouffre	8	31	1	55(S)	37	1	84(S)	51	1	106(S)	89	2	154(S)	146	2	237(S)	237	2	344(S)	259	2	449(S)
	St-Denis Collège	36	22	1	61(S)	34	1	92(S)	49	1	115(S)	83	1	166(S)	124	1	250(S)	174	2	358(S)	208	2	461(S)
	La Grande Chaloupe	7	24	1	56(R)	29	1	74(R)	39	1	99(R)	66	1	140(R)	114	1	200(R)	197	2	264(R)	232	2	325(R)
	Radar Colorado	746	24	1	72(S)	29	1	110(S)	32	1	140(S)	55	1	211(S)	85	1	333(S)	139	1	497(S)	216	1	664(S)
	Montauban	420	29	1	87(S)	41	1	136(S)	66	1	177(S)	101	1	272(S)	156	1	436(S)	263	1	664(S)	397	2	896(S)
	Le Brûlé-Val-Fleuri	1065	57	2	87(S)	80	1	135(S)	98	1	174(S)	185	2	266(S)	312	2	425(S)	520	5	643(S)	695	5	864(S)
	Plaine des Chicots	1834	80	2	116(R)	129	2	192(R)	179	2	249(R)	314	2	437(R)	524	2	762(R)	836	5	1123(R)	1010	2	1515(R)
ST-JOSEPH	Cratère Commerson	2310	93	2	114(G)	169	5	184(G)	242	5	249(G)	450	10	402(G)	702	10	668(G)	920	5	1103(G)	989	2	1661(G)
	Grand-Coude	1085	36	1	85(R)	63	1	128(R)	84	1	167(R)	145	1	249(R)	224	2	344(R)	298	1	445(R)	410	2	610(R)
	La Crête (CIRAD)	650	62	2	80(G)	100	2	125(G)	144	5	168(G)	251	5	279(G)	449	5	450(G)	587	5	637(G)	641	2	832(G)
	St-Joseph (CIRAD)	17	23	1	63(R)	33	1	94(R)	46	1	106(R)	77	1	148(R)	139	2	253(S)	183	2	266(R)	235	2	319(R)
ST-LEU	Colimaçons (CIRAD)	798	45	1	73(G)	78	2	103(G)	98	2	126(G)	166	5	173(G)	212	5	235(G)	274	5	302(G)	334	5	365(G)
ST-LOUIS	Les Makes	980	48	2	80(S)	87	2	123(S)	118	2	158(S)	207	5	241(S)	338	5	385(S)	545	5	580(S)	688	5	783(S)
	Le Gol les Hauts (CIRAD)	365	28	1	76(R)	49	1	105(R)	64	1	129(R)	102	1	169(R)	143	2	226(R)	247	5	288(R)	298	5	356(R)
	Tapage (CIRAD)	863	47	1	91(R)	82	2	116(R)	116	5	132(R)	194	10	146(R)	311	10	165(R)	486	10	218(R)	565	10	254(R)
ST-PAUL	Bois-de-Nèfles St-Paul (CIRAD	595	23	1	64(G)	30	1	99(G)	38	1	120(G)	66	1	170(G)	112	1	245(G)	175	1	340(G)	247	2	449(G)
	Tan-Rouge (CIRAD)	750	43	1	72(R)	71	1	103(R)	88	2	115(R)	146	10	138(R)	202	10	184(R)	278	10	259(R)	342	5	351(R)
	Piton Maïdo	2195	35	1	106(S)	63	1	168(S)	79	1	221(S)	105	1	348(S)	164	1	569(S)	271	1	878(S)	371	1	1211(S)
	Pointe des Trois Bassins	5	25	1	58(R)	37	1	75(R)	52	1	89(R)	96	2	128(R)	122	2	156(R)	150	2	197(R)	168	2	240(R)
ST-PIERRE	Ravine des Cabris (CIRAD)	310	28	1	60(R)	43	1	87(R)	63	1	98(R)	115	5	140(R)	181	5	204(R)	258	5	263(R)	285	5	314(R)
	Pierrefonds-Aéroport	21	19	1	48(R)	26	1	59(R)	35	1	73(R)	58	1	105(R)	99	2	148(R)	166	5	192(S)	186	5	237(R)
	Ligne-Paradis (CIRAD)	156	22	1	62(G)	28	1	90(G)	40	1	112(G)	74	1	147(G)	108	1	185(G)	189	5	243(G)	204	2	287(G)
STE-MARIE	Gillot-Aéroport	8	32	1	58(G)	41	1	96(G)	67	1	115(G)	98	1	150(G)	135	1	198(G)	215	2	281(G)	260	2	392(G)
	La Mare (CIRAD)	68	29	1	59(S)	42	1	88(S)	63	1	111(S)	89	1	161(S)	123	1	246(S)	196	2	356(S)	241	2	463(S)
	Plaine des Fougères	1062	41	1	98(R)	55	1	163(R)	81	1	224(R)	144	1	359(R)	238	1	536(R)	396	1	838(R)	465	1	1151(R)
STE-ROSE	Hauts de Ste-Rose	820	38	1	121(G)	59	1	201(G)	87	1	263(G)	159	1	403(G)	248	1	559(G)	411	1	788(G)	448	1	1169(G)
STE-SUZANNE	Bagatelle	262	37	1	80(R)	52	1	124(R)	82	1	151(R)	122	1	207(R)	176	1	294(R)	276	2	405(R)	330	1	535(R)
	Bras-Pistolet	555	39	1	68(R)	53	1	118(R)	79	1	142(R)	127	1	194(R)	207	2	252(R)	285	1	415(R)	347	1	579(R)
SALAZIE	Salazie Village	476	82	2	126(R)	140	2	207(R)	202	2	258(R)	368	2	467(R)	563	5	709(R)	822	5	967(R)	932	2	1266(R)
LE TAMPON	Plaine des Cafres	1560	65	2	81(G)	92	2	133(G)	136	2	176(G)	250	5	277(G)	399	5	441(G)	560	5	707(G)	627	2	986(G)
	Le Tampon (CIRAD)	860	66	5	69(G)	85	2	104(G)	118	5	129(G)	214	10	180(G)	326	10	246(G)	402	10	348(G)	443	5	461(G)
CILAOS	Cilaos	1197	75	5	76(G)	127	10	122(G)	191	10	164(G)	332	10	273(G)	546	10	481(G)	884	10	752(G)	1065	10	988(G)
	Mare-Sèche	1110	64	2	92(S)	108	2	144(S)	163	5	191(S)	288	5	299(S)	464	5	489(S)	776	10	750(S)	927	5	1028(S)

DR10 (en mm) : cumul d'une durée de retour de 10 ans pour le poste
DR : indique la valeur de la durée de retour (**1**=DR<2ans; **2** =DR entre 2 et 5 ans; **5** = DR entre 5 et 10 ans; **10** = DR > 10ans)
Elle est calculée, soit par la méthode **GEV** (nécessite plus de 25 ans de données), soit par la méthode **GPD** (loi de Pareto).
Par défaut (série de données<10 ans), les valeurs décennales issues de la méthode **SHYPRE** sont utilisées.

Pour le poste de la **Plaine des Palmistes**, la valeur du quantile de durée de retour 10 ans pour le cumul sur 24 h glissant est de 720 mm. Le poste a relevé 706 mm ce qui très proche de cette valeur, de plus ce cumul est largement à l'intérieur de la fourchette d'incertitude du calcul de la durée de retour. De même, pour le poste de Bras-Long (commune de **l'Entre-Deux**) pour lequel, on a enregistré un cumul de 311 mm en 12 heures pour une valeur de durée de retour décennale de 319 mm.

Sur ces 2 communes, on considère que les pluies observées présentent un caractère exceptionnel.

D. Complément de rapport : Etude des postes bénévoles (non disponibles lors de l'envoi du rapport provisoire)

Cumuls glissants

Commune	Station	alti-tude	Cumul glissant maximum sur																	
			1h	DR	DR10	2h	DR	DR10	3h	DR	DR10	6h	DR	DR10	12h	DR	DR10	24h	DR	DR10
LA POSSESSION	Dos d'Ane	915	43	1	103(G)	71	1	159(G)	104	2	201(G)	202	2	278(G)	365	5	403(G)	522	5	595(G)
ST-DENIS	Le Chaudron	38	32	1	59(G)	46	1	90(G)	71	1	109(G)	106	2	144(G)	160	5	198(G)	247	5	287(G)
ST-DENIS	St-François	545	24	1	73(R)	42	1	111(R)	58	1	146(R)	110	1	183(R)	185	1	274(R)	286	2	512(R)
ST-LEU	Ferme Corail	4	29	2	41(S)	45	2	61(S)	62	2	77(S)	117	10	82(R)	150	10	112(R)	194	10	130(R)
STE-MARIE	Beaufond-Ste-Marie	225	24	1	72(S)	46	1	107(S)	66	1	135(S)	112	1	200(S)	170	1	309(S)	255	2	455(S)
SALAZIE	Hell-Bourg	975	66	1	102(S)	111	2	162(S)	158	5	214(S)	288	5	334(S)	484	5	545(S)	811	5	838(S)
LE TAMPON	Bras-Sec	1210	74	5	87(G)	121	5	140(G)	165	5	186(G)	319	10	286(G)	559	10	454(G)	770	10	684(G)

Cumuls journaliers

Commune	Station	alti-tude	Cumul maximum sur					
			1 jour	DR	DR10	2 jours	DR	DR10
La Possession	Dos d'Ane	915	445	5	451(G)	592	5	657(G)
St-Denis	Le Chaudron	38	159	1	274(G)	298	1	382(G)
St-Denis	St-François	545	185	1	383(G)	352	1	547(G)
St-Leu	Ferme Corail	4	191	10	142(R)	206	10	177(R)
Ste-Marie	Beaufond-Ste-Marie	225	167	1	274(G)	318	1	415(G)
Salazie	Hell-Bourg	975	694	5	705(S)	971	5	994(S)
Le Tampon	Bras-Sec	1210	652	10	644(G)	854	5	969(G)

Les cumuls enregistrés pour le poste de Hell-Bourg (Cirque de **Salazie**) sont très proches des valeurs des quantiles de durée de retour 10 ans :

811 mm en 24 h glissant alors que le quantile décennal est de 838 mm (écart de 3%)

694 mm sur 1 jour climatologique (de 7h à 7h) alors que le quantile décennal est de 705 mm (écart de moins de 3%).

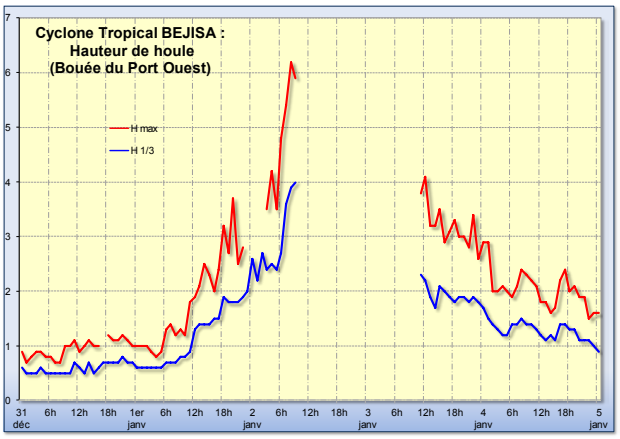
Vu les incertitudes liées au calcul des durées de retour et le peu d'écart avec les valeurs décennales (3%), on considère que les pluies tombées sur certains secteurs de Salazie présentent un caractère exceptionnel.

Pour les autres postes bénévoles, les données sur St-Leu (Ferme Corail) et le Tampon (Bras-Sec) confirment le caractère exceptionnel sur ces 2 communes.

Le poste de Dos d'Ane (commune de La Possession) a relevé un cumul sur 1 jour (445 mm) très proche du quantile décennal (451 mm) ; soit un écart de moins de 2 %. Il conforte la valeur relevée dans Mafate (à La Nouvelle) pour qualifier l'évènement d'exceptionnel sur cette commune.

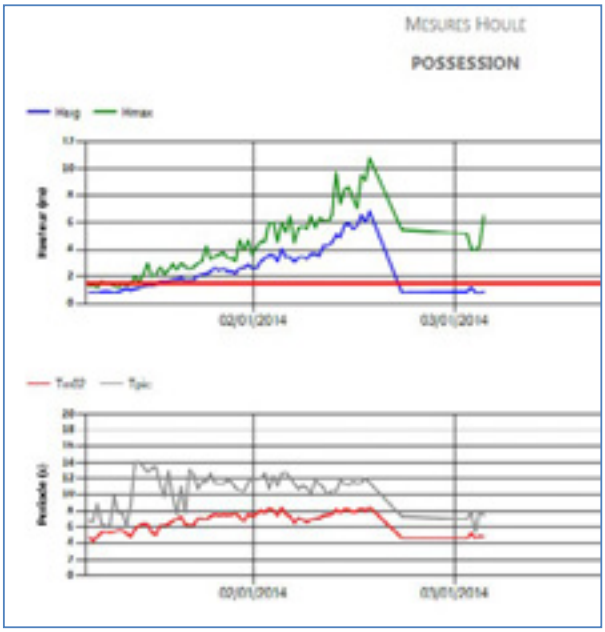
Il reste encore 5 postes bénévoles à récupérer, disponibles normalement dans les prochains jours.

3. HOULE ET SURCOTE (Submersion)

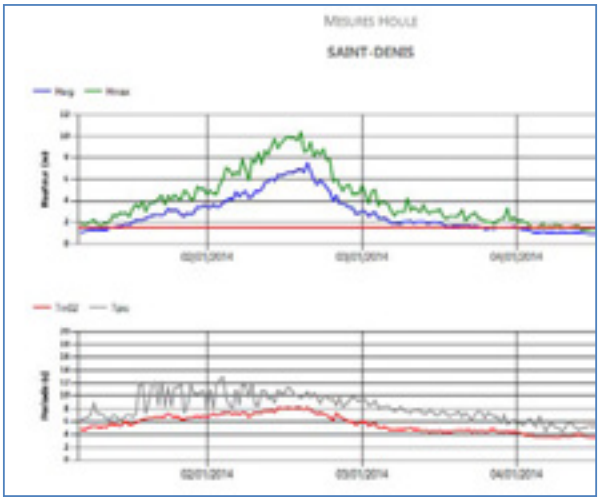


Pour rappel, le phénomène de submersion côtière apparait sous l'effet combiné de la houle, de la surcote atmosphérique générée par la baisse de pression à l'approche du centre du système et par le vent qui selon la configuration peut induire des courants de surface qui poussent les masses d'eau vers la côte, sans oublié l'effet de la marée astronomique qui vient s'ajouter à la surcote atmosphérique. Enfin, en lien avec les fortes pluies qui se produisent sur les reliefs, l'eau qui s'écoule des ravines et vient se déverser dans la mer peut également contribuer à un phénomène de submersion côtière.

Houle : les deux houlographes du Port, gérés et maintenus par la DEAL, mesurent l'état de la mer à proximité du littoral nord-ouest de La Réunion. Malheureusement, celui du Port-Est a connu des dysfonctionnements et la centrale d'acquisition des données a été arrêtée au moment du passage en alerte rouge. De ce fait, ils n'ont pas pu mesurer les hauteurs maximales de houle générées par "Bejisa". (confère le 1er graphique de cette page)



Néanmoins, si on se fie aux données mesurées par les 2 bouées OCEANO de la région mises en place pour le projet de la nouvelle route du littoral, qui sont représentatives de la houle ayant impacté le littoral entre St-Denis et St-Paul, la houle générée par "Bejisa" se renforce nettement en matinée du 2 janvier. Cette houle atteint son paroxysme en début d'après-midi du 2 janvier. Les vagues les plus hautes seraient comprises entre 10 et 11 m et les vagues significatives (H1/3) entre 7 m et 7,5 m. De plus, la période de la houle est restée inférieure à 12s.



Sur les régions littorales situées plus au sud (de Saint-Gilles à Saint-Pierre), nous n'avons pas de relevé mais la configuration du vent (de nord persistant pendant plusieurs heures) permet d'estimer que la houle dans ces secteurs est probablement restée sur des valeurs inférieures à 10 m. Ceci place cet événement au même niveau que Dumile ou Felleng sans atteindre les hauteurs et périodes exceptionnelles relevées lors des épisodes Dina ou Gamede.

Surcote : le SHOM a mesuré une surcote atmosphérique maximale de 70 cm sur deux marégraphes installés à la Pointe des Galets et à Sainte-Marie. Si on ajoute les effets de la marée astronomique, la surcote maximale atteinte en début d'après-midi du 2 janvier à la Pointe des Galets est de 1,58m et 1,70m à Sainte-Marie au dessus du zéro hydrographique.

Précipitations : les pluies tombées sur les hauts de l'ouest et du sud-ouest ont été intenses (notamment lors du passage au plus près de l'œil du cyclone dans l'après-midi du 2 janvier) et ont dépassé sur plusieurs postes les durées de retour 10 ans sur un pas de temps quotidien.

Sur cet événement, même si les valeurs observées ou estimées pour les paramètres houle et surcote ne présentent pas de caractère exceptionnel, la mise en phase de l'ensemble des éléments en début d'après-midi du 2 janvier (houle, surcote atmosphérique, surcote astronomique et pluies intenses) a pu se traduire par des phénomènes de submersion côtière importants sur la côte ouest de La Réunion.

Comparaison de la houle de Bejisa avec d'autres houles cycloniques

Le tableau, ci-dessous, présente les événements qui se sont produits depuis 1993 et sur lesquels nous possédons des mesures. Nous nous sommes restreints à la zone côtière nord allant du Port à Sainte-Marie. Les fortes houles qui frappent cette zone sont toujours liées au passage à distance plus ou moins proche de la Réunion de tempêtes ou cyclones tropicaux.

Date	**Phénomène générateur**	**Bouée**	**H1/3 max** en mètres	**H max** en mètres
19/01/1993	COLINA	Ste-Marie	6,1	9,4
12/01/1994	DAISY	Ste-Marie	5,0	7,3
29/01/2000	CONNIE	Pointe du Gouffre	4,9	6,1
06/01/2001	ANDO	Port-Est	5,4	10,8
22/01/2002	DINA	Pointe du Gouffre	>4,2 (**10** m estimé)	>6,3 (**14** m estimé)
12/03/2002	HARY	Port-Ouest	5,3	8
06/02/2004	ELITA	Port-Ouest	4,4	6,2
07/03/2004	GAFILO	Pointe du Gouffre	4,7	7,1
27/02/2007	GAMEDE	Pointe du Gouffre	**7,0**	**11,7**
07/02/2009 08/02/2009	GAËL	Pointe du Gouffre Port-Ouest	6,2 5,6	10,6 9,5
03/01/2013	DUMILE	Pointe du Gouffre Port-Est Port-Ouest	6,3 5,3 4,2	11,0 8,6 6,9
02/01/2014	**BEJISA**	St-Denis (bouée OCEANO) La Possession (bouée OCEANO)	**7,5** (N) **6,8** (NW)	**10,4** **10,8**

III- Avis de l'expert météorologique

Vent :

Même si les rafales ont été violentes par endroits (estimées ou mesurées proches de 180 km/h), le caractère exceptionnel comme défini dans l'article L122-7 du code des assurances (rafales supérieures à 215 km/h ou vent moyen sur 10 minutes supérieur à 145 km/h) n'a pas été atteint lors du passage de "Bejisa" à proximité de nos côtes.

Néanmoins, les conditions cycloniques ont été approchées ou dépassées sur l'ensemble des communes de l'île. Il s'agit de l'épisode le plus significatif depuis Dina en 2002.

Houle :

Les hauteurs maximales de la houle générée par "Bejisa" ont été remarquables sur les côtes nord-ouest et nord mais pas exceptionnelles.

Sur la côte ouest, à la houle (cependant moins forte que sur le nord-ouest) se sont rajoutés les phénomènes de surcote et de marée astronomique au moment du passage au plus près du cyclone, ce qui a pu engendrer des phénomènes importants de submersion côtière mais il ne nous est pas possible de qualifier l'évènement en terme de durée de retour (insuffisance de chroniques historiques).

Pluie :

Les précipitations, qui ont touché les communes de La Possession, St-Paul, Trois-Bassins, St-Leu, Les Avirons, L'Etang Salé, l'Entre-Deux, St-Louis, St-Pierre, St-Joseph, Le Tampon, la Plaine des Palmistes, Salazie, et Cilaos entre le 1er et le 3 janvier 2014 lors du passage à proximité du cyclone tropical "Bejisa", présentent un **caractère exceptionnel**.

Sur ces communes, on retrouve des valeurs de durée de retour égale ou supérieure à 10 ans (seuil déterminant le caractère exceptionnel du phénomène)

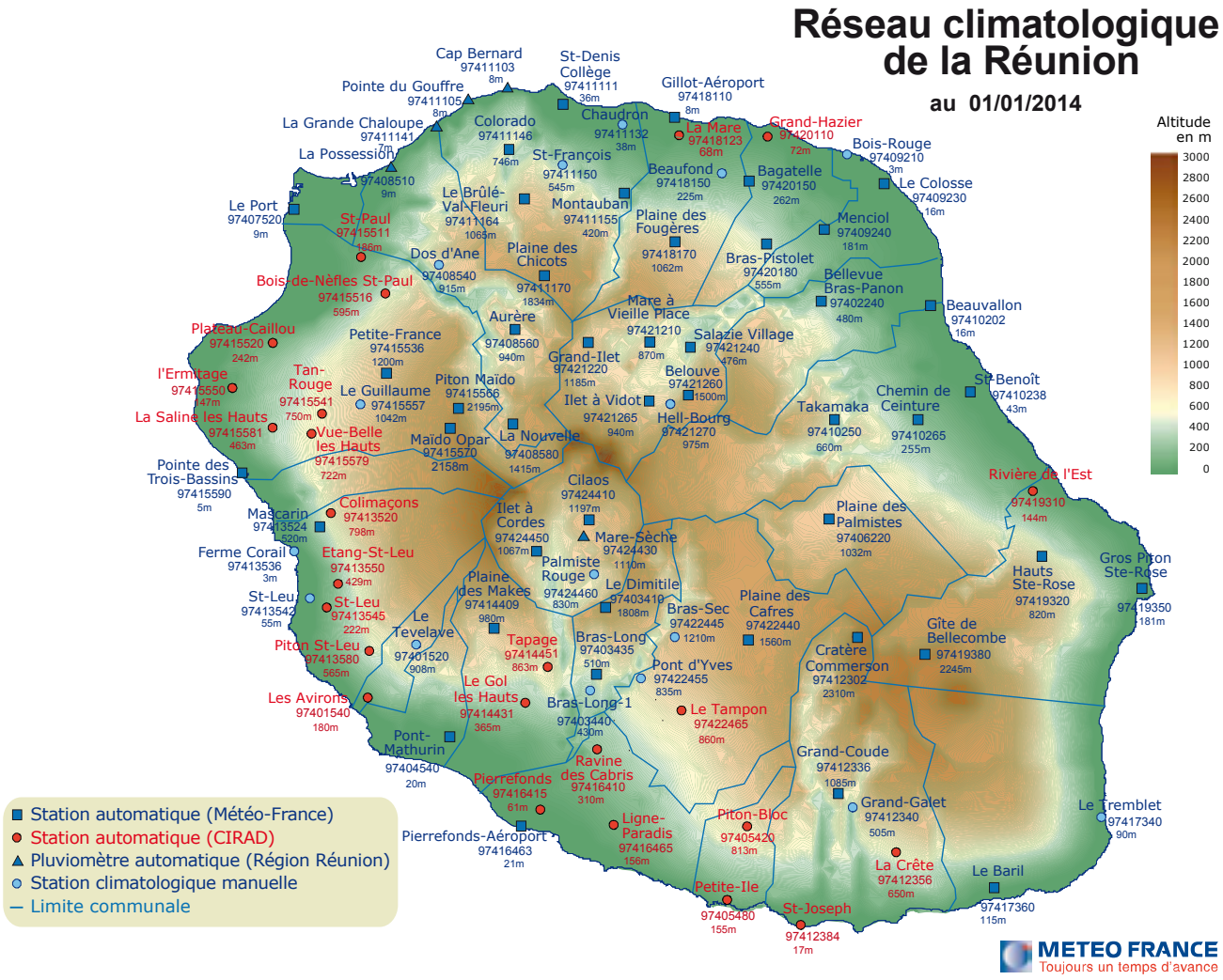
Par contre, sur les autres communes de La Réunion, les cumuls relevés par les stations de Météo-France n'ont pas atteint les valeurs décennales.

Conclusion :

Les effets conjugués du vent, des précipitations et de la houle avec le passage à proximité du mur de l'œil du cyclone "Bejisa" présentent un caractère exceptionnel sur tout l'ouest et sud réunionnais de La Possession à St-Joseph ainsi que sur le Tampon, la Plaine des Palmistes, Salazie et Cilaos.

François Bonnardot
Responsable du
Bureau d'Etudes et Climatologie

Carte du réseau de mesure de Météo-France



8.7 Rapport météorologique suite au passage à proximité de La Réunion de "DINA" (du 22 au 23 janvier 2002)

1. Préambule

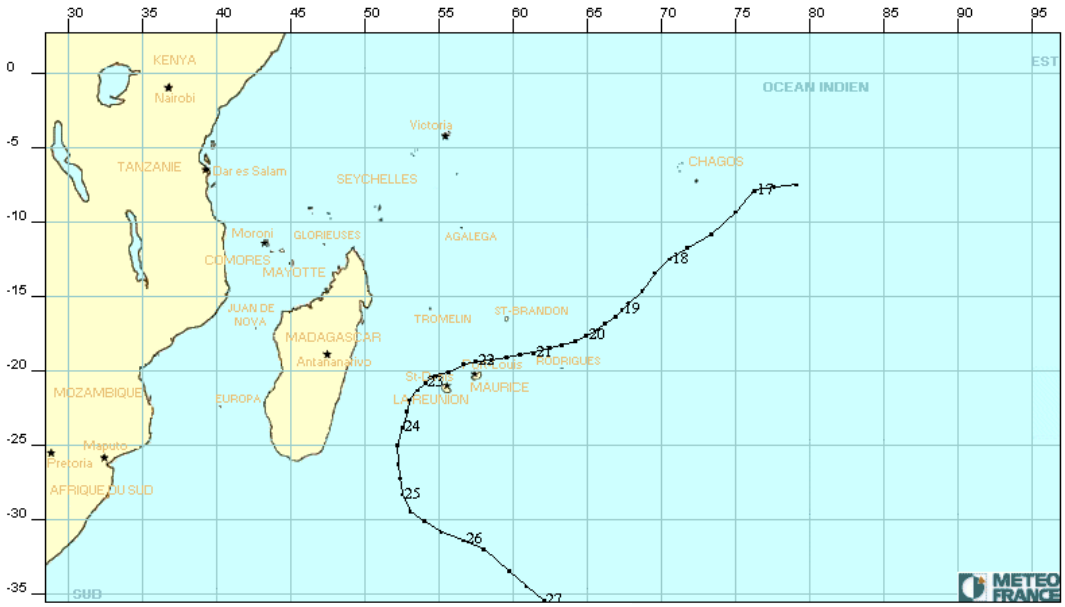
Le réseau météorologique a beaucoup souffert du passage du cyclone tropical DINA, notamment dans les Hauts. Certains stations, comme celle de la Nouvelle dans le cirque de Mafate, ont été fortement endommagées. De nombreux pluviomètres ont été arrachés de leur support au plus fort du cyclone. Ce constat à lui seul pourrait suffire à témoigner de la violence des éléments météorologiques qui ont frappé la Réunion les 22 et 23 janvier 2002. Il montre également que ce rapport a été élaboré dans un contexte difficile (données incomplètes ou parfois manquantes).

