



DEPARTEMENT DE LA REUNION
Commune de Sainte-Marie

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES LITTORAUX

« Submersion marine et recul du trait de côte »

NOTE DE PRESENTATION

Octobre 2021

ENQUÊTE PUBLIQUE



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

1. INTRODUCTION	11
1.1. Organisation de la gestion des risques	11
1.2. Prévention des risques naturels	11
1.3. Plan de prevention des risques (PPR) naturels	13
1.4. Catastrophes naturelles majeures à La Réunion	14
2. PRESENTATION DU PPR	15
2.1. Contexte réglementaire du PPR	15
2.2. Procédure réglementaire	16
2.2.1. Secteurs géographiques concernés	16
2.2.2. État des réflexions menées	16
2.2.3. Démarches à mener	17
2.3. Assurances et infractions au PPR	18
2.3.1. Rappel du régime d'assurance en vigueur	18
2.3.2. Infractions au PPR et sanctions	20
2.4. Expropriation et Mesure de sauvegarde	21
2.5. Responsabilités	21
2.5.1. Etablissement du PPR	21
2.5.2. Autorisation d'occuper le sol	22
3. PRESENTATION DE LA COMMUNE	23
3.1. Contexte de la zone d'étude	23
3.1.1. Situation géographique	23
3.1.2. Contexte géologique	24
3.1.3. Contexte géomorphologique littoral	25
3.1.4. Contexte climatique	30
3.2. Enjeux et vulnérabilité	35
4. HISTORICITE ET CARACTERISATION DES PHENOMENES NATURELS	39
4.1. Phenomènes historiques	39
4.2. Arretés de catastrophes naturelles	40
4.3. Caractérisation des aléas littoraux	42
4.3.1. Aléa recul du trait de côte (RTC)	42
4.3.2. Aléa submersion marine	48

5. CARACTERISATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA REcul DU TRAIT DE COTE.....	55
5.1. Définitions et notions générales.....	55
5.2. Aléa recul du trait de côte	55
5.2.1. Cadre méthodologique national	55
5.2.2. Estimation de l'aléa recul du trait de côte	57
5.2.3. Zonage de l'aléa recul du trait de côte	61
5.3. Aléa submersion marine	67
5.3.1. Cadre méthodologique national	67
5.3.2. Méthodologie et scénarios.....	69
5.3.3. Modélisation des submersions marines de référence	73
5.3.4. Analyse des résultats des simulations SWASH 1D.....	81
5.3.5. Zonage cartographique de l'aléa submersion marine	84
6. ELABORATION DU ZONAGE REGLEMENTAIRE	88
6.1. Méthodologie	88
6.1.1. Les espaces urbanisés et non-urbanisés.....	89
6.1.2. La submersion marine	90
6.1.3. Le recul du trait de côte.....	92
Traduction réglementaire des deux aleas	93
7. LEXIQUE DES SIGLES ET TERMES TECHNIQUES	95
8. PRINCIPAUX TEXTES OFFICIELS	99
8.1. Législation - Réglementation	99
8.2. Principales circulaires	99
8.3. Publication de guides	100
9. BIBLIOGRAPHIE	101
ANNEXE 1 : BILAN DE LA CONCERTATION	103

Liste des figures

Figure 1 : Délimitation du territoire communal de Sainte-Marie (Fond ©IGN scan100®-2010)-----	23
Figure 2 : Cartographie géologique de la commune de Sainte-Marie d'après la carte géologique à 1/100 000 (BRGM, LGSR, 2006)-----	24
Figure 3 - Réseau hydrographique des bas de Sainte-Marie-----	26
Figure 4 : Localisation des différents faciès littoraux présents sur la commune de Sainte-Marie (BRGM, 2020)-----	27
Figure 5 : Photo de la pointe de la Ravine des Chèvres à l'est de la commune de Sainte-Marie (Campagne Morpholitt, De la Torre, 2004)-----	28
Figure 6 : Photos de l'embouchure de la Rivière Sainte-Marie et de la zone d'accumulation sédimentaire engendrée par la présence du port de Sainte-Marie à l'ouest de la commune de Sainte-Marie (Campagne Morpholitt, De la Torre, 2004)-----	28
Figure 7 : Photos du port de Sainte-Marie et des aménagements de type « tétrapodes » présent sur le cordon de galets au-devant de l'aéroport Rolland Garros à l'ouest de la commune de Sainte-Marie (Campagne Morpholitt, De la Torre, 2004)-----	29
Figure 8 : Photos de l'embouchure de la Rivière des Pluies à l'ouest de la commune de Sainte-Marie (Campagne Morpholitt, De la Torre, 2004)-----	29
Figure 9 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France, 2009)-----	30
Figure 10 : Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)-----	31
Figure 11 : Localisation des stations météo (en rouge) sur le secteur de Sainte-Marie (©IGN Scan100® - 2010)-----	32
Figure 12 - 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.-----	33
Figure 13 - Trajectoire du cyclone tropical Gamède de 2007 (Météo-France, 2008)-----	34
Figure 14 - Les différents régimes de houle à La Réunion (Météo France, 2009).-----	35
Figure 15 : Evolution de la population de la commune de Sainte-Marie (source : INSEE)-----	36
Figure 16 : Extrait de la cartographie des enjeux du littoral de la commune de Sainte-Marie (Annexe 5)-----	37
Figure 17 : 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-Marie.-----	40
Figure 18 – Fonctionnement naturel du système littoral réunionnais (De La Torre et al, 2012)-----	43
Figure 19 – Exemple de digue bloquant le transit sédimentaire à Saint-Benoît (De La Torre et al, 2012)-----	44
Figure 20 - Variations du profil de plage en fonction du régime de houles (De La Torre et al, 2012)-----	44
Figure 21 - Les manifestations de l'érosion des cordons sédimentaires à La Réunion (De La Torre et al, 2012)-----	45
Figure 22 - Recul classique d'une falaise (De La Torre et al, 2012)-----	46
Figure 23 – Erosion du littoral du quartier des Cocotiers (Campagne OBSCOT ; 2018)-----	47
Figure 24 : Erosion récente du talus en haut de cordon de galet proche du centre-ville de Sainte-Marie et du quartier des Cocotiers (Campagne OBSCOT, 2018)-----	47
Figure 25 - Représentation des phénomènes qui concourent à la submersion marine (BRGM).-----	48
Figure 26. Les différents types de submersion marine (Pedreros R. & Garcin M. 2012)-----	49
Figure 27 - Sites sensibles à l'action des houles (BRGM, mai 2015)-----	50
Figure 28 - Submersion par paquets de mer suite au cyclone Gamède, Sainte-Suzanne (Photographie Pierre Agon, 24/02/2007)-----	51
Figure 29 : Extrait de la carte des événements historiques de submersion marine (Annexe 3 du projet de PPRL)-----	52
Figure 30 : Centre-ville de Sainte-Marie dont l'altitude est située entre 2 et 3 NGR (MNT Litto3d IGN/SHOM)-----	53
Figure 31 – Exemple de définition du trait de côte suivant les morphotypes du littoral de la côte nord-est: a. limite en pied d'aménagement (ortho 2011); b. limite de végétation (ortho 2011); c. limite de haut de versant (lidar)-----	58
Figure 32 : Exemple d'implantation des profils à Sainte-Marie-----	59
Figure 33 – Principe de la régression linéaire pondérée pour le calcul par DSAS de l'évolution du trait de côte (Himmelstoss, 2009)-----	60
Figure 34 – 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-----	60
Figure 35 : Délimitation des cellules hydro-sédimentaires et des 15 secteurs homogènes de la commune de Sainte-Marie (BRGM, 2020)-----	62
Figure 36 : Extrait de la cartographie de l'aléa de recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Marie (Annexe 2 du projet de PPRL)-----	63

Figure 37 – Extrait de la carte de synthèse de l'évolution historique du trait de côte de Sainte-Marie (cf. Annexe 1)	64
Figure 38 – Extrait de la carte d'aléa recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Marie (cf. Annexe 2)	65
Figure 39 : Présentation schématisée des niveaux d'eau de l'évènement submersion marine par débordement selon les 2 scénarios PPRL	70
Figure 40 : Schémas de la qualification des degrés d'aléa débordement	70
Figure 41 – 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)	72
Figure 42 - Niveaux marins à prendre en compte pour la caractérisation de l'aléa submersion marine (DGPR, 2014)	73
Figure 43 : Principales étapes nécessaires à la construction du MNE (Le Roy et al., 2012) – données Litto3D ©IGN.	74
Figure 44 - 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 les 2 profils réamésés (2.1 et 2.2) sur la commune de Sainte-Marie.	76
Figure 45 – Localisation des transects de la simulation 1D à Sainte-Marie (1 : 15000)	77
Figure 46 – Aperçu de la propagation des vagues le long d'un profil pendant la simulation	80
Figure 47 - Evènement de référence « cyclone Dina » : niveau d'eau maximal obtenu le long du profil 2.1 à Sainte-Marie pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée – Profils en travers	81
Figure 48 - Evènement de référence « cyclone Dina » : Limites de l'aléa fort le long du profil 2.1 pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée – Vue en plan (Fond orthophotographie 2011, IGN©)	82
Figure 49 : Evènement de référence « cyclone Dina » : niveau d'eau maximal obtenu le long du profil 2.2 à Sainte-Marie pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée – Profils en travers	83
Figure 50 : Evènement de référence « cyclone Dina » : Limites de l'aléa fort le long du profil 2.2 pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée – Vue en plan (Fond orthophotographie 2011, IGN©)	83
Figure 51 - Caractéristiques du zonage changement climatique	86
Figure 52 - Extrait de la carte de synthèse de l'historique de la submersion marine de la commune de Sainte-Marie (cf. Annexe 3)	87
Figure 53 – Extrait de la carte d'aléa submersion marine de la commune de Sainte-Marie (cf. Annexe 4)	88
Figure 54 : Délimitation des espaces urbanisés et non urbanisés sur le littoral de Sainte-Marie	90
Figure 55 : Extrait de la traduction réglementaire du PPRL de Sainte-Marie	94

Liste des tableaux

Tableau 1 : Evénements historiques majeurs survenus à La Réunion	14
Tableau 2 : Précipitations journalières décennales et centennales issues PGRI de la Rivière des Pluies (2008)	33
Tableau 3 : Evolution de la population de Sainte-Marie et de la densité moyenne (hab/km ²) au cours du temps (Insee, 2018)	35
Tableau 4 : Liste des arrêtés de catastrophes naturelle sur la commune de Sainte-Marie (source : www.georisques.gouv.fr – Base nationale de Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques - GASPARE - mise à jour 18/01/2019)	41
Tableau 5 : Liste des cyclones notables	42
Tableau 6 - Bilan de l'érosion sur le littoral réunionnais (De La Torre et al, 2012)	46
Tableau 7 - Synthèse de la méthodologie nationale de caractérisation de l'aléa recul du trait de côte (en jaune les choix opérés pour cette étude)	56
Tableau 8 – Détail des campagnes photographiques de l'IGN utilisées	57
Tableau 9 – Calculs de recul du trait de côte (référence 2017 – échéance 2100) par secteurs homogènes sur la commune de Sainte-Marie	61
Tableau 10 – Valeurs 100Tx ; Lmax et Lr par secteurs homogènes pour la commune de Sainte-Marie	62
Tableau 11 – Synthèse de la méthodologie nationale de caractérisation de l'aléa submersion marine (en jaune les choix opérés pour cette étude)	68
Tableau 12 – 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)	74
Tableau 13 - Niveaux marins retenus pour la simulation de submersion	76

<i>Tableau 14 – Événement 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>	<i>79</i>
<i>Tableau 15 – Qualification de l'aléa submersion marine en fonction de la dynamique de submersion (Guide PPRL, MEDDTL, 2012 et DGPR, 2013)-----</i>	<i>84</i>
<i>Tableau 16 : Traduction réglementaire de l'aléa submersion marine dans les espaces non-urbanisés -----</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 17 : Traduction réglementaire de l'aléa submersion marine dans les espaces urbanisés-----</i>	<i>92</i>
<i>Tableau 18 : Traduction réglementaire du croisement des aléas submersion marine et érosion du trait de côte dans les espaces non-urbanisés -----</i>	<i>93</i>
<i>Tableau 19 : Traduction réglementaire du croisement des aléas submersion marine et érosion du trait de côte dans les espaces urbanisés-----</i>	<i>94</i>

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-Marie**. 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).
- ✓ les documents réglementaires :
 - la note de présentation, décrivant le territoire de Sainte-Marie et les phénomènes naturels qui le concernent, ainsi que les règles méthodologiques adoptées ;

La loi Barnier inscrit en tête de ses dispositions **le principe de précautions**. 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 la loi n° 95-101 du 2 février 1995 :

Art 1^{er} – 1-3^e alinéa

« (...) 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-Marie, commune peuplée de 32 940 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-Marie.

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 par le décret du 11 Octobre 1990 et par la loi n°2003-699 du 30 juillet 2003. Cette dernière loi prévoit 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-Marie est particulièrement concernée par cette politique de prévention car exposée aux aléas liés aux cyclones, recul du trait de côte et submersion marine, elle connaît aussi une évolution croissante de sa démographie et de son économie. Il y a donc nécessité pour la sécurité de la population communale 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-Marie 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

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

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° 2016-02289 SG/DRCTCV en date du 18 novembre 2016, prorogé par arrêté préfectoral n°3447 /SG/DCL/BU du 4 novembre 2019.

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

2.2.2. État des réflexions menées

Le 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 :

- 12 février 2015 : Réunion en mairie de Sainte-Marie de présentation et transmission des projets de cartes d'aléas érosion, trait de côte et submersion marine pour observation ;
- 16 juillet 2015 : Porter à connaissance des cartographies des aléas « recul du trait de côte » et submersion marine » par Monsieur le préfet à M. le maire de Sainte-Marie ;
- 13 décembre 2016 : Prescription de l'élaboration d'un PPR « recul du trait de côte » et submersion marine » (arrêté n° 2016 – 02289 SG/DRCTCV) ;
- 4 novembre 2019 : Prorogation du délai d'approbation d'un PPR « recul du trait de côte » et submersion marine » (arrêté n° 3447 SG/DCL/BU) ;
- 2020 : Actualisation de la cartographie des aléas littoraux ;

- 14 décembre 2020 : réunion en mairie de Sainte-Marie de présentation de l'évolution du zonage des aléas suite au travail d'actualisation cartographique ;
- 2 mars 2021 : Porter à Connaissance actualisé des cartographies des aléas « recul du trait de côte et submersion marine » par Monsieur le préfet à M. le maire de Sainte-Marie ;
- Du 25 mai 2021 au 14 juin 2021 : organisation d'une phase de concertation avec le public sur le projet de cartographie des aléas littoraux, du zonage réglementaire et du règlement associé. Aucune observation ou requête n'a été formulée durant la période de concertation avec le public.

Après la phase d'élaboration, le dossier est soumis à des consultations officielles 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 (CNPFF).

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.

Les consultations officielles des différentes personnes publiques (mairie, TCO, ONF, Chambre d'agriculture, DAAF et CNPFF) se sont déroulées du 20 juillet 2021 et 27 septembre 2021.

Le bilan de concertation établie pour le lancement de l'enquête publique est joint en annexe de la présente note de présentation. Ce bilan rappelle quelle a été la concertation menée tout au long des études d'élaboration du projet de PPRL qui s'achève après les consultations officielles.

2.2.3. Démarches à mener

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°1821 SG/DCL/BU du 15 septembre 2021, a prescrit l'ouverture de l'enquête publique sur le territoire de Sainte-Marie concernant le projet de Plan de Prévention des Risques Littoraux relatif aux phénomènes de recul du trait de côte et de submersion marine. Cette enquête publique aura lieu du 4 octobre 2021 au 5 novembre 2021.

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

Le territoire de la commune de Sainte-Marie, d'une superficie de 87,21 km², est situé au nord-est de l'île de La Réunion (Figure 1). Le territoire communal s'étend principalement selon un axe nord-sud, du littoral jusqu'au Piton des Fougères, depuis la Rivière des Pluies à l'ouest jusqu'à la Ravine des Chèvres à l'est. Sainte-Marie est limitrophe avec les communes de Saint-Denis à l'ouest, de Sainte-Suzanne à l'est et de Salazie au sud.

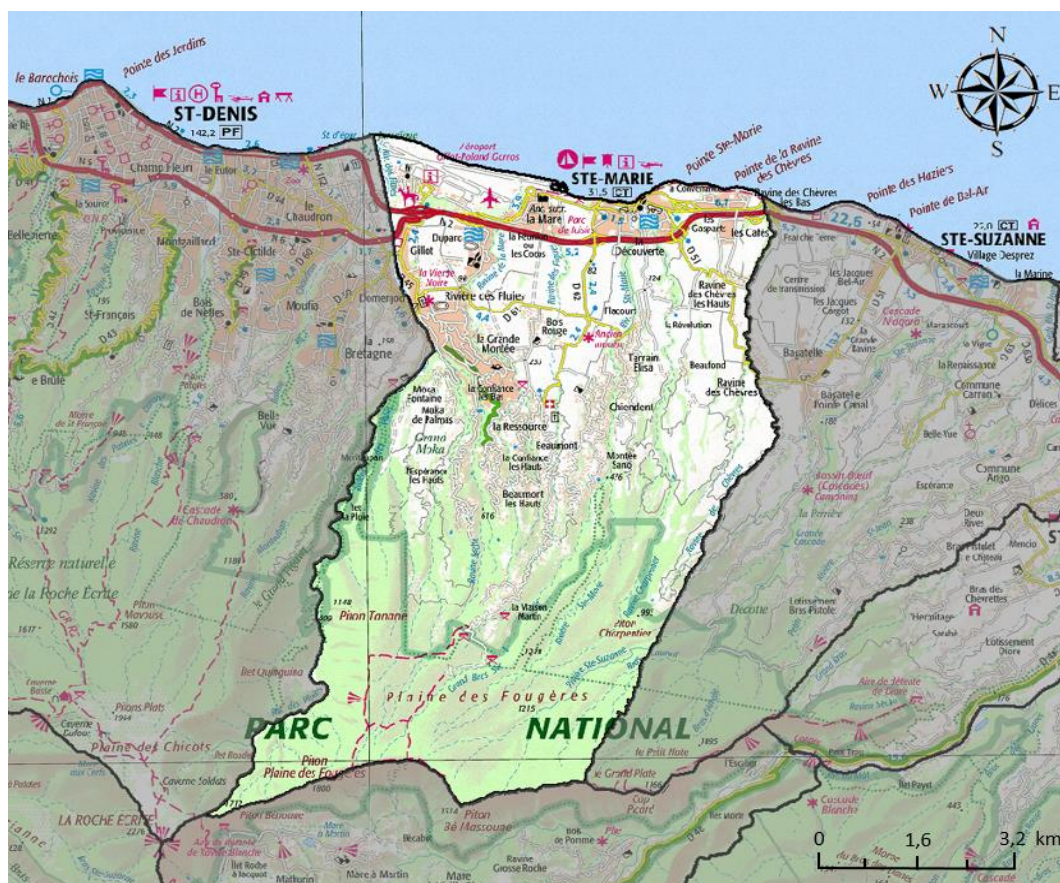


Figure 1 : Délimitation du territoire communal de Sainte-Marie (Fond ©IGN scan100®-2010)

La commune de Sainte-Marie, faisant partie de la vaste planèze nord de La Réunion, s'étend sur 7 km suivant l'axe est/ouest pour près du double suivant l'axe nord/sud. Le point culminant du territoire communal est à 1800 m d'altitude au niveau du Piton des Fougères.

Sainte-Marie appartient à la Communauté Intercommunale du Nord de La Réunion (CINOR).

3.1.2. Contexte géologique

La commune de Sainte-Marie s'inscrit dans le contexte géologique du massif du Piton des Neiges. Ce massif se caractérise par des périodes d'activité éruptive importantes (épanchements de coulées de lave et/ou de mise en place de formations pyroclastiques), séparés par de longues périodes de calme au cours desquelles les roches massives et les dépôts pyroclastiques ont été soumises à l'érosion. Des vallées se sont formées, des reliefs se sont individualisés. Des dépôts alluvionnaires et des brèches de pente, de remaniement, ont comblé les dépressions. Lors de la reprise de l'activité volcanique, des coulées de lave se sont épanchées sur les flancs du massif volcanique en empruntant d'abord les vallées (Figure 2).

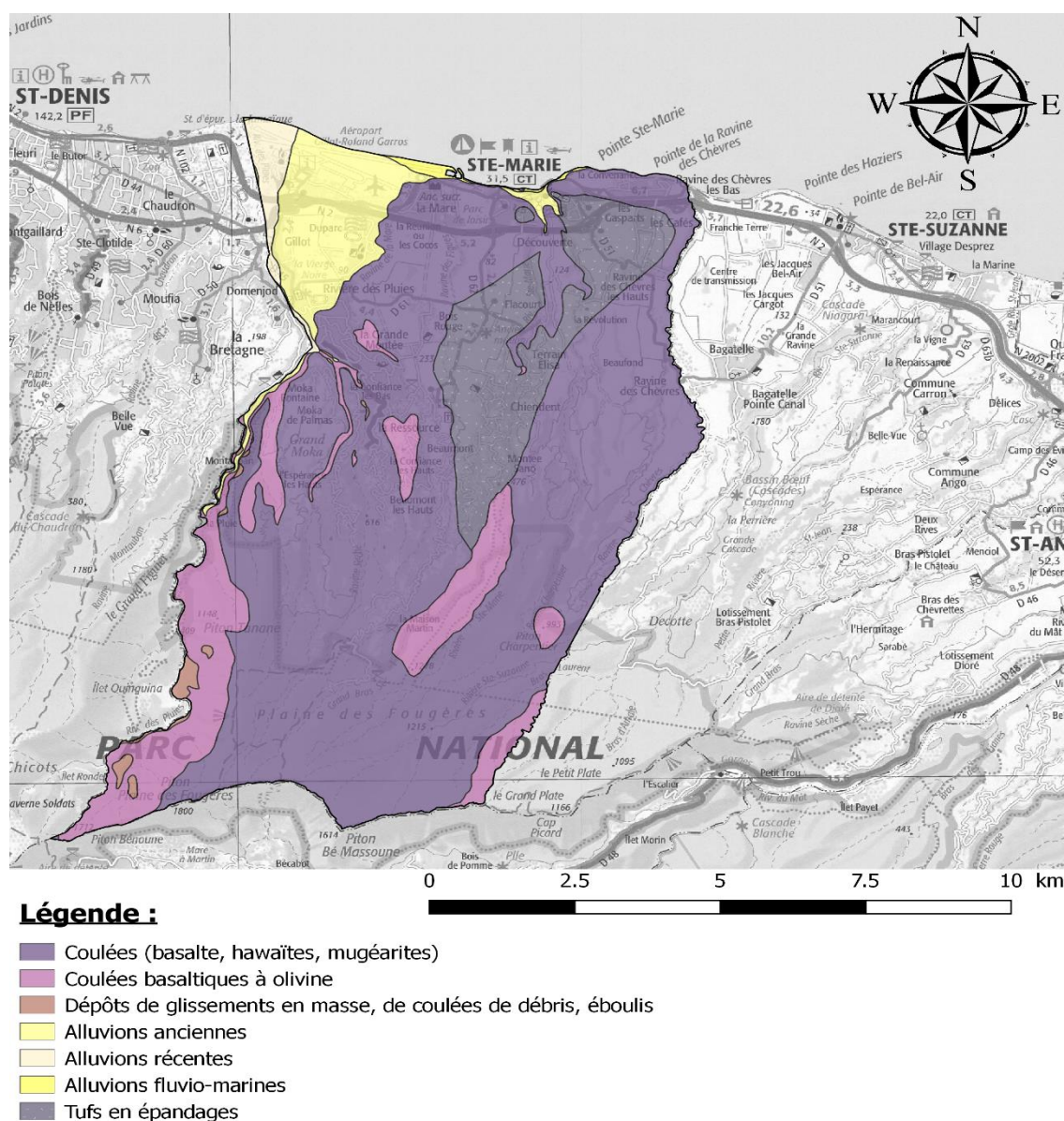


Figure 2 : Cartographie géologique de la commune de Sainte-Marie d'après la carte géologique à 1/100 000 (BRGM, LGSR, 2006)

Les formations volcaniques anciennes du Piton des Neiges (coulées basaltiques à olivines (>340 000 ans) :

Les formations les plus anciennes du Piton des Neiges qui affleurent principalement au fond et dans les remparts de la Rivière des Pluies sont constituées d'empilements de coulées basaltiques à olivines et de niveaux de scories.

Les coulées de basalte à olivines constituent la série des océanites du Piton des Neiges. Ce faciès est formé par un empilement de bancs d'épaisseur décimétrique à métrique de laves massives et de scories. La base de cette formation est zéolitisée. Du point de vue pétrographique, les laves à olivine contiennent souvent de fines baguettes de feldspaths. En surface, les coulées laviques et surtout les scories, sont décomposées en faciès plus ou moins argileux sur plusieurs décimètres à plusieurs mètres d'épaisseur. Au-dessous, elles sont plus ou moins altérées et rubéfiées sur des épaisseurs pouvant atteindre potentiellement plusieurs décamètres.

Ces formations affleurent notamment dans l'encaissement de la Rivière des Pluies, de la Ravine du Bachelier, de la Rivière Sainte Marie, mais aussi à la Grande Montée et à La Confiance les Hauts.

Les formations volcaniques récentes (coulées et tufs en épandages <340000 ans)

Le paléorelief ainsi que l'ancienne zone littorale ont été comblés et recouverts par des formations volcaniques différenciées du Piton des Neiges constituées d'un empilement de coulées de laves en partie scoriacées avec localement des coulées massives et épaisses de « fond de vallée », se sont épanchées essentiellement dans les paléovallées sur la planèze puis sur l'ancien littoral. Elles ont été érodées au cours d'une nouvelle période de calme volcanique et ont disparues en certains endroits. Elles ont par ailleurs été localement recouvertes par des épandages de tufs, masses compactes et hétérogènes de brèches cendreuse généralement argilisées, produits d'une période d'activité explosive.

Les formations superficielles alluvionnaires

De grossières alluvions anciennes ont été mises en évidence par des forages sur l'ancienne zone littorale, au débouché de paléovallées et paléoravines creusées dans le bouclier ancien. Des alluvions altérées forment par ailleurs le cône de déjection « ancien » de la Rivière des Pluies. Les alluvions actuelles sont situées au débouché et dans le lit vif de la Rivière des Pluies (dépôts grossiers et hétérométriques), mais également au débouché des autres principaux cours d'eau (Ravine Charpentier, Rivière Sainte-Marie, etc) où elles sont plus fines, sablo-limoneuses. Les alluvions marines du littoral sont grossières. La bande littorale est constituée d'un cordon de galets.

3.1.3. Contexte géomorphologique littoral

Généralités

La morphologie générale de la commune de Sainte-Marie peut schématiquement être scindée en deux entités géomorphologiques.

- La planèze a proprement parlé, résultant des différentes phases d'épanchement volcanique du Piton des Neiges et incisée par un grand nombre de talwegs et autres ravines.
- La zone littorale entre la côte océanique et l'altitude 250 m environ, en grande partie dédiée à l'urbanisation et aux activités agricoles. Elle est limitée à l'est par la plaine littorale de Sainte-Suzanne et à l'ouest par le cône alluvial récent de la Rivière des Pluies.

Le réseau hydrographique présent sur la commune de Sainte-Marie est bien développé, et est constitué de 7 cours d'eau principaux (Figure 3) présentée ci-après selon la dérive littorale d'est en ouest.

- La Ravine des Chèvres
- La Ravine à Bardeaux
- La Ravine Charpentier
- La Rivière Sainte-Marie
- La Ravine des Figues
- La Ravine de la Mare
- La Rivière des Pluies

Les ravines de Sainte-Marie prennent leur source pour la plupart dans les hauts de la planèze et s'écoulent en direction de l'océan. Ce sont principalement des cours d'eau non permanent, c'est-à-dire qu'ils n'entrent en fonctionnement que lors des épisodes pluvieux et contribuent alors aux apports terrigènes (alluvions/colluvions) qui vont être remobilisés tout le long du littoral.

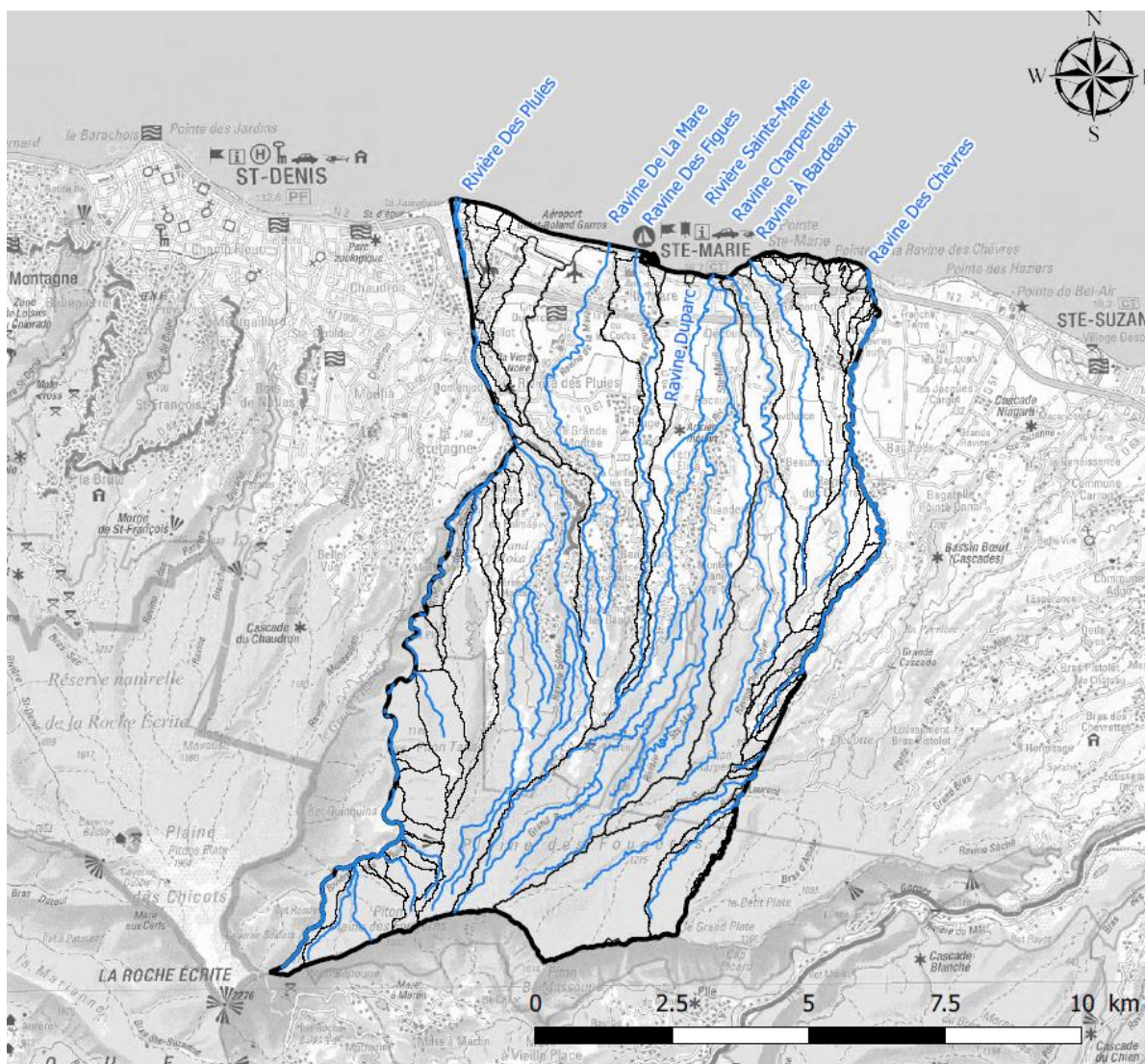


Figure 3 - Réseau hydrographique des bas de Sainte-Marie

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-Marie est situé sur la côte nord de la Réunion, et est donc soumis aux régimes d'alizés et ponctuellement exposé aux houles cycloniques. Ce littoral, long d'environ 8 km, est composé de différents faciès littoraux découpés en plusieurs secteurs d'est en ouest (sens de la dérive littorale) présenté en Figure 4.

