

DEPARTEMENT DE LA REUNION
Commune de Sainte-Suzanne

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES LITTORAUX

« *Submersion marine et recul du trait de côte* »

NOTE DE PRESENTATION

Décembre 2019

APPROBATION



Avertissement général sur les limites d'étude du document PPR

Les débats soulevés pendant et après les enquêtes publiques sur les premiers PPR réalisés à La Réunion ont amené à rédiger cet avertissement général mettant l'accent particulièrement sur les limites d'étude des documents.

Le terme de « risques naturels » communément employé dans des contextes très variés, est largement popularisé par les médias. Ce terme est pourtant souvent utilisé de manière impropre, et cela peut constituer une source de confusion. Il convient donc de préciser tout d'abord que le risque résulte de la conjonction de l'aléa (phénomène de mouvements de terrain, inondations, submersion, érosion, ou autre) et de la vulnérabilité (présence d'enjeux).

Le présent **Plan de Prévention des Risques littoraux** prend en compte le risque « submersion marine » et le risque « recul du trait de côte » pour lesquels l'état des connaissances était suffisant pour pouvoir formuler des prescriptions réglementaires détaillées.

Ce document a été établi dans une logique de prévention (et non d'exposition) en s'appuyant sur les connaissances disponibles. Ainsi, le PPR a été dressé au regard des risques recensés dans les études antérieures à son établissement. Le classement réglementaire rouge/bleu ne tient pas compte dans sa cartographie des travaux de protection à venir.

A partir des données existantes sur le plan cartographique, des zonages réglementaires avec les interdictions et les prescriptions correspondantes ont été établis afin de constituer la servitude d'utilité publique.

Le présent PPR a vocation dans l'avenir à évoluer en fonction notamment d'une plus grande connaissance des phénomènes naturels et des travaux de protection qui seraient réalisés dans les secteurs exposés. Il constitue une première étape répondant à des enjeux de prévention.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Liste des figures..... | 4 |
| 1. INTRODUCTION | 9 |
| 1.1. Organisation de la gestion des risques..... | 9 |
| 1.2. Prévention des risques naturels | 10 |
| 1.3. Plan de prévention des risques (PPR) naturels | 11 |
| 1.4. Catastrophes naturelles majeures à La Réunion | 12 |
| 2. PRESENTATION DU PPR | 13 |
| 2.1. Contexte réglementaire du PPR | 13 |
| 2.2. Procédure réglementaire | 14 |
| 2.2.1. Secteurs géographiques concernés | 14 |
| 2.2.2. Démarches menées..... | 14 |
| 2.3. Assurances et infractions au PPR | 16 |
| 2.3.1. Rappel du régime d'assurance en vigueur | 16 |
| 2.3.2. Infractions au PPR et sanctions..... | 19 |
| 2.4. Expropriation et Mesure de sauvegarde | 19 |
| 2.5. Responsabilités | 19 |
| 2.5.1. Etablissement du PPR | 19 |
| 2.5.2. Autorisation d'occuper le sol..... | 20 |
| 3. PRESENTATION DE LA COMMUNE | 21 |
| 3.1. Contexte de la zone d'étude | 21 |
| 3.1.1. Situation géographique | 21 |
| 3.1.2. Contexte géologique | 22 |
| 3.1.3. Contexte géomorphologique littoral | 23 |
| 3.1.4. Contexte climatique | 27 |
| 3.2. Enjeux et vulnérabilité | 33 |
| 4. HISTORICITE ET CARACTERISATION DES PHENOMENES NATURELS | 37 |
| 4.1. Phénomènes historiques | 37 |
| 4.2. Arrêtés de catastrophes naturelles | 39 |
| 4.3. Caractérisation des aléas littoraux..... | 41 |
| 4.3.1. Définitions et notions générales..... | 41 |
| 4.3.2. Aléa recul du trait de côte (RTC) | 41 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 4.3.3. | Aléa submersion marine | 47 |
| 5. | CARACTERISATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA REcul DU TRAIT DE COTE..... | 57 |
| 5.1. | Cadre méthodologique national | 57 |
| 5.2. | Estimation de l'aléa recul du trait de côte | 59 |
| 5.2.1. | Préparation des photographies aériennes anciennes | 59 |
| 5.2.2. | Définition et numérisation des traits de côte..... | 60 |
| 5.2.3. | Calcul du recul du trait de côte à 100 ans | 61 |
| 5.3. | Zonage de l'aléa recul du trait de côte..... | 64 |
| 5.3.1. | Zonage du recul à échéance 2100 | 64 |
| 5.3.2. | Zonage du recul à échéance 2100 avec prise en compte du changement climatique (+60 cm d'élévation du niveau de la mer)..... | 65 |
| 5.3.3. | Résultats cartographiques | 66 |
| 6. | CARACTERISATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA SUBMERSION MARINE | 69 |
| 6.1. | Cadre méthodologique national..... | 69 |
| 6.2. | Caractérisation de l'aléa submersion marine | 71 |
| 6.2.1. | Méthodologie et scénarios..... | 71 |
| 6.2.2. | Modélisation des submersions marines de référence | 73 |
| 6.2.3. | Analyse des résultats des simulations SWASH 1D..... | 83 |
| 6.2.4. | Analyse des résultats de modélisation SWASH 2D | 85 |
| 6.2.5. | Zonage cartographique de l'aléa submersion marine | 89 |
| 7. | ELABORATION DU ZONAGE REGLEMENTAIRE | 93 |
| 7.1. | Méthodologie..... | 93 |
| 7.1.1. | Les espaces urbanisés et non-urbanisés | 93 |
| 7.1.2. | La submersion marine | 94 |
| 7.1.3. | Le recul du trait de côte | 96 |
| 7.2. | Traduction réglementaire des deux aleas | 97 |
| 8. | LEXIQUE DES SIGLES ET TERMES TECHNIQUES | 99 |
| 9. | PRINCIPAUX TEXTES OFFICIELS | 103 |
| 9.1. | Législation - Réglementation | 103 |
| 9.2. | Principales circulaires..... | 103 |
| 9.3. | Publication de guides | 104 |
| 10. | BIBLIOGRAPHIE | 105 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 - Délimitation du territoire communal de Sainte-Suzanne (Fond ©IGN scan100®-2010)----- | 21 |
| Figure 2 - Carte géologique de la commune de Sainte-Suzanne (source : Bachelery, Mairine , Nehlig, Odon et al., 2006. BRGM, FEDER, Région Réunion, Univ. de La Réunion) ----- | 22 |
| Figure 3 - Réseau hydrographique des bas de Sainte-Suzanne ----- | 23 |
| Figure 4 - Impact de la jetée de la rivière Sainte-Suzanne sur les flux sédimentaires (Fond : Orthophotographie ©IGN 1997 et 2012) ----- | 25 |
| Figure 5 - Photographie falaise à Sainte-Suzanne, Avril 2013 (THIRARD G., BRGM) ----- | 26 |
| Figure 6 - Carte des types de côtes du littoral de la commune de Sainte-Suzanne (source : Morpholit3, 2009) ----- | 27 |
| Figure 7 - Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France, 2009) ----- | 28 |
| Figure 8 - Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)----- | 29 |
| Figure 9 - Localisation des stations météo (en rouge) sur le secteur de Sainte-Suzanne (©IGN Scan100® - 2010)----- | 30 |
| Figure 10 - Le cyclone Dina passant au plus près de La Réunion (21 janvier 2002, Météo-France) L'œil est passé à peine à 30 km des côtes, le scénario est donc majorant puisque la côte Nord de l'île passe dans le rayon de vent maximum (Rm). La vitesse maximale (Vmax) a dépassé largement les 200 km/h et les vagues ont atteint les 15 m par endroit. ----- | 31 |
| Figure 11 - Trajectoire du cyclone tropical Gamède de 2007 (Météo-France, 2008) ----- | 32 |
| Figure 12 - Les différents régimes de houle à La Réunion (Météo France, 2009). ----- | 33 |
| Figure 13 - Evolution de la population de la commune de Sainte-Suzanne (1961-2015 ; source : INSEE)----- | 34 |
| Figure 14 - Evolution de l'urbanisation du centre-ville de Sainte-Suzanne entre 1950 et 2012 ----- | 35 |
| Figure 15 - Extrait de la cartographie des enjeux du littoral de la commune de Sainte-Suzanne (Annexe 5) ----- | 36 |
| Figure 16 - Extrait de l'annexe 3 « Carte de synthèse des modes de submersion et des données historiques de l'aléa submersion marine » de la commune de Sainte-Suzanne. ----- | 39 |
| Figure 17 – Fonctionnement naturel du système littoral réunionnais (De La Torre et al, 2012)----- | 42 |
| Figure 18 – Exemple de digue bloquant le transit sédimentaire à Saint-Benoît (De La Torre et al, 2012)----- | 42 |
| Figure 19 - Variations du profil de plage en fonction du régime de houles (De La Torre et al, 2012) -- | 43 |
| Figure 20 - Les manifestations de l'érosion des cordons sédimentaires à La Réunion (De La Torre et al, 2012) ----- | 44 |
| Figure 21 - Recul classique d'une falaise (De La Torre et al, 2012)----- | 45 |
| Figure 22 – Erosion du littoral de la chapelle du front de mer (E. Chateauminois, G. Thirard, BRGM, 2013) ----- | 46 |
| Figure 23 - Erosion récente du talus en haut de cordon de galet proche du centre-ville de Sainte-Suzanne (Rapport OBSCOT, 2013) ----- | 46 |
| Figure 24 - Représentation des phénomènes qui concourent à la submersion marine (BRGM). ----- | 47 |
| Figure 25 - Les différents types de submersion marine (Pedreros R. & Garcin M. 2012) ----- | 48 |
| Figure 26 - Sites sensibles à l'action des houles (BRGM, mai 2015) ----- | 49 |
| Figure 27 - Submersion par paquets de mer suite au cyclone Gamède, Sainte-Suzanne (Photographie Pierre Agon, 24/02/2007) ----- | 50 |
| Figure 28 - Extrait de la carte des événements historiques de submersion marine (Annexe 3 du projet de PPRL) ----- | 51 |
| Figure 29 - Zones basses du littoral de Sainte-Suzanne (Fond Scan 100 IGN, MNT Litto3d IGN/SHOM)----- | 52 |
| Figure 30 - Carte topographique du secteur de la chapelle sur la commune de Sainte-Suzanne (litto3D Shom/IGN, fond ortho-photo IGN 2012) ----- | 53 |
| Figure 31 - Carte topographique du secteur de village Desprez sur la commune de Sainte-Suzanne (litto3D Shom/IGN, fond ortho-photo IGN 2012) ----- | 54 |
| Figure 32 - Carte topographique du secteur de la Marine sur la commune de Sainte-Suzanne (litto3D Shom/IGN, fond ortho-photo IGN 2012) ----- | 55 |

| | |
|---|----|
| <i>Figure 33 – Exemple de définition du trait de côte suivant les morphotypes du littoral de Ste-Suzanne : a. limite en pied d'aménagement (ortho 2011); b. limite de végétation (ortho 2011); c. limite de haut de versant (lidar)</i> ----- | 60 |
| <i>Figure 34 - Exemple d'implantation des profils à Sainte-Suzanne</i> ----- | 61 |
| <i>Figure 35 – Principe de la régression linéaire pondérée pour le calcul par DSAS de l'évolution du trait de côte (Himmelstoss, 2009)</i> ----- | 62 |
| <i>Figure 36 – Exemple d'artefact généré par les profils au sud de la Rivière des Marsouins sur la commune de St-Benoît : de fortes disparités sont observées entre des transects très proches) - Orthophoto IGN© 2012</i> ----- | 62 |
| <i>Figure 37 - Extrait de la cartographie de l'aléa de recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Suzanne (Annexe 2 du projet de PPRL)</i> ----- | 65 |
| <i>Figure 38 – Extrait de la carte de synthèse de l'évolution historique du trait de côte de Sainte-Suzanne (cf. Annexe 1)</i> ----- | 66 |
| <i>Figure 39 – Extrait de la carte d'aléa recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Suzanne (cf. Annexe 2)</i> ----- | 67 |
| <i>Figure 40 – Comparaison des houles engendrées par différents évènements historiques (cyclones ou houles australes) en termes de hauteur significative (graphiques du haut), période pic (graphiques du centre) et énergie (graphiques du bas) le long de la côte réunionnaise – (Lecacheux et al., 2012)</i> ----- | 72 |
| <i>Figure 41 - Niveaux marins à prendre en compte pour la caractérisation de l'aléa submersion marine (DGPR, 2014)</i> ----- | 73 |
| <i>Figure 42 - Principales étapes nécessaires à la construction du MNE (Le Roy et al., 2012) – données Litto3D ©IGN.</i> ----- | 74 |
| <i>Figure 43 - Hauteur significative des vagues en rouge (en mètres, échelle de gauche) et niveau de la mer en bleu incluant la marée prédite et la surcote atmosphérique estimée (en mètres IGN89, échelle de droite) les 22 et 23 janvier 2002 (cyclone Dina) pour la commune de Sainte-Suzanne.</i> ----- | 76 |
| <i>Figure 44 – Localisation des modélisations réalisées à Sainte-Suzanne.</i> ----- | 77 |
| <i>Figure 45 - Les différentes phases de modélisation en fonction des secteurs</i> ----- | 78 |
| <i>Figure 46 – Aperçu de la propagation des vagues le long d'un profil pendant la simulation</i> ----- | 80 |
| <i>Figure 47 - MNE de Sainte Suzanne utilisé pour le calcul de la submersion marine.</i> ----- | 81 |
| <i>Figure 48 - Carte des coefficients de Manning utilisée pour les calculs de submersion.</i> ----- | 82 |
| <i>Figure 49 - Champ de vagues à l'instant 30 minutes (calcul réalisé entre les instants 0 et 1 heure du modèle), Sainte-Suzanne.</i> ----- | 83 |
| <i>Figure 50 - Evènement de référence « cyclone Dina » : niveau d'eau maximal obtenu le long du profil 3.1 à Sainte-Suzanne pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée – Profils en travers</i> | 84 |
| <i>Figure 51 - Evènement de référence « cyclone Dina » : Limites de l'aléa fort le long du profil 1 pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée –Vue en plan (Fond orthophotographie 2011, IGN©)</i> ----- | 85 |
| <i>Figure 52 - Hauteurs d'eau maximales à terre atteintes lors de la submersion pour le scénario de « référence » (en haut) et « 2100 » (en bas). Orthophoto 2011, IGN©</i> ----- | 86 |
| <i>Figure 53 - Vitesses maximales atteintes lors de la submersion pour le scénario de « référence » (en haut) et « 2100 » (en bas). Orthophoto 2011, IGN©</i> ----- | 87 |
| <i>Figure 54 - Cartes d'aléa issues de la modélisation de la submersion pour le scénario de « référence » (en haut) et « 2100 » (en bas). Les carrés correspondent aux observations historiques de la submersion. Orthophoto 2011, IGN©</i> ----- | 88 |
| <i>Figure 55 - Caractéristiques du zonage changement climatique</i> ----- | 90 |
| <i>Figure 56 - Extrait de la carte de synthèse de l'historique de la submersion marine de la commune de Sainte-Suzanne (cf. Annexe 3)</i> ----- | 92 |
| <i>Figure 57 – Extrait de la carte d'aléa submersion marine de la commune de Sainte-Suzanne (cf. Annexe 4)</i> ----- | 92 |
| <i>Figure 58 – Délimitation des espaces urbanisés et non urbanisés sur le littoral de Sainte-Suzanne</i> ----- | 94 |
| <i>Figure 59 - Extrait de la traduction réglementaire du PPRL de Sainte-Suzanne (Annexe 6)</i> ----- | 98 |

| | |
|--|----|
| <i>Tableau 1 : Evénements historiques majeurs survenus à La Réunion</i> | 12 |
| <i>Tableau 2 : Précipitations journalières décennales et centennales issues du Guide d'Estimation des Débits de Crues de La Réunion 1992 (en mm)</i> | 30 |
| <i>Tableau 3 - Liste des arrêtés de catastrophes naturelle sur la commune de Sainte-Suzanne (source : www.georisques.gouv.fr – Base nationale de Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques - GASPARE - mise à jour 18/01/2019)</i> | 40 |
| <i>Tableau 4 - Liste des cyclones notables</i> | 40 |
| <i>Tableau 5 - Bilan de l'érosion sur le littoral réunionnais (De La Torre et al, 2012)</i> | 45 |
| <i>Tableau 6 - Synthèse de la méthodologie nationale de caractérisation de l'aléa recul du trait de côte (en jaune les choix opérés pour cette étude)</i> | 58 |
| <i>Tableau 7 – Détail des campagnes photographiques de l'IGN utilisées</i> | 59 |
| <i>Tableau 8 – Calculs de recul du trait de côte (référence 2011 – échéance 2100) par secteurs homogènes sur la commune de Sainte-Suzanne</i> | 63 |
| <i>Tableau 9 – Valeurs 100Tx ; Lmax et Lr par secteurs homogènes pour la commune de Sainte-Suzanne</i> | 64 |
| <i>Tableau 10 – Synthèse de la méthodologie nationale de caractérisation de l'aléa submersion marine (en jaune les choix opérés pour cette étude)</i> | 70 |
| <i>Tableau 11 – Références altimétriques maritimes pour la Pointe des Galets, Saint-Leu et Saint-Pierre : : Plus hautes et basses mers astronomiques, Moyenne des plus hautes et basses mers journalières, Niveau moyen et écart entre Zéro Hydrographique (ZH) et Zéro IGN89 (SHOM, 2011)</i> | 75 |
| <i>Tableau 12 - Niveaux marins retenus pour la simulation de submersion</i> | 77 |
| <i>Tableau 13 – Evénement de référence « cyclone Dina » : résultat du modèle SWAN au droit des deux profils à 50m de profondeur, avec correction d'incidence (Hs équivalent à une houle orthogonales à la côte)</i> | 79 |
| <i>Tableau 14 – Qualification de l'aléa submersion marine en fonction de la dynamique de submersion (Guide PPRL, MEDDTL, 2012 et DGPR, 2013)</i> | 89 |
| <i>Tableau 15 – Traduction réglementaire de l'aléa submersion marine dans les espaces non-urbanisés</i> | 95 |
| <i>Tableau 16 - Traduction réglementaire de l'aléa submersion marine dans les espaces urbanisés</i> | 96 |
| <i>Tableau 17 - Traduction réglementaire du croisement des aléas submersion marine et érosion du trait de côte dans les espaces non-urbanisés</i> | 97 |
| <i>Tableau 18 - Traduction réglementaire du croisement des aléas submersion marine et érosion du trait de côte dans les espaces urbanisés</i> | 98 |

Préambule

Ce dossier est le **Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) littoraux « submersion marine et recul du trait de côte » de la commune de Sainte-Suzanne**. Il a été établi conformément aux dispositions législatives instituées par la loi « Barnier » n° 95-101 du 2 février 1995 complétée par la loi n°2003-699 du 30 juillet 2003 (transposée notamment dans les articles L.562.1 à L.562.9 du code de l'environnement) et aux dispositions réglementaires issues du décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995 (modifiées par le décret n°2005-4 du 4 Janvier 2005 et le décret n°2012-765 du 28 juin 2012).

Ce dossier comporte plusieurs documents :

✓ les documents informatifs :

- des cartes de localisation des phénomènes naturels historiques (submersion marine et recul du trait de côte) à l'échelle 1/10 000ème (annexes 1 et 3) ;
- une cartographie des aléas naturels (submersion marine et recul du trait de côte) à l'échelle du 1/5 000ème sur l'ensemble du linéaire côtier (annexes 2 et 4) ;
- une cartographie des équipements sensibles (enjeux) de la commune à l'échelle 1/10000ème (annexe 5).
- une cartographie du zonage réglementaire par prescription de la commune à l'échelle 1/5 000 (annexe 6) ;

✓ les documents réglementaires :

- la note de présentation, décrivant le territoire de Sainte-Suzanne et les phénomènes naturels qui le concernent, ainsi que les règles méthodologiques adoptées ;
- une cartographie du zonage réglementaire à l'échelle du 1/5 000ème sur l'ensemble du linéaire côtier communal (annexe 6) ;
- le règlement associé au zonage réglementaire.

La loi Barnier inscrit en tête de ses dispositions le principe de prévention. Celui-ci fonde les services instructeurs à engager des PPR sans tarder en s'appuyant sur les connaissances disponibles. En conséquence, la conduite du PPR doit être menée avec pragmatisme, sans rechercher une complexité inutile et avec le souci d'aboutir directement dans la plupart des cas à des propositions de mesures réglementaires.

Extrait de l'article L. 110-1 du code de l'Environnement

« (...) l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable. »

1. Introduction

Les risques naturels (cyclones, submersions, fortes pluies, glissements de terrain) ont marqué l'histoire de La Réunion et la mémoire de nombre de réunionnais. Mais tirer les leçons de l'histoire n'est pas une démarche facile. Ainsi voit-on s'installer de nouvelles constructions et des habitations dans des sites où les risques sont perceptibles et des aménagements se réaliser sans protection et sans souci de l'aggravation des risques qu'ils peuvent provoquer.

Sainte-Suzanne, commune peuplée de 23 068 habitants (population recensée par l'INSEE en 2015), est affectée par des phénomènes d'érosion littorale et de submersion marine, comme en témoignent les cartes de phénomènes historiques (annexes 1 et 3 du dossier PPRL), impactant plus ou moins durement les hommes et les activités.

Dans un contexte de développement de l'urbanisation et d'augmentation inhérente de la vulnérabilité, le nombre et la diversité des phénomènes naturels auxquels sont exposés des enjeux importants sur son territoire communal ont justifié de la part du service instructeur des PPR à La Réunion (Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement ou DEAL), l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques naturels littoraux (« recul du trait de côte et submersion marine ») de la commune de Sainte-Suzanne.

1.1. ORGANISATION DE LA GESTION DES RISQUES

La lutte contre les risques naturels s'organise autour de quatre axes très différenciés mais complémentaires :

- **l'information** sur les risques est un droit pour les populations menacées. Cette information est organisée par le préfet et les maires dans les conditions fixées initialement par le décret du 11 octobre 1990 modifié et par la loi n°2003-699 du 30 juillet 2003 et désormais codifiées aux articles L. 125-2, L. 125-5 et R. 125-5 et suivants du code de l'Environnement. Ces dispositions prévoient notamment que dans les communes où un plan de prévention des risques naturels a été approuvé, le maire informe la population au moins une fois tous les deux ans par des réunions publiques communales ou tout autre moyen approprié. Cette information est délivrée avec l'assistance des services de l'Etat compétents ;
- la **gestion prévisionnelle des crises** s'appuie sur des systèmes d'alerte et s'organise dans les plans de secours spécialisés mis en œuvre par l'Etat et les collectivités ;
- les **travaux de protection**, à l'initiative des communes ou d'associations, bénéficient de subventions dans le cadre de programmations pluriannuelles ;
- la **prévention** relève des communes qui ont le devoir de prendre en compte les risques connus dans leurs documents d'urbanisme, et de l'Etat qui doit réaliser des Plans de Prévention des Risques (PPR) dans les zones menacées. La prévention des risques permet d'anticiper, et d'éviter les conséquences parfois dramatiques liées aux risques. La prévention peut être considérée comme l'outil le plus efficace pour limiter l'aggravation des risques.

1.2. PREVENTION DES RISQUES NATURELS

La politique de prévention des risques naturels a pris un essor particulier en France en 1994 suite à une succession d'événements catastrophiques ayant affecté depuis 1987 le territoire national. Il est apparu alors de manière évidente qu'un développement urbain mal maîtrisé pouvait aggraver considérablement les catastrophes, en particulier lorsque les zones exposées sont urbanisées. L'extension urbaine peut même contribuer à les aggraver au travers d'aménagements hydrauliquement non-transparents et pouvant accentuer les effets des submersions marines (notamment en cas de rupture) ou accélérer les processus érosifs. Ces phénomènes sont largement constatés sur l'île de la Réunion qui subit régulièrement les effets dévastateurs des cyclones et houles australes et qui présente de fortes densités urbaines en zone littorale (cf. tableau des événements majeurs historiques présenté en 1.4). Les inondations consécutives à la tempête Xynthia de février 2010 en métropole l'ont également mis en exergue.

La commune de Sainte-Suzanne est concernée par cette politique de prévention, en particulier pour les quartiers du centre-ville, de village Desprez ou encore de La Marine qui cumulent une dynamique économique et une évolution démographique récente avec des aléas littoraux avérés liés à des épisodes météo-marins de forte intensité. Il y a donc nécessité pour la sécurité de la population de mettre en place des mesures de prévention efficaces.

Les responsabilités et obligations du maire, en particulier en ce qui concerne l'information préventive des citoyens et les mesures de sauvegarde qui les concernent, sont définies par l'article L.125-2 du code de l'environnement :

« Dans les communes sur le territoire desquelles a été prescrit ou approuvé un plan de prévention des risques naturels prévisibles, le maire informe la population au moins une fois tous les deux ans, par des réunions publiques communales ou tout autre moyen approprié, sur les caractéristiques du ou des risques naturels connus dans la commune, les mesures de prévention et de sauvegarde possibles, les dispositions du plan, les modalités d'alerte, l'organisation des secours, les mesures prises par la commune pour gérer le risque, ainsi que sur les garanties prévues à l'article L. 125-1 du code des assurances. Cette information est délivrée avec l'assistance des services de l'Etat compétents, à partir des éléments portés à la connaissance du maire par le représentant de l'Etat dans le département, lorsqu'elle est notamment relative aux mesures prises en application de la loi n° 87-565 du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs et ne porte pas sur les mesures mises en œuvre par le maire en application de l'article L. 2212-2 du code général des collectivités territoriales ».

Le code de la sécurité intérieure indique dans son article L.731-3 (protection générale de la population) :

« Le plan communal de sauvegarde regroupe l'ensemble des documents de compétence communale contribuant à l'information préventive et à la protection de la population. Il détermine, en fonction des risques connus, les mesures immédiates de sauvegarde et de protection des personnes, fixe l'organisation nécessaire à la diffusion de l'alerte et des consignes de sécurité, recense les moyens disponibles et définit la mise en œuvre des mesures d'accompagnement et de soutien de la population. Il peut désigner l'adjoint au maire ou le conseiller municipal chargé des questions de sécurité civile. Il doit être compatible avec les plans d'organisation des secours arrêtés en application des dispositions des articles L.741-1 à L.741-5.

Il est obligatoire dans les communes dotées d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles approuvé ou comprises dans le champ d'application d'un plan particulier d'intervention. Le plan communal de sauvegarde est arrêté par le maire de la commune. [...]

La mise en œuvre du plan communal ou intercommunal de sauvegarde relève de chaque maire sur le territoire de sa commune.

Un décret en Conseil d'État précise le contenu du plan communal ou intercommunal de sauvegarde et détermine les modalités de son élaboration. »

1.3. PLAN DE PREVENTION DES RISQUES (PPR) NATURELS

Le nouveau dispositif instauré par la loi « Barnier » du 2 février 1995 donne au préfet la possibilité d'agir rapidement sans ôter aux collectivités leurs responsabilités, ni leurs obligations. Les Plans de Prévention des Risques permettent d'interdire ou de réglementer les constructions et aménagements en situation de risque, ou en situation d'aggraver directement ou indirectement les risques pour l'environnement.

La démarche de mise en place des Plans de Prévention des Risques naturels littoraux a été relancée par le président de la République lors d'une allocution à la Roche-sur-Yon en mars 2010, suite aux effets destructeurs de la tempête Xynthia en métropole.

Sont donc pris en compte dans la présente élaboration du Plan de Prévention des Risques littoraux de la commune de Sainte-Suzanne les phénomènes de submersion marine et les phénomènes d'érosion côtière. La submersion marine est un phénomène tempétueux (ce qui exclut le tsunami qui a pour origine un phénomène sismique ou un glissement des fonds marins).

1.4. CATASTROPHES NATURELLES MAJEURES A LA REUNION

| | |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">1875</p> <p>Salazie, Grand-Sable : 63 personnes ensevelies par un glissement</p> | <p style="text-align: center;">Février 1998</p> <p>Tempête Anacelle : 1 mort ; dégâts importants</p> |
| <p style="text-align: center;">Février 1932</p> <p>Cyclone : 90 morts, plus de 41 000 sinistrés, plus de 100 millions de francs de dégâts</p> | <p style="text-align: center;">Janvier 2002</p> <p>Cyclone Dina : 2 morts, dégâts très importants</p> |
| <p style="text-align: center;">Janvier 1948</p> <p>Cyclone : 165 morts ; dégâts énormes</p> | <p style="text-align: center;">Mars 2006</p> <p>Tempête tropicale modérée Diwa : 4 morts, pluies importantes</p> |
| <p style="text-align: center;">Février 1962</p> <p>Cyclone Jenny : 36 morts ; dégâts importants</p> | <p style="text-align: center;">Février 2007</p> <p>Cyclone Gamède : 2 morts, dégâts importants</p> |
| <p style="text-align: center;">Janvier 1966</p> <p>Cyclone Denise : 3 morts ; dégâts importants</p> | <p style="text-align: center;">Mai 2007</p> <p>Violente houle australe impactant le littoral Sud-ouest : 2 morts, dégâts importants dans les ports</p> |
| <p style="text-align: center;">Janvier 1980</p> <p>Tempête Hyacinthe : 25 morts ; 1 milliard de francs de dommages</p> | <p style="text-align: center;">Janvier 2014</p> <p>Cyclone Béjisa : 1 mort, 16 blessés, dégâts importants dans l'Ouest</p> |
| <p style="text-align: center;">Février 1987</p> <p>Tempête Clotilda : 9 morts ; dégâts très importants (109 millions de francs sur St Denis)</p> | <p style="text-align: center;">Janvier 2018</p> <p>Cyclone Berguita : dégâts importants dans le Sud</p> |
| <p style="text-align: center;">Janvier 1989</p> <p>Cyclone Firinga : 4 morts ; dégâts très importants</p> | <p style="text-align: center;">Avril 2018</p> <p>Tempête Fakir : 2 morts, dégâts importants dans l'Est</p> |
| <p style="text-align: center;">Janvier 1993</p> <p>Cyclone Colina : 2 morts ; dégâts importants</p> | |

Tableau 1 : Evénements historiques majeurs survenus à La Réunion

2. Présentation du PPR

2.1. CONTEXTE REGLEMENTAIRE DU PPR

Le Plan de Prévention des Risques est, depuis la loi du 2 février 1995, le seul document de cartographie réglementaire spécifique aux risques naturels. Le contenu du PPR est fixé par l'article 40-1 de la loi du 22 juillet 1987 (modifié par l'article 16 de la loi du 2 février 1995 et transposé notamment dans les articles L.562.1 à L.562.9 du code de l'environnement).

Extrait de l'article L.562.1 du code de l'environnement :

« Ces plans ont pour objet, en tant que de besoin :

- 1°) de délimiter les zones exposées aux risques dites « zones de danger » en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, d'y interdire tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle ou, dans le cas où des constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient y être autorisées, prescrire les conditions dans lesquelles ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités ;*
- 2°) de délimiter les zones dites « zones de précaution » qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux et y prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions telles que prévues au 1° du présent article ;*
- 3°) de définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises, dans les zones mentionnées au 1° et au 2°, par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui peuvent incomber aux particuliers ;*
- 4°) de définir, dans les zones mentionnées au 1° et au 2°, les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces mis en culture ou plantés existants à la date de l'approbation du plan qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants ou utilisateurs.*

III. - La réalisation des mesures prévues aux 3° et 4° peut être rendue obligatoire en fonction de la nature et de l'intensité du risque dans un délai de cinq ans, pouvant être réduit en cas d'urgence. A défaut de mise en conformité dans le délai prescrit, le Préfet peut, après mise en demeure non suivie d'effet, ordonner la réalisation de ces mesures aux frais du propriétaire, de l'exploitant ou de l'utilisateur.

IV. - Les mesures de prévention prévues aux 3° et 4° ci-dessus, concernant les terrains boisés, lorsqu'elles imposent des règles de gestion et d'exploitation forestière ou la réalisation de travaux de prévention concernant les espaces boisés mis à la charge des propriétaires et exploitants forestiers, publics ou privés, sont prises conformément aux dispositions du titre II et livre III et du livre IV du Code Forestier.

V. - Les travaux de prévention imposés en application du 4° à des biens construits ou aménagés conformément aux dispositions du Code de l'Urbanisme avant l'approbation du plan et mis à la charge des propriétaires, exploitants ou utilisateurs ne peuvent porter que sur des aménagements limités. »

Objectif général de l’outil PPR

« Délimiter les zones exposées aux risques naturels (secteurs inconstructibles et ceux soumis à prescriptions), ainsi que définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à y mettre en œuvre, tant par les particuliers que par les collectivités publiques. »

Dans le processus d’élaboration du PPRL, le BRGM a en charge la caractérisation des aléas littoraux ainsi que la cartographie des enjeux associés. L’Etat a en charge l’élaboration de la stratégie de zonage réglementaire et le règlement lui-même.

L’Etat est responsable de l’élaboration et de la mise en application du PPR. Le préfet approuve le document, après avis notamment des conseils municipaux et communautaires concernés et sur la base des apports citoyens de l’enquête publique.

Le PPR approuvé par arrêté préfectoral, après enquête publique, constitue une servitude d’utilité publique (article L.562-4 du Code de l’Environnement). Les collectivités publiques ont l’obligation, dès lors que le PPR vaut servitude d’utilité publique, de l’annexer au PLU (L.153-60 du code de l’urbanisme).

Le PPR peut être modifié, dès lors que la connaissance des risques a évolué et permet d’établir de nouveaux zonages réglementaires.

2.2. PROCEDURE REGLEMENTAIRE

2.2.1. Secteurs géographiques concernés

La procédure réglementaire est définie par les articles R.562-1 à R.562-9 du code de l’environnement. Le point de départ de la présente procédure d’élaboration du PPR est l’arrêté préfectoral de prescription n° 2016-2288 SG/DRCTCV en date du 18 novembre 2016.

Cet arrêté précise dans son article 1 que le périmètre mis à l’étude concerne l’ensemble du territoire de la commune de Sainte-Suzanne, et que les risques relatifs aux phénomènes de recul du trait de côte et de submersion marine sont pris en compte.

2.2.2. Démarches menées

Le présent projet de Plan de Prévention des Risques Littoraux est élaboré par les services de l’Etat, en l’occurrence la Direction de l’Environnement de l’Aménagement et du Logement de La Réunion (DEAL Réunion). Les principales étapes d’élaboration du PPR ont été les suivantes :

- 30 avril 2015 : réunion de présentation en mairie de Sainte-Suzanne des cartes d’aléas érosion côtière et submersion marine.
- 1er semestre 2015 : animation par la DEAL d’un groupe de travail réunissant plusieurs services de communes réunionnaises afin d’élaborer les grandes lignes du "règlement-type PPR littoral réunionnais" (trois réunions en mars, avril et mai 2015).
- 16 juillet 2015 : porter à connaissance du Préfet au Maire de Sainte-Suzanne des cartes d’aléas pour prise en compte dans la délivrance des actes d’urbanisme.
- 16 février 2018 : réunion d’association avec la mairie afin de présenter le projet de cartographie réglementaire et le règlement afférent.

- Mars à aout 2018 : réunions techniques DEAL/BRGM/Mairie/SODIAC concernant le projet cœur de ville ;
- 20 février 2019 : réunion publique d'informations du public sur le projet de PPRL.

Après la phase d'élaboration, le dossier est soumis à des consultations conformément à l'article R. 562-7 :

« Le projet de Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles est soumis à l'avis des conseils municipaux des communes et des organes délibérants des établissements publics de coopération intercommunale compétents pour l'élaboration des documents d'urbanisme dont le territoire est couvert en tout ou partie par le plan.

Si le projet de plan contient des mesures de prévention des incendies de forêt ou de leurs effets ou des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde relevant de la compétence des départements et des régions, ces dispositions sont soumises à l'avis des organes délibérants de ces collectivités territoriales. Les services départementaux d'incendie et de secours intéressés sont consultés sur les mesures de prévention des incendies de forêt ou de leurs effets.

Si le projet de plan concerne des terrains agricoles ou forestiers, les dispositions relatives à ces terrains sont soumises à l'avis de la chambre d'agriculture et du « Centre national » de la propriété forestière.

Tout avis demandé en application des trois alinéas ci-dessus qui n'est pas rendu dans un délai de deux mois à compter de la réception de la demande est réputé favorable.

La consultation officielle s'est déroulée du 13 mai au 13 juillet 2019. L'ensemble des avis rendus pendant cette phase de consultation sont repris dans le bilan de concertation qui se trouve en annexe du présent rapport. Ce bilan porte sur la concertation mise en œuvre dans le cadre de l'élaboration du projet de PPR conformément aux articles 3 et 4 de l'arrêté préfectoral de prescription.

Après cette phase de consultation, le dossier est soumis à une enquête publique puis approuvé conformément aux articles R. 562-8 et R. 562-9 :

« Art. R. 562-8 Le projet de plan est soumis par le préfet à une enquête publique dans les formes prévues par les articles R. 123-6 à R. 123-23, sous réserve des dispositions des deux alinéas qui suivent.

Les avis recueillis en application des trois premiers alinéas de l'article R. 562-7 sont consignés ou annexés aux registres d'enquête dans les conditions prévues par l'article R. 123-17.

Les maires des communes sur le territoire desquelles le plan doit s'appliquer sont entendus par le commissaire enquêteur ou par la commission d'enquête une fois consigné ou annexé aux registres d'enquête l'avis des conseils municipaux.

Art. R. 562-9 A l'issue des consultations prévues aux articles R. 562-7 et R. 562-8, le plan, éventuellement modifié, est approuvé par arrêté préfectoral. Cet arrêté fait l'objet d'une mention au recueil des actes administratifs de l'État dans le département ainsi que dans un journal diffusé dans le département. Une copie de l'arrêté est affichée pendant un mois au moins dans chaque mairie et au siège de chaque établissement public de coopération intercommunale compétent pour l'élaboration des documents d'urbanisme sur le territoire desquels le plan est applicable.

Le plan approuvé est tenu à la disposition du public dans ces mairies et aux sièges de ces établissements publics de coopération intercommunale ainsi qu'en préfecture. Cette mesure de publicité fait l'objet d'une mention avec les publications et l'affichage prévus à l'alinéa précédent ».