2. Situation météorologique

Nous ne nous étendrons pas outre-mesure sur la situation météorologique qui a prévalu au cours de la période englobant le passage de DINA au plus près de la Réunion. Néanmoins, on peut résumer et dire que DINA commence à faire sentir ses effets sur la Réunion dans l'après-midi du 21 janvier. DINA arrivant par l'est-nord-est, les pluies débutent dans les Hauts et les vents de sud forcissent progressivement sur les côtes est, sud et sud-ouest.

C'est dans la matinée du 22 que la quasi-totalité de l'île commence à ressentir l'influence de DINA situé alors à 120 km dans le nord-est. Les conditions s'aggravent très nettement dans l'après-midi à l'approche du cyclone. DINA passe au plus près, à 65 km dans le nord-nord-ouest, vers 18h locales ; c'est à ce moment que les pluies et les vents sont les plus violents dans bon nombre de régions. La Réunion est traversée par le secteur dit « dangereux » des marins.

Une fois le mur de l'œil passé à quelques 27 km des côtes nord-ouest, DINA n'en a pas fini pour autant. Le météore continuant sa course vers l'ouest-sud-ouest, c'est la côte nord-ouest, jusque là protégée, qui est secouée brutalement par les violentes rafales de nord-est. La nuit du 22 au 23 fut également très difficile pour tous les Hauts de l'île où le vent est demeuré très violent pendant de nombreuses heures. On peut dire que ce n'est que dans l'après-midi du 23 que DINA n'a plus intéressé l'île en poursuivant son éloignement vers le sud-ouest et permettant ainsi une amélioration générale.



Trajectoire de DINA du 16 au 27 janvier 2002

3. Conséquences météorologiques

1. Les vents :

Les vents violents ont touché l'ensemble de l'île, n'épargnant aucune région, mais c'est dans les Hauts et sur le Nord-Ouest (plus proche de la trajectoire du météore) que les rafales ont été les plus violentes.

Les 277 km/h mesurés au Piton Maïdo à 2200 mètres d'altitude avant panne de la station ne sont certes pas représentatifs étant donné la configuration du site, mais ils témoignent tout de même de la violence qu'ont pu atteindre les vents très localement par effet de relief. D'ailleurs on a tout de même mesuré :

- 220 km/h de nord-est à la Plaine des Cafres le 22 à 23h30 sur une station située à 1560 mètres d'altitude, mais en zone habitée
- 209 km/h de nord-est au Gîte du volcan (certes à 2200 mètres d'altitude) le 22 à 17h30
- 191 km/ d'est à Petite-France (1200 mètres) le 23 vers 00h30
- 155 km/h d'est à Grand-Coude (1080 mètres) le 22 vers 17h30
- 144 km/h à Bellevue Bras Panon avant panne et bien avant le paroxysme

Au village de la Montagne (Hauts de Saint-Denis), en bordure de falaise, il est fort probable au vu des dégâts constatés (végétation littéralement « nettoyée », poteaux EDF en ciment quasiment descellés, toitures en tôle arrachées, radar du Colorado « décoiffé ») et d'après les mesures fiables que l'on a pu noter beaucoup plus bas (187 km/h à Gillot) que les vitesses maximales ont dépassé les 215 km/h. On a pu observer des symptômes identiques dans les Hauts du Brûlé. Une première étude effectuée à partir des mesures Doppler fournies par le radar du Colorado avant sa destruction confirme largement ces estimations (rafales estimées à 280 km/h à proximité du radar).

Dans les cirques où le vent peut pénétrer par les vallées, les rafales d'une brutalité extrême ont atteint des valeurs très importantes :

- 180 km/h à Cilaos vers 20h le 22
- 151 km/h à Mare à Vieille Place mais la station n'a pas fonctionné au plus fort du cyclone.

Le pylône anémométrique de la station de Mafate-La Nouvelle n'a, quant à lui, pas résisté à la force du vent (mât décapité).

Sur le littoral, les vitesses maximales instantanées ont atteint également des valeurs impressionnantes :

- 187 km/h de sud-est à Gillot (Aéroport) le 22 à 15h45
- 187 km/h de sud-est à Pont-Mathurin (Saint-Louis) le 22 à 17h00
- 180 km/h de sud-sud-est à Pierrefonds (Saint-Pierre) le 22 à 17h00
- 180 km/h d'est au Port le 22 à 19h30
- 162 km/h de sud-sud-est au centre ville de Saint-Denis le 22 à 17h00.

D'autre part, sur l'Ouest, les vents ont soufflé du sud à l'avant de DINA avant un calme relatif puis une rotation au nord à nord-est dans la nuit. Cette rotation quasiment à 180 degrés a pu avoir un effet destructeur sur les plantations et les ouvrages endommagés par les rafales de vent de sud. On a pu noter, par exemple à la Pointe des Trois Bassins :

- 133 km/h de sud le 22 à 16h
- 130 km/h de nord-est le 23 à 3h30.

Ce qui fut également remarquable, et c'est peut-être la caractéristique principale de ce cyclone tropical, c'est la durée des vents violents qui ont soufflé pendant de nombreuses heures. Les rafales de vent ont dépassé régulièrement les 100 km/h pendant :

- 28 heures à la Plaine des Cafres
- 24 heures à Petite-France
- 20 heures à Gillot
- 18 heures au Port.

Enfin, ils ont dépassé les 150 km/h en rafales pendant :

- 15 heures à la Plaine des Cafres
- 9 heures à Petite-France
- 7 heures au Port
- 5 heures à Gillot.

Durées de retour de tels vents :

Pour tenter d'évaluer la fréquence d'un phénomène tel que DINA au niveau des vents, sur plusieurs stations fiables nous avons calculé la durée de retour des valeurs mesurées :

- supérieure à 30 ans pour Gillot (187 km/h)
- supérieure à 50 ans pour le Port (180 km/h)
- supérieure à 20 ans pour Petite-France (191 km/h)
- supérieure à 30 ans pour la Plaine des Cafres (220 km/h).

Comparaison à d'autres cyclones :

Nous pouvons également tenter de comparer DINA à d'autres cyclones tels que le cyclone de 1948, JENNY, etc … Pour le cyclone de 1948, certaines estimations parlent de 300 km/h. JENNY en 1962 aurait été très court, mais très violent (250 km/h). GISELLE (1964) et DENISE (1966) auraient soufflé à 180 km/h sur Gillot. Pour ces deux derniers cyclones, les valeurs de DINA sont ainsi légèrement supérieures. En 1987, CLOTILDA (forte tempête tropicale) provoque des rafales de 173 km/h à Gillot.

Les premières mesures nombreuses et comparables entre elles, sont apparues avec FIRINGA en 1989. On mesure 216 km/h à Saint-Pierre et à la Plaine des Cafres, 176 km/h à Gillot. FIRINGA était un cyclone potentiellement moins violent, mais l'œil était passé sur l'île. C'est le Sud qui a été le plus touché. Dans les Hauts du Nord-Ouest et à la Plaine des Cafres, DINA semble avoir provoqué des vents comparables à ceux mesurés lors du passage de FIRINGA dans le Sud.
COLINA (1993) approche les 191 km/h à Gillot (plus forte valeur mesurée sur ce site par les anémomètres « fréquencemétrique »), mais la durée des vents violents a été nettement plus courte que dans le cas de DINA. L'étendue des vents cycloniques a été également nettement moindre. L'œil a traversé la côte ouest de l'île.

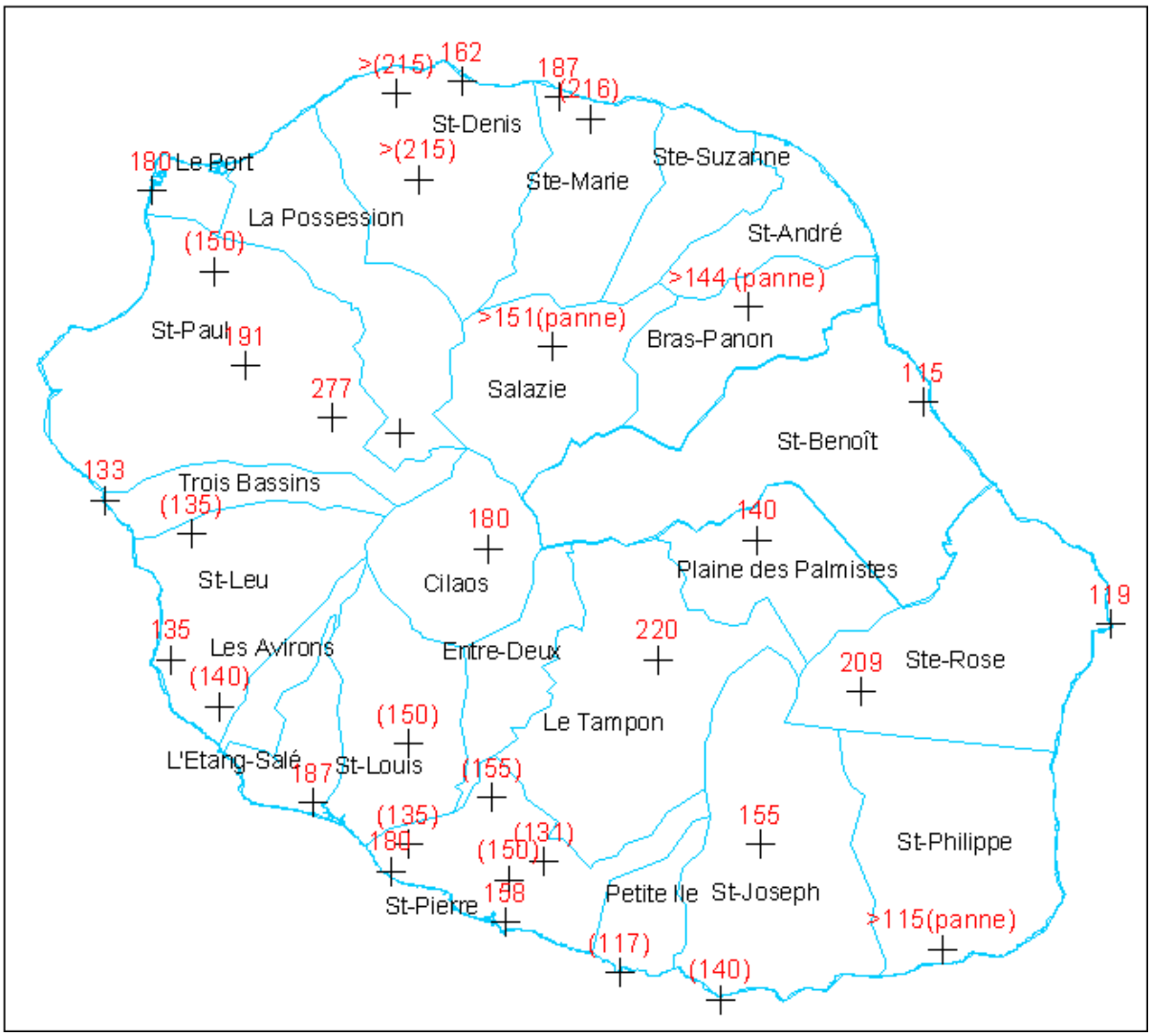
On mesure 234 km/h à Gros-Piton Sainte-Rose (site très exposé) à l'occasion du passage de HOLLANDA en 1994, mais le cyclone était passé au sud-est de l'île et de ce fait l'étendue des vents violents a été également nettement plus faible que dans le cas de DINA. Les cyclones plus récents, DANIELLA (1996), DAVINA (1999), CONNIE (2000) et ANDO (2001) sont nettement un cran en-dessous en ce qui concerne les vents maxi instantanés mesurés, l'étendue des vents violents et leur durée.

On trouvera ci-dessous un tableau comparatif des vents maxi instantanés mesurés au cours des cyclones les plus récents.

STATION	FIRINGA (29/01/89)		COLINA (19/01/93)		HOLLANDA (11/02/94		DANIELLA (08/12/96)		DAVINA (10/03/99)		CONNIE (29/01/00)		ANDO (06/01/01)		DINA (22/01/02)	
	kts	km/h	kts	km/h	kts	km/h	kts	km/h	kts	km/h	kts	km/h	kts	km/h	kts	km/h
Gillot	95	**176**	103	**191**	87	**162**	66	**122**	45	**83**	62	**115**	41	**76**	101	**187**
Bellevue Bras Panon			52	**97**	60	**112**	60	**112**	49	**90**	>49	**>90**	45	**83**	>78	**>144**
Mare à Vieille Place			78	**144**	72	**133**	35	**65**	49	**90**	58	**108**	54	**101**	>81	**>151**
Saint-Benoit	99	**184**	58	**108**	62	**115**	56	**104**	49	**90**	47	**86**	39	**72**	62	**115**
Gros Piton Sainte Rose	101	**187**	105	**194**	126	**234**	85	**158**	91	**169**	54	**101**	52	**97**	64	**119**
Plaine des Palmistes	95	**176**	111	**205**	80	**148**	39	**72**	50	**94**	58	**108**	56	**104**	76	**140**
Plaine des Cafres	>116	**>216**	97	**180**	64	**119**	45	**83**	56	**104**	56	**104**	72	**133**	118	**220**
Le Baril			60	**112**	76	**140**	56	**104**	68	**126**	58	**108**	54	**101**	>62	**>115**
Grand Coude			83	**155**	80	**148**	56	**104**	58	**108**	76	**140**	49	**90**	83	**155**
Saint Pierre	>116	**>216**	64	**119**	>50	**>94**	52	**97**	58	**108**	64	**119**	43	**79**	85	**158**
Cilaos			72	**133**	58	**108**	39	**72**	54	**101**	74	**137**	45	**83**	97	**180**
Pont Mathurin			60	**112**	78	**144**	47	**86**	62	**115**	58	**108**	27	**50**	101	**187**
Pointe des Trois Bassins	89	**166**	64	**119**	56	**104**	41	**76**	47	**86**	50	**94**	49	**90**	72	**133**
Petite France	85	**158**	66	**122**	66	**122**	27	**50**	41	**76**	83	**155**	62	**115**	103	**191**
La Nouvelle			80	**148**	89	**166**	52	**97**	56	**104**	66	**122**	52	**97**	??	**??**
Le Port	80	**148**	64	**119**	74	**137**	23	**43**	52	**97**	72	**133**	58	**108**	97	**180**

Carte des vents maxi instantanés par commune :

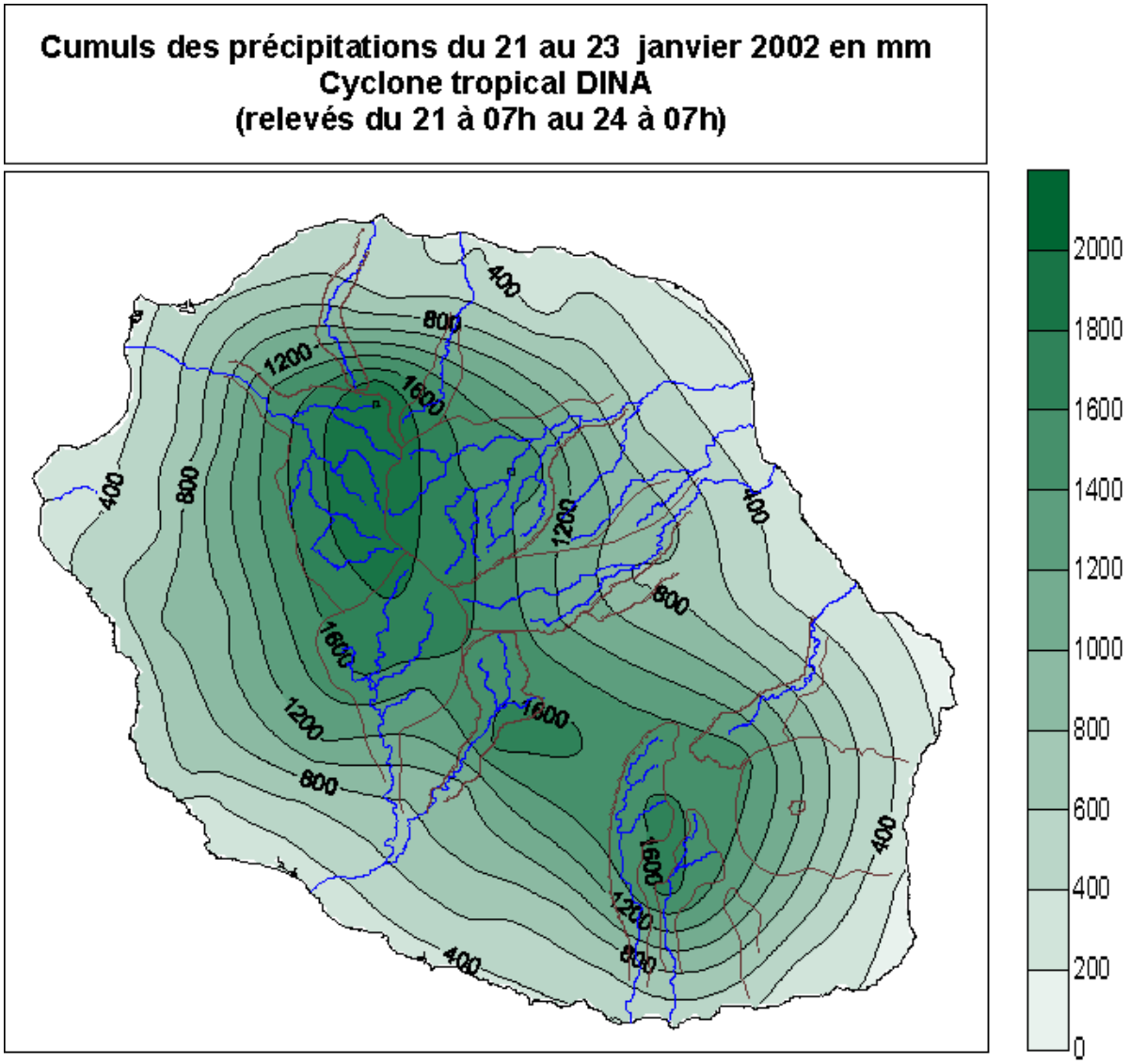
Vents maxi instantanés en km/h entre le 22 et le 23 janvier 2002
Cyclone tropical DINA



Météo-France dispose d'une vingtaine de stations de mesure de vent pour assurer sa mission. Afin de compléter cette carte, les valeurs indiquées entre parenthèses ont été calculées à partir des mesures de vent à 2 mètres des stations CIRAD en appliquant un coefficient multiplicateur de 1,3 pour estimer les valeurs à 10 mètres (hauteur des mesures effectuées par le réseau de Météo-France). Les valeurs >215 km/h indiqués à la Montagne et au Brûlé correspondent à notre estimation évoquée plus haut. Sur certains sites, nous avons indiqué le signe > (supérieur à) car le capteur de vent est tombé en panne avant le plus fort du cyclone.

Il faut préciser que compte-tenu de la configuration géographique particulière de l'île de la Réunion, les rafales de vent ont pu dépasser très localement par effet de relief des vitesses bien supérieures à celles qu'ont mesurées nos stations automatiques. Nous ne sommes malheureusement pas en mesure d'évaluer précisément la valeur de ces vitesses. Les 117 km/h (reconstitués à partir de mesures à 2 mètres) de la station CIRAD de Petite-Ile ne sont pas représentatifs de cette commune, car ils sont manifestement bien faibles par rapport à ce qui a été mesuré aux alentours (140 km/h à Saint-Joseph, 155 km/h à Grand-Coude, 158 km/h à Saint-Pierre).

2. Les Précipitations :



Comme on peut le constater sur la carte d'isohyètes présentée ci-dessus, les précipitations ont été très abondantes sur la quasi totalité de l'île. Excepté sur la côte est de Saint-Philippe à Saint-André, relativement épargnée, il est tombé de 300 à 600 mm sur le littoral. Dans les Hauts, on dépasse souvent les 1000 mm avec un maxi absolu de 2018 mm à la Plaine des Chicots.

Sur l'ensemble de l'épisode lié à DINA (très bien identifié par ailleurs), on mesure entre le 21 à 07h et le 24 à 07h :

- 2018 mm à la Plaine des Chicots
- 1689 mm à Ilet à Cordes (Cirque de Cilaos)
- 1644 mm à Bras-Sec Plaine des Cafres
- 1637 mm à Salazie
- 1617 mm à Grand-Galet (Hauts de Saint-Joseph)
- 1538 mm à Hell-Bourg
- 1515 mm à Piton-Rouge (Col de Bellevue)
- 1480 mm au Gîte de Bellecombe
- 1376 mm à Dos d'Ane (Hauts de La Possession)
- 1357 mm à Bélouve
- 1180 mm à la Plaine des Makes
- 1019 mm à la Plaine des Fougères (Hauts de Saint-Denis)
- 898 mm à Palmiste-Guillaume (Hauts de Saint-Paul)
- 820 mm aux Colimaçons/Mascarin (Hauts de l'Ouest)
- 761 mm à Ravine des Cabris (Hauts de Saint-Pierre)
- 710 mm au Gol les Hauts (Hauts de Saint-Louis)
- 696 mm à Bois de Nèfles Saint-Paul
- 674 mm à Bassin-Martin (Hauts de Saint-Pierre)
- 616 mm à Piton Saint-Leu
- 561 mm à la Possession
- 511 mm à Saint-Leu
- 509 mm à la Saline-les-Hauts
- 495 mm à Saint-Denis ville.

Comparaison à d'autres cyclones :

Comme on peut le voir ci-dessous (cumuls en mm sur 3 jours centrés sur le passage au plus près du cyclone), ces valeurs sont globalement comparables à celles que l'on a pu mesurer lors des cyclones majeurs de ces 40 dernières années (DENISE – HYACINTHE – CLOTILDA – FIRINGA) et bien plus élevées que celles des cyclones plus récents (COLINA – HOLLANDA – DANIELLA – DAVINA – CONNIE – ANDO). Les valeurs entre parenthèses correspondent à des valeurs reconstituées. Le cas de Hyacinthe est particulier puisque les pluies ont persisté pendant 10 jours avec 3 passages du cyclone à proximité de la Réunion. Ici nous avons indiqué le maximum sur 3 jours mesuré au cours de la période allant du 14 au 27 janvier 1980.

POSTE	Alti. en m	DENISE 07/01/66	HYACINTHE ///01/80	CLOTILDA 12/02/87	FIRINGA 29/01/89	COLINA 19/01/93	HOLLANDA 11/02/94	DANIELLA 08/12/96	DAVINA 10/03/99	CONNIE 29/01/00	ANDO 06/01/01	DINA 22/01/02
ILET A CORDES	1065	1572	manq	795	677	921	629	43	244	491	478	**1689**
BRAS SEC PL.CAFRES	1210		1139	1400	725	492	416	65	289	687	658	**1644**
GRAND GALET	420		966	615	519	417	673	336	276	668	355	**1617**
HELL-BOURG	970	1327	1346	1214	468	773	225	207	489	894	747	**1538**
BELLECOMBE	2250		**2067**	1733	1797	750	695	542	814	785	1255	1480
DOS-D'ANE	930		1160	1220	262	603	242	31	289	420	280	**1376**
BELOUVE	1500	**1961**	manq	manq	867	770	manq	198	473	885	766	1357
PLAINE DES MAKES	900	564	**1721**	456	361	272	559	35	140	291	187	1180
LA CRETE	650		795	1021	**1142**	420	380	363	151	608	287	(986)
PALMISTE GUIL.	1000	475	558	manq	251	395	450	9	102	160	217	**898**
PETITE FRANCE	1200	**935**	855	858	324	475	288	11	113	384	343	(893)
BDN - ST-PAUL	452	344	655	636	132	275	221	14	66	181	177	**696**
LA POSSESSION	9	190	**609**	583	63	242	manq	14	69	148	214	561
RAVINE CITRONS	510		547	473	**579**	340	355	23	118	236	222	560
SAINT-LEU	55	141	456	305	manq	146	154	8	39	89	68	**511**
LA SALINE-LES-HAUTS	463				250	245	160	10	45	126	149	**509**
SAINT-DENIS Ville	36	339	443	**573**	82	143	109	51	81	234	166	495
SAVANNAH	10	404	**547**	536	61	187	201	16	34	120	160	437
GILLOT	22	371	513	**802**	149	156	104	86	88	184	102	(413)
PIERREFONDS	40	170	379	252	262	96	133	20	43	110	41	**380**
SAINT-PIERRE	58	147	**531**	172	357	110	175	54	21	64	57	(355)
LE PORT.MN.	11		548	**457**	53	185	104	12	38	99	121	333
PONT-MATHURIN	22	290	**317**	245	manq	170	168	11	41	109	54	298

Cumuls quotidiens :

Si l'on se réfère aux valeurs maximales quotidiennes (de 07h le jour à 07h le lendemain) mesurées depuis une cinquantaine d'années pour les postes les plus anciens, les cumuls quotidiens du 22 janvier constituent des records absolus dans quelques sites du Nord-Ouest et de l'Ouest. Ailleurs, sur certains postes, ils sont proches des valeurs maximales. Dans le Sud par exemple les cumuls sont assez proches des valeurs relevées le 29 janvier 1989 avec le passage de FIRINGA qui est quand même une « référence » dans cette région.