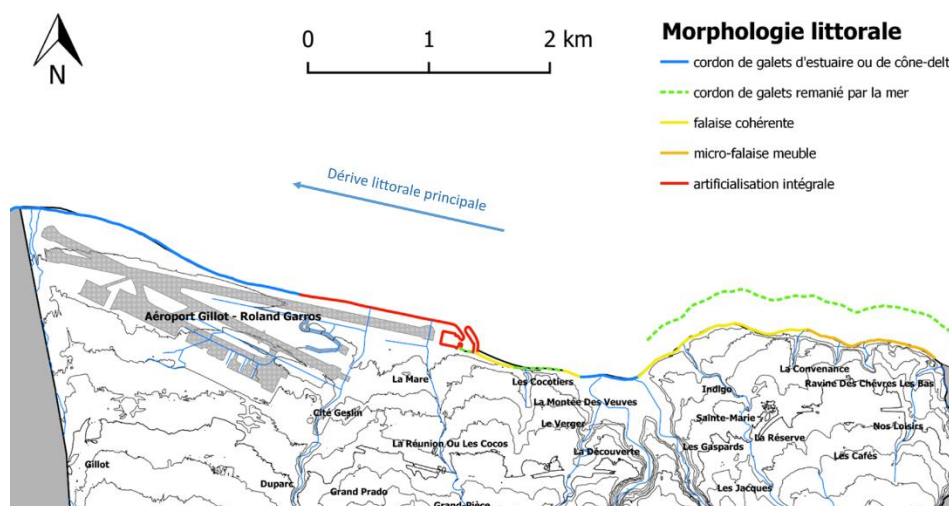


Figure 4 : Localisation des différents faciès littoraux présents sur la commune de Sainte-Marie (BRGM, 2020)

- La première zone s'étend de la plaine littorale de Sainte-Suzanne à l'est, à la commune de Sainte-Marie, comprenant la Pointe de la Ravine des Chèvres ainsi que la Pointe Sainte-Marie. D'une longueur d'environ 2.8 km, cette zone est située, à l'extrémité est de la commune de Sainte-Marie et présente principalement des falaises cohérentes et des microfalaises meubles issues des coulées basaltiques et andésitiques du Piton des Neiges (Phase IV, formations récentes : 70000-230000 ans), protégées à sa base par des alluvions fluviomarines, constituées essentiellement de galets et de sables basaltique (De la Torre, 2004) (Figure 5).



Figure 5 : Photo de la pointe de la Ravine des Chèvres à l'est de la commune de Sainte-Marie (Campagne Morpholitt, De la Torre, 2004)

- Le secteur suivant se situe entre l'embouchure de la Ravine à Charpentier et le port de Sainte-Marie. Il comprend l'embouchure de la Rivière Sainte-Marie, long d'environ 500 m et est principalement constituée d'un cordon de galets basaltiques issus du remaniement d'alluvions fluviales. Une alternance de cordon de falaise littorale et d'une plage de galet, d'une longueur de 900 m vient compléter ce secteur jusqu'au port de Sainte-Marie (Figure 6). La présence du port va engendrer l'accumulation de galet au pied de la falaise littorale et interrompre le transit sédimentaire est-ouest présent au large de la commune de Sainte-Marie.



Embouchure de la
Rivière Sainte-Marie



Zone d'accumulation en
amont de la dérive littorale

Digue en enrochement
du port de Sainte-Marie

Figure 6 : Photos de l'embouchure de la Rivière Sainte-Marie et de la zone d'accumulation sédimentaire engendrée par la présence du port de Sainte-Marie à l'ouest de la commune de Sainte-Marie (Campagne Morpholitt, De la Torre, 2004)

La portion de littoral suivante comprend le port de Sainte-Marie (Figure 7 : gauche) ainsi qu'une partie de l'aéroport de Roland-Garros sur plus de 1.5 kilomètres de long. La construction de la piste internationale et du port de Sainte-Marie ont nécessité d'importants aménagements, dont des remblaiements qui ont considérablement modifié le tracé du trait de côte (De la Torre, 2004). Ce secteur est entièrement artificialisé avec des aménagements lourds en béton de type « tétrapodes », conçu pour résister à la houle et aux vagues, construits directement sur le cordon de galet (Figure 7 : droite). Comme vu précédemment, la présence d'un ouvrage transversal le long du linéaire côtier à l'est du port provoque une accumulation de sable en amont dérive de cette digue. Depuis 2017, le

port de Sainte-Marie subit une problématique d'ensablement par saturation de l'ouvrage (Belon et Salomero, 2017).



Figure 7 : Photos du port de Sainte-Marie et des aménagements de type « tétrapodes » présent sur le cordon de galets au-devant de l'aéroport Rolland Garros à l'ouest de la commune de Sainte-Marie (Campagne Morpholitt, De la Torre, 2004)

- La dernière partie du littoral de la commune de Sainte-Marie est composée d'un cordon de galets d'estuaire issu de l'embouchure de la Rivière des Pluies sur environ trois kilomètres de long. Composée essentiellement de coulées basaltiques issues du Piton des Neiges (Phase II : 430000 à supérieur à 2.1 Millions d'Années) au niveau de l'embouchure et d'alluvions fluviales anciennes composés de galets et de bloc basaltiques altérés plus à l'est, au-devant de l'aéroport.(Figure 8).

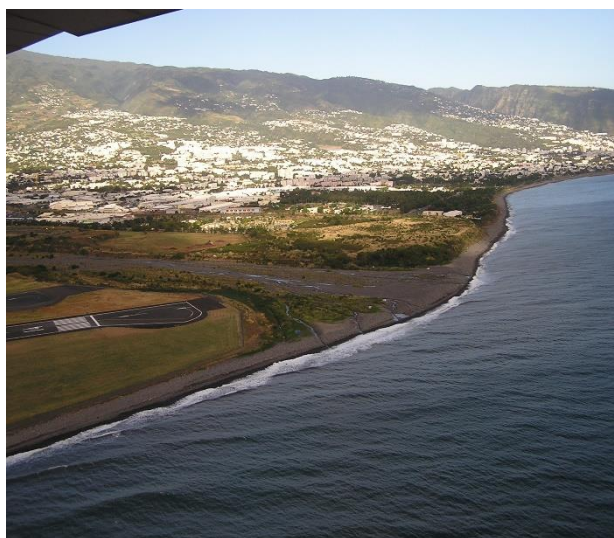


Figure 8 : Photos de l'embouchure de la Rivière des Pluies à l'ouest de la commune de Sainte-Marie (Campagne Morpholitt, De la Torre, 2004)

Le fonctionnement hydro-morpho-sédimentaire du littoral de Sainte-Marie 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. La commune de Sainte-Marie est ainsi affectée par les alizés. 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.

Pluviométrie

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).

La commune de Sainte-Marie, située sur la façade septentrionale de l'île de La Réunion, présente les caractéristiques de la côte « au vent » de l'île. Les précipitations, bien que largement inférieures aux cumuls observés dans la partie orientale de l'île, y sont abondantes, avec une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 1200 mm et 2200 mm sur le littoral de la commune et supérieure à 3000 mm dans les Hauts (Atlas climatique de la Réunion, Météo France, cf. Figure 9).

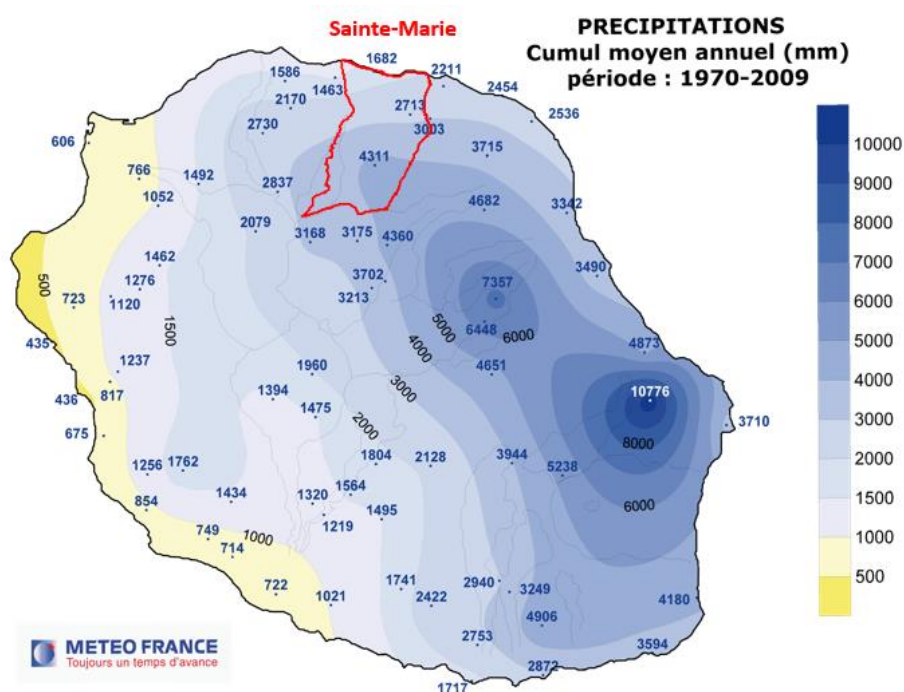


Figure 9 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France, 2009)

Météo France Réunion a réalisé une carte de zonage pluviométrique en 2010, tenant compte du relief (Figure 10), qui qualifie les secteurs soumis à un régime pluviométrique similaire à proche. La commune de Sainte-Marie est principalement concernée par les régions 2, 3 et 5 :

- La région 2 correspond aux planèzes de l'ouest jusqu'au Tampon y compris les cirques de Mafate et de Cilaos. Elle est caractérisée par des cumuls de précipitations pouvant atteindre plus de 2000 mm/an.
- La région 3 comprend les planèzes du nord de l'île (telles que Roche Ecrite, l'Espérance ou encore la plaine des Fougères) y compris le cirque de Salazie où les cumuls de précipitations peuvent atteindre plus de 4000 mm/an.
- La région 5 correspond au nord-est de l'île dans la région de la côte dite « au vent », de Sainte-Marie à Saint-Benoît, lui conférant un régime de pluies soutenu lié à son exposition directe aux alizés de secteur est. Les cumuls de précipitation peuvent atteindre plus de 4000 mm/an.

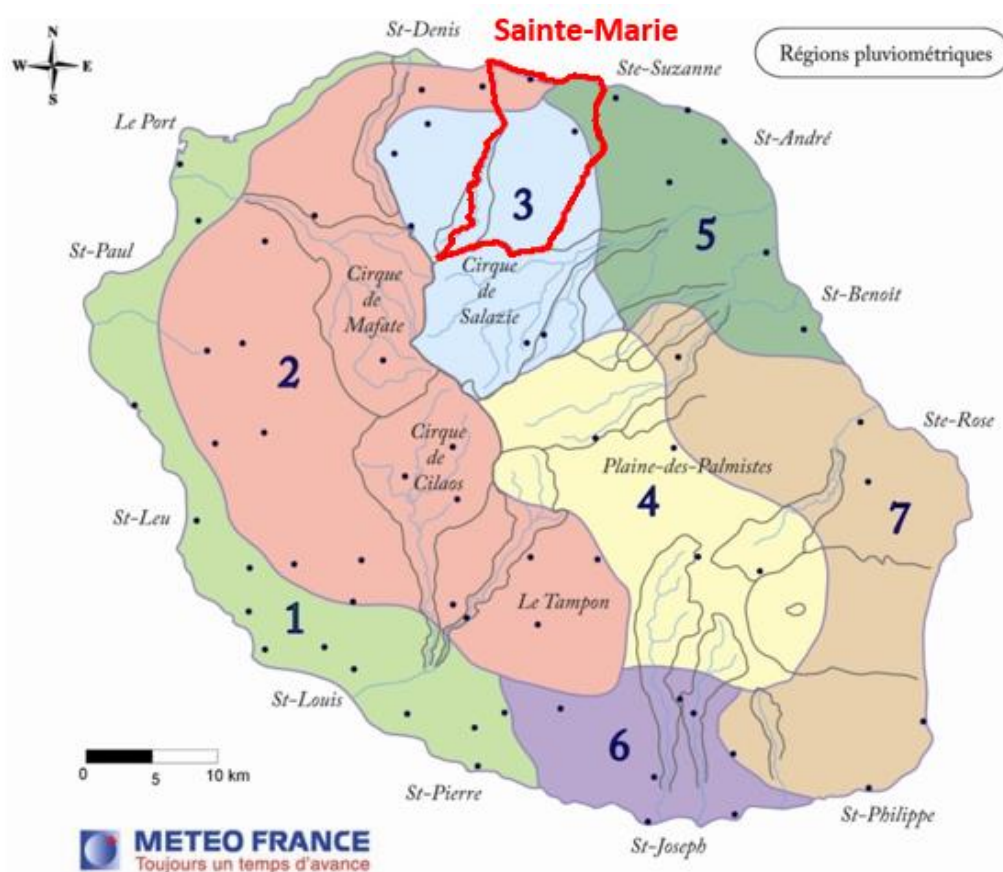


Figure 10 : Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)

Concernant les stations météorologiques, quatre stations sont installées aujourd'hui sur le territoire de Sainte-Marie :

- Gillot-Aéroport (altitude : 10 m, installée en 1953) ;
- La Mare (CIRAD, altitude : 68 m, installée en 2001) ;
- Beaufond Ste-Marie (altitude : 225 m, installée en 1997) ;
- Plaine des Fougères (altitude : 1062 m, installée en 1993).

Toutefois, pour élargir le champ d'informations, et vu le zonage pluviométrique au droit de la commune de Sainte-Marie (cf. Figure 10 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), les données pluviométriques des stations situées à proximité immédiate de la limite communale peuvent également être considérées :

Ainsi on peut citer les données des stations météorologiques suivantes (Figure 11) :

- Le Chaudron (commune de Saint-Denis, altitude : 38 m, installée en 1967) ;
- Le Grand-Hazier (commune de Sainte-Suzanne, altitude : 72 m, installée en 1953) ;
- Bagatelle (commune de Sainte-Suzanne, altitude : 262 m, installée en 1953) ;
- Montauban (commune de Saint-Denis, altitude : 420 m, installée en 1995).

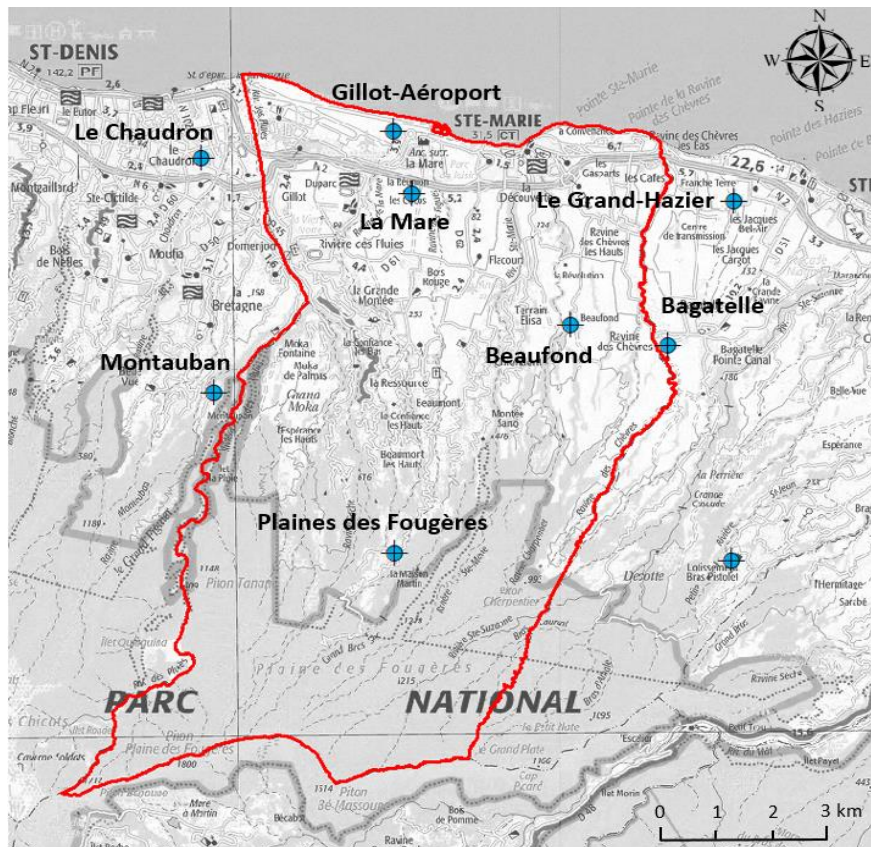


Figure 11 : Localisation des stations météo (en rouge) sur le secteur de Sainte-Marie (©IGN Scan100® - 2010)

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 de 10 à 25 ans de mesures.

Les valeurs caractéristiques pour quelques stations représentatives de Sainte-Marie sont présentées dans le Tableau 2 :

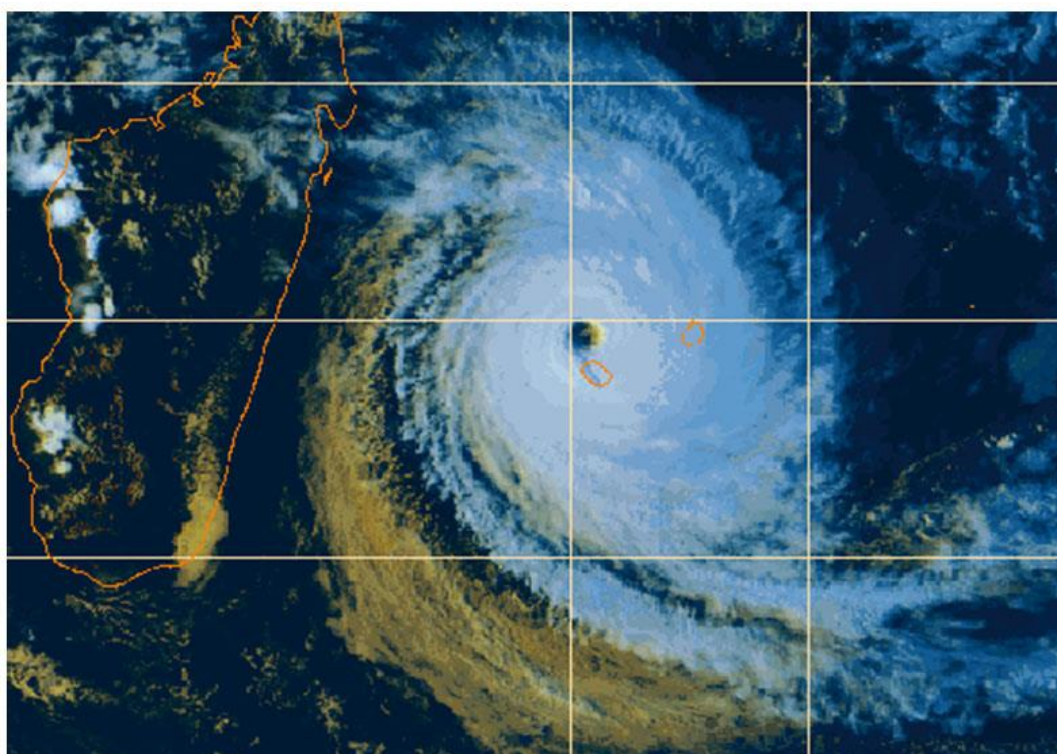
Nom station	Altitude	Pluie Journalière Décennale (PJ ₁₀ en mm)	Pluie Journalière Centennale (PJ ₁₀₀ en mm)
Gillot	10	291	411
Moka	232	370	522

Beaumont	1100	755	1065
----------	------	-----	------

Tableau 2 : Précipitations journalières décennales et centennales issues PGRI de la Rivière des Pluies (2008)

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 12 et Figure 13), soit par l'Est de La Réunion.



*Figure 12 - 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.

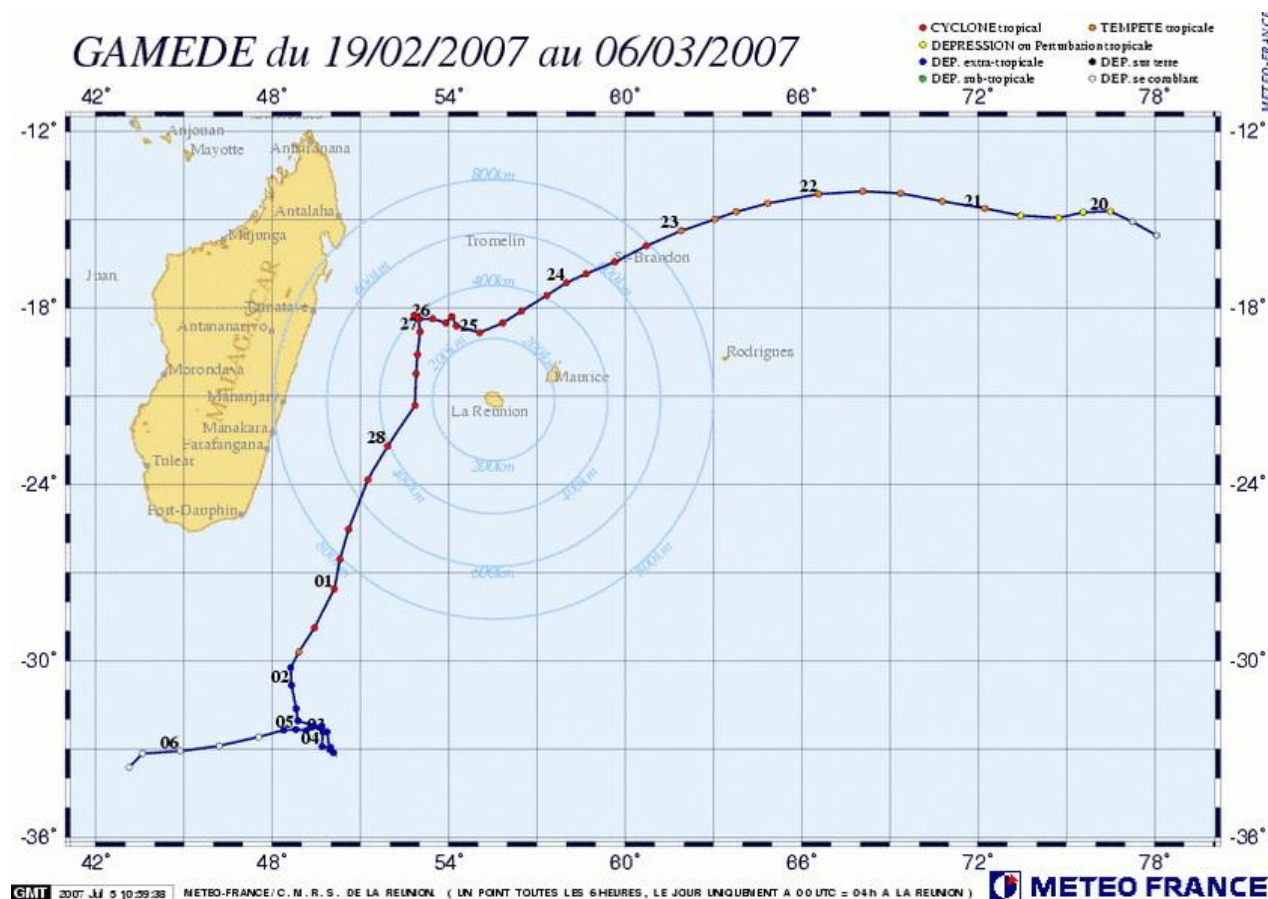


Figure 13 - Trajectoire du cyclone tropical Gamède de 2007 (Météo-France, 2008)

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 Béjisa (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-Marie 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 14).

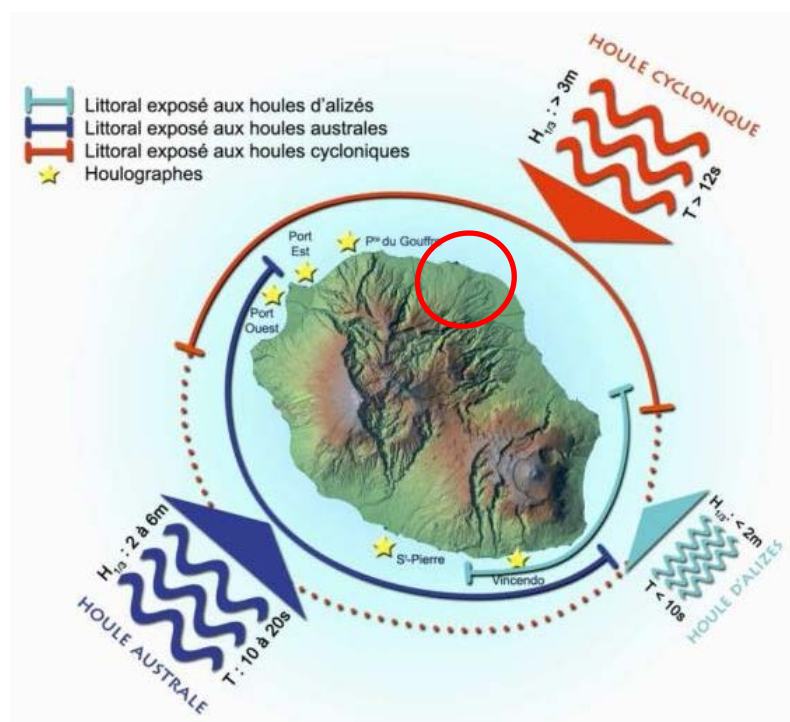


Figure 14 - Les différents régimes de houle à La Réunion (Météo France, 2009).

3.2. ENJEUX ET VULNERABILITE

La population de Sainte-Marie est passée de 20 158 habitants en 1990 à 33 160 habitants en 2016 (Tableau 3), avec une augmentation annuelle moyenne du nombre d'habitants de +1,9% entre 2010 et 2015.

Année	1982	1990	1999	2006	2011	2016
Population	17251	20158	26582	30596	29962	33160
Densité moyenne (hab/km ²)	198,8	231,2	304,8	350,9	343,6	380,3

Tableau 3 : Evolution de la population de Sainte-Marie et de la densité moyenne (hab/km²) au cours du temps (Insee, 2018)

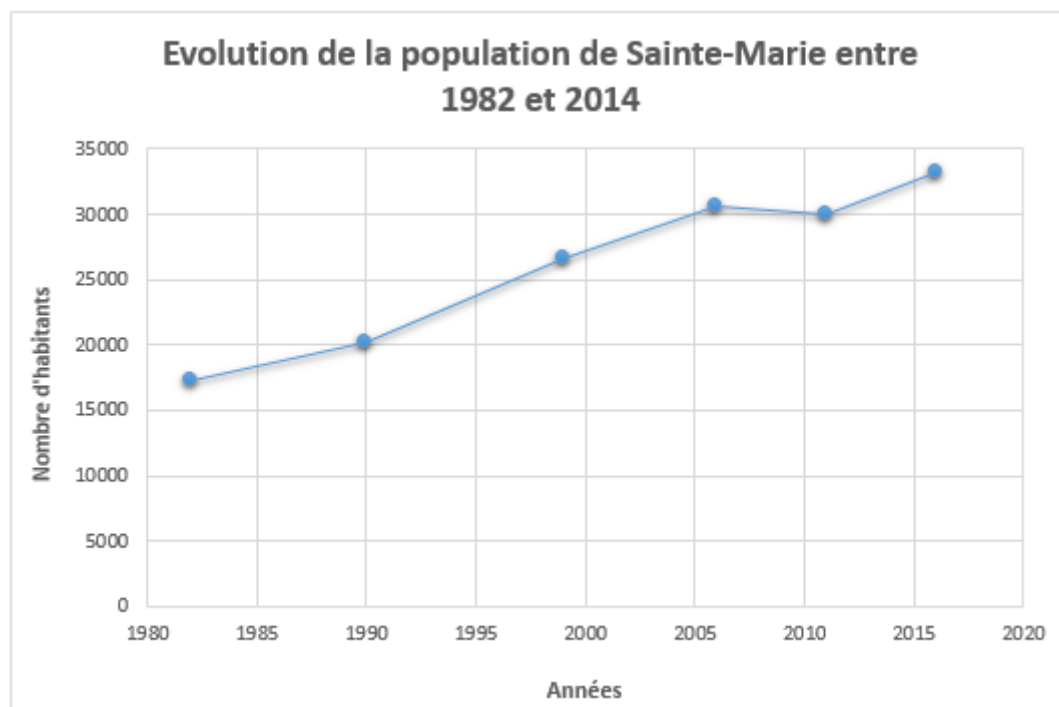


Figure 15 : Evolution de la population de la commune de Sainte-Marie (source : INSEE)

Une grande partie de l'habitat est implantée sur une frange littorale de quelques centaines de mètres de largeur, au niveau du chef-lieu de Sainte-Marie, mais également des secteurs du Verger, La Convenance, La Découverte (situés au débouché des ravines Charpentier, Bardeaux et de La Rivière Sainte-Marie), ainsi que du quartier de La Ravine-des-Chèvres-Les-Bas. Les autres grandes zones d'habitat se trouvent dans la partie Ouest du territoire communal, à La Rivière des Pluies, Duparc, Desbassyns, La Grande Montée notamment. Le bâti occupe les pentes jusque 800 m d'altitude, et même 1100 m au niveau de La Maison Martin.

Le réseau routier s'articule autour de la RN1, qui traverse d'Ouest en Est en 2X2 voies le territoire communal vers l'altitude 50 m, de la RN2f (accès au « cœur » de Sainte-Marie à partir de la RN1), et du réseau départemental principalement constitué de la RD51 (desserte de La Ravine des Chèvres avant prolongement vers Ste-Suzanne), de la RD61 (desserte de La Rivière-des-Pluies) et de la RD62 (ou Chemin Tabur, permettant d'accéder au bâti des Hauts de la commune). Les voies communales complètent le réseau routier.

L'économie de Sainte-Marie repose à 60,2% sur le secteur tertiaire (commerce, transports, services divers) (INSEE, 2015).

Les principaux enjeux répertoriés et cartographiés dans le PPR de Sainte Marie (annexe 5 du présent dossier) sont les suivants :

- l'aéroport de La Réunion-Roland Garros, principal aéroport de l'île situé en bordure littorale à l'extrémité ouest du territoire communal dont le trafic s'élève à plus de deux millions de passagers à l'année ; il représente l'un des enjeux stratégiques majeurs de l'île, le port intercommunal de Sainte-Marie de pêche et de plaisance, implanté à l'extrémité est de la piste principale de l'aéroport Roland Garros, regroupant de multiples activités (pêche, commerces, locaux techniques, activités de tourisme) et en voie d'extension ; il constitue un enjeu stratégique majeur pour le nord de l'île,
- les services de sécurité et de secours (gendarmerie, caserne de pompiers, hôpitaux et centres de soins, etc.) ;

- les équipements sensibles (réseaux électrique, de communication, etc.) ;
- les voies de circulation ;
- le réseau d'Adduction d'Eau Potable (sources, captages, stations de pompage, réservoirs, stations de traitement) ;
- les installations classées soumises à autorisation ;
- les établissements d'enseignement (écoles, collèges, centres de formation) ;
- les bâtiments administratifs (mairies principales et annexes, etc.) ;
- les autres établissements recevant du public (lieux de culte, maisons de retraite, etc.) ;
- les sites et services touristiques (gîtes, campings, etc.) ;
- les zones agricoles (plantations de cannes à sucre).

Les principaux enjeux sont localisés sur un document cartographique figurant en annexe à ce dossier et présentés en Figure 16.

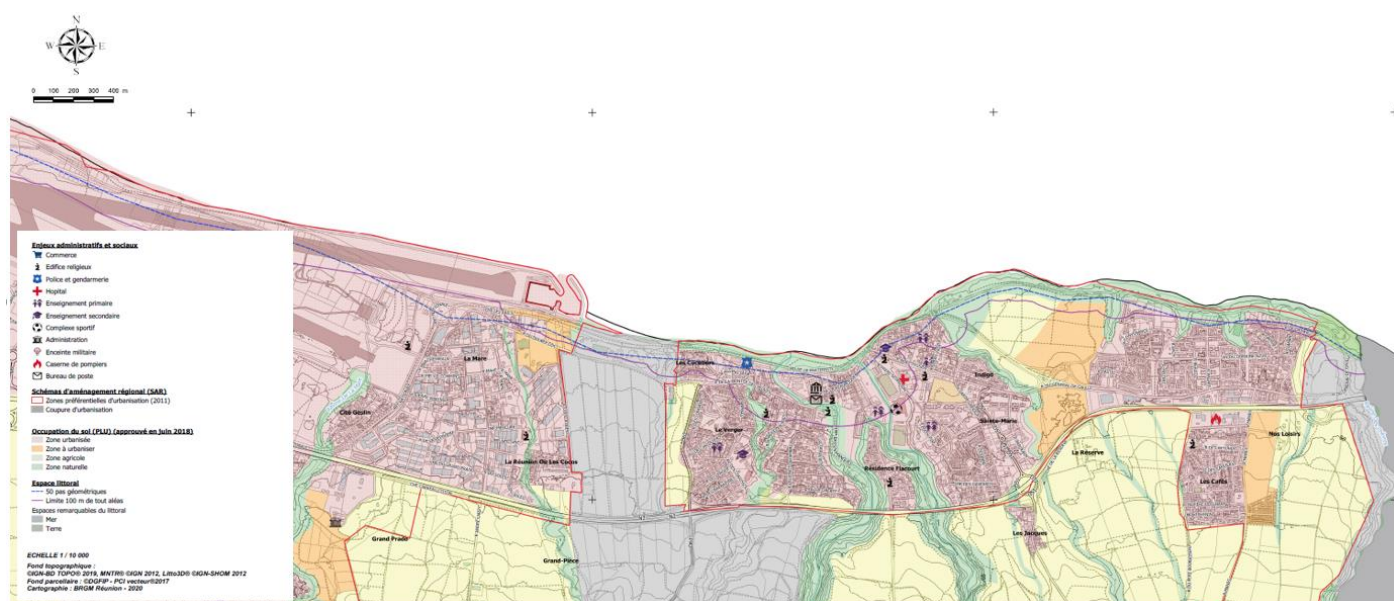


Figure 16 : Extrait de la cartographie des enjeux du littoral de la commune de Sainte-Marie (Annexe 5)

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-Marie 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-Marie dans la tourmente », d'articles de journaux et d'enquêtes de terrain réalisées en mai 2013.