L'arrêté préfectoral n° 2019-2281 SG/DCL/BU du 2 septembre 2019 a prescrit l'ouverture d'une enquête publique au titre du code de l'environnement, sur le territoire de la commune de Sainte-Suzanne concernant le projet de Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles relatif aux phénomènes de submersion marine et de recul du trait de côte. Préalablement au lancement de l'enquête publique, une réunion publique d'informations et d'échanges, organisées par l'État, maître d'ouvrage du projet de PPR, s'est tenue le 26 septembre 2019, à la mairie de Sainte-Suzanne, en présence du maître d'ouvrage représenté par la DEAL, ainsi que du BRGM. Y ont été conviés les représentants de la mairie et le commissaire-enquêteur. L'enquête publique s'est déroulée du 1 octobre au 30 octobre 2019 inclus (30 jours consécutifs), sous la supervision de Monsieur François, Louis FERRERE, commissaire-enquêteur. Les pièces du projet de dossier de PPR ainsi que des registres d'enquête ont été mises à disposition du public à la mairie de Sainte-Suzanne (Hôtel de Ville) pendant la durée de l'enquête. Sur les 11 permanences du commissaire-enquêteur prévues, seule celle prévue le 24 octobre 2019 n'a pu avoir lieu du fait de la fermeture au public de la mairie de Sainte-Suzanne en raison d'une grève générale.

Dans le cadre de cette enquête publique, 1 requête a été formulée. Cette dernière a fait l'objet d'une analyse individualisée par le BRGM, partenaire technique de la DEAL pour ce dossier.

Une visite de terrain supplémentaire concernant cette parcelle a été effectuée le 12 novembre 2019 en présence de la DEAL, du BRGM, du commissaire-enquêteur ainsi que le représentant du pétitionnaire concerné.

La synthèse de la réponse formulée pour cette requête (proposition de classement réglementaire et éléments de justification) est présentée en annexe 7 du dossier de PPRL (Belon R., Moutoussamy L., 2019).

Le commissaire-enquêteur a donné un avis favorable au projet de PPRL « recul du trait de côte et submersion marine » de la commune de Sainte-Suzanne dans son rapport rendu le **2 décembre 2019**.

Une copie du rapport du commissaire enquêteur est consultable pendant un an à la mairie de Sainte-Suzanne ainsi qu'à la préfecture. Ce rapport est également téléchargeable en version numérique sur le site internet de la Préfecture de La Réunion à la rubrique « Plan de prévention des risques ».

2.3. ASSURANCES ET INFRACTIONS AU PPR

2.3.1. Rappel du régime d'assurance en vigueur

La loi du 13 juillet 1982 a institué un régime particulier d'assurance, avec intervention de l'Etat, destiné à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles. Ce régime se fonde sur le principe de « la solidarité et l'égalité de tous les Français » devant les charges qui résultent des calamités nationales (Préambule de la Constitution de 1946, repris par celle de 1958).

Les contrats d'assurance garantissant les dommages d'incendie ou les dommages aux biens, ainsi que les dommages aux corps de véhicules terrestre à moteur, ouvrent droit à la garantie contre les catastrophes naturelles (art. L.125.1 du code des assurances).

Cette garantie est étendue aux pertes d'exploitation, si elles sont prévues par le contrat. L'extension de la garantie est couverte par une prime supplémentaire à taux unique.

Toutes les personnes physiques ou morales, autres que l'Etat, peuvent bénéficier de cette garantie, que les praticiens appellent « garantie Cat.Nat. »

Champ d'application de la garantie

La garantie couvrant les dommages occasionnés par une catastrophe naturelle se substitue aux mécanismes classiques d'assurances. Son champ d'application est fixé par l'article 1 de la loi du 13 juillet 1982 :

« Sont considérés comme les effets des catastrophes naturelles (...) les dommages matériels non assurables directs, ayant eu pour cause déterminante, l'intensité anormale d'un agent naturel, lorsque les mesures habituelles à prendre pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises ».

Risques couverts

Il s'agit des dommages matériels résultant des catastrophes naturelles qui ne sont pas habituellement garantis par les règles classiques d'assurances. L'agent naturel doit être la cause déterminante du sinistre et doit, par ailleurs, présenter une intensité anormale.

Deux circulaires (du 27 mars 1984 et du 28 décembre 1992) fixent une liste non exhaustive des événements naturels susceptibles d'être couverts. Elle comprend notamment :

- les inondations (cours d'eau sortant de leur lit) ;
- les ruissellements d'eau, de boue ou de lave ;
- **les glissements ou effondrements de terrain ;**
- la subsidence (effondrement de terrain consécutif à la baisse de la nappe phréatique) ;
- les séismes ;
- **les raz-de-marée (ou submersion marine) ;**
- les masses de neige ou de glace en mouvement (avalanches, coulées de neige...).

Les trois critères prévus par le texte étant réunis :

1. caractère naturel de la cause du dommage

2. anormalité de son intensité

3. mise en œuvre préalable des mesures de prévention), il doit évidemment exister un lien de causalité entre ces trois facteurs.

Avant le 1^{er} janvier 2001, les risques cycloniques liés aux effets du vent étaient couverts par la garantie T.O.C. (Tempête – Ouragans – Cyclones) prévue automatiquement au sein des contrats d'assurance relatifs à la couverture incendie et risques divers aux biens. Avec la loi d'orientation pour l'Outre-mer (n° 2000-1207 du 13 décembre 2000), les effets d'un cyclone pour lequel « les vents maximaux de surface enregistrés ou estimés sur la zone sinistrée ont atteint ou dépassé 145 km/h en moyenne sur 10 mn ou 215 km/h en rafales » seront couverts par le régime catastrophe naturelle. Concrètement, ce régime permettra l'intervention du fonds de garantie des catastrophes naturelles, alimenté par l'Etat, lors de certains événements cycloniques.

Biens garantis

La garantie bénéficie à tous les assurés quel que soit leur degré d'exposition aux risques.

L'assureur a la possibilité de refuser la couverture des catastrophes naturelles aux propriétaires ou exploitants de biens situés dans une zone couverte par un PPR, s'ils ne se sont pas conformés, dans un délai de cinq ans, aux prescriptions imposées par le plan (des travaux d'aménagement peuvent être imposés sous réserve de ne pas excéder 10 % de la valeur vénale du bien). Cette possibilité, prévue par l'article L.125.6 du Code des Assurances, ne peut être mise en œuvre que

lors de la conclusion initiale ou du renouvellement du contrat. Evidemment, les assureurs pourront également refuser leur garantie à l'égard des biens et des activités installées postérieurement à la publication d'un PPR sur des terrains classés inconstructibles par ce plan. Le Bureau Central de Tarification (B.C.T.) est saisi des contentieux éventuels.

Les biens garantis sont les meubles et immeubles, assurés contre les dommages incendie ou tous autres dommages, et ayant subi des dommages matériels directs, c'est-à-dire, portant atteinte à la structure ou au contenu de la chose. Sont donc exclues les vies humaines.

Une liste des biens garantis est donnée par la circulaire du 27 mars 1984 qui précise également quels sont les biens susceptibles d'être exclus du régime d'assurance « Cat.Nat », en raison notamment d'autres modalités de couverture.

Etat de catastrophe naturelle

L'état de catastrophe naturelle est constaté par un arrêté interministériel (Ministère de l'Intérieur et Ministère de l'Economie et des Finances). C'est cet arrêté qui permet aux assurés d'être indemnisés au titre de la garantie catastrophe naturelle.

Lorsque survient un événement susceptible de présenter le caractère de catastrophe naturelle, le préfet du département doit adresser un rapport à la Direction de la Sécurité Civile dans le délai d'un mois à compter du début du sinistre.

Avant la signature de l'arrêté, une commission interministérielle, appelée « commission « Cat.Nat », émet un avis consultatif sur l'intensité anormale de l'agent naturel.

Règlement des sinistres

Dans les dix jours suivant la publication au Journal Officiel de l'arrêté interministériel, l'assuré doit déclarer les dommages matériels causés par la catastrophe naturelle. Le délai est de trente jours pour les pertes d'exploitation. L'assureur doit verser l'indemnité dans un délai de trois mois.

Dispositions pour l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles

Par arrêtés du 5 septembre 2000 du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie (publiés au journal officiel du 5 septembre 2000), certains articles du code des assurances ont été modifiés pour renforcer le lien entre l'indemnisation des dommages résultant des catastrophes naturelles et les mesures de prévention de ces risques. Les dispositions adoptées ont pour objet d'une part l'augmentation des franchises, et d'autre part leur modulation en fonction de la répétitivité des risques naturels survenus et des mesures de prévention prises tendant à les réduire.

Sur ce dernier point, dans une commune non dotée d'un PPR pour le risque faisant l'objet d'un arrêté portant constatation de l'état de catastrophe naturelle, la franchise est modulée en fonction du nombre d'arrêtés pris pour le même risque à compter du 2 février 1995, selon les modalités suivantes :

- **premier et second arrêtés** : application de la franchise
- **troisième arrêté** : doublement de la franchise applicable
- **quatrième arrêté** : triplement de la franchise applicable
- **cinquième arrêté et arrêtés suivants** : quadruplement de la franchise applicable

Ces mesures cessent de s'appliquer à compter de la prescription d'un PPR pour le risque faisant l'objet de l'arrêté portant constatation de l'état de catastrophes naturelles dans la commune

concernée. Elles reprennent leurs effets en l'absence d'approbation du plan précité dans le délai de cinq ans à compter de la prescription correspondante.

2.3.2. Infractions au PPR et sanctions

Toute infraction aux règles définies par le plan de prévention des risques est sanctionnée dans les conditions fixées par l'article 40-5 de la loi du 22 juillet 1987 (modifiée par la loi du 2 février 1995 et transposée notamment dans l'article L.562.5 du code de l'environnement).

Extrait de l'article L.562.5 du code de l'environnement :

« Le fait de construire ou d'aménager un terrain dans une zone interdite par un plan de prévention des risques naturels prévisibles approuvé ou de ne pas respecter les conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation prescrites par ce plan est puni des peines prévues à l'article L.480.4 du Code de l'Urbanisme.

Les dispositions des articles L.460.1, L.480.1, L.480.2, L.480.3, L.480.5 à L.480.9 et L.480.12 et L.480.14 du Code de l'Urbanisme sont également applicables aux infractions visées au premier alinéa du présent article, sous la seule réserve des conditions suivantes :

- 1°) Les infractions sont constatées, en outre, par les fonctionnaires et agents commissionnés à cet effet par l'autorité administrative compétente et assermentés ;*
- 2°) Pour l'application de l'article L.480.5 du code de l'urbanisme, le tribunal statue au vu des observations écrites ou après audition du maire ou du fonctionnaire compétent, même en l'absence d'avis de ces derniers, soit sur la mise en conformité des lieux ou des ouvrages avec les dispositions du plan, soit sur leur rétablissement dans l'état antérieur ;*
- 3°) Le droit de visite prévu à l'article L.460.1 du Code de l'Urbanisme est ouvert aux représentants de l'autorité administrative compétente. »*

2.4. EXPROPRIATION ET MESURE DE SAUVEGARDE

Le PPR n'entraîne aucune mesure d'expropriation. Une procédure d'expropriation indépendante du PPR est prévue par les articles 11 et suivants de la loi du 2 février 1995. Elle vise à régler les situations où le déplacement des populations dont la vie serait menacée s'avère le seul moyen de les mettre en sécurité à un coût acceptable. Cette mesure implique une analyse particulière des risques, car la notion de menace grave pour les vies humaines est fondée sur des critères beaucoup plus restrictifs que ceux qui président à la délimitation du zonage PPR, le plus souvent établis sur la constructibilité ou les usages des sols. **Pour cette raison, le classement en zone « rouge » d'un PPR n'est jamais à lui seul un motif d'expropriation.**

Par contre, des mesures de sauvegarde, et notamment des évacuations temporaires, méritent au moins d'être prises dans les plans de gestion des crises des communes pour les secteurs les plus fortement exposés.

2.5. RESPONSABILITES

2.5.1. Etablissement du PPR

C'est le préfet qui élabore le PPR et peut le modifier ou le réviser.

Extrait de l'article L.562.1 du code de l'environnement :

« I.- L'Etat élabore et met en application des plans de prévention des risques naturels prévisibles tels que les inondations, les mouvements de terrain, les avalanches, les incendies de forêt, les séismes, les éruptions volcaniques, les tempêtes ou les cyclones. »

Extrait de l'article L.562.4.1 du code de l'environnement :

« I. — Le plan de prévention des risques naturels prévisibles peut être révisé selon les formes de son élaboration. Toutefois, lorsque la révision ne porte que sur une partie du territoire couvert par le plan, la concertation, les consultations et l'enquête publique mentionnées à [l'article L. 562-3](#) sont effectuées dans les seules communes sur le territoire desquelles la révision est prescrite.

II. — Le plan de prévention des risques naturels prévisibles peut également être modifié. La procédure de modification est utilisée à condition que la modification envisagée ne porte pas atteinte à l'économie générale du plan. Le dernier alinéa de l'article L. 562-3 n'est pas applicable à la modification. Au lieu et place de l'enquête publique, le projet de modification et l'exposé de ses motifs sont portés à la connaissance du public en vue de permettre à ce dernier de formuler des observations pendant le délai d'un mois précédant l'approbation par le préfet de la modification. »

2.5.2. Autorisation d'occuper le sol

En l'absence de Plan d'Occupation des Sols (POS) ou de Plan Local d'Urbanisme (PLU), le maire délivre les autorisations au nom de l'Etat (sauf cas particuliers). Si un POS ou un PLU a été approuvé, le maire délivre les autorisations au nom de la commune.

En application de **l'article R.111.2 du Code de l'Urbanisme**, si les constructions sont de nature à porter atteinte à la sécurité publique, l'autorité administrative peut refuser le permis de construire ou l'assortir de prescriptions spéciales. Cette disposition est notamment valable soit en l'absence de PPR, soit encore pour tenir compte de risques qui n'étaient pas pris en compte par le PPR approuvé et dont la connaissance a été acquise ultérieurement.

La responsabilité individuelle du constructeur peut, bien évidemment, être mise en œuvre en cas de contentieux administratif ou pénal, s'il n'a pas sollicité les autorisations de construire ou n'a pas respecté les prescriptions du PPR.

3. Présentation de la commune

3.1. CONTEXTE DE LA ZONE D'ETUDE

3.1.1. Situation géographique

Sainte-Suzanne, se situe dans le Nord Est de l'île de La Réunion, sur les pentes externes ainsi que sur la bordure littorale du massif volcanique ancien du Piton des Neiges. Cette commune s'étend sur une superficie de 58.84 km², soit moins de 2.3 % de la surface totale de l'île de la Réunion.



Figure 1 - Délimitation du territoire communal de Sainte-Suzanne (Fond ©IGN scan100®-2010)

Avec 23 068 habitants recensés en 2015 et une densité de 398 habitants par km², la ville de Sainte-Suzanne a subi une augmentation de sa population de l'ordre de 126.8 % depuis 1961, soit une augmentation d'environ 153 habitants par année. Cette tendance est relativement stable sur les 50 dernières années bien qu'elle ait connu une légère accélération dans les années 1990. Le territoire de Sainte-Suzanne s'étend selon un axe Nord-Est / Sud-Ouest, entre le littoral et le massif du Grand Plate (1328 m d'altitude) à l'extrémité occidentale ; point culminant du territoire communal ; et de part et d'autre de la ravine des Chèvres à l'Ouest et de La Grande Rivière Saint-Jean à l'Est.

La commune de Sainte-Suzanne est limitrophe avec les communes de Sainte-Marie sur sa bordure Ouest, de Salazie à sa pointe Sud-Ouest et de Saint-André sur sa bordure Est (Figure 1).

Sainte-Suzanne est incluse au sein de la communauté intercommunale du Nord de la Réunion (CINOR).

3.1.2. Contexte géologique

Sainte-Suzanne se situe sur le flanc Nord Est du massif du Piton des Neiges (situé au Sud-Ouest de la commune).

L'édification du Piton des Neiges a commencé il y a plus de 2,2 millions d'années. Elle s'est poursuivie jusqu'à une période très récente, estimée entre 31 000 et 12 000 ans (Gillot and Nativel, 1982; Kluska, 1997). Cette édification s'est faite en plusieurs phases d'activité volcanique, regroupées classiquement en 4 phases (G. Billard, 1974). Les phases anciennes 1 et 2 correspondent à la série des Océanites et les phases 3 et 4 à la série des laves différenciées.

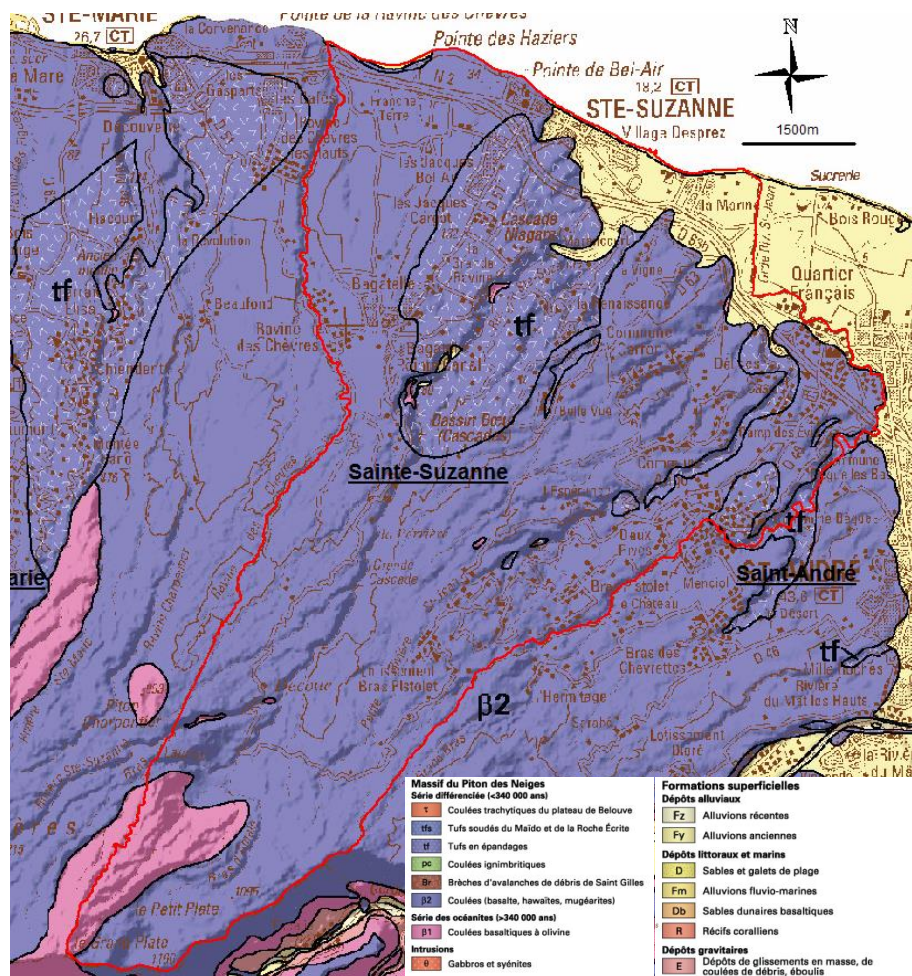


Figure 2 - Carte géologique de la commune de Sainte-Suzanne (source : Bachelery, Mairine, Nehlig, Odon et al., 2006. BRGM, FEDER, Région Réunion, Univ. de La Réunion)

Comme le montre la Figure 2, les littoraux du secteur Est sont majoritairement formés de dépôts caractéristiques de formations superficielles d'origine détritico. On identifie notamment :

- **Les alluvions fluviomarines (Fm)**

Ces alluvions sont constituées de sables et galets de plage provenant du remaniement d'alluvions fluviales, et se retrouvent sur de minces bandes côtières. Sur le territoire de Sainte-Suzanne, on les retrouve notamment sur tout le littoral de l'Est de la commune.

- **Les sables et galets de plage**

Ces dépôts sont présents sur toute la longueur du trait de côte communal. On note dans la constitution de ces formations une dominante de sables et galets volcaniques.

- **Des alluvions limoneuses anciennes (Fy)**

Ces alluvions sont riches en sables qui alternent avec des alluvions gravo-limoneuses provenant de l'érosion des sols. La granulométrie des formations rencontrées à Sainte-Suzanne sont globalement comparables à celles rencontrées dans les alluvions limoneuses récentes.

Le secteur Ouest est une portion de côte qui est constituée de falaises mixtes (lahars coiffés par une coulée basaltique) d'une hauteur allant jusqu'à 30 m.

3.1.3. Contexte géomorphologique littoral

Généralités

La morphologie globale de Sainte-Suzanne correspond à celle d'une planèze où l'altitude augmente régulièrement du Nord-Est vers le Sud-Ouest.

La planèze est incisée par un réseau de ravines et de rivières. Les ravines incisent les flancs des deux massifs. Ces ravines contribuent par ailleurs en période d'écoulement aux apports terrigènes (alluvions/colluvions) qui vont être remobilisés tout le long du littoral. Les principales ravines présentes sur le territoire de Sainte-Suzanne et se jetant en mer, sont du Nord au Sud :

- Ravine des Chèvres
- Ravine du Grand Hazier
- Rivière Sainte-Suzanne
- Grande rivière Saint-Jean

Leur emplacement et la localisation de leur exutoire est présenté en Figure 3.

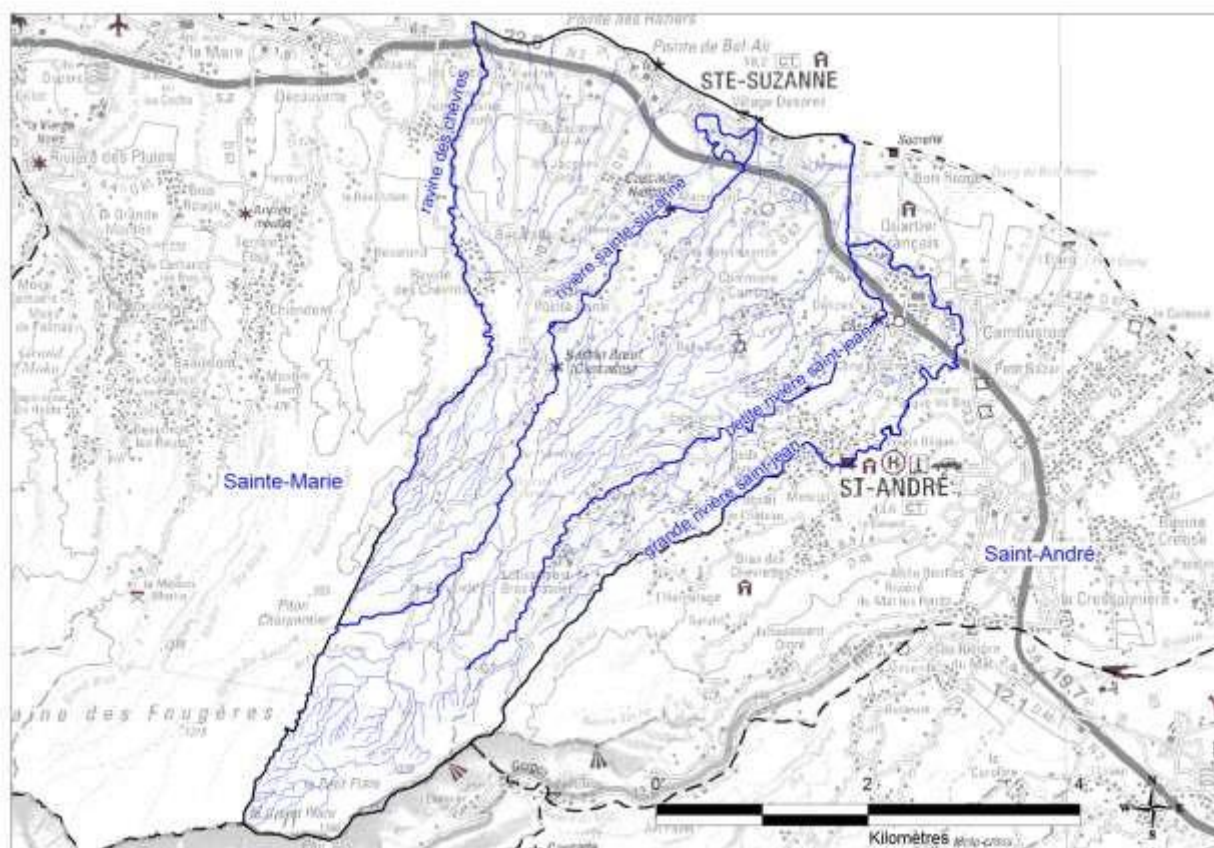


Figure 3 - Réseau hydrographique des bas de Sainte-Suzanne

Le secteur littoral est principalement occupé à l'Ouest par d'anciennes plaines alluviales, notamment au niveau des quartiers de la Marine et du centre-ville. Du fait de l'origine de ces terrains, ils sont associés à des altitudes basses et des pentes faibles.

Le front du littoral est quant à lui constitué de formations alluvionnaires fluviomarins.

Faciès littoraux et dynamiques sédimentaires

Le littoral de Sainte-Suzanne, long de 6 km, est complexe de par les dynamiques que l'on y rencontre. Il est découpé en deux secteurs au fonctionnement distinct, avec du Sud au Nord (sens de la dérive littorale) :

- Le littoral du quartier de la marine et du centre-ville est composé d'un cordon de galets cyclopéens exposé principalement aux houles d'alizés de secteur Est et plus ponctuellement aux houles cycloniques. Ce cordon peut être localement surmonté d'un talus de formations superficielles en haut de plage. Les plages présentent une morphologie longitudinale en barres asymétriques rythmiques (« croissant de plage asymétriques ») qui suggèrent un transit sédimentaire vers le nord-ouest. Ce transit est dû à la dérive littorale engendrée par les houles d'alizés. L'étude Morpholit3 (BLANGY A., DE LA TORRE Y. et VASLET E., 2009) révèle au droit du secteur du centre-ville une rupture de pente dans la zone de déferlement des vagues. Des relevés topo-bathymétriques ont permis de mesurer sur la plage émergée qui présente des pentes importantes (proche de 20%) alors que la partie immergée présente une pente faible (se rapprochant des 2%).
- Les quartiers de la marine et du centre-ville sont séparés par deux jetées d'enrochements qui délimitent l'exutoire de la rivière Sainte-Suzanne. Cet aménagement ne fait pas apparaître de déficit en centre-ville. Le transit sédimentaire qui est guidé par la dérive littorale (flux d'Est en Ouest) est bloqué par l'aménagement ce qui provoque une accumulation de matériaux contre la jetée Est. Le flux sédimentaire est retenu par cet aménagement et pourrait amener à moyen terme à une saturation de l'ouvrage (Figure 4).

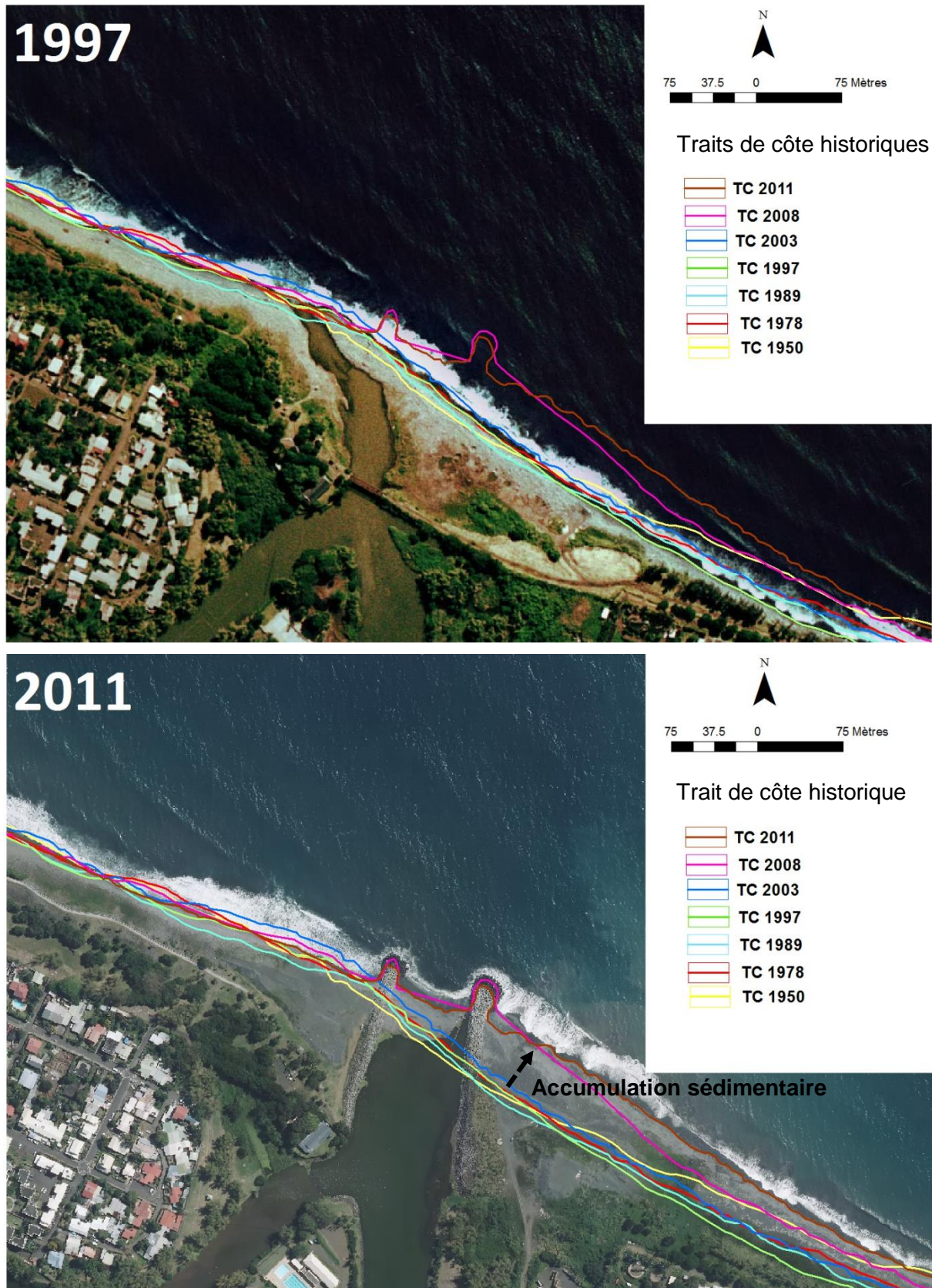


Figure 4 - Impact de la jetée de la rivière Sainte-Suzanne sur les flux sédimentaires (Fond : Orthophotographie ©IGN 1997 et 2012)

- Plusieurs stocks sédimentaires sont rechargés artificiellement à l'arrière du cordon mais compte tenu de la distance qu'il y a entre la mer et ces dépôts de galets, il est fort

probable qu'ils ne soient mobilisables que lors d'évènements extrêmes. En arrière des plages les premiers aménagements sont situés entre 30 et 70 mètres du rivage dans le secteur proche de l'estuaire de la rivière Sainte-Suzanne.

- Le secteur situé à l'Ouest du centre-ville présente des falaises hautes qui sont surmontées de parcelles agricoles. Comme le reste du littoral de la commune le site est principalement exposé aux houles d'alizés qui induisent le transit sédimentaire du cordon de galets. Moins fréquentes mais beaucoup plus fortes, les houles cycloniques sont responsables de l'érosion (sapement en pied) des falaises et de la microfalaise quand elle existe.



Figure 5 - Photographie falaise à Sainte-Suzanne, Avril 2013 (THIRARD G., BRGM)

Une synthèse de l'ensemble des types de côte du littoral de la commune de Sainte-Suzanne sont présentés en Figure 6.

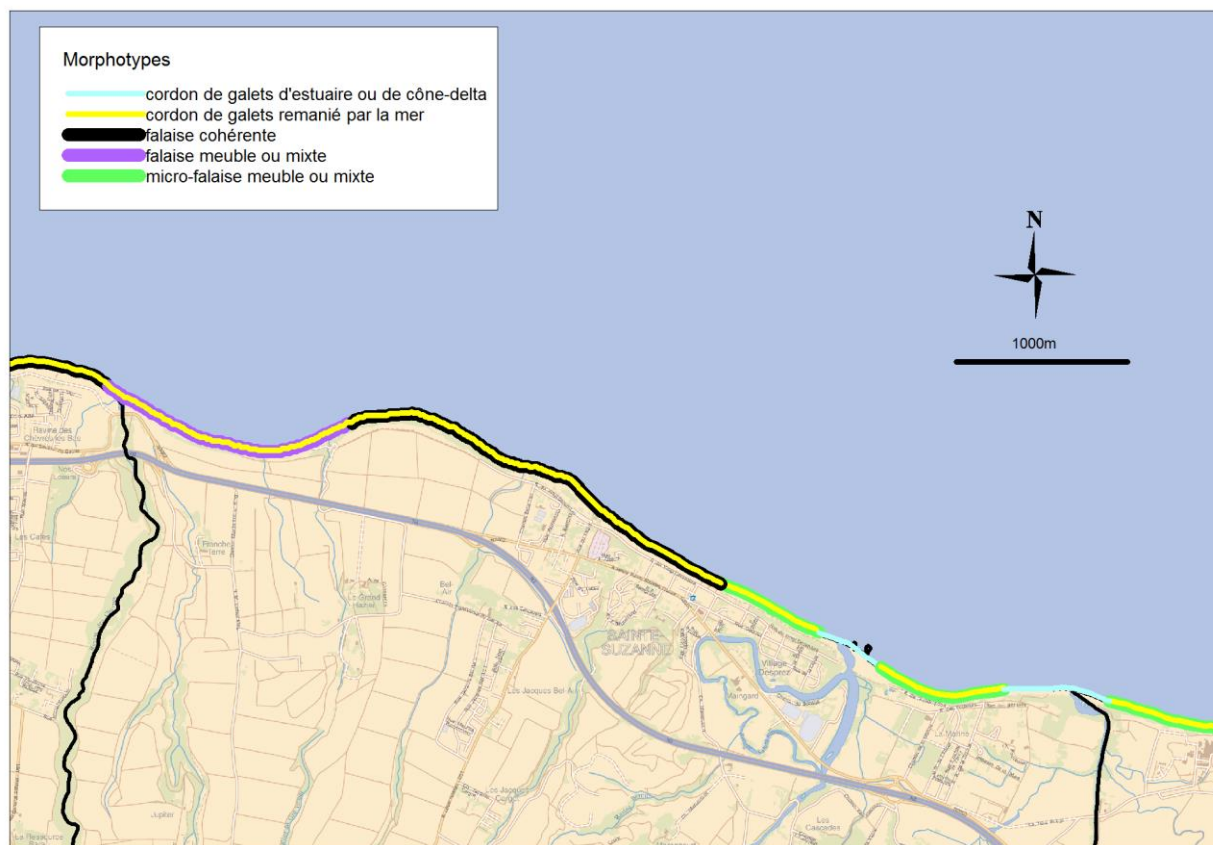


Figure 6 - Carte des types de côtes du littoral de la commune de Sainte-Suzanne (source : Morpholit3, 2009)

Le fonctionnement hydro-morpho-sédimentaire du littoral de Sainte-Suzanne est lié aux apports terrigènes liés aux écoulements terrestres et au transit sédimentaire côtier.

3.1.4. Contexte climatique

Vent

A La Réunion, les vents dominants proviennent du secteur Est-Sud-Est (alizés), avec toutefois des variations saisonnières et localisées selon les facteurs orographiques et thermiques. Situé au Nord-Est de l'île, Sainte-Suzanne est soumise à l'alizée et se retrouve partiellement « au vent ». En effet la commune reste moins exposée que les communes exposées plein Est. Ce territoire est donc directement exposé au flux d'Est qui affecte l'île mais également aux brises diurnes (vent soufflant de la mer vers la terre) de secteur Est. Ces vents sont liés au rééquilibrage des contrastes thermiques existants entre terre et mer.

Pluviométrie

L'île de la Réunion est soumise à un régime d'alizés de Sud-Est. Durant l'hiver austral (mai à novembre), le courant d'alizé est généralement stable, induisant un temps relativement frais et sec. A l'inverse, pendant l'été austral, le déplacement vers le Sud de la zone de basses pressions intertropicales et l'éloignement de l'anticyclone de l'océan Indien affaiblissent les alizés et induisent un temps chaud, humide et pluvieux. C'est pendant cette saison que peuvent se former des dépressions, tempêtes et cyclones tropicaux.

Une des conséquences de cette situation est une pluviométrie exceptionnellement intense à La Réunion : l'île détient les records mondiaux de pluviométrie cumulée pour des durées allant de 3 h (500 mm) à 12 jours (6 000 mm).

Situé sur la côte « au vent », Sainte-Suzanne affiche des valeurs de pluviométrie plus importantes que les territoires de la côte « sous le vent ». Les précipitations moyennes annuelles dans le secteur avoisinent les 2 000 mm annuels sur le littoral (Atlas climatique de La Réunion, Météo France 2010, cf. Figure 7).