POSTE	ALTI en m	Année ouverture	Record en mm	Année record	Evénement	22/01/02 en mm
GRAND-GALET	420	1953	769	1964	Giselle	**1317**
BRAS-SEC PLAINE DES CAFRES	1210	1970	830	1987	Clotilda	**1135**
HELL-BOURG	970	1950	1100	1964	Giselle	**1133**
ILET A CORDES	1065	1977	864	1993	Colina	**1114**
SALAZIE VILLAGE	476	1996	**1316**	1998	Fév. 98	1060
BELLECOMBE	2250	1966	**1018**	1989	Firinga	953
PLAINE DES MAKES	900	1958	452	1964	Giselle	**907**
PETITE FRANCE	1200	1962	646	1966	Denise	**(860)**
DOS D'ANE	930	1966	730	1987	Clotilda	**860**
PLAINE DES FOUGERES	1020	1988	**893**	1993	Colina	738
COLIMACONS (CIRAD)	790	1963	356	1993	Colina	**593**
BDN SAINT-PAUL	452	1952	551	1987	Jan. 87	**563**
BASSIN-MARTIN (CIRAD)	280	1973	**550**	1989	Firinga	505
PITON SAINT-LEU (CIRAD)	572	1973	281	1989	Firinga	**441**
BAGATELLE	260	1953	**489**	1987	Clotilda	425
SAINT-DENIS - VILLE	36	1951	338	1987	Jan. 87	**395**
LA POSSESSION	9	1953	308	1987	Clotilda	**391**
LIGNE-PARADIS (CIRAD)	150	1966	**427**	1989	Firinga	381
SAINT-LEU	55	1950	310	1978	Avr. 78	**(380)**
GILLOT - AEROPORT	22	1953	**365**	1987	Jan. 87	(344)
SAVANNAH	10	1953	**371**	1964	Giselle	341
POINTE DES TROIS-BASSINS	16	1988	140	1993	Colina	**325**
PIERREFONDS (CIRAD)	40	1953	208	1975	Mar. 75	**303**

Intensités :

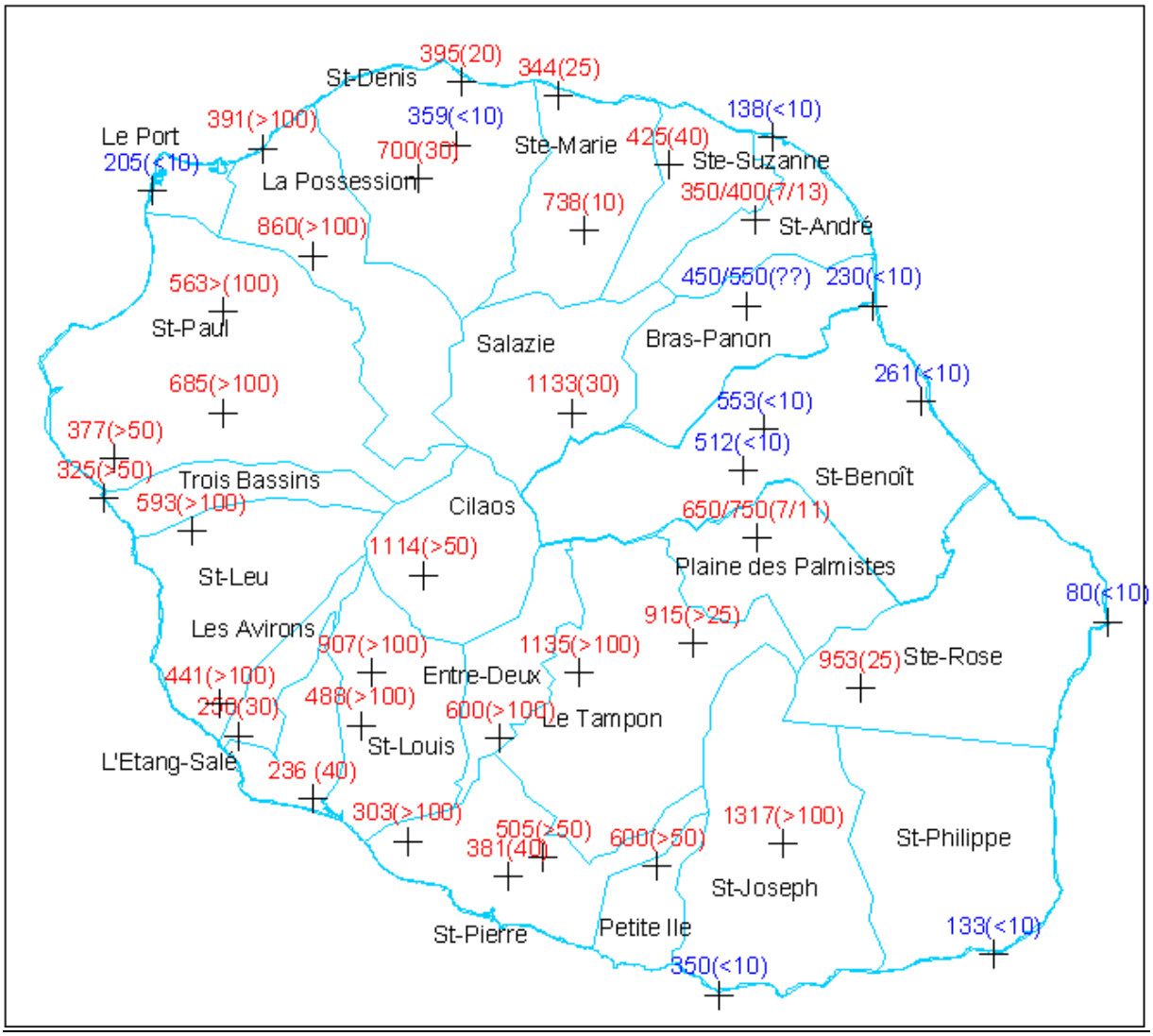
Les cumuls maximaux mesurés par nos stations automatiques sur des périodes glissantes (30 minutes, 1h, 3h, 6h, 12 et 24h) sont présentées dans le tableau ci-dessous. Nous avons pu calculer les durées de retour de ces cumuls pour certains postes. On constate ainsi que les intensités correspondantes sur 30 minutes à 3 heures ne sont pas exceptionnelles. Par contre, sur 6 à 24 heures, les durées de retour dépassent largement les 10 ans, voire beaucoup plus pour quelques postes. L'épisode pluvieux lié à DINA se caractérise donc bien plus par une durée importante des fortes précipitations, que par des intensités instantanées qui ne sont pas exceptionnelles.

les cumuls sont en millimètres	ALTI	DUREE					
POSTE	en m	30'	1h	3h	6h	12h	24h
PLAINE DES CHICOTS	1834	**61**	**115**	**290**	**557**	**1027**	**1568**
SALAZIE VILLAGE	476	47	81	207	405	742	1180
BELLECOMBE	2250	46	89	227	395	687	1037
PLAINE DES CAFRES	1560	(49)	(88)	(196)	Panne	Panne	Panne
PETITE France	1200	(38)	(67)	(172)	(332)	Panne	Panne
COLIMACONS (CIRAD)	790	27	51	140	260	452	696
RAVINE DES CABRIS (CIRAD)	375	24	42	106	199	361	595
LE GOL LES HAUTS (CIRAD)	365	28	54	123	242	375	580
SAINT-PAUL (CIRAD)	186	23	40	107	200	362	575
MASCARIN	550	22	37	106	196	345	574
BASSIN-MARTIN (CIRAD)	280	26	51	113	205	347	529
LA POSSESSION	9	26	41	94	169	298	521
PITON SAINT-LEU (CIRAD)	572	32	54	115	179	317	470
LA SALINE LES HAUTS (CIRAD)	463	20	35	88	161	297	456
SAINT DENIS - VILLE	36	32	50	118	184	323	441
BAGATELLE	260	31	52	114	193	341	427
POINTE DU GOUFFRE	8	20	37	86	140	271	426
LIGNE-PARADIS (CIRAD)	150	26	49	103	171	271	421
SAINT-LEU (CIRAD)	221	30	57	104	168	279	419
POINTE DES TROIS-BASSINS	16	19	37	74	133	251	413
LA GRANDE CHALOUPE	7	19	30	75	127	238	400
SAINT-DENIS - LA PROVIDENCE	60	18	30	83	136	252	371
PETITE-ILE (CIRAD)	168	17	34	88	161	273	344
PIERREFONDS (CIRAD)	40	18	32	65	105	201	328
LA MARE (CIRAD)	205	21	37	87	137	262	323
LE PORT	11	27	42	78	108	172	285
PONT-MATHURIN	22	17	34	75	137	200	266

Carte des mesures de précipitations par commune :

Cumuls de précipitations le 22 janvier 2002 (de 07 à 07h)
(Cyclone tropical DINA)

Estimation des durées de retour en années entre parenthèses



Les valeurs figurant sur cette carte sont celles des postes où l'on a pu estimer les durées de retour de manière raisonnable avec un échantillon de données suffisamment important. Néanmoins, trois communes posent problème car certains postes n'ont pas fonctionné correctement.

- Plaine des Palmistes : le capteur de la station automatique implantée en ville a été manifestement obstrué à partir de 07h le matin du 22. Nous avions indiqué dans le rapport préliminaire une valeur estimée de 700 mm. Il s'avère que cette valeur est très proche de la valeur décennale qui est de 721 mm. L'incertitude sur la valeur estimée est de l'ordre de + ou – 50 mm. C'est pourquoi nous avons indiqué au final une valeur de 650 à 750 mm.
- Saint-André : le capteur de la station de Menciol a connu les mêmes déboires. La valeur estimée se situe entre 350 et 400 mm. Hors, la valeur décennale est de 377 mm. Il subsiste donc également un doute sur cette commune.
- Bellevue-Bras-Panon : la station automatique est tombée complètement en panne à partir de 15h le 22. Nous avons estimé la valeur entre 450 et 550 mm. D'autre part, cette station n'est ouverte que depuis 1990. Il est donc très hasardeux de calculer des durées de retour avec un échantillon de données aussi faible et aussi peu représentatif.

3. La houle :

La houle cyclonique a été très importante. Elle a commencé à déferler sur les côtes dès le 20 janvier en soirée. En hauteur maximale, on a pu mesurer 8 m 90 à Saint-Pierre, 6 m 30 au Port avant panne des stations. Une estimation a pu être effectuée a l'aide de modélisations a posteriori (donc basées sur une description objective du cyclone lors de son passage au plus près de la Réunion). Ainsi, la hauteur moyenne maximale du tiers des vagues les plus hautes (H1/3) ayant affecté le 22 janvier 2002 les côtes les plus exposées du département, soit le littoral nord de la pointe des Cascades a la Pointe des Galets, est estimée a 10 mètres, les plus hautes vagues, quant à elles, ayant pu atteindre, voire localement dépasser en fonction de la configuration du littoral, les 14 mètres.

4. Conclusion

Mon avis d'expert météorologiste, au vu des données figurant dans ce rapport, est que le cyclone tropical DINA fait partie sans conteste des cyclones les plus importants qui ont frappé la Réunion depuis une cinquantaine d'année. Il présente les caractéristiques suivantes :

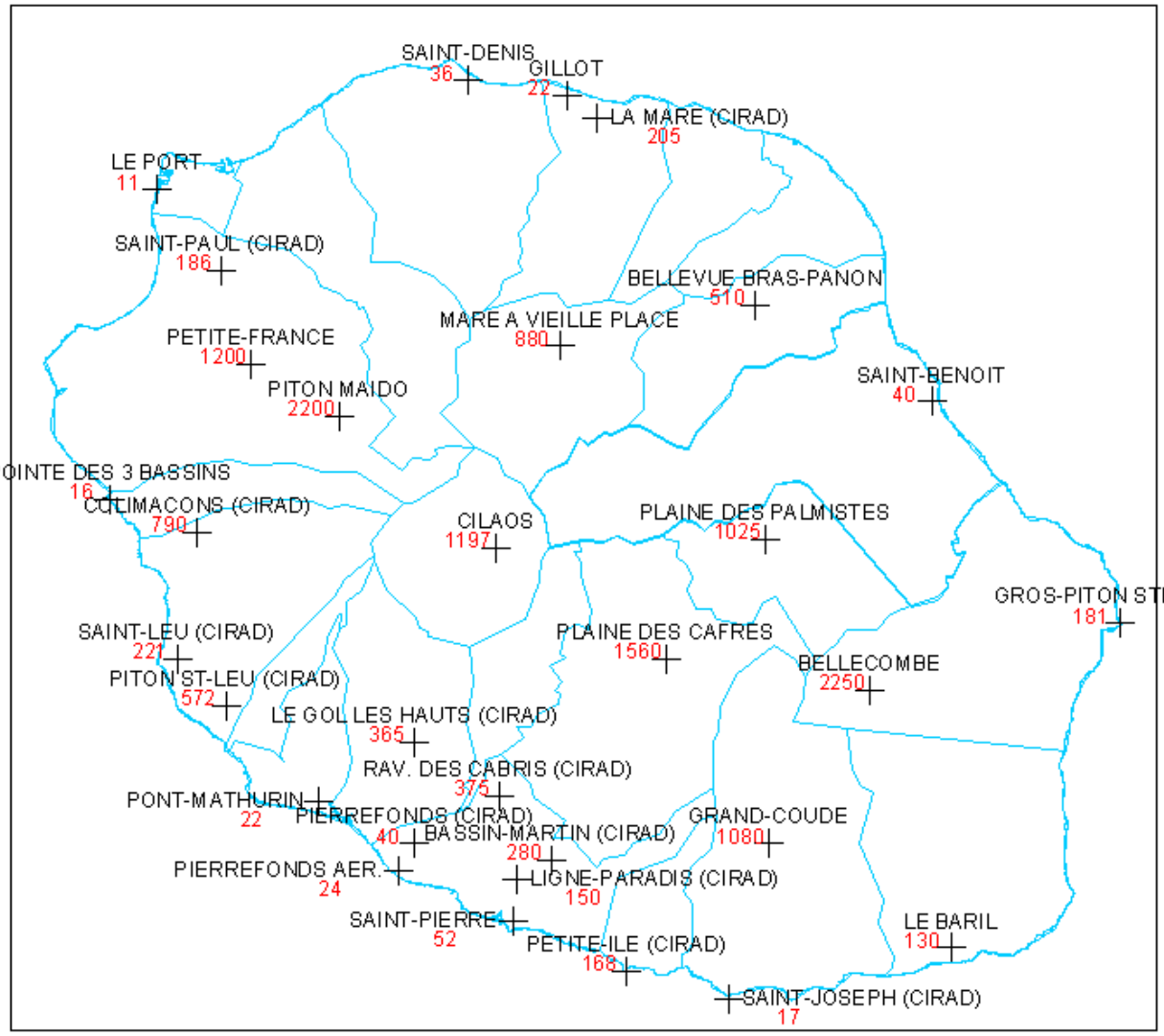
- vents violents généralisés à l'ensemble de l'île avec des pointes supérieures à 215 km/h sur les Hauts du Nord-Ouest et la Plaine des Cafres
- durée importante des vents violents
- précipitations très abondantes, voire exceptionnelles en cumul sur le Nord-Ouest, l'Ouest et le Sud-Ouest

Hubert Quételard
Responsable Bureau d'Etudes et Climatologie

METEO FRANCE

ANNEXE I : POINTS DE MESURE DE VENT

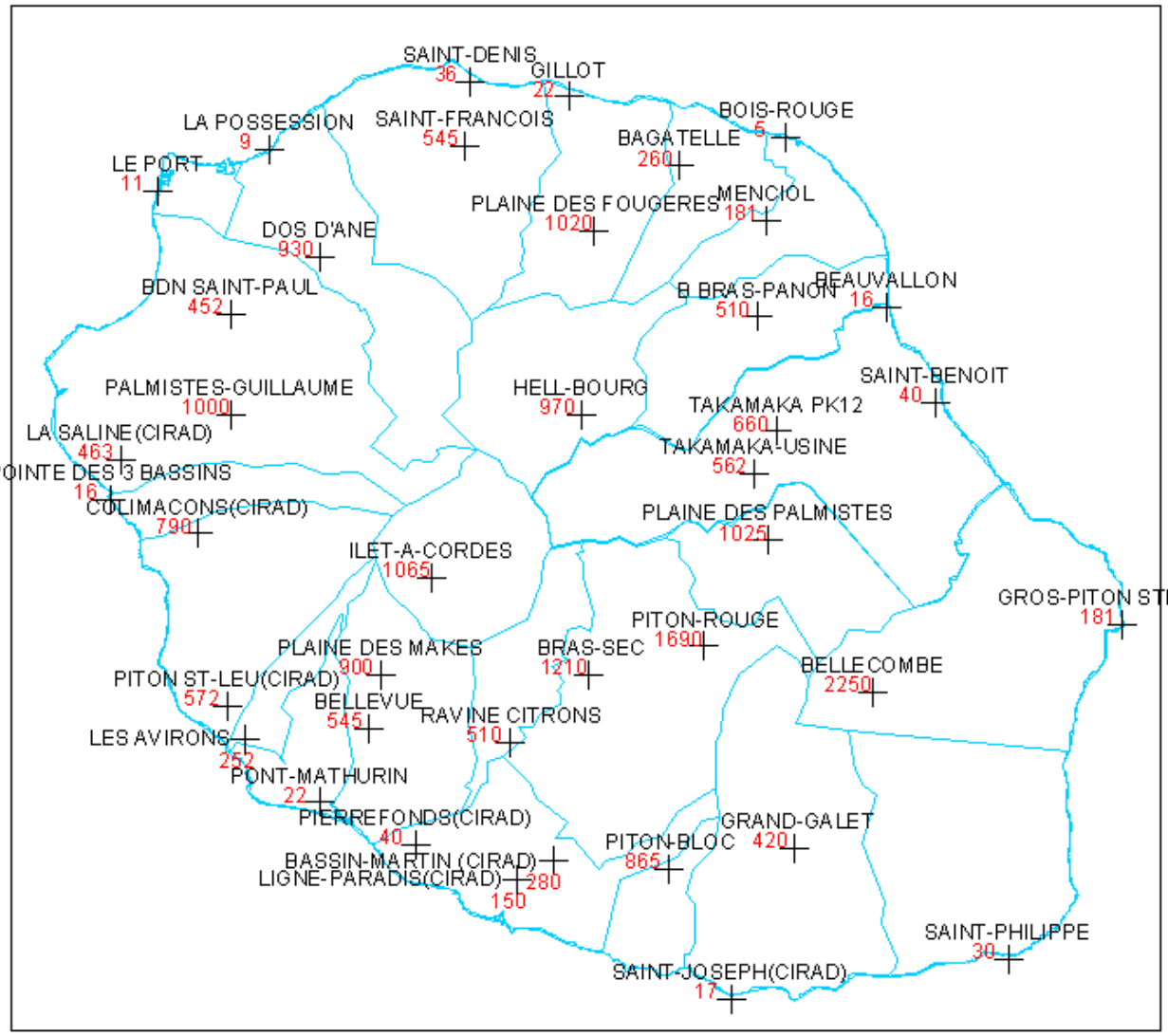
Emplacement des points de mesure de vent figurant sur la carte des vents maxi instantanés (altitude en mètres sous le nom de la station)



METEO FRANCE

ANNEXE II : POINTS DE MESURE DE PRECIPITATIONS

Emplacement des points de mesure de précipitations figurant sur la carte des cumuls du 22 janvier (altitude en mètres indiquée sous le nom de la station)



8.8 Rapport météorologique suite au passage à proximité de La Réunion de "GAMEDE" (du 24 au 28 février 2007)

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

I – SITUATION GENERALE

Le cyclone tropical GAMEDE restera dans les annales par sa taille extrêmement imposante et sa trajectoire quelque peu capricieuse qui l'a fait s'approcher deux fois de LA REUNION. L'île a ainsi connu deux alertes rouges en l'espace de 48 heures.

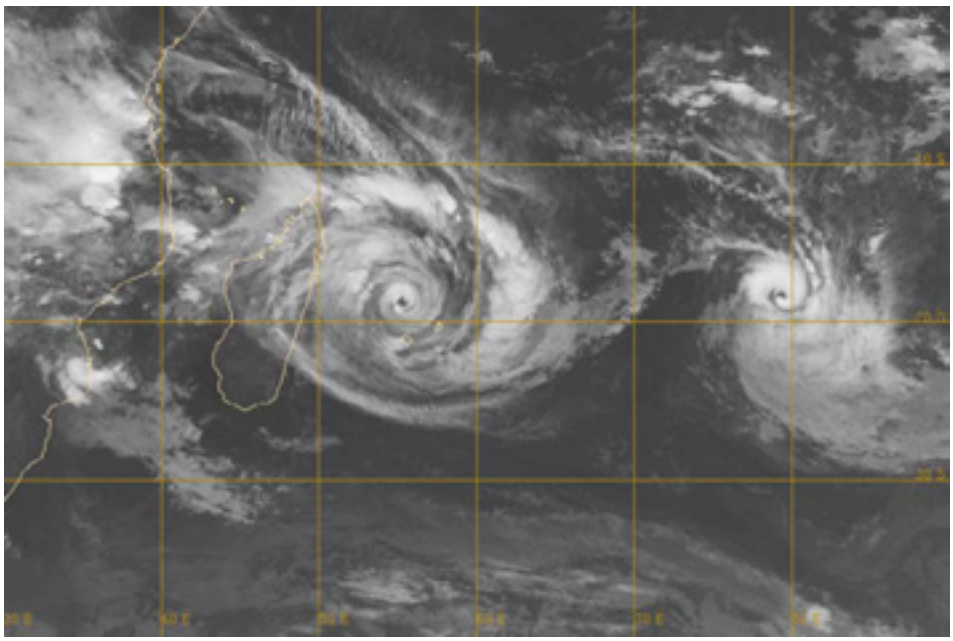


Image IR du 24 février 2007 à 23h30 UTC montrant l'extension très importante de GAMEDE

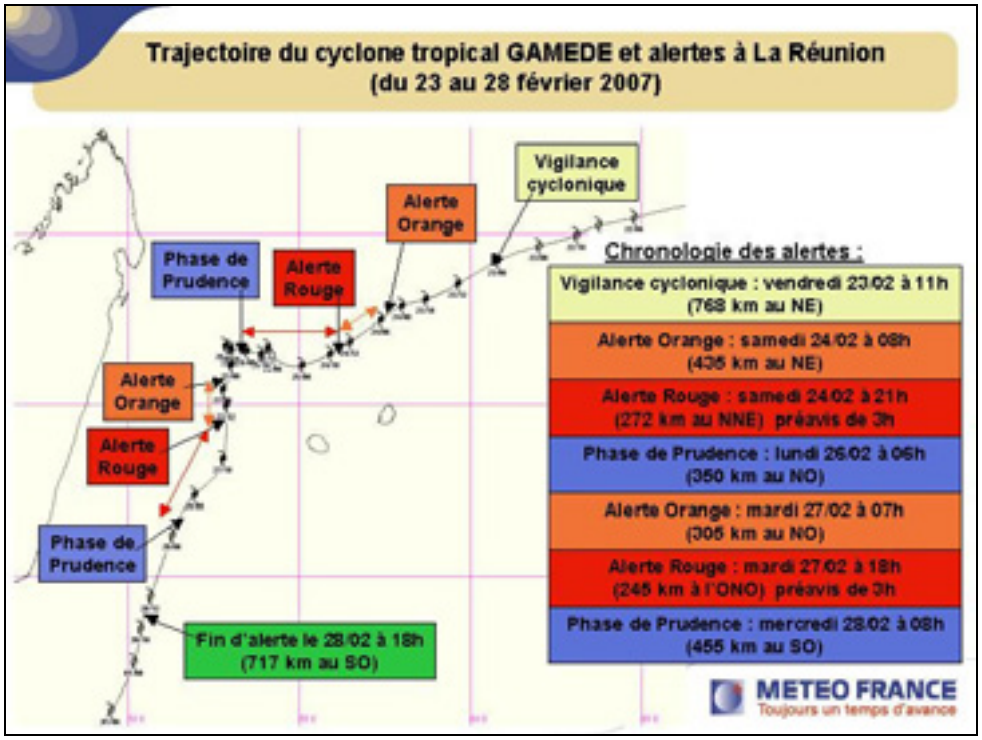
Avec un premier passage au plus près de LA REUNION à un peu plus de 200 km au nord-ouest samedi 24 février, les vents tout d'abord orientés à l'est-sud-est ont progressivement tourné à l'est-nord-est dimanche 25. Ils ont été particulièrement violents dans les hauts et sur les côtes nord et sud.

Comme d'habitude, les fortes pluies ont débuté sur le massif du volcan dans la nuit du 23 au 24, s'étendant ensuite progressivement à l'ensemble des hauts. Les pluies ont été beaucoup plus irrégulières sur le littoral, à l'occasion des passages successifs des bandes périphériques associées au système.

Après ce premier passage, le système s'est éloigné quelque peu en adoptant une trajectoire très hésitante, deux loopings successifs et un arrêt prolongé en fin de journée du lundi 26. Malgré cet éloignement, les conditions sont restées mauvaises sur l'île avec toujours des pluies importantes, notamment dans les hauts, et des vents restant forts de secteur est-nord-est.

Mais GAMEDE n'avait pas dit son dernier mot. Avec un deuxième passage au plus près à 250 km à l'ouest de LA REUNION dans la soirée du mardi 27 lors de sa descente vers le sud, les vents tournant au nord-est puis nord-nord-est ont connu un nouveau paroxysme sur l'ensemble des hauts, et l'Ouest du département a été touché à son tour. Les pluies se sont estompées près du littoral mais sont demeurées fortes dans les hauts.

C'est seulement dans la matinée du mercredi 28 que les conditions se sont améliorées partout avec l'éloignement définitif du système dans le sud-ouest de LA REUNION.