Cyclone de février 1874

« L'établissement de la Marine Biberon et Cie a perdu une partie de son pont débarcadère, le tablier et les deux grandes lignes ont été enlevées, ainsi qu'une petite portion du quai. La plupart des bois et cordages, n'ont pas encore été retrouvés (...). Le raz de marée a été très fort pendant les trois journées que je viens d'indiquer mais la mer est subitement tombée pendant la nuit du 28 au 29 » Rapport au Directeur de l'Intérieur, 30 mars 1874

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. »

« Dans la partie du Vent, on signale de nombreux remblais emportés par la mer. Sans communication régulière, on ignore si les ponts n'ont pas souffert » Le journal de l'île de la Réunion, 25 mars 1904

Cyclone CLOTILDA 1987

« Le centre-ville de Sainte-Marie était très touché hier soir par les fortes pluies. Ravines et rivières débordaient (...). Les crues ont provoqué de nombreuses inondations dans les maisons. A 20h, plusieurs familles avaient dû quitter leurs habitations. » Témoignages, 12 février 1987.

Cyclone COLINA 1993

« Les cases ne semblent pas avoir trop soufferts, alors qu'elles ne sont pourtant qu'à quelques mètres de la mer. Surtout quand on sait que la houle a atteint 8 mètres à Gillot pour des vagues d'une quinzaine de mètres de haut. Quelques inondations sont néanmoins à déplorer » (Colina), Le Quotidien, 21 Janvier 1993

« La partie de la digue déjà construite pour protéger la future piste longue de Gillot a parfaitement rempli son office (...). Ce sont les aménagements annexes qui ont le plus souffert. La piste aménagée dans la rivière des Pluies a été détruite à 75%, de même que la piste côtière emportée à 90% par la mer » JIR, 21 janvier 1993

« Les poules, les canetons et parfois mêmes les cabris ont été emportés par la houle (...). Il y a au moins quarante ans qu'on avait pas vu autant d'eau » JIR, 21 janvier 1993

Les événements survenus sur le littoral de Sainte-Marie ont été recensés par une enquête de terrain dont les témoignages ont été réoccupés avec les brochures de presse (Figure 17).

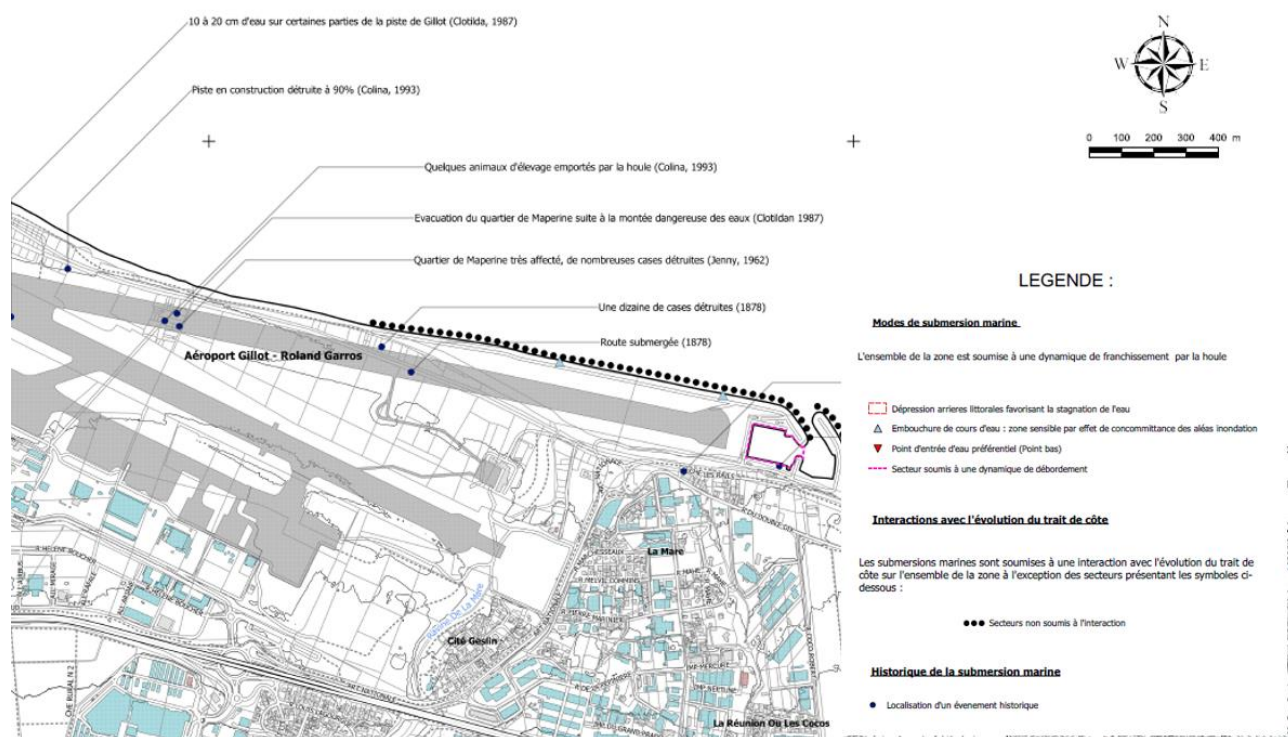


Figure 17 : Extrait de l'annexe 3 « Carte de synthèse des modes de submersion et des données historiques de l'aléa submersion marine » de la commune de Sainte-Marie.

4.2. ARRETES DE CATASTROPHES NATURELLES

Depuis 1993, 17 arrêtés de catastrophes naturelles ont été recensés sur la commune. Le tableau ci-après en présente la liste dont 4 imputables aux problématiques littorales.

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	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, coulées de boue, éboulements, glissements ou affaissements de terrain et chocs mécaniques liés à l'action des vagues consécutifs au passage de la dépression tropicale Iris	26/08/1995	27/08/1995	19/09/1995	23/09/1995
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

Vents cycloniques	22/01/2002	23/01/2002	05/02/2002	08/02/2002
Inondations et coulées de boue	11/02/2003	12/02/2003	19/06/2003	27/06/2003
Inondations et coulées de boue	17/02/2006	19/02/2006	10/11/2006	23/11/2006
Inondations et coulées de boue	04/03/2006	05/03/2006	10/11/2006	23/11/2006
Inondations et coulées de boue	24/02/2007	25/02/2007	23/03/2007	28/03/2007
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
Mouvements de terrain	02/01/2014	03/01/2014	22/04/2014	26/04/2014
Inondations et coulées de boue	24/04/2018	24/04/2018	23/05/2018	22/06/2018

Tableau 4 : Liste des arrêtés de catastrophes naturelle sur la commune de Sainte-Marie (source : www.georisques.gouv.fr – Base nationale de Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques - GASPAR - 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-Marie. Ce listing a été reporté et complété au Tableau 5 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 5 : Liste des cyclones notables

4.3. CARACTERISATION DES ALEAS LITTORAUX

4.3.1. Aléa recul du trait de côte (RTC)

Considérations générales sur l'aléa RTC

D'après le guide national pour l'élaboration des PPRL¹, 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,

¹ Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux, DGPR, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Mai 2014.

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 18) :

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

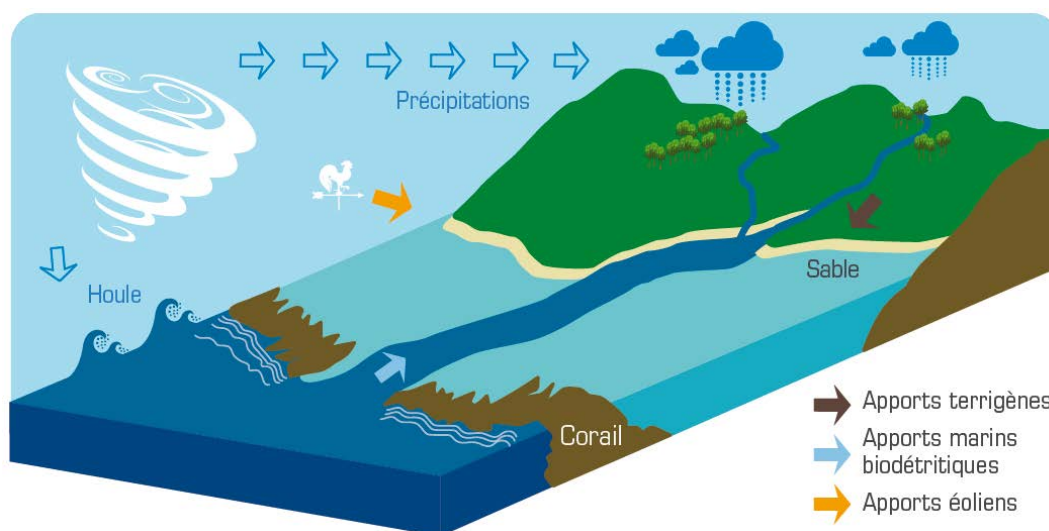


Figure 18 – Fonctionnement naturel du système littoral réunionnais (De La Torre et al, 2012)

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-Marie). 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 19).



Figure 19 – 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 20). Cette accélération des phénomènes est liée à la longueur d'onde², 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).

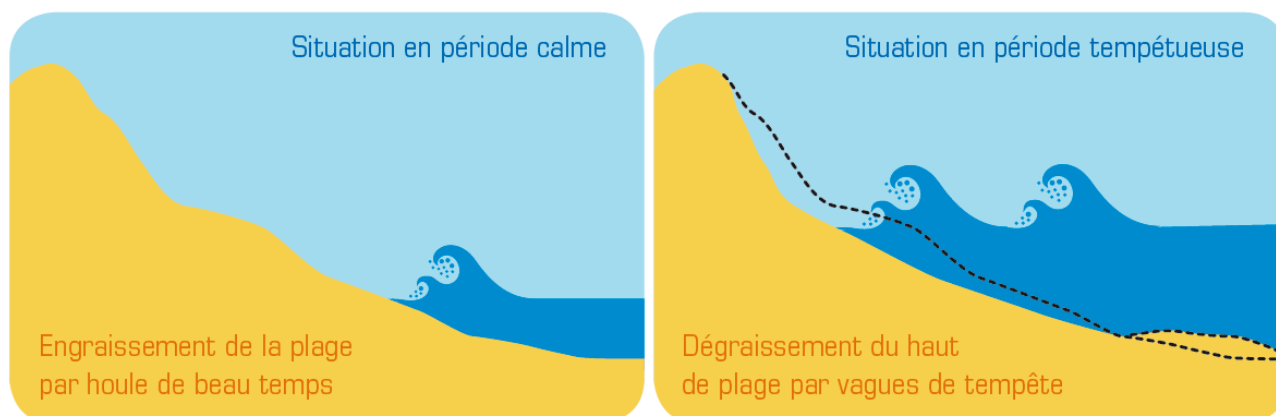


Figure 20 - Variations du profil de plage en fonction du régime de houles (De La Torre et al, 2012)

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 21) :

- 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).

² Distance séparant deux crêtes ou deux creux successifs



Figure 21 - 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 22) :

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

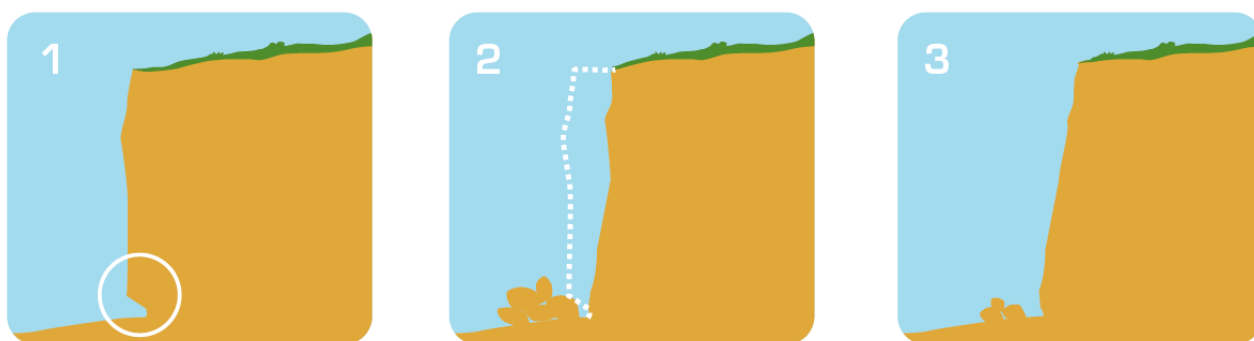


Figure 22 - Recul classique d'une falaise (De La Torre et al, 2012)

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 6*).

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

L'aléa RTC sur la commune de Sainte-Marie

La commune de Sainte-Marie connaît une problématique d'érosion du trait de côte sur plusieurs portions de son linéaire côtier. Mais également plusieurs dynamiques de stabilité voire d'engraissements sur certains secteurs le long de son littoral.

Les embouchures, 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 du port de Sainte-Marie, qui bloque les transferts sédimentaires en provenance de l'Est, et participe à une accrétion importante au niveau de la digue est du port.

D'autres secteurs connaissent une certaine stabilité. C'est notamment le cas des secteurs rocheux ou des secteurs aménagés et notamment du secteur portuaire, à 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 des Cocotiers (Figure 23 & Figure 24).



Figure 23 – Erosion du littoral du quartier des Cocotiers (Campagne OBSCOT ; 2018)



Figure 24 : Erosion récente du talus en haut de cordon de galet proche du centre-ville de Sainte-Marie et du quartier des Cocotiers (Campagne OBSCOT, 2018)

4.3.2. 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 météo-marines 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 25) 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.

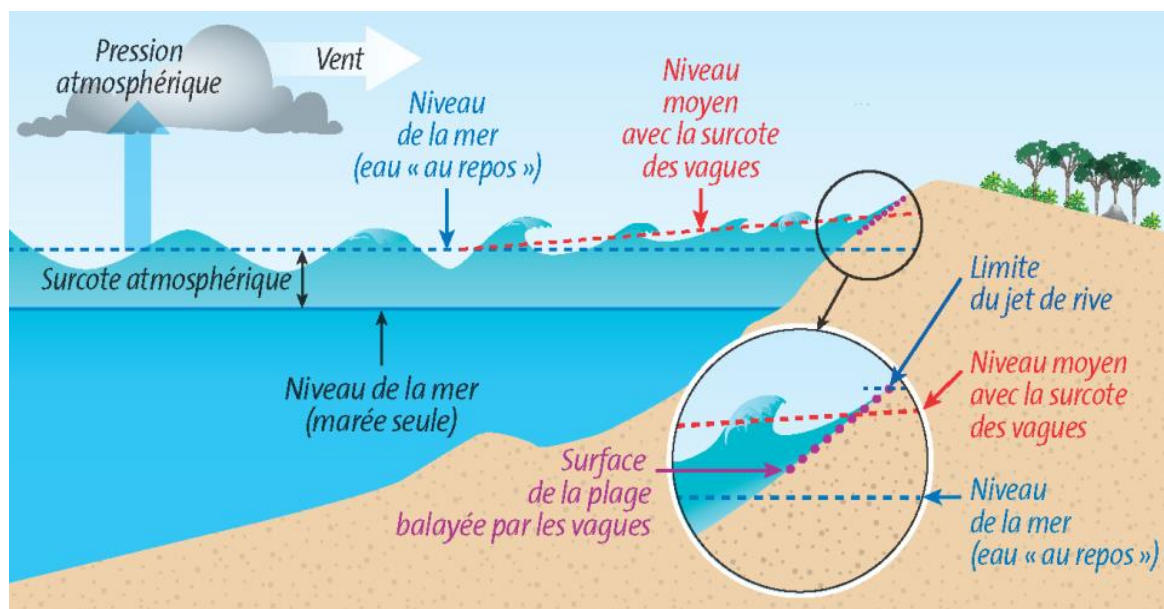


Figure 25 - Représentation des phénomènes qui concourent à la submersion marine (BRGM).

On distingue traditionnellement plusieurs types de submersions marines (cf. Figure 26) :

- ✓ 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).

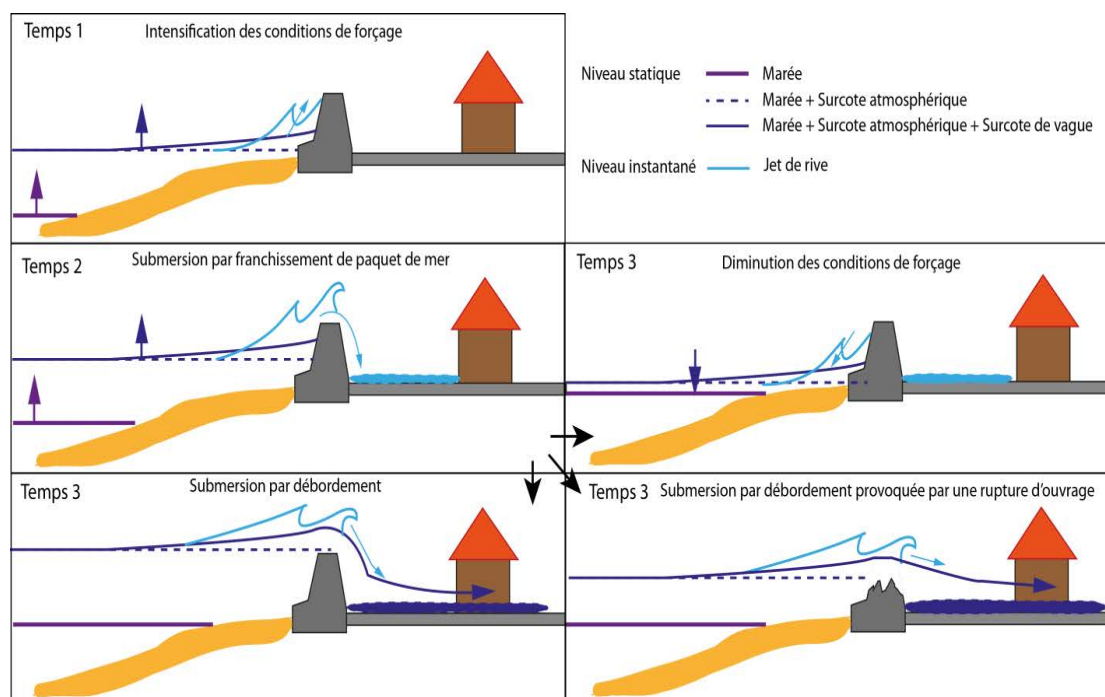


Figure 26. Les différents types de submersion marine (Pedreros R. & Garcin M. 2012)

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 27 et Figure 28).

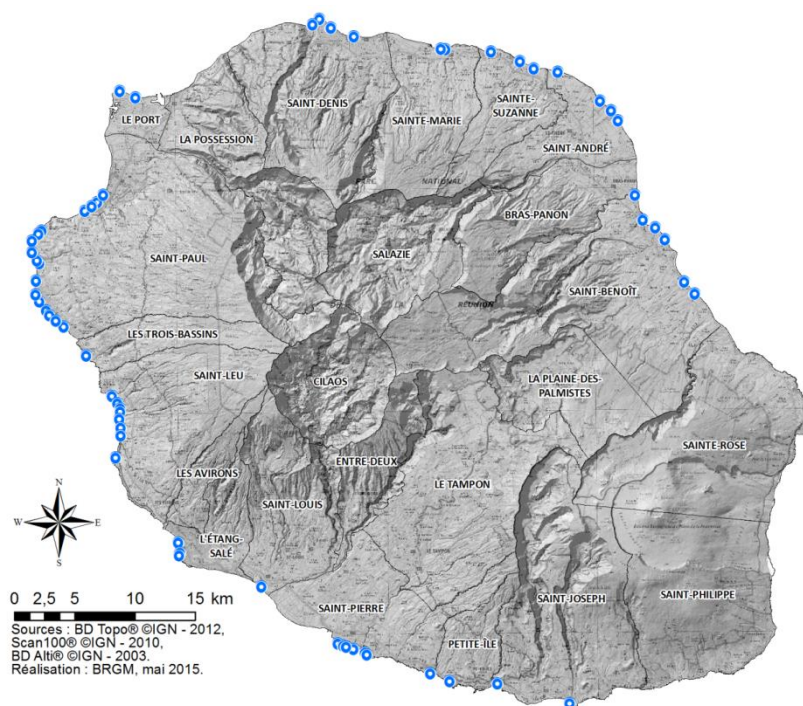


Figure 27 - Sites sensibles à l'action des houles (BRGM, mai 2015)



Figure 28 - 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-Marie.

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 29).

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.

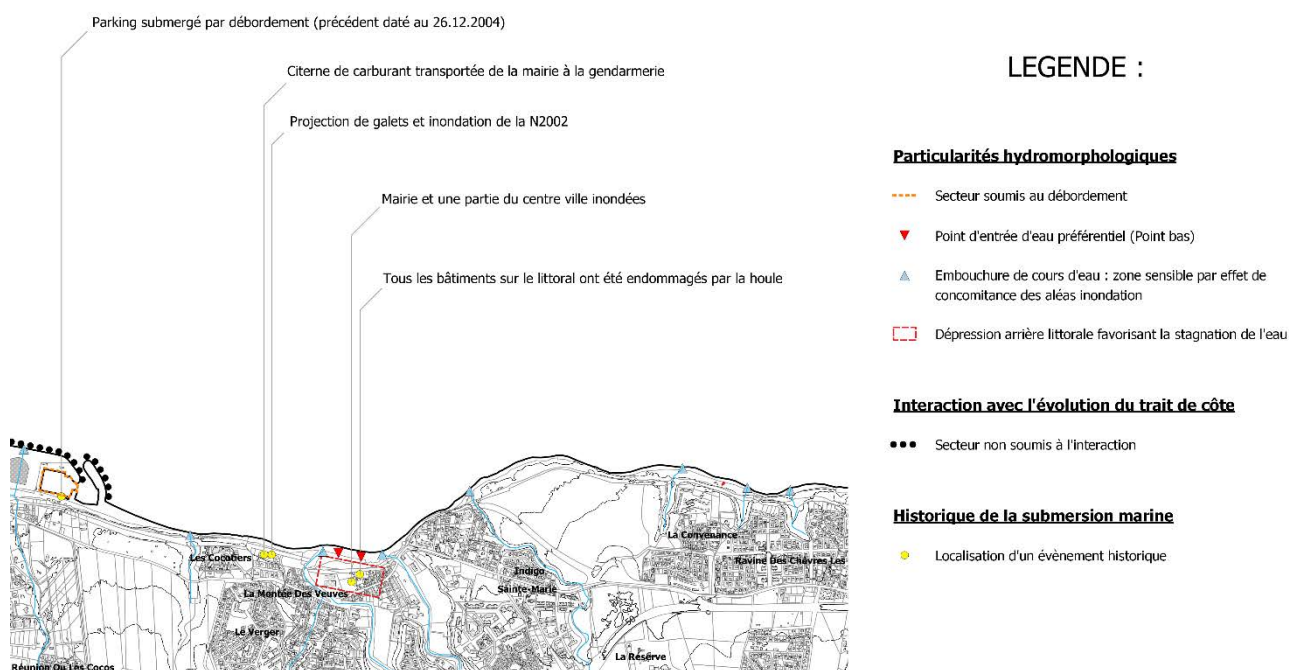


Figure 29 : Extrait de la carte des événements historiques de submersion marine (Annexe 3 du projet de PPRL)

L'aléa submersion marine à Sainte-Marie

Le littoral de Sainte-Marie est particulièrement vulnérable à la submersion marine. Historiquement, de nombreux événements ont été recensés, et ce dès le XIX^{ème} siècle.

L'analyse du MNT (modèle numérique de terrain) communal réalisé à partir des données lidar³, montre que la vulnérabilité à la submersion de la commune de Sainte-Marie se situe notamment au niveau de son centre-ville (Figure 30).

³ 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 30 : Centre-ville de Sainte-Marie dont l'altitude est située entre 2 et 3 NGR (MNT Litto3d IGN/SHOM)

Par cette approche altimétrique, il est possible de mettre en avant les quartiers fréquemment soumis à l'aléa submersion marine. Dans le cas de la commune de Sainte-Marie, seul le centre-ville à proximité des embouchures de la Rivière Sainte-Marie et de la Ravine Charpentier est exposé aux risques d'inondations par submersions marine (< 5 m NGF). Ce secteur ayant effectivement été submergés par paquets de mer lors d'événements historiques et de nombreux dégâts et victimes ayant été recensés. Les enjeux y sont d'autant plus importants qu'il s'agit d'un quartier densément peuplés.

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 (Chateauminos et al., 2014).

5.1. DEFINITIONS ET NOTIONS GENERALES

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.

5.2. ALEA REcul DU TRAIT DE COTE

5.2.1. Cadre méthodologique national

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

- Le taux annuel de recul du trait de côte par secteur ;
- le recul L_{max} lié à un événement 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 Tx ⁴)	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 événements 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 7 - Synthèse de la méthodologie nationale de caractérisation de l'aléa recul du trait de côte (en jaune les choix opérés pour cette étude)

⁴ Vitesse d'évolution annuelle

5.2.2. Estimation de l'aléa recul du trait de côte

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 2100⁵.

Préparation des photographies aériennes anciennes

Les photographies utilisées dans cette étude sont issues des campagnes aériennes couvrant l'ensemble du linéaire côtier de Sainte-Marie de 1950 à 2017 (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
2017	Couleur	1 : 25000	1 pixel = 0.2m

Tableau 8 – 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 calibration⁶ de ces missions IGN n'étant pas disponibles. Cependant, le littoral de Sainte-Marie étant majoritairement constitué de côtes basses, les faibles déformations des photographies dues au relief ont pu être compensées

⁵ 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.

⁶ 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...).

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, 2011 et 2017 sont issus de la « BD Ortho » de l'IGN.

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 31) :

- la limite de végétation ou le pied des aménagements ou ouvrages pour les côtes basses (à partir de l'ortho 2017) ;
- la partie sommitale du versant pour les côtes à falaise (à partir du MNT lidar).



*Figure 31 – Exemple de définition du trait de côte suivant les morphotypes du littoral de la côte nord-est:
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 marnage⁷ 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.

⁷ 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.

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 (Figure 32). La vitesse (Tx) et sa projection à horizon 2100 (100Tx) sont calculés pour chaque transect, selon plusieurs méthodes statistiques possibles.

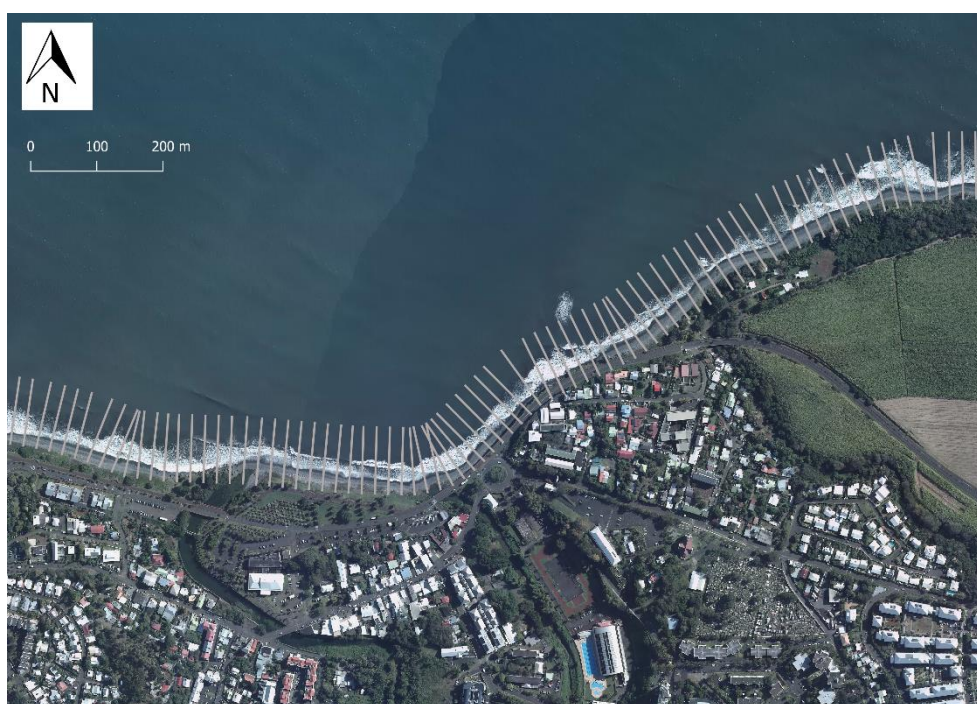


Figure 32 : Exemple d'implantation des profils à Sainte-Marie

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 33).

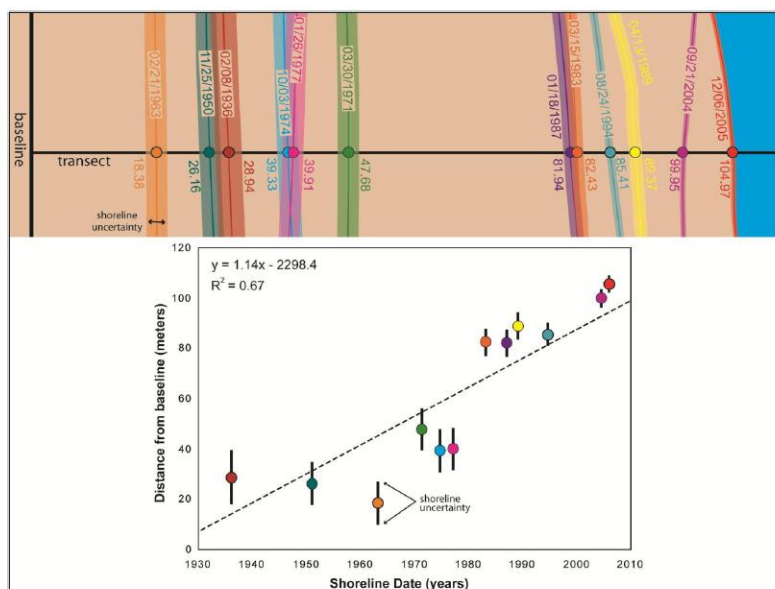


Figure 33 – Principe de la régression linéaire pondérée pour le calcul par DSAS de l'évolution du trait de côte (Himmelstoss, 2009)

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 34)), il convient de regrouper et moyenner les valeurs au sein de secteurs au comportement morpho-dynamique homogène.

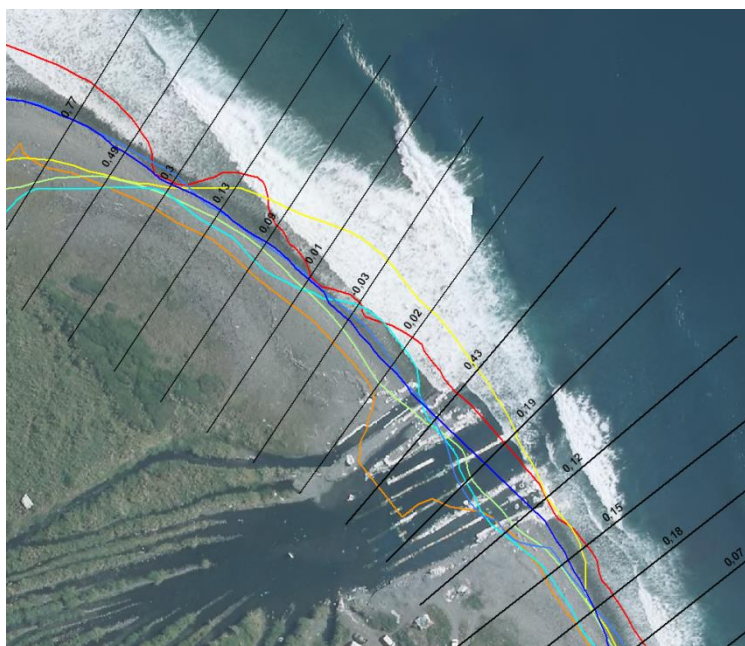


Figure 34 – Exemple d'artefact généré par les profils au sud de la Rivière des Marsouins sur la commune de St-Benoît : de fortes disparités sont observées entre des transects très proches) - Orthophoto IGN© 2012

Au sein de grandes cellules hydro-sédimentaires, des secteurs sont ainsi définis selon les morphotypes et l'exposition du littoral. Les reculs moyens des secteurs en érosion au sein des

cellules (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-Marie sont synthétisés dans le Tableau 9 ci-après :

Secteur	Morphotype	Recul Tx moyen des secteurs en érosion (m / an)	Classe	100 TX Moyen
1	Cordon de galets / Embouchure	0	Stable	0
2	Cordon de galets	-0.15	Modéré	15
3	Cordon de galets	0	Stable	0
4	Aménagement	0	Stable	0
5	Falaise	0	Stable	0
6	Cordon de galets	-0.14	Modéré	14
7	Cordon de galets / Embouchure	-0.03	Faible	3
8	Falaise	-0.06	Faible	6
9	Falaise / Cordon de galets	-0.24	Fort	24
10	Falaise / Cordon de galets	-0.04	Faible	4
11	Falaise / Cordon de galets	-0.02	Stable	2
12	Falaise / Cordon de galets	-0.08	Faible	8
13	Falaise / Cordon de galets	0	Stable	0
14	Falaise / Cordon de galets	-0.11	Modéré	11
15	Falaise / Cordon de galets	-0.05	Faible	5

Tableau 9 – Calculs de recul du trait de côte (référence 2017 – échéance 2100) par secteurs homogènes sur la commune de Sainte-Marie

Il convient en outre de prendre en compte le recul lié à un événement tempétueux majeur (L_{max}). Sur la base des tempêtes et cyclones connus (cyclone Dina de janvier 2002), le L_{max} est estimé à -10 m pour les secteurs de cordon sédimentaire exposés au large. Concernant les côtes à falaise, la valeur L_{max} 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.