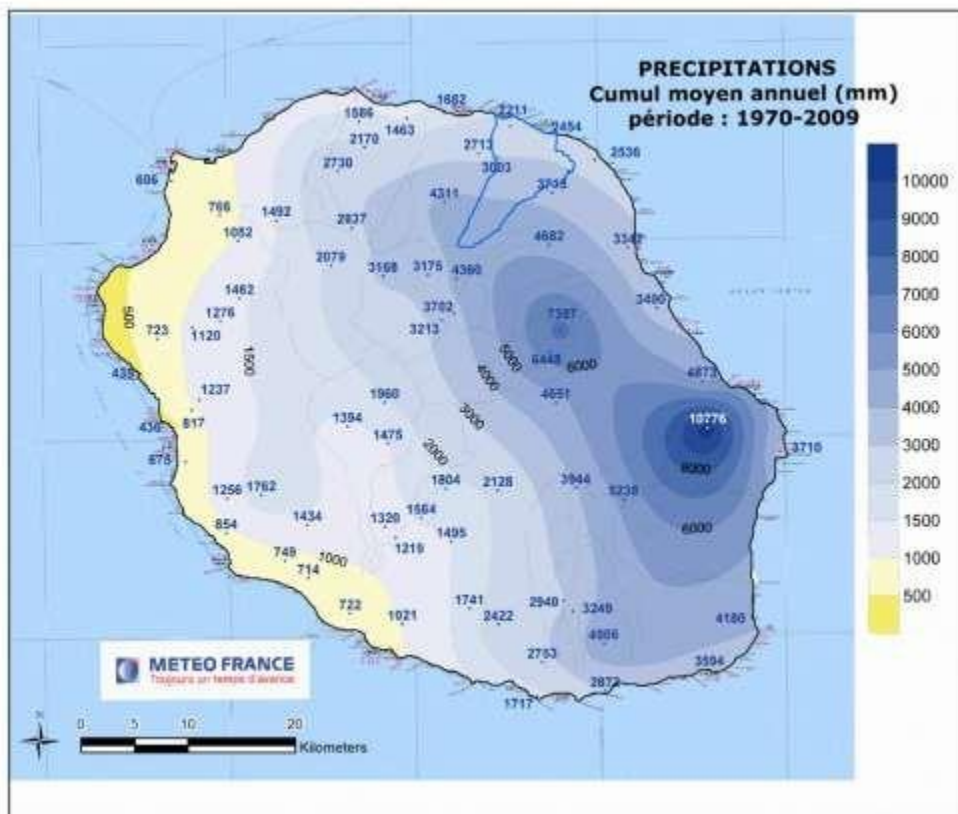


Figure 7 - Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France, 2009)

Météo France Réunion a réalisé une carte de zonage pluviométrique en 2010, tenant compte du relief (Figure 8), qui qualifie les secteurs soumis à un régime pluviométrique similaire à proche. La commune de Sainte-Suzanne est concernée par les régions 3 et 5 :

- La région 3 regroupe les Hauts de Sainte-Suzanne et le cirque de Salazie ;
- La région 5 correspond à la région Nord Est, soit les secteurs de planèzes des communes de Sainte-Suzanne, Saint-Benoit et Saint-André. Elle bénéficie de précipitations constantes sur l'ensemble de l'année avec une augmentation marquée pendant la saison des pluies.

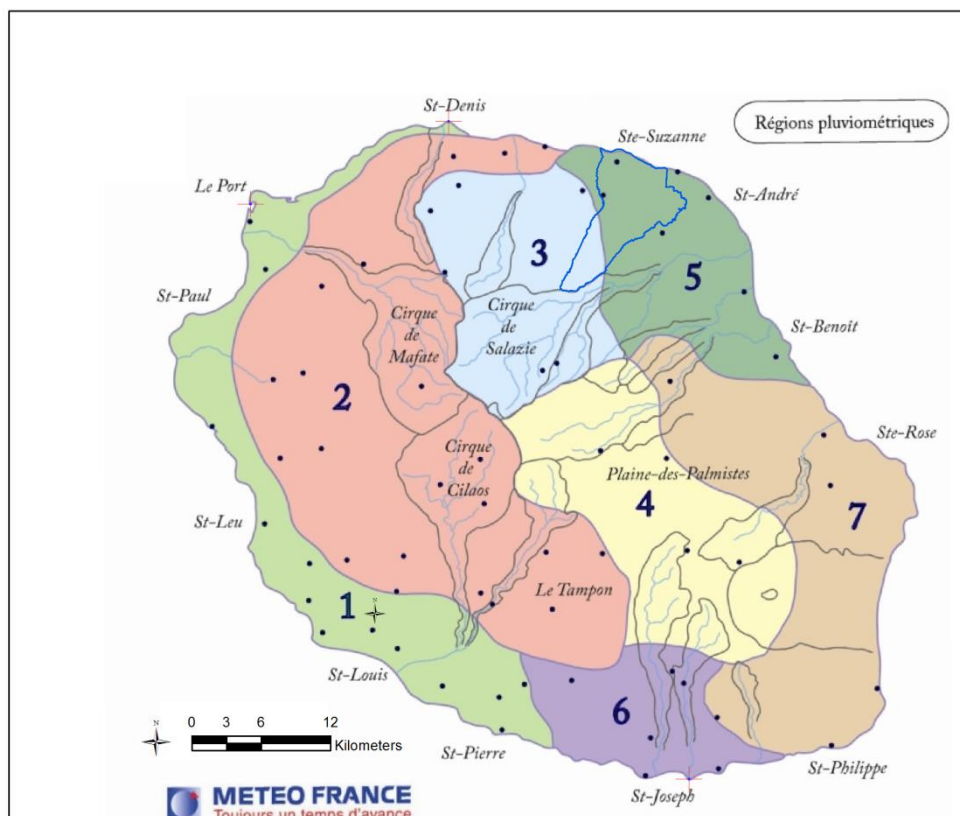


Figure 8 - Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)

Concernant les stations météorologiques, quatre stations sont installées aujourd'hui sur le territoire de Sainte-Suzanne. Toutefois, manquant de donnée dans les Hauts, et vu le zonage pluviométrique au droit de la commune de Sainte-Suzanne (Figure 9), les données pluviométriques de la station Beaumont Plaines des Fougères (Sainte-Marie), actuellement suivies par Météo France, permettra de compléter l'information pluviométrique sur les Hauts de la commune.

Ainsi nous utiliserons les données des stations météorologiques suivantes :

- Le Grand-Hazier (commune de Sainte Suzanne, altitude : 72 m, installée en 1953) ;
- Trois Frères (commune de Saine Suzanne, altitude : 30 m, installée en 1953) ;
- Bois Rouge (commune de Saine Suzanne, altitude : 10 m, installée en 1952) ;
- Menciol (commune de Saine Suzanne, altitude : 175 m, installée en 1961) ;

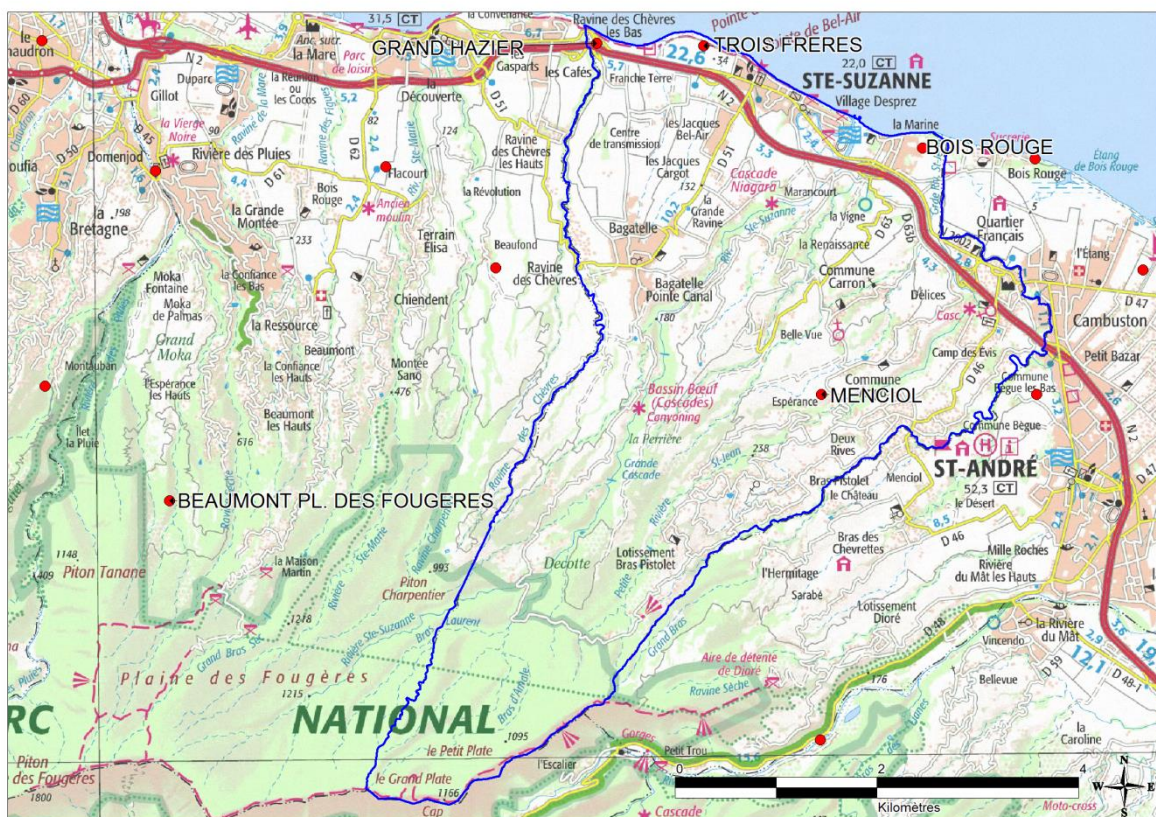


Figure 9 - Localisation des stations météo (en rouge) sur le secteur de Sainte-Suzanne (©IGN Scan100® - 2010)

Le GEDC (Guide d'Estimation des Débits de Crues de La Réunion de 1992), propose, à partir d'une analyse statistique, des valeurs de pluies journalières décennales et centennales pour les stations suivies avec respectivement plus de 10 et 25 ans de mesures.

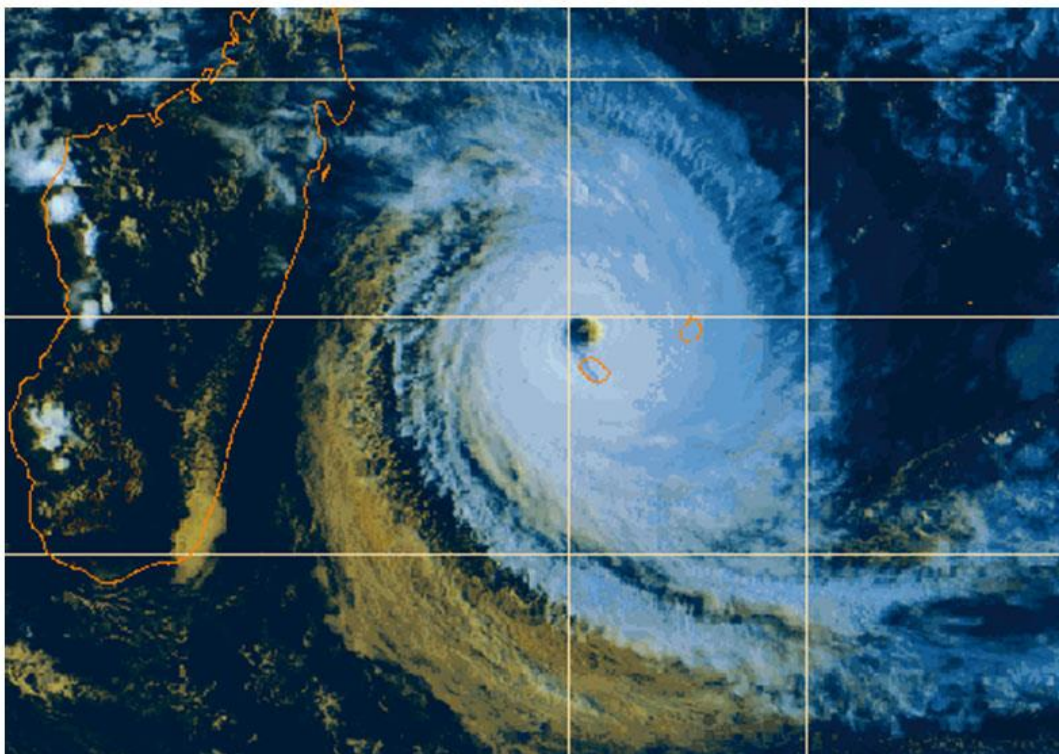
Les valeurs caractéristiques sont les suivantes pour quelques stations représentatives de Sainte-Suzanne :

| Nom station | Altitude | Pluie Journalière Décennale (PJ ₁₀ en mm) | Pluie Journalière Centennale (PJ ₁₀₀ en mm) |
|-----------------|----------|--|--|
| Le Grand-Hazier | 72 | 257 | 411.2 |
| Trois Frères | 30 | 262 | 419.2 |
| Bois Rouge | 10 | 255 | 408 |
| Mencilol | 175 | 362 | 579.2 |

Tableau 2 : Précipitations journalières décennales et centennales issues du Guide d'Estimation des Débits de Crues de La Réunion 1992 (en mm)

Les cyclones tropicaux

L'île de La Réunion est soumise à l'importante influence cyclonique affectant le Sud-ouest de l'Océan Indien. Chaque année, de novembre à avril, la saison cyclonique apporte son lot de dépressions venant de l'Est. Les trajectoires les plus pénalisantes en termes de houle cyclonique diffèrent selon la façade que l'on considère. Généralement, les cyclones arrivent du Nord-est de l'île avec une trajectoire zonale Est-Ouest puis s'orientent vers le Sud-ouest en passant soit par l'Ouest (tels que Dina et Gamède, cf. Figure 10 et Figure 11), soit par l'Est de La Réunion.



*Figure 10 - Le cyclone Dina passant au plus près de La Réunion (21 janvier 2002, Météo-France)
L'œil est passé à peine à 30 km des côtes, le scénario est donc majorant puisque la côte Nord de l'île passe dans le rayon de vent maximum (Rm). La vitesse maximale (Vmax) a dépassé largement les 200 km/h et les vagues ont atteint les 15 m par endroit.*

Lors de la saison cyclonique, l'île vit au rythme des cyclones et des alertes qui lui sont associées. Bien qu'une solide politique publique de prévention soit en place sur l'île, le caractère imprévisible de la trajectoire des cyclones peut rendre difficile la gestion des risques. A La Réunion, le dernier cyclone à avoir impacté la quasi-totalité de l'île reste Gamède (février 2007), et ce en contournant La Réunion par le Nord-ouest. La difficulté de prévision de sa trajectoire s'est par ailleurs fait ressentir. Après être passé au Nord de l'île, ce dernier est en effet resté stationnaire plusieurs jours avant de se rapprocher de nouveau de l'île, générant de fortes précipitations, un important vent de Nord-Ouest et une houle destructrice en continu sur les façades Nord et Ouest.

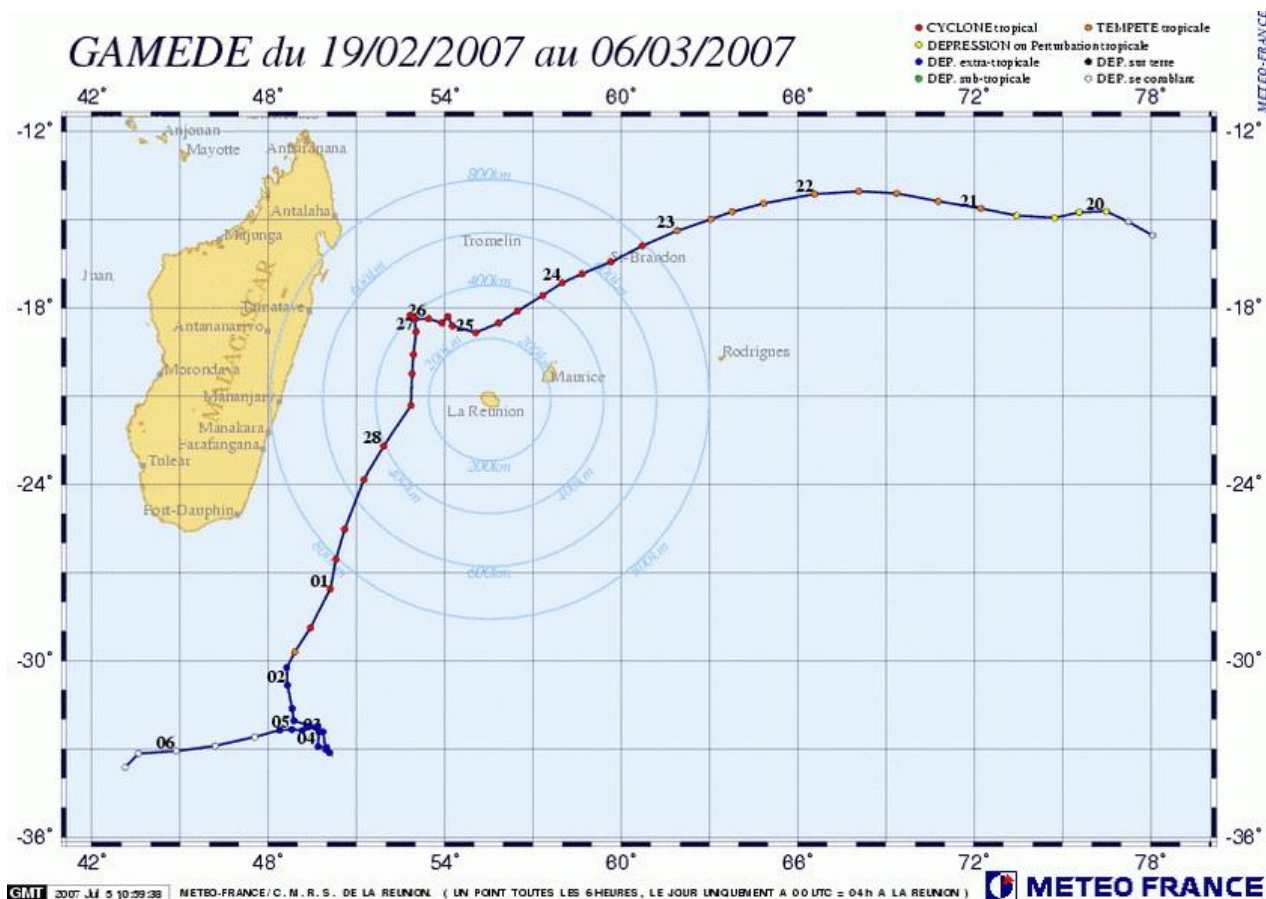


Figure 11 - Trajectoire du cyclone tropical Gamède de 2007 (Météo-France, 2008)

Une configuration comparable s’est produite lors du cyclone Hyacinthe en 1980, dont la trajectoire a décrit des boucles autour de La Réunion durant plus de 10 jours entre les 17 et 28 janvier. Ces deux cyclones ont battu plusieurs records mondiaux de précipitations.

Historiquement, d’autres cyclones ont lourdement impacté l’île de La Réunion et parfois bien plus que Gamède et Hyacinthe. Ce fut par exemple le cas des cyclones de 1948 et de 1962, tuant respectivement 165 et 37 personnes. Ces chiffres s’expliquent de trois manières :

- une politique de prévention quasiment inexistante à l’époque ;
- un habitat majoritairement précaire (cases en « bois sous tôle ») ;
- une absence de connaissance des risques entraînant une installation dans des zones fortement vulnérables aux différents aléas liés au passage d’un cyclone (fond de ravine, bord de mer, bord de rempart, etc...).

Depuis, un système d’alerte cyclonique et des normes de construction anticycloniques ont été mis en place. Cependant, bien que les constructions soient de plus en plus solides, il n’existe aucune obligation de respecter ces règles en dehors du domaine des constructions recevant du public. Les effets de cette consolidation progressive du parc immobilier réunionnais se fait malgré tout quelque peu ressentir ces dernières décennies, bien que des cyclones tels que Clotilda (1987), Firinga (1989), Dina (2002), Gamède (2007), ou Bėjisa (2014) aient engendré des dégâts considérables sur les biens et les personnes. Les événements les plus récents tels que les tempêtes tropicales de 2018, Berguita et Fakir montrent bien encore une fois la vulnérabilité du territoire face à ces phénomènes

Les houles australes

La commune de Sainte-Suzanne n'est soumise qu'à l'influence cyclonique estivale et n'est en revanche pas concernée par les risques hivernaux et la survenue des grandes houles australes de Sud-Ouest (cf. Figure 12).

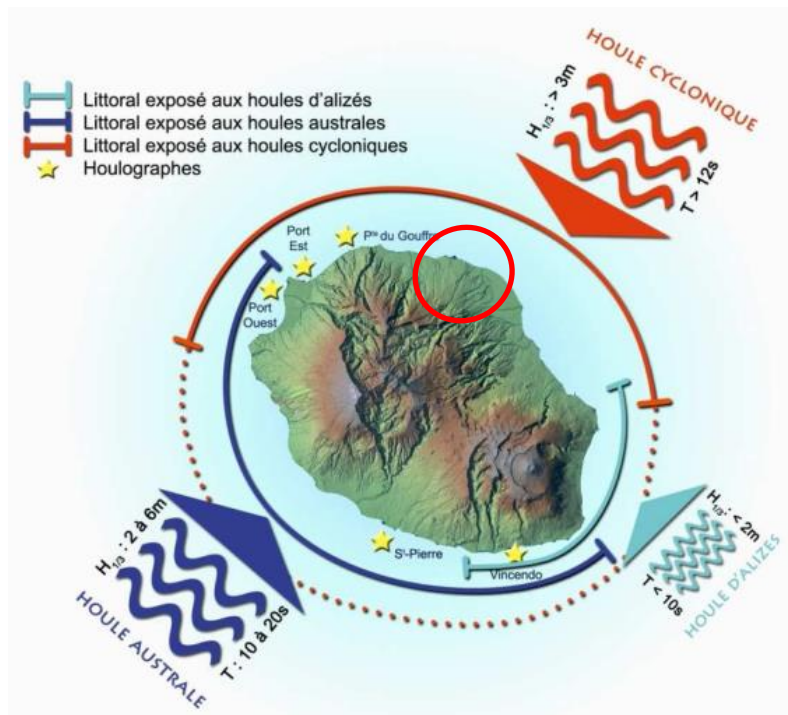
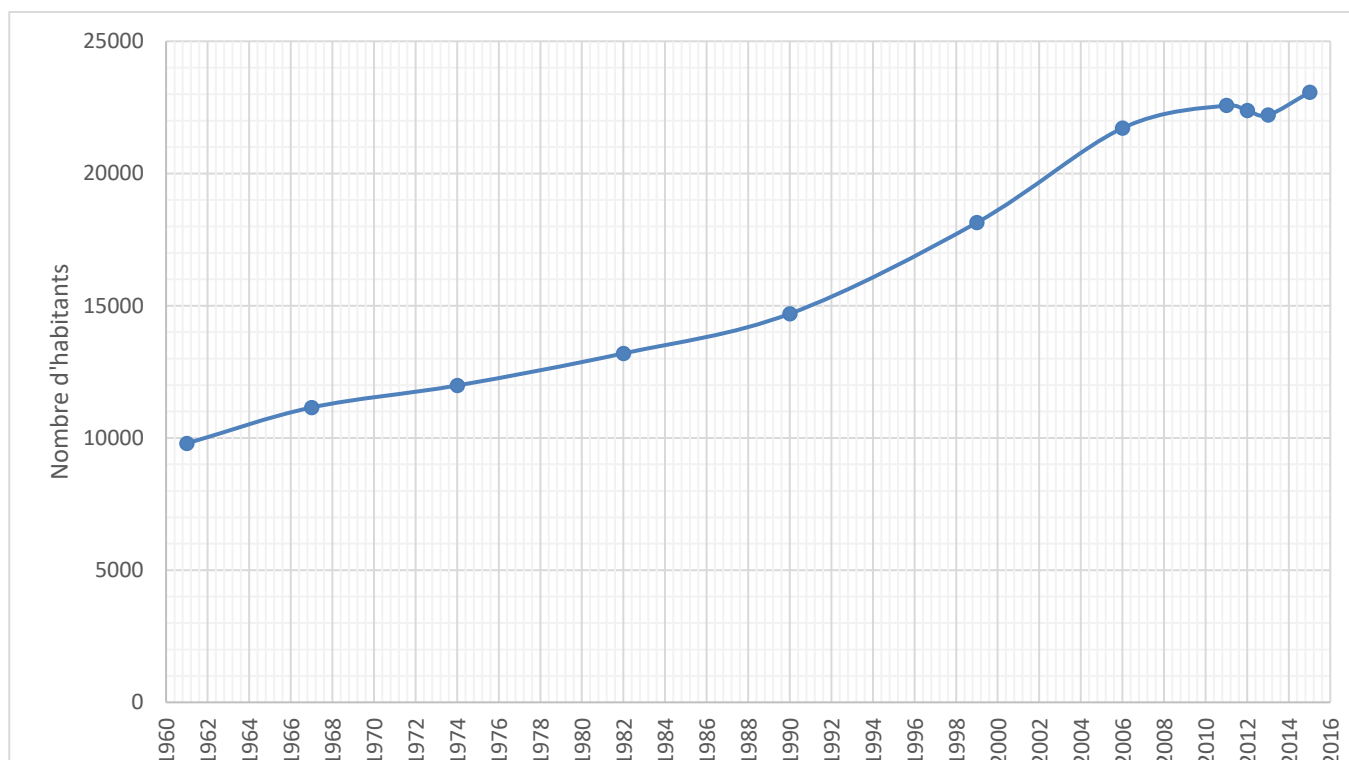


Figure 12 - Les différents régimes de houle à La Réunion (Météo France, 2009).

3.2. ENJEUX ET VULNERABILITE

Sainte-Suzanne a connu une régulière augmentation de sa population depuis 1961. En 53 ans, l'accroissement démographique s'élève à 153 habitants par an en moyenne (Figure 13).



| | 1961 | 1967 | 1974 | 1982 | 1990 | 1999 | 2006 | 2011 | 2012 | 2013 | 2015 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Population | 9794 | 11151 | 11984 | 13196 | 14695 | 18144 | 21714 | 22574 | 22388 | 22209 | 23068 |
| Densité Moyenne (hab/ km ²) | 166.5 | 189.5 | 203.7 | 224.3 | 249.7 | 308.4 | 369.0 | 383.7 | 380.5 | 377.4 | 398.8 |

Figure 13 - Evolution de la population de la commune de Sainte-Suzanne (1961-2015 ; source : INSEE)

La densité de population lors du recensement de 2015 était de 398.8 hab. /km² à Sainte-Suzanne contre une moyenne de 337.1 hab. /km² sur l'ensemble de l'île de La Réunion.

Le parc de logement s'établissait en 2015 à 8718 unités (constitué à 92.5% de résidences principales), soit une augmentation de 38 % depuis le recensement de 1999, illustrant une forte pression foncière existant sur la commune de Sainte-Suzanne.

Cette pression urbaine est particulièrement visible sur le centre-ville (cf. Figure 14). Les quartiers littoraux ont connu une croissance urbaine considérable à partir des années 1960. Historiquement, le bord de mer a été l'un des premiers territoires colonisés à Sainte-Suzanne, l'évolution urbaine ayant plutôt une dynamique de densification et d'étalement vers l'arrière-côte. Cette forte croissance n'est pas sans poser la question de l'exposition aux risques pour les populations concernées et récemment implantées.



Figure 14 - Evolution de l'urbanisation du centre-ville de Sainte-Suzanne entre 1950 et 2012

Outre le bâti, les principaux enjeux répertoriés sont les suivants :

- les services de sécurité et de secours (gendarmerie, caserne de pompiers, cliniques et hôpitaux) ;
- les espaces communaux, les Z.A.C., les zones d'insalubrité (R.H.I.) ;
- les voies de circulation (R.N.2, D.51, D.63.) ;

- le réseau d'Adduction d'Eau Potable (captages, stations de traitement) ;
- les établissements d'enseignement (écoles, collèges, lycées) ;
- les bâtiments administratifs (mairie principale et mairies annexes) ;
- les autres établissements recevant du public (crèche, bibliothèque, équipements sportifs) ;
- les zones agricoles et naturelles.

Les principaux enjeux autres que le bâti sont reportés sur la carte présentée en annexe 5 de ce dossier. Un extrait de cette carte est présenté en Figure 15 - Extrait de la cartographie des enjeux du littoral de la commune de Sainte-Suzanne (Annexe 5).

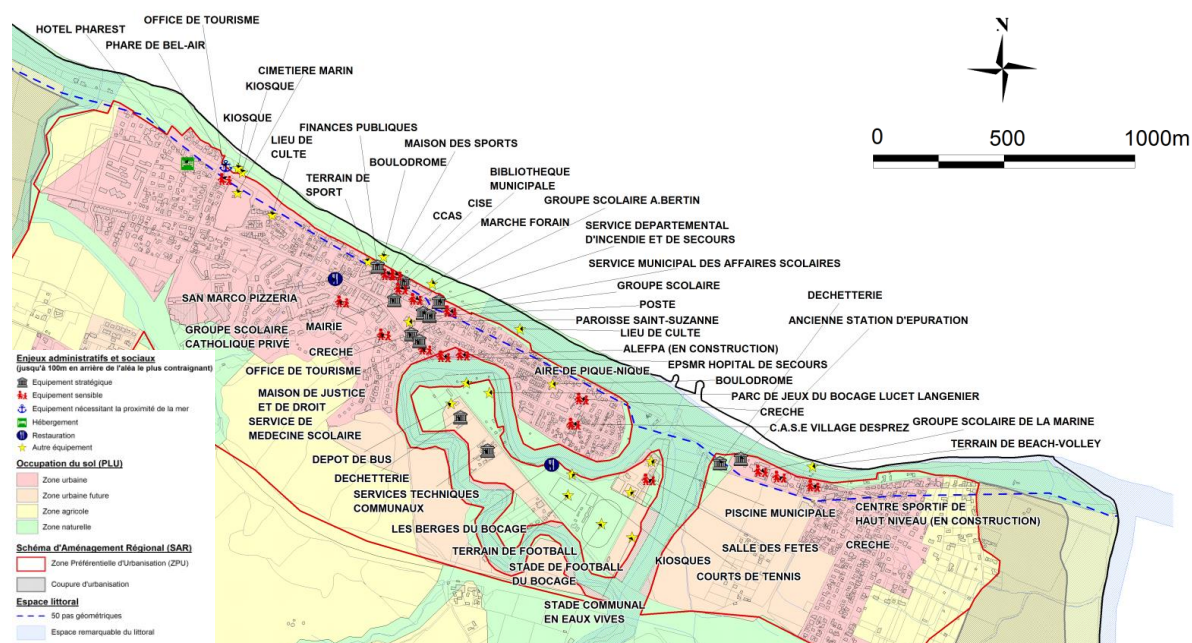


Figure 15 - Extrait de la cartographie des enjeux du littoral de la commune de Sainte-Suzanne (Annexe 5)

4. Historicité et caractérisation des phénomènes naturels

4.1. PHENOMENES HISTORIQUES

L'ensemble des évènements recensés ayant affecté par le passé le territoire communal de Sainte-Suzanne est reporté en annexes 1 et 3 (cartes des phénomènes historiques érosion et submersion marine). Cette connaissance historique est principalement issue de l'analyse d'archives, notamment de la revue de presse de la DDE « Sainte-Suzanne dans la tourmente », d'articles de journaux et d'enquêtes de terrain réalisées en mai 2013. Quelques éléments sur les évènements sont donnés ci-après (Rapport BRGM/RP-63288-FR¹) :

Cyclone de Janvier 1845

« La mer a été affreuse pendant 3 jours, des vagues énormes n'ont cessé de déferler avec violence sur toute la côte et dans plusieurs localités, notamment à Sainte-Suzanne, elles ont envahi des parties du rivage où de mémoire d'homme, elles n'étaient jamais parvenues » Rapport au Directeur de l'Intérieur, 7 janvier 1845

Cyclone de Janvier 1858

« Cependant, la violence de la mer a été telle sous l'influence des vents du Nord que le Pont de Batelage de M.Crémazy a été entièrement détruit, ayant entraîné dans sa chute un magasin en bois auxiliaire qui servait de dépôt, pendant le jour, aux sucres que l'on embarquait » Rapport au Directeur de l'Intérieur, 18 janvier 1858

Cyclone de Mars 1904 :

« le raz de marée existe de la Possession à Sainte-Rose, les lames deviennent de plus en plus énormes, et menacent de tout enlever bientôt si elles grossissent encore. »

« Un grand nombre d'immeubles ont été fortement endommagés, les cases des indigents balayées soit par l'ouragan, et celles qui étaient non-loin de la mer par les vagues qui, terribles, sont entrées à plus de 200 m de leur limite ordinaire... De la demeure du gérant de l'établissement « Trois Frères », appartenant au Crédit Foncier, il ne reste plus que les quatre murs. Les meubles ont été broyés, lui-même a été blessé par des galets tombés du faite. Pour sauver son existence et celle de sa famille, il a dû se réfugier sous une table qu'il avait recouverte de ses matelas... L'église du Quartier-Français est lamentablement déchiquetée, la toiture en zinc de l'église de Sainte-Suzanne a été lancée à une très grande distance et la trombe d'eau a complètement détérioré l'autel et les vêtements sacerdotaux... La ligne du chemin de fer depuis Sainte-Suzanne jusqu'à la ravine est détruite, les rails broyés sont jetés dans le talus opposé à la mer » Le journal de l'île de la Réunion, 26 mars 1904

¹ REY A., Vincent C. (2014) – Plan de Prévention des Risques Naturels de Sainte-Suzanne. Note méthodologique explicative pour l'élaboration des cartes d'aléas mouvements de terrain et inondation. Rapport final. BRGM/RP-63288-FR, 90p., 15 fig., 9tabl., 4ann..

« La ligne de chemin de fer depuis Sainte-Suzanne jusqu'à la Marine est détruite, les rails broyés sont jetés dans le talus opposé à la mer. La circulation est donc interrompue pendant longtemps ». Le JIR, 26 mars 1904

Cyclone de Février 1923

« Débordement de la Rivière Sainte-Suzanne. La route nationale a été envahie par l'eau sur 300m et atteint 80cm à divers endroits. »

Rapport de gendarmerie, 20 février 1923

Cyclone DENISE 1966

« Le village Desprez était entièrement envahi par les eaux. »

JIR, 11 Janvier 1966

Cyclone FIRINGA 1989

« La mer était tellement agitée dans l'Est qu'à Sainte-Suzanne l'écume jaunâtre atteignait les maisons situées sur le littoral » (Firinga), Le Quotidien, 31 Janvier 1989

Cyclone COLINA 1993

« Une famille située derrière la mairie (...) a été évacuée d'urgence. La mer menaçait d'envahir cette habitation » (Colina), Le journal de l'île de la Réunion, 20 Janvier 1993

« Mardi, vers midi, la forte houle a sauté le mince muret qui sépare la mer de la terre, inondant les services techniques de la mairie et les quelques locaux situés à proximité. Sur le rivage, de nombreux détritiques s'amassent sous les arbres » (Colina), Le Quotidien, 21 Janvier 1993

« On a surtout des dégâts avec les animaux. Les poules, les canetons et parfois même les cabris ont été emportés par la houle. Il y a au moins 40 ans qu'on n'avait pas vu autant d'eau. » (Colina) Le Journal de l'île de la Réunion, 21 janvier 1993

Cyclone DINA 2002

« "Mini raz-de-marée à Sainte-Suzanne" : au lendemain du passage de Dina sur notre île, le 24 janvier 2002, un article du Quotidien revenait sur les dégâts occasionnés sur le littoral de cette commune de l'Est par une série de vagues d'une puissance inhabituelle. Thierry Mangala, locataire de l'immeuble le plus affecté par la lame de mer était aux premières loges, ce 22 janvier 2002. Muni de son caméscope, il a filmé la colère de l'océan, jusqu'aux premières lames qui ont pénétré dans sa véranda. Tous les appartements du rez-de-chaussée avaient été alors inondés. Ce qui a poussé plusieurs locataires, y compris ceux qui étaient installés à l'étage, à quitter leur appartement après Dina. Depuis, la municipalité a entrepris des travaux de manière à protéger l'immeuble d'une prochaine montée des eaux...Quoi qu'il en soit, de nouvelles habitations ont déjà poussé le long du front de mer de Sainte-Suzanne. Comme cet immeuble qui fait aujourd'hui l'objet d'une suspension du

permis de construire notifiée par le tribunal administratif » Dina, Le Quotidien, 29 janvier 2005

Les évènements survenus sur le littoral de Sainte-Suzanne ont été recensés par une enquête de terrain dont les témoignages ont été réoccupés avec les brochures de presse (Figure 16).

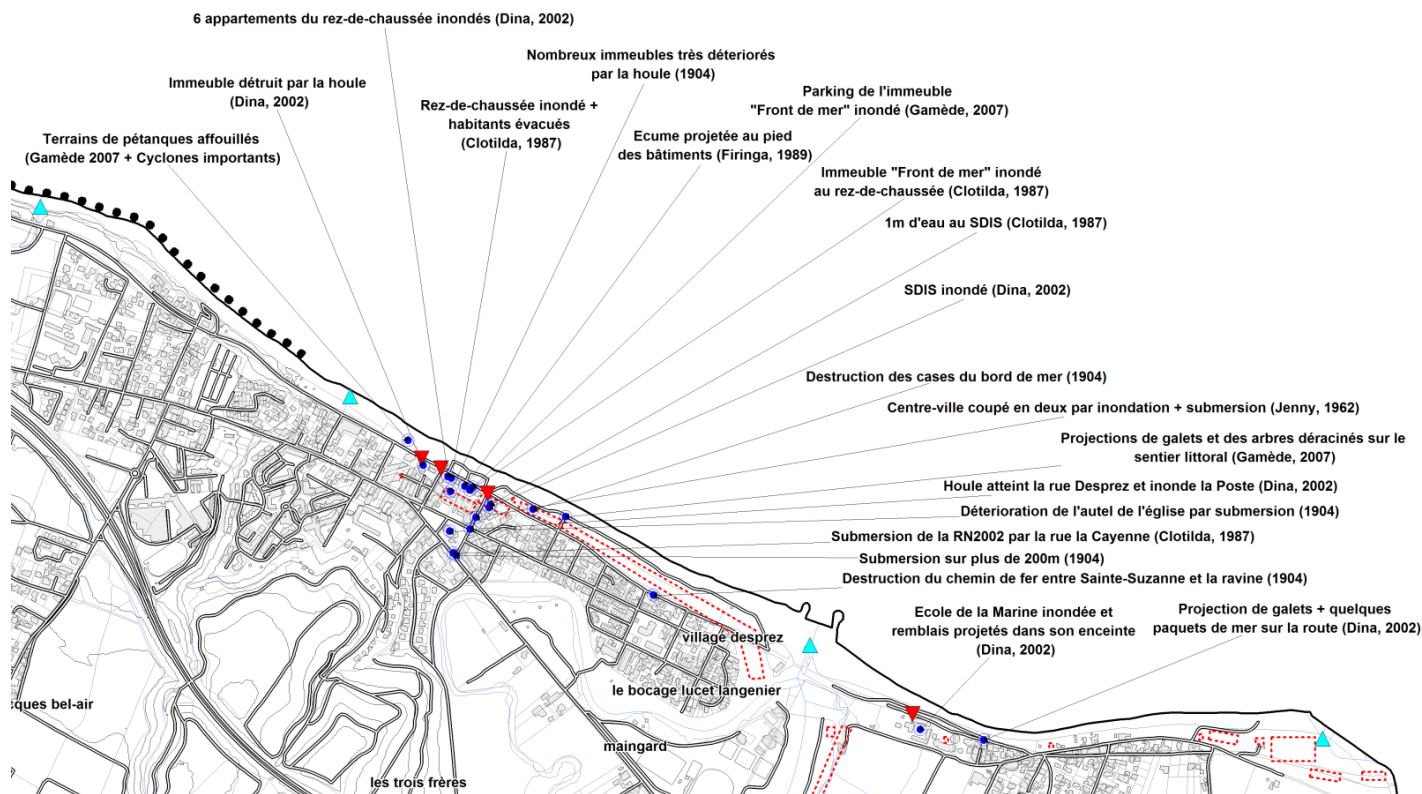


Figure 16 - Extrait de l'annexe 3 « Carte de synthèse des modes de submersion et des données historiques de l'aléa submersion marine » de la commune de Sainte-Suzanne.