Trajectoire de GAMEDE

II – CONSEQUENCES SUR LA REUNION

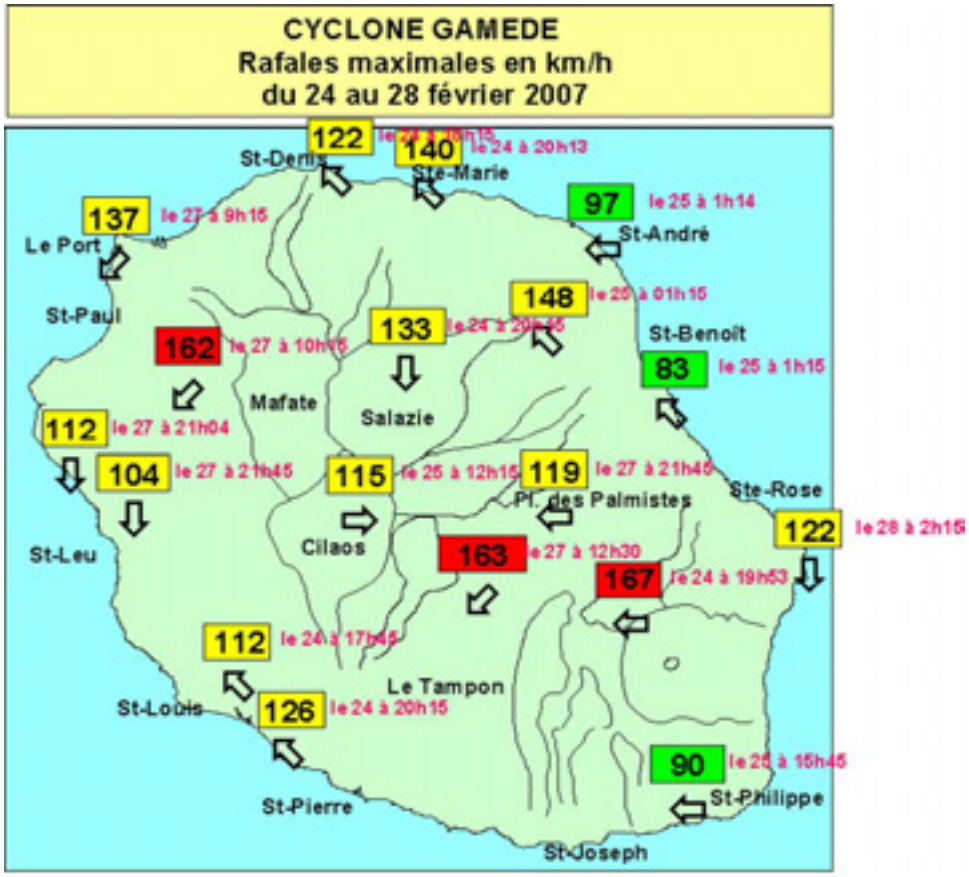
1 – LES VENTS

La zone de vents forts, très étendue de par la taille du système, s'est attardée durablement sur l'île, même si la rotation des vents et les effets de masque du relief ont fait que les différentes régions de l'île ont été concernées chacune à leur tour. Sur le réseau de mesures de Météo-France, on a relevé à la hauteur standard de 10 mètres, les vitesses maximales instantanées suivantes :

Sur les zones côtières : 140 km/h à Gillot, 137 km/h au Port, 126 km/h à Pierrefonds, 122 km/h à Gros-Piton Sainte-Rose, 112 km/h à la Pointe des Trois Bassins, 97 km/h au Colosse/Saint-André ;

Dans les Hauts : 167 km/h au Gîte de Bellecombe, 163 km/h à La Plaine-des-Cafres, 162 km/h à Petite-France, 148 km/h à Bellevue Bras-Panon, 133 km/h à Mare à Vieille-Place, 119 km/h à La Plaine-des-Palmistes, 115 km/h à Cilaos.

Ces valeurs, certes remarquables, ne sont pas exceptionnelles. Par contre, les vents sont restés violents sur une longue durée. A La Plaine-des-Cafres, les rafales ont dépassé régulièrement les 100 km/h sur une période continue de 80 heures. Soit près de 4 jours de conditions de vents violents.

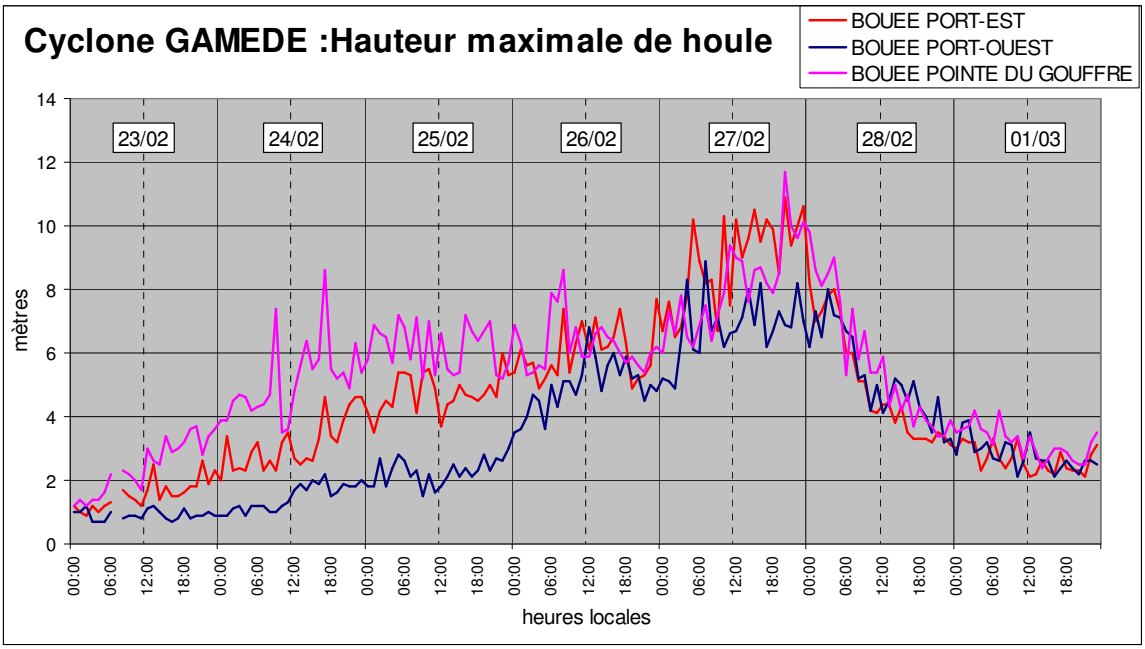


Carte des vitesses maximales de vent du 24 au 28 février 2007

Pour information, on a mesuré le 25 : 223 km/h sur le site du radar du Colorado (742 m d'altitude) mais à la hauteur non standard de 30 m, et 212 km/h au Maïdo (2195 m d'altitude) sur un point de mesure particulièrement exposé en bordure de rempart.

2 – LA HOULE

Du 23 février au 2 mars, la houle cyclonique générée par GAMEDE a intéressé, à un moment ou à un autre, tout le littoral allant de Saint-Philippe à Saint-Gilles en passant par Saint-Denis. Le graphique ci-dessous montre l'évolution des hauteurs maximales de houle au cours de cette période sur les houlographes gérés par le service des Phares et Balises de la DDE. Ce sont les seules mesures dont nous disposons sur la zone précitée.



Lors du premier passage au plus près de GAMEDE, c'est la houle en provenance de l'est-nord-est qui a frappé les côtes est et nord de Saint-Philippe jusqu'au Port. Sur le graphique, on voit très bien le premier maximum de 8,6 mètres enregistré à proximité de la Pointe du Gouffre en fin de journée du 24, tandis que l'on remarque des hauteurs beaucoup plus faibles vers Port-Est et surtout Port-Ouest qui étaient alors, du fait de la direction générale de la houle, relativement à l'abri de l'île.

Dans la journée du 25 et surtout celle du 26, la houle s'est orientée petit à petit vers le nord tout en demeurant très importante avec toujours des creux de 6 à 8 mètres. Sur les courbes du graphique, on voit très bien que, au fil du temps, la houle a pénétré plus franchement sur Port-Est puis Port-Ouest du fait de cette rotation progressive vers le nord. Il est probable que la houle ait commencé à toucher la Baie de Saint-Paul dans la nuit du 25 au 26, (les courbes se rapprochent pour se confondre le 26) tandis qu'elle devenait moins sensible au sud de Sainte-Rose.

La houle de provenance nord a atteint son maximum dans la soirée du 27 avec 11,7 mètres mesurés sur le houlographe de la Pointe du Gouffre, 10,9 mètres à Port-Est et 8,9 mètres à Port-Ouest. Toute la côte nord, et notamment la Baie de Saint-Paul, a subi alors l'assaut des vagues de plein fouet. Ce paroxysme correspond au deuxième passage au plus près de GAMEDE.

Le 28, avec l'éloignement de GAMEDE dans le sud-ouest de LA REUNION, la houle a enfin commencé à s'amortir lentement. Elle ne disparaîtra vraiment que dans la journée du 2 mars.

Le tableau ci-dessous présente les événements qui se sont produits depuis 1993 (date depuis laquelle nous disposons de mesures sur la zone côtière nord allant du Port à Sainte-Marie). Les fortes houles qui frappent cette zone sont toujours liées au passage à distance plus ou moins proche de la Réunion de tempêtes ou cyclones tropicaux. Pour le cas de DINA, l'indication > (supérieur à) a été rajoutée car les houlographes sont tombés en panne au plus fort du cyclone. On a estimé néanmoins par modélisation que la hauteur maximale des H1/3 (hauteur moyenne du tiers des vagues les plus hautes qui correspond à peu près à la hauteur estimée par un observateur aguerri) a dû atteindre les 10 mètres et la hauteur maximale absolue les 14 mètres.

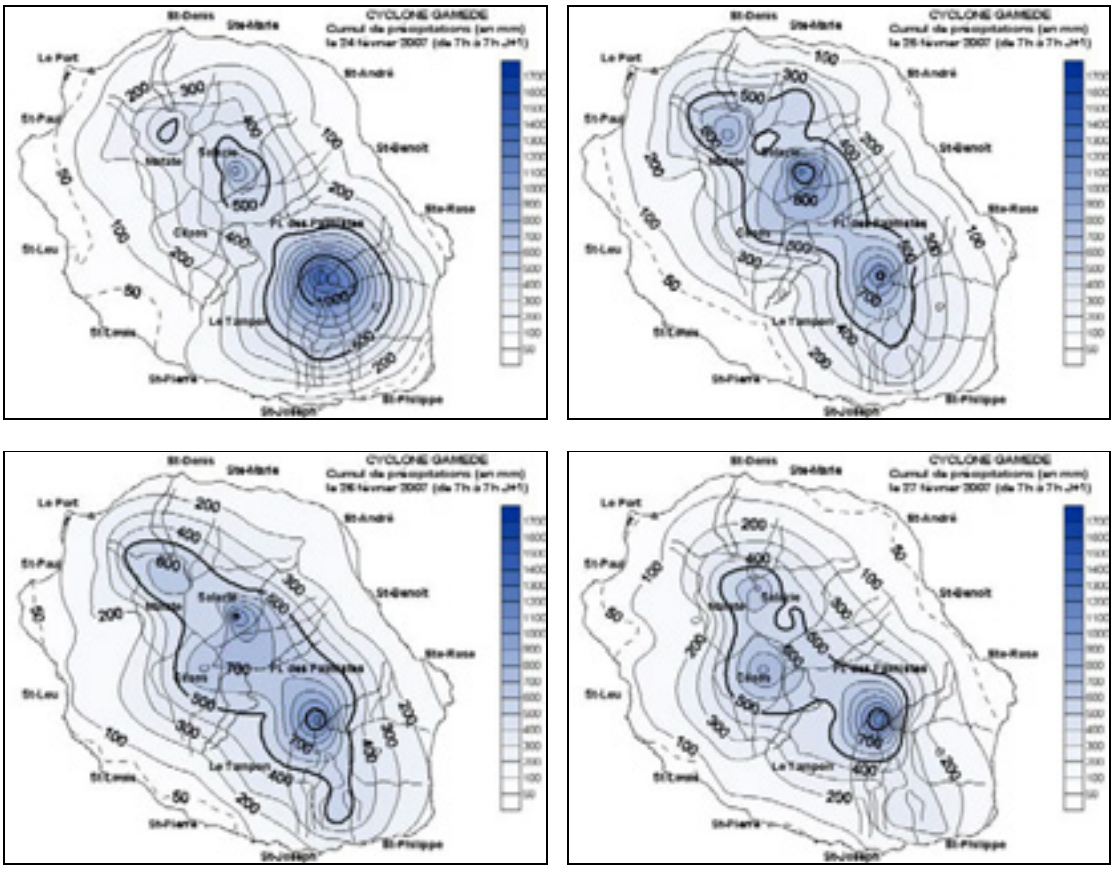
DATE	PHENOMENE GENERATEUR	MESURE	H1/3MAX en mètres	HMAX en mètres
19/01/1993	COLINA	BOUEE STE-MARIE	6,1	9,4
12/01/1994	DAISY	BOUEE STE-MARIE	5,0	7,3
29/01/2000	CONNIE	BOUEE POINTE DU GOUFFRE	4,9	6,1
06/01/2001	ANDO	BOUEE PORT-EST	5,4	10,8
22/01/2002	DINA	BOUEE POINTE DU GOUFFRE	>4,2	>6,3
12/03/2002	HARY	BOUEE PORT OUEST	5,3	8,0
06/02/2004	ELITA	BOUEE PORT OUEST	4,4	6,2
07/03/2004	GAFILO	BOUEE POINTE DU GOUFFRE	4,7	7,1
27/02/2007	**GAMEDE**	**BOUEE POINTE DU GOUFFRE**	**7,0**	**11,7**

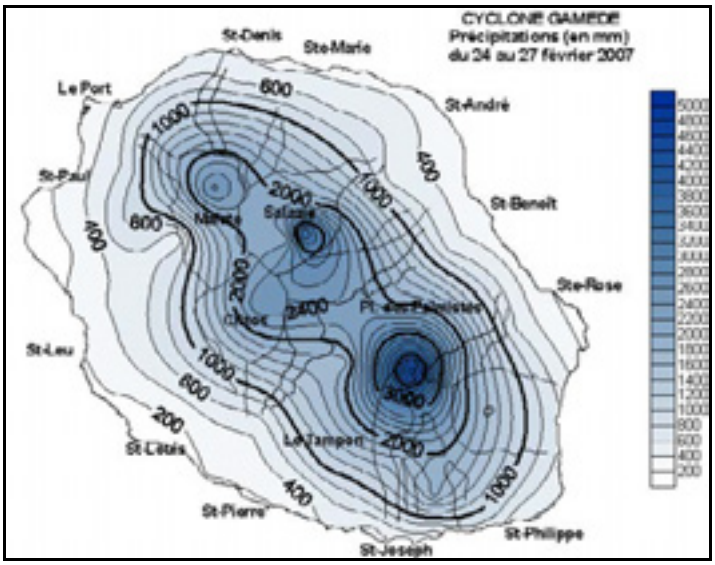
Sur la quinzaine d'années pour lesquelles nous disposons de données, les valeurs relevées à l'occasion du passage de GAMEDE sont les plus fortes qu'on ait jamais mesurées. Les estimations réalisées pour DINA sont plus élevées, mais il est à noter que pour ce cas, vu la trajectoire du système, le maximum d'intensité de la houle a dû se produire pour une direction d'est à nord-est. L'angle d'attaque des vagues était donc certainement moins pénalisant pour les côtes nord et nord-ouest de l'île. D'autre part, la spécificité déjà évoquée du cas GAMEDE (large zone d'influence des vents sur une longue durée) nous incite à qualifier d'exceptionnel l'épisode de houle associé.

3 – LES PLUIES

Sur les zones littorales, les précipitations sont restées en général conformes à un épisode de fortes pluies « ordinaire », tandis que les hauteurs de l'île ont été copieusement arrosées avec des cumuls sur 4 jours dépassant le plus souvent les 2 mètres.

Ci-après figurent les cartes de précipitations quotidiennes (journée climatologique*) du 24 au 27 février 2007, ainsi que le total sur les 4 jours* de l'épisode :





Les pluies n'ont pas connu de pics d'intensité extrême, mais, par accumulation, les lames d'eau sur 12 heures à plusieurs jours ont atteint des valeurs remarquables, voire exceptionnelles sur les cirques de Salazie et de Cilaos et sur le massif du volcan.

Entre le 24 et le 27 février, on relève :

Sur 24 heures : 1625 mm au Cratère Commerson, approchant ainsi le record mondial officiel de 1825 mm mesuré à Foc-Foc avec le passage de DENISE en 1966. On relève aussi 1489 mm à Hell-Bourg et 1295 mm à Bélouve.

Sur 48 heures : 2463 mm au Cratère Commerson, presque à égalité avec le record mondial de 2467 mm d'Aurère datant de 1958. Autres valeurs remarquables : 2358 mm à Hell-Bourg et 2185 mm à Bélouve.

Sur 72 heures : 3929 mm au Cratère Commerson et 3264 mm à Hell-Bourg, dépassant ainsi le précédent record mondial de 3240 mm qui avait été mesuré à Grand-Ilet avec le passage de HYACINTHE en 1980. On mesure également : 2824 mm à Bélouve et 2321 mm à Cilaos.

Sur 4 jours* : 4869 mm au Cratère Commerson et 3633 mm à Hell-Bourg. Là encore, on dépasse largement le précédent record mondial qui était de 3551 mm au Cratère Commerson avec HYACINTHE. On relève aussi : 3139 mm à Bélouve et 2586 mm à Cilaos.

Globalement, sur l'ensemble des hauts de l'île, et si l'on se réfère aux cumuls sur 4 jours*, les valeurs de l'épisode GAMEDE sont proches ou supérieures à ce que l'on a pu observer à l'occasion du cyclone HYACINTHE.

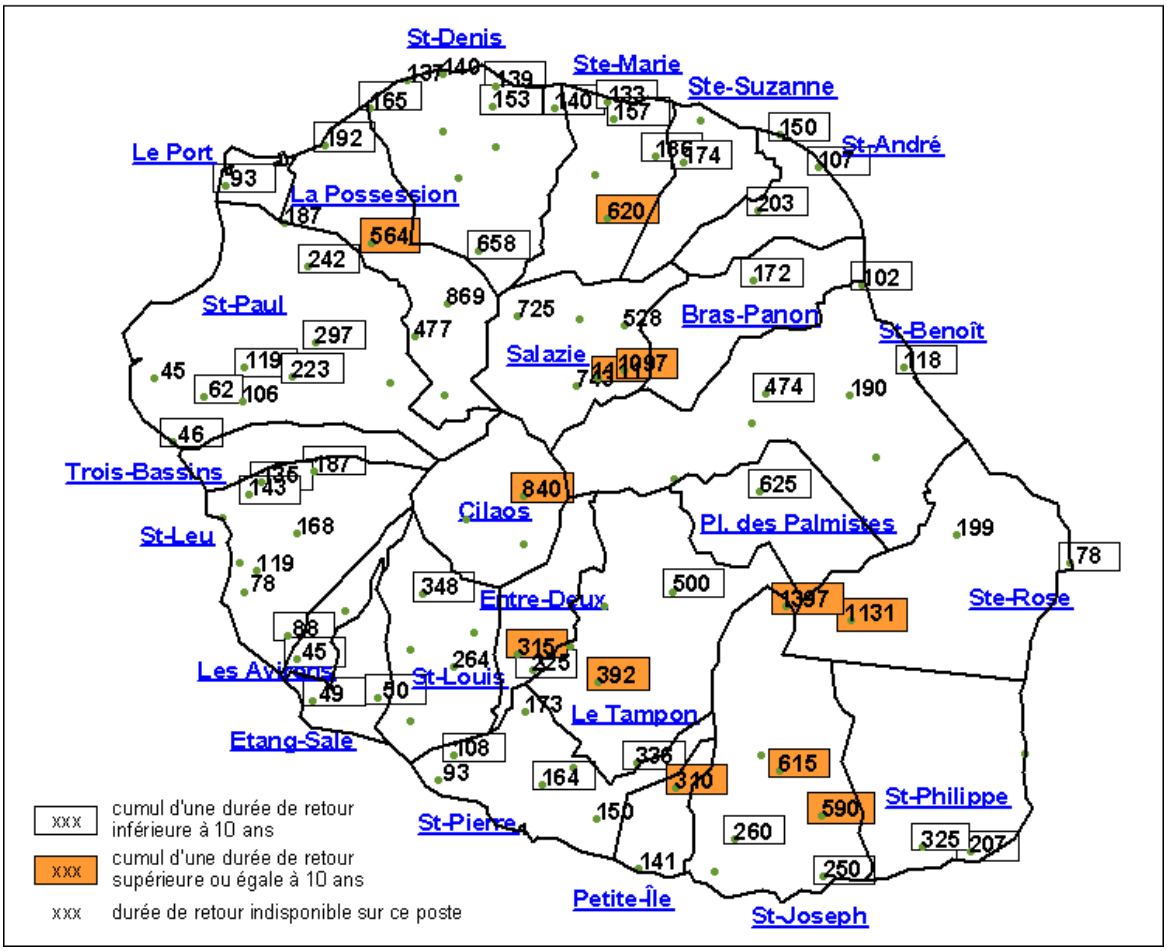
**Définition de la journée climatologique*

La notion de journée climatologique correspond à la période de 7h le jour à 7h le lendemain. Cette notion a une explication historique. En effet, avant l'apparition des stations automatiques qui mesurent les précipitations à des pas de temps pouvant descendre jusqu'à 6 minutes, la plupart des mesures de hauteurs de précipitations étaient effectuées manuellement tous les matins vers 7h locales le lendemain (pour des raisons pratiques évidentes) pour le jour J. Pour ces cumuls dits quotidiens, on dispose bien évidemment de séries de données beaucoup plus nombreuses et beaucoup plus longues.

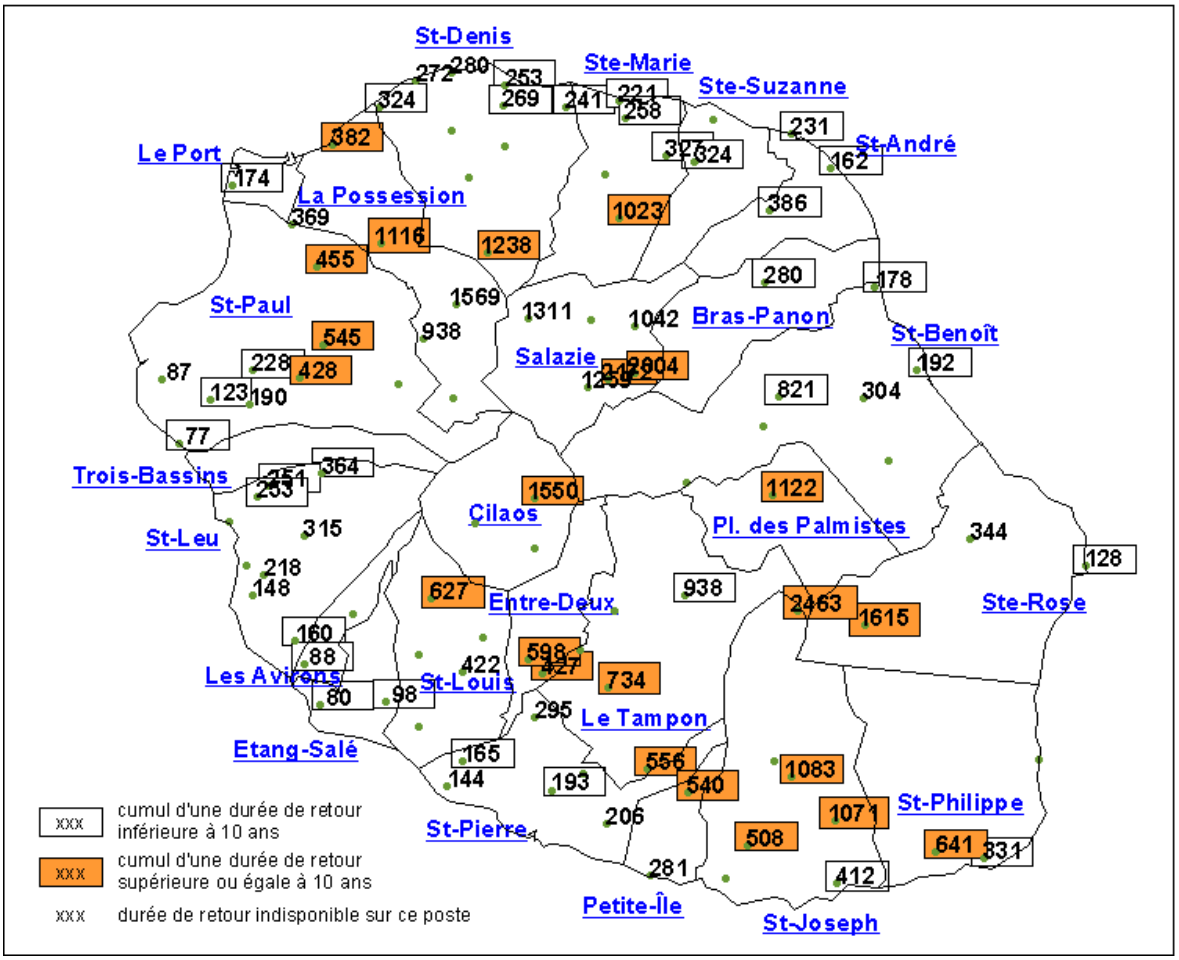
III – SYNTHESE

Les deux cartes et le tableau ci-dessous présentent les maxima de précipitations relevés sur 1 et 2 jours climatologiques*. Les valeurs encadrées sur les cartes correspondent à des postes où l'on dispose de données sur les durées de retour. Les cumuls atteignant ou dépassant les valeurs décennales sont affichés sur fond orange. Le tableau précise les valeurs des quantiles décennaux et les dates des maxima.

cyclone GAMEDE
cumul maximum de précipitations sur 1 jour (en mm)
entre le 24 et le 27 février 2007



cyclone GAMEDE
cumul maximum de précipitations sur 2 jours (en mm)
entre le 24 et le 27 février 2007



