

DEPARTEMENT DE LA REUNION

Commune de Sainte-Rose



PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS
PREVISIBLES

« *Inondations et mouvements de terrain* »

NOTE DE PRESENTATION

Octobre 2021

Concertation avec le public



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, ou autre) et de la vulnérabilité (présence d'enjeux).

Le présent **Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles** prend en compte le risque « mouvements de terrain » et le risque « inondations » 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 appliquant le principe de précaution et 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 de la connaissance des phénomènes naturels et des travaux de protection réalisés dans les secteurs exposés. Il constitue une première étape répondant à des enjeux de prévention.

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	13
1.1. Organisation de la gestion des risques.....	13
1.2. Prévention des risques naturels	14
1.3. Plan de Prévention des Risques (P.P.R.) naturels prévisibles	15
1.4. Catastrophes naturelles à La Réunion.....	15
2. PRESENTATION DU PPR.....	16
2.1. Contexte réglementaire du PPR	16
2.2. Procédure réglementaire	17
2.2.1. Secteurs géographiques concernés	17
2.2.2. Etat des réflexions menées	17
2.3. Assurances et infractions au PPR	19
2.3.1. Rappel du régime d'assurance en vigueur	19
2.3.2. Infractions au PPR et sanctions.....	21
2.4. Expropriation et Mesure de sauvegarde	21
2.5. Responsabilités	22
2.5.1. Etablissement du PPR.....	22
2.5.2. Autorisation d'occuper le sol.....	22
3. PRESENTATION DE LA COMMUNE.....	24
3.1. Contexte de la zone d'étude	24
3.1.1. Situation géographique.....	24
3.1.2. Contexte géologique.....	25
3.1.3. Contexte géomorphologique.....	27
3.1.4. Contexte pédologique.....	28
3.1.5. Contexte climatique	30
3.1.6. Réseau hydrographique	35
3.2. Enjeux et vulnérabilité	38
4. APPROCHE HISTORIQUE ET CARACTERISATION DES PHENOMENES NATURELS	41
4.1. Phénomènes historiques.....	41
4.2. Arrêtés de catastrophes naturels.....	42
4.3. Caractérisation des mouvements de terrain	43
4.3.1. Chutes de pierres ou de blocs, éboulements (P)	44
4.3.2. Glissements de terrain et coulées boueuses associées (G)	49
4.3.3. Erosions de berge et ravinement.....	51

4.4.	Caractérisation des phénomènes d'inondation	54
5.	CARACTERISATION ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS.....	56
5.1.	Définitions et notions générales.....	56
5.1.1.	Notion d'intensité et de probabilité d'occurrence	56
5.1.2.	Remarques relatives aux règles de zonage	57
5.2.	Aléa inondation	58
5.2.1.	Méthode d'évaluation de l'aléa	58
5.2.2.	Caractérisation de l'aléa inondation	59
5.2.3.	Cas particulier de la coulée de lave de 1977	60
5.3.	Aléa mouvements de terrain.....	61
5.3.1.	Méthode d'évaluation de l'aléa	61
5.3.2.	Règles générales de qualification de l'aléa MVT.....	62
5.3.3.	Qualification de l'aléa mouvements de terrain.....	65
5.3.4.	Mise en cohérence de l'aléa MVT avec l'aléa INONDATION	66
5.3.5.	Cas particulier des cavités volcaniques souterraines.....	68
5.4.	Principes de traduction réglementaire	69
5.5.	Exemples de cartographie au droit de secteurs à enjeux.....	70
5.5.1.	Secteur de La Marine – Centre-Ville	71
5.5.2.	Secteur de La Ravine Glissante	75
5.5.3.	Secteur de l'Anse des Cascades.....	80
5.5.4.	Secteur de Bois Blanc	83
6.	LEXIQUE DES SIGLES ET TERMES TECHNIQUES	89
7.	PRINCIPAUX TEXTES OFFICIELS.....	91
7.1.	Législation - Réglementation	91
7.2.	Principales circulaires.....	91
7.3.	Publication de guides	91
8.	ANNEXES.....	92
	ANNEXE 1 : GRILLES D'AIDE A LA CARTOGRAPHIE DE L'ALEA MVT (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM/RP-66346-FR DE NOVEMBRE 2016).....	93

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Evénements météorologiques majeurs survenus à la Réunion.....	15
Tableau 2 :	Stations météorologiques situées sur la commune de Sainte-Rose (données : ©Météo-France)	32
Tableau 3 :	Stations météorologiques situées à proximité immédiate de la commune de Sainte-Rose (données : ©Météo-France)	33