4.2. ARRETES DE CATASTROPHES NATURELLES

Depuis 1993, 12 arrêtés de catastrophes naturelles ont été recensés sur la commune. Le tableau ci-après en présente la liste dont 3 imputables aux problématiques littorales. Le tableau ci-après en présente la liste :

| Type de catastrophe | Début le | Fin le | Arrêté du | Sur le JO du |
|---|------------|------------|------------|--------------|
| Inondations, coulées de boue, glissements et chocs mécaniques liés à l'action des vagues | 18/01/1993 | 20/01/1993 | 18/05/1993 | 12/06/1993 |
| Inondations et coulées de boue | 12/02/1993 | 14/02/1993 | 14/06/1993 | 27/06/1993 |
| Inondations et coulées de boue | 15/02/1993 | 17/02/1993 | 14/06/1993 | 27/06/1993 |
| Inondations et coulées de boue | 27/02/1993 | 03/03/1993 | 14/06/1993 | 27/06/1993 |
| Inondations et coulées de boue | 10/02/1994 | 12/02/1994 | 12/04/1994 | 23/04/1994 |
| Inondations et coulées de boue | 24/02/1998 | 25/02/1998 | 26/05/1998 | 11/06/1998 |
| Inondations et chocs mécaniques liés à l'action des vagues | 22/01/2002 | 23/01/2002 | 08/04/2002 | 18/04/2002 |

| | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|
| Inondations et coulées de boue | 22/01/2002 | 23/01/2002 | 05/02/2002 | 08/02/2002 |
| Inondations et coulées de boue | 16/02/2005 | 17/02/2005 | 02/08/2005 | 10/08/2005 |
| Inondations et chocs mécaniques liés à l'action des vagues | 24/02/2007 | 28/02/2007 | 23/03/2007 | 28/03/2007 |
| Inondations et coulées de boue | 29/01/2011 | 30/01/2011 | 30/03/2011 | 06/04/2011 |
| Inondations et coulées de boue | 24/04/2018 | 24/04/2018 | 23/05/2018 | 22/06/2018 |

Tableau 3 - Liste des arrêtés de catastrophes naturelle sur la commune de Sainte-Suzanne (source : www.georisques.gouv.fr – Base nationale de Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques - GASPARE - mise à jour 18/01/2019)

Les ouvrages généraux de Météo-France (Soler, 1997 et Mayoka, 1998), indiquent les cyclones majeurs ayant concernés La Réunion, et plus ou moins directement Sainte-Suzanne. Ce listing a été reporté et complété au Tableau 4 ci-après.

| Cyclones | Passage au plus près des côtes réunionnaises | Pression minimale (hPa) | Vents max (Km/h) | Hauteur de houle |
|--|---|--------------------------------|---------------------------|---|
| Béjisa 2 janv 2014 | 50 km à l'Ouest des côtes de Saint-Leu | 950 | 178 au Gîte de Bellecombe | $H_{1/3} \approx 6,5$ $H_{Max} \approx 10,6$ à la Possession |
| Gamède (23/02-28/02/2007) | 230 km au Nord et à l'Ouest des côtes | 935 | 137 (au Port) | H_{Max} : 11,7 m à la Pointe du Gouffre |
| Gafilo (02/03 -15/03 2004) | 720 km au Sud de l'île | 898 | 260 | $H_{1/3}$: 4 au Port-Est 4,7 m à la Pointe du Gouffre |
| Hary (06/03 -13/03 2002) | 371 km au Sud-Ouest de l'île | 905 | > 220 | $H_{1/3}$: 5,3 m au Port-Ouest 4,5 m au Port-Est 4,3 m à la Pointe du Gouffre |
| Dina (17/01-26/01 2002) | 65 km au Nord-Nord-Ouest de l'île | 910 | >180 (sur le littoral) | $H_{1/3}$: >3,5 m au Port-Ouest >3,4 m au Port-Est >4,2 m à la Pointe du Gouffre |
| Hollanda (06/02-15/02 1994) | 20 km à l'Est de Saint-Philippe | 940 | 150 | - |
| Colina (14/01-21/01 1993) | Sur l'île le 19 janvier | 970 | > 140 | - |
| Firinga (25/01- 07/02 1989) | Sur l'île le 29 janvier à Saint Benoît, ressort au niveau du Port | 954 | > 140 | - |
| Clotilda (09/02- 22/02 1987) | Sur l'île le 13 février | 970 | > 120 | $H_{1/3}$: 2,28 m au Port-Ouest. |
| Hyacinthe (Janvier 1980) | 70 km au Sud de l'île | 978 (au Port) | 137 (à Gillot) | - |
| Jenny (Février 1962) | Sur l'île le 28 février | 948 | 264 | - |
| Cyclone de 1948 | 30 km à l'Ouest de l'île | 910 | 310 | - |

Tableau 4 - Liste des cyclones notables

4.3. CARACTERISATION DES ALEAS LITTORAUX

4.3.1. Définitions et notions générales

La **notion d'aléa** est complexe et de multiples définitions ont été proposées. Nous retiendrons la définition suivante :

« L'aléa traduit, en un point donné, la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel de nature et d'intensité définies pour une période de retour donnée ».

Du fait de la grande variabilité des phénomènes naturels et des nombreux paramètres qui interviennent dans leur déclenchement, l'aléa ne peut être qu'estimé et son estimation est très complexe. L'évaluation des aléas littoraux se veut cependant relativement objective et ne laisse que peu de place à l'appréciation. Ce travail fait en effet appel à l'ensemble des informations recueillies au cours de l'étude et à la connaissance des événements passés, ce qui constitue des repères fiables et concrets sur l'extension des phénomènes dans les secteurs déjà soumis à l'un ou l'autre des aléas. De plus, les méthodes quantitatives utilisées sont robustes.

La définition de l'aléa impose de connaître, sur l'ensemble de la zone étudiée, l'**intensité** des phénomènes naturels. L'intensité d'un phénomène peut être appréciée de manière variable en fonction de sa nature même : vitesses de recul pour le recul du trait de côte, vitesse et hauteur des écoulements d'eau pour la submersion marine. L'importance des dommages causés par des phénomènes passés est également prise en compte.

4.3.2. Aléa recul du trait de côte (RTC)

Considérations générales sur l'aléa RTC

D'après le guide national pour l'élaboration des PPRL², le recul du trait de côte est le déplacement vers l'intérieur des terres de la limite entre le domaine marin et le domaine continental. Il est la conséquence d'une perte de matériaux sous l'effet de l'érosion marine, érosion naturelle induite par les forçages marins, combinée parfois à des actions continentales, ou d'une érosion générée ou accélérée par l'homme (sur-fréquentation, extraction, aménagements et ouvrages de protection, urbanisation proche du littoral entraînant des ruissellements de surface et la présence de réseaux, etc.).

L'érosion est une perte de sédiments pouvant entraîner un recul du trait de côte ou un abaissement du niveau de l'estran ou de la plage. Les côtes basses meubles ainsi que les côtes à falaises peuvent reculer. Les côtes basses meubles se caractérisent cependant par une mobilité permanente donnant au trait de côte une géométrie variable, pouvant se caractériser par des phases d'avancée et de recul. Les côtes à falaises ne peuvent quant à elles que reculer. Leur recul est souvent plus complexe à appréhender du fait de la combinaison des actions continentales (infiltration, ruissellement, etc..) en haut de falaise et des actions directes de la mer. L'évolution du trait de côte dépend de plusieurs paramètres (cf. Figure 17) :

- Les facteurs météorologiques : précipitations et vent (météorisation) ;
- Les facteurs hydrodynamiques : marée, houle (couple période/hauteur) ;
- Les facteurs continentaux : géologie et apports sédimentaires terrigènes ;

² Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux, DGPR, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Mai 2014.

- Les facteurs anthropiques : piétinement, prélèvements, perméabilisation et/ou fixation du trait de côte, etc.

A La Réunion, il faut également compter sur les apports biodétritiques liés à la présence de récifs coralliens frangeants.

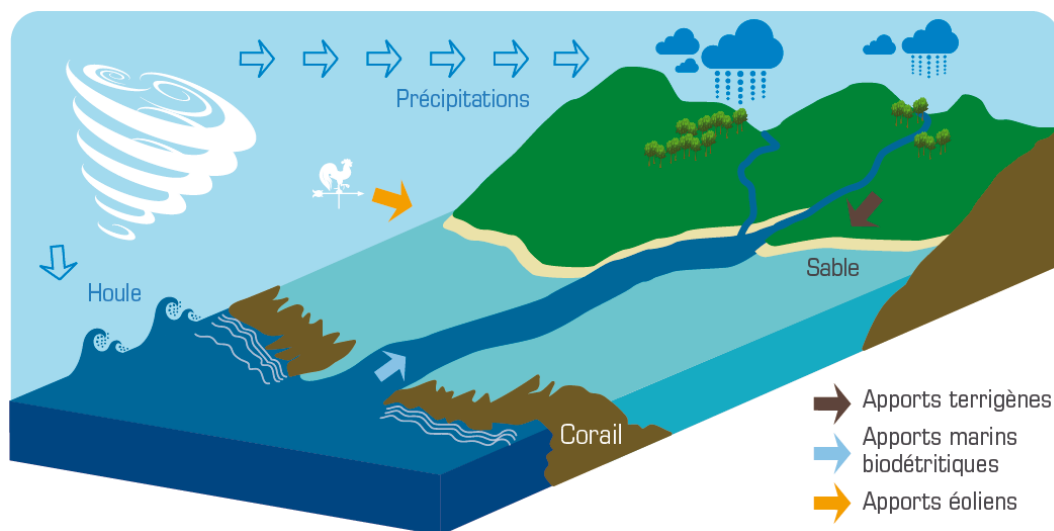


Figure 17 – Fonctionnement naturel du système littoral réunionnais (De La Torre et al, 2012)

Le recul du trait de côte s’appréhende à l’échelle de la cellule hydro-sédimentaire correspondant au secteur de dynamique sédimentaire cohérente. La cellule délimite un tronçon de littoral le long duquel les dynamiques sont comparables (sens des courants, dynamique dans les petits fonds). La cellule hydrosédimentaire définit par ailleurs le sens de transit et donc la redistribution des sédiments le long de la plage (Est/Ouest à Sainte-Suzanne). Ses limites dépendent généralement :

- De la morphologie littorale (caps, péninsules, anses) ;
- D’autres limites naturelles telles que les embouchures de cours d’eau (rôle d’épi hydraulique/ apports sédimentaires différenciés en amont-dérive et en aval-dérive) ;
- Des courants marins pouvant inverser les dynamiques évolutives entre deux secteurs adjacents ;
- Des aménagements pouvant bloquer le transit et les dynamiques longitudinales (digues, perrés, etc.) et transversales (épis, jetées, etc., cf. Figure 18).



Figure 18 – Exemple de digue bloquant le transit sédimentaire à Saint-Benoît (De La Torre et al, 2012)

Tel que défini dans le cadre de l'élaboration de ce PPRL, le recul du trait de côte correspond à une évolution sur le long terme du littoral, observable à des échelles de plusieurs décennies, consécutive à une tendance à l'érosion. L'érosion peut aussi être observée de manière ponctuelle après un événement tempétueux (cf. Figure 19). Cette accélération des phénomènes est liée à la longueur d'onde³, plus importante lors de fortes houles. La longueur d'onde définit en effet la puissance du courant de retrait des vagues (ou backwash) duquel va découler un arrachement des sédiments. Par opposition, les vagues dites « constructrices » ont une période courte et permettent une reconstitution des cordons sédimentaires avec un swash (vague montante) plus important que le backwash (vague descendante).

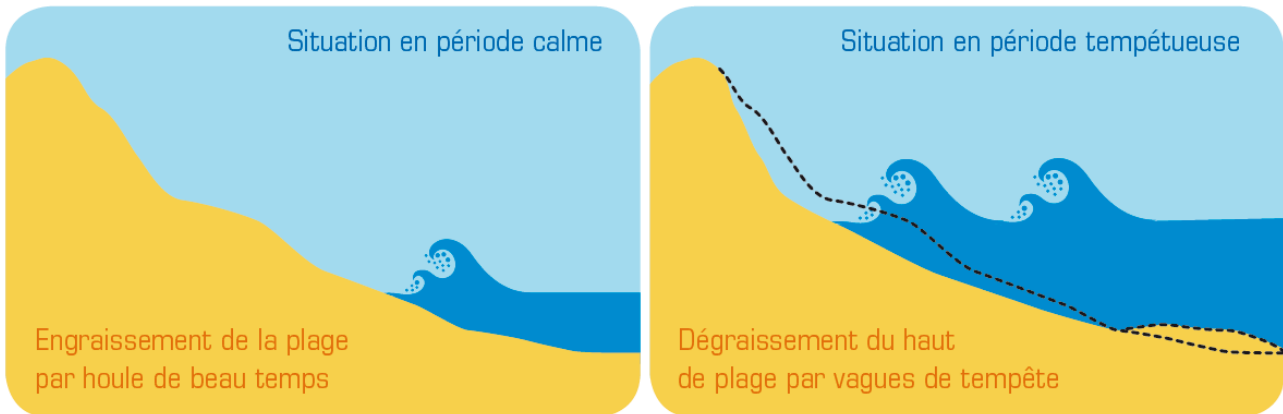


Figure 19 - Variations du profil de plage en fonction du régime de houles (De La Torre et al, 2012)

A La Réunion, les manifestations du recul du trait de côte peuvent être multiples. Par ailleurs, on peut distinguer les phénomènes affectant les côtes sédimentaires de ceux affectant les côtes rocheuses et à falaises.

Sur les côtes sédimentaires, on peut constater (cf. Figure 20) :

- La mise à nue racinaire ou l'arrachage de la végétation littorale (filaos, vacoas, patate à Durand, veloutier, etc.) ;
- La création de talus d'érosion ;
- La mise à nue et/ou le démantèlement de dalles de beach rock (ou grès de plage) ;
- La déstructuration partielle ou totale (affouillement, déchaussement, basculement, ruine, etc.) d'ouvrages côtiers (murs, clôtures, ouvrages de défense).

3 Distance séparant deux crêtes ou deux creux successifs



Figure 20 - Les manifestations de l'érosion des cordons sédimentaires à La Réunion (De La Torre et al, 2012)

Suite à des événements exceptionnels et en fonction des stocks sédimentaires disponibles, deux types de dynamiques peuvent se produire sur les cordons sédimentaires :

- Une reconstitution du cordon sédimentaire (sable et/ou galets) autrement appelée « résilience » et correspondant à la capacité du trait de côte à se recharger naturellement à la suite d'un événement donné ;
- Une érosion durable du trait de côte pour cause de déficit sédimentaire dans les petits fonds à l'échelle de la cellule hydro-sédimentaire. Ce déficit définit les tendances à l'érosion sur le moyen et long terme.

Sur les côtes à falaises, les phénomènes rencontrés sont les suivants (cf. Figure 21) :

- Sous-cavage ;
- Fracturation de la roche en partie sommitale et/ou frontale ;
- Eboulements/effondrements de pans de falaises.

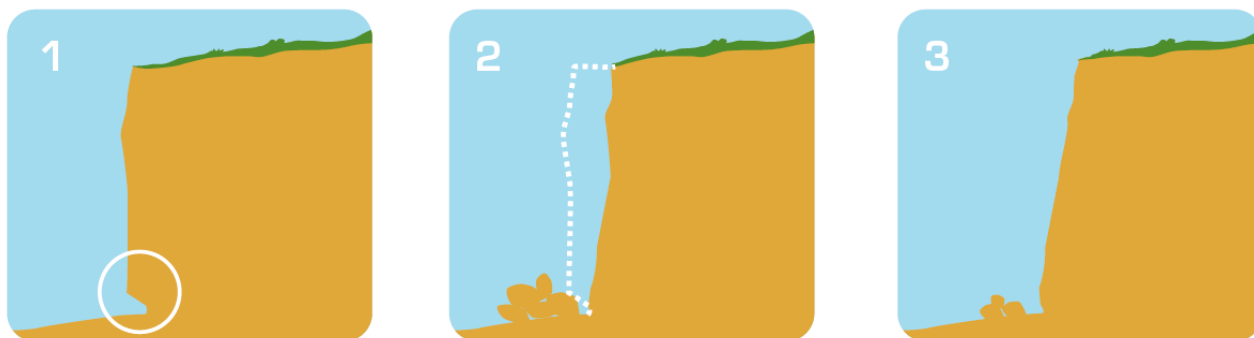


Figure 21 - Recul classique d'une falaise (De La Torre et al, 2012)

Le bilan de l'érosion sur le littoral réunionnais fait état d'un recul sur environ 50% du linéaire côtier, soit environ 125 km sur un total de 250km de côtes (cf. *Tableau 5*).

| Evolution | Part | Longueur | Type de littoral concerné |
|----------------------------------|------|----------|--|
| Accrétion (engraissement) | 7% | 18 km | Embouchures de rivières et ravines |
| Stabilité | 22% | 55 km | Littoral stabilisé par des aménagements ou de la végétation |
| Equilibre | 21% | 52 km | Littoral en équilibre dynamique (présentant une bonne résilience) |
| Erosion modérée | 38% | 95 km | Falaises basaltiques |
| Erosion prononcée | 12% | 30 km | Plage et microfalaises meubles surmontant les cordons de galets/de sable |

Tableau 5 - Bilan de l'érosion sur le littoral réunionnais (De La Torre et al, 2012)

L'aléa RTC sur la commune de Sainte-Suzanne

La commune de Sainte-Suzanne connaît une problématique d'érosion du trait de côte sur 32% de son linéaire côtier. 68% du trait de côte communal connaît une dynamique de stabilité voire d'engraissement.

Les exutoires sont par exemple soumis à des processus relativement rapides et peuvent connaître des phases successives d'érosion et d'accrétion intenses en lien avec les dynamiques hydrauliques maritimes et fluviales.

Cette dynamique peut également être accentuée par des aménagements. C'est par exemple le cas des aménagements de l'exutoire de la rivière Sainte-Suzanne, qui bloque les transferts sédimentaires en provenance de l'Est, et participe à une accrétion sur tout le littoral.

D'autres secteurs connaissent une certaine stabilité. C'est notamment le cas des secteurs rocheux, et notamment des falaises de l'Ouest de la commune.

L'étude de l'évolution de la position du trait de côte réalisée dans le cadre de ce PPRL montre que le reste de la commune est soumis à un phénomène de recul, les processus s'accroissant lors d'événements exceptionnels tels que les houles cycloniques (Annexe 1).

L'orientation de la côte joue également un rôle non-négligeable dans les vitesses d'évolution. Au vu de son exposition Nord-ouest / Sud-est, la commune est particulièrement sujette à l'érosion liée aux houles cycloniques estivales en provenance du Nord-est. Cet impact, couplé à une dynamique d'élévation du niveau de la mer, se fait notamment ressentir sur le littoral de la chapelle du front de mer et sur le littoral du centre-ville (Figure 22 & Figure 23).



Figure 22 – Erosion du littoral de la chapelle du front de mer (E. Chateauminois, G. Thirard, BRGM, 2013)



Figure 23 - Erosion récente du talus en haut de cordon de galet proche du centre-ville de Sainte-Suzanne (Rapport OBSCOT, 2013)

4.3.3. Aléa submersion marine

Considérations générales sur l'aléa submersion marine

La submersion marine est l'inondation temporaire de la zone côtière liée à des conditions météorologiques défavorables. Lors du passage d'un cyclone, les vents violents et la chute de la pression atmosphérique contribuent de différentes manières à la submersion (cf. *Figure 24*) en générant :

- Une **surcote atmosphérique** : il s'agit d'une surélévation du niveau moyen de l'eau qui résulte de l'effet combiné de la dépression, qui crée un effet de baromètre inverse (on considère que la surcote augmente de 1 cm par hectopascal de dépression par rapport à la pression atmosphérique moyenne), et du vent, qui pousse les masses d'eau vers la côte en particulier dans les baies et les zones de haut fond.
- Des **vagues** qui contribuent de deux manières à la submersion :
 - Lors du déferlement, l'apport de masses d'eau au niveau de la côte engendre également une surcote très locale qui contribue à l'élévation du niveau moyen (cette surcote est communément appelée le **wave-setup**);
 - Sous l'impulsion des vagues, une nappe d'eau (appelée **jet-de-rive**) est projetée sur le rivage et peut atteindre des zones plus élevées que le niveau moyen. De plus, si les vagues déferlent au niveau de la côte et des aménagements côtiers (protections ou habitations), la libération de leur énergie peut engendrer des dégâts importants.

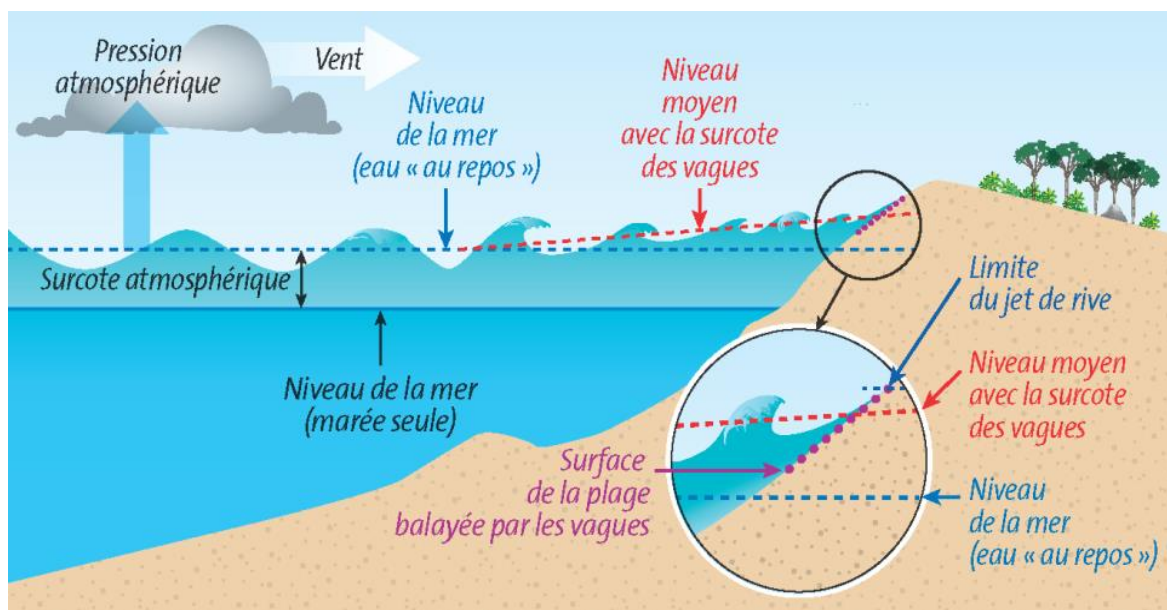
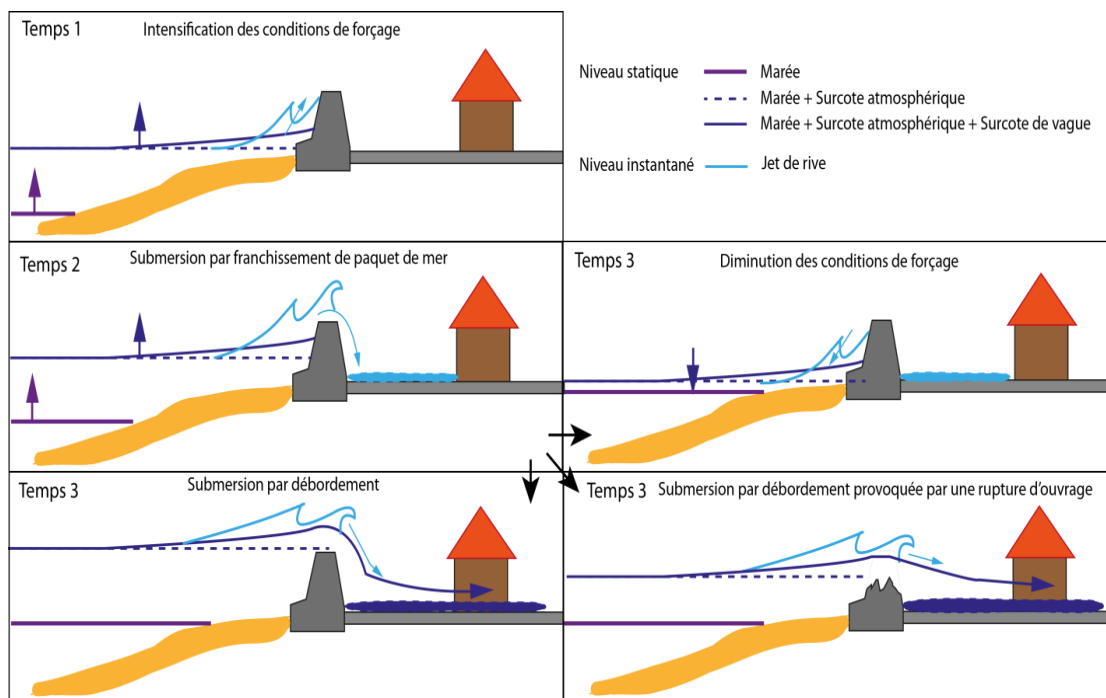


Figure 24 - Représentation des phénomènes qui concourent à la submersion marine (BRGM).

On distingue traditionnellement plusieurs types de submersions marines (cf. *Figure 25*) :

- ✓ La **submersion par débordement** : dans ce cas, le niveau moyen de l'eau (comprenant le niveau de la marée et les effets de surcote atmosphérique et de wave-setup) est supérieur à l'altitude du rivage (haut d'ouvrage ou terrain naturel). Toutes les zones en arrière dont l'altitude est inférieure à celle atteinte par la mer sont donc potentiellement submersibles.

- ✓ La **submersion par franchissement** ou par paquets de mer: dans ce cas, le niveau moyen de l'eau reste inférieur à la cote du rivage mais le jet de rive des vagues est suffisamment important pour franchir les ouvrages ou le cordon littoral. L'eau se déverse alors par salves successives. Si ce type de submersion engendre généralement des zones inondées moins étendues, le franchissement de paquets de mer peut endommager les constructions littorales et provoquer une accumulation d'eau dans certains secteurs qui se retrouvent alors submergés.
- ✓ La **submersion par rupture du système de protection** : les terres en arrière d'un ouvrage se trouvent inondées si cet ouvrage est défaillant. L'eau s'engouffre dans la brèche, entraînant généralement une ruine totale de l'ouvrage en question. La dynamique est similaire en cas de rupture d'un cordon naturel (dune de sable/cordon de galets).



La configuration géographique de la côte (forme du plateau continental, présence de baies, exposition par rapport à la houle incidente) joue un rôle déterminant dans l'intensité des phénomènes. Sur les côtes réunionnaises, on distingue deux particularités :

- ✓ L'absence de plateau continental induit des profondeurs d'eau importantes à proximité de l'île ce qui a deux principaux effets. Tout d'abord, l'influence du vent sur la surcote atmosphérique est négligeable et celle-ci est due essentiellement à la pression. Ainsi la surcote atmosphérique dépasse rarement les 50cm. En revanche, les vagues, qui peuvent atteindre une quinzaine de mètres lors d'épisodes exceptionnels, déferlent très proche de la côte ce qui accentue le risque de franchissement par paquets de mer ainsi que la détérioration des ouvrages côtiers.
- ✓ La présence de récifs sur la côte ouest offre une protection contre l'impact direct des vagues qui déferlent avant d'atteindre la côte, mais elle induit également une amplification de la surcote liée aux vagues au niveau du littoral. En effet les lagons ont une action de rétention de l'eau de mer, qui ne peut s'évacuer que par les passes. La surcote liée aux vagues ou wave-setup peut alors aisément dépasser le mètre. S'agissant souvent de secteurs topographiquement bas, cette augmentation du niveau de l'eau tend à aggraver l'exposition à la submersion par débordement.

Par ailleurs, la concomitance d'un cyclone avec un coefficient de marée élevé et une marée haute accroît le risque de submersion par franchissement ou débordement. Toutefois, le marnage étant relativement modérés à La Réunion (inférieur à 50 cm), cette action n'est pas aussi significative qu'en métropole.

Historiquement, l'île de la Réunion a été soumise uniquement aux problématiques de submersion par franchissement de paquets de mer ou de rupture de cordon naturel. Une soixantaine de sites est connue pour être sensible au franchissement par paquets de mer et/ou à l'érosion sur tout le pourtour de l'île telle que la baie de Saint-Paul ou le centre-ville de Sainte-Suzanne. (cf. Figure 26).

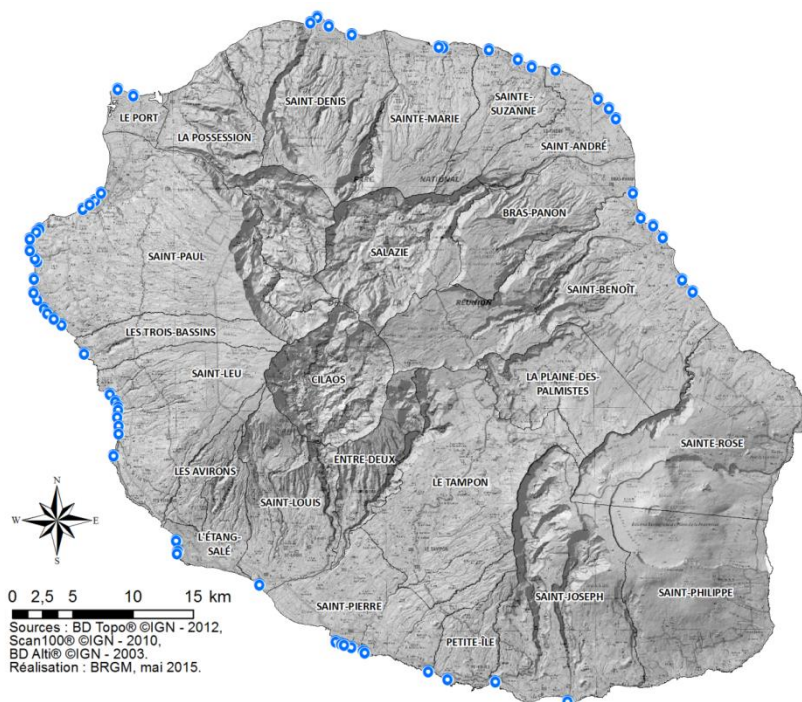


Figure 26 - Sites sensibles à l'action des houles (BRGM, mai 2015)



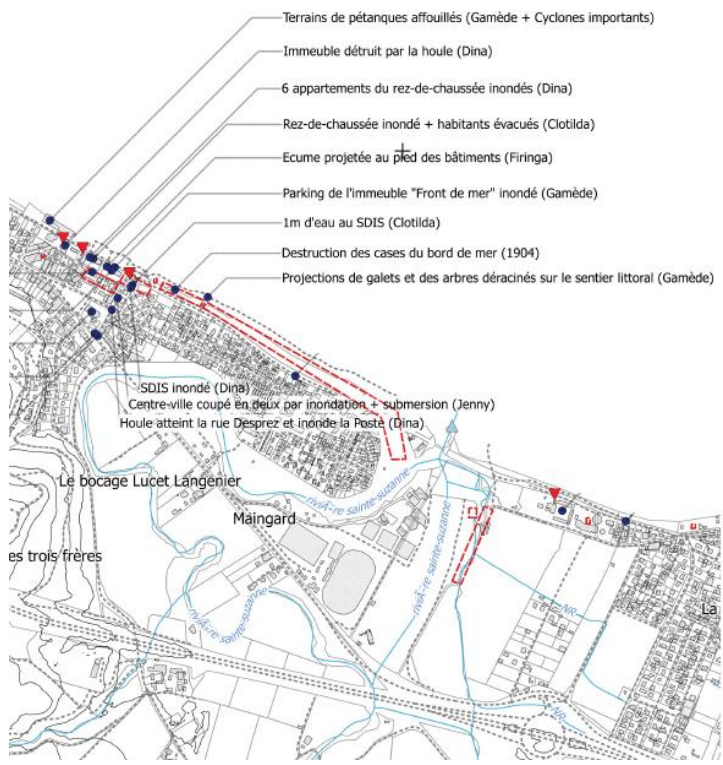
*Figure 27 - Submersion par paquets de mer suite au cyclone Gamède, Sainte-Suzanne
(Photographie Pierre Agon, 24/02/2007)*

On note également une sensibilité toute particulière des zones récifales de Saint-Paul, Saint-Leu ou encore de Saint-Pierre. Cependant, l'eau ne pénètre généralement pas profondément dans les terres, à l'inverse de certains secteurs soumis directement au déferlement de la houle du large comme c'est le cas pour la commune de Sainte-Suzanne.

D'autres aléas accompagnent la submersion marine. Il s'agit principalement des effets de dissipation d'énergie des phénomènes marins induisant des chocs mécaniques pouvant être extrêmement violents. Son effet est directement lié à la pression exercée par l'impact des vagues sur les structures (Figure 28).

L'arrivée brutale des eaux à terre peut elle aussi être génératrice de chocs violents. Elle peut être engendrée par une surverse ou une rupture d'ouvrage. Ce phénomène est particulièrement rencontré :

- en arrière immédiat des ouvrages de protection contre les submersions ;
- au-delà de celles-ci dans les zones d'écoulement préférentielles.



LEGENDE :

Modes de submersion marine.

L'ensemble de la zone est soumise à une dynamique de franchissement par la houle

Particularités hydromorphologiques

- ▼ Point d'entrée d'eau préférentiel (Point bas)
- ▲ Embouchure de cours d'eau : zone sensible par effet de concomitance des aléas inondation
- Depression arrières littorales favorisant la stagnation de l'eau

Interactions avec l'évolution du trait de côte

Les submersions marines sont soumises à une interaction avec l'évolution du trait de côte sur l'ensemble de la zone à l'exception des secteurs présentant les symboles ci-dessous :

- Secteurs non soumis à l'interaction

Historique de la submersion marine

- Localisation d'un événement historique

Figure 28 - Extrait de la carte des événements historiques de submersion marine (Annexe 3 du projet de PPRL)

L'aléa submersion marine à Sainte-Suzanne

Le littoral de Sainte-Suzanne est particulièrement vulnérable à la submersion marine. Historiquement, de nombreux événements ont été recensés, et ce dès le XIXème siècle.

L'analyse du MNT (modèle numérique de terrain) communal réalisé à partir des données lidar⁴, montre que la vulnérabilité à la submersion du littoral de Sainte-Suzanne est variable en fonction des secteurs. Les terrains les plus vulnérables étant situés en centre-ville sur les quartiers de village Desprez et la Marine en raison d'une altitude faible. (cf. Figure 29).

4 Le lidar ou « light detection and ranging » est une technique d'acquisition topographique et/ou bathymétrique de haute densité. La mesure est basée sur le calcul du délai entre l'émission et la réception d'un signal lumineux par technologie laser, la vitesse de la lumière étant une constante connue.

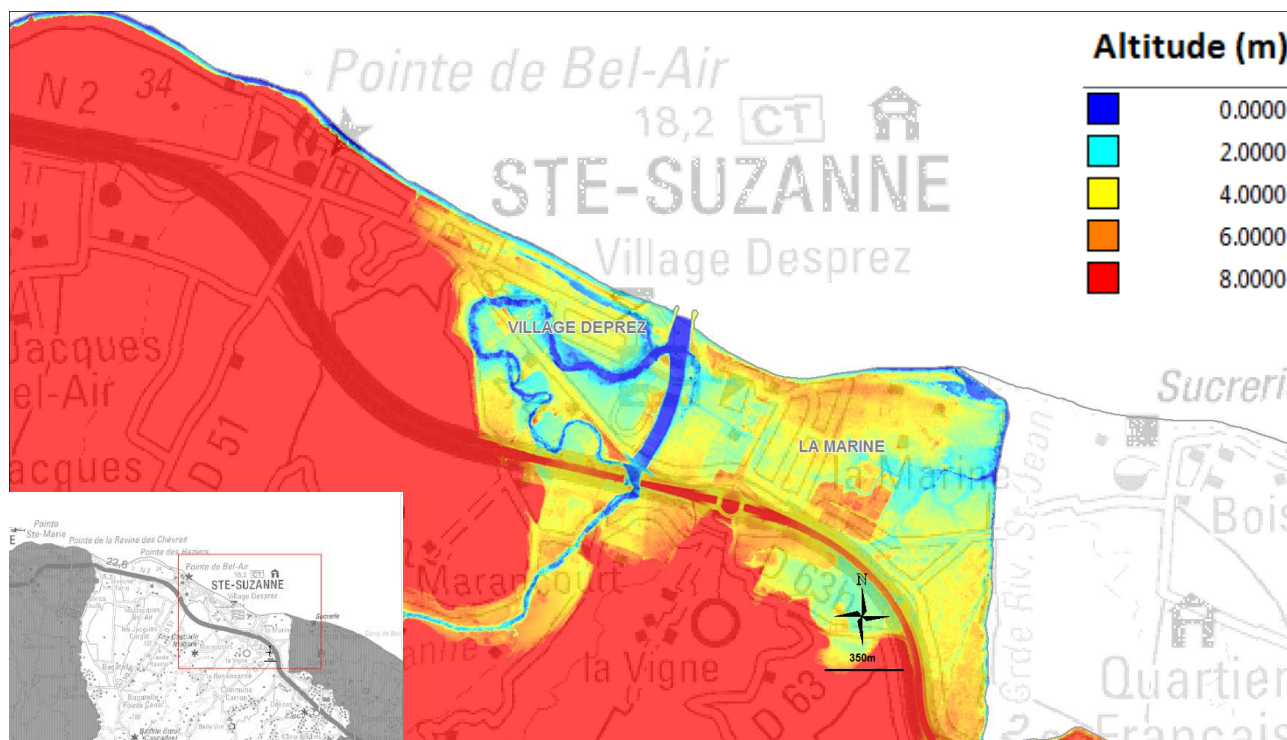


Figure 29 - Zones basses du littoral de Sainte-Suzanne (Fond Scan 100 IGN, MNT Litto3d IGN/SHOM)

Par cette approche altimétrique, il est possible de mettre en avant les quartiers fréquemment soumis à l'aléa submersion marine. Les quartiers du village Desprez et de la marine (< 5 m NGF), sont exposés aux risques d'inondations par submersion marine. Ces secteurs ayant effectivement été submergés par parquets de mer lors d'évènements historiques et de nombreux dégâts et victimes ayants été rencensés. Les enjeux y sont d'autant plus importants qu'il s'agit de quartiers densément peuplés.