5.2.3. Zonage de l'aléa recul du trait de côte

Zonage de référence : 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 de référence le plus récent (2017) correspondant à la limite de végétation en haut de plage ou à la rupture de pente. La commune de Sainte-Marie présente 15 secteurs aux comportements hydro-sédimentaires homogènes présentés en Figure 35. Les valeurs de L_r de chacun de ces secteurs sont présentées dans le Tableau 10.

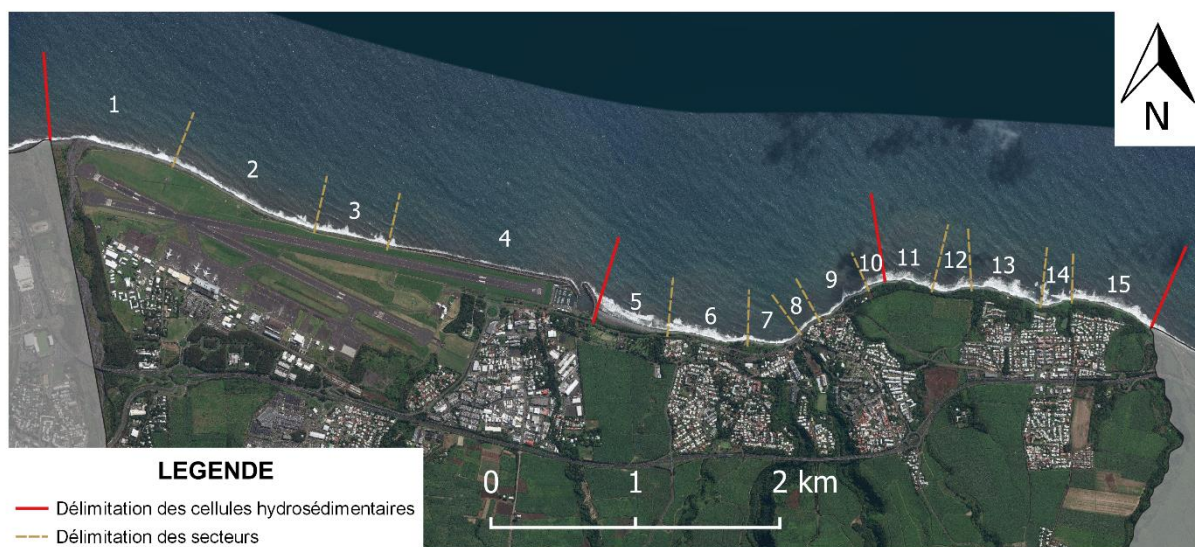


Figure 35 : Délimitation des cellules hydro-sédimentaires et des 15 secteurs homogènes de la commune de Sainte-Marie (BRGM, 2020)

Secteur	Morphotype	100 TX arrondi/plafonné	Lmax	Lr
1	cordon de galets / Embouchure		10	10
2	cordon de galets	15	10	25
3	cordon de galets		10	10
4	Aménagement	0	0	0
5	Falaise		5	5
6	Cordon de galets	15	10	25
7	Cordons de galets / Embouchure	5	10	15
8	Falaise	5	5	10
9	Falaise / Cordon de galets	25	5	30
10	Falaise / Cordon de galets	5	5	10
11	Falaise / Cordon de galets		5	5
12	Falaise / Cordon de galets	10	5	15
13	Falaise / Cordon de galets		5	5
14	Falaise / Cordon de galets	10	5	15
15	Falaise / Cordon de galets	5	5	10

Tableau 10 – Valeurs 100Tx ; Lmax et Lr par secteurs homogènes pour la commune de Sainte-Marie

La cartographie SIG de l'aléa « recul du trait de côte » est réalisée à l'aide des valeurs de Lr et de Lmax via l'utilisation de l'outil « buffer », revenant à créer une zone tampon (selon les valeurs de Lmax et de Lr) sur un secteur défini à partir du trait de côte de référence considéré de 2017 (haut de plage ou bas de plage).

Une première zone tampon des valeurs de L_r a été appliqué au trait de côte de bas de plage le plus récent, à savoir la limite de jet de rive de l'année 2017. Une seconde zone tampon des valeurs de L_{max} a été réalisée selon le trait de côte de haut de plage correspondant à la limite de végétation ou à la rupture de pente des falaises. L'aléa « recul du trait de côte » correspond à la mise en commun des limites les plus reculées des zones tampons des valeurs de L_{max} et de L_r (Figure 36).

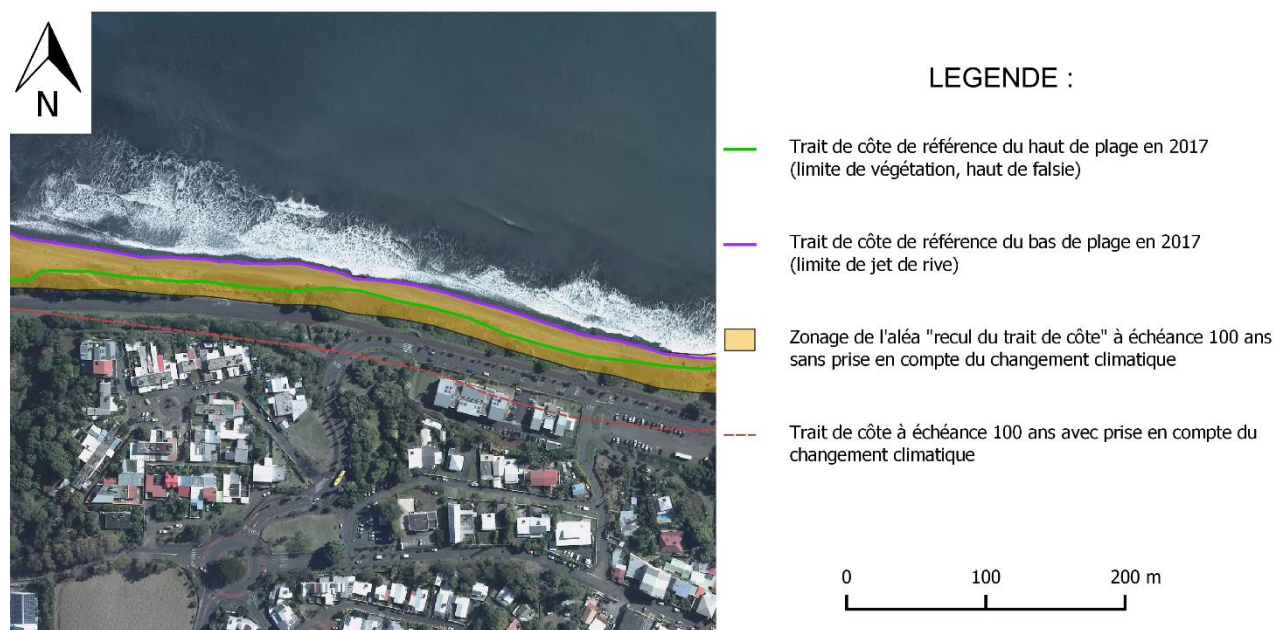


Figure 36 : Extrait de la cartographie de l'aléa de recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Marie (Annexe 2 du projet de PPRL)

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.

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 2017 et 2100 (sans L_{max}) ;

- pour les côtes basses meubles ne subissant pas de recul (en accrétion à long terme), en triplant le recul L_{max} 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-Marie (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.

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 (
- Figure 37) ;

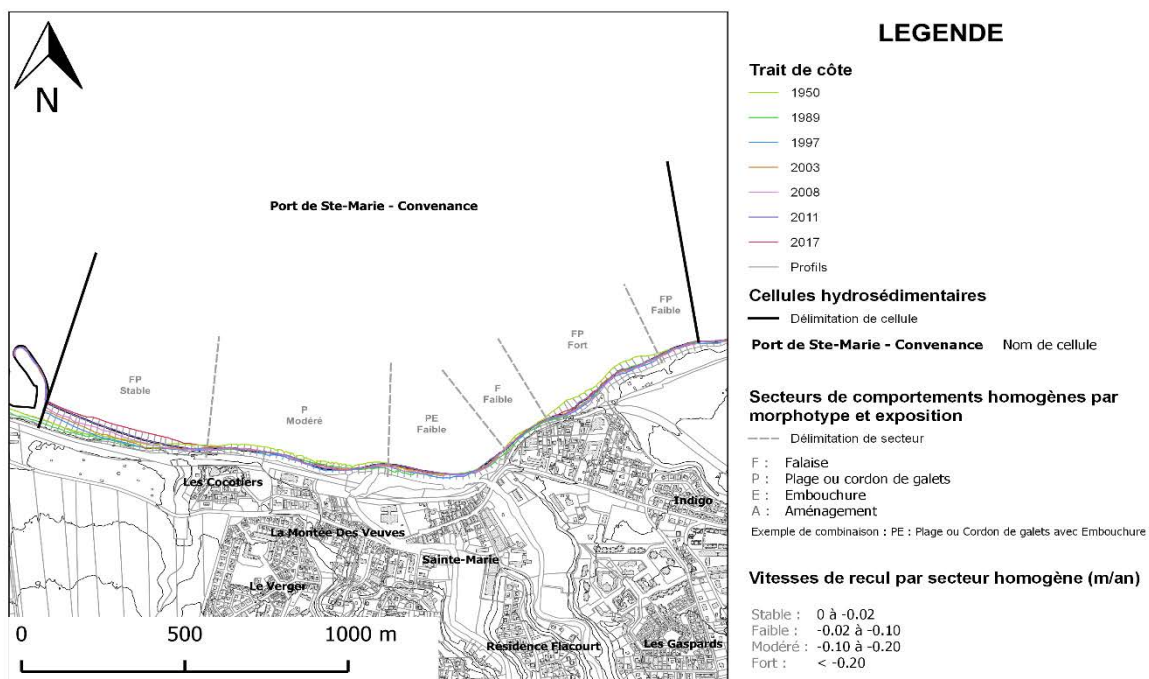


Figure 37 – Extrait de la carte de synthèse de l'évolution historique du trait de côte de Sainte-Marie (cf. Annexe 1)

- 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 38).

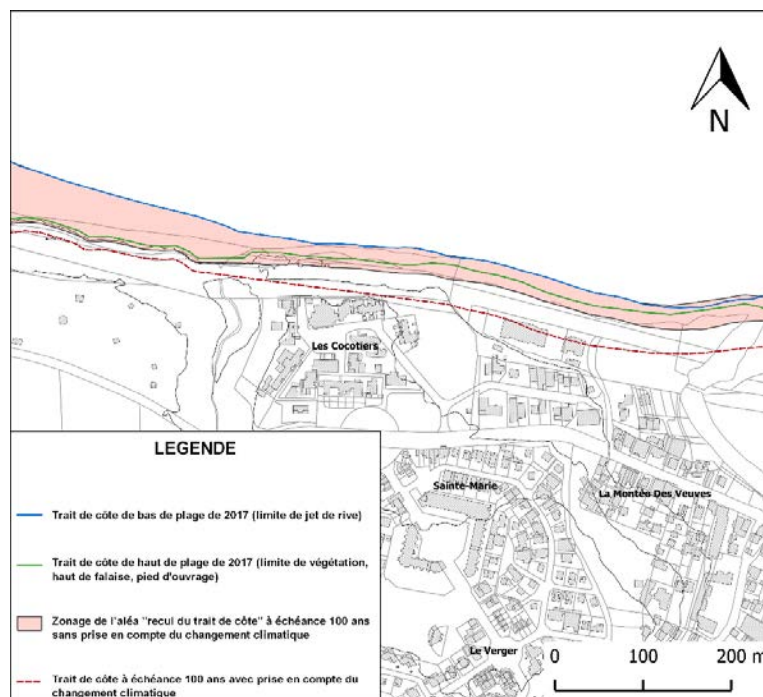


Figure 38 – Extrait de la carte d'aléa recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Marie (cf. Annexe 2)

5.3. ALEA SUBMERSION MARINE

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

5.3.1. Cadre méthodologique 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 11 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, millennal)
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 11– Synthèse de la méthodologie nationale de caractérisation de l'aléa submersion marine (en jaune les choix opérés pour cette étude)

5.3.2. 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, le franchissement par les vagues est le phénomène de submersion le plus commun impactant l'ensemble du linéaire côtier de l'île. Seul la zone interne des étangs ou des ports, qui peut subir des débordements liés à la surcote de tempête sans action des vagues, est soumise à l'aléa de submersion par débordement.

Précision de la caractérisation et la cartographie de l'aléa submersion marine par débordement

La surélévation du niveau de la mer peut générer un phénomène de submersion marine dans les zones basses abritées de la houle comme dans les ports ou les étangs. Cette cartographie est basée sur une projection du niveau d'eau de l'évènement submersion marine par débordement sur la topographie à l'intérieur du port (MNT, Litto3D, SHOM-IGN, 2011).

Ce niveau est basé l'étude BRGM⁸ et est adapté au guide ministériel d'élaboration du PPRL (DGPR, 2014)⁹. Ce niveau est la conjonction d'un niveau d'eau fréquent et d'une surcote atmosphérique centennale liée au passage d'un cyclone. Il correspond à la somme des paramètres suivants (Figure 39) :

- un niveau de marée de 0,50 m NGR qui intègre 0,25 m NGR correspondant à la moyenne des plus hautes pleines mers journalières (PM sup) (SHOM, 2016)¹⁰ et une marge de sécurité de 0,25 m pour une prise en compte de l'incertitude sur la marée (DGPR, 2014)².
- la surcote atmosphérique centennale liée au passage d'un cyclone (+0,85 m selon Sogreah, 1998¹¹).
- Une surélévation du niveau marin en lien avec le changement climatique (DGPR, 2016) selon deux scénarios :
 - o Un **aléa de référence actuel** : Une surélévation du niveau marin en lien avec le changement climatique à moyen terme de 0,2 m conformément au recommandation du guide méthodologique ministériel ;
 - o Un **aléa 2100** : Une surélévation du niveau marin en lien avec le changement climatique à échéance 2100 de 0,6 m conformément au recommandation du guide méthodologique ministériel.

L'ensemble de ces éléments amène à caractériser un niveau marin de **+1,55 m NGR pour l'aléa de référence actuel** et un niveau marin de **+1,95 m NGR pour l'aléa à échéance 2100**.

⁸ 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 1 et Phase 2. BRGWRP-56589-FR et BRGM/RP-56365

⁹ 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.

¹⁰ SHOM (2016), Ouvrage de marée – Références Altimétriques maritimes Ref : X16-HYC

¹¹ SOGREAH (1998), RN1 – Route du littoral – Etude préalable des risques océanographiques Etape 1 : Analyse de l'existant Rapport 11988/ADI/51 4525 R1

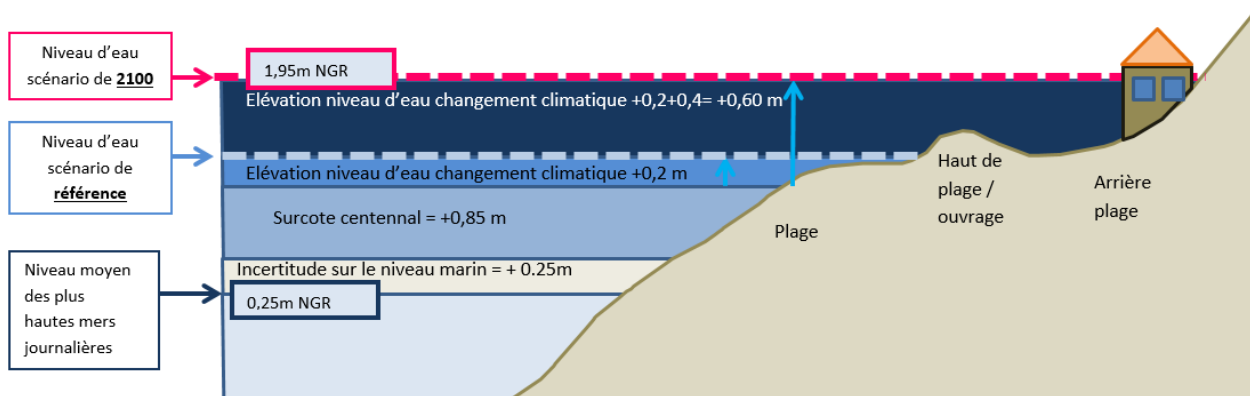


Figure 39 : Présentation schématique des niveaux d'eau de l'évènement submersion marine par débordement selon les 2 scénarios PPRL

Le zonage des degrés d'aléa submersion marine par débordement sont liés aux deux scénarios de submersion confrontés à la topographie locale (MNT Litto3D IGN, 2011). Cet évènement est considéré comme sans agitations par simplification. Il n'y a donc pas de croisement entre les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement. Seul les niveaux d'eau sur la topographie déterminent les degrés d'aléa. Les différents degrés d'aléa sont cartographiés en fonction des hauteurs d'eaux dans le port et selon deux scénarios comme suit (Figure 40) :

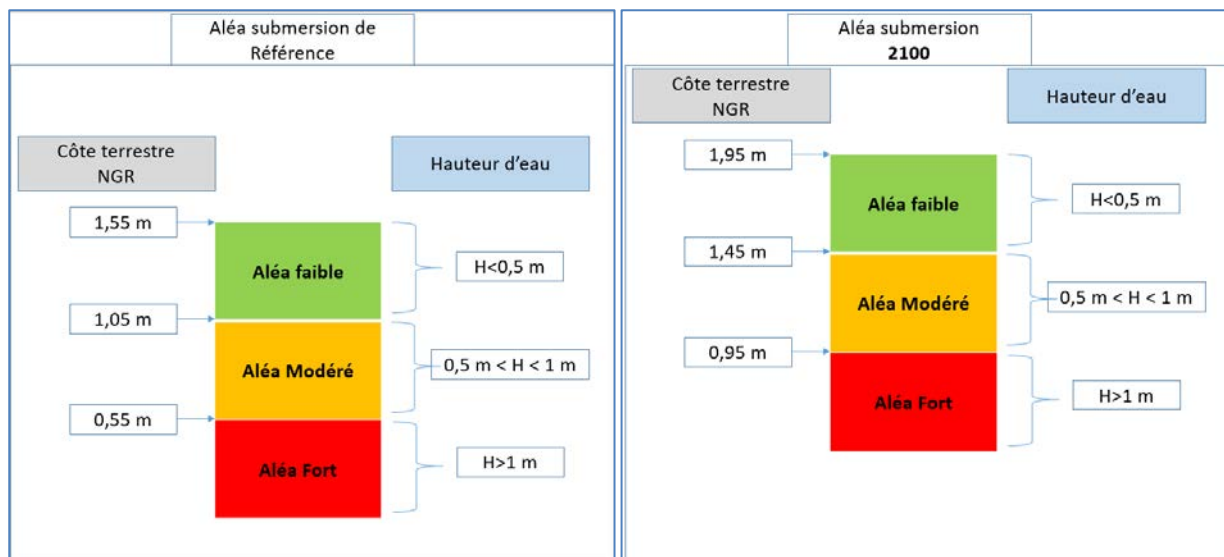


Figure 40 : Schémas de la qualification des degrés d'aléa débordement

Un lissage géométrique est ensuite appliqué pour adapter le rendu cartographique à l'échelle 1/5000.

Précision de la caractérisation et la cartographie de l'aléa submersion marine par franchissement

Pour la submersion par franchissement, plusieurs méthodes d'estimation sont possibles. Les formules empiriques de calcul du run-up¹² 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-Marie. 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).

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.

¹² Run-up : altitude maximale atteinte par le jet de rive sous l'action des vagues.

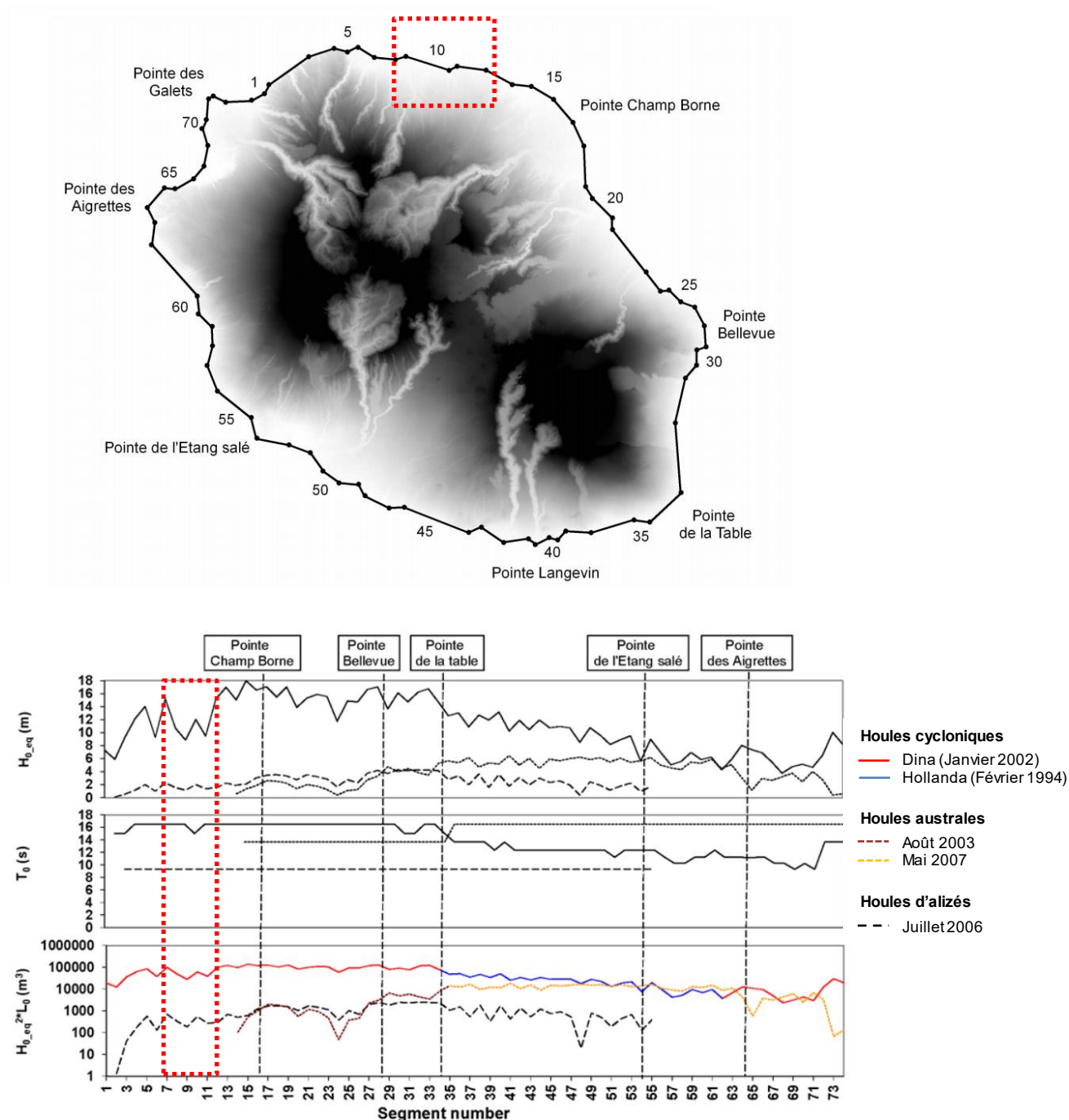


Figure 41 – Comparaison des houles engendrées par différents évènements historiques (cyclones ou houles australes) en termes de hauteur significative (graphiques du haut), période pic (graphiques du centre) et énergie (graphiques du bas) le long de la côte réunionnaise – (Lecacheux et al., 2012)

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 42) :

- **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).

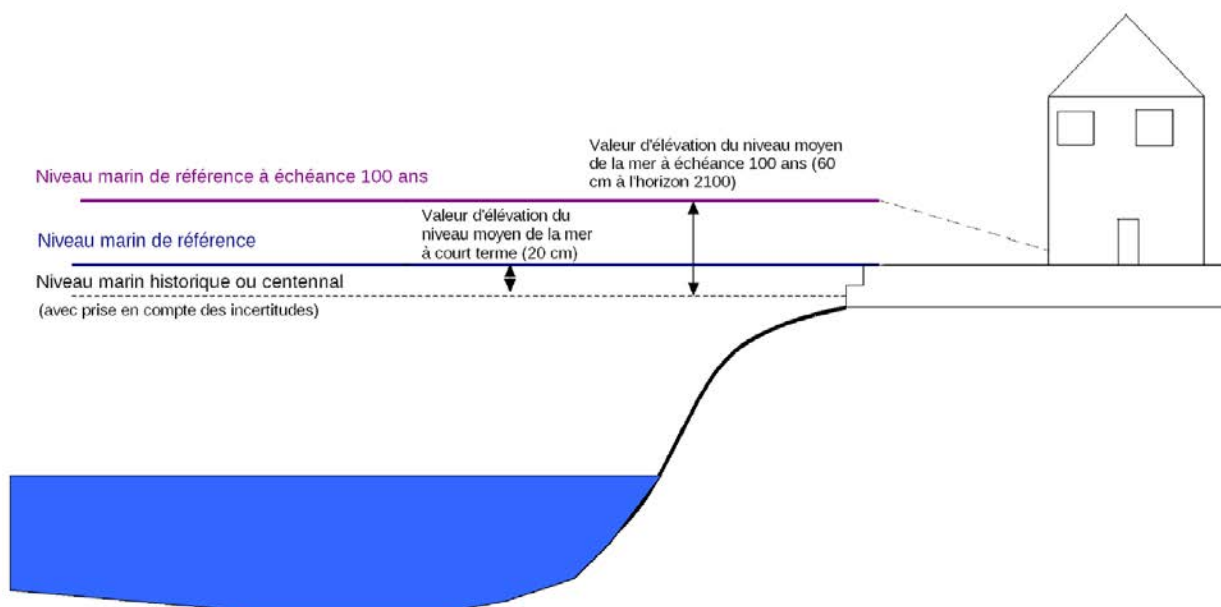


Figure 42 - Niveaux marins à prendre en compte pour la caractérisation de l'aléa submersion marine (DGPR, 2014)

5.3.3. 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 n'ont pas été pris en compte, et seule la topographie issue du MNT Litto3D a été utilisée.

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 (Alerte descendante aux tsunamis en Méditerranée Occidentale : Le Roy *et al.*, 2012), sont schématisées en Figure 43:

- 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.

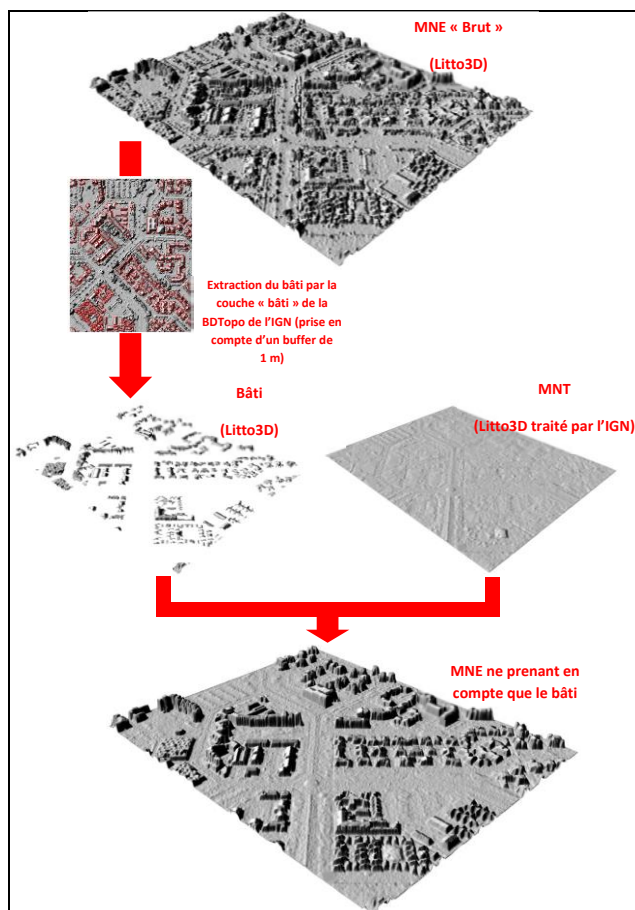


Figure 43 : Principales étapes nécessaires à la construction du MNE (Le Roy et al., 2012) – données Litto3D ©IGN.

Références altimétriques

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 (Tableau 12). 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 12 – 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)

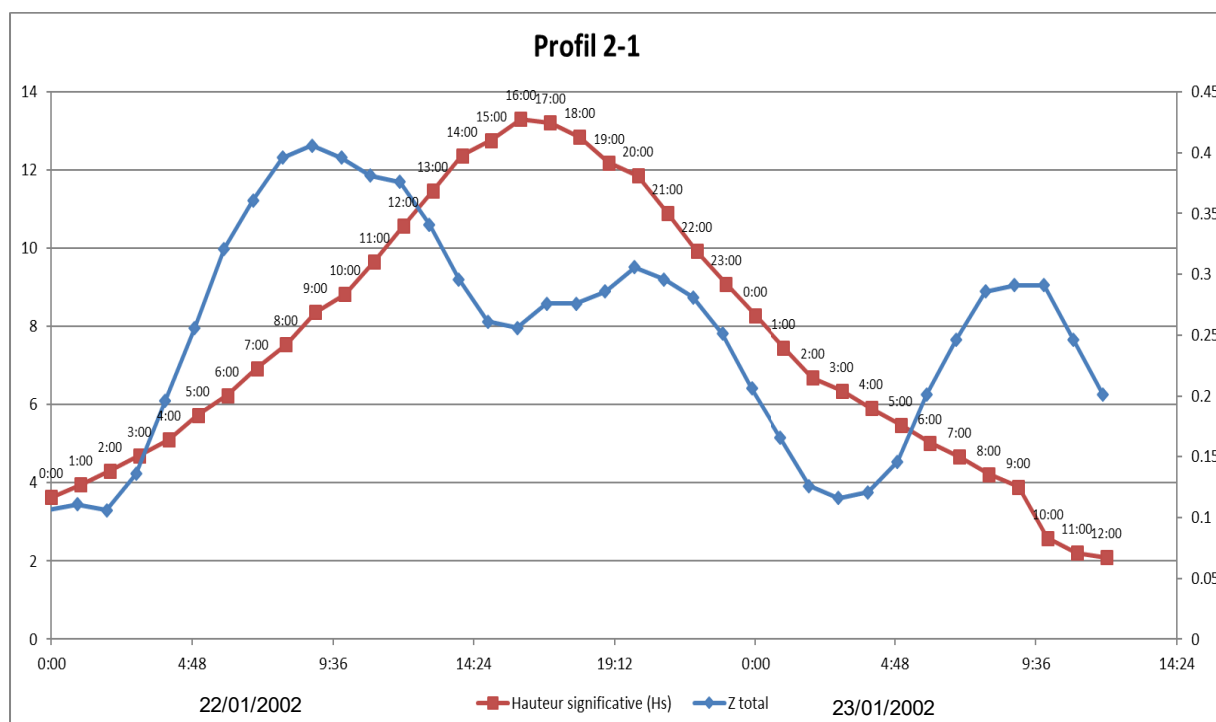
On retiendra que le niveau de plus haute mer astronomique (marée) à la Pointe des Galets se situe +0,456 m IGN89 :

Niveaux d'eau considérés

Les niveaux d'eau ont été choisis à partir du cas historique correspondant à l'évènement de référence, le cyclone 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 12.
- 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-France¹³ 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 (Figure 44).



¹³ Saison cyclonique – Sud-ouest de l'océan Indien, 2001-2002, Météo-France, 100p.