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

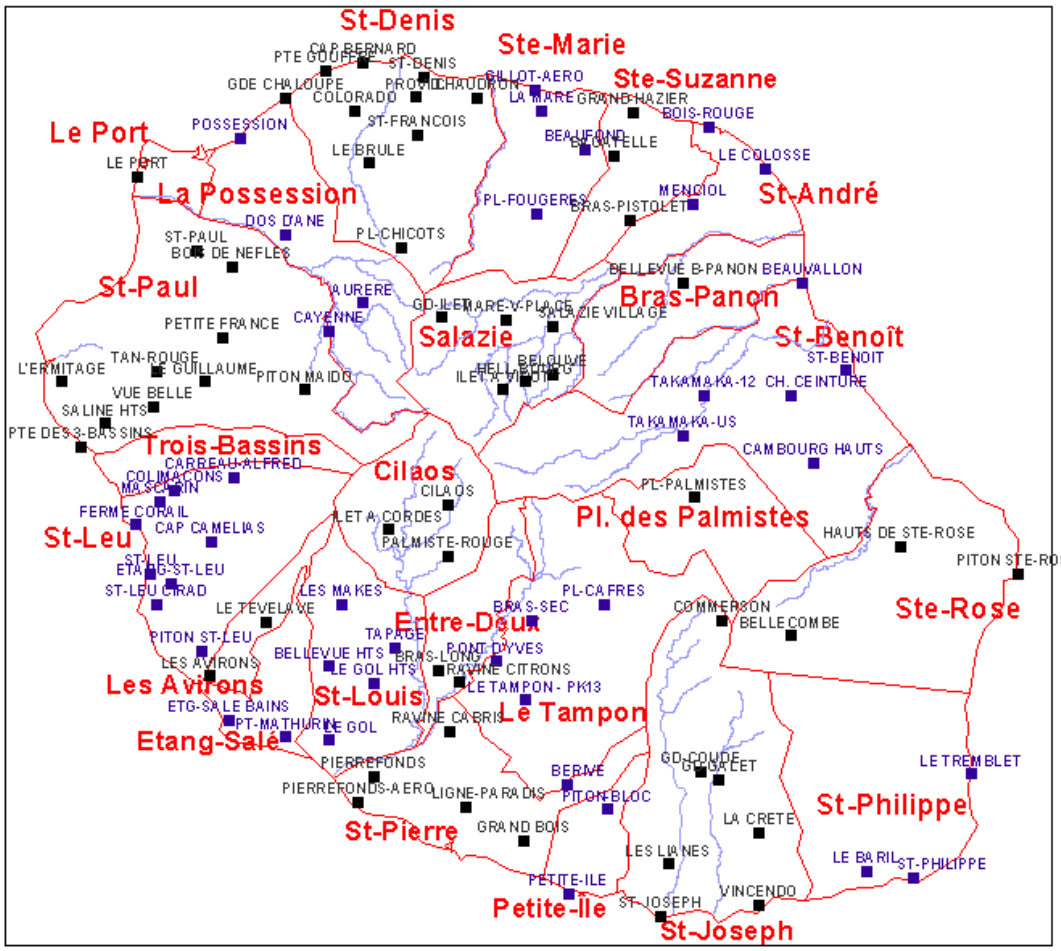
cumul Gamede (en mm) : cumul maximum de précipitations sur 1 et 2 jours pendant l'épisode Gamede.
cumul DR 10 (en mm) : cumul d'une durée de retour de 10 ans.
alti : altitude du poste (en mètres)

			1 JOUR *			2 JOURS *		
COMMUNE	**POSTE**	**ALTI**	***cumul DR 10***	**cumul Gamede**	**période**	***cumul DR 10***	**cumul Gamede**	**période**
LES AVIRONS	LES AVIRONS	170	*181*	45	le 26	*224*	88	les 26 et 27
BRAS-PANON	BRAS-PANON	480	*624*	172	le 26	*851*	280	les 25 et 26
ENTRE-DEUX	**BRAS-LONG**	430	***305***	**315**	le 27	***395***	**598**	les 26 et 27
	RAVINE CITRONS	487	*303*	225	le 26	***403***	**427**	les 26 et 27
ETANG-SALE	ETANG-SALE	5	*172*	49	le 26	*217*	80	les 26 et 27
	PONT-MATHURIN	20	*175*	50	le 27	*220*	98	les 26 et 27
PETITE-ILE	**PITON-BLOC**	810	***278***	**310**	le 24	***401***	**540**	les 24 et 25
LA PLAINE-DES-PALMISTES	**PL. PALMISTES**	1032	*690*	625	le 26	***1082***	**1122**	les 25 et 26
LE PORT	LE PORT	9	*206*	93	le 26	*274*	174	les 25 et 26
LA POSSESSION	**POSSESSION**	9	*225*	192	le 25	***311***	**382**	les 25 et 26
	DOS D ANE	915	***425***	**564**	le 26	***592***	**1116**	les 25 et 26
SAINT-ANDRE	BOIS-ROUGE	3	*248*	150	le 26	*367*	231	les 25 et 26
	LE COLOSSE	16	*252*	107	le 26	*366*	162	les 25 et 26
	MENCIOL	181	*366*	203	le 26	*539*	386	les 25 et 26
SAINT-BENOIT	BEAUVALLON	16	*329*	102	le 26	*490*	178	les 25 et 26
	ST-BENOIT	43	*380*	118	le 26	*536*	192	les 25 et 26
	TAKAMAKA-12	660	*781*	474	le 26	*1101*	821	les 26 et 27
SAINT-DENIS	ST-DENIS COLLE	36	*248*	139	le 26	*338*	253	les 25 et 26
	PROVIDENCE	138	*322*	153	le 26	*443*	269	les 25 et 26
	CHAUDRON	38	*273*	140	le 26	*373*	241	les 25 et 26
	GDE CHALOUPE	7	*335*	165	le 25	*417*	324	les 25 et 26
	PL. CHICOTS	1834	*867*	658	le 25	***1213***	**1238**	les 25 et 26
SAINT-JOSEPH	**COMMERSON**	2310	***1010***	**1397**	le 24	***1549***	**2463**	les 24 et 25
	GRAND-GALET	505	***571***	**615**	le 24	***816***	**1083**	les 24 et 25
	LA CRETE	650	***580***	**590**	le 26	***786***	**1071**	les 25 et 26
	LES LIANES	420	*379*	260	le 26	***517***	**508**	les 25 et 26
	VINCENDO	95	*321*	250	le 26	*453*	412	les 26 et 27
SAINT-LEU	CARREAU-ALFRED	1380	*455*	187	le 27	*610*	364	les 26 et 27
	COLIMACONS	805	*258*	135	le 26	*353*	251	les 26 et 27
	MASCARIN	520	*242*	143	le 26	*301*	253	les 26 et 27
	PITON ST-LEU	572	*235*	88	le27	*302*	160	les 26 et 27
SAINT-LOUIS	**LES MAKES**	980	*376*	348	le 27	***528***	**627**	les 26 et 27
SAINT-PAUL	**BDN-SAINT-PAUL**	580	*266*	242	le 25	***354***	**455**	les 25 et 26
	PETITE FRANCE	1200	*384*	297	le 25	***532***	**545**	les 25 et 26
	TAN-ROUGE	730	*277*	119	le 25	*365*	228	les 25 et 26
	LE GUILLAUME	1042	*308*	223	le 25	***428***	**428**	les 25 et 26
	LA SALINE HAUTS	463	*222*	62	le 25	*278*	123	les 25 et 26
	POINTE DES 3-BA	5	*164*	46	le 26	*185*	77	les 25 et 26
SAINT-PIERRE	PIERREFONDS	40	*163*	108	le 27	*219*	165	les 26 et 27
	LIGNE-PARADIS	150	*222*	164	le 24	*297*	193	les 24 et 25
SAINT-PHILIPPE	**LE BARIL**	115	*341*	325	le 27	***451***	**641**	les 26 et 27
	ST-PHILIPPE	30	*366*	207	le 26	*513*	331	les 26 et 27
SAINTE-MARIE	GILLOT-AERO	10	*269*	133	le 26	*372*	221	les 25 et 26
	LA MARE	70	*259*	157	le 26	*377*	258	les 25 et 26
	BEAUF STE-MARIE	225	*270*	186	le 24	*404*	327	les 24 et 25
	PL. DES FOUGERES	1062	***539***	**620**	le 24	***885***	**1023**	les 24 et 25
SAINTE-ROSE	PITON STE-ROSE	181	*337*	78	le 26	*482*	128	les 25 et 26
	BELLECOMBE	2245	***770***	**1131**	le 24	***1166***	**1615**	les 24 et 25
SAINTE-SUZANNE	BAGATELLE	262	*322*	174	le 24	*476*	324	les 24 et 25
SALAZIE	**BELOUVE**	1500	***769***	**1097**	le 25	***1164***	**2004**	les 25 et 26
	HELL-BOURG	975	***675***	**1111**	le 25	***1036***	**2172**	les 25 et 26
LE TAMPON	PL. DES CAFRES	1560	*736*	500	le 26	*1053*	938	les 26 et 27
	LE TAMPON	786	***336***	**392**	le 27	***472***	**734**	les 26 et 27
	BERIVE	700	*350*	336	le 24	***450***	**556**	les 24 et 25
CILAOS	**CILAOS**	1197	***816***	**840**	le 27	***1168***	**1550**	les 26 et 27

* la notion de jour climatologique correspond à la période de 7h le jour à 7h le lendemain.

IV – CARTE DES POSTES DE MESURE

Emplacement des postes par commune
Rivières principales



V– CONCLUSIONS

Vents :

Aucune des stations du réseau de mesures de vent à 10 m n'a relevé de valeur supérieure aux limites retenues (145 km/h en vent moyen sur 10 minutes et 215 km/h en vent instantané).

Houle :

La houle qui a touché le littoral des communes de Sainte-Marie, Saint-Denis, le Port et Saint-Paul peut être qualifiée d'exceptionnelle.

Précipitations :

Les précipitations associées au cyclone intense GAMEDE sont surtout remarquables par les lames d'eau enregistrées au-delà de 24h.

Sur les communes suivantes, au moins un des postes de mesures a enregistré des valeurs supérieures aux quantiles décennaux : Entre-Deux, Petite-Île, La Plaine-des-Palmistes, La Possession, Saint-Denis, Saint-Joseph, Saint-Louis, Saint-Paul, Saint-Philippe, Sainte-Marie, Sainte-Rose, Salazie, Le Tampon, Cilaos.

Pour la commune de Saint-Pierre, le poste de Bérive, qui est très proche de la limite de cette commune, présente une valeur supérieure au quantile décennal sur 2 jours.

Sur les communes de Trois-Bassins, Saint-Leu, Les Avirons, Etang-Salé, Saint-Benoît et Le Port, aucun poste n'a mesuré de valeurs supérieures aux quantiles décennaux. Sur les Hauts des communes de Trois-Bassins, Saint-Leu, Les Avirons, Etang-Salé et Saint-Benoît, il n'est pas exclu que l'on ait dépassé les valeurs correspondant aux quantiles décennaux. Le nombre insuffisant de points de mesure dans ces régions ne permet pas de conclure avec certitude.

Hubert Quételard
Responsable Bureau d'Etudes
et Climatologie

8.9 Index des tableaux

Tableau 2.1 *: Communes de l'île de La Réunion en nombre d'habitants (d'après INSEE, 2016). Les communes en bleu sont littorales. Les communes en gris italique sont situées dans l'arrière-pays.* **page : 19**

Tableau 2.2 *: Réseau hydrographique permanent de l'île de La Réunion (source : Office de l'Eau Réunion)* **page : 22**

Tableau 2.3 *: Linéaire côtier cumulé (en km) selon le type de côte rencontré sur l'ensemble de l'île de La Réunion (Cerema, 2015 d'après Histolitt®). Ces chiffres ne prennent pas en compte le linéaire des îlots pour une longueur globale cumulée du trait de côte de La Réunion de 256 420 km (donnée fournie par Histolitt, cf. note de bas de page 3).* **page : 36**

Tableau 2.4 *: Linéaire côtier cumulé (en km) selon le type de côte rencontré entre le cap la Houssaye et la pointe de Bonne Espérance (Cerema, 2015 d'après Histolitt®). Ces chiffres ne prennent pas en compte le linéaire des îlots pour une longueur globale cumulée du trait de côte de l'unité morphosédimentaire de 97,9 km (donnée fournie par Histolitt)* **page : 36**

Tableau 2.5 *: Linéaire côtier cumulé (en km) selon le type de côte rencontré entre la pointe de Bonne Espérance et le cap Auguste (Cerema, 2015 d'après Histolitt®). Ces chiffres ne prennent pas en compte le linéaire des îlots pour une longueur globale cumulée du trait de côte de l'unité morphosédimentaire de 79,1 km (donnée fournie par Histolitt).* **page : 37**

Tableau 2.6 *: Linéaire côtier cumulé (en km) selon le type de côte rencontré entre le cap Auguste et le cap la Houssaye (Cerema, 2015 d'après Histolitt®). Ces chiffres ne prennent pas en compte le linéaire des îlots pour une longueur globale cumulée du trait de côte de l'unité morphosédimentaire de 79,4 km (donnée fournie par Histolitt)* **page : 39**

Tableau 3.1 *: Températures extrêmes à La Réunion (source : Météo-France La Réunion)* **page : 67**

Tableau 3.2 *: Précipitations et températures moyennes mensuelles, à Saint-Denis (station Gillot), évaluées sur la période 1981-2010 (source : climate-data.org)* **page : 69**

Tableau 3.3 *: Précipitations et températures moyennes mensuelles, à Saint-Pierre (station Pierrefonds), évaluées sur la période 1981-2010 (source : climate-data.org)* **page : 69**

Tableau 3.4 *: Records de précipitations à La Réunion (source : Météo-France La Réunion)* **page : 70**

Tableau 3.5 *: Records de vent par station à La Réunion (source : Météo-France La Réunion)* **page : 73**

Tableau 3.6 *: Cyclones à moins de 300 km de La Réunion entre 1967 et 2010 (Jumaux et al., 2012)* **page : 73**

Tableau 3.7 *: Cyclones et tempêtes tropicales à moins de 100 km de La Réunion entre 1967 et 2010 (Jumaux et al., 2012)* **page : 74**

Tableau 3.8 *: Températures moyennes mensuelles près de La Réunion, hors lagon (dans Piton, Taquet, 1992 d'après Wyrtki, 1971 ; Bouchon, 1979 ; Hastenrath, Lamb, 1979 ; Bertrand et al., 1987)* **page : 81**

Tableau 3.9 *: Observations pérennes du niveau marin disponibles sur l'île de La Réunion* **page : 82**

Tableau 3.10 *: Altitude du niveau moyen et du zéro hydrographique en mètre IGN89 au niveau du port de référence de la pointe des Galets, sur l'île de La Réunion (source : SHOM)* **page : 85**

Tableau 3.11 *: Niveau de la marée astronomique au niveau du port de référence de la pointe des Galets (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 2016). Les grandeurs employées dans le tableau caractérisent les références altimétriques de la marée. PBMA : niveau des plus basses mers astronomiques (coefficient 120), BM : niveau des plus basses mers (coefficient 95), NM : niveau moyen, PM : niveau des plus hautes mers (coefficient 95), PHMA : niveau des plus hautes mers astronomiques (coefficient 120)* **page : 86**

Tableau 3.12 *: Hauteurs des surcotes mesurées au marégraphe de la pointe des Galets lors du passage de systèmes tropicaux (source : maree.shom.fr ; SHOM – REFMAR, Météo-France La Réunion dans Lorion, 2006)* **page : 87**

Tableau 3.13 *: Principaux évènements de tempête relevés sur les périodes d'observation aux ports de la pointe des galets et de Sainte-Marie : niveaux horaires validés en mètres Côtes Marines (REFMAR)* **page : 90**

Tableau 3.14 *: Bases de données nationales disponibles pour les états de mer de l'île de La Réunion* **page : 92**

Tableau 3.15 *: Estimation des hauteurs significatives décennales (Hs T10 ans) et centennales (Hs T100 ans) par ajustement statistique d'une loi de Pareto (GPD)* **page : 94**

Tableau 3.16 *: Principaux évènements de tempête relevés sur les périodes d'observations (hauteurs significatives $H_{1/3}$ ou H_{m0} en mètres et direction Dirmoy). Les cellules grisées correspondent aux périodes sans donnée* **page : 99**

Tableau 3.17 *: Caractéristiques du réseau hydrographique permanent de l'île de la Réunion (source : DIREN, 2005)* **page : 108**

Tableau 3.18 *: Débits liquides médians des principaux cours d'eau de La Réunion suivis par l'Office de l'Eau, exemple pour l'année 2010 (source : www.eaureunion.fr)* **page : 110**

Tableau 3.19 *: Débits liquides à l'étiage des principaux cours d'eau de La Réunion suivis par l'Office de l'Eau, exemple pour l'année 2010 (source : www.eaureunion.fr)* **page : 110**

Tableau 3.20 *: Débits liquides de crue des principaux cours d'eau de La Réunion suivis par l'Office de l'Eau, exemple pour l'année 2010 (source : www.eaureunion.fr)* **page : 110**

Tableau 3.21 *: Débits minimums et maximums, caractéristiques et spécifiques, des principaux cours d'eau de La Réunion pour l'année 1985 (BRGM – Stieltjes et al., 1986)* **page : 111**

Tableau 3.22 *: Estimations (en mm/an) des principales contributions à la variation du niveau moyen global des océans pour les périodes 1971-2010, 1993-2010 et 2005-2013 (sources : Church et al., 2013 ; Llovel et al., 2014 ; Planton et al., 2015). La somme de ces contributions est comparée aux observations des variations du niveau de la mer. Les incertitudes pour les sommes sont calculées en combinant les diverses incertitudes (racine de la somme des incertitudes au carré)* **page : 122**

Tableau 3.23 : *Projections de l'élévation du niveau moyen global de la mer à la fin du XXI^e siècle (en mètres) pour 2046-2065 et 2081-2100 par rapport à 1986-2005. Les fourchettes de valeurs données pour chaque scénario d'émission correspondent à une probabilité de 67 % (changement « probable ») (d'après GIEC, 2013 ; Planton et al., 2015)* **page : 123**

Tableau 4.1 : *Lithologie des côtes de l'île de La Réunion (Guennoc et al., 2008)* **page : 134**

Tableau 5.1 : *Ouvrages et aménagements présents sur l'île de La Réunion par catégorie et classe (Cerema, 2017)* **page : 170**

Tableau 5.2 : *Ouvrages et aménagements littoraux du secteur 1 – du cap la Houssaye (Saint-Paul) à la pointe Sainte-Marie (Sainte-Marie) (Cerema, 2017)* **page : 174**

Tableau 5.3 : *Ouvrages et aménagements littoraux du secteur 2 – de la pointe Sainte-Marie (Sainte-Marie) à la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) (Cerema, 2017)* **page : 176**

Tableau 5.4 : *Ouvrages et aménagements littoraux du secteur 3 – de la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) au cap Auguste (Grande Anse, Petite-Île) (Cerema, 2017)* **page : 178**

Tableau 5.5 : *Ouvrages et aménagements littoraux du secteur 4 – du cap Auguste (Grande Anse, Petite-Île) au cap la Houssaye (Saint-Paul) (Cerema, 2017)* **page : 184**

Tableau 5.6 : *Ouvrages et aménagements littoraux des secteurs 4A – du cap Auguste (Grande Anse, Petite-Île) à la pointe de l'Étang-Salé et 4B – de la pointe de l'Étang-Salé au cap la Houssaye (Saint-Paul) (Cerema, 2017)* **page : 185**

Tableau 5.7 : *Bilan des ressources alluvionnaires potentielles par Espace-Carrière (E.C) et bassin d'activité en 2001 et 2006 (Jaques, Orru, 2008)* **page : 188**

Tableau 5.8 : *Le tourisme réunionnais en quelques chiffres entre 2003 et 2012 (CCEE Réunion, 2013 – source : CTR, ITR).* **page : 197**

Tableau 5.9 : *Évolution de la longueur du réseau routier par commune dans la bande littorale des 100 m entre 1950 et 2011 (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 203**

Tableau 5.10 : *Liste des établissements à risque dans le cadre d'une pollution potentielle par hydrocarbures (d'après Le Berre et al., 2012)* **page : 208**

Tableau 6.1 : *Quantifications de l'évolution du littoral de l'unité 1 du cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie (1-Cerema, 2018 ; 2-De la Torre et al., 2012 ; 3-Belon, Salomero, 2017)* **page : 234**

Tableau 6.2 : *Quantifications de l'évolution du littoral de l'unité 2 de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance (1-Cerema, 2018 ; 2-De la Torre et al., 2012 ; 3-Belon, Salomero, 2017)* **page : 242**

Tableau 6.3 : *Quantifications de l'évolution du littoral de l'unité 3 de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste (1-Cerema, 2018)* **page : 243**

Tableau 6.4 : *Quantifications de l'évolution du littoral de l'unité 4 (1-Cerema, 2018 ; 2-De la Torre et al., 2012 ; 3-Aubié et al., 2001)* **page : 251**

Tableau 6.5 : *Quantifications de l'évolution du littoral de l'unité 5 de la pointe de l'Étang-Salé au cap la Houssaye (1-Cerema, 2018 ; 2-De la Torre et al., 2012 ; 3-Belon, Salomero, 2017)* **page : 256**

Tableau 6.6 : *Synthèse des évolutions du trait de côte et des fonds d'après les analyses du BRGM portées sur douze sites sensibles (d'après De la Torre et al., 2012)* [1] **page : 256**

Tableau 6.7 : *Impacts morphogènes du cyclone Bejisa sur les plages de la côte ouest de La Réunion (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 262**

8.10 Index des figures

Figure 2.1 : *Localisation de l'île de La Réunion (De la Torre, 2010).* **page : 16**

Figure 2.2 : *Carte topo-bathymétrique de l'île de La Réunion.* **page : 17**

Figure 2.3 : *Géographie sommaire et unités morphosédimentaires de l'île de La Réunion.* **page : 18**

Figure 2.4 : *Agglomération de Saint-Denis (chef-lieu de l'île de La Réunion) (© T. Caro, 2009).* **page : 20**

Figure 2.5 : *Évolution de la population littorale de La Réunion de 1961 à 2008 (source : INSEE, RP).* **page : 20**

Figure 2.7 : *Occupation physique du sol (source : DAAF La Réunion – Terruti-Lucas).* **page : 20**

Figure 2.6 : *Carte d'occupation du sol et principales villes côtières de l'île de La Réunion.* **page : 21**

Figure 2.8 : *Transfert d'occupation du sol entre 2006 et 2014 (source : DAAF La Réunion – Terruti-Lucas).* **page : 22**

Figure 2.10 : *Carte géologique simplifiée de La Réunion (Fèvre, 2005 d'après Billard, Vincent, 1974).* **page : 24**

Figure 2.11 : *Modèle Numérique de Terrain des deux massifs volcaniques de La Réunion : le Piton des Neiges et le Piton de la Fournaise (© IGN – 1997, modifié par le BRGM, 2005).* **page : 24**

Figure 2.12 : *Modèle Numérique de Terrain du Piton des Neiges et de ses trois cirques : Cilaos, Mafate et Salazie (© IGN – 1997, modifié par le BRGM, 2005)* **page : 25**

Figure 2.13 *: Modèle Numérique de Terrain du Piton de la Fournaise, construit sur les flancs orientaux du Piton des Neiges (© IGN – 1997, modifié par le BRGM, 2005).* **page : 25**

Figure 2.14 *: Carte géologique de l'île de La Réunion (d'après la carte au 1/100 000e du BRGM)* **page : 26**

Figure 2.15 *: Schéma conceptuel de l'hydrogéologie à La Réunion (© BRGM, d'après l'Atlas Hydrogéologique du BRGM, 1986 dans BRGM, 2006)* **page : 27**

Figure 2.17 *: Évolution géologique simplifiée des massifs volcaniques du Piton des Neiges et du Piton de la Fournaise (source : http://www.earth-of-fire.com/).* **page : 27**

Figure 2.16 *: Systèmes aquifères de La Réunion (© Office de l'Eau Réunion dans Furet et al., 2012).* **page : 28**

Figure 2.18 *: Répartition des principales formations coralliennes à La Réunion (Lemahieu, 2015).* **page : 29**

Figure 2.19 *: Schéma d'ensemble du volcanisme de La Réunion (Nehlig et al., 2006).* **page : 30**

Figure 2.20 *: Panorama des dépôts d'avalanches de débris au cap la Houssaye (© M. Kerneis, 2005)* **page : 31**

Figure 2.21 *: Faciès des dépôts d'avalanches de débris ou brèches de Saint-Gilles au cap la Houssaye le long de la RN1 (© BRGM, 2004 ; schéma dans Nehlig, Bucelle, 2005)* **page : 31**

Figure 2.22 *: Coupe géologique simplifiée de la fausse falaise bordant la RN1, entre La Possession et Saint-Denis (Nédellec, Cruchet, 2008 d'après Westercamp, 1981).* **page : 31**

Figure 2.23 *: Coupe géologique simplifiée de la falaise entre Saint-Denis et Saint-André (d'après le rapport ECSHY, 2010 dans Office de l'Eau Réunion, 2012).* **page : 32**

Figure 2.24 *: Légende appliquée aux figures de zonation géologique pour les secteurs de la Figure 2.25., Figure 2.26 : et Figure 2.27 : (d'après Raunet, 1991)* **page : 33**

Figure 2.25 *: Zonation géologique sur le secteur est : de la rivière des Marsouins à la pointe de Bois Blanc (d'après Raunet, 1991)* **page : 33**

Figure 2.27 *: Zonation géologique sur le secteur sud : de la Rampe de Basse Vallée à Saint-Pierre (d'après Raunet, 1991).* **page : 33**

Figure 2.26 *: Zonation géologique sur le secteur sud-est : de la pointe de Bois Blanc à la Rampe de Basse Vallée (d'après Raunet, 1991)* **page : 33**

Figure 2.28 *: Les différents types de côte sur l'île de La Réunion* **page : 35**

Figure 2.29 *: Plage de sable noir à Saint-Paul (© Cerema/S. Lendre, 2019).* **page : 36**

Figure 2.30 *: Cordon de galets à Saint-Denis (© BRGM, 2003)* **page : 37**

Figure 2.31 *: Embouchure et lit de la rivière du Mât, Bras-Panon / Saint-André (© C. Baboulene, 2015 – source : http://www.conservatoire-du-littoral.fr).* **page : 37**

Figure 2.33 *: Falaises basaltiques du cap Méchant (Saint-Joseph) dans le Sud Sauvage (© S. Berrut, 2009 ; source : www.geo.fr)* **page : 37**

Figure 2.32 *: Les différents types de côte de l'île de La Réunion, détails du secteur du cap la Houssaye (Saint-Paul) à la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose).* **page : 38**

Figure 2.34 *: Pointe de la Table (source : www.cartedelareunion.fr)* **page : 39**

Figure 2.37 *: Plage de sable noir volcanique à Saint-Leu, ravine des Sables (© BRGM, 2004)* **page : 39**

Figure 2.36 *: Falaises mixtes de la pointe du Diable (© B. Navez, 2007)* **page : 39**

Figure 2.35 *: Les différents types de côte de l'île de La Réunion : détails du secteur de la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) au cap Auguste (Petite-Île)* **page : 40**

Figure 2.38 *: Dune de sable vert chargée en olivine à la ravine des Sables (© BRGM, 2005)* **page : 41**

Figure 2.39 *: Plage de l'Étang-Salé (source : www.guide-reunion.fr)* **page : 41**

Figure 2.40 *: Plage de sable blanc corallien et récif frangeant de l'Ermitage (© S. Gélabert)* **page : 41**

Figure 2.41 *: Beachrocks de Grande Anse (source : www.randoreunion.fr)* **page : 42**

Figure 2.42 *: Les différents types de côte de l'île de La Réunion, détails du cap Auguste (Petite-Île) au cap la Houssaye (Saint-Paul)* **page : 43**

Figure 2.43 *: Localisation des avalanches de débris et surfaces à hummocks sous-marines sur la carte bathymétrique de La Réunion (Oehler, 2005)* **page : 44**