Plus localement on reconnaît trois zones de vulnérabilité à l'aléa submersion marine :

- La zone de la chapelle en bas de falaise sur la partie Ouest de la commune. Le cordon littoral d'une altitude inférieur à 5m (est aménagé avec une chapelle. L'ensemble de la zone présente des marques d'érosion marine récente qui révèle une zone vulnérable à l'action des vagues. Ce secteur fait l'objet d'un suivis bi-annuel au travers le projet d'observation et de gestion de l'érosion côtière à La Réunion (OBSCOT, 2013).

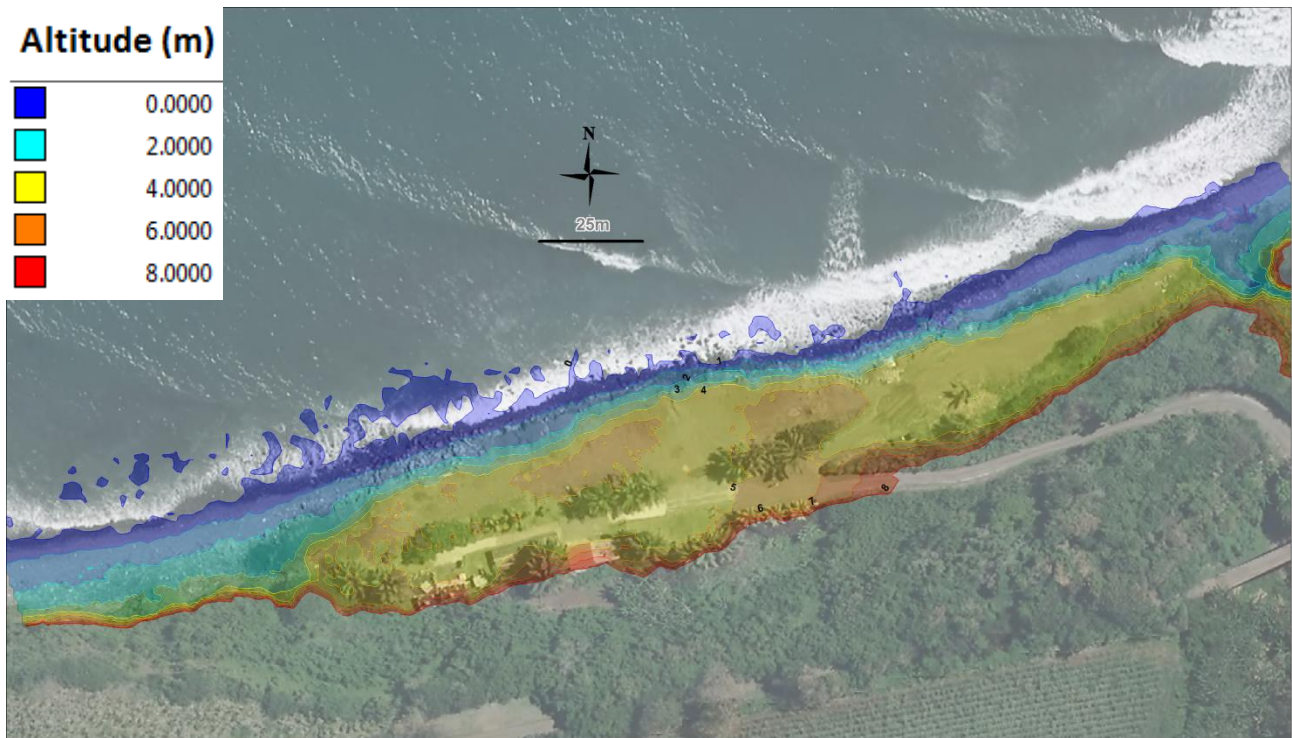


Figure 30 - Carte topographique du secteur de la chapelle sur la commune de Sainte-Suzanne (litto3D Shom/IGN, fond ortho-photo IGN 2012)

- La zone de village Desprez est le centre ville urbanisé de la commune. C'est une zone exposée à un risque submersion marine en raison de la faible altitude de l'ensemble du secteur (Figure 31). L'aléa submersion marine peut être aggravé lors de la concomitance d'un évènement de houle et de fort débit. En effet la rivière Sainte-Suzanne peut sortir de son lit et inonder une partie du quartier.

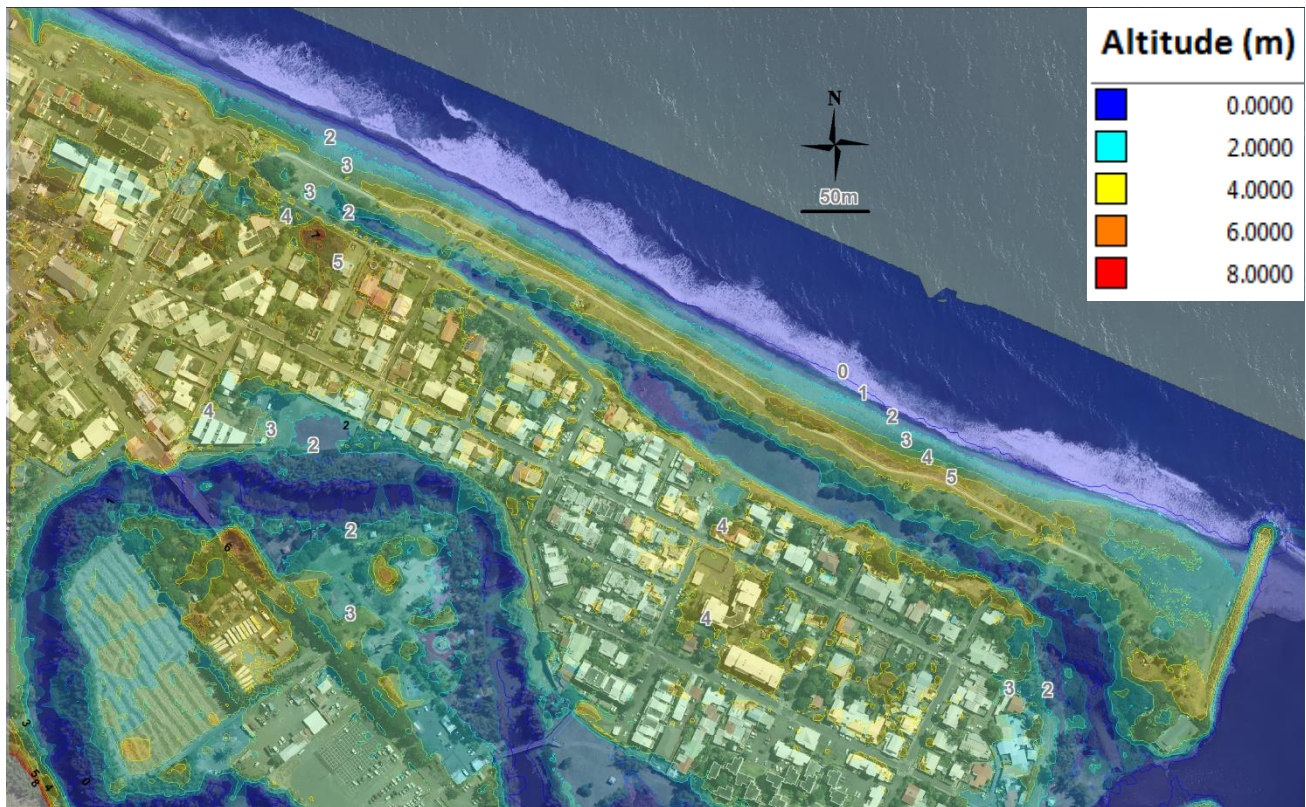


Figure 31 - Carte topographique du secteur de village Desprez sur la commune de Sainte-Suzanne (litto3D Shom/IGN, fond ortho-photo IGN 2012)

- Le quartier de la Marine est confronté aux mêmes types de problématiques que le quartier village Desprez à l'image de la figure suivante (Figure 32).



Figure 32 - Carte topographique du secteur de la Marine sur la commune de Sainte-Suzanne (litto3D Shom/IGN, fond ortho-photo IGN 2012)

Les secteurs du village Desprez et de la Marine sont des deux quartiers qui ont historiquement été les plus touchés par des évènements et sont les plus vulnérables à l'aléa submersion marine.

5. Caractérisation et cartographie de l'aléa recul du trait de côte

La caractérisation et la cartographie de l'aléa du présent projet sont inspirés des travaux réalisés en 2014 (Chateauminois et al., 2014).

5.1. CADRE METHODOLOGIQUE NATIONAL

Concernant l'aléa recul du trait de côte, il s'agit essentiellement de prendre en compte :

- le recul *L_{max}* lié à un évènement tempétueux majeur ;
- les ouvrages de protection ;
- le changement climatique.

La méthodologie globale ainsi que les choix opérés pour cette étude sont synthétisés dans le tableau suivant et précisés dans les chapitres 5.2.2 et 5.2.3 :

| Etape 1 | Analyse de la cinématique du trait de côte | | |
|---|---|--|--|
| Analyse diachronique (100 Tx⁵) | Création orthophotographies et numérisation multi-dates du trait de côte | Calcul marge d'erreur et calculs automatiques taux moyens d'évolutions par profils (Tx) | Projection des taux moyens à 100 ans (100 Tx) |
| Prise en compte du recul lié à un évènement majeur (Lmax) | Données historiques sur un évènement majeur | Modèle numérique (modélisation morphodynamique liée à une tempête spécifique) | Analyse géomorphologique à dire d'expert |
| Zone soumise à l'aléa | Lr = 100 Tx + Lmax | | |
| Etape 2 | Prise en compte des ouvrages de protection (vocation à fixer le trait de côte) | | |
| Estimation du rôle à long terme | Capacité à retenir le recul et à résister aux évènements majeurs (analyse historique et dire d'expert) | | |
| Adaptation de la zone soumise à l'aléa | Pas d'adaptation si la plage existe encore à échéance 2100 | Prise en compte de l'évolution des zones naturelles adjacentes non protégées (si existantes à échéance 2100) | Bande de précaution forfaitaire de 50 m en l'absence d'information |
| Etape 3 | Prise en compte de l'impact du changement climatique sur le recul du trait de côte | | |
| Identification des facteurs de recul | Analyse historique du fonctionnement du site | | |
| Méthode pour les côtes connaissant un recul sur la période étudiée | Une règle de trois prenant en compte le scénario de l'ONERC : 20 cm au XX s., et 60 cm à échéance 2100. | | |
| Côtes basses meubles sans évolution historique | Même règle de trois basée sur les reculs occasionnés lors d'un évènement tempétueux passé | | |
| Côtes non soumises à l'érosion | Sur la base altimétrique d'une augmentation d'un niveau d'eau de 60 cm (étangs, lagunes, fonds de baie) | | |
| Etape 4 | Qualification de l'aléa | | |
| Qualification unique | Fort | | |
| Etape 5 | Résultats cartographiques | | |
| Carte de synthèse de l'évolution historique du trait de côte | Positions du trait de côte, délimitation des cellules hydrosédimentaires, ouvrages de protection, secteurs de comportements homogènes, vitesses d'évolution du trait de côte (Tx et Lmax) | | |
| Cartes du zonage de l'aléa recul du trait de côte | Zonage de l'aléa de référence (sans changement climatique) à échéance 2100 | Position du trait de côte à échéance 2100 avec prise en compte du changement climatique | |

Tableau 6 - Synthèse de la méthodologie nationale de caractérisation de l'aléa recul du trait de côte (en jaune les choix opérés pour cette étude)

5.2. ESTIMATION DE L'ALEA REcul DU TRAIT DE COTE

L'estimation de l'aléa recul du trait de côte repose sur une approche historique sur environ 50 ans permettant une « projection sur les 100 prochaines années dans des conditions environnementales estimées comme invariantes dans le temps » (DGPR, 2014).

Pour ce faire, l'analyse de la cinématique du trait de côte se base sur la photo-interprétation de clichés aériens anciens. Le calcul du recul du trait de côte suit les étapes suivantes :

- préparation des photographies aériennes ;
- définition et numérisation du trait de côte aux différentes dates ;
- calcul du recul du trait de côte à échéance 2100⁶.

5.2.1. Préparation des photographies aériennes anciennes

Les photographies utilisées dans cette étude sont issues des campagnes aériennes couvrant l'ensemble du linéaire côtier de Sainte-Suzanne de 1950 à 2011 (cf. Tableau 8).

| Années | Nature des clichés | Echelle de prise de vue | Résolution image numérique |
|--------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1950 | Noir & Blanc | 1 : 25 000 | 1 pixel = 0.5 m |
| 1978 | Couleur et Noir & Blanc | 1 : 20 000 | 1 pixel = 0.5 m |
| 1989 | Couleur | 1 : 25 000 | 1 pixel = 0.5m |
| 1997 | Couleur | 1 : 25 000 | 1 pixel = 1 m |
| 2003 | Couleur | 1 : 25 000 | 1 pixel = 0.5 m |
| 2008 | Couleur | 1 : 25 000 | 1 pixel = 0.5 m |
| 2011 | Couleur | 1 : 25 000 | 1 pixel = 0.2m |

Tableau 7 – Détail des campagnes photographiques de l'IGN utilisées

Les photographies aériennes de 1950, 1978 et 1989 ont été numérisées à 1200dpi puis géoréférencées par la méthode d'ajustement dite « spline » grâce au logiciel ArcGis 10.0. Le géoréférencement a été privilégié à l'orthorectification, les certificats de calibration⁷ de ces missions IGN n'étant pas disponibles. Cependant, le littoral de Sainte-Suzanne étant majoritairement constitué de côtes basses, les faibles déformations des photographies dues au relief ont pu être

⁶ On parle d'une échéance 2100 par simplification linguistique. Considérant que les PPRL seront réalisés à brève échéance, le trait de côte de référence récent se situe autour de 2010 +/- 2 ou 3 ans, en toute rigueur la position du trait de côte en 2100 serait obtenue en considérant un recul égal à $90 (+/- 2 \text{ ou } 3) \times Tx$. Il a été décidé de simplifier et de considérer une formule unique $100.Tx$ pour le recul du trait de côte à échéance 2100.

⁷ Les certificats de calibration contiennent toutes les informations nécessaires au calage des clichés (focale, altitude, cap, ouverture de l'objectif, centroïde des clichés, marques fiduciaires...).

compensées par l'intermédiaire du géoréférencement. Pour les secteurs à falaises, un plus grand nombre de points d'amers ont été appliqués de façon à corriger les distorsions potentielles.

Les clichés de 1997, 2003, 2008 et 2011 sont issus de la « BD Ortho » de l'IGN.

5.2.2. Définition et numérisation des traits de côte

Le trait de côte de référence a été matérialisé en fonction de la limite haute du littoral, tel que défini dans le guide méthodologique pour l'élaboration des PPRL, à savoir (Figure 33) :

- la limite de végétation ou le pied des aménagements ou ouvrages pour les côtes basses (à partir de l'ortho 2011) ;
- la partie sommitale du versant pour les côtes à falaise (à partir du MNT lidar).



Figure 33 – Exemple de définition du trait de côte suivant les morphotypes du littoral de Ste-Suzanne : a. limite en pied d'aménagement (ortho 2011); b. limite de végétation (ortho 2011); c. limite de haut de versant (lidar)

Bien que ce trait de côte ait servi de référence pour la détermination des zonages d'aléas, le calcul de la vitesse de l'érosion n'a pu être effectué en fonction des trois marqueurs précités. D'une part, car la partie sommitale des falaises n'est pas clairement visible sur les clichés à disposition, la plupart des falaises étant particulièrement végétalisées. Il n'est en effet possible de le déterminer de façon fiable que via les données lidar. D'autre part, et dans de nombreux cas, la limite de végétation n'est pas représentative des dynamiques affectant réellement le milieu. De nombreux filaos et vacoas ont en effet été plantés sur le littoral ces 60 dernières années de manière à se prémunir d'une érosion menaçante ou dans le cadre de projets d'aménagement du littoral. Dans cette configuration, il est impossible de conserver la limite de végétation comme un marqueur de l'érosion, l'analyse étant tronquée et montrant parfois une dynamique inverse vis-à-vis des stocks sédimentaires disponibles. L'évolution de la limite du jet de rive a donc été préférée dans le cadre de cette étude. En effet, le marnage⁸ étant généralement inférieur à 50 cm sur les côtes réunionnaises, la différence de position entre les limites de jet de rive de basse mer et de pleine mer est minime (1 à 2 m en planimétrie au maximum), d'autant plus sur les côtes constituées de cordons de galets, sont généralement affectées par de fortes pentes. La marge d'erreur va principalement dépendre de l'état de mer lors de la prise de vue, ce qui nécessite de réaliser une sélection des images afin que celles-ci soient comparables en termes de condition d'agitation.

Afin de limiter au maximum la marge d'erreur liée à la digitalisation, le trait de côte a été numérisé sous ArcGis à une échelle comprise entre le 1:500^e et 1:1000^e en fonction de l'année considérée.

8 Différence de hauteur d'eau entre une basse mer et une pleine mer successives

La marge d'erreur totale issue de cette photo-interprétation du trait de côte dépend de la qualité des images aériennes (échelle, grain de la pellicule argentique pour les plus anciennes, résolution, géoréférencement) ainsi que de l'interprétation du trait de côte dans les zones délicates (et donc des conditions de mer). Cette marge d'erreur est estimée entre 5 et 10 m. Les clichés dont l'erreur est supérieure à cette marge n'ont pas été conservés.

5.2.3. Calcul du recul du trait de côte à 100 ans

L'utilisation de l'extension d'ArcGis « DSAS » (Thieler *et al.*, 2009) permet d'automatiser le calcul de l'évolution du trait de côte sur la période considérée.

A partir d'une ligne de base située en arrière de l'enveloppe de traits de côte, des transects sont générés à un intervalle prédéfini (cf. Figure 34). La vitesse (T_x) et sa projection à horizon 2100 ($100T_x$) sont calculés pour chaque transects, selon plusieurs méthodes statistiques possibles.



Figure 34 - Exemple d'implantation des profils à Sainte-Suzanne

Les transects sont implantés tous les 20m, et le taux d'évolution est calculé à partir d'une régression linéaire pondérée (*Weight Linear Regression - WLR*) adaptée à l'échantillon de traits de côte.

La régression linéaire pondérée est une méthode d'ajustement couramment employée pour le calcul de l'évolution du trait de côte. Elle offre l'avantage d'utiliser toute la donnée disponible et donne plus de poids aux données les plus fiables afin de déterminer la meilleure droite d'ajustement (Figure 35).

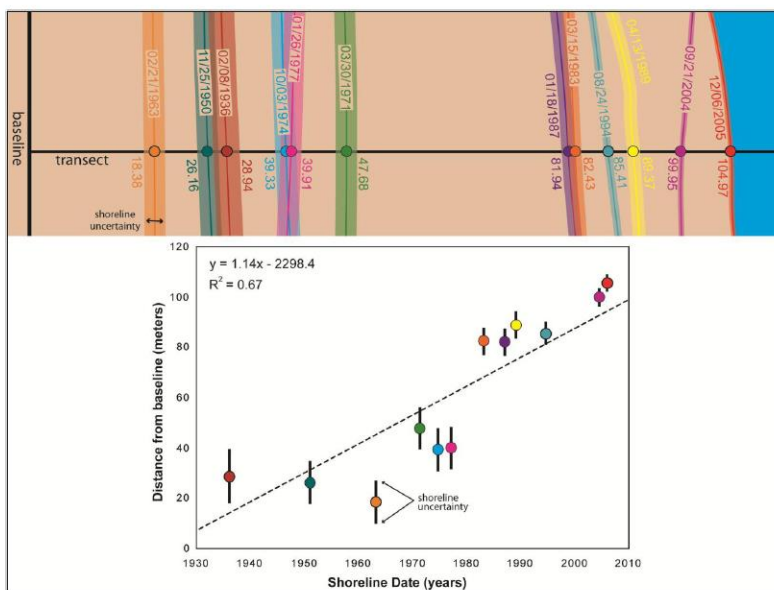


Figure 35 – Principe de la régression linéaire pondérée pour le calcul par DSAS de l'évolution du trait de côte (Himmelstoss, 2009)

Les valeurs obtenues sont ensuite filtrées sous Excel afin de ne retenir que celles exprimant un recul et ramenées à 100 ans (100Tx).

Afin de s'affranchir des effets locaux de transects (artefacts et fortes disparités d'un profil à l'autre générant un trait de côte en « dents de scie » (cf. Figure 36), il convient de regrouper et moyenner les valeurs au sein de secteurs au comportement morpho-dynamique homogène.

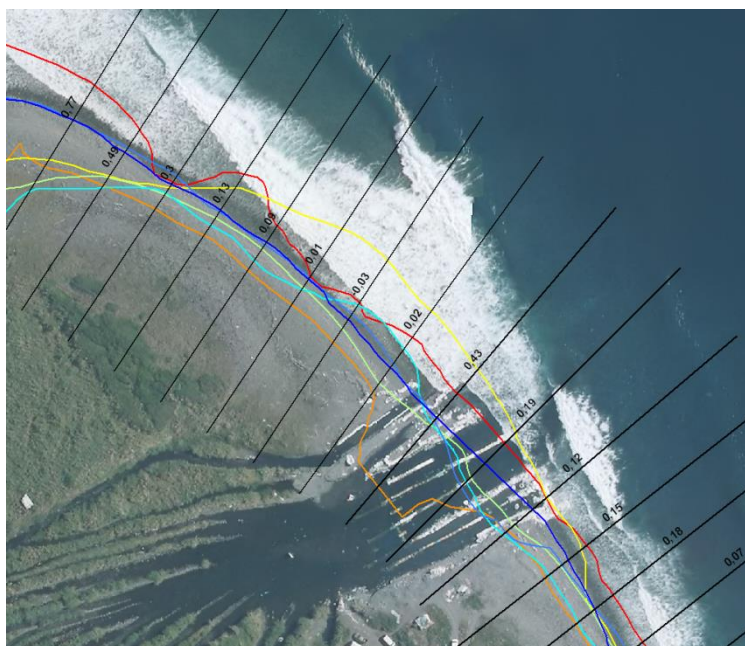


Figure 36 – Exemple d'artefact généré par les profils au sud de la Rivière des Marsouins sur la commune de St-Benoît : de fortes disparités sont observées entre des transects très proches) - Orthophoto IGN© 2012

Au sein de grandes cellules hydrosédimentaires, des secteurs sont ainsi définis selon les morphotypes et l'exposition du littoral. Les reculs moyens par secteur (moyenne des Tx obtenus sur chacun des profils) sont enfin classés par catégories de vitesses de recul soit :

- Stable : de 0 à -0,02 m/an ;
- Faible : de -0,02 à -0,10 m/an ;
- Modéré : de -0,10 à -0,20 m/an ;
- Fort : < -0,20 m/an.

Les résultats pour la commune de Sainte-Suzanne sont synthétisés dans le Tableau 8 ci-après :

| Secteur | Morphotype | Recul par secteur (m/an) | Tx Classe | 100Tx |
|----------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------|
| 1 | Falaise/ Cordon de galets | 0 | Stable | 0 |
| 2 | Falaise/ Cordon de galets | 0 | Stable | 0 |
| 3 | Cordon de galets | 0 | Stable | 0 |
| 4 | Falaise/ Cordon de galets | 0 | Stable | 0 |
| 5 | Falaise/ Cordon de galets | 0 | Stable | 0 |
| 6 | Falaise/ Cordon de galets | 0 | Stable | 0 |
| 7 | Falaise/ Cordon de galets | 0 | Stable | 0 |
| 8 | Cordon de galets | -0.15 | Modéré | 15 |
| 9 | Cordon de galets/Embouchure | -0.062 | Faible | 6.2 |
| 10 | Cordon de galets/Embouchure | 0 | Stable | 0 |
| 11 | Cordon de galets | 0 | Stable | 0 |
| 12 | Cordon de galets/Embouchure | -0.062 | Faible | 6.2 |

Tableau 8 – Calculs de recul du trait de côte (référence 2011 – échéance 2100) par secteurs homogènes sur la commune de Sainte-Suzanne

Il convient en outre de prendre en compte le recul lié à un évènement tempétueux majeur (Lmax). Sur la base des tempêtes et cyclones connus (cyclone Dina de janvier 2002), le Lmax est estimé à -10 m pour les secteurs de cordon sédimentaire exposés au large. Concernant les côtes à falaise, la valeur Lmax retenue est égale à la moitié de la hauteur moyenne des dites falaises, de manière à se prémunir d'un glissement de terrain ou d'un effondrement majeur.

5.3. ZONAGE DE L'ALEA REcul DU TRAIT DE COTE

5.3.1. Zonage du recul à échéance 2100

La limite du recul à échéance 100 ans est cartographiée sous SIG à partir des valeurs 100Tx par secteurs homogènes. Afin de respecter une marge d'incertitude, les valeurs sont arrondies à 5m près. Elles sont également plafonnées à un recul maximal de 50 m en 100 ans afin de s'affranchir des valeurs exagérées liées à un effet de profil (artefact local faisant remonter la moyenne sur l'ensemble du secteur).

La largeur de la zone d'aléa résultante ($L_r = 100Tx + L_{max}$) est affectée en arrière du trait de côte le plus récent (2011) correspondant à la limite de végétation en haut de plage. Ces valeurs sont calculées comme dans l'exemple ci-après :

| Secteur | Morphotype | 100 Tx arrondi/plafonné | Lmax | Lr |
|----------------|-------------------|--|-------------|-----------|
| 1 | Falaise | 0 | -15 | -15 |
| 2 | Falaise | 0 | -15 | -15 |
| 3 | Cordon de galets | 0 | -10 | -10 |
| 4 | Falaise | 0 | -15 | -15 |
| 5 | Falaise | 0 | -15 | -15 |
| 6 | Falaise | 0 | -10 | -10 |
| 7 | Falaise | 0 | -5 | -5 |
| 8 | Cordon de galets | -15 | -10 | -25 |
| 9 | Cordon de galets | -5 | -10 | -15 |
| 10 | Cordon de galets | 0 | -10 | -10 |
| 11 | Cordon de galets | 0 | -10 | -10 |
| 12 | Cordon de galets | -5 | -10 | -15 |

Tableau 9 – Valeurs 100Tx ; Lmax et Lr par secteurs homogènes pour la commune de Sainte-Suzanne

La cartographie SIG de ces valeurs est réalisée par l'utilisation de l'outil « buffer » revenant à créer une zone tampon (selon la valeur Lr) sur le secteur considéré à partir du trait de côte de 2011.

Lorsque le passage d'un secteur à un autre ne coïncide pas avec une limite physique (cap rocheux, embouchure), une zone de transition est appliquée pour ne pas cartographier un zonage « en

marche d'escalier ». La distance de transition équivaut à environ 10 fois le décalage entre deux secteurs (pour un écart de 5 m, la zone de transition s'étale sur 50 m ; pour 10 m/100 m ; etc.).

Lorsque les aménagements présents sur le littoral se caractérisent par des ouvrages légers de particuliers (murs, palissades), ces aménagements ne sont pas considérés comme des ouvrages de défense au sens du guide car ils n'ont pas été spécifiquement conçus pour lutter contre l'érosion. Conformément aux recommandations du guide (DGPR, 2014), les ouvrages plus massifs mais de faible étendue ne sont également pas considérés comme étant en mesure de contenir les phénomènes érosifs qui continuent d'affecter les espaces situés de part et d'autre de l'ouvrage, et finissent par le contourner et le rendre inopérant.



LEGENDE :

- Trait de côte de 2011 (limite de végétation, haut de falaise, pied d'ouvrage)
- Zonage de l'aléa "recul du trait de côte" à échéance 100 ans sans prise en compte du changement climatique
- Trait de côte à échéance 100 ans avec prise en compte du changement climatique

Figure 37 - Extrait de la cartographie de l'aléa de recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Suzanne (Annexe 2 du projet de PPRL)

5.3.2. Zonage du recul à échéance 2100 avec prise en compte du changement climatique (+60 cm d'élévation du niveau de la mer)

Faute de consensus scientifique sur la méthode pour déterminer la zone qui pourrait être érodée du fait du changement climatique, qui plus est dans le contexte spécifique de La Réunion, le guide méthodologique : « Plan de prévention des risques littoraux » (DGPR, 2013) propose d'appliquer :

- une « règle de trois » entre les +60cm d'élévation du niveau de la mer attendus pour 2100 et les +20 cm enregistrés le siècle dernier, ce qui revient à tripler le recul 100Tx entre 2011 et 2100 (sans Lmax) ;
- pour les côtes basses meubles ne subissant pas de recul (en accrétion à long terme), en triplant le recul Lmax selon cette même règle de trois ;
- pour les zones non soumises à l'érosion (étangs), en déplaçant le trait de côte à +60 cm d'altitude.

Ce principe a donc été appliqué sur la commune de Sainte-Suzanne (cartographie avec l'outil *buffer*) à l'exception des zones où la morphologie du littoral change avec notamment le passage vers l'intérieur des terres d'un cordon sédimentaire à une falaise ou d'une falaise côtière à un massif montagneux. Dans ces cas, étant donné qu'il ne s'agit pas du même type de recul, la limite est ramenée au pied du massif.

5.3.3. Résultats cartographiques

Concernant l'aléa recul du trait de côte, il n'existe pas de gradation du niveau d'intensité de l'aléa : soit les terrains restent en place à échéance 2100, soit ils se trouvent emportés par les phénomènes érosifs. La règle appliquée en accord avec les textes nationaux a donc consisté à ne définir qu'un seul niveau d'intensité érosive forte sur les cartes d'aléas, et pour chacun des deux scénarios court et long terme.

Les résultats sont présentés sous la forme de deux types de cartes :

une carte de synthèse de l'évolution historique du trait de côte au 1/10 000 (cf Annexe 1) contenant les différents traits de côtes historiques, la position des transects, les limites des cellules hydrosédimentaires et des secteurs à comportement homogène ainsi que les classes de vitesses de recul associées (cf.

- Figure 38) ;

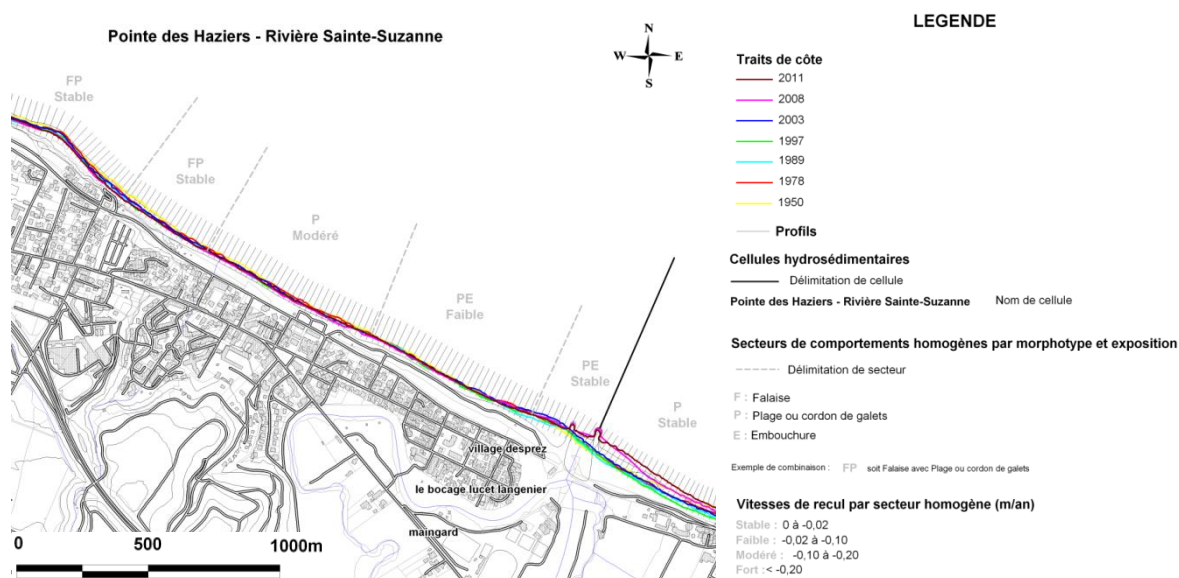


Figure 38 – Extrait de la carte de synthèse de l'évolution historique du trait de côte de Sainte-Suzanne (cf. Annexe 1)

- une carte de l'aléa recul du trait de côte au 1/5000 (Annexe 2) contenant le trait de côte de référence (2011), le zonage de l'aléa à échéance 100 ans (qualification en aléa fort uniquement), ainsi que la limite de l'aléa avec prise en compte du changement climatique (Figure 39).

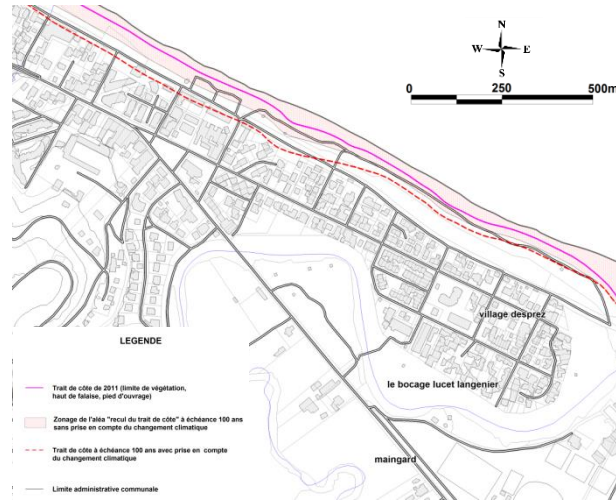


Figure 39 – Extrait de la carte d'aléa recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Suzanne (cf. Annexe 2)

6. Caractérisation et cartographie de l'aléa submersion marine

La caractérisation et la cartographie de l'aléa du présent projet sont inspirés des travaux réalisés en 2014 (Chateauminois et al., 2014).

6.1. CADRE METHODOLOGIQUE NATIONAL

La méthodologie pour l'aléa submersion marine s'appuie sur la circulaire *relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les PPRL* publiée le 27 juillet 2011 et sur le guide d'élaboration des PPRL (DGPR, mai 2014). Les éléments à intégrer sont :

- la dynamique de submersion avec la prise en compte distincte des modes de submersion par débordement ou franchissement (rôle de la houle) et l'estimation de la hauteur et vitesse de l'écoulement ;
- le choix de l'évènement naturel de référence selon l'estimation des couples houle/niveau de la mer ;
- la prise en compte des ouvrages et des défaillances associées (brèches, ruines) ;
- l'interaction avec le trait de côte et la prise en compte des cordons naturels ;
- la prise en compte du changement climatique.

La méthodologie globale et les choix opérés pour cette étude sont synthétisés dans le tableau suivant et décrits à la suite :

| Etape 1 | Détermination des scénarios | | | | |
|---|--|--|--|---|--|
| Collecte des données historiques | Cartographies | Documents écrits (rapports, presse, catnat, autre) | | Photographies | Témoignages |
| Définition des modes de submersion | Débordement (surverse) | Franchissement (action de la houle) | | Rupture du système de protection (digue) | Concomitance avec d'autres types d'inondation (cours d'eau, nappes) |
| Analyse de la morphologie du terrain | Détermination des points d'entrée d'eau possibles (points bas) | | Identification des zones de stagnation de l'eau (cuvettes) | | Identification des zones de projections de matériaux (sable, galets, coraux) |
| Prise en compte des ouvrages ou cordon naturel à vocation de protection | Oui (hypothèse de défaillance) | | Non (absence de structure de protection au sens du texte) | | |
| | Brèche | Ruine (dès surverse de 20 cm) | | | |
| Prise en compte des cordons naturels | Oui (interaction avec l'évolution du trait de côte) | | | Non (absence de cordon naturel) | |
| Etape 2 | Choix de l'évènement naturel de référence | | | | |
| Période de retour | Evènement théorique centennal (basé sur la résultante de chacun des couples centennaux niveau marin / houle) | | Evènement historique (>= centennal) | | Autre évènement plus fréquent ou plus extrême (décennal, millennial) |
| Prise en compte des incertitudes | Marge d'erreur calculée | | | Marge de sécurité forfaitaire (niveau marin de référence +25cm) | |
| Prise en compte du changement climatique | Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer à long terme (+ 20 cm pour une première prise en compte du changement climatique et +60 cm à échéance 2100) | | | | Prise en compte des variations altimétriques (subsidence/surrection) |
| Prise en compte des interactions en estuaire, delta et lagune | OUI (détermination du niveau de référence par calcul des couples niveau / débit) | | | | NON |
| Etape 3 | Caractérisation de l'aléa | | | | |
| Type de méthode | Débordement | Franchissements | | | |
| | Superposition topographie / niveau de référence | Formules empiriques (wave set-up et run-up) | | Modèle numérique (casier, vague à vague en 1D ou 2D) | Valeur forfaitaire de franchissement (25m ou 50m en contexte cyclonique) |
| Prise en compte des structures de protection (digues) | Estimation simple ou forfaitaire (L = 100 x h ou >= 50 m) | Eléments techniques fournis par le gestionnaire | | Etude de sensibilité (calculs, modélisation) | |
| Etape 4 | Qualification de l'aléa | | | | |
| Paramètres de qualification (a minima pour du fort et du moyen) | Hauteur d'eau (0.5>h>1 m) | Dynamique de submersion | | Adaptation à dire d'expert (ouvrages de protection, particularités topographiques, données historiques) | |
| | | Vitesses (0.2>v>0.5 m/s) | Durée | | |
| Etape 5 | Résultat cartographique | | | | |
| Carte de synthèse | Mode de submersions, données historiques, points d'entrée, zones de projection, zones d'interaction entre le trait de côte et la submersion, ouvrage de protection | | | | |
| Cartes de zonage de l'aléa | Carte d'aléa de référence | Carte d'aléa 2100 | | Cartes d'aléa autre que centennal | |

Tableau 10 – Synthèse de la méthodologie nationale de caractérisation de l'aléa submersion marine
(en jaune les choix opérés pour cette étude)

6.2. CARACTERISATION DE L'ALEA SUBMERSION MARINE

6.2.1. Méthodologie et scénarios

Les phénomènes de submersion sur la commune

Le préalable étant de déterminer le mode de submersion, il est considéré qu'à La Réunion, hormis pour la zone interne des étangs qui peut subir des débordements liés à la surcote de tempête sans action des vagues, c'est le franchissement par les vagues qui impacte l'ensemble du linéaire côtier de l'île.