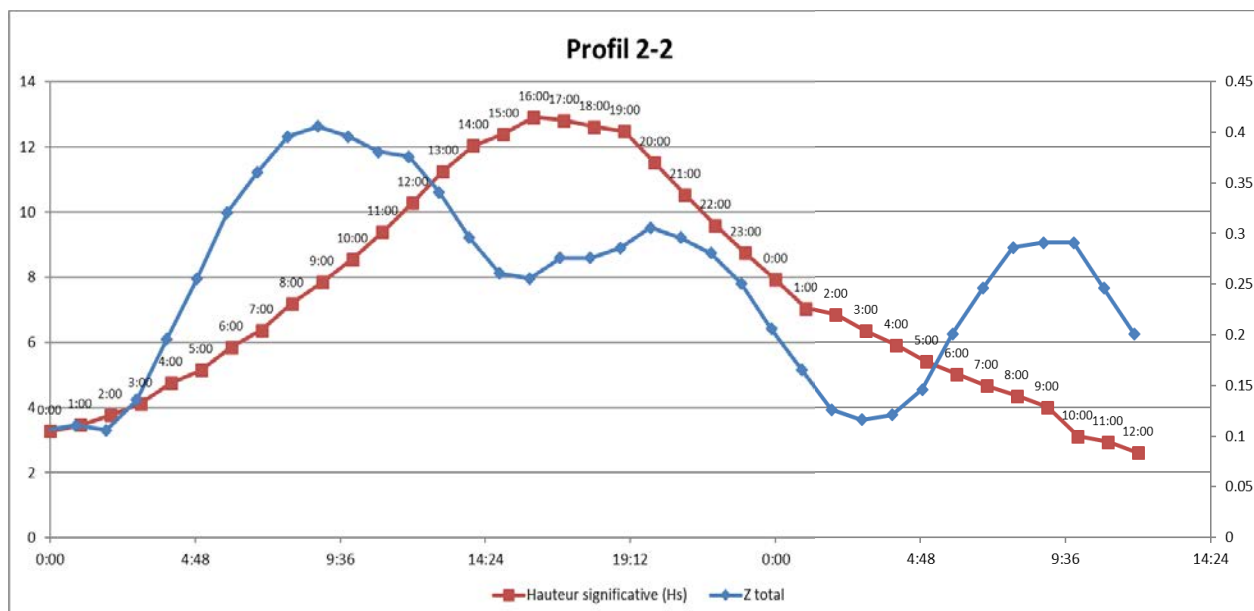


Figure 44 - Hauteur significative des vagues en rouge (en mètres, échelle de gauche) et niveau de la mer en bleu incluant la marée prédite et la surcote atmosphérique estimée (en mètres IGN89, échelle de droite) les 22 et 23 janvier 2002 (cyclone Dina) pour les 2 profils réamisés (2.1 et 2.2) sur la commune de Sainte-Marie.

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 (Tableau 13) :

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 13 - Niveaux marins retenus pour la simulation de submersion

Stratégie de modélisation : Méthode adoptée pour les simulations

Localisation de la simulation

Le littoral de Sainte-Marie est composé principalement d'une succession de falaises surplombant parfois des cordons de galets. Les modélisations des profils 2.1 et 2.2 ont été réalisées respectivement au niveau de la gendarmerie de Sainte-Marie et dans le centre, à côté de la mairie.

Les profils choisis pour la simulation sont précisés dans la Figure 45.

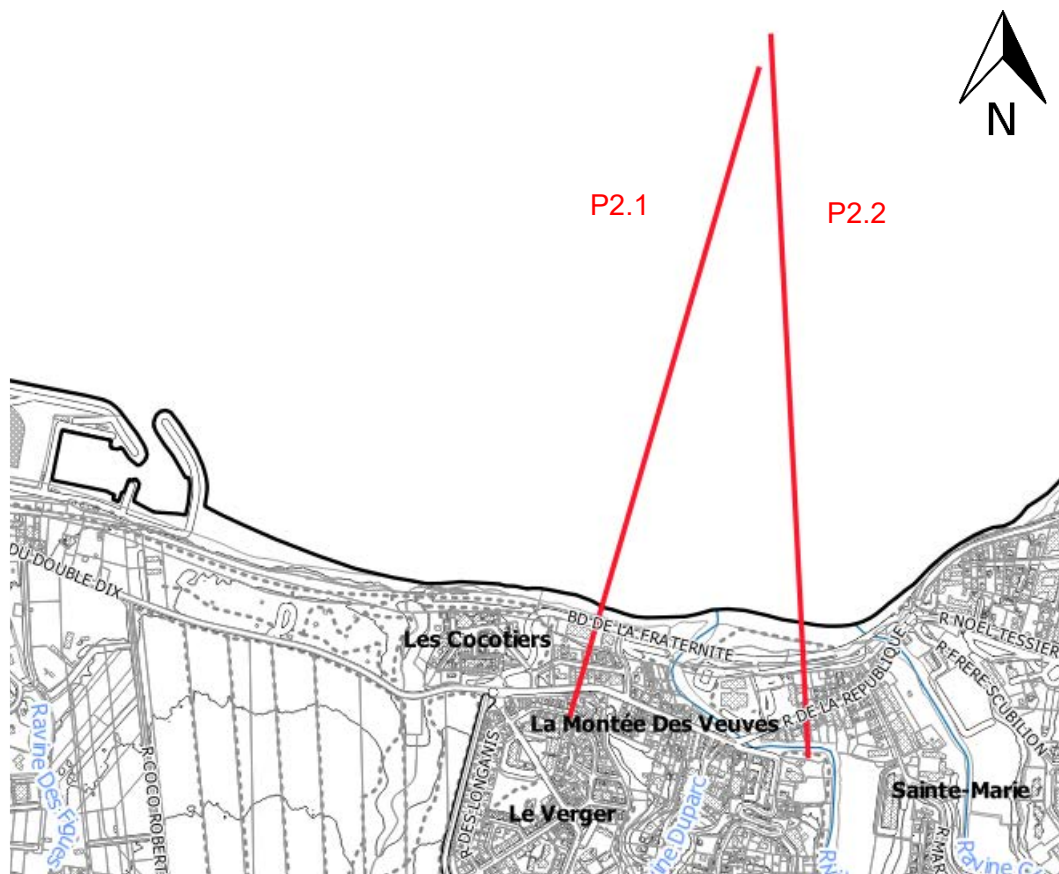


Figure 45 – Localisation des transects de la simulation 1D à Sainte-Marie (1 : 15000)

Méthode adoptée pour les simulations en 1D

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 en 1D avec le code SWAN.

La démarche pour les simulations 1D de la submersion peut finalement être fragmentée en 3 principales étapes, toutes étant menées en régime stationnaire, éventuellement suivies d'une quatrième étape (simulation en régime instationnaire) suivant les résultats obtenus :

- **propagation du spectre des vagues du large à la côte avec le code SWAN** en 1D, 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 de référence, le cyclone Hollanda) à partir du calcul des houles équivalentes au large orthogonales à la côte (Lecacheux *et al.*, 2012) ;
- **génération de séries temporelles** au-delà de la zone de déferlement (à une profondeur inférieure à 1m) pour générer des données d'entrée pour le modèle vague-à-vague SURFWB ;
- **simulation de la submersion en 1D avec le code SurfWB sur une durée de 30 minutes** (en conditions maximisantes), ce qui correspond à une centaine de vagues afin d'obtenir un nombre de vagues représentatif des phénomènes ;
- selon les résultats sur 30 minutes :
 - si aucun franchissement n'est constaté pour les conditions « maximisantes », ce résultat constitue le résultat final et permet de déterminer le run-up maximal atteint par les vagues ;
 - si par contre un franchissement est constaté, il est nécessaire pour quantifier le volume d'eau à terre, d'effectuer des **simulations en conditions instationnaires** (i.e. dont les conditions en termes de niveau d'eau et de caractéristiques des vagues évoluent au cours du temps) ; ces simulations permettent d'accéder aux instants auxquels le franchissement débute et s'achève, et aux débits franchissants ainsi qu'aux vitesses et hauteurs d'eau associées.

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

Simulations SWAN en 1D

Les calculs sont tout d'abord menés à l'aide du code SWAN en 1D (Booij *et al.*, 2004), en conditions stationnaires dans des conditions « maximisantes ». Le code SWAN permet alors de propager les spectres de houles depuis le large jusqu'à la côte.

Les simulations des houles du cyclone Dina menées lors de l'étude HOULREU (résolution de 90 m, grilles de calcul notées R2O et R2S dans Pedreros *et al.*, 2009) et modifiées par Lecacheux *et al.* (2012) pour calculer les houles de référence au large orthogonales à la côte, sont exploitées suivant les 2 scénarios envisagés (scénario de référence et scénario à échéance 100 ans).

Ces caractéristiques des houles de référence au large sont utilisées comme forçages pour SWAN sur les profils (à des profondeurs de l'ordre de 60 m), moyennant l'utilisation de spectres de Jonswap. La propagation des spectres depuis le large 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 du profil dans les deux scénarios étudiés, et notamment :

- Les spectres des vagues et les hauteurs significatives et périodes associées ;
- Les hauteurs significatives des vagues ;
- Le setup (surcote induite par le déferlement des vagues).

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 14 .

Profil	Lieu	Conditions de houles calculées par SWAN2D et corrigée au droit des deux sites à 50m de profondeur	
		Hs (m) orthogonal	Tp
2.1	Sainte-Marie	12	17
2.2	Sainte-Marie	12	17

Tableau 14 – Événement 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 (en conditions stationnaires sur une durée de 1h)

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.

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 Litto3D¹⁴ ré-échantillonnées pour une résolution de calcul de 1m dans l'axe du profil.

¹⁴ Ces profils n'intègrent pas le bâti.

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 ;
- 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 des profils 2.1 et 2.2 et d'en tirer des animations retraçant les mécanismes mis en jeu (Figure 46). 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).

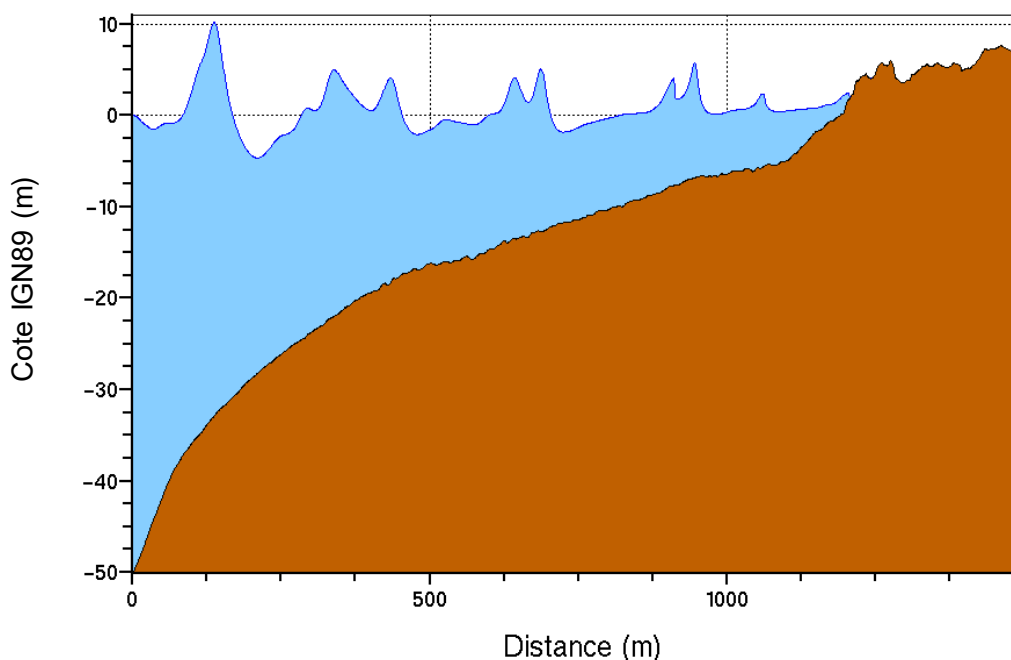


Figure 46 – Aperçu de la propagation des vagues le long d'un profil pendant la simulation

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

5.3.4. Analyse des résultats des simulations SWASH 1D

Les paragraphes suivants présentent les résultats des simulations numériques sur la commune de Sainte-Marie. 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 les profils 1D sont représentés en Figure 47 et Figure 48 et en Figure 49 et Figure 50. Ces dernières 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 47 & Figure 48 & Figure 49 & Figure 50). Elle peut localement être projetée 30 à 50 mètres dans les terres dans le cas où il existe un historique concernant des projections de matériaux.

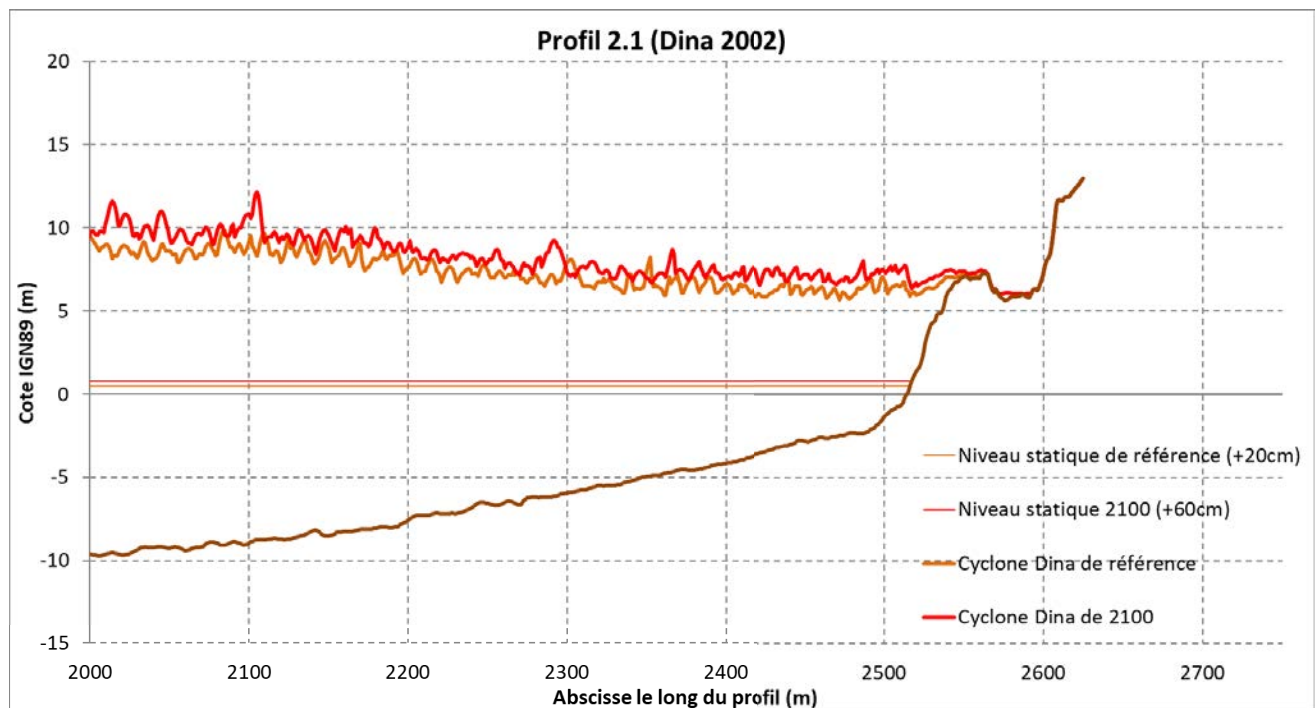


Figure 47 - Evènement de référence « cyclone Dina » : niveau d'eau maximal obtenu le long du profil 2.1 à Sainte-Marie pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée – Profils en travers



Figure 48 - Evènement de référence « cyclone Dina » : Limites de l'aléa fort le long du profil 2.1 pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée –Vue en plan (Fond orthophotographie 2011, IGN©))

Le profil 2.1 traverse le secteur et chevauche la gendarmerie de Sainte-Marie. Pour le niveau de référence, les vagues atteignent et submergent la route, s'arrêtant juste derrière celle-ci. En revanche, le scénario à l'horizon de 2100 présentent des vagues venant « buter » contre la falaise en surplomb et submergent la gendarmerie installée dans une « cuvette ».

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.

Au niveau du second profil, situé dans le centre de Sainte-Marie, proche de la mairie, la submersion dépasse largement la butte située en arrière du cordon littoral et pénètre de 150m en arrière du trait de côte pour le scénario « référence », et de plus de 200m pour le scénario à « 2100 ».

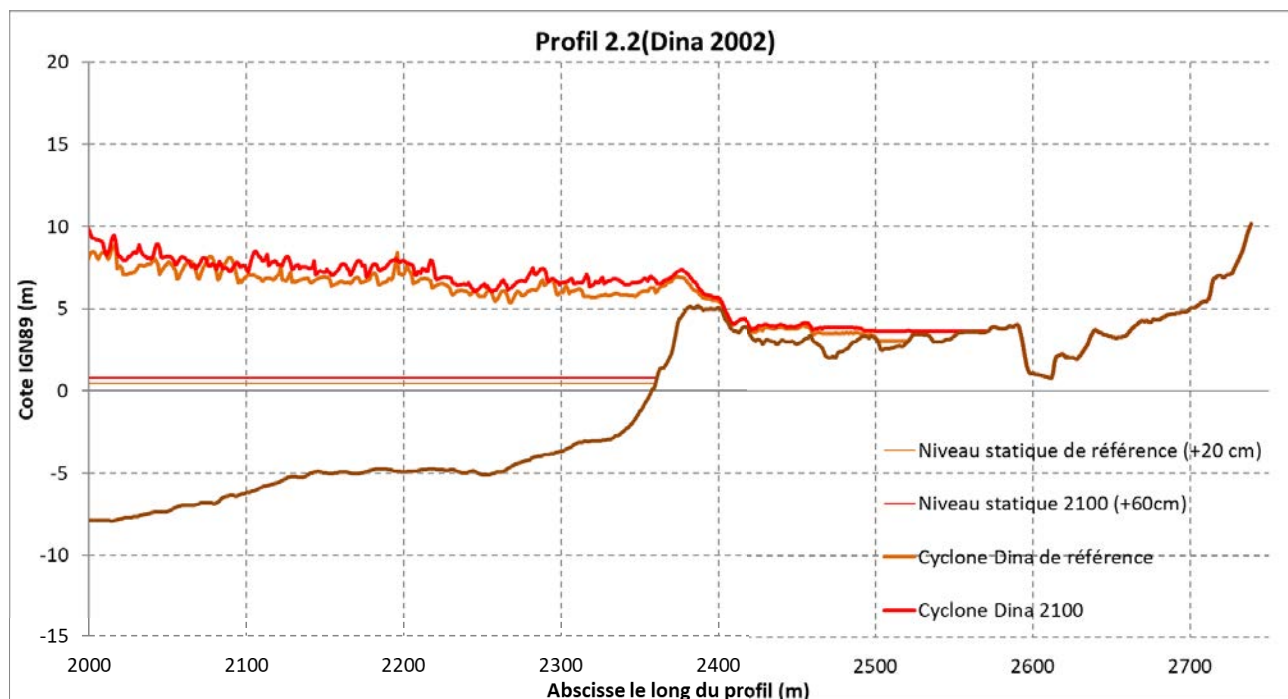


Figure 49 : Evènement de référence « cyclone Dina » : niveau d'eau maximal obtenu le long du profil 2.2 à Sainte-Marie pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée – Profils en travers



Figure 50 : Evènement de référence « cyclone Dina » : Limites de l'aléa fort le long du profil 2.2 pour les scénarios « référence » et « 2100 » pour 1 heure simulée – Vue en plan (Fond orthophotographie 2011, IGN©))

On peut noter ici que la configuration du site présente probablement un fonctionnement hydrodynamique fortement bidimensionnel. En effet, le site présente un front de mer récemment réaménagé par la commune avec une butte d'arrière plage fortement rehaussée (5m IGN89) qui accueille une promenade de front de mer, et qui permet de protéger partiellement le centre-ville situé en arrière dans un cuvette relativement basse (environ 3m IGN89). La présence de la butte a un

effet à double tranchant car elle protège le centre-ville des houles faibles à modérées du large, mais lorsque des fortes houles franchissent l'ouvrage, celui-ci empêche l'eau de s'évacuer vers le large et entraîne un remplissage de la cuvette.

Conscient du problème, et afin d'améliorer le drainage de cette cuvette, la commune a fait aménager des systèmes de drain permettant d'évacuer les eaux vers la ravine située plus à l'Ouest. En cas de franchissement, on peut donc considérer que ce secteur du centre-ville va subir dans un premier temps les effets des houles affranchissantes amenant des vitesses d'écoulement importantes sur la zone de dissipation des houles. Dans un second temps, le remplissage de la cuvette devrait être limité par le système de drainage dont l'efficacité dépend du niveau d'eau dans la ravine.

Dans le modèle 1D réalisé, le drainage n'a pas été simulé, ce qui majore l'effet de remplissage de la cuvette du centre-ville. Pour autant, sur 1h de simulation, les résultats du modèle numérique montrent que le niveau d'aléa est dimensionné par la vitesse d'écoulement plutôt que par la hauteur d'eau accumulée dans la cuvette malgré la majoration de ce phénomène (Illustration 37). On pourra donc considérer que le niveau d'aléa indiqué par le modèle est recevable.

5.3.5. 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 15) :

		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 15 – 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 15.

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 51).

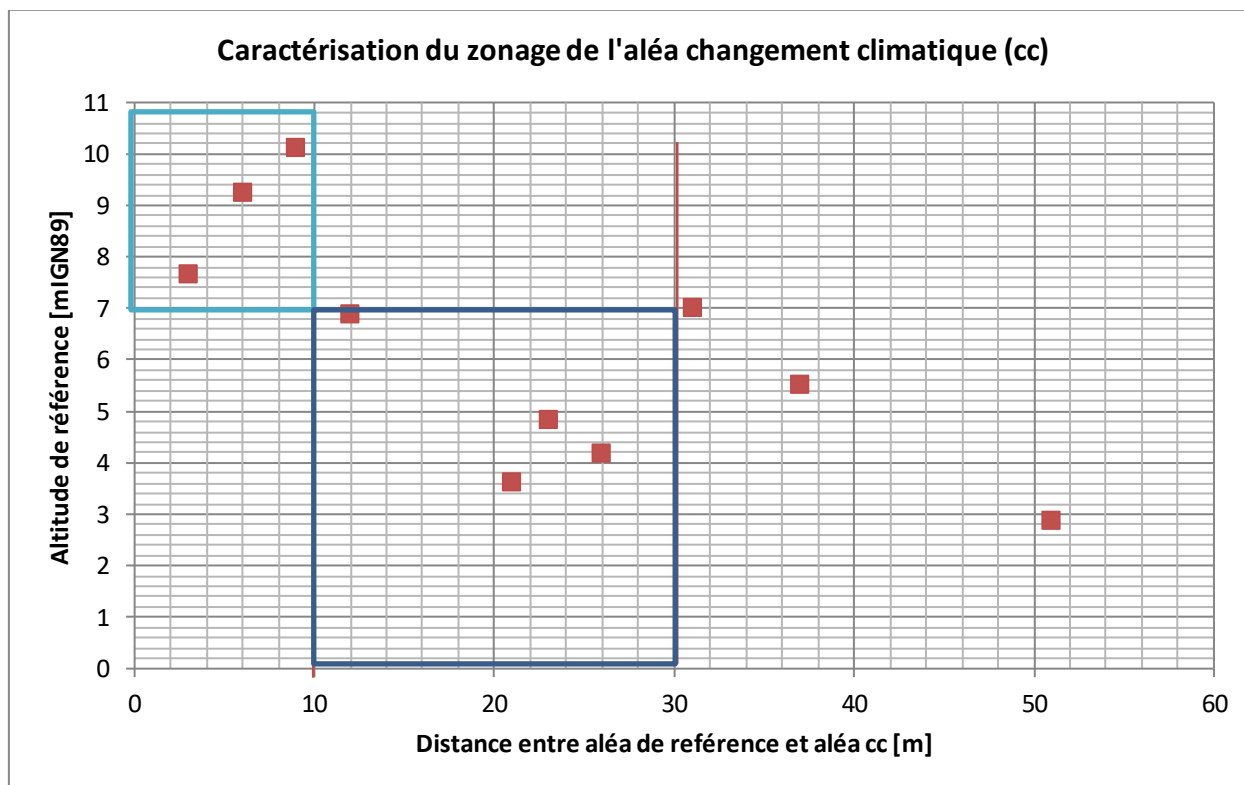


Figure 51 - Caractéristiques du zonage changement climatique

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 moyenner 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 52),
- 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 53).

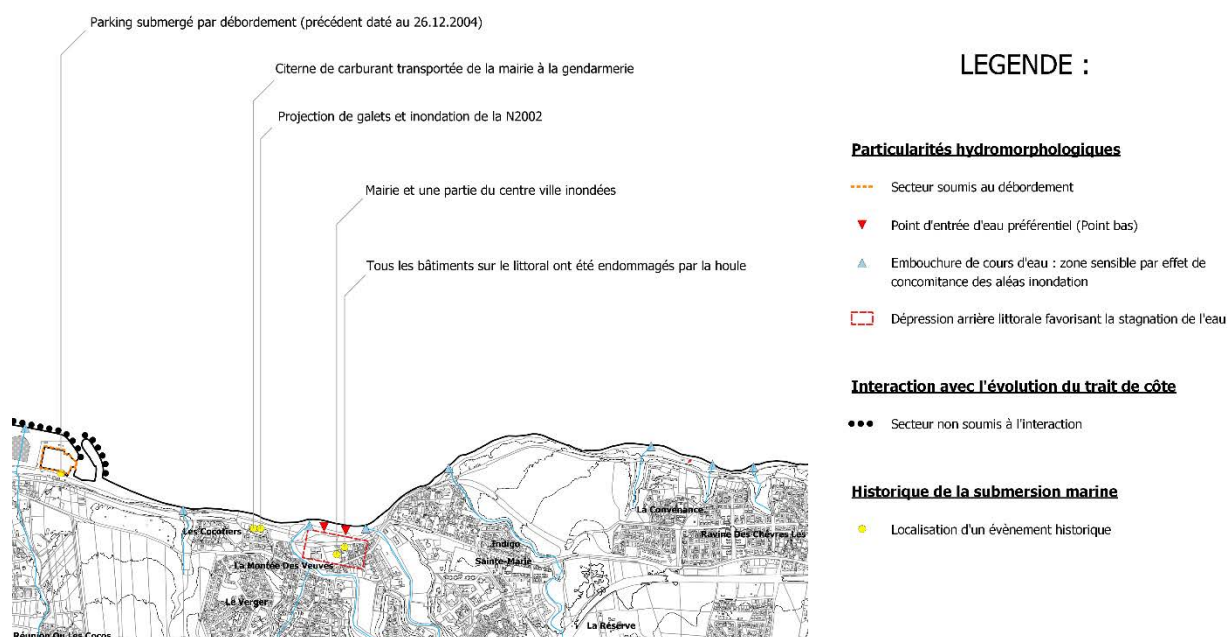


Figure 52 - Extrait de la carte de synthèse de l'historique de la submersion marine de la commune de Sainte-Marie (cf. Annexe 3)

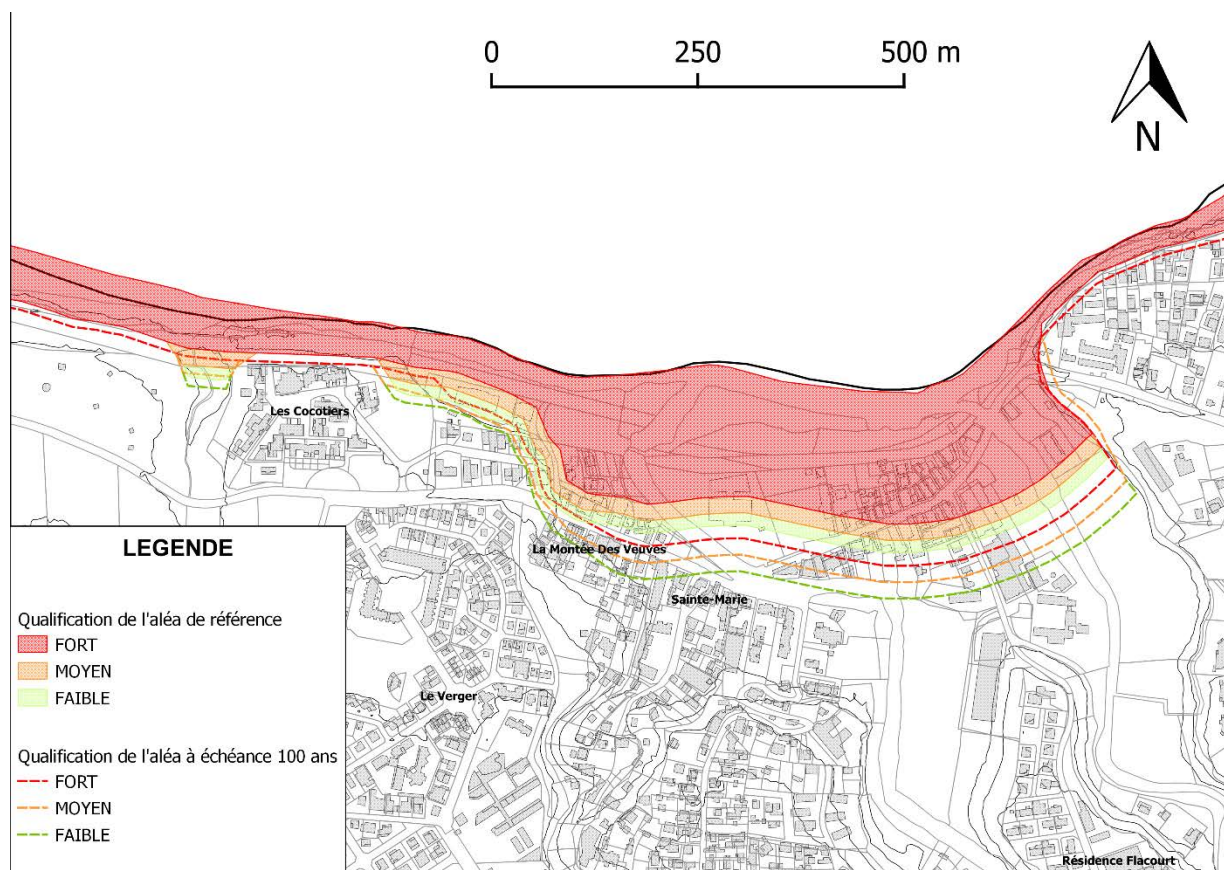


Figure 53 – Extrait de la carte d'aléa submersion marine de la commune de Sainte-Marie (cf. Annexe 4)

6. Elaboration du zonage réglementaire

6.1. 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-Marie.

6.1.1. 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 54*). 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 ;

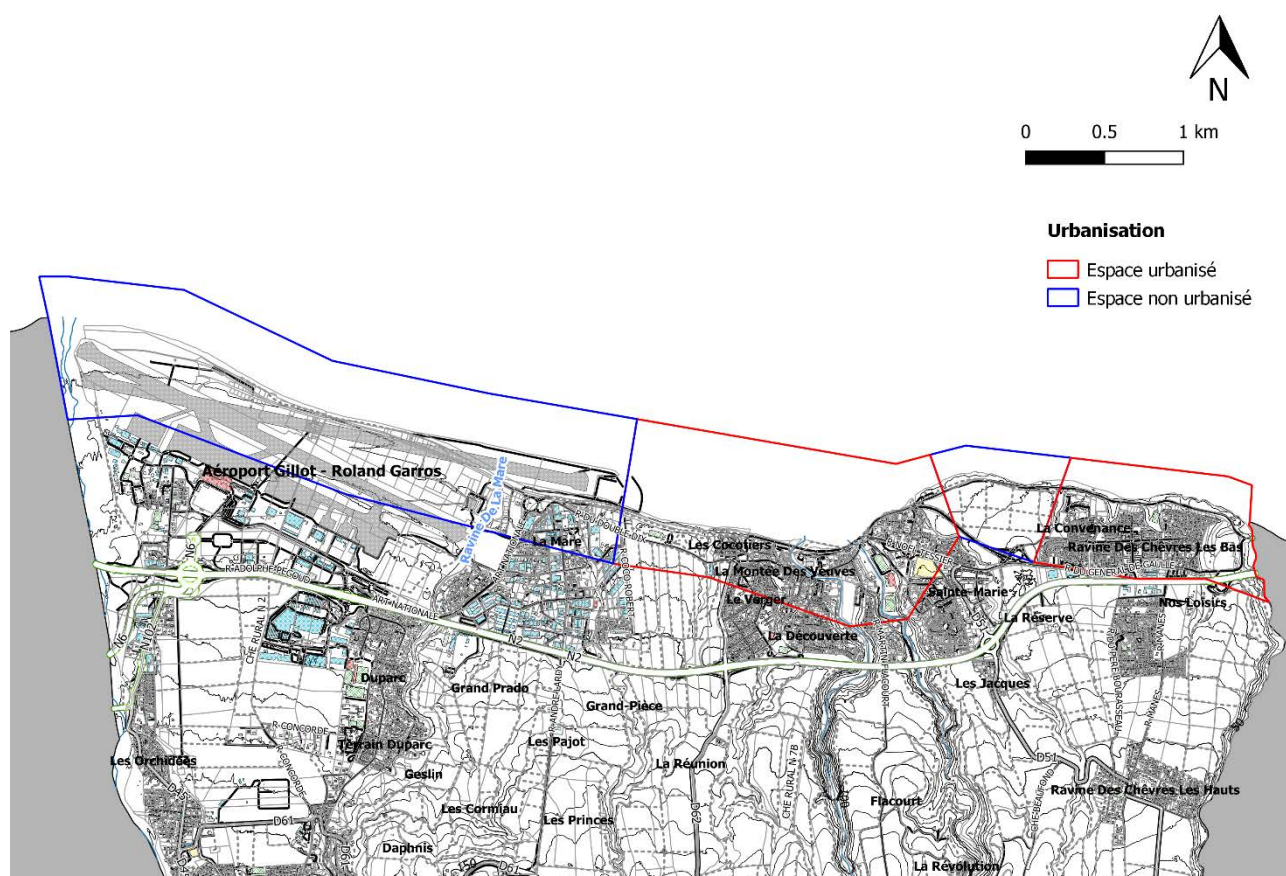


Figure 54 : Délimitation des espaces urbanisés et non urbanisés sur le littoral de Sainte-Marie

6.1.2. La submersion marine

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-Marie, 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 16 & Tableau 17).