Figure 2.44 *: Illustration schématique des transferts sédimentaires de la terre vers les fonds marins à l'origine des courants de turbidité au sein des canyons sous-marins (Babonneau et al., 2013).* **page : 44**

Figure 2.45 *: Carte des habitats naturels sous-marins de l'île de La Réunion* **page : 46**

Figure 2.46 *: Ourlet à Achyranthes aspera var. velutina des plages de galets de Saint-Benoît (à gauche) et boisement à Pandanus utilis au Champ Borne, Saint-André (à droite) (© CBNM/P. Delbosc, 2014)* **page : 48**

Figure 2.47 *: Fourré à Casuarina equisetifolia sur trottoirs basaltiques massifs semi-xérophiles de la ravine des Cafres (à gauche) et pelouse halophile à Zoysia matrella sur les côtes rocheuses hygrophiles de Saint-Philippe (à droite) (© CBNM/P. Delbosc, 2014)* **page : 49**

Figure 2.48 *: Éléments de géomorphologie récifale des récifs frangeants de La Réunion (d'après les images hyperspectrales et Montaggioni, Faure, 1980 ; source : envlit.ifremer.fr)* **page : 50**

Figure 2.49 *: Répartition des récifs coralliens de La Réunion (Lemahieu, 2015)* **page : 51**

Figure 2.50 *: Photographie sous-marine du « lagon » de l'Ermitage, à La Réunion (© P. Bourjon, 2014)* **page : 51**

Figure 2.51 *: Fourré subhalophile à Heliotropium foertherianum sur les plages de sable corallien de l'Ermitage, Saint-Paul (à gauche) et boisement à Casuarina equisetifolia sur les plages de sable basaltique de la baie de Saint-Paul (à droite) (© CBNM/P. Delbosc, 2014)* **page : 53**

Figure 2.52 *: Pelouse à Dactyloctenium aegyptium sur la plage de sables mixtes de la pointe au Sel, Saint-Leu (à gauche) et végétation perhaline à Canavalia rosea et Ipomoea pes-caprae subsp. brasiliensis sur les dunes mobiles de sable basaltique de l'étang du Gol, l'Etang-Salé (à droite) (© CBNM/P. Delbosc, 2014)* **page : 53**

Figure 2.53 *: Herbier de Syringodium isoetifolium à La Réunion (© P. Bourjon, 2012)* **page : 54**

Figure 2.54 : *Distribution des herbiers de l'île de La Réunion (cartes issues de Réserve Naturelle Marine de La Réunion, 2010 d'après ARVAM, 2005 dans Hily et al., 2010)* **page : 55**

Figure 2.55 : *Étang de Saint-Paul, La Réunion (source : www.cartedelareunion.fr)* **page : 55**

Figure 2.56 : *Végétation hélophytique à Typha domingensis dans l'étang de Bois Rouge (à gauche) et prairie marécageuse à Urochloa mutica dans l'étang du Gol (à droite) (© CBNM/P. Delbosc, 2014)* **page : 56**

Figure 2.57 : *Facteurs intervenant dans le fonctionnement du système littoral (BRGM, 2006).* **page : 57**

Figure 2.58 : *Les différents régimes de houle à La Réunion (Roy et al., 2009)* **page : 58**

Figure 2.59 : *Mécanismes d'action des vagues sur la côte (Coque, 2002)* **page : 59**

Figure 2.60 : *Modes de transport (reptation, saltation, suspension) des particules par le vent (source : http://www.msc.univ-paris-diderot.fr)* **page : 60**

Figure 2.61 : *Blanchissement des récifs coralliens constaté à La Réunion (© Réserve Naturelle Marine de La Réunion, 2019 – source : http://www.ipreunion.com)* **page : 60**

Figure 2.62 : *Évolution des communautés coralliennes du récif de Saint-Leu entre 1973 et 2006 (d'après Scopelitis et al., 2009). La zone de déferlement des vagues est représentée en blanc. Abréviations : Cb_Dc Colonies mortes et vivantes de coraux Acropora formosa ; Cb_Ma Colonies vivantes de coraux Acropora formosa et Porites lutea ; Cb_Dgt Colonies vivantes de coraux Acopora formosa et Acropora spp ; Ma Colonies vivantes de coraux Porites lutea ; Cb_Mix Colonies vivantes de coraux branchus et mixtes ; Mb_Mil Colonies vivantes de coraux branchus et Millepora spp., Porites (Synaraea) rus, Millepora spp. ; Dgt Coraux vivants Acropora spp ; Dc_Mix Coraux branchus morts et coraux mixtes vivants ; Dc_Cb Coraux morts et vivants Acropora formosa ; Md Coraux vivants Pavona divaricata ; Ma_Mb Coraux vivants Porites lutea et Porites (Synaraea) rus ; Mix Coraux mixtes selon divers recouvrements et compositions ; Rbl Débris ; Bld Rochers ; Bst Pierres basaltiques et Padina ; Sed Sédiments et algues.* **page : 61**

Figure 2.63 : *Processus d'évolution des falaises. A : chutes de blocs/éboulements ; B : sous-cavages et sapements de pied de falaise ; C : glissements et effondrements (Singh et al., 2019)* **page : 61**

Figure 3.1 : *Carte du réseau climatologique des points de mesure de La Réunion en 2017 (Eugénie, Jumaux, 2018). Chaque point est associé à son numéro INSEE et altitude* **page : 64**

Figure 3.2 : *Cours d'eau et zones humides de l'île de La Réunion* **page : 65**

Figure 3.3 : *Température moyenne annuelle sur l'île de La Réunion (Jumaux et al., 2012)* **page : 66**

Figure 3.4 : *Moyennes annuelles des températures minimales (à gauche) et maximales (à droite) d'après les normales de températures établies sur la période 1991-2010 (Jumaux et al., 2012)* **page : 67**

Figure 3.5 : *Répartition annuelle des jours secs et pluvieux sur l'île de La Réunion (Jumaux et al., 2012)* **page : 68**

Figure 3.6 : *Pluviométrie annuelle entre 1961 et 2018 à La Réunion (source : Météo-France La Réunion). Écart à la moyenne 1981-2010 (à partir de 13 postes)* **page : 68**

Figure 3.7 : *Diagramme ombrothermique mensuel de Saint-Denis (station Gillot) évalué sur la période 1981-2010 (source : climate-data.org)* **page : 69**

Figure 3.8 : *Diagramme ombrothermique mensuel de Saint-Pierre (station Pierrefonds) évalué sur la période 1981-2010 (source : climate-data.org)* **page : 69**

Figure 3.9 : *Trajectoire et intensité des cinq systèmes tropicaux (Hyacinthe, 1980 ; Clotilda, 1987 ; Dina, 2002 ; Diwa, 2006 et Gamède, 2007) ayant généré le plus de pluie sur La Réunion entre 1960 et 2010 (Jumaux et al., 2012)* **page : 70**

Figure 3.10 : *Trajectoire du système Gamède entre le 19/02/2007 et le 06/03/2007, classé cyclone tropical intense entre le 25/02/2007 et le 26/02/2007 lors de son passage à proximité de La Réunion (source : Météo-France La Réunion ; Annexe 8.8)* **page : 71**

Figure 3.11 : *Destruction du pont de la rivière Saint-Étienne dans le sens Saint-Louis – Saint-Pierre durant le cyclone Gamède le 25/02/2007 (© IPR, 2007 – source : http://www.ipreunion.com)* **page : 71**

Figure 3.12 : *Trajectoire des cyclones tropicaux très intenses (CTTI) dans le sud-ouest de l'océan Indien au cours de la période 1981-2010 (Jumaux et al., 2012)* **page : 72**

Figure 3.13 : *Trajectoire du système Dina entre le 16/01/2002 et le 28/01/2002, classé cyclone tropical intense entre le 19/01/2002 et le 23/01/2002 lors de son passage à proximité de La Réunion le 22/01/2002 (source : Météo-France La Réunion ; Annexe 8.7)* **page : 74**

Figure 3.14 : *Carte de pression moyenne (en hPa) au niveau de la mer en mars, durant l'été austral (source : Météo-France La Réunion)* **page : 75**

Figure 3.15 : *Carte de pression moyenne (en hPa) au niveau de la mer en septembre, durant l'hiver austral (source : Météo-France La Réunion)* **page : 75**

Figure 3.16 : *Carte du vent autour de La Réunion par flux est-sud-est (source : Météo-France La Réunion). La direction du vent est représentée par les flèches bleues avec des longueurs proportionnelles à la force du vent. La force du vent est également représentée en plage de couleur : du blanc au rouge pour les vents les plus faibles aux plus forts. Les zones A et C sont ici déventées, respectivement « au vent » et « sous le vent » ; les zones B décrivent des vents de forte intensité au large des côtes* **page : 76**

Figure 3.17 : *Carte du vent autour de La Réunion par flux sud-est (source : Météo-France La Réunion)* **page : 76**

Figure 3.18 : *Carte du vent autour de La Réunion par flux nord-est (source : Météo-France La Réunion)* **page : 76**

Figure 3.19 : *Les différents régimes de vents à La Réunion (d'après Gabrié, Montaggioni, 1986)* **page : 77**

Figure 3.20 : *Distribution annuelle des vents sur l'île de La Réunion au cours de la période 2001-2010 (Jumaux et al., 2012)* **page : 77**

Figure 3.21 : *Moyenne annuelle des cumuls pluviométriques à La Réunion sur la période 1981-2010 (© Météo-France, 23/02/2016)* **page : 78**

Figure 3.22 : Moyenne annuelle du nombre de jours avec pluie (≥ 1 mm) à La Réunion sur la période 1981-2010 (© Météo-France, 23/02/2016) **page : 79**

Figure 3.23 : Répartition saisonnière des précipitations annuelles sur l'île de La Réunion d'après les normales de 1981-2010 (Jumaux et al., 2012) **page : 80**

Figure 3.24 : Évolution des températures de surface (modélisées en 2006) entre l'hiver (en haut) et l'été austral (en bas) autour de La Réunion (d'après les données HYDRORUN dans Cuvilier, 2016) **page : 81**

Figure 3.25 : Isolignes de salinité de surface dans le récif frangeant de Saint-Gilles à l'Ermitage en avril 1987 (modifié d'après Cuet, 1989) **page : 82**

Figure 3.26 : Marégraphe de la pointe des Galets (© SHOM – REFMAR, source : refmar.shom.fr) **page : 83**

Figure 3.27 : Port de référence et points d'observations secondaire sur l'île de La Réunion (source : SHOM, 2016 – http://data.shom.fr) **page : 84**

Figure 3.28 : Exemple d'évolution du niveau moyen de la mer mensuel au marégraphe du port de la pointe des Galets, entre 1995 et 2019 (source : REFMAR & SONEL) **page : 85**

Figure 3.29 : Exemple d'évolution du niveau moyen de la mer annuel au marégraphe du port de la pointe des Galets, entre 1997 et 2018 (source : REFMAR et SONEL) **page : 85**

Figure 3.30 : Élévation du niveau marin et baisse de la pression atmosphérique relevées lors de la tempête Hyacinthe (© M. Boudou, 2014 d'après les données de Piton, Taquet, 1992) **page : 87**

Figure 3.31 : Trajectoire du système Bejisa entre le 27/12/2013 et le 07/01/2014, classé cyclone tropical entre le 31/12/2013 et le 03/01/2014, lors de son passage à proximité de La Réunion le 02/01/2014 (source : Météo-France La Réunion ; Annexe 8.6) **page : 88**

Figure 3.32 : Vagues de submersion associées au passage du cyclone Bejisa (© AFP, 2014) **page : 88**

Figure 3.33 : Observations et prédictions du niveau de la mer au marégraphe de la pointe des Galets (graphique du haut) et calcul des surcotes (graphique du bas) du 01-03/01/2014 lors du cyclone Bejisa (source : SHOM, REFMAR) **page : 89**

Figure 3.34 : Observations et prédictions du niveau de la mer au marégraphe de Sainte-Marie (graphique du haut) et calcul des surcotes (graphique du bas) du 01-03/01/2014 lors du cyclone Bejisa (source : SHOM, REFMAR) **page : 89**

Figure 3.35 : Localisation des points d'observation des états de mer sur la province issus des bases de données CANDHIS et ANEMOC-2 **page : 91**

Figure 3.36 : Régimes de houle sur l'île de La Réunion (d'après Troadec, 1991 dans Cuvilier, 2016) **page : 92**

Figure 3.38 : Localisation et représentation des houles issues de l'analyse des données de simulation numérique ANEMOC-2 **page : 93**

Figure 3.37 : Rivages les plus exposés de La Réunion selon le type de houle (dans Jumaux et al., 2012) **page : 94**

Figure 3.39 : Répartition spatiale des moyennes de direction au pic des houles sur les dix années de données de simulation numérique HydroRun **page : 95**

Figure 3.40 : Répartition spatiale des hauteurs significatives de houle issues de l'analyse des données de simulation numérique ANEMOC-2 **page : 96**

Figure 3.41 : Répartition spatiale des moyennes de hauteur significative de houle sur les dix années de données de simulation numérique HydroRun **page : 97**

Figure 3.42 : Répartition spatiale des hauteurs significatives issues de l'analyse des données de mesure in situ CANDHIS **page : 98**

Figure 3.43 : Genèse et déplacement des houles cycloniques (source : Météo-France La Réunion) **page : 100**

Figure 3.44 : Hauteurs significatives et directions de provenance des vagues lors du cyclone Clotilda du 14/02/1987 (simulations ANEMOC-2) **page : 101**

Figure 3.45 : Hauteurs significatives et directions de provenance des vagues lors du cyclone Gamède du 25/02/2007 (simulations ANEMOC-2) **page : 102**

Figure 3.46 : Courantologie générale des Mascareignes (Guyomard et al., 2017) **page : 103**

Figure 3.47 : Lignes cotidales de l'onde M2 (extrait des Instructions Nautiques, 1984) **page : 103**

Figure 3.48 : Vitesses et directions moyennes annuelles des courants de surface (en m/s) autour de La Réunion (Modélisation du projet HydroRun, Ifremer, source : sextant.ifremer.fr) **page : 105**

Figure 3.49 : Vitesses moyennes trimestrielles des courants de surface (en m/s) autour de La Réunion pour A-janvier/mars, B-avril/juin, C-juillet/septembre et D-octobre/décembre (Modélisation du projet HydroRun, Ifremer ; source : sextant.ifremer.fr) **page : 105**

Figure 3.50 : Géographie des cours d'eau de l'île de La Réunion et gestion hydraulique locale (bassins versants, affluents, débits, ouvrages) **page : 107**

Figure 3.51 : Surveillance du réseau hydrographique et stations hydrométriques **page : 109**

Figure 3.52 : Image satellite du delta de la rivière Saint-Etienne (Image © 2019 Maxar Technologies, TerraMetrics, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, CNES/Airbus) **page : 112**

Figure 3.53 : Évolution du lit dans le cône de déjection de la rivière des Pluies, exemple de l'impact d'une crue associée à une tempête tropicale (Pouget, Garcin, 2003) **page : 112**

Figure 3.54 : Localisation des masses d'eau superficielles de La Réunion correspondant aux plans d'eau et leur bassin versant associé (DIREN, 2005). ETG01 : Grand Étang ; ETG02 : étang du Gol ; ETG03 : étang de Saint-Paul **page : 113**

Figure 3.55 : Évolution de la température moyenne à La Réunion et dans le monde, entre 1969 et 2008 (Jumaux et al., 2012) **page : 115**

Figure 3.56 : Projections d'anomalies de température à La Réunion, selon divers scénarios du GIEC, pour la fin du XXIe siècle (Jumaux et al., 2012) **page : 116**

Figure 3.58 : Évolution de la distance à l'équateur du maximum d'intensité des cyclones très intenses ayant traversé le sud-ouest de l'océan Indien entre 1980 et 2015 (source : Météo-France La Réunion). La carte en arrière-plan sur le graphique n'est là que pour se rendre compte du positionnement du maximum des cyclones très

intenses (CTI) par année en latitude mais, en aucun cas, en longitude **page : 116**

***Figure 3.57** : Simulations du modèle ARPEGE des évolutions de la pression atmosphérique au niveau de la mer par saison et par scénario, pour la période 2071-2100 (Jumaux et al., 2012)* **page : 117**

***Figure 3.59** : Évolution du cumul des précipitations annuelles à La Réunion, entre 1969 et 2008 (Jumaux et al., 2012)* **page : 118**

***Figure 3.60** : Configuration de l'évolution des précipitations en pourcentage selon la moyenne des modèles utilisés dans Climate Models Intercomparison Project 5 (CMIP5), mise à l'échelle selon l'évolution correspondante de la température moyenne mondiale. La configuration a été obtenue en calculant la différence entre les moyennes des années 2081-2100 et 1986-2005 et en remettant à l'échelle chaque différence selon l'évolution correspondante de la température moyenne mondiale (source : GIEC, 2013)* **page : 118**

***Figure 3.61** : Projections d'anomalies de précipitations à La Réunion (Jumaux et al., 2012)* **page : 119**

***Figure 3.62** : Évolution de la température moyenne des eaux de surface des océans depuis 1880 et anomalie en degrés (°C) par rapport à la moyenne 1901-2000 (source : traitements réalisés par SOeS Observatoire du Littoral – National Oceanic and Atmospheric Administration, 2010)* **page : 120**

***Figure 3.63** : Taux de variation de la température de surface de la mer (en °C/décennie) sur la période 1995-2005 autour de 27 sites proches des territoires français métropolitains et ultramarins (source : ONERC, 2015). ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) et HadISST (Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature data set) sont deux séries de données mondiales de la température de surface de l'océan fournies respectivement par la NOAA (USA) et le Met Office (UK)* **page : 120**

***Figure 3.64** : Évolution de l'acidification des océans suivant les scénarios RCP2,6 et RCP8,5 dans les océans Antarctique, du Sud et des Tropiques (GIEC, 2013)* **page : 121**

***Figure 3.65** : Évolution du niveau moyen global de la mer, estimée à partir de la reconstruction de Church et White (2011) sur le XXe siècle et à partir de l'altimétrie spatiale sur la période 1993-2012 : Le grisé représente l'incertitude associée à la courbe, les cycles annuels et semi-annuels ont été enlevés* **page : 122**

***Figure 3.66** : Distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer (1992-2013) d'après les mesures altimétriques de Topex/Poséidon, Jason-1 et 2, ERS-1 et 2 et Envisat (Planton et al., 2015)* **page : 123**

***Figure 3.67** : Projection de l'élévation du niveau moyen global de la mer au XXIe siècle relativement à 1986-2005 pour les deux scénarios d'émission RCP2,6 et RCP8,5 : À gauche, les plages de couleur autour des courbes correspondent à l'intervalle d'un changement « probable » (67 % de chances) ; les barres verticales correspondent à un changement « probable » de la moyenne sur la période 2081-2100 pour tous les scénarios RCP, et les barres horizontales aux valeurs médianes associées (d'après GIEC, 2013 ; Planton et al., 2015). À droite, les lignes jaunes puis mauve représentent respectivement les niveaux observés au marégraphe, puis par satellite à partir de 1993 ; la région grisée représente l'intervalle de confiance à 90 % pour 21 simulations utilisées dans Climate Models Intercomparison Project 5 (CMIP5) pour le scénario RCP4,5, les lignes de couleur représentant les réalisations de 3 modèles tirés au hasard et la ligne noire la moyenne de l'ensemble ; les barres verticales de couleur représentent la moyenne et la dispersion de l'ensemble (intervalles de confiance à 5 % et à 95 %) obtenue en 2100 pour les scénarios RCP2,6 (bleu foncé), RCP4,5 (bleu clair), RCP6,0 (jaune) et RCP8,5 (rouge) (d'après Church et al., 2013)* **page : 124**

***Figure 3.68** : Évolution relative du niveau de la mer pour la période 2081-2100 par rapport à 1986-2005 pour les deux scénarios d'émission RCP2,6 et RCP8,5 : Les calculs prennent en compte les changements de température, salinité et courants simulés par 21 modèles du GIEC. Les figures incluent aussi les effets sur le niveau de la mer des variations régionales de la pression atmosphérique, de l'ajustement isostatique glaciaire et les échanges d'eau avec les terres émergées (d'après GIEC, 2013 ; Planton et al., 2015)* **page : 124**

***Figure 3.69** : Évaluation régionale des mouvements verticaux de la surface du sol à La Réunion (Bulteau et al ., 2015 ; données BRGM/IGN). Cette évaluation a été réalisée en comparant deux campagnes de nivellement menées par l'IGN en 1958 et 1989* **page : 125**

***Figure 4.1** : Carte des unités morphosédimentaires de l'île de La Réunion* **page : 131**

***Figure 4.2** : Coupe synthétique de l'édifice volcanique de La Réunion (source : BRGM)* **page : 132**

***Figure 4.3** : Cinq systèmes turbiditiques de La Réunion : 1- système de Mafate ; 2- système de Saint-Denis ; 3- système de Salazie ; 4- système de Saint-Joseph ; 5- système de Cilaos (carte modifiée d'après Sisavath, 2011)* **page : 132**

***Figure 4.4** : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers de La Réunion* **page : 133**

***Figure 4.5** : Granulométrie des sédiments côtiers de La Réunion. Courbes de fréquences cumulées par site d'échantillonnage et par fractions granulométriques en fonction de la profondeur (Bigot, 2006)* **page : 135**

***Figure 4.6** : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers du cap la Houssaye à la rivière des Pluies (source : CARTOMAR – BRGM, échelle au 1/25 000 dans Guennoc et al., 2008)* **page : 136**

***Figure 4.7** : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers depuis la rivière des Pluies à la pointe de la Ravine Sèche (source : CARTOMAR – BRGM, échelle au 1/25 000 dans Guennoc et al., 2008)* **page : 136**

***Figure 4.8** : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers depuis la pointe de la Ravine Sèche, en passant par la pointe de Bonne Espérance, à la pointe des Cascades (source : CARTOMAR – BRGM, échelle au 1/25 000 dans Guennoc et al., 2008)* **page : 137**

***Figure 4.9** : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers du cap Auguste à la pointe au Sel (source : CARTOMAR – BRGM, échelle au 1/25 000 dans Guennoc et al., 2008)* **page : 138**

***Figure 4.10** : Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers de la pointe au Sel au cap la Houssaye (source : CARTOMAR – BRGM, échelle au 1/25 000 dans Guennoc et al., 2008)* **page : 138**

Figure 4.11 *: Schéma détaillant les composantes, les apports et les pertes du bilan sédimentaire d'un système côtier (© M. Sauvé, Cerema dans Roche et al., 2016)* **page : 139**

Figure 4.12 *: Sous-cavage et éboulement en pied de falaise à la pointe du Diable, dans la commune de Saint-Pierre (© BRGM, 2009)* **page : 140**

Figure 4.13 *: Cône-delta de la rivière du Mât (© BRGM, 2004)* **page : 141**

Figure 4.14 *: Cône-delta de la rivière des Galets alimentant le littoral du Port, de La Possession et de Saint-Paul (© BRGM, 2004)* **page : 142**

Figure 4.15 *: Récifs coralliens de Saint-Gilles (© M. Irles – source : www.actu-environnement.com)* **page : 142**

Figure 4.16 *: Érosion de la plage de l'Ermitage avec mise à nu des racines de fialos (© Imaz Presse Réunion, 2014 – source : www.ipreunion.com)* **page : 143**

Figure 4.17 *: Schéma conceptuel de la dérive littorale et du transport des particules sédimentaires (modifié d'après Woodroffe, 2002)* **page : 144**

Figure 4.18 *: Diagramme de Hjulström (source : theses.univ-lyon2.fr)* **page : 144**

Figure 4.19 *: Régime des alizés à La Réunion (Cordier, 2007)* **page : 145**

Figure 4.20 *: Représentation schématique des zones de dépôt et des transits sédimentaires pour des récifs discontinus, interrompus et continus (Roberts, 1980)* **page : 146**

Figure 4.21 *: Embouchure de la rivière Saint-Denis (© C. Baboulene, 2015 – Conservatoire du Littoral)* **page : 146**

Figure 4.22 *: Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur de la baie de Saint-Paul (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 147**

Figure 4.23 *: Impact de la jetée sud du Port-Ouest sur la dérive littorale localement orientée sud-nord (© IGN, 2003 dans Blangy et al., 2009)* **page : 148**

Figure 4.24 *: Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur du Port-Ouest et du Port-Est (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 148**

Figure 4.25 *: Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur de Saint-Denis (Cazes-Duvat et al., 2016* **page : 149**

Figure 4.26 *: Blocage de la dérive littorale au droit de la digue du port de Saint-Benoît qui provoque une érosion de la côte à l'aval (© BRGM, 2004)* **page : 149**

Figure 4.27 *: Évolution du profil topographique du secteur nord aval-dérive de la digue du port de Saint-Benoît entre 2006 et 2009 (Blangy et al., 2009)* **page : 150**

Figure 4.28 *: Processus classique de recul des falaises. 1 : sous-cavages et sapements de pied de falaise ; 2 : chutes de blocs, effondrements ou glissements ; 3 : dispersion des éboulis (© BRGM dans Blangy et al., 2009)* **page : 151**

Figure 4.29 *: Anse des Cascades (source : www.cartedelareunion.fr)* **page : 151**

Figure 4.31 *: Courant moyen simulé (en m/s) sous l'action d'une houle australe de période de retour 1 an associée à un débit de la ravine de Saint-Leu équivalant à 10 % du débit décennal des ravines confluentes du Grand Étang et du Petit Étang (Actimar, 2011)* **page : 152**

Figure 4.30 *: Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur de Saint-Pierre (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 153**

Figure 4.32 *: Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur de Saint-Gilles (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 153**

Figure 4.33 *: Influence de la digue du port de Saint-Gilles sur la dérive littorale et les transits sédimentaires associés (© A. Lemahieu, 2012)* **page : 154**

Figure 4.34 *: Carte schématique de l'état et des processus en jeu dans le secteur de Boucan Canot (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 154**

Figure 4.36 *: Synthèse des mécanismes de transport sédimentaire dans la dépression arrière-récifale de l'Ermitage en fonction du degré d'énergie des processus de transport forcés par les conditions environnementales (d'après Cordier, 2007)* **page : 155**

Figure 4.35 *: Drainage des sédiments depuis la plage vers le large par l'action des courants engendrés à travers la passe du récif de l'Ermitage (© BRGM, 2004)* **page : 155**

Figure 4.37 *: Couverture des sondes bathymétriques réalisées par le SHOM (dans Pedreros et al., 2009)* **page : 156**

Figure 4.38 *: Facteurs intervenant dans le fonctionnement d'un système littoral de type tropical (BRGM, 2006)* **page : 158**

Figure 4.39 *: Carte de synthèse du transit littoral sur l'île de La Réunion* **page : 160**