Pour la submersion par débordement, la méthode consiste à croiser sous SIG le niveau marin de référence avec la topographie côtière.

Pour la submersion par franchissement, plusieurs méthodes d'estimation sont possibles. Les formules empiriques de calcul du run-up⁹ telles que Stockdon *et al.* (2006) ont été utilisées à La Réunion (De la Torre et Louzé, 2008). Cependant, elles ne s'appliquent pas dans les environnements récifaux ou lorsque la houle est très fortement diffractée et ne permettent pas de quantifier la hauteur d'eau et les vitesses d'écoulement.

La modélisation numérique est donc préférée car elle permet d'intégrer les spécificités du littoral de Sainte-Suzanne. Les simulations de propagation de la houle sont réalisées à partir du chainage du modèle de vague spectral mis en place pour l'étude HOULREU (Pedreros *et al.*, 2009) avec un modèle dit « vague à vague » capable de calculer la submersion marine par franchissement. Pour cette commune, les modélisations ont été réalisées en 1D (profils) à l'Est de l'embouchure de la rivière Sainte-Suzanne et en 2D sur le centre-ville.

Choix de l'évènement naturel de référence

Afin de déterminer les caractéristiques d'un évènement centennal, les calculs de probabilités conjointes (houle/niveau marin extrême, périodes de retour) nécessitent un nombre important d'évènements observés. A La Réunion, les données concernant les évènements cycloniques ne sont disponibles que depuis la fin du XX^{ème} siècle, et les cyclones y restent peu fréquents (comparativement aux tempêtes métropolitaines). Les données disponibles rendent donc incertains les calculs d'extrêmes par cette approche. On adopte donc une approche historique en sélectionnant les évènements passés les plus dommageables comme évènements de référence.

Le mode de submersion prépondérant étant le franchissement suite au déferlement des vagues, l'évènement naturel de référence est donc déterminé à partir de l'analyse comparative des régimes de houles extrêmes (Lecacheux *et al.*, 2012). Pour le littoral Nord-Est, **l'évènement climatique de référence est donc le cyclone Dina de janvier 2002** (cf Figure 41). Pour autant l'étude des évènements historiques de submersion a permis d'intégrer l'ensemble des évènements connus et référencés de mémoire d'homme, allant jusqu'à des témoignages de cyclones remontant au début du XX^{ème} siècle. L'ensemble de ces éléments a été exploité pour la caractérisation du zonage de submersion.

9 Run-up : altitude maximale atteinte par le jet de rive sous l'action des vagues.

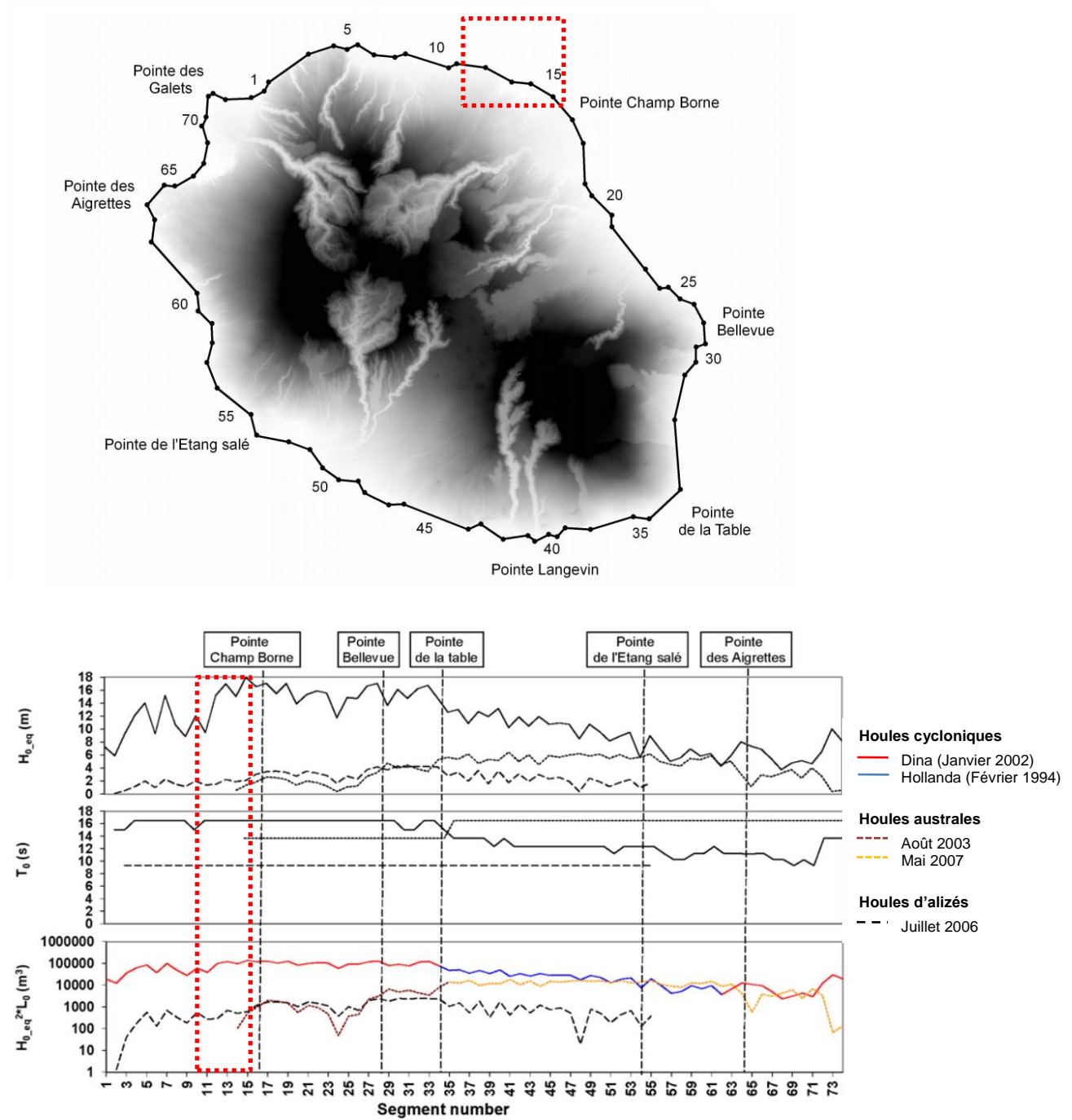


Figure 40 – Comparaison des houles engendrées par différents évènements historiques (cyclones ou houles australes) en termes de hauteur significative (graphiques du haut), période pic (graphiques du centre) et énergie (graphiques du bas) le long de la côte réunionnaise – (Lecacheux et al., 2012)

Scénarios de référence et prise en compte du changement climatique

Sur la base de cet évènement naturel de référence, et conformément au *Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux* (DGPR, 2014), deux scénarios sont ensuite considérés avec

des hypothèses différentes permettant de tenir compte du changement climatique et de son impact sur l'élévation du niveau marin (cf. Figure 41) :

- **Un scénario de référence** intégrant une hypothèse d'élévation du niveau moyen de la mer liée au changement climatique de 20 cm intégrée au niveau marin de référence
- **Un scénario à échéance 100 ans** intégrant une hypothèse d'élévation du niveau moyen de la mer liée au changement climatique de 60 cm (dont les 20 cm intégrés au scénario de référence).

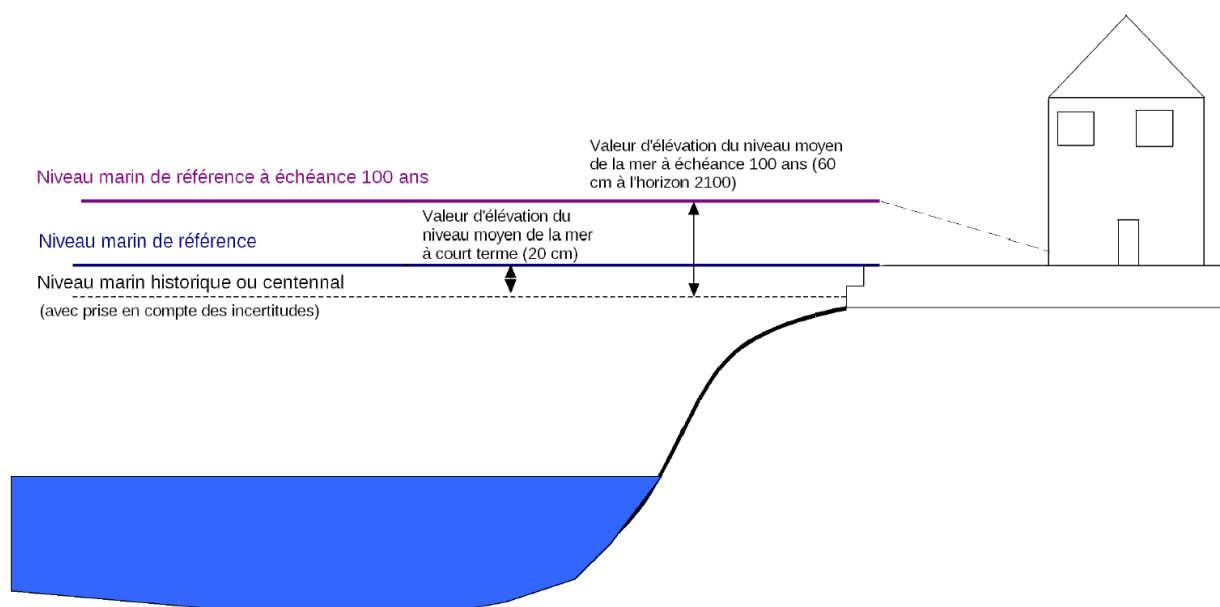


Figure 41 - Niveaux marins à prendre en compte pour la caractérisation de l'aléa submersion marine (DGPR, 2014)

6.2.2. Modélisation des submersions marines de référence

Données topo-bathymétriques

Les données bathymétriques utilisées dans le cadre de cette étude sont issues soit de l'étude HOULREU (Pedreros *et al.*, 2009), donc des sondes du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine), soit du programme Litto3D dont les données ont été livrées par le SHOM et l'IGN à la DEAL Réunion (2012).

Les données topographiques utilisées sont celles issues du programme Litto3D (levés Lidar à haute résolution).

Pour les simulations 1D, les bâtiments ne sont pas pris en compte pour pouvoir modéliser la limite maximale atteinte par les vagues. Seules la topographie issue du modèle numérique de terrain Litto3D et des coefficients de frottement liés à la nature du sol ont été pris en compte.

En 2D, les bâtiments susceptibles d'interagir avec les écoulements à terre sont pris en compte à travers la réalisation d'un MNE (Modèle Numérique d'Élévation) à partir de la BDTopo (IGN) et des données Litto3D. Les principales étapes nécessaires à cette construction, développées dans le cadre du projet ALDES (Le Roy *et al.*, 2012), sont schématisées en Figure 42:

- Dans le MNE « brut » issu de Litto3D sont intégrés aussi bien le bâti que les arbres, les voitures, etc... Le croisement avec la couche « bâti » de la BDTopo 2008 de l'IGN permet d'en extraire les éléments correspondant strictement aux bâtiments.
- La superposition de cette couche « bâti 3D » au MNT généré avec les données Litto3D et les sondes Histolitt (données SHOM) permet d'établir un MNE ne prenant en compte comme « sursol » que le bâti.
- Enfin, des corrections manuelles peuvent être nécessaires pour tenir compte des bâtiments et/ou ouvrages qui ne figurent pas dans la BDTopo de 2008.

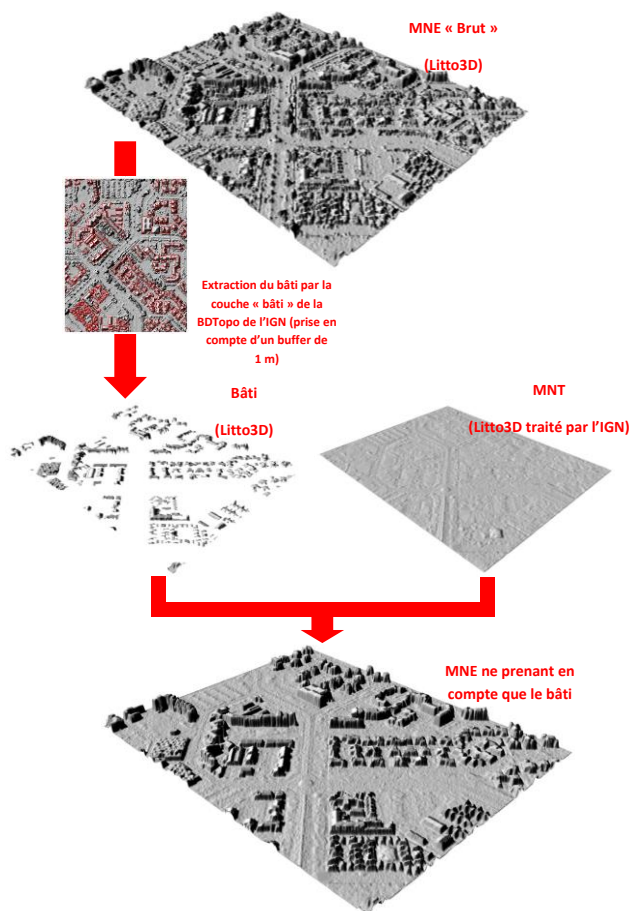


Figure 42 - Principales étapes nécessaires à la construction du MNE (Le Roy et al., 2012) – données Litto3D ©IGN.

Références altimétriques

Il est rappelé que les références altimétriques utilisées pour cette étude sont issues du document de référence publié par le SHOM (SHOM, 2011). Seuls trois sites y sont référencés pour l'île de la Réunion. Il s'agit des ports de la Pointe des Galets, de Saint-Leu et de Saint Pierre. Compte-tenu de la localisation de ces sites, la Pointe des Galets peut être retenu pour l'ordre de grandeur des caractéristiques de marée.

| Site | Plus haute mer astronomique (m/ ZH) | Moyenne des plus hautes mers journalières (m/ ZH) | Niveau moyen (m/ZH) | Moyenne des plus basses mers journalières (m/ ZH) | Plus basse mer astronomique (m/ ZH) | ZH / 0 IGN89 (m) |
|----------------------|-------------------------------------|---|---------------------|---|-------------------------------------|------------------|
| La Pointe des Galets | 1,01 | 0,80 | 0,60 | 0,35 | 0,08 | -0,554 |
| Saint-Leu | 0,85 | 0,65 | 0,51 | 0,30 | 0,17 | -0,530 |

| | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|--------|
| Saint-Pierre | 0,92 | 0,70 | 0,50 | 0,20 | 0,02 | -0,554 |
|--------------|------|------|------|------|------|--------|

Tableau 11 – Références altimétriques maritimes pour la Pointe des Galets, Saint-Leu et Saint-Pierre : : Plus hautes et basses mers astronomiques, Moyenne des plus hautes et basses mers journalières, Niveau moyen et écart entre Zéro Hydrographique (ZH) et Zéro IGN89 (SHOM, 2011)

On retiendra que le niveau de plus haute mer astronomique (marée) à la Pointe des Galets se situe +0,456 m IGN89 :

Niveaux d'eau considérés

Les niveaux d'eau ont été choisis à partir du cas historique correspondant à l'évènement de référence (Dina) :

- Sur chaque commune, l'heure du pic de houle a été déterminée à partir des résultats du modèle de houle élaboré dans le cadre du projet HOULREU.
- La série temporelle de niveau de marée prédite est calculé à l'aide du logiciel SHOMAR du SHOM à la Pointe des Galets, à l'heure du pic estimé de la houle lors de l'évènement ; ce niveau de marée est ensuite ramené au zéro IGN89 par l'intermédiaire des références altimétriques présentées au Tableau 11.
- Le niveau de marée sur chaque commune, et au moment du pic de houle, a été déterminé en extrapolant géographiquement et temporellement, avec une méthode linéaire, les données de marée prédites par le SHOM à la pointe des Galets, et en introduisant un déphasage temporel.
- La surcote atmosphérique a été estimée à partir des données disponibles pour l'évènement considéré. Les chroniques de mesure de pression sont connues grâce aux données des stations de Météo-France¹⁰ sur les sites de l'aéroport de Sainte-Marie et de la ville du Port. La surcote atmosphérique (baromètre inverse) est calculée au moment du pic de houle.

Cette méthode permet ensuite de déterminer avec précision le niveau de la mer (intégrant le niveau de marée et la surcote due à la dépression barométrique) au moment du pic de houle, sur chacun des sites d'étude.

¹⁰ Saison cyclonique – Sud-ouest de l'océan Indien, 2001-2002, Météo-France, 100p.

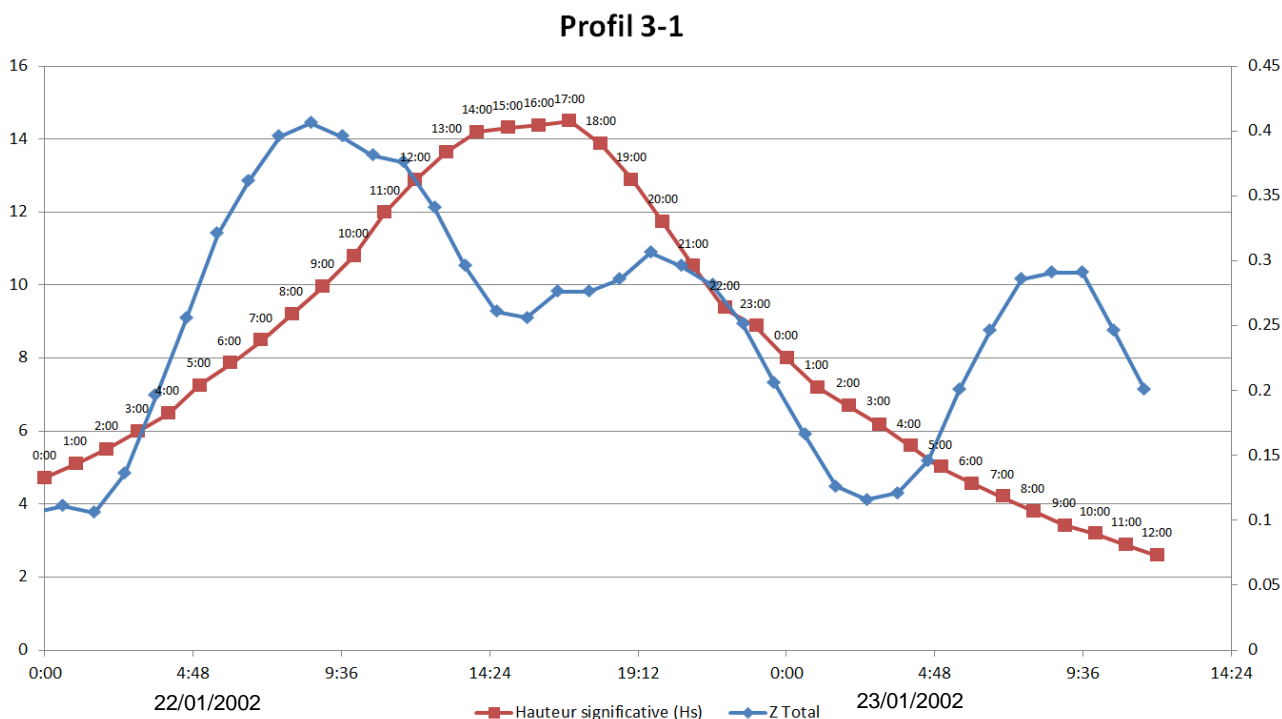


Figure 43 - Hauteur significative des vagues en rouge (en mètres, échelle de gauche) et niveau de la mer en bleu incluant la marée prédite et la surcote atmosphérique estimée (en mètres IGN89, échelle de droite) les 22 et 23 janvier 2002 (cyclone Dina) pour la commune de Sainte-Suzanne.

La prise en compte de l'élévation du niveau marin due au changement climatique se décline au travers des deux scénarios décrits précédemment : le scénario de référence et le scénario à échéance 100 ans.

Au final, les niveaux considérés sont donc les suivants :

| Événement de référence | Marée prédite (SHOMAR, /ZH) | Surcote atmosphérique | Niveau marin du scénario de référence (/0 IGN89) | Niveau marin du scénario à échéance 100 ans (/0 IGN89) |
|------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--|--|
| Cyclone Dina | 0.53 m (22/01/2002 vers 15h00 TU) | +0,32 m | 0.47 m | 0.87 m |

Tableau 12 - Niveaux marins retenus pour la simulation de submersion

Stratégie de modélisation : Méthode adoptée pour les simulations

Localisation de la simulation

Le littoral de Sainte-Suzanne est hétérogène avec notamment une succession de falaises et secteurs plus bas.

Au vu des enjeux sur le littoral de la commune de Sainte-Suzanne, il a été convenu de réaliser un modèles 2D sur le centre-ville en raison de son importante vulnérabilité aux aléas. Historiquement cette zone a connu de nombreux évènements qui ont eu un impact important. Un modèle 1D vient compléter l'analyse sur le secteur jugé sensible à la submersion (quartier de la Marine).

La localisation de ces deux modélisations est précisée dans la Figure 44.

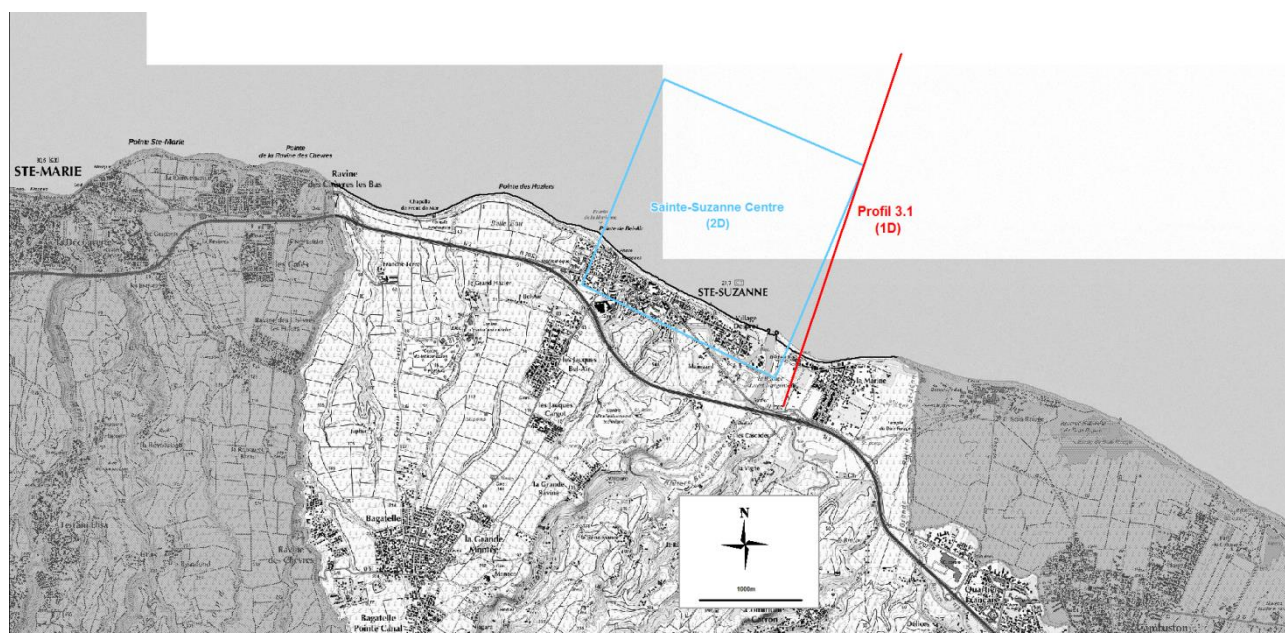


Figure 44 – Localisation des modélisations réalisées à Sainte-Suzanne.

Méthode de modélisation

La méthode mise en œuvre s'appuie sur les résultats de l'étude HOULREU du BRGM (grilles R2E et R2N à résolution 90 m, Pedreros *et al.*, 2009). Pour les simulations, compte-tenu des incertitudes et afin de simplifier la démarche, les simulations ont été menées directement à partir des houles de référence publiées par Lecacheux *et al.* (2012) suite à l'étude HOULREU : les caractéristiques des houles au large pour chaque événement avaient été corrigées pour estimer les caractéristiques des

vagues équivalentes orthogonales à la côte au large. L'utilisation de ces résultats permet de simuler la propagation des vagues depuis le large jusqu'à la côte directement avec SWAN.

La démarche pour les simulations de la submersion peut finalement être décomposée en 2 principales étapes :

- **propagation des spectres du large jusqu'à 50m de fond avec le code SWAN** en 2D, en conditions « maximisantes » (associant pic des vagues et niveau d'eau maximal, même si les deux phénomènes ne se sont pas produits simultanément lors de l'événement historique) à partir du calcul des houles équivalentes au large orthogonales à la côte (Lecacheux *et al.*, 2012) ;
- **propagation des vagues de 50m de fond jusqu'à la côte et calcul de la submersion marine en 1D avec le code SWASH sur une durée de 1h**, ce qui correspond à une série d'environ 240 vagues afin d'obtenir un nombre de vagues représentatif des phénomènes ;
- **propagation de vagues jusqu'à la côte et calcul de la submersion marine en 2D avec le code SWASH**, exclusivement déployé pour le secteur du centre-ville de Sainte-Suzanne.

Les différentes phases de modélisation en fonction des secteurs sont synthétisées dans la figure suivante :

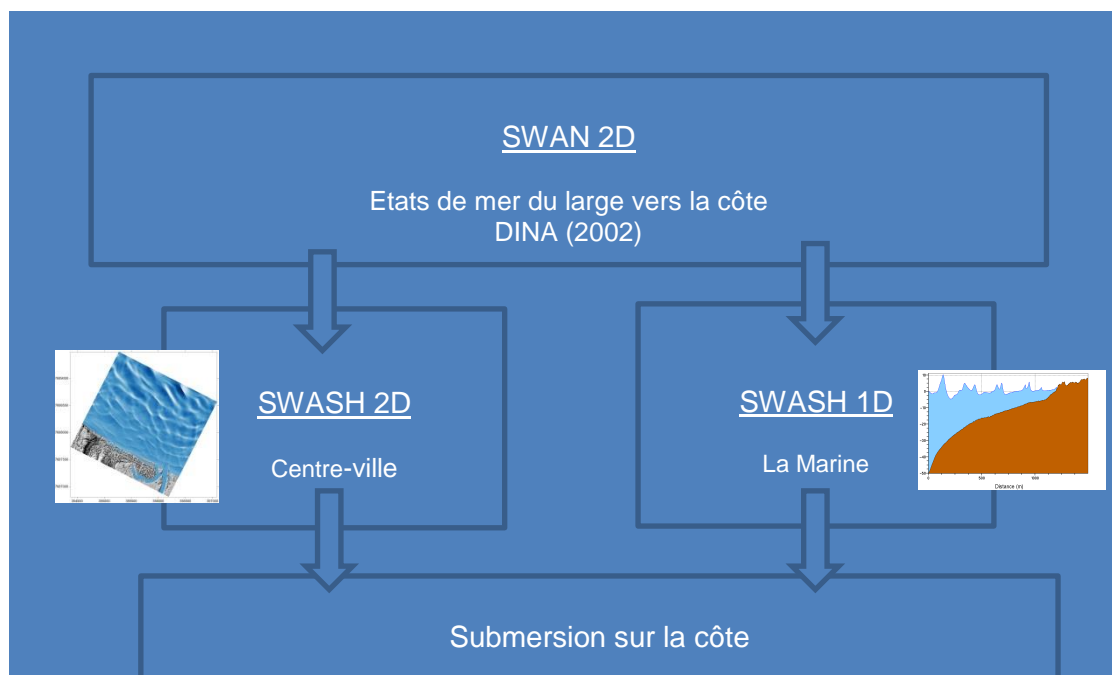


Figure 45 - Les différentes phases de modélisation en fonction des secteurs

Simulation SWAN 2D

Les calculs ont été menés dans un premier temps à l'aide du code SWAN en 2D, dans des conditions maximisantes (vagues et niveau d'eau maximaux le 22/01/2002, même si les maximums n'étaient pas simultanés lors de l'événement : à environ 15h00 UTC pour les vagues et à environ 09h00 UTC pour le niveau d'eau).

Les simulations du cyclone Dina menées lors de l'étude HOULREU (Pedreros *et al.* 2009) et modifiées par Lecacheux *et al.* (2012) pour calculer les houles équivalentes au large orthogonales à la côte ont été exploitées. Les caractéristiques des houles de référence calculées par SWAN pour forcer les profils SWASH à 50m de profondeur sont présentées dans le Tableau 13 .

| | | Conditions de houles calculées par SWAN2D et corrigée au droit des deux sites à 50m de profondeur | |
|--------|----------------|---|-----|
| Profil | Lieu | Hs (m) orthogonal | Tp |
| 1 | Sainte-Suzanne | 14.5m | 15s |

Tableau 13 – Evénement de référence « cyclone Dina » : résultat du modèle SWAN au droit des deux profils à 50m de profondeur, avec correction d'incidence (Hs équivalent à une houle orthogonales à la côte)

Simulation de la submersion SWASH 1D/2D sur le secteur de la Marine

La propagation des vagues de 50m de fond jusqu'à la côte ainsi que la submersion marine ont été calculées grâce au modèle SWASH (Simulating WAVes till SHore). Il s'agit d'un code vague-à-vague développé par l'Université Technologique de Delft aux Pays-Bas (Zijlema *et al.*, 2011). Il résout les équations de Saint-Venant non linéaires (*nonlinear shallow water*) en incluant les termes non-hydrostatiques de la pression. Ce code permet de simuler la propagation des vagues en domaine côtier ainsi que la submersion marine car il tient compte des phénomènes de : réfraction, diffraction, frottement au fond, gonflement, déferlement, réflexion, interactions (vague-vague, vague-courant), génération des courants induits par les vagues, le traitement de l'interface sèche-mouillée (en zone de swash) et la propagation des écoulements en présence d'ouvrages et du bâti.

Il est à noter que ce code ne contient pas de module morphodynamique si bien qu'il ne peut pas modéliser l'érosion des plages ou des cordons littoraux observés lors des cyclones.

Spécificités de la submersion en 1D

Les caractéristiques déterminées précédemment avec SWAN au droit du profil 3.1 sont utilisées comme conditions aux limites pour SWASH à une profondeur de 50 m. La propagation des vagues de 50m de fond jusqu'à la côte est menée à une résolution de 1 m le long du profil, et permet de connaître les principales caractéristiques des vagues le long de ce dernier dans les deux scénarios étudiés (scénarios de référence et 2100).

Les calculs sont menés sur des profils topo-bathymétriques issus des données Litto3D¹¹ ré-échantillonnées pour une résolution de calcul de 1m dans l'axe du profil.

En une dimension, le code SWASH prend en compte une friction sur le fond par l'intermédiaire d'un coefficient de Manning. Ce coefficient varie en fonction de la nature du fond. Pour cette étude, trois coefficients de Manning différents ont été considérés :

- Une valeur de Manning associée au « fond océanique » pour les profondeurs inférieures à 15-20 m ;

11 Ces profils n'intègrent pas le bâti.

- Une valeur de Manning associée à l'interface terre-mer caractérisant le cordon littoral entre la profondeur de 15-20m (on niveau de la rupture de pente lorsqu'elle est visible) jusqu'au niveau du haut de plage ou de l'arrière-dune lorsqu'elle est présente. La limite peut également correspondre au début de la zone anthropisée (route, bâtiment...). Ce secteur correspond au cordon littoral constitué de galets cyclopéens de grande taille ;
- Une dernière valeur de Manning est associée à la zone située plus en arrière. Elle tient compte, en valeur moyenne de « rugosité », d'obstacles (bâtiments, murets, clôtures...), de rues ou de végétation suivant la configuration du site.

Des essais ont été réalisés pour cerner l'importance des valeurs de Manning à considérer sur les trois zone-types décrites ci-dessus. L'analyse des résultats montre l'importance prépondérante de la valeur du Manning associée au cordon littoral sur lequel le déferlement se produit et sur lequel les premiers franchissements sont calculés. Sur cette zone, la valeur du Manning est comprise entre 0.03 et 0.08 s/m^{1/3} (S.Bunya et al, 2010).

Sur le fond océanique, la valeur choisie n'a que peu d'influence sur la distance de submersion à l'intérieur des terres. La valeur considérée sera de 0.02 s/m^{1/3} (S.Bunya et al, 2010).

Sur la zone arrière littorale, la valeur sera choisie en fonction du niveau d'encombrement, de végétation et d'urbanisation. Celle-ci sera autour de 0.15 s/m^{1/3} (S.Bunya et al, 2010).

Les résultats obtenus par ces simulations permettent de connaître à tout instant la surface libre de l'eau le long du profil 3.1 et d'en tirer des animations retraçant les mécanismes mis en jeu. Les résultats permettent également de connaître sur ce profil pour chaque niveau d'eau, les caractéristiques globales de la simulation (*setup*, cotes maximales et minimales de l'eau le long du profil, courants maximaux en flux et en reflux).

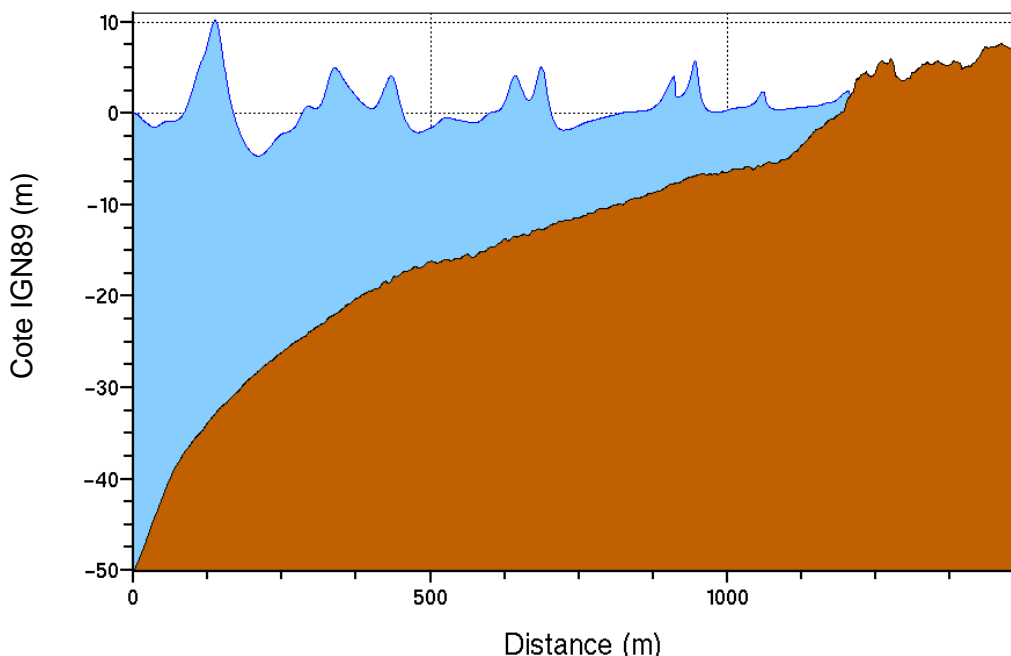


Figure 46 – Aperçu de la propagation des vagues le long d'un profil pendant la simulation

Ces résultats fournissent le run-up maximal atteint par les vagues sur les plages au droit des profils.

Spécificités de la submersion en 2D sur le secteur du centre-ville

La propagation des vagues à la côte ainsi que la submersion marine ont été calculées grâce au modèle SWASH en 2D.

Le MNE (voir Figure 47) servant au calcul de la submersion a été généré suivant la méthode synthétisée dans la Figure 42. Il possède une résolution spatiale de 2 m s'étalant du large jusqu'à des profondeurs d'environ 35 m. Le littoral se caractérise par des zones escarpées à l'ouest dépassant rapidement les 10 m d'altitude, la présence d'un cordon de galets cyclopéens tout le long de la plage et le débouché de la rivière Sainte-Suzanne à l'Est. On peut aussi remarquer que le centre-ville est limité au sud par un bras mort de la rivière et au nord (secteur Est de la ville) par un fossé d'une profondeur allant jusqu'à 3 m et une largeur maximale d'une trentaine de mètres.

SWASH 2D a été forcé au large avec les données de DINA issues du modèle SWAN côtier de l'étude de Pedreros *et al.* 2009 avec des vagues de 16 m de hauteur significative, 16.5 s de période pic et provenant du NNE (incidence de 30° par rapport à la côte) sur une durée de 1 heure.

Le frottement lors de la propagation des vagues et durant la phase de submersion est pris en compte à l'aide de la formulation de Manning selon 6 coefficients différents (Figure 48) correspondant au domaine marin ($0.02 \text{ s.m}^{-1/3}$), au cordon de galets ($0.06 \text{ s.m}^{-1/3}$), aux zones végétalisées ($0.05 \text{ s.m}^{-1/3}$), aux routes ($0.014 \text{ s.m}^{-1/3}$, asphalté) et aux terrains de pétanque en front de mer ($0.04 \text{ s.m}^{-1/3}$).

Comme pour les calculs sur les profils, SWASH en 2D permet de connaître à tout instant la surface libre du plan d'eau (Figure 49) et les vitesses sur l'ensemble du domaine d'étude ainsi que les caractéristiques globales (hauteur significative, *setup*, etc.).