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 16 : 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 17 : Traduction réglementaire de l'aléa submersion marine dans les espaces urbanisés

6.1.3. 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 Saint Benoît 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.

TRADUCTION REGLEMENTAIRE DES DEUX ALEAS

Le zonage réglementaire final (Figure 55) 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 18 & Tableau 19).

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-Marie, 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-Marie 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	Nul réf ET Faible 2100
RECU DU TRAIT DE COTE	Fort	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
	Fort 2100 ou Nul	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge	Bleu

Tableau 18 : 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 19 : Traduction réglementaire du croisement des aléas submersion marine et érosion du trait de côte dans les espaces urbanisés

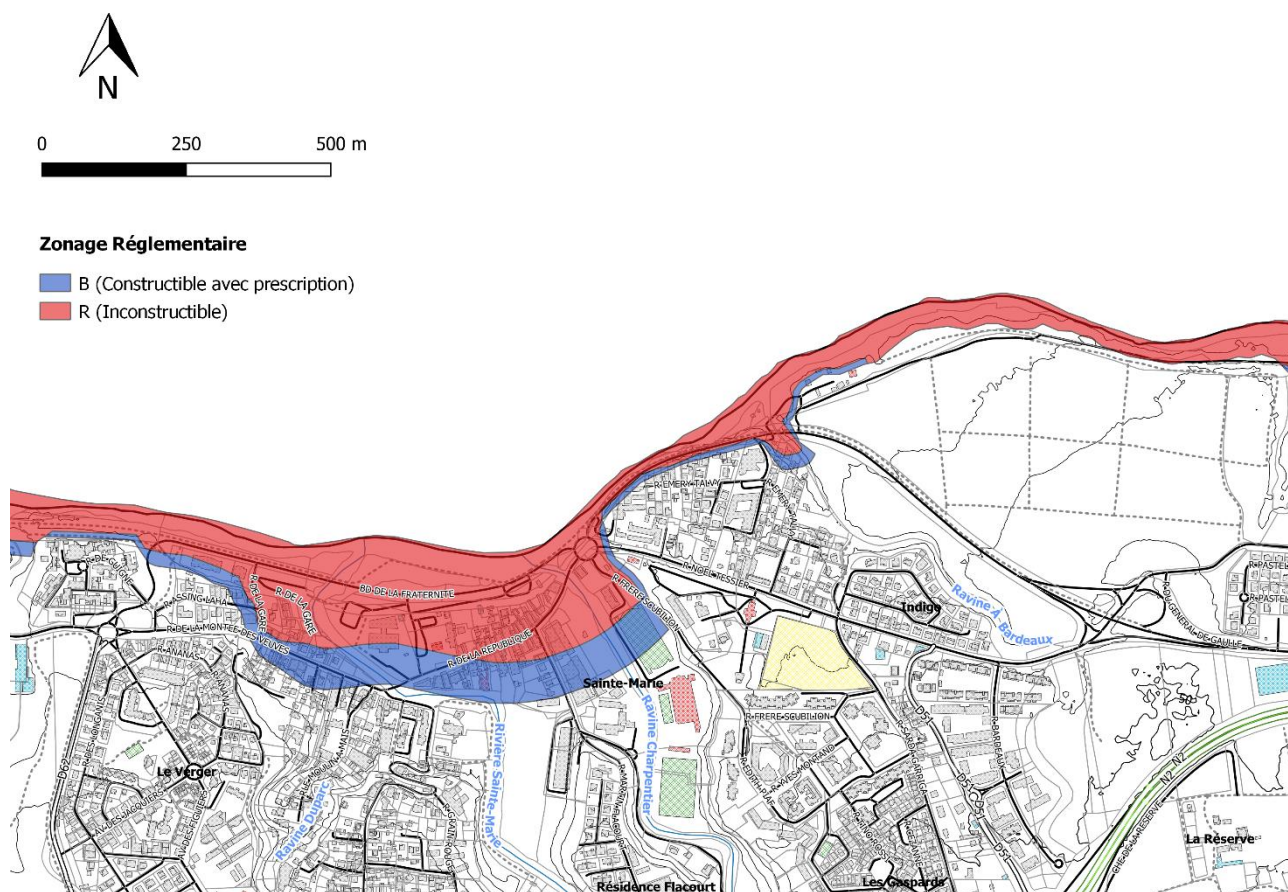


Figure 55 : Extrait de la traduction réglementaire du PPRL de Sainte-Marie

7. 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

<i>Organismes / Administrations</i>	
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.

8. Principaux textes officiels

8.1. 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 ;

8.2. 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.

8.3. 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

9. 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-Marie - © 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 I.J.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

ANNEXE 1 : Bilan de la concertation



DÉPARTEMENT DE LA RÉUNION

Commune de Sainte-Marie

PROJET DE PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES
LITTORAUX (PPRL)

« recul du trait de côte et submersion marine »

BILAN DE CONCERTATION



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**
*Liberté
Égalité
Fraternité*

I – LE PPR : L'ABOUTISSEMENT D'UNE CONCERTATION

Le PPR est un document réglementant l'usage des sols et la construction en fonction d'aléas naturels caractérisés. Il est prescrit et approuvé par le préfet du département. Il est réalisé par les services de l'État et est le fruit d'une étroite association avec les communes concernées.

I.1 – DÉFINITION

La concertation est une méthode de participation des acteurs locaux (élus locaux, acteurs de l'aménagement, services institutionnels ayant une compétence en la matière, etc.) à l'élaboration du PPR. Tout au long de l'élaboration du projet de plan, les acteurs locaux et les services institutionnels sont associés et consultés.

I.2 – CONTEXTE JURIDIQUE

Le recours à la concertation dans l'élaboration des plans de prévention des risques naturels prévisibles a tout d'abord relevé d'une volonté ministérielle, puis est devenue une obligation réglementaire depuis le décret n°2005-3 du 4 janvier 2005 modifiant le décret n°95-1089 du 5 octobre 1995 relatif aux plans de prévention des risques naturels prévisibles.

La circulaire du 3 juillet 2007 relative à la consultation des acteurs, la concertation avec la population et l'association des collectivités territoriales dans les plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN) prévoit l'élaboration d'un bilan de la concertation qui sera joint au PPR approuvé pour information.

Le décret n°2011-765 du 28 juin 2011 a complété les modalités de la concertation et de l'association des collectivités territoriales et des établissements publics de coopération intercommunale concernés, relatives à l'élaboration du projet de plan. L'arrêté prescrivant l'établissement d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles doit donc les définir.

I.3 – LES OBJECTIFS DE LA CONCERTATION

Elle a pour objectif de consulter les services de l'État intéressés ainsi que l'ensemble des maires des communes du secteur d'étude, les intercommunalités, les autres acteurs institutionnels intéressés durant les différentes phases d'élaboration du plan de prévention des risques. Cela permet à toutes les instances d'être informées du contenu des études et d'exprimer leurs avis sur les documents présentés.

Elle a également pour objectif d'informer la population du contenu du PPR et de leur permettre d'exprimer leurs avis sur ce contenu.

C'est pourquoi, la concertation permet d'élaborer et de mettre au point le projet de plan, en s'entourant de toutes les compétences en présence, administratives, techniques et politiques.

Elle permet notamment aux élus locaux :

- d'être informés tout le long de l'élaboration des documents d'étude du projet de plan ;
- par leur connaissance du terrain, des événements qui s'y sont produits, et du contexte local, d'émettre des observations et des remarques sur les cartographies d'étude pour permettre, le cas échéant, de les corriger et/ou de les affiner ;
- d'informer leurs administrés et de leur permettre de réagir sur le projet de plan ;

- de débattre des solutions alternatives d'aménagement du territoire dans une optique de développement durable ;
- d'adhérer au projet et de s'approprier le PPR ;
- plus largement, d'engager une réflexion sur les travaux de protection à réaliser, sur la gestion des risques en cas de catastrophe naturelle (mise en place d'un plan communal de sauvegarde, etc.).

II – LA CONCERTATION DU PROJET DE PPR « INONDATION » et « MOUVEMENTS DE TERRAIN » SUR LA COMMUNE DE SAINTE-MARIE

L'arrêté préfectoral n° 2016-02289 SG/DRCTCV du 18 novembre 2016, prorogé par l'arrêté n°3447 SG/DCL/BU du 4 novembre 2019, a prescrit l'élaboration d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles sur la commune de Sainte-Marie relatif aux aléas « recul du trait de côte » et « submersion marine ».

Le présent bilan porte sur la concertation mise en œuvre dans le cadre de l'élaboration du projet de PPR conformément aux dispositions de l'arrêté préfectoral de prescription.

Ce bilan rappelle quelle a été la concertation menée tout au long des étapes d'élaboration du projet de PPR s'achevant après les consultations officielles des partenaires.

Il convient de noter que le projet de règlement des PPR littoraux de La Réunion est issu d'un travail commun mené depuis l'année 2013 par un groupe de travail composé de la DEAL, le BRGM et les communes de La Réunion ayant accepté de participer sur ce projet de « règlement type réunionnais ».

II.1 – LES MODALITÉS, LES OUTILS DE LA CONCERTATION ET LEUR MISE EN ŒUVRE

● Phase de concertation avec le public

Le public a été invité à consulter le dossier de concertation, constitué du règlement, des cartes des zonages réglementaires et des cartes d'aléas retrait du trait de côte et submersion marine du PPRL en mairie. Le dossier a été mis à disposition du public sur la période du 25 mai 2021 au 14 juin 2021 inclus.

Ainsi, le public pouvait faire ses observations sur le registre déposé en mairie ou par courriel à l'adresse électronique suivante : [concertation-pprl-stemarie @developpement-durable.gouv.fr](mailto:concertation-pprl-stemarie@developpement-durable.gouv.fr) ou encore via un formulaire en ligne sur le site internet de la DEAL Réunion.

● Réunions d'informations et d'échanges avec le public :

La situation de pandémie liée au COVID-19 n'a pas permis la réalisation de réunions d'informations et d'échanges entre le public et la DEAL, avant le lancement de la phase de consultation officielle.

II.2 – BILAN DE LA CONCERTATION LORS DE LA PHASE D'ÉTUDE

Plusieurs réunions d'association se sont tenues. Leurs objectifs, les modalités de travail, les outils de communication proposés ainsi que les documents présentés sont récapitulés ci-après.

II.2.1 – Réunion d'association : 12 février 2015

Objectifs de la réunion

Présentation de la procédure de révision du PPR « inondation » avec intégration des aléas « mouvements de terrain » en mairie de Sainte-Marie (méthodologie, projet de cartographie des aléas et réglementaire et calendrier de la procédure).

Modalités de travail

Compte rendu de réunion (cf. ANNEXE 1).

II.2.2 – Réunion d'association : 14 décembre 2020

Objectifs de la réunion

Présentation des cartes d'aléas actualisées et de leurs évolutions

Modalités de travail

La réunion s'est appuyée sur un diaporama (cf. ANNEXE 2).

II.3 – LES CONSULTATIONS OFFICIELLES

À la suite de la concertation mise en place durant toute la phase d'élaboration du projet de PPR, la phase de consultation officielle des personnes publiques a été lancée. La consultation officielle permet de présenter aux différents services concernés la version finalisée du PPR.

Les courriers de consultation, accusés de réception du dossier et avis sont présentés en annexe 2.

II.3.1 – Les services consultés

- la commune de Sainte-Marie ;
- la communauté Intercommunale du Nord de la Réunion (CINOR) ;
- la chambre d'agriculture de La Réunion ;
- la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DAAF) de La Réunion ;
- l'Office National des Forêts (ONF) ;
- le Centre National de la Propriété Forestière (CNPFF).

II.3.2 – Le bilan des consultations officielles

Les dossiers définitifs ont été transmis aux différents services les 20, 21 et 27 juillet 2021. Le délai limite de réponse est de 2 mois à compter de la date de réception du dernier accusé de réception. La consultation officielle s'est terminée le 27 septembre 2021.

À défaut de réponse dans le délai de deux mois à compter de la réception de la saisine, leur avis était réputé favorable.

Le tableau ci-après présente de manière synthétique les divers avis et remarques émis et les modalités de prises en compte dans le document PPR.

Structure	Observations
Commune de Sainte-Marie	Avis réputé favorable.
Communauté Intercommunale du Nord de la Réunion (CINOR)	Avis réputé favorable.
Chambre d'Agriculture de La Réunion	Absence de remarque ou de contre-indication particulière.
ONF	L'avis de l'ONF émis le 9 septembre 2021 a été reçu le 13 septembre 2021. Les observations portent sur des absences ou des erreurs dans la forme de certain document du dossier, au niveau de : – la note de présentation, en page 37, le tableau 5 : « Liste des cyclones notables » est absent et en page 67 la figure 43 est manquante ; – le règlement indique en page 15 un tableau récapitulatif du zonage réglementaire en zone urbanisé incohérent avec le texte explicatif et avec la cartographie du zonage réglementaire. Une demande porte sur l'autorisation de travaux de génie biologique ou reprofilage de plage en zone rouge R qui n'est pas explicitement autorisée en zone bleue B. Ce type de travaux ne pourrait-il pas être indiquée en partie 4.2 dans les dispositions générales applicables à tout le territoire. L'annexe cartographique de l'aléa « retrait du trait de côte » présente une inversion au niveau des légendes « le trait de côte de référence (haut de plage 2020) » et « le trait de côte à échéance 100 ans avec prise en compte du changement climatique. Les autres pièces du dossier n'ont pas suscité de remarque.
DAAF	Absence de remarque.
CNPF	Par courrier du 29 juillet 2021, le CNPF a indiqué qu'il n'est pas concerné en raison de sa non implantation à La Réunion.

Réponses aux observations de l'ONF :

- dans la note de présentation, en page 37, le tableau 5 : « Liste des cyclones notables » est absent et en page 67 la figure 43 est manquante

Il s'agit d'une erreur matérielle qui sera corrigée. S'agissant d'éléments d'information très généraux, il convient de relever que l'absence de ces éléments ne nuit pas à la bonne compréhension du dossier.

- le règlement indique en page 15 un tableau récapitulatif du zonage réglementaire en zone urbanisé incohérent avec le texte explicatif et avec la cartographie du zonage réglementaire.

Le tableau sera mis en cohérence en rapport au texte explicatif et la cartographie de zonage réglementaire. Le texte explicatif ainsi que la cartographie étant justes, cette erreur n'a pas été de nature à fausser l'appréciation des personnes publiques consultées.

- les travaux de génie biologique ou reprofilage de plage sont explicitement autorisés en zone rouge R mais pas en zone bleue B. Ce type de travaux pourrait être indiquée en partie 4.2 dans les dispositions générales applicables à tout le territoire.

Cette disposition a été pensée pour permettre des travaux et aménagements qui de manière générale étaient situés dans des espaces proches de l'océan et donc soumis aux aléas les plus forts. Une adaptation du règlement pour autoriser explicitement ce type de travaux dans l'ensemble des zones R ou B du PPRL est envisageable.

- l'inversion au niveau des légendes « le trait de côte de référence (haut de plage 2020) » et « le trait de côte à échéance 100 ans avec prise en compte du changement climatique ».

Cette inversion sera corrigée. L'annexe cartographique de l'aléa retrait du trait de côte sera actualisée sur les indications mentionnées par l'ONF.

Réponses aux observations de l'CNPF :

- le CNPF n'est pas concerné en raison de sa non implantation à La Réunion.

Le CNPF n'est certes pas implanté à La Réunion. Cependant la consultation de ce dernier est prévue à l'article R.562-7 du code de l'environnement. Sa saisine pour avis s'est donc effectuée dans ce cadre.

II.4 – INFORMATION ET CONCERTATION AVEC LE PUBLIC

II.4.1 – Dossier de concertation avec le public

La cartographie des aléas « retrait du trait de côte et submersion marine » a été mise en ligne sur le site internet www.risquesnaturels.re à la suite de la signature du Porter à Connaissance du Préfet au Maire de Sainte-Marie le 16 juillet 2015, actualisé par courrier du 2 mars 2021, et sur le site internet de la préfecture. Les cartes sont consultables par toutes personnes intéressées et permettent une localisation à la parcelle de ces aléas.

II.4.2 – Phase de concertation avec le public

La phase de concertation s'est déroulée en mairie de Sainte-Marie (Hôtel de ville) durant la période du 25 mai 2021 au 14 juin 2021 inclus. Le dossier était consultable en mairie ainsi que par voie numérique sur le site internet de la DEAL (<http://www.reunion@developpement-durable.gouv.fr>). Le public pouvait formuler ses observations ou ses requêtes via un registre mis à disposition en mairie, le formulaire en ligne sur le site internet de la DEAL ou par courriel à l'adresse mail : concertation-pprl-stemarie@developpement-durable.gouv.fr.

Le public a été informé de la tenue de la concertation par deux avis diffusés dans la presse (JIR et Le Quotidien) les 19 et 25 mai 2021 et par affichages au format A2 disposés aux principaux sites publics. Par ailleurs, le service communication de la mairie de Sainte-Marie a veillé à diffuser l'information auprès de ses administrés au moyen de son site internet.

II.5 – CONCLUSIONS

La concertation mise en œuvre tout au long de la phase technique et de la procédure a permis d'associer à la réalisation du document proposé à l'enquête publique la mairie de Sainte-Marie d'une part, la Communauté Intercommunale du Nord de la Réunion (CINOR), la Chambre d'Agriculture, les autres acteurs institutionnels d'autre part ainsi que le public.

Annexe 1 : Comptes-rendus et diaporama des réunions d'association de la collectivité



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFET DE LA RÉUNION

Direction
de l'environnement, de l'aménagement
et du logement de La Réunion

Saint-Denis, le 17 FEV. 2015

Service prévention des risques naturels et
routiers

Unité prévention des risques naturels

RELEVÉ DE DECISIONS

Réunion du 12 février 2015

Objet : Commune de Ste-Marie – présentation des cartes d'aléas érosion trait de cote et submersion marine

P.J. : - Liste d'émargement

Réfer : n°2015 - 074 DEAL/SPRINR/UPRN

Une réunion s'est tenue en mairie le jeudi 12 février 2015 en présence de :

PRENOM - NOM	Fonctions	Mail	Téléphone
M. Georges VINGUETAMA	Conseiller municipal délégué à l'environnement	georges.vinguetama@wanadoo.fr	06 92 65 45 22
M. VENEROSY Jonathan	Adjoint – délégué mairie annexe de la Ressource	Jonathan.venerosy@cr-reunion.fr	06 92 68 45 20
M. HIVANOE Jean-Pierre	Délégué ERP	jphiva@orange.fr	06 92 64 94 50
M. TECHER Jean-Claude	Direction urbanisme	jctecher@ville-saintemarie.re	02 62 53 24 64
M. VIRAMA Pascal	DGAS	pvirama@ville-saintemarie.re	06 92 65 68 19
M. Eric CHATEAUMINOIS	BRGM	e.chateauminois@brgm.fr	06 93 44 30 85
M. Olivier BIELEN	DEAL / SPRINR - chef de l'unité prévention des Risques Naturels	olivier.bielen@developpement-durable.gouv.fr	02 62 40 28 49
Mme Béatrice PACOT-TESTULAT	DEAL / SPRINR - Adjointe au chef de l'unité prévention des Risques Naturels	beatrice.Pacot-testulat@developpement-durable.gouv.fr	02 62 40 28 32

L'objet de cette réunion était de présenter les cartes d'aléas érosion du trait de côte et submersion marine établies par le BRGM sur le territoire communal, à la demande des services de la DEAL Réunion. Ce travail est basé à la fois sur le recueil de données historiques (journaux, témoignages significatifs d'habitants de la commune, retour d'information des services techniques de la mairie) ainsi que sur les études menées par le BRGM (modélisations et dire d'expert). Après avoir échangé sur la présentation commune BRGM/DEAL, il est remis en fin de réunion aux représentants de la commune un jeu de cartes papier des aléas caractérisés ; le BRGM transmettra par ailleurs, via la DEAL, les fichiers mapinfo des données.

Affaire suivie par :
Béatrice PACOT-TESTULAT
Tél. 02 62 40 28 32
Beatrice.Pacot-testulat@developpement-durable.gouv.fr

Il est indiqué en séance que ces cartes d'aléas réalisées par l'Etat sur le territoire communal, à l'instar des autres communes de l'île de La Réunion, se doivent d'être partagées avec la collectivité puis les citoyens mais ne constituent pas forcément le démarrage à court terme d'une procédure d'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques. En effet, cette démarche s'inscrit dans le cadre d'une programmation par le corps préfectoral qui définira à la fin du premier trimestre 2015 les priorités d'intervention des services de la DEAL Réunion à l'échelle de l'île et au vu des enjeux locaux in situ.

Concernant la traduction réglementaire envisagée par la DEAL des différentes zones d'aléas caractérisés, sur la base de la doctrine nationale, il est précisé les éléments suivants qui s'appliqueront aux PPR littoraux en cours de déploiement sur l'île de La Réunion :

- un principe d'inconstructibilité pour les nouvelles constructions en zone d'aléa fort recul du trait de côte. Dans ces zones, les reconstructions ou extensions de l'existant sont possibles, à condition que ces reconstructions ne soient pas consécutives à des biens sinistrés par l'aléa considéré, sous réserve de reconstruire ou de s'étendre en fonds de parcelle et sans augmentation de la vulnérabilité ;
- en zone d'aléa fort recul du trait de côte avec prise en compte du changement climatique, il convient d'interdire l'implantation d'équipements et d'infrastructures structurants et sensibles, ainsi que les zones de grand projets urbains de type ZAC ;
- un principe d'inconstructibilité pour les nouvelles constructions en zone d'aléa fort et moyen submersion marine. Dans ces zones, les reconstructions ou extensions de l'existant sont possibles, à condition que ces reconstructions ne soient pas consécutives à des biens sinistrés par l'aléa considéré, sans augmentation de la vulnérabilité.

Planning prévisionnel des suites à donner, actées collectivement :

- Retour des services de la mairie sur les cartes communales relatives à l'érosion du trait de côte et à la submersion marine pour fin avril 2015 ;
- Analyse des remarques formulées de demandes de justification et de précision par le BRGM : fin mai 2015 ;
- Partage de cette analyse avec la commune et porter à connaissance : au cours du 2^{ème} trimestre 2015.

Le responsable de l'unité prévention des risques naturels

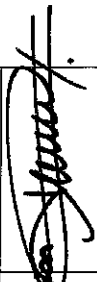
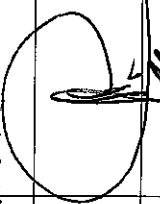


Olivier BIELEN

FEUILLE DE PRESENCE

Réunion « présentation des aléas littoraux » - Commune de Sainte-Marie

Jeudi 12 février 2015 à 9h30 - Salle du conseil municipal

NOM - PRENOM	FONCTION - SERVICE	TELEPHONE - FAX	ADRESSE MESSAGERIE	EMARGEMENT
X VENEROSY Jonathan	Adjoint - Délégué municipal annexe de la Ressource	0672 684520	jonathan.venerosy@ce-sainte-marie.fr	
TECHER J. Claude	Direction Urbanisme	0262532464	jtech@ville-sainte-marie.ne	T
X VINBRETANA P. Georges	Conseiller Municipal délégué à l'environnement	0692655522	georges.vinbretana@univ-st-marie.fr	
BIELEN Olivier	DEAL - Responsable unité PPR naturels	02-62-40 28.43	olivier.bielen@developpement-durable.fr	
PACOT-TESTUAT Béatrice	DEAL - Adjointe de l'UARN	026240 28.32	Béatrice.Pacot-testuat@developpement-durable.gouv.fr	BPD.
Pascal VIRANA	DGAS / St Marie	0692 656819	pascal.virana@ville-sainte-marie.ne	
X H'VANHIE S.	Délégué GRP	0692669650	hphiv@orange.fr	
CHATEAUNOIS ERIC	BRGT	0693443085	e.chateauinois@bgrt.fr	



ALEACOT NE
*Caractérisation et cartographie
 des aléas côtiers sur la commune
 de Sainte Marie*

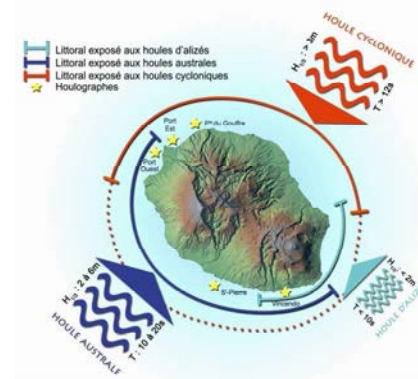
28/02/2007

brgm Géosciences pour une Terre durable

Les risques littoraux à la Réunion

La Réunion est fortement exposée aux risques littoraux :

- Houles australes – mai 2007
- Cyclone Gamède – février 2007
- Cyclone Bejisa – janvier 2014



Etude globale de Saint-Denis
 à Saint-Benoît :

- Aléa recul du trait de côte
- Aléa submersion marine

Objectif :

- Meilleure connaissance des aléas littoraux
- Mise en œuvre des PPR Littoraux sur les communes les plus à enjeux

Convention DEAL-BRGM

> Cartographie des aléas côtiers sur les communes de Saint-Denis, Sainte-Marie, Sainte-Suzanne, Saint-André, Bras-Panon et Saint-Benoît

- Tache 1 : Aléa recul du trait de côte (évolution trait de côte)

Aléa de type « prédictif »

- Tache 2 : Aléa submersion marine (modélisations 1D/2D et cartographie)

Aléa de type « statistique »

> Cadrage méthodologique national :

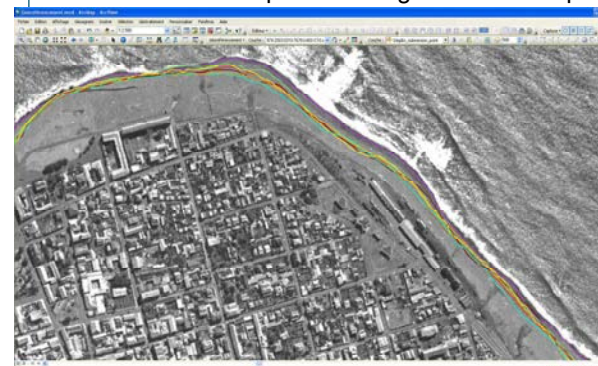
- Intégration de la circulaire de juillet 2011 pour les submersions
- Prise en compte des éléments du « guide PPRL » (2012 et 2013) pour les deux aléas



Aléa recul du trait de côte

> Analyse et cartographie réalisées sur l'ensemble des communes

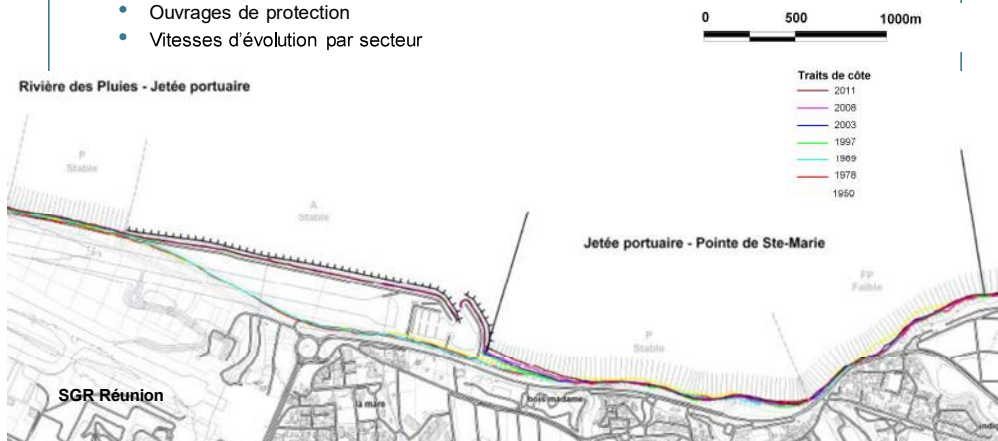
- Numérisation des traits de côte de 1950 à 2011 sur les photographies aériennes de l'IGN
- Calcul d'un taux de recul annuel par transects, projeté à 100 ans
- Adaptation du trait de côte +100 ans à dire d'expert (artefacts)
- Prise en compte du changement climatique (+60 cm niveau de la mer)



Aléa recul du trait de côte

> Annexe 1 : synthèse de l'évolution historique

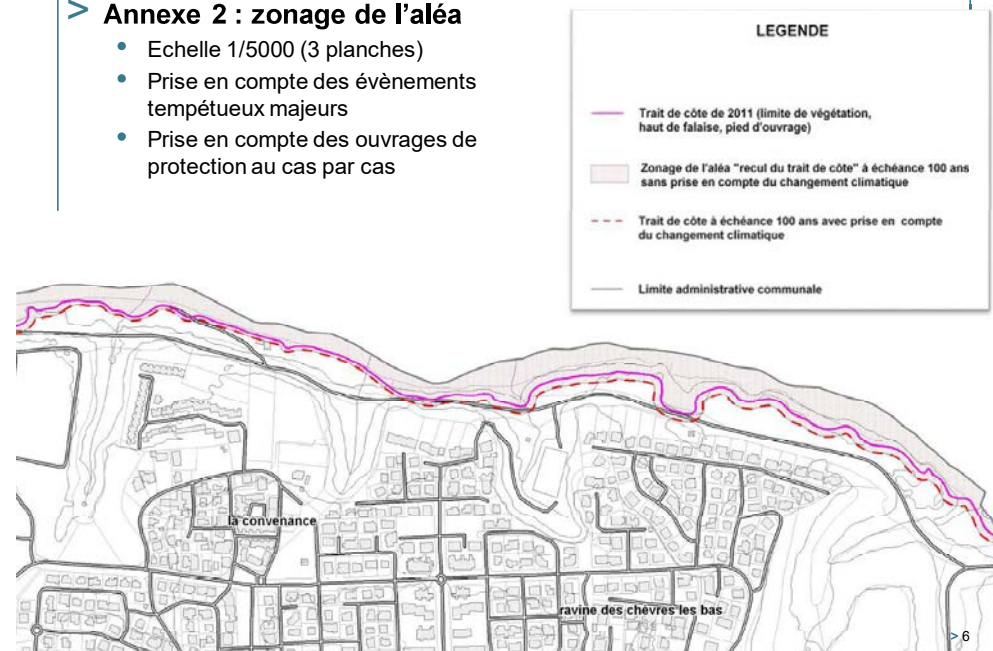
- Caractère informatif uniquement
- Echelle 1/10 000 (2 planches)
- Positions du trait de côte (dates)
- Cellules hydrosédimentaires et secteur de comportement homogène
- Ouvrages de protection
- Vitesses d'évolution par secteur



Aléa recul du trait de côte

> Annexe 2 : zonage de l'aléa

- Echelle 1/5000 (3 planches)
- Prise en compte des événements tempétueux majeurs
- Prise en compte des ouvrages de protection au cas par cas



Aléa submersion marine

> Recherches sur l'histoire des submersions

- Revue de presse « La Réunion dans la Tourmente »
- Recherche d'articles de presse aux archives départementales de la Réunion
- Rencontre avec personnes ressource (services techniques, riverains, pêcheurs...)
- Enquêtes de terrain auprès des riverains

> Une meilleure connaissance historique permet :

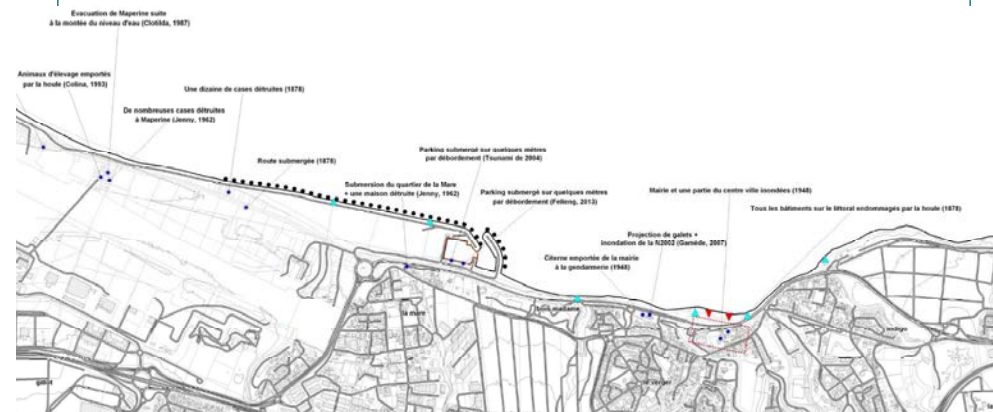
- D'identifier les secteurs-clés (nécessaire pour la localisation des modélisations)
- De valider les résultats des modèles
- De mieux appréhender et anticiper l'importance des dynamiques de submersion