Figure 4.40 *: Transits sédimentaires d'un cordon littoral (adapté d'après Paskoff, 1998)* **page : 161**

Figure 4.41 *: Déficit sédimentaire d'un cordon littoral en raison de la présence d'ouvrages transversaux (à gauche), ou longitudinaux (à droite) (Paskoff, 1998)* **page : 161**

Figure 5.1 *: Secteurs anthropisés de l'île de La Réunion avec répartition des ouvrages côtiers associés (aménagements côtiers impactant directement le trait de côte et territoires poldérisés, zones naturelles et tâches urbaines, etc) (Cerema, 2017)* **page : 167**

Figure 5.2 *: Vue aérienne sur le port de Saint-Pierre (© Falco97410)* **page : 168**

Figure 5.3 *: Marché de Saint-Paul protégé par son mur de soutènement (© IRT / S. Gelabert – source : www.geo.fr)* **page : 170**

Figure 5.4 *: Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense dans la commune de Saint-Paul (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 171**

Figure 5.5 *: Artificialisation de la commune du Port entre 1966 et 1997 (© IGN dans De la Torre, 2004)* **page : 171**

Figure 5.6 *: Littoral du Port, entre les exutoires de la rivière des Galets et de la ravine Lafleur (© Grand Port Maritime de La Réunion – source : www.lantenne.com)* **page : 171**

Figure 5.7 *: Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense dans la commune du Port (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 172**

Figure 5.8 *: Route quatre-voies (RN1) en pied de falaise et Nouvelle Route du Littoral (NRL) en cours de construction (© M. Messager, 2019 – Cerema DtecEMF/ER/IEA)* **page : 172**

Figure 5.9 *: Chute de blocs sur la Route du Littoral RN1 (© BRGM, 2002)* **page : 173**

Figure 5.11 *: Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense dans la commune de Saint-Denis (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 173**

Figure 5.10 *: Nouvelle Route du Littoral en chantier (© S. Marizy – source : www.nouvelleroutedulittoral.re)* **page : 173**

Figure 5.12 *: Aéroport Roland-Garros et port de Sainte-Marie protégés par une longue digue en enrochements (© IPR, 2017 – source : www.ipreunion.com)* **page : 173**

Figure 5.14 *: Blocage de la dérive littorale au droit de la digue du Butor qui provoque une érosion de la côte à l'aval de la dérive littorale au niveau du port de Saint-Benoît (© BRGM, 2004)* **page : 174**

Figure 5.13 *: Ouvrages et aménagements côtiers actuels du secteur 1 – du cap la Houssaye (Saint-Paul) à la pointe Sainte-Marie (Sainte-Marie) (Cerema, 2017)* **page : 175**

Figure 5.16 *: Port de Sainte-Rose (© IPR – source : www.ipreunion.com)* **page : 176**

Figure 5.15 *: Ouvrages et aménagements côtiers actuels du secteur 2 – de la pointe Sainte-Marie (Sainte-Marie) à la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) (Cerema, 2017)* **page : 177**

Figure 5.18 *: Port de Saint-Gilles-les-Bains (© J. Buhart – source : www.sea-seek.com)* **page : 178**

Figure 5.17 *: Ouvrages et aménagements côtiers actuels du secteur 3 – de la pointe de Bonne Espérance (Sainte-Rose) au cap Auguste (Grande Anse, Petite-Île) (Cerema, 2017)* **page : 179**

Figure 5.19 *: Littoral de Saint-Pierre, entre le cap Tuf et la pointe du Bois de Buis (© C. Baboulene / Conservatoire du Littoral)* **page : 180**

Figure 5.20 *: Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense sur la commune de Saint-Pierre (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 180**

Figure 5.21 *: Déchaussement du mur de protection sur la plage du bassin Pirogue à l'Étang-Salé (© BRGM, 2004)* **page : 181**

Figure 5.22 *: Littoral de Saint-Leu, entre la pointe au Sel et le port (source : www.cartedelareunion.fr)* **page : 182**

Figure 5.23 *: Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense sur le secteur de La Saline (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 182**

Figure 5.24 *: Situation du port de Saint-Gilles en 1978 (à gauche) et en 2012 (à droite) (source : © IGN dans Chateauminois et al., 2016)* **page : 183**

Figure 5.25 *: Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense sur la commune de Saint-Gilles (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 183**

Figure 5.26 *: Hôtel 4 étoiles Boucan Canot (© Ilotdrones – source : www.boucancanot.com)* **page : 184**

Figure 5.27 *: Frise chronologique de l'implantation des principaux aménagements et ouvrages de défense dans le secteur de Boucan Canot (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 185**

Figure 5.28 *: Ouvrages et aménagements côtiers actuels du secteur 4 – du cap Auguste (Grande Anse, Petite-Île) au cap la Houssaye (Saint-Paul) (Cerema, 2017)* **page : 186**

Figure 5.29 *: Micro-falaise vive et siffle-vents dans les dunes bordant la forêt domaniale de la côte-sous-le-vent, au niveau de l'Étang-Salé (© BRGM, 2004)* **page : 187**

Figure 5.30 *: Localisation des ressources potentielles en granulats marins au niveau du plateau de Saint-Denis à La Possession (Jaques, Orru, 2008)* **page : 188**

Figure 5.31 *: Impacts du dragage de sédiments sur le milieu marin (dans Lochu et al., 2017)* **page : 189**

Figure 5.32 *: Cotes de fond objectifs des dragages du port de Saint-Leu (ACOA Conseil, 2017)* **page : 190**

Figure 5.33 *: Surfaces et volumes à draguer dans le port de Saint-Leu, par rapport à sa bathymétrie de 2016 (ACOA Conseil, 2017)* **page : 191**

Figure 5.34 *: Dragage maritime du chenal du Port-Ouest et zone de clapage maritime en aval-dérive au nord des jetées portuaires (BRL Ingéniere, 2014)* **page : 191**

Figure 5.35 *: Localisation des zones de dragage et volumes de sédiments dragués au Port-Ouest de La Réunion (source : Cerema/DtecEMF/IEA)* **page : 193**

Figure 5.36 *: Activités humaines sur l'île de La Réunion* **page : 195**

Figure 5.37 *: Différents engins de pêche (© Ifremer – source : wwz.ifremer.fr)* **page : 196**

Figure 5.38 *: Structures en béton de type « Reef Ball » immergées en baie de La Possession (© Ifremer – source : www.ifrecor.com)* **page : 196**

Figure 5.39 *: Localisation des cultures marines et des récifs artificiels en 2012 sur l'île de La Réunion (Le Berre et al., 2012)* **page : 197**

Figure 5.40 *: Fréquentation de la plage de l'Ermitage (© A. Lemahieu, 11/04/2010)* **page : 198**

Figure 5.41 *: Fréquentation de la RNMR au cours de l'année 2010 (sur la base de 48 survols d'observation) par type d'activité de loisir (Lemahieu, 2015)* **page : 198**

Figure 5.42 *: Répartition générale de la fréquentation globale ramenée au kilomètre linéaire au cours de l'année 2010 (sur la base de 48 survols d'observation) à la RNMR (Lemahieu, 2015)* **page : 199**

Figure 5.43 *: Répartition de la côte au large (PE) des usages exprimée en % d'usagers observés en 2010 (sur la base de 48 survols d'observation) par type de zone morphologique à la RNMR (Lemahieu, 2015). DAR : Dépression d'Arrière-Récif ; PL : Platier ; PE : Pente Externe* **page : 199**

Figure 5.44 *: Variations saisonnières de la fréquentation en 2010 (sur la base de 48 survols d'observation) à la RNMR (Lemahieu, 2015)* **page : 200**

Figure 5.45 *: Typologie de la spécialisation par secteur de côte (sur la base de 48 survols d'observation réalisés en 2010) à la RNMR (Lemahieu, 2015)* **page : 200**

Figure 5.46 *: Évolution absolue de la répartition de la fréquentation globale à la RNMR entre 2010 et 2012 (Lemahieu, 2015)* **page : 201**

Figure 5.47 *: Mouillage interdit dans la zone de câbles SAFE (dans l'arrêté n°435/08 du 21/02/2008 par le Préfet de La Réunion Maccioni, 2008)* **page : 201**

Figure 5.48 *: Évolution de la surface bâtie par commune dans la bande littorale des 100 m entre 1950 et 2011 (Cazes-Duvat et al., 2016)* **page : 202**

Figure 5.49 *: Évolution de la tâche urbaine entre 1989 et 2011 sur les communes de Saint-Paul, Trois-Bassins et Saint-Leu (d'après Lagabrielle et al., 2007)* **page : 203**

Figure 5.50 *: Disparition de la plage de Saint-Pierre au-devant des habitations protégées par leur mur (© L. Grondin, 2014 – source : www.zinfos974.com)* **page : 203**

Figure 5.51 *: Carte du réseau routier et des infrastructures de transport à La Réunion (© habiter-la-reunion.re 2018)* **page : 204**

Figure 5.52 *: Schéma type des pressions en provenance du bassin versant à La Réunion (Lemahieu, 2015). Coupe entre La-Saline-les-Bains et le Piton Maïdo* **page : 205**

Figure 5.53 *: Répartition et vocation des surfaces agricoles sur l'île de La Réunion (dans Cambronne, 2018 – source : Base d'Occupation du Sol – Statistique Agricole Annuelle – DAAF La Réunion)* **page : 206**

Figure 5.54 *: Panel des huit projets EMR en cours à La Réunion en 2012 (dans Delencre, 2013)* **page : 207**

Figure 5.55 *: Opération de nettoyage de la plage de l'Ermitage (Saint-Gilles-les-Bains) en mai 2018 par le Collectif de Défense du DPM et l'association Action Challenge Verts Réunion (© L. Figon – source : www.la1ere.francetvinfo.fr)* **page : 207**

Figure 5.56 *: Trafic maritime dans la région sud-ouest de l'Océan Indien, statistiques mensuelles (dans Le Berre et al., 2012 – source : Livre Bleu Sud Océan Indien, 2011)* **page : 209**

Figure 5.57 *: Rejets en mer liés au débordement de la station d'épuration à Saint-Leu, suite à un épisode pluviométrique intense en février 2012 (source : blog.surf-prevention.com)* **page : 210**

Figure 5.58 *: Four à chaux Mutel de Kelonia, à Saint-Leu, dans les années 1950 (© A. Blay – source : www.vieoceane.free.fr)* **page : 211**

Figure 5.59 *: Carte des réglementations environnementales en vigueur à La Réunion* **page : 215**

Figure 5.60 *: Carte des ZNIEFF marines de type 1 et 2 à La Réunion en 2018 (source : DEAL Réunion – site internet : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr)* **page : 216**

Figure 5.61 *: Carte des ZNIEFF terrestres de type 1 et 2 à La Réunion en 2008 (source : DEAL Réunion – site internet : www.reunion.developpement-durable.gouv.fr)* **page : 216**

Figure 5.62 *: Sites d'intervention du Conservatoire du Littoral (© Conservatoire du Littoral, 2016 – source des données : Délégation OM, juillet 2016)* **page : 217**

Figure 5.63 *: Carte des zones réglementaires de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion (© GIP RNMR, 2012 – source : DEAL Réunion / IGN / Biotope)* **page : 218**

Figure 5.64 *: Petite Île, au large de la commune de Petite-Île (© B. Navez, 2015)* **page : 220**

Figure 6.1 *: Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'île de La Réunion, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018)* **page : 225**

Figure 6.2 *: Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'île de La Réunion, en proportion par gamme de taux d'évolution et par type de côte (Cerema, 2018)* **page : 225**

Figure 6.4 *: Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'unité 1, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018)* **page : 226**

Figure 6.3 *: Évolution passée du trait de côte de l'île de La Réunion (Cerema, 2018)* **page : 227**

Figure 6.6 *: Évolution des profils topo-bathymétriques nord, centre et sud de la baie de Saint-Paul entre 2009 et 2011 (De la Torre et al., 2012)* **page : 228**

Figure 6.5 *: Évolution passée du trait de côte de l'unité 1 du cap la Houssaye à la pointe Sainte-Marie entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018)* **page : 229**

Figure 6.7 *: Profils topo-bathymétriques (en-haut) et zoom sur la topographie (en-bas) du site du marché forain de Saint-Paul (Belon, Salomero, 2017)* **page : 230**

Figure 6.8 *: Profils topo-bathymétriques (en-haut) et zoom sur la topographie (en-bas) du site de la piscine (CREPS) de Saint-Paul (Belon, Salomero, 2017)* **page : 230**

Figure 6.9 *: Évolution du profil topographique de la pointe des Galets (Le Port) entre 2006 et 2011 (De la Torre et al., 2012)* **page : 231**

Figure 6.10 *: Évolution du profil bathymétrique de la pointe des Galets (Le Port) entre 2006 et 2011 (De la Torre et al., 2012)* **page : 231**

Figure 6.11 *: Évolution du trait de côte (limite jet de rive) entre 1966 et 2013 (Belon, Salomero, 2017)* **page : 231**

Figure 6.12 *: Localisation et photographies (27/07/2016) depuis le front de mer des trois stocks « tampons » de la pointe des Galets (Belon, Salomero, 2017)* **page : 232**

Figure 6.13 *: Évolution du profil topo-bathymétrique du site du boulevard Lancastel (Saint-Denis) entre 2006 et 2011, zoom sur la partie émergée (De la Torre et al., 2012)* **page : 233**

Figure 6.14 *: Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'unité 2, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018)* **page : 234**

Figure 6.15 *: Évolution du haut de talus du littoral de Sainte-Suzanne, au droit du Temple, entre 1966 et 2016 (Belon, Salomero, 2017)* **page : 235**

Figure 6.17 *: Évolution du profil bathymétrique au pied des falaises de Sainte-Suzanne, au droit du Temple, entre 2006 et 2011 (De la Torre et al., 2012)* **page : 236**

Figure 6.16 *: A) Évolution passée du trait de côte de l'unité 2 de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018)* **page : 237**

Figure 6.16 *: B) Évolution passée du trait de côte de l'unité 2 de la pointe Sainte-Marie à la pointe de Bonne Espérance entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018)* **page : 238**

Figure 6.18 *: Profils topographiques du site de Sainte-Suzanne (centre-ville) entre 2006 et 2016 (Belon, Salomero, 2017)* **page : 239**

Figure 6.19 *: Profils topographiques sur le site de Saint-André (Champ-Borne) entre 2013 et 2016 (Belon, Salomero, 2017)* **page : 240**

Figure 6.20 *: Évolution du profil bathymétrique sud de la jetée du port du Butor (Saint-Benoît) entre 2006 et 2011 (De la Torre et al., 2012)* **page : 240**

Figure 6.21 *: Évolution du profil bathymétrique nord de la jetée du port du Butor (Saint-Benoît) entre 2006 et 2011 (De la Torre et al., 2012)* **page : 241**

Figure 6.22 *: Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'unité 3, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018)* **page : 241**

Figure 6.24 : Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'unité 4, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018) **page : 243**

Figure 6.23 : A) Évolution passée du trait de côte de l'unité 3 de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018) **page : 244**

Figure 6.23 : B) Évolution passée du trait de côte de l'unité 3 de la pointe de Bonne Espérance au cap Auguste entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018) **page : 245**

Figure 6.25 : Localisation du levé bathymétrique et des traits de côte de la pointe du Diable (Saint-Pierre) entre 1966 et 2008 (De la Torre et al., 2012) **page : 246**

Figure 6.26 : Évolution passée du trait de côte de l'unité 4 du cap Auguste à la pointe de l'Étang-Salé entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018) **page : 247**

Figure 6.27 : Profils topographiques au sud de la plage de Grande Anse entre 2006 et 2016 (Belon, Salomero, 2017) **page : 248**

Figure 6.28 : Profils topographiques au nord de la plage de Grande Anse entre 2006 et 2016 (Belon, Salomero, 2017) **page : 248**

Figure 6.29 : Évolution du profil topo-bathymétrique de la plage de Saint-Pierre entre 1998 et 2011 (De la Torre et al., 2012) **page : 249**

Figure 6.30 : Profils bathymétriques (localisation en Figure 6.25) du site de la pointe du Diable (Saint-Pierre) entre 2006 et 2016 (Belon, Salomero, 2017) **page : 250**

Figure 6.31 : Évolution du haut de talus du littoral de Bel-Air entre mai 2016 et juillet 2017 (orthopho ©IGN 2012, Belon, Salomero, 2017) **page : 250**

Figure 6.32 : Statistiques d'évolution passée du trait de côte sur l'unité 5, en proportion par gamme de taux d'évolution (Cerema, 2018) **page : 251**

Figure 6.33 : Position des traits de côte du bassin Pirogue (l'Etang-Salé-les-Bains) entre 1966 et 2008 (De la Torre et al., 2012) **page : 252**

Figure 6.34 : Évolution passée du trait de côte de l'unité 5 de la pointe de l'Étang-Salé au cap la Houssaye entre 1950 et 2008 (Cerema, 2018) **page : 253**

Figure 6.35 : Profils topographiques du site du bassin Pirogue (l'Etang-Salé-les-Bains) entre 2006 et 2016 (Belon, Salomero, 2017) **page : 254**

Figure 6.36 : Évolution du profil topo-bathymétrique de la plage de l'Ermitage entre 1999 et 2011 (De la Torre et al., 2012) **page : 255**

Figure 6.37 : Profils topographiques du site de la plage en face de la passe de l'Ermitage (Saint-Paul) entre 1999 et 2016 (Belon, Salomero, 2017) **page : 255**

Figure 6.38 : Fréquence des cyclones tropicaux par décennie à La Réunion entre 1806 et 2014 (Cazes-Duvat, Magnan, et al., 2016) **page : 257**

Figure 6.39 : Trajectoires des cyclones tropicaux ayant évolué près de La Réunion entre 1948 et 2014 (Cazes-Duvat, Magnan, et al., 2016) **page : 258**

Figure 6.40 : Volume sédimentologique cumulé sur la plage nord de Boucan-Canot entre 2012 et 2014 (d'après Mahabot, 2016) **page : 259**

Figure 6.41 : Volume sédimentologique cumulé sur la plage des Aigrettes entre 2012 et 2014 (d'après Mahabot, 2016) **page : 260**

Figure 6.42 : Impacts volumiques des houles australes d'août 2013 et de juin 2014 (Mahabot, 2016) **page : 260**

Figure 6.43 : Impacts volumiques des houles cycloniques associées aux systèmes Dumile (2013), Felleng (2013) et Bejisa (2014) (Mahabot et al., 2016) **page : 261**

Figure 6.44 : Carte de localisation des 6 cellules hydrosédimentaires (C) et des 26 profils de plage (P) étudiés sur la côte ouest de La Réunion (Cazes-Duvat, Magnan, et al., 2016) **page : 262**

Figure 6.45 : Évolution schématique du profil côtier due à l'élévation du niveau de la mer, selon la règle de Bruun (1962) (d'après Rosati et al., 2013). R=S(W/B+h) où R est le recul du trait de côte, S l'élévation du niveau de la mer, W la largeur du profil de la plage, B l'altitude de la berme et h la profondeur de fermeture (hauteur entre l'isobathe et le pied de dune) **page : 265**

Figure 6.46 : A- Schéma de l'évolution d'une barrière lagunaire transgressive dans un contexte d'élévation du niveau marin. B- Coupe de la barrière illustrant le retrait du cordon littoral vers l'intérieur de la lagune et l'organisation stratigraphique des dépôts sédimentaires sur la partie supérieure de la barrière (d'après Roy et al., 1994). RSL : niveau de la mer (Relative Sea Level) **page : 266**

Figure 7.1 : Vue aérienne sur l'île de La Réunion (source : www.tribloo.com) **page : 270**

Figure 7.2 : Carte résumant l'identité des unités morphosédimentaires **page : 275**

8.11 Glossaire

A

Accrétion : Progression de la ligne de rivage par accumulation de sédiments (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Affouillement : Érosion d'un rivage, due aux courants et aux vagues, ou dégradation des ouvrages côtiers qui en résulte (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Aquifère : Formation géologique ou roche suffisamment perméable et poreuse pour permettre l'écoulement et le stockage des eaux.

Arrière-côte : Partie située en retrait du rivage, côté terre (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Avant-côte : Partie du domaine subtidal proche du rivage, concernée par les échanges avec la côte (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

B

Barachois : Sur les côtes du golfe du Saint-Laurent (Canada), petite baie peu profonde protégée par une barre sablonneuse coupée par un chenal.

Beach-ridges : Dépôts côtiers de sables et/ou graviers linéaires, multiples et semi-parallèles entre eux, essentiellement formés par des processus liés aux vagues ou au vent, aux tempêtes, et aux marées hautes (Taylor et Stone, 1996 ; Sandweiss et al., 1998 ; Otvos, 2000).

Bedrock : En géologie, roche constituant le fondement d'un sol (source : www.universalis.fr).

Bilan sédimentaire : Bilan des apports et des pertes de sédiment sur une zone (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Bioclaste : Débris d'origine biologique.

Bombement anticlinal : Plissement de couches géologiques sur plusieurs kilomètres ou dizaines de kilomètres formant un dôme. L'érosion locale de la structure peut y façonner une combe anticlinale et ouvrir une fenêtre (ou boutonnière) faisant affleurer les couches de terrain sous-jacentes.

Bryoflore : Ensemble des espèces de bryophytes (embryophytes telles que mousses et sphaignes) dans un lieu donné, une zone précise (source : www.aquaportail.com).

Buttereau : Dune de sable de l'isthme qui relie Miquelon et Langlade. Dérivé de butte qui est attesté en Acadie, à l'exclusion du Québec (ALEC 673 « côteau, monticule ») où l'on emploie un autre dérivé : button de même sens. Les très rares attestations du mot en France n'ont pas cette acception (FEW 15/2,34 BUTR). Il est par exemple employé dans la région du Loudun, en Poitou, comme nom d'un petit tas de fumier (ALO 534). La permanence du mot dans la patrie originelle des Acadiens confirme le caractère acadien de buttereau en Amérique du Nord (Brasseur, Chauveau, 1990).

C

Caoudeyre : Cuvette creusée par le vent au sommet de certaines dunes (Foucault, Raoult, 2005).

Charge sédimentaire : Quantité de sédiments contenue dans un volume d'eau (d'après Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Charriage : Processus de déplacement des sédiments les plus massifs, sous l'effet du vent ou de l'eau, qui restent en contact avec le sol et se déplacent de manière relativement lente et discontinue.

Clapage : Opération qui consiste à déverser en mer des substances (ici des produits de dragage), à l'aide d'un navire dont la cale peut s'ouvrir par le fond (source : www.actu-environnement.com).

Climatologie : Discipline scientifique d'étude du climat et de l'état moyen de l'atmosphère sur de longues périodes dans le temps (répartitions géographiques et saisonnières des températures, des vents, des précipitations, etc.). La climatologie peut aussi s'appliquer au domaine océanique (paramètres de température de l'eau, de salinité, de pH, etc.).

Convolution : Procédé qui consiste à calculer la probabilité d'atteindre un niveau d'eau donné, en sommant les probabilités d'occurrence de l'ensemble des couples surcote et marée permettant d'atteindre ce niveau.

Cordon dunaire : Forme littorale constituée d'une accumulation de sable, parallèle à la côte (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Corrélogramme (à 2 dimensions) : Représentation graphique de la distribution d'une variable X en fonction de la distribution d'une variable Y.

Cotidale (ligne) : Ligne qui relie les points où la marée a lieu à la même heure (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Cycle orogénique : Succession d'événements qui voient se former puis se détruire une chaîne de montagnes (Foucault, Raoult, 2005).

Cyclonique / Anticyclonique (sens) : Le sens cyclonique (resp. anticylonique) correspond au sens antihoraire (resp. horaire) dans l'hémisphère nord.

D

Déferlement (des vagues) : Déformation rapide du profil de l'onde, associé à la production de turbulence et de perte d'énergie. Le déferlement des vagues aboutit aussi à un transfert de quantité de mouvement, principale cause de l'accélération des courants de surface, ainsi que de la dérive littorale.

Déflation éolienne : Érosion provoquée par le vent (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Dérive littorale : Flux de sédiments sensiblement parallèle au rivage, en proche côtier, résultant de différentes causes : houle, courants, vent (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Détritique (matériau) : Matériau ou sédiment composé des débris minéraux d'origine terrestre (essentiellement) ou marine (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Diachronique (analyse) : Analyse qui envisage les changements dans le temps entre deux dates (d'après Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Diffraction : Processus subi par les ondes au voisinage d'un obstacle, se traduisant par une redistribution locale de l'énergie, qui se manifeste pour la houle par un changement d'amplitude, de direction et de célérité (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Digue côtière : Ouvrage de protection du littoral longitudinal, sur le trait de côte ou en rétro-littoral, faisant obstacle à l'écoulement et permettant ainsi de lutter contre la submersion marine.

Dragage : Action de racler à l'aide d'une drague le fond de mer, d'un fleuve, d'un port ou d'y prélever des objets (mines par exemple) ou des roches meubles au-dessous du niveau d'eau. La drague est un engin mobile de terrassement fait d'un filet armé ou de métal destiné à enlever, du fond d'un cours d'eau ou du fond de la mer, du sable du gravier de la vase ou des éléments vivants.

Dune embryonnaire / Dune blanche / Dune grise : La dune embryonnaire est la zone supratidale particulièrement mobilisable par le vent et uniquement affectée par les embruns. La dune mobile ou vive, ou encore dune blanche, correspond à un habitat où le sable, encore très mobile, est davantage retenu par une plus grande diversité de plantes psammophiles. Les dunes grises et les lettes grises (Gironde) correspondent à des habitats épargnés par les embruns et où le sable est fixé, au moins temporairement (sauf intervention humaine).

E

Éboulisation : Détachement et accumulation de blocs et cailloux de dimensions variables au pied d'un escarpement rocheux ou d'une corniche, dont l'agencement peut varier (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Écroulement : Mouvement rapide entraînant, au pied d'un versant de pente forte, une masse de matériau issue d'une fragmentation (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Endémique : Se dit d'une espèce spécifique à un lieu précis (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Épi : Ouvrage de protection du littoral positionné sur la plage ou l'estran transversalement au trait de côte, captant une partie du transport sédimentaire de la dérive littorale.

Érosion différentielle : Mise en relief de zones résistantes au détriment des zones tendres du fait de la différence de résistance des matériaux.

Estran : Zone comprise entre les plus hautes et les plus basses mers connues ou zone de balancement des marées (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Étale : Se dit de la mer (ou d'un cours d'eau) lorsque son niveau est stabilisé ou stationnaire.