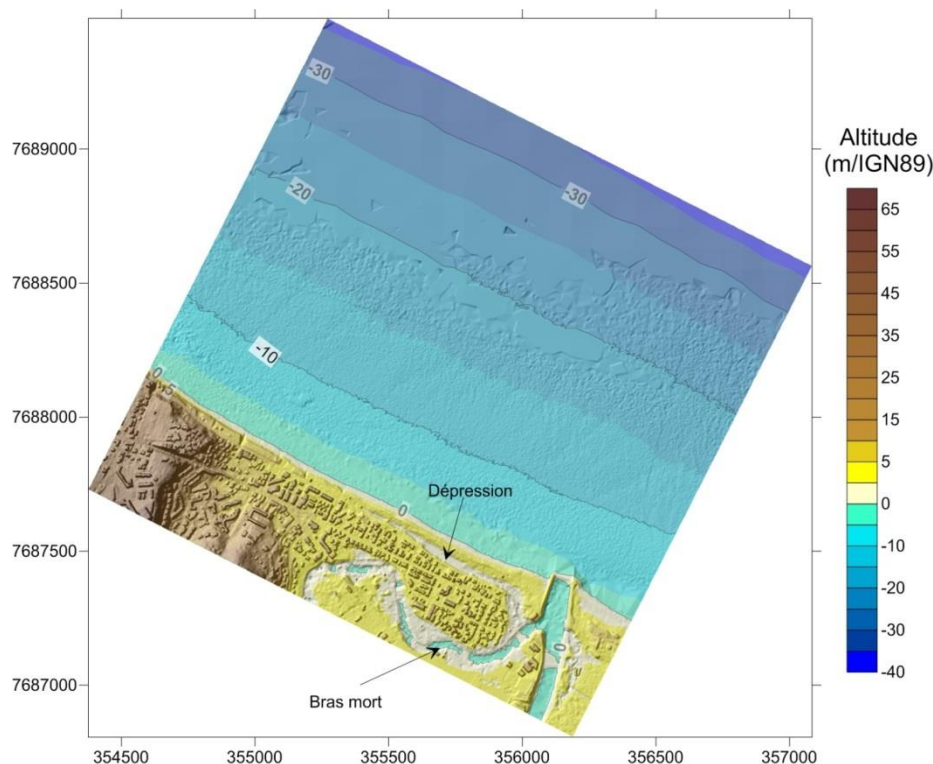


Figure 47 - MNE de Sainte Suzanne utilisé pour le calcul de la submersion marine.

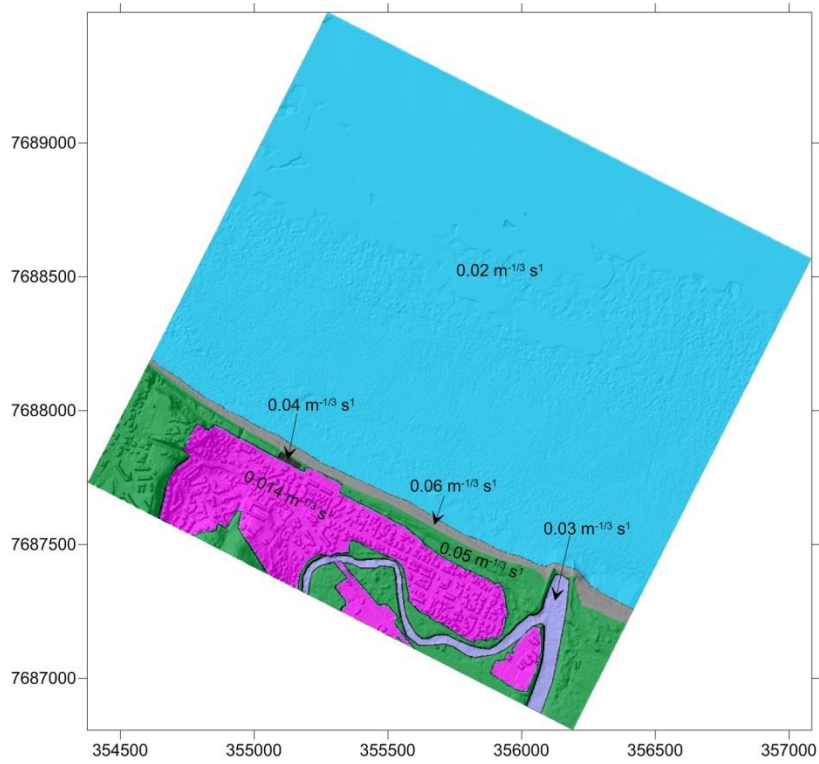


Figure 48 - Carte des coefficients de Manning utilisée pour les calculs de submersion.

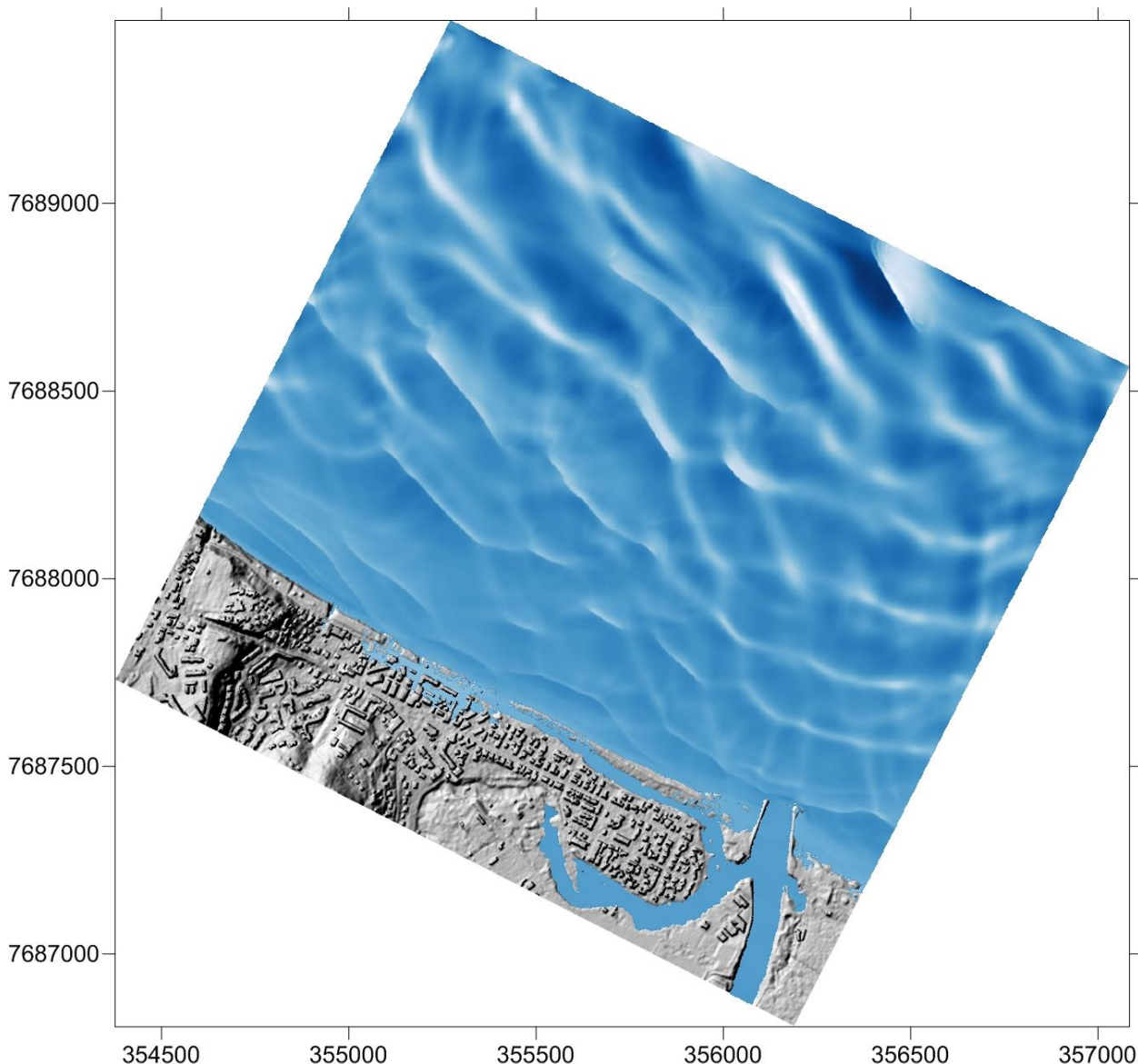


Figure 49 - Champ de vagues à l'instant 30 minutes (calcul réalisé entre les instants 0 et 1 heure du modèle), Sainte-Suzanne.

6.2.3. Analyse des résultats des simulations SWASH 1D

Les paragraphes suivants présentent les résultats des simulations numériques sur la commune de Sainte-Suzanne. Les résultats sont donnés en termes de hauteur d'eau et de vitesse maximale atteinte pendant la simulation. Les figures suivantes permettent également de repérer les limites de l'aléa fort telles que définies par le modèle numérique, pour les scénarios de « référence » et « 2100 ».

Les résultats obtenus sur le profil 1D sont représentés en Figure 50 et Figure 51. Ces figures permettent de visualiser :

- Les hauteurs d'eau maximales à terre pour le scénario de référence et 2100;
- Le niveau statique de référence et 2100 ;

- La topographie des profils au niveau des zones de déferlement.

Ces résultats sont illustrés sur des photographies aériennes avec les limites atteintes par les vagues qui ont franchi le cordon littoral pendant l'évènement de référence et l'évènement 2100. Compte tenu des fortes vitesses observées dans la zone de franchissement, cette limite atteinte par les vagues est généralement considérée comme étant la limite de l'aléa fort (Figure 50 & Figure 51). Elle peut localement être projetée 30 à 50 mètres dans les terres dans le cas où il existe une historique concernant des projections de matériaux.

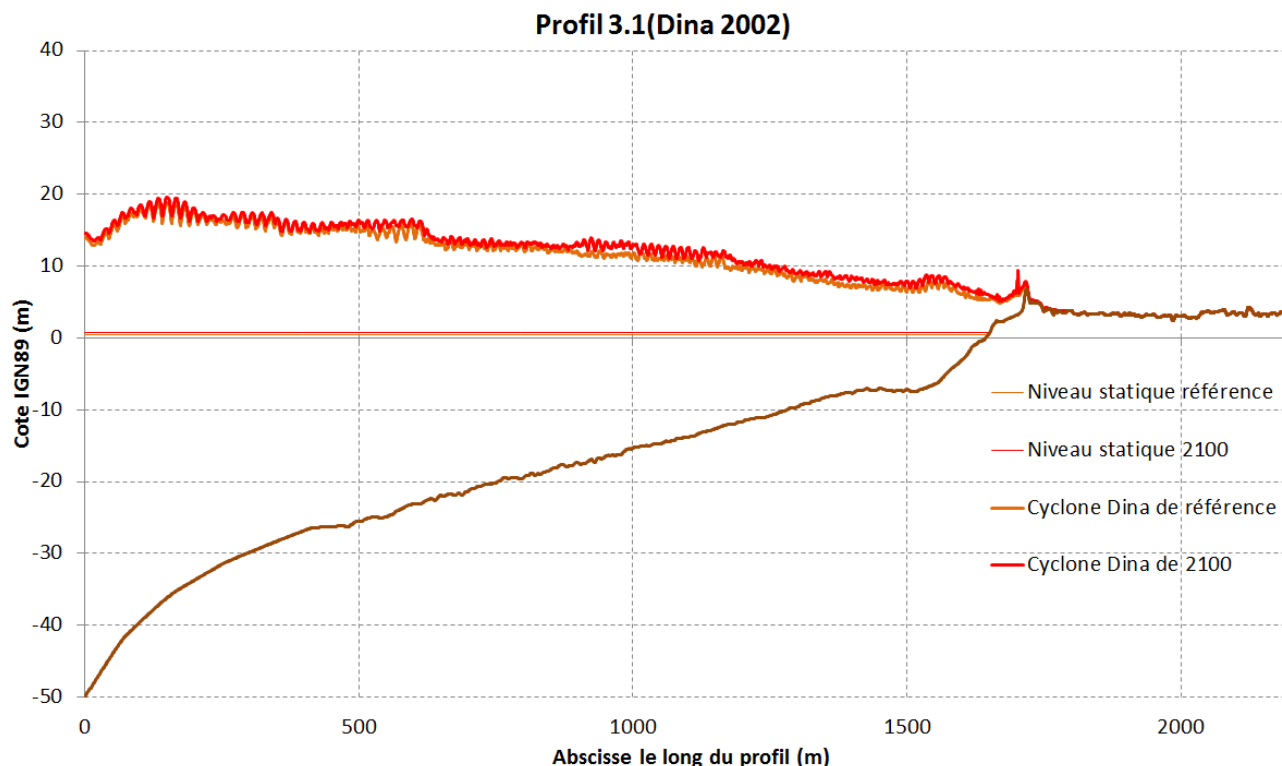


Figure 50 - Evènement de référence « cyclone Dina » : niveau d'eau maximal obtenu le long du profil 3.1 à Sainte-Suzanne pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée – Profils en travers

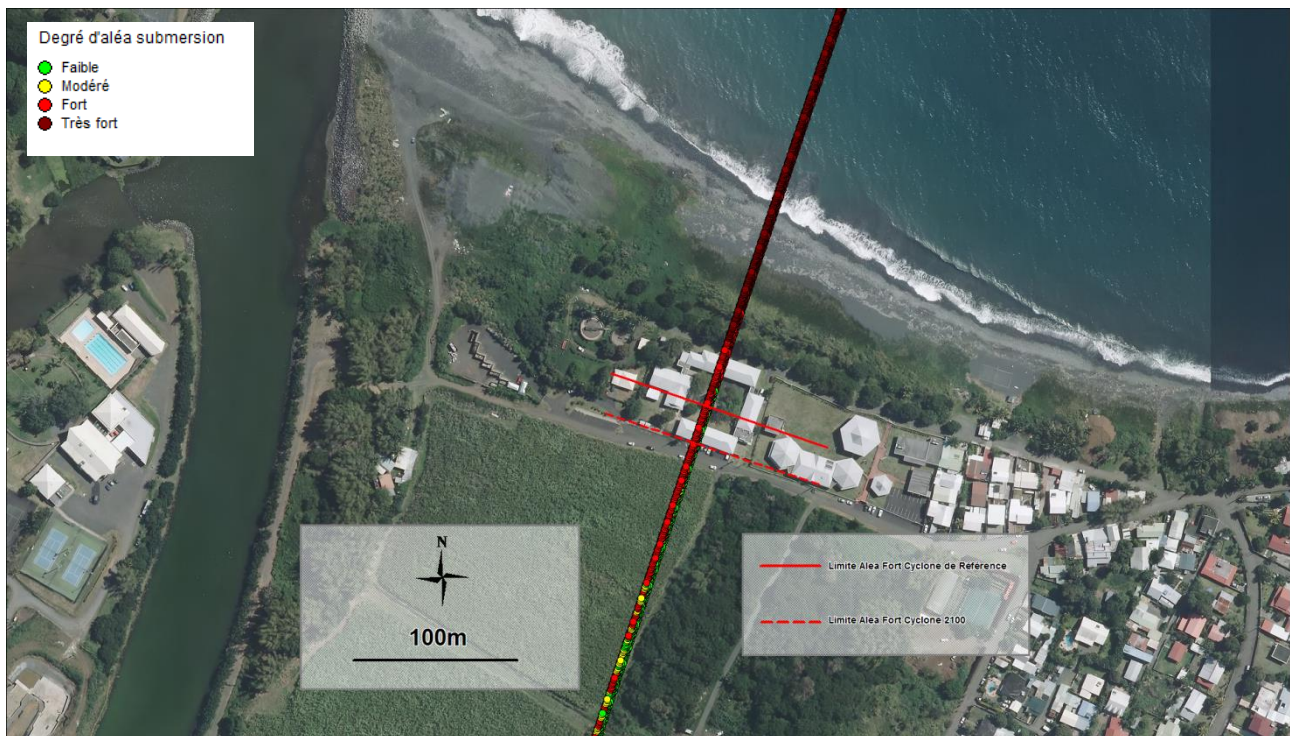


Figure 51 - Evènement de référence « cyclone Dina » : Limites de l'aléa fort le long du profil 1 pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée – Vue en plan (Fond orthophotographie 2011, IGN©)

Le profil 3.1 traverse le secteur et chevauche l'école de la Marine (profil 3.1. Cette école a été inondée et des remblais ont été projetés dans son enceinte lors du cyclone DINA (2002). On rappelle que le scénario de référence correspond au cyclone DINA (2002) avec une première prise en compte du changement climatique à moyen terme (+20cm) et que le scénario de 2100 correspond au même cyclone avec une prise en compte du changement climatique à long terme de +60cm.

6.2.4. Analyse des résultats de modélisation SWASH 2D

Les hauteurs d'eau (Figure 52) et les vitesses maximales (Figure 53) indiquent une submersion partielle du front de mer (1 à 2 m) par franchissement de paquets de mer avec une pénétration préférentielle de l'inondation au niveau des rues perpendiculaires au rivage pouvant dépasser les 100 m voire 200 m pour le scénario 2100. Cette inondation se propage ensuite dans les rues parallèles au trait de côte. Les vitesses sont maximales au rivage (> 4m/s) et correspondent aux chocs des vagues. Les vitesses d'écoulement dans les rues peuvent dépasser 2 m/s. L'eau pénètre également par la rivière et se propage dans le bras mort submergeant les rives. On remarque le rôle de protection contre la submersion joué par le fossé (zone de stockage) notamment pour le scénario de « référence ».

Les cartes d'aléa obtenues à partir des simulations (Figure 54) montrent une grande prédominance de l'aléa fort sur les zones concernées par la submersion marine.

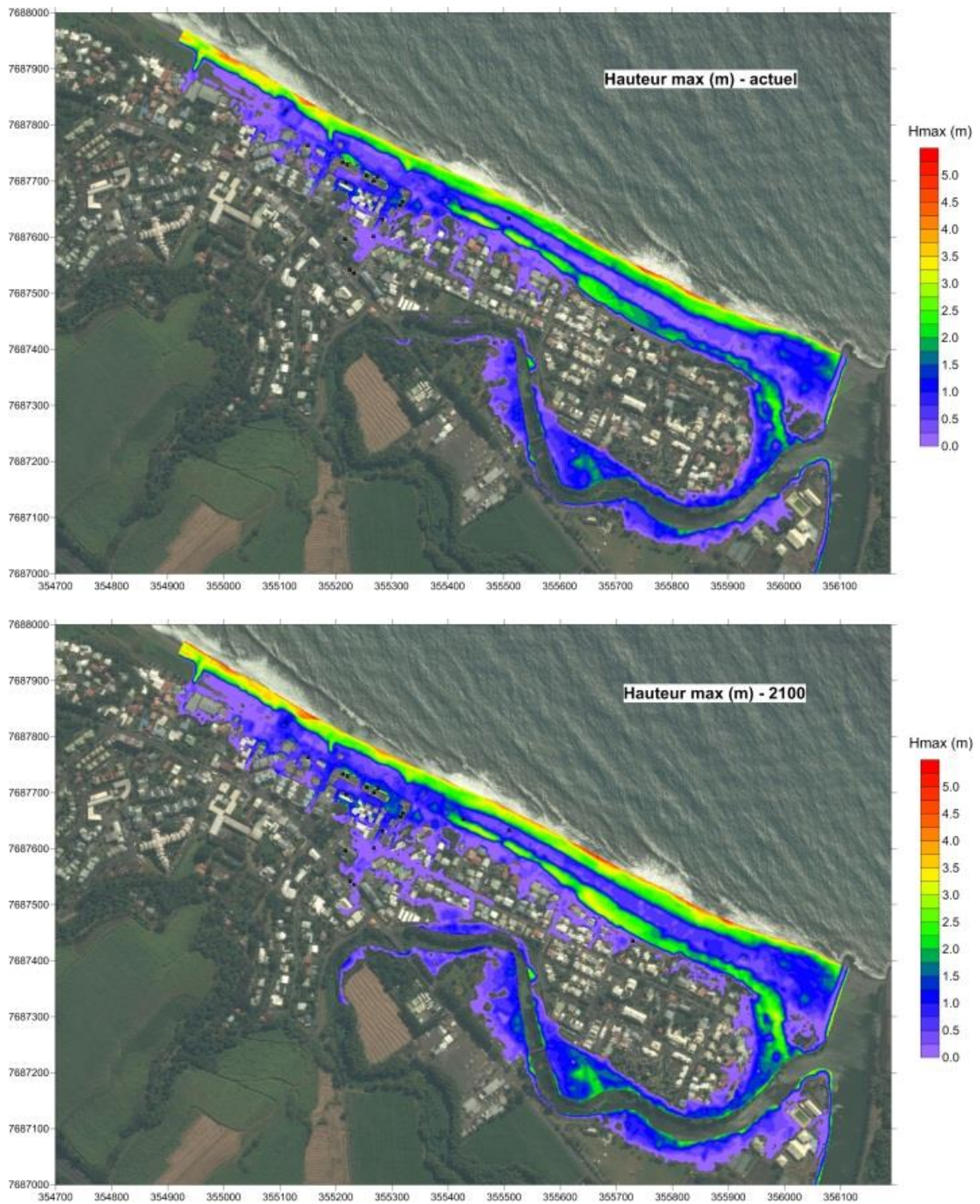


Figure 52 - Hauteurs d'eau maximales à terre atteintes lors de la submersion pour le scénario de « référence » (en haut) et « 2100 » (en bas). Orthophoto 2011, IGN©

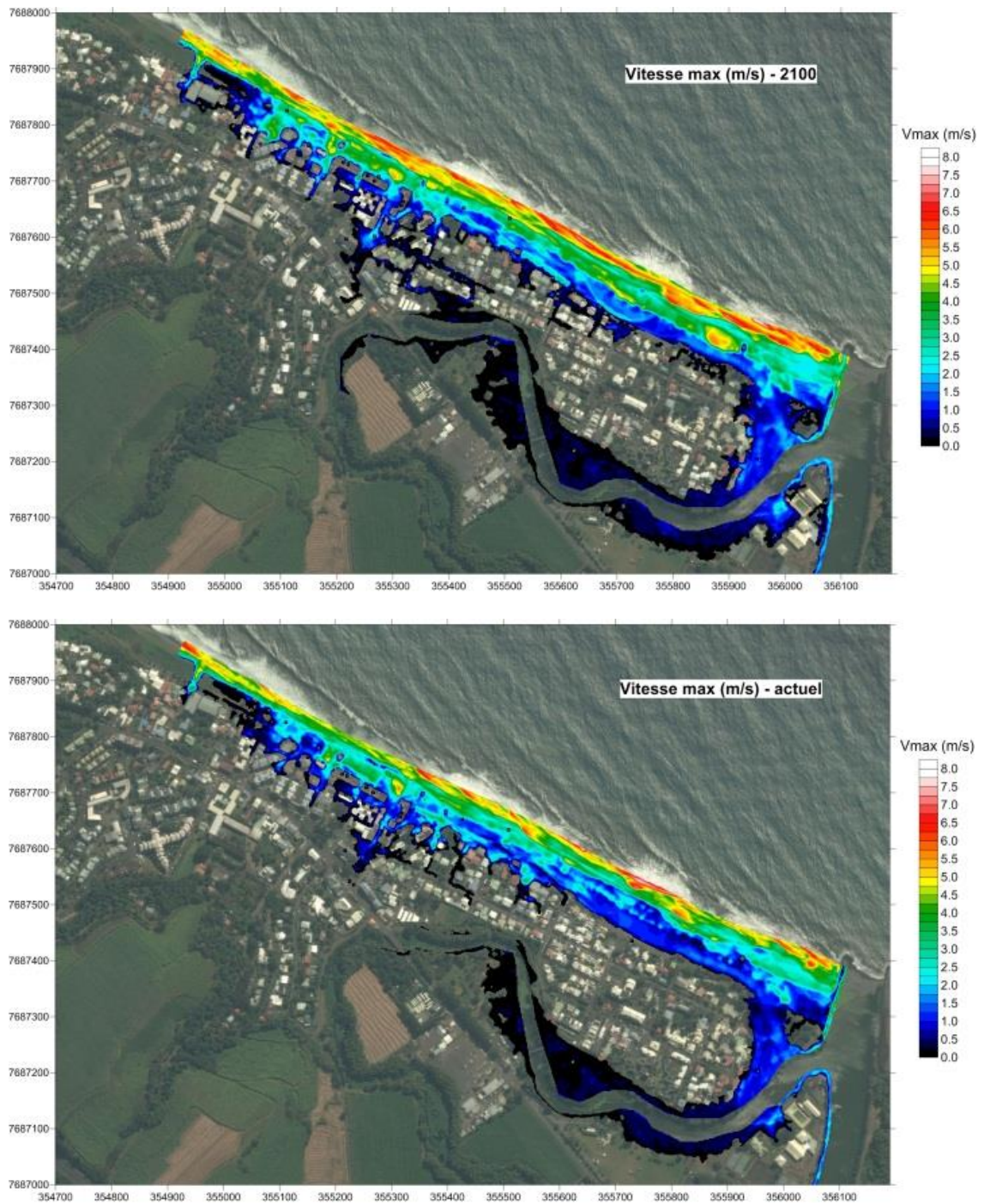


Figure 53 - Vitesses maximales atteintes lors de la submersion pour le scénario de « référence » (en haut) et « 2100 » (en bas). Orthophoto 2011, IGN©

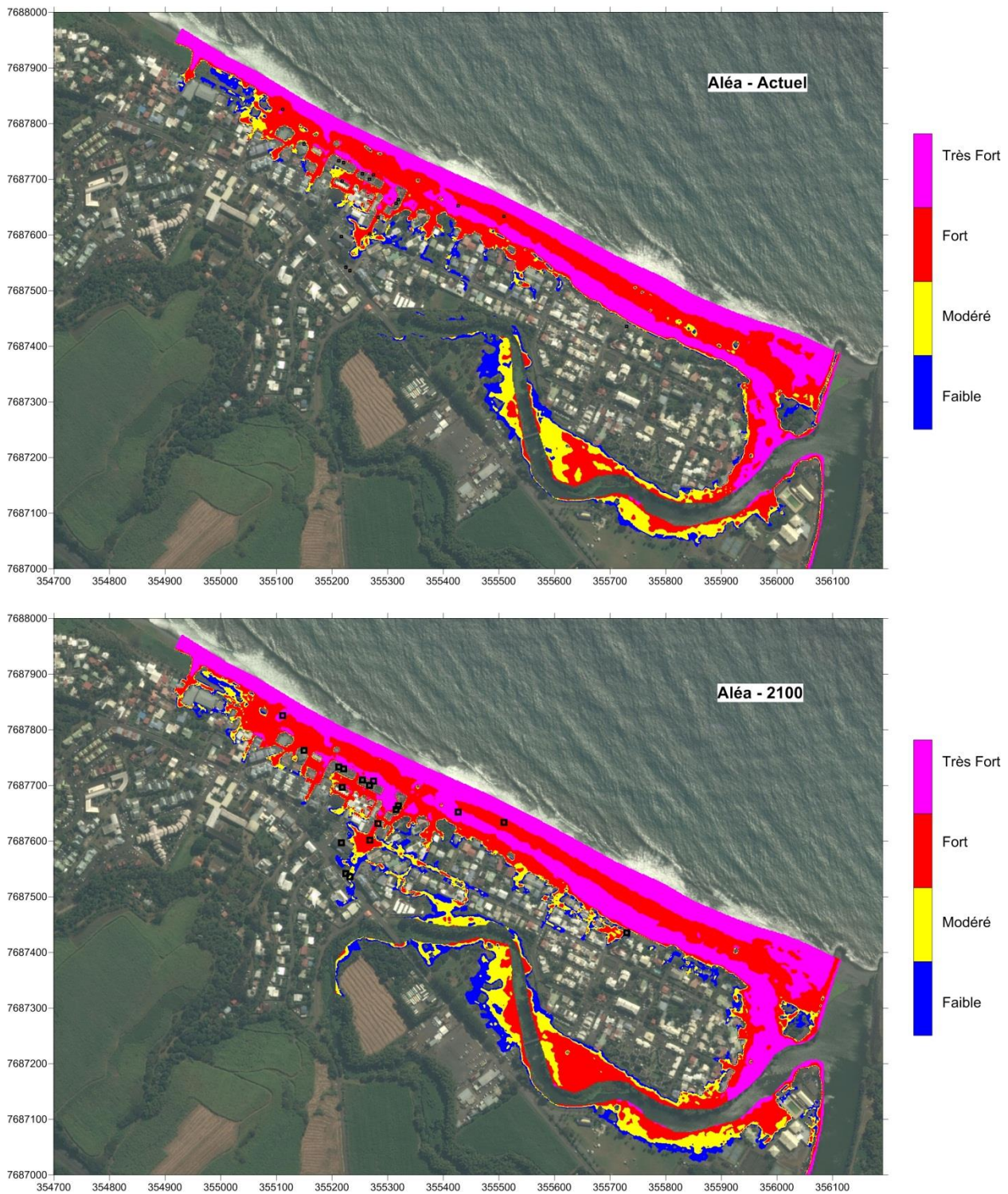


Figure 54 - Cartes d'aléa issues de la modélisation de la submersion pour le scénario de « référence » (en haut) et « 2100 » (en bas). Les carrés correspondent aux observations historiques de la submersion. Orthophoto 2011, IGN©

6.2.5. Zonage cartographique de l'aléa submersion marine

Qualification de l'aléa

La qualification de l'aléa repose sur la prise en compte de la dynamique de submersion de la manière suivante (Tableau 14) :

| | | Dynamique de submersion | | |
|-------------------|---------|-------------------------|---------|-------------|
| | | Lente | Moyenne | Rapide |
| Hauteur d'eau (m) | H<0,5 | Faible | Modéré | Fort |
| | 0,5<h<1 | Modéré | Modéré | Fort |
| | H>1 | Fort | Fort | (Très) Fort |

Tableau 14 – Qualification de l'aléa submersion marine en fonction de la dynamique de submersion (Guide PPRL, MEDDTL, 2012 et DGPR, 2013)

En première approche l'aléa est défini à minima par les éléments quantifiés issus de la modélisation numérique de submersion. Ces éléments sont ensuite complétés par des considérations et analyses décrites dans le chapitre suivant.

Traitements et zonages cartographiques pour le scénario de référence

Le zonage est cartographié sous SIG à partir :

- Des données historiques recueillies
- Des données issues des modélisations (hauteur et vitesse d'écoulement)

Les résultats des modèles sont traités sous SIG par des analyses thématiques permettant une analyse croisée des informations de vitesse et de hauteur d'eau pour qualifier l'aléa selon les critères énoncés dans le Tableau 14.

Une analyse de la cohérence des résultats est ensuite menée en confrontant le résultat de l'analyse thématique brute avec :

- les données historiques connues sur le site.
- Une analyse experte du MNT pour comprendre les modes d'écoulement des submersions

Sur les secteurs traités à l'aide des modèles 1D, une fois validés ou corrigés par l'expertise, les résultats des modèles sont étendus et spatialisés, suivant différentes approches en fonction des configurations. L'expertise permet de définir l'emprise et la cohérence de cette spatialisation suivant les typologies des littoraux (plages, falaises) et leurs caractéristiques morphologiques (altitude du cordon, points d'entrée d'eau préférentiels, « cuvettes ») identifiées à partir du MNT, des orthophotographies et de la connaissance du terrain.

Par ailleurs, reprenant certains éléments méthodologiques du guide national, les principes cartographiques suivants ont été retenus pour la cartographie de l'aléa de référence :

- *La limite des aléas sont définis par les résultats du modèle le plus représentatif du secteur*
- *Un bandeau forfaitaire (30 à 50m) d'aléa fort est considéré pour les secteurs pouvant être concernés par des projections de matériaux sédimentaires (galets, fragments de coraux) et de débris ;*
- *A minima, le bandeau d'aléa modéré fait 20m ou 10m de large suivant que le profil du terrain naturel soit plat/descendant ou ascendant*

- A minima, le bandeau d'aléa faible fait 15m de largeur
- Derrière un ouvrage littoral de protection contre la submersion (type levée ou digue), un bandeau de 50m d'aléa fort est considéré
- De la même manière, derrière un massif de type cordon dunaire ou cordon littoral, une zone de 50m d'aléa fort est également considérée
- En zone de déferlement cyclonique, un bandeau de 50m d'aléa fort est considéré en arrière du trait de côte
- Dans les zones d'estuaire, et lorsque la dynamique des vagues n'est plus à considérer (car positionné très en amont), le niveau statique calculé en front de mer (niveau de la mer + marée + setup + surcote atmosphérique) est utilisé pour cartographier la zone submergée par une méthode MNT simplifiée.

Traitements et zonages cartographiques pour le scénario 2100

Concernant la prise en compte du changement climatique, une analyse d'ensemble des résultats des simulations numériques a été réalisée.

Chaque profil ayant été modélisé selon les scénarios de « référence » et de changement climatique (scénario « 2100 »), il a été possible de mesurer sur chacun de ces profils la distance de recul de l'aléa que pouvait entraîner l'élévation du niveau marin à échéance 2100. Ces résultats sont synthétisés dans le graphique suivant.

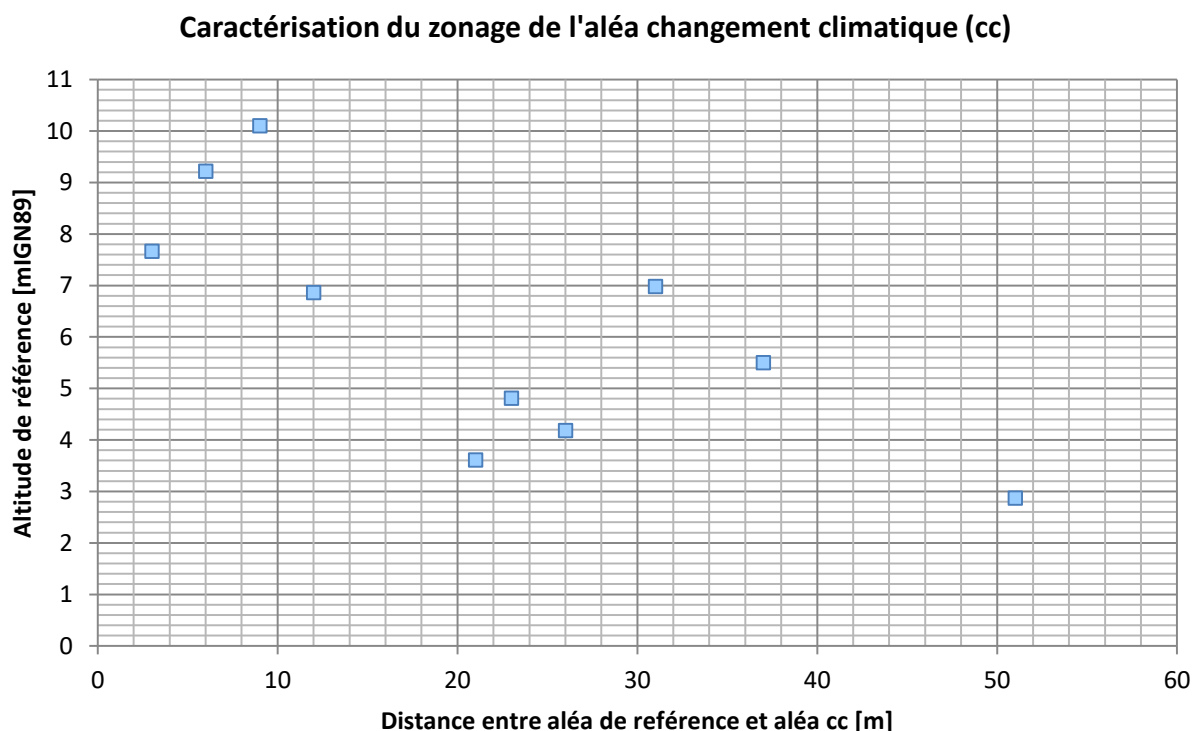


Figure 55 - Caractéristiques du zonage changement climatique

Sur les 10 modèles réalisés sur l'ensemble du littoral Nord Est de la Réunion (Chateauminois & al 2014), on peut constater une forte disparité de l'impact du changement climatique sur le recul que celui-ci peut entraîner en termes de zonage cartographique. Ce recul planimétrique varie entre 3m et peut monter jusqu'à 51m suivant le profil.

Pour cartographier le zonage de submersion « 2100 », s'agissant d'une approche à long terme, il a semblé pertinent de chercher à moyenniser ces résultats de modélisation plutôt que de chercher à faire parler les modèles de façon isolée. L'autre objectif est d'aboutir à des règles simples mais qui restent pertinentes vis-à-vis des phénomènes étudiés.

Pour ces raisons, et sur la base de l'analyse de la figure précédente, les choix méthodologiques suivants ont été réalisés pour cartographier le zonage submersion « 2100 » :

« Le zonage de référence subit un recul de 10 à 30m suivant que l'altitude atteinte par la limite de l'aléa fort de référence se trouve au-dessus ou au-dessous de la cote 7m IGN89 »

Ce résultat est obtenu en faisant les regroupements indiqués par les encadrés bleu-ciel et bleu-marine sur la figure ci-dessus :

- Les 3 profils les moins impactés par le changement climatique (recul inférieur à 10m) présentent une limite d'aléa fort située au-dessus de 7m IGN89.
- Les 5 profils suivants, et dont la limite d'aléa fort se situe au-dessous de 7m, présentent un recul inférieur ou égal à 30m.
- Les deux autres profils qui affichent un recul supérieur à 30m sont considérés comme des cas particuliers qui peuvent sortir de l'approche moyennée.

Cette méthode permet d'aboutir à une règle simple et intelligible puisqu'elle permet de prendre en compte implicitement l'inclinaison du terrain (pente littorale) sur le secteur cartographié.

Résultats cartographiques

Pour l'aléa submersion marine, le niveau d'intensité de l'aléa est évalué selon les deux scénarios donnant l'aléa de référence et l'aléa à échéance 100 ans (ou à l'horizon 2100).

Pour chacun des deux scénarios, le niveau d'intensité de l'aléa est décliné en trois niveaux de gradation : faible, modéré et fort, chaque niveau étant associé à des couleurs (respectivement vert, orange et rouge).

Il en résulte la superposition d'un grand nombre d'informations sur les cartes d'aléa submersion marine. Les informations concernant les deux scénarios ci-dessus sont différenciées par l'usage de surfaces colorées pour l'aléa de référence, et de lignes discontinues pour l'aléa à échéance 100 ans (dit aléa 2100).