Aléa submersion marine

> Annexe 3 : recensement des événements historiques

- Caractère informatif uniquement
- Echelle 1/10 000 (2 planches)
- Localisation et datation des événements historiques
- Particularités littorales pouvant engendrer une accentuation des phénomènes (points bas, embouchures, dépressions)
- Identification des secteurs soumis/non soumis à l'interaction



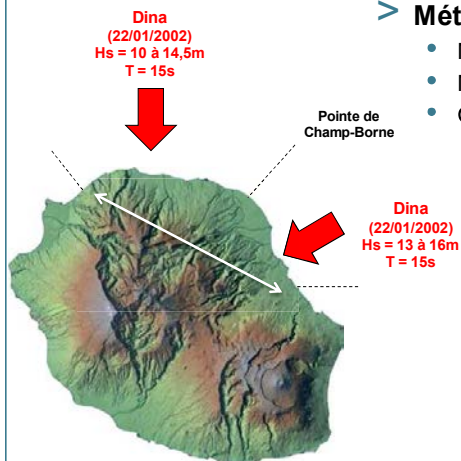
Aléa submersion marine

> Choix de l'évènement de référence :

- Cyclone Dina de janvier 2002 (défini par HOULREU, 2009)

> Méthodes de calcul de submersion

- Modélisation 1D (12 profils)
- Modélisation 2D sur le littoral de Ste Suzanne
- Cartographie sur l'ensemble (zonage)
 - Généralisation des profils
 - Qualification de l'aléa sur les sorties du modèle 2D

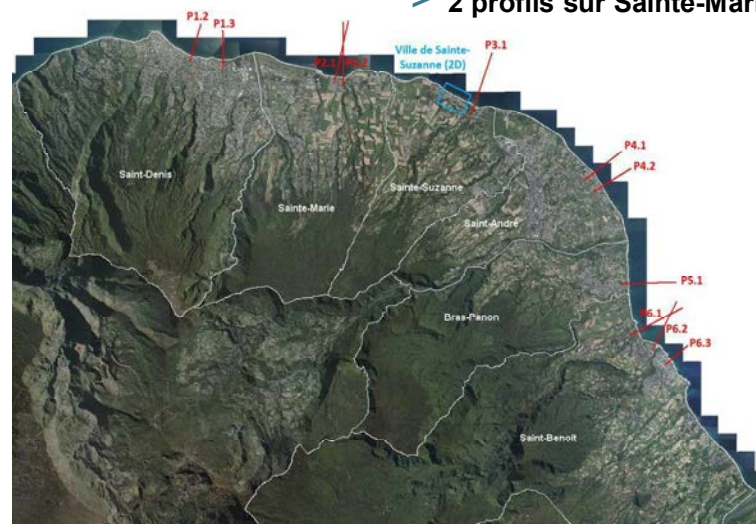


Aléa submersion marine

> Méthodes de calcul de submersion

- Modélisation 1D (11 profils)
- Modélisation 2D sur le littoral de Ste Suzanne

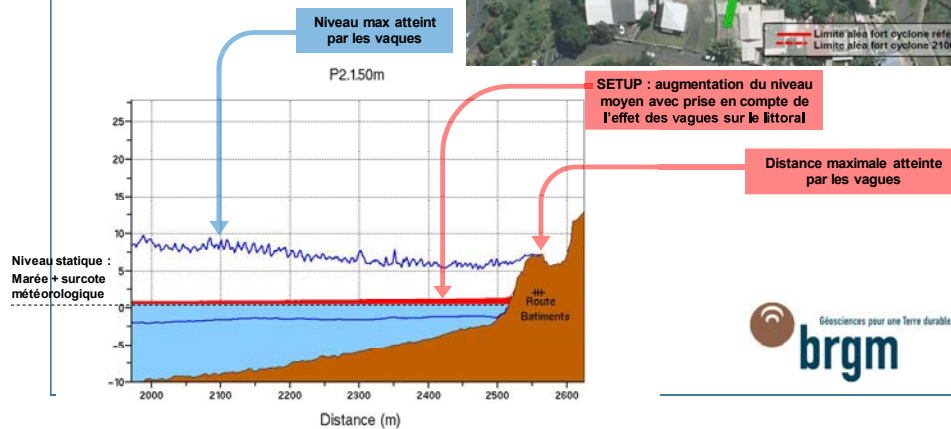
> 2 profils sur Sainte-Marie



Aléa submersion marine

> P2.1 - Aléa de référence (+20cm)

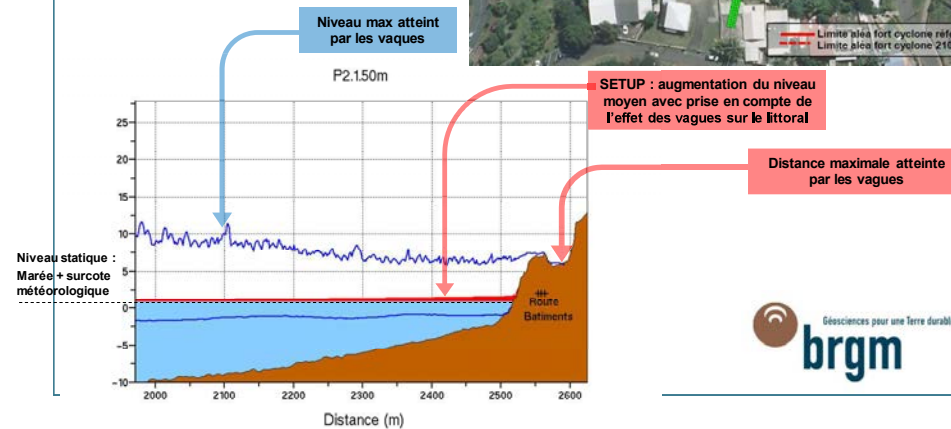
- MNT Litto3D
- Cyclone Dina de janvier 2002



Aléa submersion marine

> P2.1 - Aléa 2100 (+60cm)

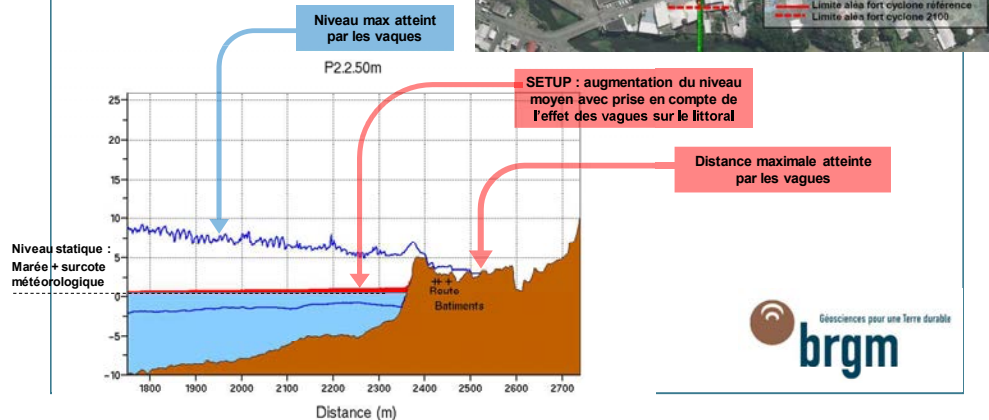
- MNT Litto3D
- Cyclone Dina de janvier 2002



Aléa submersion marine

> P2.2 - Aléa de référence (+20cm)

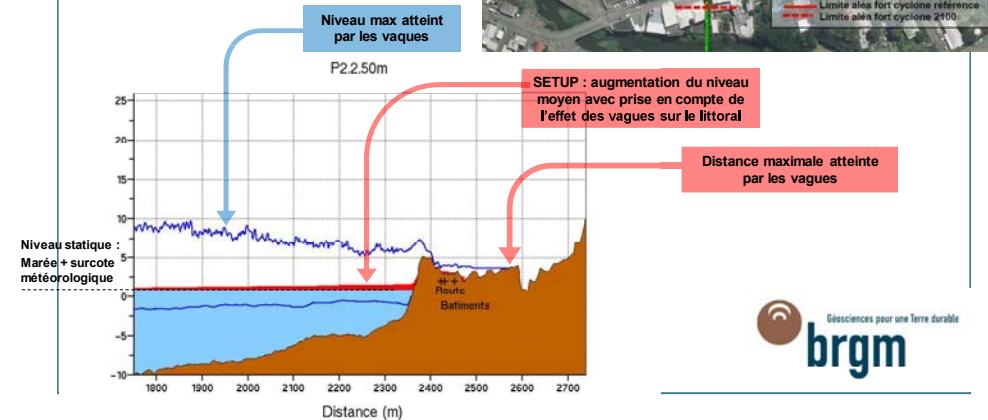
- MNT Litto3D
- Cyclone Dina de janvier 2002



Aléa submersion marine

> P2.2 - Aléa 2100 (+60cm)

- MNT Litto3D
- Cyclone Dina de janvier 2002



Cartographie de l'aléa submersion

> Annexe 4

- 1/5000 (3 planches)
- Aléa de référence
- Aléa 2100 (avec CC)

> Qualification :

- **Fort**
 - Hauteur et vitesses d'écoulement importantes
- **Modéré**
 - Hauteur d'eau et vitesse d'écoulement modérées
- **Faible**
 - Hauteur d'eau et vitesses d'écoulement limitées



Plan de Prévention des Risques naturels

Recul du trait de côte et Submersion marine

Commune de Sainte-Marie

Présentation de l'évolution du zonage des aléas

14 décembre 2020

Qu'est-ce qu'un risque naturel majeur ?



- la probabilité d'occurrence d'un événement de forte intensité (phénomène naturel ou anthropique)
- l'existence d'enjeux (personnes et biens) pouvant être affectés par un phénomène



Assurer la sécurité des personnes et des biens en tenant compte des phénomènes naturels

Le contenu d'un PPRn

Un rapport de présentation

- Précise la méthode d'élaboration d'un PPR, les hypothèses prises en compte, la justification du zonage
- Contient l'analyse des phénomènes pris en compte, les méthodes utilisées

La carte de zonage réglementaire

- Délimite les périmètres en fonction du risque (zones exposées aux risques et zones où des aménagements pourraient aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux)

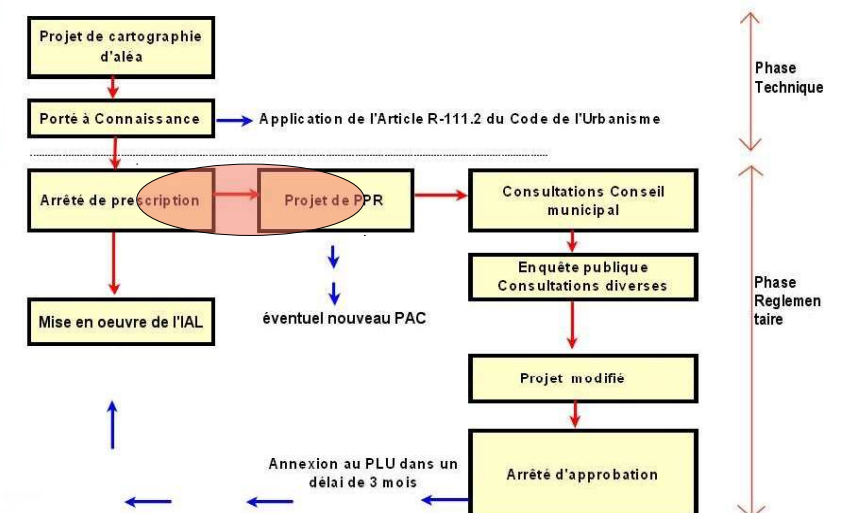
Le règlement

- Précise les règles d'occupation des sols pour chaque zone
- Définit les mesures de prévention et de sauvegarde qui permettent de réduire la vulnérabilité de l'existant

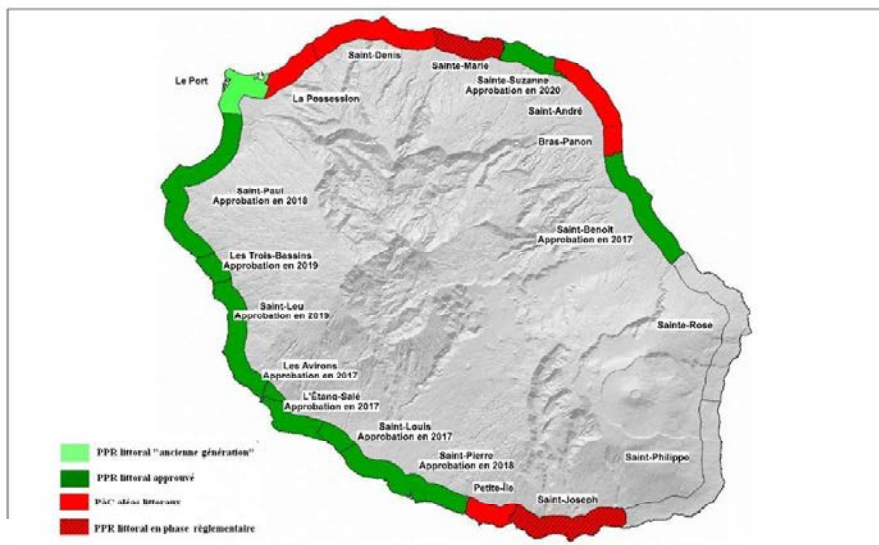
Des annexes

Cartes d'aléa, cartes des enjeux, carte des phénomènes historiques

La procédure d'élaboration d'un PPR



Avancement des PPR Littoraux à La Réunion



Avancement du PPR Littoral de Sainte-Marie

12/02/15 : réunion en mairie de Sainte-Marie de présentation et transmission des projets de cartes d'aléas érosion, trait de côte et submersion marine pour observation

16/07/15 : Porté à connaissance des cartographies des aléas « recul du trait de côte » et submersion marine » à la mairie par Monsieur le préfet

13/12/16 : Prescription de l'élaboration d'un PPR « recul du trait de côte » et submersion marine » (arrêté n° 2016 – 02289 SG/DRCTCV)

04/11/19 : Prorogation du délai d'approbation d'un PPR « recul du trait de côte » et submersion marine » (arrêté n° 3447 SG/DCL/BU)

2020 : Actualisation de la cartographie de l'aléa « recul du trait de côte »

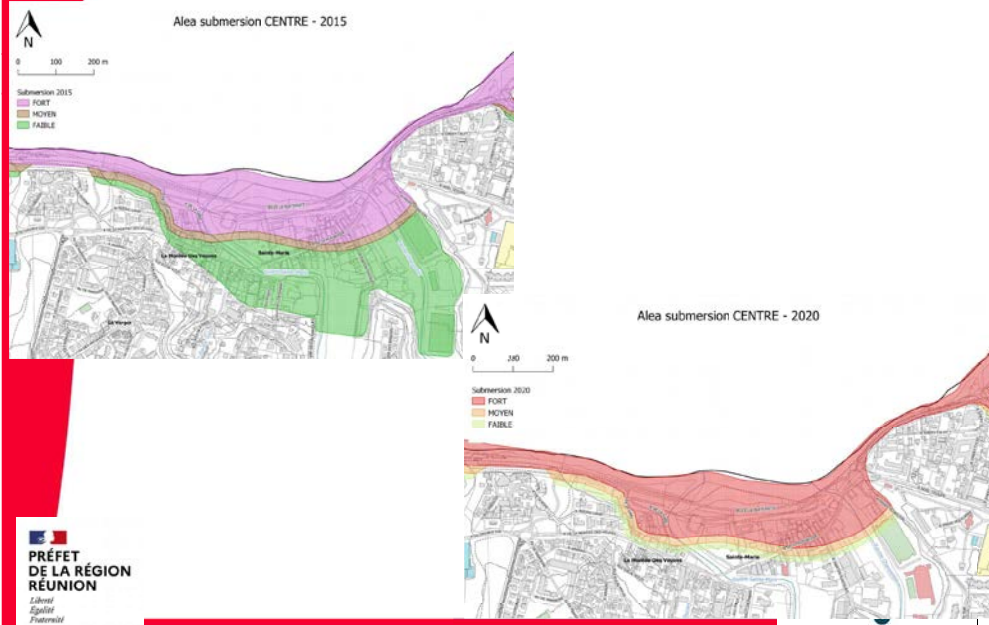
La phase technique

Caractérisation des aléas

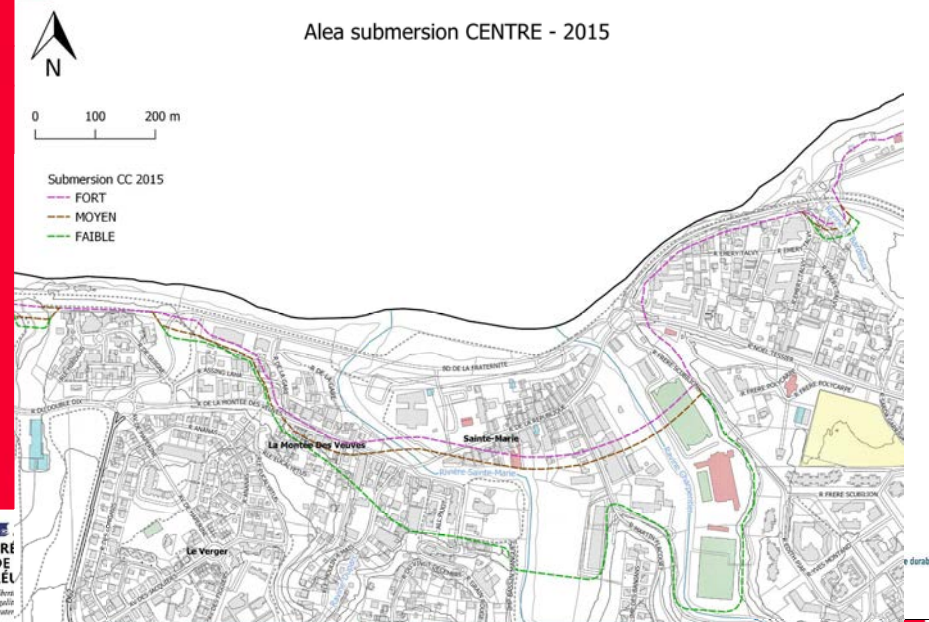
Présentation BRGM

Evolution 2015 / 2020 de la cartographie de l'aléa « submersion marine »

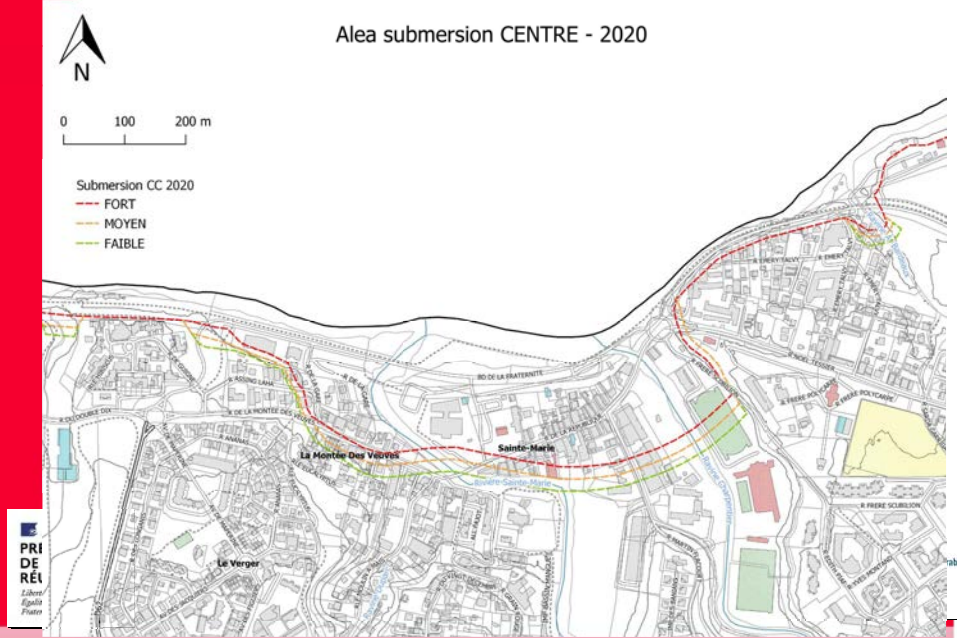
Evolution 2015/2020 aléa « submersion marine » centre ville



Evolution 2015/2020 aléa « submersion marine » CC



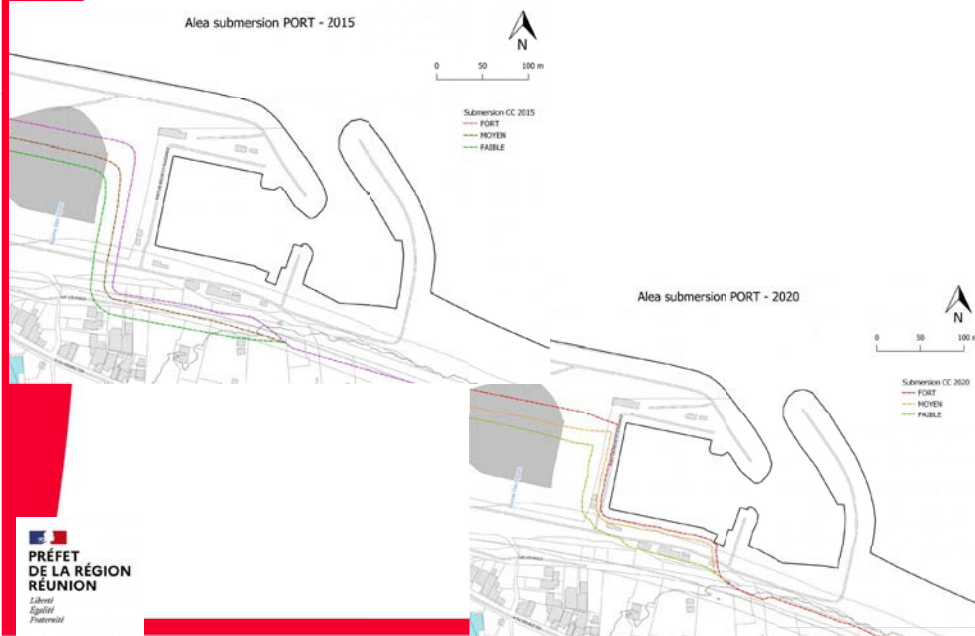
Evolution 2015/2020 aléa « submersion marine » CC



Evolution 2015/2020 aléa « submersion marine » secteur portuaire

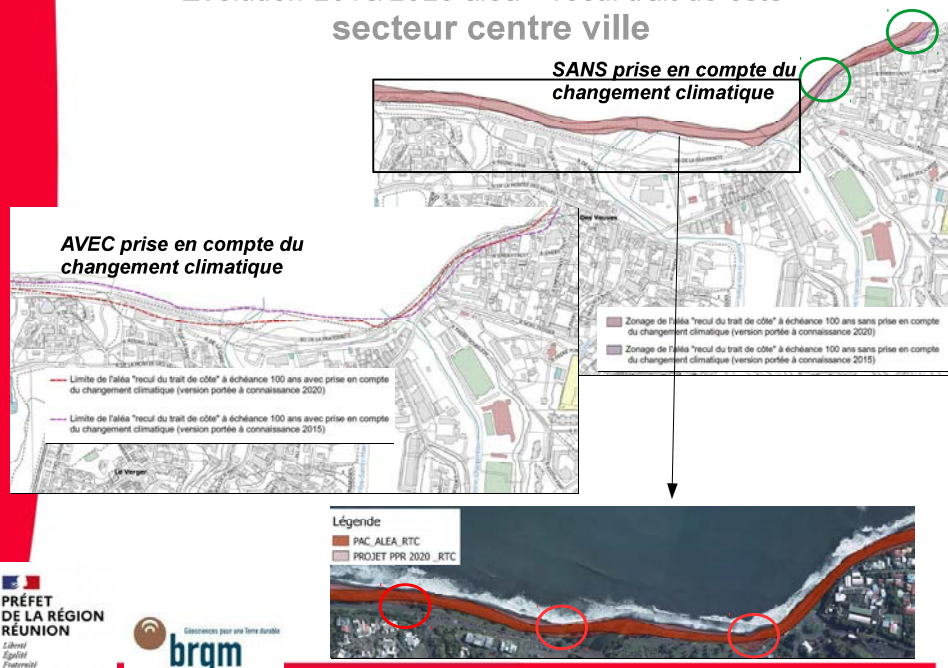


Evolution 2015/2020 aléa « submersion marine » - CC secteur portuaire

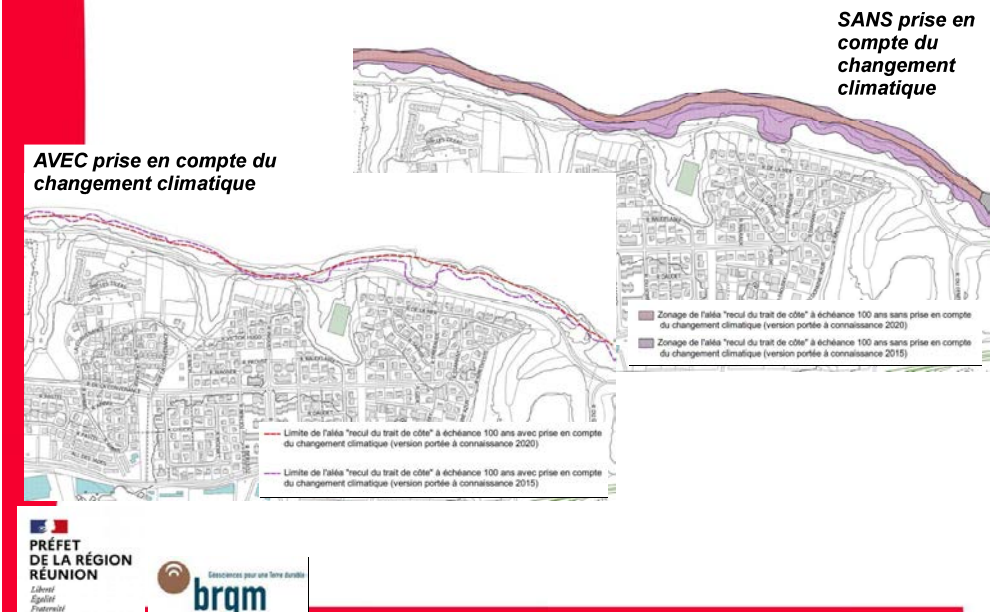


Evolution 2015 / 2020 de la cartographie de l'aléa « recul du trait de côte »

Evolution 2015/2020 aléa « recul trait de cote » secteur centre ville



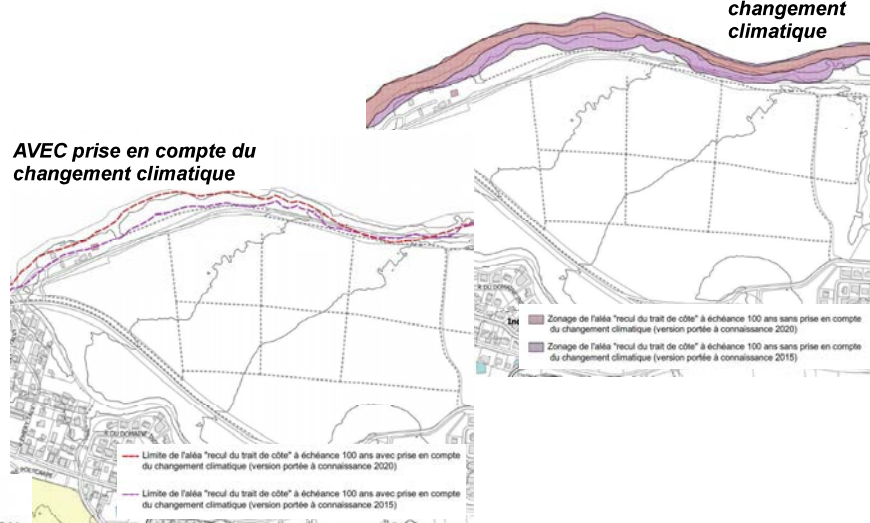
Evolution 2015/2020 aléa « recul trait de cote » secteur Pointe de la Ravine des Chèvres



Evolution 2015/2020 aléa « recul trait de cote » secteur Pointe Sainte-Marie

SANS prise en compte du changement climatique

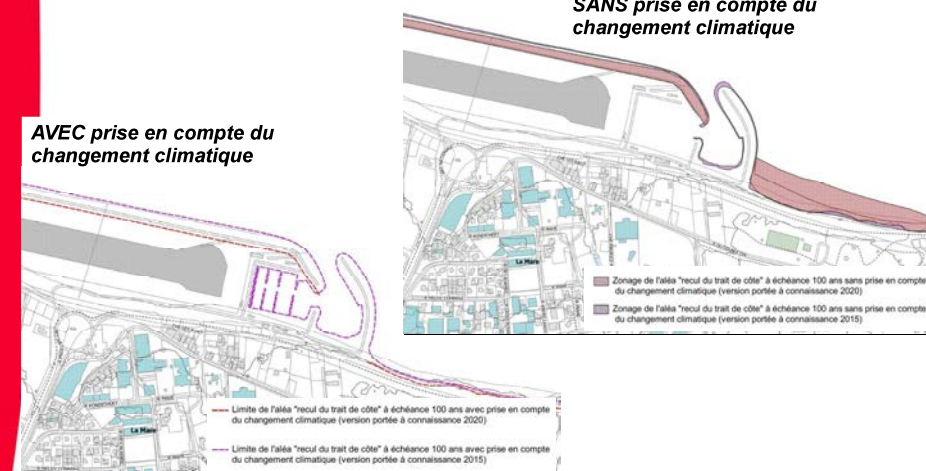
AVEC prise en compte du changement climatique



Evolution 2014/2020 aléa « recul trait de cote » secteur portuaire

SANS prise en compte du changement climatique

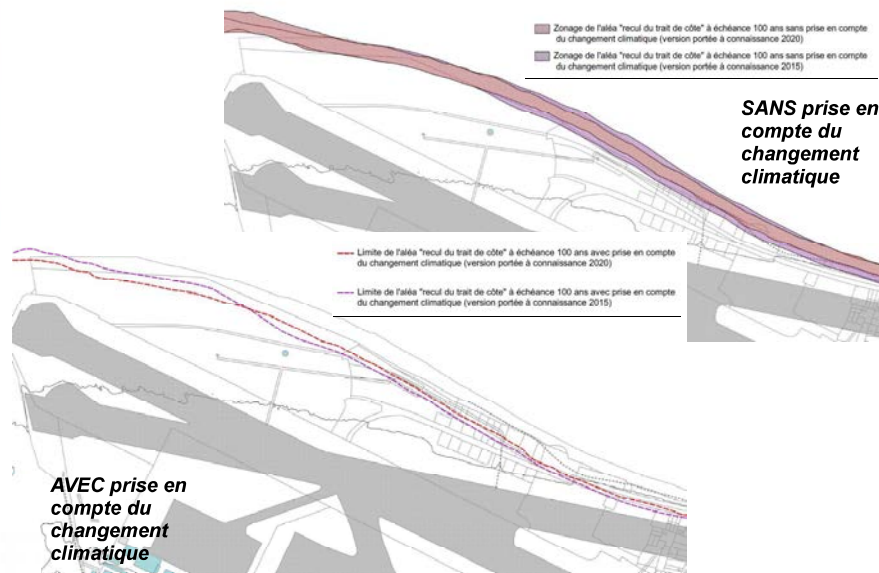
AVEC prise en compte du changement climatique



Evolution 2014/2020 aléa « recul trait de cote » secteur aéroportuaire

SANS prise en compte du changement climatique

AVEC prise en compte du changement climatique



La phase réglementaire

Traduction réglementaire
du zonage des aléas

Espaces urbanisés – Espaces non urbanisés

Une distinction dans quels objectifs ?

- Ne pas aggraver les risques dans les secteurs non-anthropisés ;
- Permettre un développement raisonné des espaces urbanisés par la mise en place d'un certain nombre de prescriptions.

Une délimitation selon quelle méthode ?

- 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) élaboré 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 ;

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
EROSION CÔTIÈRE	Fort	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
	Fort 2100 ou Nul	Rouge	Rouge	Rouge	Bleue

Espaces 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
EROSION CÔTIÈRE	Fort	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
	Fort 2100 ou Nul	Rouge	Rouge	Bleue	Bleue

Projet de règlement

→ Zone rouge (R) exposée à l'aléa Recul du trait de côte (RTC)

- Nouvelles constructions ainsi que les extensions des constructions existantes interdites ;
- Entretien, réparations et gestion courante des constructions et installations existantes sont autorisées ainsi que leur reconstruction (sous conditions) ;
- Les ports, postes de secours et équipement nécessitant la proximité immédiate de la mer ou encore les bassins de baignade sont admis sous conditions.