Tableau 4 : Précipitations journalières décennales et centennales relevés relatifs à la commune de Sainte-Rose (source : © Météo France).....	34
Tableau 5 : Cumul de pluie moyen par jours entre 1981 et 2010 pour les deux stations pluviométriques disponibles de la commune (source : Bulletin climatologique 2017 – © Météo France)	34
Tableau 6 : Tailles et débits de crue centennaux des principaux cours d'eau sur le territoire de Sainte-Rose (source : SOGREAH, 2001 dans les annexes du PPR de 2010).....	36
Tableau 7 : Evolution de la population de Sainte-Rose (source : ©INSEE)	38
Tableau 8 : Liste de arrêtés de catastrophes naturelles. Source : www.georisques.gouv.fr, mis à jour le 22 mars 2018	42
Tableau 9 : Liste des cyclones, tempêtes tropicales et épisodes pluvio-orageux majeurs ayant concerné la commune de Sainte-Rose. Sources : Météo France, firinga.com, archives diverses .	42
Tableau 10 : Types de phénomènes rencontrés en fonction des catégories de terrain	44
Tableau 11 : Caractérisation de l'aléa inondation pour la crue centennale en fonction des vitesses et des hauteurs d'eau	59
Tableau 12 : Echelle qualitative de probabilité d'occurrence (LCPC, guide technique sur les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux, 2004).....	63
Tableau 13 : Principe de grille de qualification des aléas	64
Tableau 14 : Définition du niveau d'aléa MVT résultant en fonction des différents aléas caractérisés	65
Tableau 15 : Traduction de l'aléa MVT en lien avec les phénomène d'érosion en fonction de l'aléa INONDATION	67
Tableau 16 : Principe de traduction réglementaire des aléas du PPR de Sainte-Rose.....	70
Tableau 17 : Légendes des extraits cartographiques du projet de PPR	70

Liste des figures

Figure 1 : Délimitation du territoire communal de Sainte-Rose.....	24
Figure 2 : Extrait de la cartographie géologique de la commune de Sainte-Rose d'après la carte géologique à 1/100 000 (fond ©IGN scan100® - 2010).....	26
Figure 3 : Extrait de la cartographie pédologique de la commune de Sainte-Rose d'après la carte morpho-pédologique à 1/50 000 (©CIRAD - Raunet, 1988)	29
Figure 4 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France)	31
Figure 5 : Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010).....	32

Figure 6 : Localisation des stations météo à proximité de Sainte-Rose (en gras, les stations non fermées) (©IGN Scan100® - 2010).....	33
Figure 7 : Réseau hydrographique principal (en bleu) et bassins versants de Sainte-Rose (en noir) (source : BDCarthage2006®, BDtopo2019®, fond ©IGN scan100® - 2010).....	37
Figure 8 : Evolution de la population de Sainte-Rose (source ©I.N.S.E.E.).....	38
Figure 9 : Chute d'un bloc isolé.....	46
Figure 10 : Éboulement.....	46
Figure 11 : Effondrement au niveau du belvédère du Cassé de la Rivière de l'Est (février 2020) ..	46
Figure 12 : Éboulement d'un pan de falaise le 23 avril 2018	47
Figure 13 : Éboulement sur la RN2 du 11 octobre à l'émergence est du rempart de Sainte-Rose dans le secteur d'Îlet Leroux (Note Technique BRGM/SGR/REU – NT 2009-88 – V2)	48
Figure 14 : Éboulement en rive droite de la Rivière de l'Est (décembre 2016).....	48
Figure 15 : Coupe type d'un glissement circulaire	49
Figure 16 : Représentation schématique du glissement-coulée	50
Figure 17 : Embâcle et retenue d'eau observées en juillet 2009 suite à un éboulement dans le lit de la Rivière de l'Est (source : http://www.georisques.gouv.fr/).	51
Figure 18 : Cartographie de l'intensité de l'érosion des sols sur la commune de Sainte-Rose (source : rapport BRGM RP-52031-FR).....	53
Figure 19 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction des caractéristiques d'écoulement	55
Figure 20 : Exemple de représentation de la notion de continuité du niveau d'aléa.....	57
Figure 21 : Érosion due à un ruissellement important Place des Fêtes à Piton Sainte-Rose.....	60
Figure 22 : Sous-cavage observé sur la Ravine Bonin au pied d'une habitation.....	72
Figure 23 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de La Marine – Centre-Ville	74
Figure 24 : Vue amont de l'ouvrage sur le Chemin Piton Galets	75
Figure 25 : Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale, secteur de La Ravine Glissante. HYDRETUDES, 2021.	76
Figure 26 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur du La Ravine Glissante.....	79
Figure 27 : Carte de localisation de l'emprise du projet (polygone rouge) (fond ©IGN SCAN 25® TOPO version 3® - 2015).....	80
Figure 28 : Glissement de terrain du 21 décembre 2017 réactivé en avril 2018 lors de la forte tempête tropicale Fakir.	81

Figure 29 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de l'Anse des Cascades	83
Figure 30 : Ravine Constantin au niveau du stade Lotissement les Vacoas la Source (route forestière)	84
Figure 31 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de Bois Blanc.....	87

Préambule

Ce dossier est le **Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles (P.P.R.) inondations et mouvements de terrain de la commune de Sainte-Rose**. Il a été établi conformément aux dispositions législatives instituées par la loi Barnier n° 95-101 du 2 février 1995 (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).