Les résultats sont présentés sous la forme de deux types de cartes :

- une carte de synthèse au 1/10 000^{ème} présentant les modes de submersions (extrait en *Figure 56*), les particularités hydro-morphologiques (point d'entrée d'eau préférentiel, embouchures, dépressions arrière-littorales), les secteurs non soumis à une interaction avec l'évolution du trait de côte et les données historiques disponibles ;
- une carte de zonage au 1/5000^{ème} de l'aléa de référence et de l'aléa à échéance 2100 (extrait en *Figure 57*).

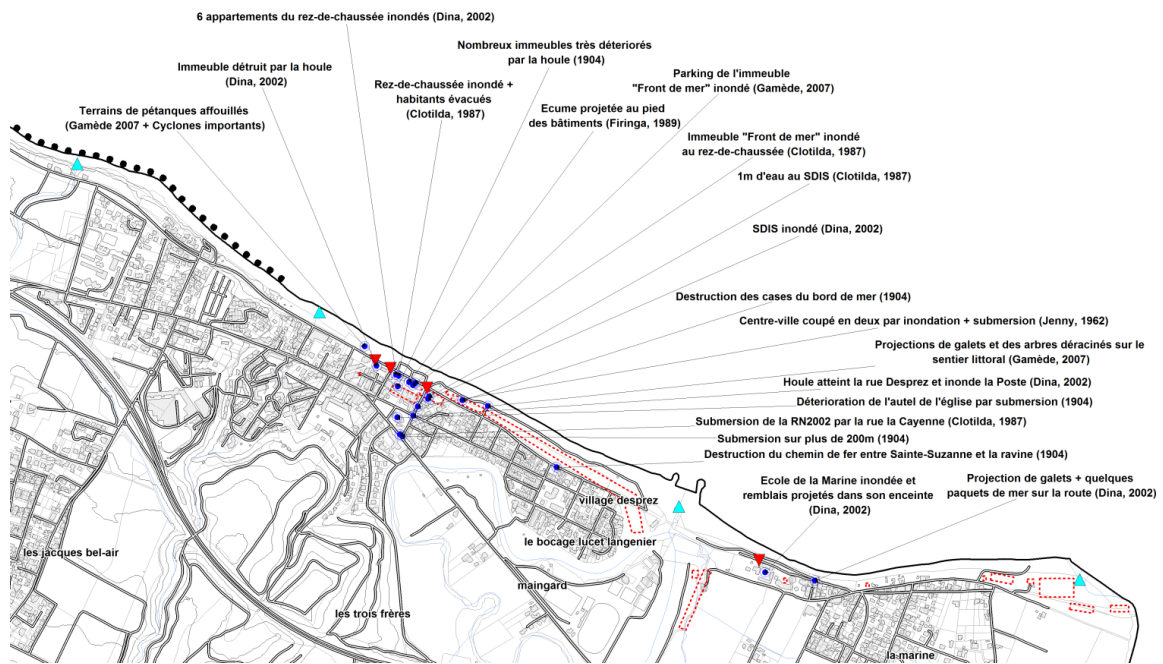


Figure 56 - Extrait de la carte de synthèse de l'historique de la submersion marine de la commune de Sainte-Suzanne (cf. Annexe 3)

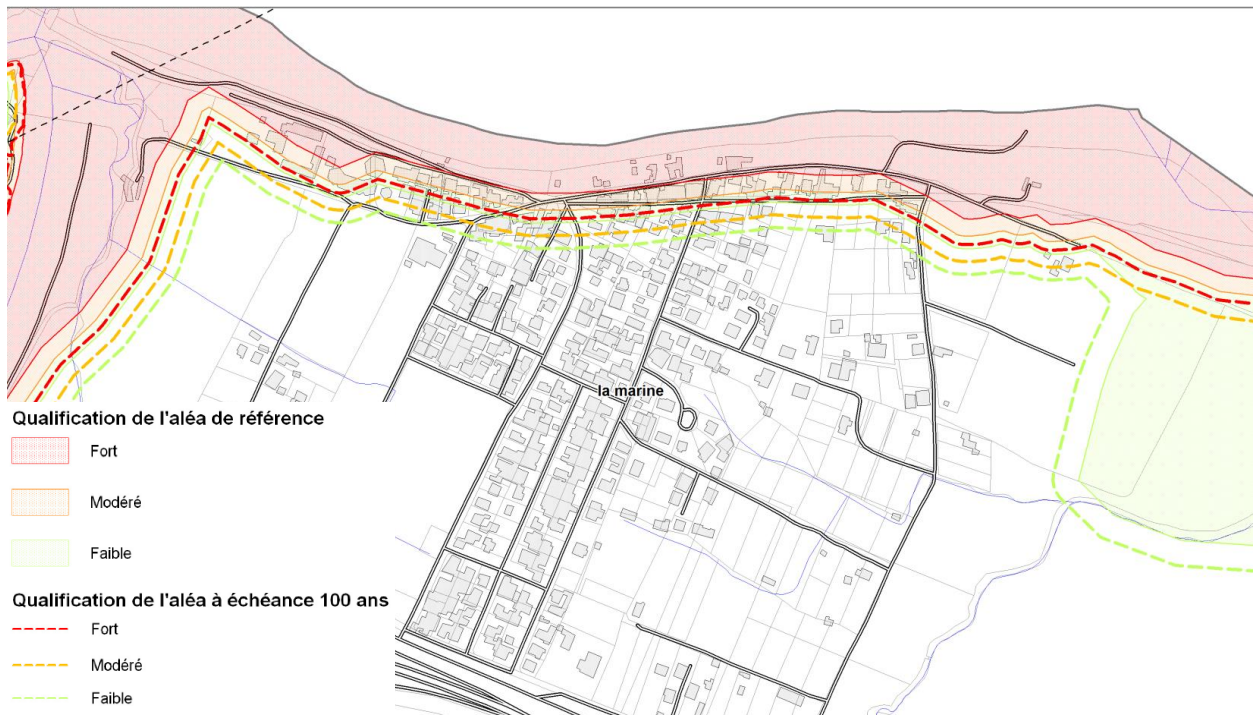


Figure 57 – Extrait de la carte d'aléa submersion marine de la commune de Sainte-Suzanne (cf. Annexe 4)

7. Elaboration du zonage réglementaire

7.1. METHODOLOGIE

L'élaboration du zonage réglementaire constitue l'ultime étape cartographique du Plan de Prévention des Risques naturels littoraux. Il permet, en croisant les différentes données d'aléas et d'enjeux à disposition, de définir les secteurs au sein desquels les constructions seront autorisées, interdites ou soumises à prescriptions.

La version finale du guide méthodologique d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux (DGPR, mai 2014), précise à ce sujet que *le zonage réglementaire traduit de façon cartographique les choix issus de l'évaluation des risques et de la concertation menée avec l'ensemble des acteurs de la gestion du risque. [...] Il a pour but de définir, dans les zones directement exposées aux risques et le cas échéant, dans les zones non directement exposées, une réglementation homogène comprenant des interdictions et des prescriptions réglementaires.*

La circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux et ses annexes définissent que *le PPRL devra prendre en compte deux aléas distincts, l'aléa de référence [...] et un aléa à l'horizon 2100, avec une progressivité de la réglementation entre les deux conditionnée par le caractère urbanisé ou non de la zone considérée.*

L'élaboration de la cartographie réglementaire du présent PPRL est donc complexe dans la mesure où elle prend en considération cinq types d'information distincts :

- Deux types d'aléas littoraux : recul du trait de côte et submersion marine ;
- Deux temporalités pour chacun des deux aléas considérés : l'aléa de référence et l'aléa à horizon 2100 ;
- Le caractère urbanisé ou non de l'espace étudié.

Un groupe de travail partenarial DEAL/Services techniques de plusieurs collectivités a été mis en place au premier semestre 2015 pour élaborer la trame d'un règlement-type « PPR littoral » réunionnais. Ce règlement-type a servi de base au projet PPR littoral de la commune de Sainte-Suzanne.

7.1.1. Les espaces urbanisés et non-urbanisés

La prise en considération des espaces urbanisés et non-urbanisés est essentielle dans le cadre de l'élaboration d'un document de risques (Figure 58). Elle a pour vocation de :

- Ne pas aggraver les risques dans les secteurs non-anthropisés et soumis à un ou plusieurs aléas ;
- Permettre un développement raisonné des espaces urbanisés soumis à un degré d'aléa faible à modéré, dans la mesure où la protection des biens et des personnes exposées à certains aléas est rendue possible par la mise en place d'un certain nombre de prescriptions.

La délimitation de ces espaces a été faite en intégrant différentes données à disposition, et notamment :

- Le Schéma de Mise en Valeur de la Mer (SMVM du 22 novembre 2011) élaboré par la Région Réunion, notamment les espaces naturels remarquables du littoral ;
- Les zones de coupure d'urbanisation du Schéma d'Aménagement Régional (SAR du 22 novembre 2011) élaborée par la Région Réunion ;
- Les zones naturelles délimitées dans les documents d'urbanismes communaux (Plan Local d'Urbanisme / Plan d'Occupation des Sols) ;
- La limite des 50 pas géométriques ;

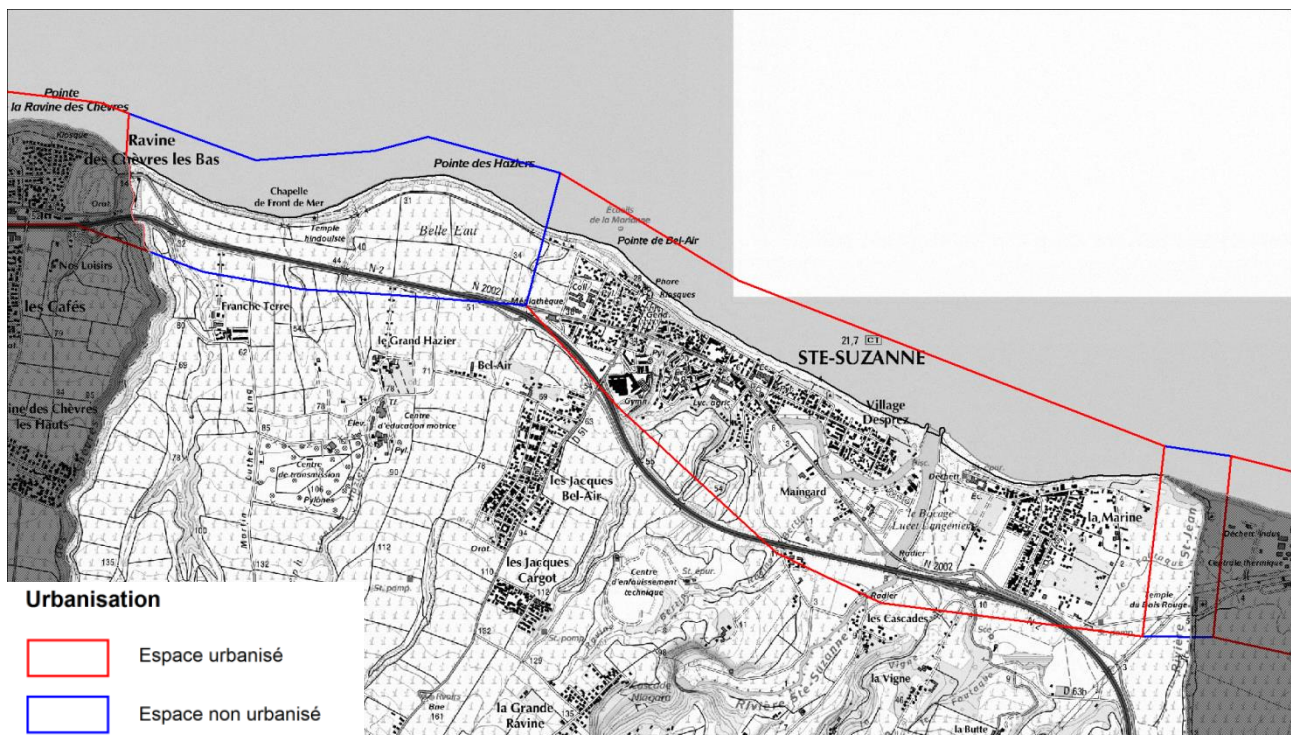


Figure 58 – Délimitation des espaces urbanisés et non urbanisés sur le littoral de Sainte-Suzanne

7.1.2. La submersion marine

Cas général

La traduction réglementaire de l'aléa submersion marine passe par le croisement cartographique :

- Des données d'aléa de référence et d'aléa 2100 dans un premier temps ;
- De la donnée issue du croisement de ceux aléas avec les espaces urbanisés/non-urbanisés dans un second temps.

Le guide méthodologique national rappelle à ce titre les principes généraux de prévention dans les zones soumises à un risque de submersion, et à intégrer dans l'approche territorialisée sur l'île de la Réunion :

- « Les espaces non urbanisés soumis au risque d'inondation, quel que soit son niveau, restent préservés de tout projet d'aménagement afin de ne pas accroître la présence d'enjeux en zone inondable ;
- les espaces déjà urbanisés ne doivent pas s'étendre en espace inondable peu ou pas urbanisé, et les secteurs les plus dangereux (zone d'aléa fort) sont rendus inconstructibles ;
- D'une manière générale la vulnérabilité des espaces urbanisés ne doit pas être augmentée ;

- *La prise en compte du réchauffement climatique dans l'aléa horizon 100 ans n'a pas pour conséquence directe de rendre inconstructible les secteurs concernés (sauf rare exception essentiellement liée à la topographie du lieu [...]). Dans ces zones, le périmètre et la nature des mesures de réduction de vulnérabilité à prescrire (hauteur de plancher, espace refuge...) seront définis à partir de l'aléa horizon 100 ans. Cependant, dans le respect des principes guidant la réalisation des PPR, dans quelques cas limités, l'inconstructibilité sera la règle ou à étudier. Plus précisément, il s'agit d'un terrain situé dans la zone d'aléa 2100 (modéré ou fort), en zone naturelle, et dans une zone non soumise à l'aléa de référence ».*

A partir de ces dispositions générales et en tenant compte des spécificités communales de Sainte-Suzanne, il a été décidé de distinguer les zones réglementaires suivantes :

Principes d'inconstructibilité liés à la submersion :

En espace urbanisé, un principe d'inconstructibilité s'applique à toutes les zones d'aléa fort ou modéré de référence.

En espace non-urbanisé, un principe d'inconstructibilité s'applique à toutes les zones concernées par un aléa, qu'il soit actuel ou à horizon 2100, à l'exception des secteurs d'aléa nul de référence ET faible à horizon 2100.

Un principe de constructibilité avec prescription s'applique sur les autres secteurs (*Tableau 15 & Tableau 16*).

| Espaces Non urbanisés | | ALEA 2100 | | |
|--------------------------|--------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| | | Faible | Modéré | Fort |
| ALEA DE REFERENCE | Nul | Constructible avec prescriptions | Inconstructible | Inconstructible |
| | Faible | Inconstructible | Inconstructible | Inconstructible |
| | Modéré | | Inconstructible | Inconstructible |
| | Fort | | | Inconstructible |

Tableau 15 – Traduction réglementaire de l'aléa submersion marine dans les espaces non-urbanisés

| Espaces urbanisés | | ALEA 2100 | | |
|-------------------|--------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | Faible | Modéré | Fort |
| ALEA DE REFERENCE | Nul | Constructible avec prescriptions | Constructible avec prescriptions | Constructible avec prescriptions |
| | Faible | Constructible avec prescriptions | Constructible avec prescriptions | Constructible avec prescriptions |
| | Modéré | | Inconstructible | Inconstructible |
| | Fort | | | Inconstructible |

Tableau 16 - Traduction réglementaire de l'aléa submersion marine dans les espaces urbanisés

7.1.3. Le recul du trait de côte

Concernant le recul du trait de côte, la nature même de l'aléa justifie une classification réglementaire plus immédiate de l'aléa. On peut en effet considérer que tout terrain soumis à l'érosion littorale est voué à disparaître, raison pour laquelle l'aléa RTC est toujours affecté du code degré "fort". Logiquement, l'inconstructibilité est donc la règle pour l'aléa 2100 sans prise en compte du changement climatique. Le guide méthodologique national est d'ailleurs particulièrement explicite à ce sujet :

« Pour ces types d'aléas, la prévention des risques consiste à ne pas augmenter les enjeux dans les zones qui seront impactées par l'aléa à échéance 2100. Ces zones doivent donc être classées en zone d'aléa fort et être rendues strictement inconstructibles. Le zonage ainsi opéré ne peut être adapté afin d'en diminuer les conséquences en termes de prescriptions. Ce principe conduit donc à maintenir les zones d'aléa fort en zone rouge dite inconstructible. »

De plus, dans les zones soumises à un recul du trait de côte lié au réchauffement climatique (élévation du niveau de la mer), des prescriptions peuvent être édictées afin d'éviter l'implantation d'équipements et d'infrastructures structurants ou sensibles, ainsi que les zones de grands projets urbains de type ZAC. Ces mesures permettent de faciliter la mise en œuvre des actions préconisées par la stratégie de gestion intégrée du trait de côte. »

Concernant l'aléa RTC avec prise en compte du réchauffement climatique, il a été décidé au vu des spécificités territoriales réunionnaises et des caractéristiques spatialement limitées de l'aléa sur la commune de Sainte-Suzanne de ne pas proposer de traduction réglementaire. Cet aléa n'a donc qu'un caractère purement informatif à l'attention des décideurs locaux et porteurs de projets collectifs afin de les alerter sur le caractère non-opportun de développement urbain dans ces secteurs, notamment vis-à-vis de l'implantation de grands projets urbains.

In fine, on considère un **principe d'inconstructibilité** dans les secteurs affectés par l'aléa recul du trait de côte à 100 ans sans prise en compte du changement climatique.

7.2. TRADUCTION REGLEMENTAIRE DES DEUX ALEAS

Le zonage réglementaire final (Figure 59) est la transcription du croisement entre les études techniques (qui ont notamment conduit à l'élaboration des cartes d'aléas) et l'identification des enjeux du territoire en termes d'interdictions, de prescriptions et de recommandations (Tableau 17 & Tableau 18).

La DEAL Réunion et les partenaires que sont les collectivités locales ont exprimé la volonté lors du groupe de travail constitué au premier semestre 2015, de disposer d'un règlement unique croisant les aléas recul du trait de côte et submersion marine, avec ou sans changement climatique. Cette méthodologie a été souhaitée à l'instar des règlements de PPR dits « multirisques » (inondation et mouvement de terrain), principalement déployés, à La Réunion depuis 2012.

Concernant la commune de Sainte-Suzanne, le PPR ne prévoit pas de délimitation de zones non directement exposées. Parmi les zones exposées aux risques, le PPR distingue in fine deux zones :

- Une zone **très exposée** aux aléas submersion marine et/ou recul du trait de côte, appelée **zone rouge (R)**, au principe d'inconstructibilité à l'avenir ;
- Une **zone moins exposée à l'aléa submersion marine**, appelée **zone bleue (B)**, au principe de constructibilité sous conditions.

Le règlement du PPR littoral de la commune de Sainte-Suzanne définit des règles d'interdiction et d'autorisation spécifiques aux aléas considérés. En tant que de besoin, il convient de retourner aux cartes d'aléas pour disposer des règles applicables à la parcelle et aux projets de construction concernés.

| Transcription réglementaire des aléas | | SUBMERSION MARINE | | | |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------|-------------|---|---|
| | | Fort réf. | Modéré réf. | Faible réf. ET Fort, Modéré ou Faible 2100 | Nul réf. ET Fort, Modéré ou Faible 2100 |
| RECU DU TRAIT DE COTE | Fort | Rouge | Rouge | Rouge | Rouge |
| | Fort 2100 ou Nul | Rouge | Rouge | Rouge | Bleu |

Tableau 17 - Traduction réglementaire du croisement des aléas submersion marine et érosion du trait de côte dans les espaces non-urbanisés

| Transcription réglementaire des aléas | | SUBMERSION MARINE | | | |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------|-------------|---|---|
| | | Fort réf. | Modéré réf. | Faible réf. ET Fort, Modéré ou Faible 2100 | Nul réf. ET Fort, Modéré ou Faible 2100 |
| RECU DU TRAIT DE COTE | Fort | Rouge | Rouge | Rouge | Rouge |
| | Fort 2100 ou Nul | Rouge | Rouge | Bleu | Bleu |

Tableau 18 - Traduction réglementaire du croisement des aléas submersion marine et érosion du trait de côte dans les espaces urbanisés

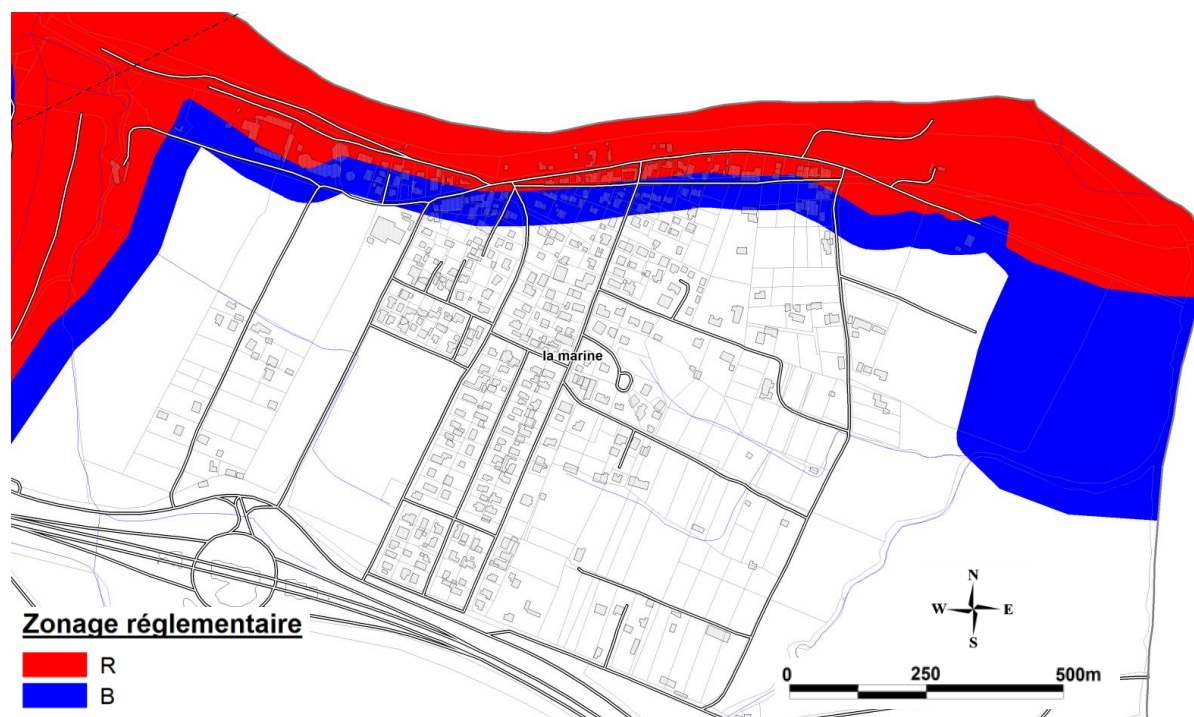


Figure 59 - Extrait de la traduction réglementaire du PPRL de Sainte-Suzanne (Annexe 6)

8. Lexique des sigles et termes techniques

Sigles

| | |
|------------------|--|
| CC | Changement Climatique |
| DSAS | Digital Shoreline Analysis system |
| GEDC | Guide d'Estimation des Débits de Crue |
| HS | Hauteur significative |
| H ^{max} | Hauteur maximale |
| LIDAR | Light Detection And Ranging |
| MNE | Modèle Numérique d'Élévation |
| MNT | Modèle Numérique de Terrain |
| NGR | Nivellement Général de La Réunion |
| ONERC | Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique |
| PAC | Porter A Connaissance |
| PLU | Plan Local d'Urbanisme |
| POS | Plan d'Occupation des Sols |
| PPRn | Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles |
| PPRL | Plan de Prévention des Risques Littoraux |
| RD | Route départementale |
| RN | Route Nationale |
| RTC | Recul du Trait de Côte |
| SIG | Système d'Information Géographique |
| SWAN | Simulating WAVes Nearshore |
| SWASH | Simulating WAVes till SHore |
| WLR | Weight Linear Regression |
| ZAC | Zone d'Aménagement Concerté |
| ZH | Zéro Hydrographique |

Organismes / Administrations

| | |
|---------|--|
| BCT | Bureau Central de Tarification |
| BRGM | Bureau de Recherches Géologiques et Minières |
| CIVIS | Communauté Intercommunale des Villes Solidaires |
| DGPR | Direction Générale de la Prévention des Risques |
| DEAL | Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement |
| EMZPCOI | Etat-Major de Zone de Protection Civile – Océan Indien |
| IGN | Institut national de l'information géographique et forestière |
| INSEE | Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques |
| MEDDE | Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie |
| MEDDTL | Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement |
| SHOM | Service Hydrographique et Océanographique de la Marine |

Termes techniques

Accrétion (ou engraissement ou accumulation) : Progression de la ligne de rivage par accumulation de sédiments.

Aléa : Phénomène naturel (ex : mouvement de terrain, submersion, inondation, etc.) d'une intensité donnée avec une probabilité d'occurrence/apparition.

Aléa de référence : Au sens du guide national de mai 2014, l'aléa de référence désigne le phénomène naturel engendré par l'évènement de référence du site concerné. Les événements retenus pour la détermination de l'aléa de référence submersion marine intègrent au niveau moyen de la mer une marge d'élévation du niveau de la mer de 20 cm.

Aléa 2100 : Au sens du guide national de mai 2014, l'aléa de 2100 désigne le phénomène naturel engendré par l'évènement de référence du site concerné auquel une hypothèse d'élévation du niveau marin de 60 cm dont 20 cm sont déjà intégrés au niveau d'eau de l'évènement de référence.

Cartographie réglementaire des risques naturels : Volet essentiel de la politique de lutte contre les catastrophes naturelles visant à déterminer les zones exposées et à définir les mesures de prévention nécessaires.

Catastrophe naturelle : Phénomène ou conjonction de phénomènes dont les effets sont particulièrement dommageables.

Cellule sédimentaire (ou unité sédimentaire) : Cellule du littoral indépendante du point de vue des transits sédimentaires.

Dérive littorale : Flux de sédiments sensiblement parallèle au rivage, en proche côtier, résultant de différentes causes : vagues, courants, vent.

Désordres : Expression des effets directs et indirects d'un phénomène naturel sur l'intégrité et le fonctionnement des milieux.

Enjeux : Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, etc., susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. Les enjeux s'apprécient aussi bien pour le présent que le futur.

Embouchure : Point le plus en aval d'un réseau hydrographique, où passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin.

Érosion (ou démaigrissement) : Perte de sédiments pouvant entraîner un recul du trait de côte ou un abaissement de l'estran ou de la plage.

Estran : Espace compris entre le niveau des plus hautes et des plus basses mers connues ou zone de balancement des marées.

Falaise : Escarpement vertical ou subvertical.

Hauteur significative : hauteur caractéristique de l'état de mer, estimée par une analyse statistique des vagues (moyenne du tiers supérieur des hauteurs des vagues observées sur une durée finie), ou par une analyse spectrale (à partir du moment d'ordre zéro de la densité spectrale).

Houle : Oscillation régulière de la surface de la mer, observée en un point éloigné du champ de vent qui l'a engendrée.

Jet de rive : Masse d'eau projetée sur un rivage vers le haut d'un estran par l'action de déferlement des vagues (En anglais : swash).

Ouvrage de protection côtier : Structure côtière construite et dimensionnée ayant pour objectif d'atténuer les impacts de phénomènes naturels sur un secteur géographique particulier appelé zone protégée. Il répond à une vocation initiale de fixation du trait de côte, de lutte contre l'érosion, de soutènement des terres, de réduction des franchissements, de dissipation de l'énergie de la houle ou d'obstacle à l'écoulement.

Phénomène naturel : Manifestation, spontanée ou non, d'un agent naturel.

Prévention : Ensemble des dispositions visant à réduire les impacts d'un phénomène naturel : connaissance des aléas, réglementation de l'occupation des sols, mesures actives et passives de protection, information préventive, prévisions, alerte, plans de secours, etc.

Risque naturel : Pertes probables en vies humaines, en biens et en activités consécutives à la survenance d'un aléa naturel (risque = aléa X vulnérabilité).

Run-up : Altitude maximale atteinte par le jet de rive.

Servitude réglementaire : Mesures d'interdiction, de limitation ou de prescription relatives aux constructions et ouvrages, définies dans certaines zones par un arrêté réglementaire.

Set-up (ou wave set-up): cf. Surcote liée aux vagues.

Submersion : Action de submerger/d'inonder. Par convention, on emploiera de manière indifférenciée les termes inondation et submersion.

Surcote : Différence positive entre le niveau marégraphique observe/mesure et le niveau de marée prédite.

Surcote liée aux vagues : Surcote locale provoquée par la dissipation d'énergie liée au déferlement des vagues.

Surcote météorologique : Surcote provoquée par le passage d'une dépression et prenant en compte les effets du vent, de la pression (surcote barométrique inverse) et des effets dynamiques liés au déplacement de l'onde de surcote.

Trait de côte : défini, en matière de cartographie marine et terrestre, comme la ligne portée sur la carte séparant la terre et la mer. L'évolution de la position du trait de côte permet de rendre compte de la dynamique côtière. Différentes définitions, ou plutôt différents indicateurs de sa position, coexistent et peuvent être adoptées pour tenir compte de la diversité des morphologies du littoral.

Vulnérabilité : Exprime au sens le plus large, le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les personnes, les biens et les activités. On peut distinguer la vulnérabilité économique et la vulnérabilité humaine.

9. Principaux textes officiels

9.1. LEGISLATION - REGLEMENTATION

1. Loi n° 87.565 du 22 juillet 1987 modifiée, relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs ;
2. Loi n° 95.101 du 2 février 1995 dite loi Barnier, relative au renforcement de la protection de l'environnement, et notamment son titre II sur les dispositions relatives à la prévention des risques naturels (transposée dans les articles L.562.1 à L.562.9 du code de l'Environnement) ;
3. Décret d'application n° 95.1089 du 5 octobre 1995 relatifs aux plans de prévention des risques naturels prévisibles ; modifié par le décret n°2005.3 du 04 janvier 2005 ;
4. Loi n°2003.699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages (Journal Officiel du 31 juillet 2003).
5. Décret d'application n°2012.765 du 28 juin 2012 relatif à la procédure d'élaboration, de révision et de modification des PPR naturels ;

9.2. PRINCIPALES CIRCULAIRES

1. La circulaire interministérielle (Intérieur - Equipement - Environnement) du 24 janvier 1994 relative à la prévention des inondations et à la gestion des zones inondables ;
2. La circulaire du ministère de l'Environnement du 19 juillet 1994 relative à la relance de la cartographie réglementaire des risques naturels prévisibles ;
3. La circulaire interministérielle (Equipement - Environnement) du 24 avril 1996 relative aux dispositions applicables au bâti et aux ouvrages existants en zones inondables ;
4. La circulaire interministérielle (Equipement - Environnement) du 30 avril 2002 relative à la politique de l'Etat en matière de risques naturels prévisibles et de gestion des espaces situés derrière les digues de protection contre les inondations et les submersions marines.
5. La circulaire du 21 janvier 2004 relative à la maîtrise de l'urbanisation et l'adaptation des constructions en zones inondables ;
6. La circulaire du 03 juillet 2007 relative à la consultation des acteurs et à la concertation avec la population pour l'élaboration des PPR ;
7. La circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les PPR naturels littoraux ;
8. La circulaire du 28 novembre 2011 relative à la procédure d'élaboration, de révision et de modification des PPR naturels.

9.3. PUBLICATION DE GUIDES

1. Guide général « Plans de Prévention des Risques (PPR) naturels prévisibles » (paru à la documentation Française – 1997) ;
2. Premiers éléments méthodologiques pour l'élaboration des PPRL – Analyse et cartographie des aléas littoraux – Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement – Novembre 2011 – 90 p.
3. Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux, DGPR, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie – Mai 2014 – Version finale -- 169 p.
4. Références Altimétriques Maritimes - Ports de France métropolitaine et d'outre-mer - Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée – SHOM, Service hydrographique et océanologique de la Marine. Édition 2016

10. Bibliographie

Aunay, S. Bès de Berc, E. Chateauminois, A. Rey, L. Schuller, G. Thirard, C. Vincent (2014) – Impacts du cyclone BEJISA sur l'île de la Réunion. Compte rendu des observations réalisées en janvier 2014. Rapport final. Rapport BRGM/RP-63149-FR. 93 p., 24 fig., 2 tabl., 2 ann ;

Bachelery, Mairine, Nehlig, Odon et al, (2006), Carte géologique au 1/100 000 de la commune de Sainte-Suzanne - © BRGM (BRGM, FEDER, Région Réunion, Univ. de La Réunion) ;

Blanguy A., De La Torre Y. et Vaslet E., avec la collaboration de Mallet C. et Dewez T. (2009) – Morphodynamique des littoraux de La Réunion. Phase 3 « Morpholit3 » : Suivi et gestion de l'érosion côtière sur 12 sites identifiés comme sensibles. BRGM/RP-57431-FR, 105 p., 67 ill.

Billard G. (1974) - Carte géologique de la France - La Réunion. Echelle 1/50 000 en collaboration avec P.M. Vincent. Carte (4 feuilles) et notice explicative. Éditions du BRGM.

Booij N., Haagsma IJ.G., Holthuijsen L.H., Kieftenburg A.T.M.M., Ris R.C., Van der Westhuysen A.J., and Zijlema M. (2004) – Swan Cycle III version 40.41. User's Manual, 115 p. ;

Bunya, J. C. Dietrich, J. J. Westerink, B. A. Ebersole, J. M. Smith, J. H. Atkinson, R. Jensen, D. T. Resio, R. A. Luettich, C. Dawson, & V. J. Cardone, A. T. Cox, M. D. Powell, H. J. Westerink, And H. J. Roberts, (2010), A High-Resolution Coupled Riverine Flow, Tide, Wind, Wind Wave, and Storm Surge Model for Southern Louisiana and Mississippi. Part I: Model Development and Validation

Cazes-Duvat V. et Paskoff R., (2004). Les littoraux des Mascareignes entre nature et aménagement, L'Harmattan, 186 p ;

Chateauminois E., Thirard G., Pedreros R. et Longueville F. (2014) – Caractérisation et cartographie des aléas côtiers pour l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Littoraux des communes du Nord-Est de la Réunion. Rapport final. BRGM/RP-64088-FR, 69 p et 4 annexes hors-texte.

DAF, D.D.E, Météo-France, BCEOM, SOGREAH (1992). Guide d'Estimation des Débits de Crues de la Réunion de 1992.

De La Torre Y., Chateauminois E. collab. Battiau-Queney Y., Clus-Auby C. (2013) – OBSCOT 2013 – Observation et gestion de l'érosion côtière à La Réunion. Rapport final. BRGM/RP-62170-FR, 60 p., 3 annexes

De La Torre Y. et Louzé J., collab. Dewez T. (2008). Méthodologie pour l'évaluation et la cartographie des aléas côtiers à La Réunion. Phase 2. BRGM/RP-56589-FR, 36 p + annexes ;

De La Torre Y. (2012), Guide de Gestion de l'érosion du littoral de La Réunion ;

Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) et Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie (MEDDE) (2014) – Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux. 169p., 72 ill., 30 encarts. ;

Gillot, P.Y., and Nativel .P (1982), KGA chronology of the ultimate activity of Piton des Neiges volcano, Reunion Island, Indian ocean, Journal, of, Volcanology, and, Geothermal, Research, 13(1G2),131G146. ;

Himmelstoss (2009), DSAS v4 manual - USGS Woods Hole Coastal and Marine Science.

Kluska, J.G.M. (1997), Evolution magmatique et morphostructurale du Piton des Neiges au cours des derniers 500 000 ans, 93pp, Université Paris XI, Orsay, Paris. ;

Le Roy S. et Pedreros R. avec la collaboration de Monfort D. (2011) – ALDES : Modélisation numérique du tsunami survenu à Antibes en 1979. Rapport BRGM/RP-60353-FR, 80 p., 61 ill. ;

Lecacheux S., Pedreros R., Le Cozannet G., Thiébot J., De la Torre Y. et Bulteau T. (2012) – A method to characterize the different extrem waves for islands exposed to various wave regimes: a case study devoted to Reunion Island. Natural Hazards and Earth System Sciences, 12, pp 2425-2437. ;

Marche F., Bonneton P., Fabrie P. and Seguin N. (2007) – Evaluation of well-balanced bore-capturing schemes for 2D wetting and drying processes. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 53: 867-894. ;

Météo France, (2009). Etude pour l'identification des évolutions des changements climatiques à La Réunion ;

Météo France, (2007). Note de synthèse sur le risque lié à la surcote cyclonique à La Réunion, 8p ;

Mireille Mayoka, Météo-France, Direction interrégionale de La Réunion, (1998). Les cyclones à la Réunion, 50 p.

Pedreros R., Lecacheux S., Le Cozannet G., Blangy A et De La Torre Y. avec la collaboration de Quetelard H. (Météo France) (2009) – « HOULREU » : Quantification de la houle centennale de référence sur les façades littorales de la Réunion. BRGM/RP-57829-FR, 119 p., 93 fig., 14 tab.
Pedreros R., Krien Y., Poisson B. (2010) – Programme ARAI 2. Caractérisation de la submersion marine liée aux houles cycloniques en Polynésie Française. Rapport BRGM/RP-58990-FR, 64 p., 43 fig., 4 tabl.
Pedreros R. & Garcin M. (2012) – Le Phénomène de la submersion marine in « Gestion des risques naturels, Leçons de la tempête Xynthia » p.47-56 Ed. QUAE Versailles ;

Soler O., Météo-France, (1997). Atlas climatique de La Réunion,

Stockdon H. F., Holman R. A., How P. A., Sallenger A. H. Jr. (2006) - Empirical parameterization of setup, swash, and runup, Coastal Engineering, 53, pp. 573-588. ;

Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan (2009) - *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change* : U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. *updated for version 4.2.

Zijlema, M., Stelling, G. and Smit, P. (2011) - SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. Coast. Engng., 58: 992-10



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

BRGM Réunion
5 Rue Sainte Anne
97400 SAINT DENIS
Tél. : 02 62 21 22 14