État de mer : Agitation locale de la mer due à la superposition de la mer de vent et de la houle (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Eustatisme : Variation du niveau moyen des mers de l'ordre de quelques millimètres par an, liée à des phénomènes climatiques (fonte des glaces, glaciations), sédimentologiques ou encore de subsidence (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

F

Falaise vive / Falaise morte : Une falaise vive est régulièrement en contact avec la mer, au contraire d'une falaise morte dont l'évolution n'est plus liée à l'action de la mer.

Fetch (longueur de) : Distance, en mer ou sur un plan d'eau, sur laquelle les vagues sont formées et où souffle un vent donné sans rencontrer d'obstacle (une côte, un ouvrage) depuis l'endroit où il est créé ou depuis une côte s'il vient de terre (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Flèche : Forme constituée par l'accumulation de matériaux meubles (sables ou galets) entre un point d'ancrage à une extrémité et une pointe libre à l'autre extrémité s'avançant en mer (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Flot (resp. Jusant) : Période pendant laquelle la marée est montante (resp. descendante).

Front froid / Front chaud : Limite entre une masse d'air froid devancée par une masse d'air chaud qui apporte soit des orages froids (grêles), soit des averses dans une ambiance fraîche ; le front chaud désigne, au sein d'une perturbation, la limite entre une masse d'air froid et une masse d'air chaud qu'elle devance et apporte des pluies.

G

Ganivelle : Brise-vent constitué de lattes fendues de bois (le plus souvent de châtaignier) verticales liées par des fils d'acier galvanisés, constituant un obstacle au transport éolien et permettant ainsi la reconstitution et la protection des dunes littorales (d'après Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Géomorphologie : Discipline scientifique dont l'objet est de nommer et de mesurer les formes du relief, mais aussi d'expliquer leur genèse et de prévoir leur évolution.

Glaciation : Période géologique durant laquelle une région a été recouverte par des glaciers. Les glaciations sont connues depuis le précambrien ; dans l'Europe alpine, elles ont été au nombre de quatre pendant le quaternaire : günz, mindel, riss et würm.

Glissement : Mouvement entraînant une masse de matériaux meubles vers le bas d'un versant, avec une vitesse faible (de l'ordre de quelques mètres par jour) (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Granoclassement : Classement réalisé par ségrégation naturelle suivant la dimension des grains (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Granulométrie : Technique d'analyse des sédiments meubles (argile, limons, sable, galets, etc.) consistant à classer les grains selon leur dimension (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Gulf Stream : Courant marin océanique de bord ouest de la gyre subtropicale. Ce courant intense transporte les eaux chaudes depuis le golfe du Mexique jusqu'à l'océan Atlantique central, en longeant les côtes du sud des USA. Le Gulf Stream influence le climat de la côte est de l'Amérique du Nord, de la Floride à Terre-Neuve, et de la côte ouest de l'Europe (source : www.aquaportail.com).

H

Hauteur significative : Quantité statistique utilisée pour caractériser l'état de la mer.

Houle : Oscillations régulières de la surface de la mer, observées en un point éloigné du champ de vent qui les a engendrées, dont la période se situe autour de dix secondes (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Houlographe : Instrument de mesure des vagues, généralement par le mouvement de la surface de la mer suivi par une bouée.

Hydrodynamisme : Discipline scientifique relative à l'étude des phénomènes physiques agissant sur l'écoulement et la dynamique d'une masse d'eau.

Hydrogramme : Représentation graphique de la variation temporelle du débit d'écoulement d'eau, mesurée au sol, en intégrant à la fois la capacité locale d'évacuation (pente, rugosité du relief) et la capacité locale d'absorption du sol.

Hydrographique (réseau) : Ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels de surface convergeant vers un même exutoire, fleuve, lac ou mer. Un bassin hydrographique est délimité par une ligne de partage des eaux.

Hydrologique (région) : Bassin versant tenant compte de l'ensemble des échanges hydrauliques entre un réseau hydrographique et son sous-sol (écoulements hydrogéologiques), incluant notamment les captages et détournements de l'impluvium lié à des conditions géologiques particulières (karst, pendage des couches…).

Hyétogramme : Représentation graphique de l'intensité des pluies en fonction du temps. Cet outil permet de prévoir l'intensité et la durée d'une crue sur un bassin versant. Couplé à un hydrogramme, il permet également l'observation du temps de réponse d'un bassin versant.

I

Induration : Durcissement d'un tissu biologique, d'un matériel organique ou inorganique, s'accompagnant parfois d'une transformation structurelle (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Intertidal : Qualifie la zone de balancement des marées comprise entre les niveaux des pleines et des basses mers (synonyme : estran) (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Isobathe : Courbe d'égale profondeur ou sa représentation graphique sur une carte marine (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Isomarnage (ligne d') : Courbe d'égale amplitude des marées (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Isostasie : Ajustement vertical de la position de la croûte terrestre en réponse aux variations des charges de surface (théorie d'équilibre de la croûte terrestre par application du principe d'Archimède) (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

J

Jet de rive : Masse d'eau projetée sur un rivage vers le haut de l'estran par l'action de déferlement des vagues (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

L

Laisse de mer : Dépôt d'algues et de matériaux organiques divers abandonnés par la mer à marée haute ou après une tempête. La laisse de pleine (resp. basse) mer désigne la limite haute (resp. basse) atteinte lors des plus grandes marées astronomiques (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Lithoclaste : Fragments issus de la désagrégation d'une masse rocheuse, notamment par les processus de météorisation.

Loess : Matériau meuble et poreux, à granulométrie fine, de nature argilo-calcaro-sableuse, d'origine éolienne, déposé par le vent dans les environnements périglaciaires, lors des dernières glaciations.

M

Macrotidal / Mésotidal : Qualifie un milieu subissant des amplitudes de marée de 2 à 4 m pour mésotidal et de plus de 4 à 5 m pour macrotidal.

Marégraphe : Instrument de mesure du niveau marin.

Marge continentale (active/passive) : Région immergée de la bordure d'un continent faisant le raccord avec les fonds océaniques. Pour une marge continentale passive, le passage de la croûte continentale avec la croûte océanique se fait au sein de la même plaque lithosphérique tandis que pour une marge continentale active la croûte océanique s'enfonce par subduction sous la croûte continentale (d'après Foucault, Raoult, 2005).

Marnage : Amplitude de marée correspondant à la différence de hauteur d'eau entre le niveau de la pleine mer et celui de la basse mer qui la suit ou la précède immédiatement.

Mer de vent : Système de vagues observé en un point situé dans le champ de vent qui les a générées. La mer du vent présente un aspect chaotique (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Moraine : Matériel transporté ou déposé par un glacier.

Morne (n. m.) : Toute hauteur de forme arrondie.

Morphodynamique : Discipline consacrée à l'étude des formes (du littoral) et à leur évolution sous l'action des facteurs hydrodynamiques et éoliens (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Morphogenèse : Ensemble des processus et phénomènes naturels qui déterminent les formes d'un relief (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

O

Ombrothermique : Se dit d'une représentation graphique combinant les données mensuelles des températures moyennes et des précipitations d'une station donnée. La température et la pluie sont portées en ordonnée [1 °C = 2 mm de pluie]. L'intersection des deux courbes détermine une surface, caractéristique du climat de la station étudiée.

Onde de tempête : Propagation de la surcote créée par le passage d'une dépression, due en particulier à la diminution de pression atmosphérique au cœur de la tempête et aux vents (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Orogénique (cycle) : Mouvement de la croûte terrestre qui donne naissance aux montagnes (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Oyat : Poacée vivace colonisant et fixant le sable des dunes (Ammophila arenaria), également appelée élyme des sables, gourbet ou roseau des sables (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

P

Paléosol : Sol ancien formé dans des conditions de climat et de végétation différentes de l'actuel et enterrés sous les dépôts épais plus récents (sols fossiles), ou ayant évolué au cours du quaternaire et du tertiaire (sols polycycliques).

Paléovallée : Vallée fossile (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Perré : Ouvrage allongé et parallèle au rivage, constitué d'un revêtement recouvrant un talus autostable, destiné à assurer un maintien du trait de côte et éventuellement lutter contre la submersion marine.

Petit âge glaciaire : Période froide ayant duré du début du XIVe à la fin du XIXe siècle, durant laquelle il a été observé une avancée des glaciers (d'après Foucault, Raoult, 2005).

Petite pêche : Désigne la pêche réalisée par les navires rentrant à quai tous les jours (durée de marée inférieure à 24 heures).

Petits-fonds : Fonds marins de très faible profondeur (entre 0 et - 5 m), situés en très proche côtier.

Physiographie : Description géomorphologique des aspects naturels d'une région (relief, climat) et des phénomènes qui s'y rapportent.

Platier rocheux : Haut-fond ou estran rocheux affleurant à marée basse (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Pleine mer (resp. Basse mer) : Niveau le plus élevé (resp. bas) atteint par le flot (resp. jusant) au cours d'un cycle de marée (synonyme : marée haute/basse).

Point amphidromique : Point autour duquel se propagent les crêtes des ondes de marée et où l'amplitude est nulle.

Poldérisation : Action d'endiguer et d'assécher des marais littoraux ou des zones basses gagnées sur la mer afin

d'étendre les terres cultivables (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Pourrière : Langue sableuse qui progresse et s'accumule à proximité du talus d'envahissement, dans l'axe des vents dominants vers l'intérieur des dunes.

Pré salé : Pâturage situé en partie supérieure d'un marais côtier, uniquement submergé lors des grandes marées (synonyme : schorre) (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Prisme sédimentaire : Structure géologique en forme de prisme, d'origine sédimentaire, qui se trouve dans une fosse océanique, au niveau d'une zone de subduction.

Profondeur de fermeture : Profondeur limite d'action de la houle au-delà de laquelle la mobilisation des sédiments est considérée comme nulle (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Proglaciaire (lac) : Étendue d'eau résultant de la fonte d'un glacier, en avant du glacier, généralement à la suite du recul de ce dernier.

Progradation : Avancée vers le large d'une construction sédimentaire (marge continentale, estran, front de delta, etc.) due à un budget sédimentaire positif (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Q

Quantile : En statistiques, désigne un paramètre qui permet de partitionner une distribution en classes d'effectifs égaux. Le quantile X % correspond à la valeur maximale observée X % du temps et est noté QX % (d'après Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

R

Réflexion : Renvoi par une surface d'une partie de la houle incidente vers le milieu d'incidence, dans une direction à peu près symétrique par rapport à la normale à cette surface (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Réfraction : Déformation de la houle (hauteur, période et direction) résultant de la variation de la profondeur (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Régression / Transgression (marine) : Abaissement (resp. élévation) du niveau moyen de la mer à l'échelle des temps géologiques (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Replat de marée : Bande littorale plate sur l'estran, très proche du niveau de la mer, qui est exondée à chaque marée basse.

Résilience : Capacité d'un milieu à résister à des agressions ou à retrouver son intégrité (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Ride / Mégaride : Petite ondulation à forme sédimentaire marine constituée de sables ou de graviers, créée sous l'effet d'un courant ; la longueur d'onde des mégarides, supérieure à 0,60 m, peut atteindre plusieurs dizaines de mètres (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Rip-currents : Courants sagittaux perpendiculaires au rivage qui permettent d'évacuer l'eau accumulée entre le rivage et la zone de déferlement. Courants d'arrachement vers le large.

Ripisylve : Formation végétale qui se développe sur les bords des cours d'eau ou des plans d'eau situés dans la zone frontière entre l'eau et la terre (écotones). Elle est constituée de peuplements particuliers en raison de la présence d'eau sur des périodes plus ou moins longues : saules, aulnes, frênes en bordure, érables et ormes en hauteur, chênes pédonculés et charmes sur le haut des berges (définition tirée du site internet : www.actu-environnement.com).

Rose (de vent, de houle) : Représentation des fréquences des directions de provenance du vent ou de la houle, en un site de mesure donné et pendant une période d'observation déterminée.

S

Saltation : Processus de transport sédimentaire par l'eau ou le vent, entraînant les particules à se déplacer par sauts (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Schorre : Partie supérieure d'un marais maritime, submergé exclusivement par pleine mer de vive-eau et constitué de vasières colonisées par une végétation exigeant une fore concentration en sel (synonyme : pré salé) (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Sédimentation : Processus selon lequel des particules se déposent sous forme de sédiments et éventuellement se consolident pour former une roche sédimentaire (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Sédimentologie : Discipline scientifique d'étude de la formation et de l'évolution des sédiments.

Seiche : Oscillation libre ayant le caractère d'une onde stationnaire de la surface d'un plan d'eau fermé ou semi-fermé (lac, baie, bassin), de période supérieure à la minute (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Senne de fond : Engin traînant composé d'une grande poche en forme d'entonnoir avec deux longs câbles attachés à chaque extrémité de l'ouverture horizontale, pour assurer le rabattage du poisson vers l'entrée du filet.

Siffle-vent : Encoche ou brèche dans une dune à l'origine d'accumulations sableuses en retrait du trait de côte (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable

et de la Mer, 2010).

Slikke : Partie inférieure d'un marais maritime, inondée à marée haute et constituée de vasières nues découvertes à marée basse (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Sous-cavage : Entaille réalisée au pied d'une falaise par le déferlement des vagues sous un surplomb (synonyme : encoche de sapement) (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Subaérien : Qui est positionné directement au contact de la couche inférieure de l'atmosphère ou se dit d'un dépôt constitué à l'air libre (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Subsidence : Abaissement du niveau de la terre par mouvement tectonique (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Subtidal / Supratidal : Qualifie les fonds marins côtiers s'étendant en dessous (resp. au-dessus) du niveau des plus basses (resp. hautes) mers de vive-eau (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010).

Surcote marine (resp. décote marine) : Élévation exceptionnelle (resp. abaissement exceptionnel) du niveau marin qui dure quelques heures et qui s'explique par une baisse (resp. hausse) de la pression atmosphérique et des vents forts soufflant vers la terre (resp. vers la mer).

Surcreusement : Creusement secondaire provoqué dans une vallée glaciaire par l'action de l'eau d'une rivière qui a pris la place du glacier. Les surcreusements donnent souvent naissance, lors du réaménagement fluviatile, à des lacs, dont le colmatage forme des plaines alluviales.

Suspension : Processus de transport sédimentaire par l'eau ou par le vent, pour les particules les plus fines. Les particules transportées en suspension sont appelées des « matières en suspension ».

T

Thalweg : Ligne joignant les points les plus bas de la vallée.

Thermocline : Zone sous-marine de transition thermique rapide entre les eaux superficielles (chaudes) et les eaux profondes (froides).

Till : En géologie, dépôt laissé par un glacier non solidifié (source : www.universalis.fr).

Tjäle : Partie du sol et du sous-sol gelée en hiver.

Transgression / Régression : Avancée (resp. retrait) de la mer au-delà (resp. en deçà) de ses limites antérieures avec submersion (resp. émersion) de zones plus ou moins vastes des parties basses des continents. Elle est due soit à la remontée (resp. baisse) du niveau de la mer (eustatisme), soit à un enfoncement (resp. soulèvement) général du continent (épirogenèse), ces deux phénomènes pouvant se combiner. La régression peut être également due à un apport important de sédiments, ce phénomène pouvant se combiner aux deux précédents (d'après Foucault, Raoult, 2005).

U

Upwelling : Remontée d'eau froide.

V

Vallée anastomosée : Lit de rivière large en pente faible présentant des chenaux sinueux, dits « en tresse ».

Sources bibliographiques du glossaire :

- **voir Chapitre 8 Bibliographie.**
- **LAROUSSE, 1975. Dictionnaire Lexis. Paris.**

8.12 Abréviations et Acronymes

AESN : Agence de l'Eau Seine Normandie

APP : Autorisation de Prospection Préalable

ARDA : Association de Recherche et de Développement pour l'Aquaculture

ASPEN : Association pour les Espaces Naturels et les Parcs Nationaux

AOT : Autorisation d'Occupation Temporaire

BATHYELLI : Projet « Bathymétrie rapportée à l'ellipsoïde »

BCEOM : Bureau Central d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer (aujourd'hui Egis Bceom International depuis 2008)

B.P. : Before Present (« avant aujourd'hui »)

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

CCI : Chambre de Commerce et d'Industrie

CDB : Convention sur la Diversité Biologique

CEREMA : Centre d'Études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

CETE : Centre d'Études Techniques de l'Équipement (aujourd'hui : Cerema)

CETMEF : Centre d'Études Techniques Maritimes Et Fluviales (aujourd'hui : Cerema)

CGEDD : Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable

CGPPP : Code Général de la Propriété des Personnes Publiques

CICTA : (ou ICCTA) Commission Internationale pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique

CNPN : Conseil National de la Protection de la Nature

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CPIE : Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement

CPM : Coarse Particulate Matter fraction (fraction de matière particulaire grossière)

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DCI : Directive-Cadre Inondation

DCSMM : Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin

DDE : Direction Départementale de l'Équipement

DDTM : Direction Départementale des Territoires de la Mer

DEAL : Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DGPS : Differential Global Positioning System

DPM(n) : Domaine Public Maritime (naturel)

DSBM : Document Stratégique de Bassin Maritime

DTAM : Direction des Territoires, de l'Alimentation et de la Mer

DtecEMF : Direction Technique du Cerema « Eau, Mer et Fleuves »

EDF : Électricité De France

EMR : Énergies Marines Renouvelables

ENS : Espaces Naturels Sensibles

EPCI : Établissement Public de Coopération Intercommunale

EPRI : Évaluation Préliminaire des Risques d'Inondation

EUNIS : European nature information system (système d'information européen sur la nature)

FAN : Ferme Aquacole du Nord

FEDER : Fonds Européen de Développement Régional

FFESSM : Fédération Française d'Études et de Sports Sous-Marins

GES : Gaz à Effet de Serre

GIE : Groupement d'intérêt économique

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

GIP : Groupement d'Intérêt Public

GIS : Groupement d'Intérêt Scientifique

GNSS : Global Navigation Satellite System

GPD : Generalized Pareto Distribution

Hs : Hauteur significative (d'une vague)

ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

IFP : Institut Français du Pétrole

Ifremer : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

INPN : Inventaire National du Patrimoine Naturel

LCHF : Laboratoire Central d'Hydraulique de France (établissement intégré au bureau d'études Sogreah puis à Artelia)

LiDAR : Light detection and ranging

LNH : Laboratoire National d'Hydraulique (EDF)

MARC : Modélisation et Analyse pour la Recherche Côtière

mCM : mètre Cote Marine (référentiel hydrographique)

MES : Matières En Suspension

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MOC : Meridional Overturning Circulation (AMOC : Atlantic Meridional Overturning Circulation)

MTES : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire

NAO : North Atlantic Oscillation

NASA : National Aeronautics and Space Administration

NGF : Nivellement Général de France

NHC : National Hurricane Center

NM : Niveau Moyen de la mer

ODEADOM : Office de Développement de l'Économie Agricole d'Outre-Mer

ONERC : Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

ONF : Office National des Forêts

OPANO : Organisation des Pêches de l'Atlantique du Nord-Ouest

PAMM : Plan d'Action pour le Milieu Marin

PAPI : Programme d'Actions de Prévention contre les Inondations

PBMA/PHMA : Plus Basses (resp. plus Hautes) Mers Astronomiques

PER : Permis Exclusif de Recherche

PGRI : Plan de Gestion des Risques d'Inondation

PLU : Plan Local d'Urbanisme

PMBF : Point Minimum de Bon Fonctionnement

PMME / BMME : Pleine Mer (resp. Basse Mer) de Morte-Eau

PMVE / BMVE : Pleine Mer (resp. Basse Mer) de Vive-Eau

PNM : Parc Naturel Marin

PNR : Parc Naturel Régional

PPE : Programmation Pluriannuelle de l'Énergie

PPI : Programmation Pluriannuelle des Investissements

PPR(l) : Plan de Prévention des Risques (littoraux)

PSR : Plan Submersions Rapides

QCN-VCN : Débit minimal sur N jours consécutifs

QCX-VCX : Débit maximal (étude statistique)

QJM : Débit journalier et mensuel sur un an

QMNA : Débit mensuel minimal annuel

QTFIX : Débit à pas de temps fixe

QTVAR : Débit à pas de temps variable

RAM : Références Altimétriques Maritimes

REFMAR : Réseaux de référence des observations de marées

REPOM : Réseau national de surveillance de la qualité des eaux et des sédiments des Ports Maritimes

RIC : Règlement de surveillance, prévision et transmission de l'Information sur les Crues

RONIM : Réseau d'observation du niveau de la mer

SALAMANDRE : Stations pluviométriques automatiques mises en œuvre pour la direction de l'eau

SARL : Société À Responsabilité Limitée

SCGAMP : Stratégie nationale pour la Création et la Gestion des Aires Marines Protégées

SCHAPI : Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations

SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale

SDAGE : Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SHOM : Service Hydrographique Français – anciennement Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

SIC : Site d'Importance Communautaire

SLGRI : Stratégie Locale de Gestion des Risques d'Inondation

SMH : Surface Moyenne Hydrographique

SMO : Surface Moyenne Océanique

SNPM : Société Nouvelle des Pêches De Miquelon

Sogreah : Société Grenobloise d'Études et d'Applications Hydrauliques

SONEL : Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales

SPC : Service de Prévision des Crues

SPM : Saint-Pierre-et-Miquelon

STCPMVN : Service Technique Central des Ports Maritimes et des Voies Navigables

TAC : Totaux Admissibles de Captures

TRI : Territoire à Risque d'Inondation important

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture)

UNPG : Union Nationale des Producteurs en Granulats

UTC : Universal Time Coordonated (temps universel coordonné)

ZEE : Zone Économique Exclusive

ZH : Zéro hydrographique

ZICO : Zone d'Importance Communautaire pour les Oiseaux

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique

ZPS : Zone de Protection Spéciale

© 2020 - Cerema

Le Cerema, l'expertise publique pour le développement et la cohésion des territoires.

Le Cerema est un établissement public qui apporte un appui scientifique et technique renforcé dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques de l'aménagement et du développement durables. Centre de ressources et d'expertise, il a pour vocation de produire et de diffuser des connaissances et savoirs scientifiques et techniques ainsi que des solutions innovantes au cœur des projets territoriaux pour améliorer le cadre de vie des citoyens. Alliant à la fois expertise et transversalité, il met à disposition des méthodologies, outils et retours d'expérience auprès de tous les acteurs des territoires : collectivités territoriales, services de l'État et partenaires scientifiques, associations et particuliers, bureaux d'études et entreprises.

Coordination-Maquettage : Service éditions Cerema Eau, mer et fleuves
Dépôt légal : novembre 2020
ISBN : 978-2-37180-345-9
ISSN : 2417-9701
Téléchargement gratuit
Illustration couverture ou crédits photos : Beachrocks découverts par l'érosion de la plage du Banc (L'Etang-Salé-les-Bains) © Cerema S. Lendre, 2019

Editions du Cerema
Cité des mobilités,
25 avenue François Mitterrand
CS 92803
69674 Bron Cedex

Cerema Eau, mer et fleuves
Service Édition
134 rue de Beauvais
CS 60039
60280 Margny-lès-Compiègne

www.cerema.fr

La collection « Connaissances » du Cerema

Cette collection présente l'état des connaissances à un moment donné et délivre de l'information sur un sujet, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Elle offre une mise à jour des savoirs et pratiques professionnelles incluant de nouvelles approches techniques ou méthodologiques. Elle s'adresse à des professionnels souhaitant maintenir et approfondir leurs connaissances sur des domaines techniques en évolution constante. Les éléments présentés peuvent être considérés comme des préconisations, sans avoir le statut de références validées.

Dynamiques et évolution du littoral

Fascicule 17 : synthèse des connaissances de La Réunion

La collection « Dynamiques et évolution du littoral » rassemble et synthétise les connaissances disponibles afin de faire ressortir, à partir de leur examen, les points essentiels explicatifs de l'évolution du littoral français. Elle comprend ainsi dix fascicules métropolitains et sept fascicules ultramarins correspondant aux « provinces sédimentaires françaises », et un fascicule de synthèse national. Chaque fascicule local est organisé en cinq grands chapitres thématiques, présentant le contexte physiographique de la province (principales caractéristiques géologiques et morphologiques et habitats naturels participant à l'évolution du littoral), les facteurs hydrodynamiques (principaux facteurs exogènes tels que les paramètres climatiques, les niveaux et courants marins, les vagues et l'hydrologie des principaux cours d'eau), les données sédimentologiques (nature et répartition des sédiments sur les côtes et les fonds marins, ainsi que leurs mouvements le long du littoral), l'impact des activités anthropiques (principaux aménagements réalisés sur les côtes et leur impact sur l'évolution du littoral, ainsi que les mesures prises pour limiter ces impacts) et enfin l'évolution du littoral et des fonds (bilan des tendances passées d'évolution, ainsi que mouvements sédimentaires ponctuels liés au passage d'événements tempétueux morphogènes). Ces chapitres traduisent l'état des connaissances actuelles et évaluent la sensibilité du littoral aux dérèglements climatiques en cours. Ces documents pointent également les secteurs et thématiques où les connaissances sont faibles ou en voie d'approfondissement.

Ce fascicule traite de la province sédimentaire de La Réunion.

Sur le même thème

Dynamiques et évolution du littoral :

Fascicule 1 + Atlas cartographique : de la frontière belge à la pointe du Hourdel, Cerema EMF, février 2018.

Fascicule 3 + Atlas cartographique : du cap d'Antifer au cap de la Hague, Cerema EMF, octobre 2019

Fascicule 6 + Atlas cartographique : de la pointe de Chémoulin à la pointe de Suzac, Cerema EMF, décembre 2019

Fascicule 7 + Atlas cartographique : de la pointe de Suzac à la frontière espagnole, Cerema EMF, juillet 2020

Fascicule 8 + Atlas cartographique : de la frontière espagnole à Port-de-Bouc, Cerema EMF, novembre 2020

Fascicule 11 + Atlas cartographique : Saint-Pierre-et-Miquelon, Cerema EMF, octobre 2020

Fascicule 12 + Atlas cartographique : Saint-Barthélemy et Saint-Martin, Cerema EMF, mars 2020

Fascicule 14 + Atlas cartographique : La Martinique, Cerema EMF, novembre 2020

Fascicule 16 + Atlas cartographique : de l'archipel de Mayotte, Cerema EMF, février 2019

Expertise et ingénierie territoriale - Bâtiment - Mobilités - Infrastructures de transports - Environnement et risques - Mer et littoral

Téléchargement gratuit
ISSN : 2417-9701
ISBN : 978-2-37180-345-9

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - www.cerema.fr
Cerema Eau, mer et fleuves - 134, rue de Beauvais CS 60039 - 60280 Magny-lès-Compiègne - Tél. : +33 (0)3 44 92 60 00
Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél. +33 (0)4 72 14 30 30