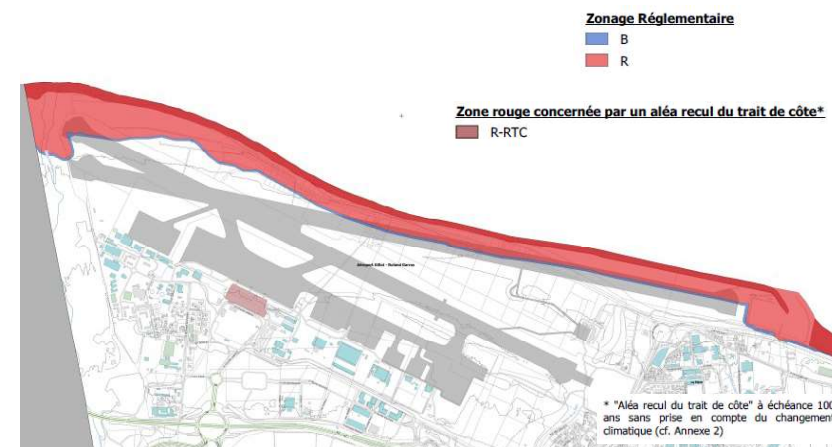
→ Zone rouge (R) très exposée à l'aléa submersion marine (sans RTC)

- Extension possible à l'étage : principe d'une zone de refuge.
- Piscine individuelle, annexe limitée à 10 m², autorisées...

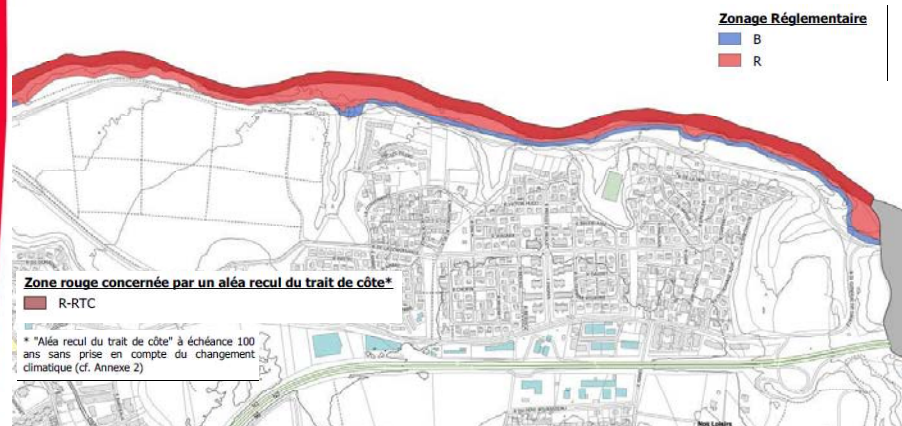
→ Zone bleue (B) moins exposée à l'aléa submersion marine

- Principe de constructibilité générale sous réserve de s'implanter au-dessus d'une côte de référence fixée à 50cm au-dessus du TN.

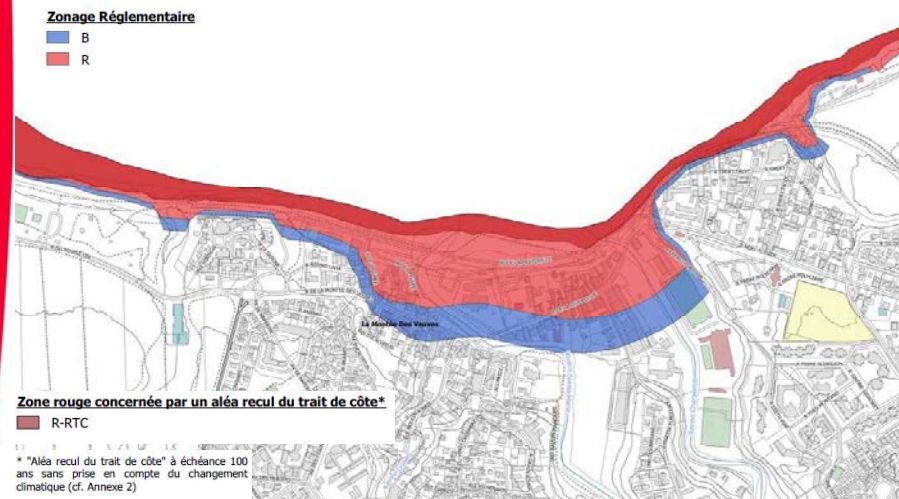
Projet cartographie réglementaire



Projet cartographie réglementaire



Projet cartographie réglementaire



Superposition PPRL/PPR multi - CV



Impact du projet de zonage réglementaire du PPRL sur le zonage PLU

Type zone PLU	Zone Rouge PPRL	Zone bleue PPRL
U	52 ha	10 ha
AU	500 m ²	0,1 ha
N	23 ha	3
A	0	0

Suite de la procédure (calendrier prévisionnel)

- Nouveau porté à connaissance des cartographies des aléas littoraux : janvier 2021
- Début concertation avec le public : 1^{er} trimestre 2021
- Début consultation officielle sur le projet de dossier de PPRL : Juin/Juillet 2021 (délai de réponse de 2 mois, à défaut avis réputé favorable)
- **Enquête publique : août/septembre 2021 (1 mois d'enquête publique + 1 mois remise rapport du CE)**
- **Fin d'année 2021 (4^{ème} trimestre) : Approbation du PPR Littoral**

Annexe 2 : Consultations officielles

- courriers et accusés de réception
- avis de la Chambre d'Agriculture de La Réunion
- avis de l'ONF
- avis de la DAAF
- avis du CNPF



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral

ACCUSE DE RECEPTION

Je soussigné : M. me PAYET

en qualité de : Secrétaire de Direction

domicilié à : Chambre d'Agriculture

accuse réception

du dossier relatif à la consultation sur le projet de plan de prévention des risques littoraux (PPRL) « submersion marine et recul du trait de côte » de la commune de Sainte-Marie.

Fait à Saint Denis, le 21/07/21 à 15h49

Cachet



Signature



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral

ACCUSE DE RECEPTION

Je soussigné : M. Rosita HOARAU

en qualité de : DGS

domicilié à : St Denis

accuse réception

du dossier relatif à la consultation sur le projet de plan de prévention des risques littoraux (PPRL) « submersion marine et recul du trait de côte » de la commune de Sainte-Marie.

Fait à Ste Clotilde, le 21/07/2021

Cachet



Signature

La Directrice Générale des Services

Rosita HOARAU



LA POSTE

**AVIS DE
RÉCEPTION
DE VOTRE LETTRE
RECOMMANDÉE**

Contre-remboursement

A COMPLÉTER PAR LE FACTEUR ET À REPORTER
SUR LA PREUVE DE DISTRIBUTION

Présenté / Avisé le :

Distribué le :

27/7

Signature du destinataire

ou du mandataire
(précisez Prénom et NOM)

Référence

**REF : 2021 - 376
URRL/J.HOAREAU**

La Poste agrément n° C 701
IB1V14 TLM J3N 056 638 09/20

2C 160 252 0754 6



TAD

**Monsieur le Président du
CENTRE National de la Propriété Forestière
47 rue de Chaillot
75116 PARIS**

**DEAL DE LA REUNION -SPRINR
2, rue Juliette Dodu
CS 41009
97743 SAINT DENIS Cedex 9**

RETOUR A :

CE FEUILLET ET LA PREUVE DE DISTRIBUTION SONT À DÉTACHER ENSEMBLE À PARTIR DU HAUT SELON LES POINTILLÉS.



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral

ACCUSE DE RECEPTION

Je soussigné : Mme S. BARBIEN

en qualité de : Secrétaire

domicilié à : DAAF de ST-DENIS

accuse réception

du dossier relatif à la consultation sur le projet de plan de prévention des risques littoraux (PPRL) « submersion marine et recul du trait de côte » de la commune de Sainte-Marie.

Fait à ST-DENIS, le 21 Juillet 2021

Cachet



Signature



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral

ACCUSE DE RECEPTION

Je soussigné : M^{me} CADET Coraëlle

en qualité de : Agent administratif

domicilié à : Ste Marie

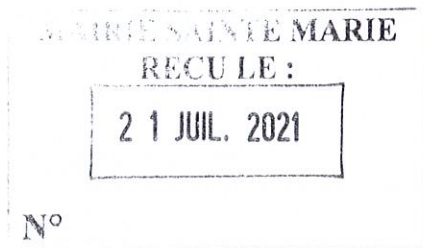
accuse réception

du dossier relatif à la consultation sur le projet de plan de prévention des risques littoraux (PPRL) « submersion marine et recul du trait de côte » de la commune de Sainte-Marie.

Fait à Ste Marie, le 21/07/21

Cachet

Signature





**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral

ACCUSE DE RECEPTION

Je soussigné : M. MAILLOT Alice

en qualité de : Chargée mission risques (ONF)

domicilié à : La Providence (ONF)

accuse réception

du dossier relatif à la consultation sur le projet de plan de prévention des risques littoraux (PPRL) « submersion marine et recul du trait de côte » de la commune de Sainte-Marie.

Fait à St Denis, le 21/07/21

Cachet



Signature



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Affaire suivie par : Jimmy HOAREAU
Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral
Tél : 02 62 40 28 52
Courriel : jimmy.hoareau@developpement-durable.gouv.fr

Saint-Denis, 20 JUL. 2021

N/Réf : DEAL/SPRINR/URRL/2021 - 341

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

à

Monsieur le Maire
Hôtel De Ville
3 rue de La République
97438 Sainte-Marie

Objet : Projet de Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte

PJ : 1 dossier du projet de PPRL et 1 accusé de réception

L'élaboration du Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Marie a été prescrite par arrêté préfectoral n°2016-02289/SG/DRCTCV du 18 novembre 2016 et prorogée le 4 novembre 2019.

Dans le cadre de la démarche d'élaboration du PPRL, mes services vous ont présenté les cartes d'aléas submersion marine et recul du trait de côte au cours d'une réunion de présentation aux élus de la municipalité, lors d'une première réunion le 12 février 2015 en mairie et lors d'une seconde réunion le 14 décembre 2020 sur les nouvelles connaissances prises en compte dans la caractérisation de ces aléas. Une première phase de concertation avec le public s'est réalisée pendant trois semaines, du 25 mai 2021 au 14 juin 2021.

Conformément à l'article R.562-7 du code de l'environnement, le projet de PPR doit être soumis au conseil municipal de Sainte-Marie. Vous trouverez donc ci-joint pour avis le dossier du projet de PPR de Sainte-Marie. Le délai réglementaire pour recueillir cet avis est de **deux mois à compter de la réception du présent courrier adossé au dossier papier**. Passé ce délai, l'avis du conseil municipal sera réputé favorable.

Par ailleurs, à la suite du recueil de l'avis des différentes personnes publiques consultées, le projet de PPRL sera soumis à enquête publique conformément à l'article R.562-8 du code de l'environnement. En application de cet article, l'avis de la commune et des autres personnes publiques consultées sera consigné ou annexé aux registres de l'enquête publique. À l'issue de l'enquête publique, le projet de PPRL éventuellement modifié pour tenir compte des avis et observations émis, sera approuvé par arrêté préfectoral.

Enfin, je vous serais obligé de bien vouloir me retourner l'accusé de réception ci-joint, une fois le dossier du projet de PPRL en votre possession.

Mes services se tiennent à votre disposition pour de plus amples renseignements.

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

Le Directeur Adjoint DMZ
responsable Gestion de crise
Philippe GRAMMOND
Chef du Pôle Risques

Copie à : Préfecture (SG/DCL/BU)
DEAL / SPRINR / URRL

Ivan MARTIN



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Affaire suivie par : Jimmy HOAREAU
Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral
Tél : 02 62 40 28 52
Courriel : jimmy.hoareau@developpement-durable.gouv.fr

Saint-Denis, 20 JUL. 2021

N/Réf : DEAL/SPRINR/URRL/2021 - 346

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

à

Monsieur le Président de la Chambre d'Agriculture
24 rue de la Source
BP 134
97463 Saint-Denis Cedex

Objet : Projet de Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte _ Consultation officielle
PJ : 1 dossier du projet de PPRL et 1 accusé de réception

L'élaboration du Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Marie a été prescrite par arrêté préfectoral n°2016-02289/SG/DRCTCV du 18 novembre 2016.

Conformément à l'article R.562-7 du code de l'environnement, le projet de PPR doit être soumis à l'avis de la chambre d'agriculture. Vous trouverez donc ci-joint, pour avis, le dossier du projet de PPRL de Sainte-Marie. Je vous remercie d'adresser vos remarques éventuelles à mes services (DEAL/SPRINR). A défaut d'être rendu dans **un délai de deux mois à compter de la réception de la présente demande**, cet avis est réputé favorable.

Je vous serais obligé de bien vouloir me retourner l'accusé de réception ci-joint, une fois le projet de dossier de PPRL en votre possession.

Par ailleurs, à la suite du recueil de l'avis des différentes personnes publiques consultées, le projet de PPRL sera soumis à enquête publique conformément à l'article R.562-8 du code de l'environnement. En application de cet article, l'avis de la chambre d'agriculture et des autres personnes publiques consultées sera consigné ou annexé aux registres de l'enquête publique. À l'issue de l'enquête publique,

le projet de PPRL, éventuellement modifié pour tenir compte des avis et observations émis, sera approuvé par arrêté préfectoral.

Mes services se tiennent à votre disposition pour de plus amples renseignements.

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

Philippe GRAMMONT


Le Directeur Adjoint DMZ
Responsable Gestion de crise
Chef du Pôle Risques

Copie à : Préfecture (SG/DCL/BU)
DEAL / SPRINR / URRL

Ivan MARTIN



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Affaire suivie par : Jimmy HOAREAU
Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral
Tél : 02 62 40 28 52
Courriel : jimmy.hoareau@developpement-durable.gouv.fr

Saint-Denis, le **20 JUIL. 2021**

N/Réf : DEAL/SPRINR/URRL/2021 - **345**

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

à

Monsieur le directeur de l'ONF
Colline de la Providence
97488 SAINT-DENIS CEDEX

Objet : Projet de Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte _ Consultation officielle

PJ : 1 dossier du projet de PPRL et 1 accusé de réception

L'élaboration du Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Marie a été prescrite par arrêté préfectoral n°2016-02289/SG/DRCTCV du 18 novembre 2016.

Dans le cadre de la phase de consultation sur ce projet, et conformément à l'article 4 de l'arrêté cité ci-dessus, je vous prie d'adresser à mes services (SPRINR / URRL), dans un **délai de deux mois à compter de la réception du présent courrier**, vos observations éventuelles sur ce projet de PPR. Passé ce délai, votre avis sera réputé favorable.

Je vous serais obligé de bien vouloir me retourner l'accusé de réception ci-joint, une fois le dossier de PPRL en votre possession.

Suite au recueil de l'avis des personnes publiques consultées, le projet de PPRL sera soumis à enquête publique conformément à l'article R.562-8 du code de l'environnement. À l'issue de l'enquête publique, le projet de PPRL, éventuellement modifié pour tenir compte des avis et observations émis, sera approuvé par arrêté préfectoral.

Mes services se tiennent à votre disposition pour de plus amples renseignements.

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

Philippe GRAMMONT

Le Directeur Adjoint DMZ
Responsable Gestion de crise
Chef du Pôle Risques

IVAN MARTIN

Copie à : Préfecture (SG/DCL/BU)
DEAL / SPRINR / URRL



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

20 JUL. 2021

Saint-Denis,

Affaire suivie par : Jimmy HOAREAU
Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral
Tél : 02 62 40 28 52
Courriel : jimmy.hoareau@developpement-durable.gouv.fr

N/Réf : DEAL/SPRINR/URRL/2021 - 343

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

à

Monsieur le président de la CINOR
3 rue de la Solidarité
97490 SAINTE-CLOTILDE

Objet : Projet de Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte _ Consultation officielle

PJ : 1 dossier du projet de PPRL et 1 accusé de réception

L'élaboration du Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Marie a été prescrite par arrêté préfectoral n°2016-02289/SG/DRCTCV du 18 novembre 2016.

Conformément à l'article R.562-7 du code de l'environnement, le projet de PPRL doit être soumis à l'avis de l'organe délibérant de la CINOR. Vous trouverez donc ci-joint, pour avis, le dossier du projet de PPRL de Sainte-Marie. Je vous remercie d'adresser vos remarques éventuelles à mes services (DEAL/SPRINR). A défaut d'être rendu dans **un délai de deux mois à compter de la réception de la présente demande**, cet avis est réputé favorable.

Je vous serais obligé de bien vouloir me retourner l'accusé de réception ci-joint, une fois le projet de dossier de PPRL en votre possession.

Par ailleurs, à la suite du recueil de l'avis des différentes personnes publiques consultées, le projet de PPRL sera soumis à enquête publique conformément à l'article R.562-8 du code de l'environnement. En application de cet article, l'avis de la CINOR et des autres personnes publiques consultées sera consigné ou annexé aux registres de l'enquête publique. À l'issue de l'enquête publique, le projet de

PPRL, éventuellement modifié pour tenir compte des avis et observations émis, sera approuvé par arrêté préfectoral.

Mes services se tiennent à votre disposition pour de plus amples renseignements.

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement


Philippe GRAMMONT
Le Directeur Adjoint DMZ
Responsable Gestion de crise
Chef du Pôle Risques

Copie à : Préfecture (SG/DCL/BU)
DEAL / SPRINR / URRL

Ivan MARTIN



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Affaire suivie par : Jimmy HOAREAU
Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral
Tél : 02 62 40 28 52
Courriel : jimmy.hoareau@developpement-durable.gouv.fr

Saint-Denis, **20 JUL. 2021**

N/Réf : DEAL/SPRINR/URRL/2021 - 344

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

à

Monsieur le directeur de la DAAF
Boulevard de la Providence
97489 SAINT-DENIS CEDEX

Objet : Projet de Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte _ Consultation officielle

PJ : 1 dossier du projet de PPRL et 1 accusé de réception

L'élaboration du Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Marie a été prescrite par arrêté préfectoral n°2016-02289/SG/DRCTCV du 18 novembre 2016.

Dans le cadre de la phase de consultation sur ce projet, et conformément à l'article 4 de l'arrêté cité ci-dessus, je vous prie d'adresser à mes services (SPRINR / URRL), dans un **délai de deux mois à compter de la réception du présent courrier**, vos observations éventuelles sur ce projet de PPR. Passé ce délai, votre avis sera réputé favorable.

Je vous serais obligé de bien vouloir me retourner l'accusé de réception ci-joint, une fois le dossier de PPRL en votre possession.

Suite au recueil de l'avis des personnes publiques consultées, le projet de PPRL sera soumis à enquête publique conformément à l'article R.562-8 du code de l'environnement. À l'issue de l'enquête publique, le projet de PPRL, éventuellement modifié pour tenir compte des avis et observations émis, sera approuvé par arrêté préfectoral.

Mes services se tiennent à votre disposition pour de plus amples renseignements.

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

Philippe GRAMMONT



Le Directeur Adjoint DMZ
Responsable Gestion de crise
Chef du Pôle Risques

Copie à : Préfecture (SG/DCL/BU)
DEAL / SPRINR / URRL

• **Ivan MARTIN**



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Affaire suivie par : Jimmy HOAREAU
Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral
Tél : 02 62 40 28 52
Courriel : jimmy.hoareau@developpement-durable.gouv.fr

Saint-Denis, 20 JUL. 2021

N/Réf : DEAL/SPRINR/URRL/2021 - 346

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

à

Monsieur le Président du CNPF
47 rue de Chaillot
75116 PARIS

Objet : Projet de Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte _ Consultation officielle
PJ : 1 dossier du projet de PPRL et 1 accusé de réception

L'élaboration du Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Marie a été prescrite par arrêté préfectoral n°2016-02289/SG/DRCTCV du 18 novembre 2016.

Conformément à l'article R.562-7 du code de l'environnement, le projet de PPRL doit être soumis à l'avis du Centre National de la Propriété Forestière. Vous trouverez donc ci-joint, pour avis, le dossier du projet de PPRL de Sainte-Marie. Je vous remercie d'adresser vos remarques éventuelles à mes services (DEAL/SPRINR). A défaut d'être rendu dans **un délai de deux mois à compter de la réception de la présente demande**, cet avis est réputé favorable.

Je vous serais obligé de bien vouloir me retourner l'accusé de réception ci-joint, une fois le projet de dossier de PPRL en votre possession.

Par ailleurs, à la suite du recueil de l'avis des différentes personnes publiques consultées, le projet de PPRL sera soumis à enquête publique conformément à l'article R.562-8 du code de l'environnement. En application de cet article, l'avis du CNPF et des autres personnes publiques consultées sera consigné ou annexé aux registres de l'enquête publique. À l'issue de l'enquête publique, le projet de PPRL,

éventuellement modifié pour tenir compte des avis et observations émis, sera approuvé par arrêté préfectoral.

Mes services se tiennent à votre disposition pour de plus amples renseignements.

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

Philippe GRAMMONT


Le Directeur Adjoint DMZ
Responsable Gestion de crise
Chef du Pôle Risques

Ivan MARTIN

Copie à : Préfecture (SG/DCL/BU)
DEAL / SPRINR / URRL



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral

ACCUSE DE RECEPTION

Je soussigné : M. _____

en qualité de : _____

accuse réception

du dossier relatif à la consultation sur le projet de plan de prévention des risques littoraux (PPRL) « *submersion marine et recul du trait de côte* » de la commune de Sainte-Marie.

Fait à _____, le

Cachet

Signature



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Direction de l'alimentation,
de l'agriculture et de la forêt

Service territoires, environnement
et forêt

Saint-Denis, le 12 août 2021

Dossier suivi par : Albert GUEZELLO
Téléphone : 02 62 30 89 62
Mail : albert.guezello@agriculture.gouv.fr

Le directeur de l'alimentation, de l'agriculture et de
la forêt

à

Monsieur le directeur de l'environnement,
de l'aménagement et du logement

Objet : Avis DAAF sollicité sur le projet de plan de prévention des risques littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte sur la commune de SAINTE-MARIE

V/Réf. : DEAL/SPRINR/URRL/2021-374

N/Réf. : STEF-PPTA-2021-SD

Dans le cadre de la phase de consultation préalable à l'enquête publique, vous avez transmis pour avis, reçu le 21 juillet 2021, le dossier relatif au projet susvisé.

Aussi, considérant :

- l'arrêté n°2016-02289 SG/DRCTCV du 18 novembre 2016 prescrivant l'élaboration d'un PPRn aléas RTC et submersion marine sur le territoire de la commune de SAINTE-MARIE, **adressé à la DAAF pour information** ;
- les dispositions du code de l'environnement, notamment son article R.562-7 relatif à la procédure de consultation officielle des personnes publiques et organismes concernés par le projet de PPRL dont :
 - les communes et les EPCI compétents dans l'élaboration des documents d'urbanisme et dont le territoire est couvert tout ou en partie par le futur plan
 - les conseils départemental et régional, le SDIS pour les mesures de prévention des incendies de forêt
 - la chambre d'agriculture et le « centre national » de la propriété forestière, en cas de dispositions spécifiques applicables aux terrains agricoles ou forestiers
- la stratégie régionale de l'État en matière de prévention des risques majeurs, à travers notamment le « schéma de prévention des risques naturels de la Réunion 2018-2022 » ;

la DAAF n'a pas qualité à se prononcer officiellement sur le projet de PPRL.

Dans le cadre de cette consultation réglementaire, l'avis de la chambre d'agriculture devra être requis en cas de dispositions spécifiques applicables aux terrains agricoles inclus dans le périmètre du futur plan.



Pour le préfet et par délégation,
pour le directeur de l'alimentation, de l'agriculture
et de la forêt,
le chef du pôle de protection des terres agricoles

Albert GUEZELLO



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction de l'environnement
de l'aménagement et du logement**

Affaire suivie par : Jimmy HOAREAU
Service prévention des risques naturels et routiers
Unité réglementation des risques naturels et observatoire du littoral
Tél : 02 62 40 28 52
Courriel : jimmy.hoareau@developpement-durable.gouv.fr

Saint-Denis, **20 JUL. 2021**

N/Réf : DEAL/SPRINR/URRL/2021 - 376

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

L RAR 3C 260 352 0454 6

à

Monsieur le Président du CNPF
47 rue de Chaillot
75116 PARIS

COPIE

Objet : Projet de Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte _ Consultation officielle
PJ : 1 dossier du projet de PPRL et 1 accusé de réception

L'élaboration du Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte sur la commune de Sainte-Marie a été prescrite par arrêté préfectoral n°2016-02289/SG/DRCTCV du 18 novembre 2016.

Conformément à l'article R.562-7 du code de l'environnement, le projet de PPRL doit être soumis à l'avis du Centre National de la Propriété Forestière. Vous trouverez donc ci-joint, pour avis, le dossier du projet de PPRL de Sainte-Marie. Je vous remercie d'adresser vos remarques éventuelles à mes services (DEAL/SPRINR). A défaut d'être rendu dans un **délai de deux mois à compter de la réception de la présente demande**, cet avis est réputé favorable.

Je vous serais obligé de bien vouloir me retourner l'accusé de réception ci-joint, une fois le projet de dossier de PPRL en votre possession.

Par ailleurs, à la suite du recueil de l'avis des différentes personnes publiques consultées, le projet de PPRL sera soumis à enquête publique conformément à l'article R.562-8 du code de l'environnement. En application de cet article, l'avis du CNPF et des autres personnes publiques consultées sera consigné ou annexé aux registres de l'enquête publique. À l'issue de l'enquête publique, le projet de PPRL,

éventuellement modifié pour tenir compte des avis et observations émis, sera approuvé par arrêté préfectoral.

Mes services se tiennent à votre disposition pour de plus amples renseignements.

Le directeur de l'environnement
de l'aménagement et du logement

Philippe GRAMMONT

Le Directeur Adjoint DMZ
Responsable Gestion de crise
Chef du Pôle Risques

Copie à : Préfecture (SG/DCL/BU)

DEAL / SPRINR / URRL

Ivan MARTIN

COPIE



Saint-Denis, le 03 SEP. 2021

**Monsieur le Directeur
Direction de l'environnement de
l'aménagement et du logement (DEAL)
2 rue Juliette Dodu
97743 Saint-Denis cedex 9**

Vos Réf : DEAL/SPRINR/URRL/2021-372

Nos Réf : FV/JA/IC/GS/KP/mc/31-2021/D3P

Objet : Projet de Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) de Sainte-Marie relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte - Avis de La Chambre d'Agriculture

Dossier suivi par : Kelvin PAVADÉPOULLÉ
Mail : kelvin.pavadepoulle@reunion.chambagri.fr
Tél : 0262 94 69 41

Monsieur le Directeur,

Vous avez adressé à la Chambre d'Agriculture, par courrier en date du 20/07/2021, le Projet de Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) de Sainte-Marie relatif aux aléas submersion marine et recul du trait de côte, conformément à l'article R.562-7 du Code l'Environnement et je vous en remercie.

En qualité de Personne Publique Associée, j'ai l'honneur de vous adresser nos remarques concernant ce projet.

La commune de Sainte-Marie dispose des meilleures terres agricoles à fort potentiel agronomique du Nord de l'île. Nos services recensent à ce jour sur la commune 2 655 ha de surface A au PLU en vigueur et environ 2 160 ha de surface cultivée, avec 77 % de canne à sucre, 15 % dédiée à l'élevage, 6 % dédiée pour le maraîchage et 2% pour les vergers. En outre, les surfaces agricoles et cultivées se situent en majorité dans les Mi-Pentes de la commune et ne sont pas concernées par le PPRL de Sainte-Marie (Cf. Illustration).



Etude du PPRL de Sainte-Marie



Légende

- | | | |
|--|---|----------------------------------|
| Zonage Réglementaire du projet de PPRL de Sainte-Marie | Base d'Occupation du Sol 2019 de la DAAF (BOS 2019) | Secteurs irrigués départementaux |
| B | maraichage et/ou autre | MEREN |
| R | canne | Routes Primaires |
| Zonage du PLU en vigueur | élevage | Routes Secondaires |
| A | verger | |
| | Bâtiment d'élevage | |

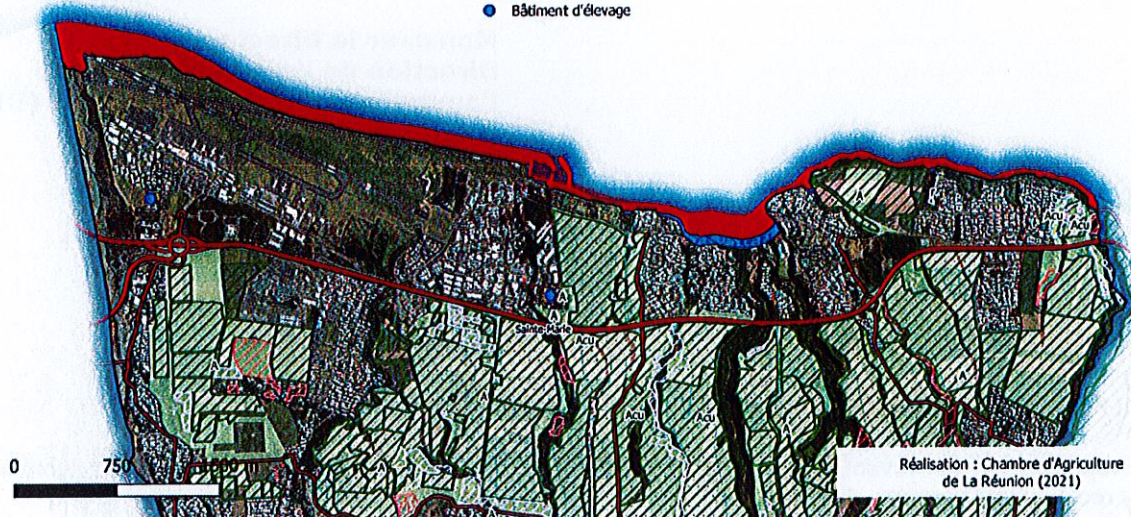


Illustration 1: Etude du projet PPRL de Sainte-Marie

En conséquence, la Chambre d'Agriculture n'a pas de remarques, ni de contre-indications particulières à formuler et émet un avis favorable.

Restant à votre disposition pour tout complément d'information, je vous prie d'agréer, Monsieur le Maire, mes salutations distinguées.

Le Président,

Frédéric VIENNE

CHAMBRE
D'AGRICULTURE
DE LA
RÉUNION



Centre National de la Propriété Forestière



Préfecture de la Région Réunion
Direction de l'environnement de
l'aménagement et du logement
2 rue Juliette Dodu
97743 SAINT DENIS Cedex 9

A l'attention de M. Jimmy HOAREAU

Paris, le 29 juillet 2021

Monsieur

En réponse à votre courrier du 20 juillet 2021 concernant la demande d'avis du CNPF pour l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Littoraux, je vous informe que le CNPF n'est pas concerné par cette demande car nous ne sommes pas implantés à la Réunion.

Je vous prie d'accepter, Monsieur, l'expression de mes meilleures salutations.

La directrice générale

Claire Hubert



Direction régionale
de la Réunion

Monsieur le Responsable de l'Unité PRN
Service de prévention des risques naturels et routiers
DEAL Réunion
2 rue Juliette Dodu
CS 41009
97743 SAINT DENIS cedex

Domaine forestier
de la Providence
97488 St Denis
Cedex
Tel : 02.62.90.48.00
Fax : 02.62.90.48.37

notre référence : SDAT-HC-AM / SJF-RM / 2021-117
votre référence : DEAL/SPRINR/URRL/2021-375
dossier suivi par : Alice MAILLOT
poste : 06.92.34.51.72
Mél : alice.maillot@onf.fr
objet : **Elaboration du PPR naturels prévisibles relatif aux phénomènes « Submersion marine et Recul du trait de côte » - Commune de SAINTE-MARIE**
Saint Denis, le 09 septembre 2021



Par courrier du 20 Juillet 2021, vous sollicitez l'avis de l'ONF sur le dossier de Plan de Prévention des Risques relatif aux phénomènes « Submersion marine et Recul du trait de côte » sur la commune de Sainte-Marie.

Vous trouverez ci-après les remarques concernant ce dernier document :

- **Généralités**

L'ONF ne gère pas d'espaces naturels sur la frange littorale de la commune de Sainte-Marie. Ses modalités de gestion ne sont donc pas impactées par les prescriptions de ce PPRL.

- **Concernant la note de présentation**

Page 37 : Le tableau 5 : « Liste des cyclones notables » est absent.

Page 67 : La figure 43 est manquante.

- **Concernant le règlement**

Le tableau récapitulatif du zonage réglementaire en zone non urbanisée (page 15) est erroné : il n'est pas cohérent avec le texte explicatif sous-jacent, ni avec la cartographie du zonage réglementaire.

Les « travaux de génie biologique ou reprofilage de plage » sont autorisés en zone Rouge R, mais pourquoi pas en zone Bleue B ?

L'autorisation de type de travaux ne devrait-elle pas être indiquée dans les Dispositions générales applicables à tout le territoire – partie 4.2 ?

- **Concernant les annexes cartographiques**

Carte du zonage de l'aléa RTC :

Les légendes « *Trait de côte de référence (haut de plage 2020)* » et « *Trait de côte à échéance 100 ans avec prise en compte du changement climatique* » semblent être inversées.

Carte du zonage de l'aléa submersion marine :

Pas de remarque.

Cartographie de synthèse des modes de submersion et des données historiques de l'aléa submersion marine

Pas de remarque.

Carte du zonage réglementaire :

Pas de remarque.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Responsable, mes sincères salutations,



Le Directeur Régional

Sylvain LEONARD

Copie à : - UT Nord Est
- Service Risque ONF



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain
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