Ce dossier comporte plusieurs documents informatifs et réglementaires :

✓ les documents informatifs :

- une cartographie des aléas naturels (mouvements de terrain et inondations) à l'échelle du 1/ 22 500 et du 1/5 000 ;
- une cartographie de localisation des phénomènes naturels historiques (inondations et mouvements de terrain) à l'échelle 1/22 500;
- une cartographie des équipements sensibles (enjeux) de la commune à l'échelle 1/22 500.

✓ les documents réglementaires :

- la note de présentation : elle décrit succinctement le territoire d'étude et les phénomènes naturels qui le concernent, ainsi que les règles méthodologiques adoptées ;
- une cartographie du zonage réglementaire à l'échelle du 1/ 22 500 et du 1/5 000 ;
- le règlement associé au zonage réglementaire.

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

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

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 cyclones, les fortes pluies, les glissements de terrain et les chutes de pierres 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 naturelle. 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.

L'Ile de La Réunion, de par sa vulnérabilité face aux événements cycloniques, est la région française la plus exposée aux aléas naturels. Elle subit régulièrement les effets dévastateurs des conditions météorologiques (pluies, vent, houles et surcote cyclonique) induites par les cyclones (cf. ci-après tableau des événements majeurs historiques).

La commune de Sainte-Rose, peuplée de 6 418 habitants (population recensée par l'INSEE en 2017), est affectée par des phénomènes de mouvements de terrain et/ou d'inondations, comme en témoigne la carte des phénomènes historiques (annexe 2 du dossier de PPR), impactant plus ou moins durement les activités humaines.

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 le territoire communal ont justifié de la part du Service instructeur des PPR (Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement ou DEAL) l'élaboration d'un PPR multirisques (« inondations et mouvements de terrain ») de la commune de Sainte-Rose.

1.1. ORGANISATION DE LA GESTION DES RISQUES

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

- l'**information** sur les risques est un droit pour les populations menacées. Cette information est organisée par le préfet et les maires dans les conditions fixées initialement par le décret du 11 octobre 1990 modifié et par la loi n°2003-699 du 30 juillet 2003 et désormais codifiées aux articles L. 125-2, L. 125-5 et R. 125-5 et suivants du code de l'Environnement. Ces dispositions prévoient notamment que dans les communes où un plan de prévention des risques naturels a été approuvé, le maire informe la population au moins une fois tous les deux ans par des réunions publiques communales ou tout autre moyen approprié. Cette information est délivrée avec l'assistance des services de l'Etat compétents ;
- la **gestion prévisionnelle des crises** s'appuie sur des systèmes d'alerte et s'organise dans les plans de secours spécialisés mis en œuvre par l'Etat et les collectivités ;
- les **travaux de protection**, à l'initiative des communes ou d'associations, bénéficient de subventions dans le cadre de programmations pluriannuelles (Programme Pluriannuel d'Endiguement des Ravines, Plan de Gestion du Risque d'Inondation par exemple) ;
- 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 provoquer notamment par l'imperméabilisation des sols, la canalisation des rejets pluviaux et les divers travaux de terrassement. Ces phénomènes sont également constatés sur l'île de La Réunion qui subit régulièrement les effets dévastateurs des cyclones et des fortes pluies (cf. le tableau des événements majeurs historiques présenté en 1.4).

La commune de Sainte-Rose est particulièrement concernée par cette politique de prévention car exposée aux aléas liés aux cyclones, pluies et mouvements de terrain importants, 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 dans la loi n°2003-699 du 30 juillet 2003, et notamment son article 40 :

« 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 décret n°2005-233 du 14 mars 2005 fixe les conditions d'application de l'article 42 de la loi du 30 juillet 2003 :

« Dans les zones exposées au risque d'inondations, le maire, avec l'assistance des services de l'Etat compétents, procède à l'inventaire des repères de crues existant sur le territoire communal et établit les repères correspondant aux crues historiques, aux nouvelles crues exceptionnelles ou aux submersions marines. La commune ou le groupement de collectivités territoriales compétent matérialisent, entretiennent et protègent ces repères ».

Le code de la sécurité intérieure dispose 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 de l'article 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 (P.P.R.) NATURELS PREVISIBLES

Le 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 commune de Sainte-Rose est dotée d'un Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles approuvé par l'arrêté préfectoral n°0096 du 25 Janvier 2011. Des modifications, prescrites par l'arrêté préfectoral n°2018-2649 du 27 décembre 2018, dans le secteur de l'Anse des Cascades ont été apportées à ce dernier et approuvées par l'arrêté préfectoral n°2019-2300 SG/DCL/BU du 20 Juin 2019.

La procédure de révision du Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles sur la commune de Sainte-Rose a été prescrite par l'arrêté préfectoral n°2021-1820 du 15 septembre 2021.

Sont pris en compte dans la présente élaboration du Plan de Prévention des Risques de la commune de Sainte-Rose les risques relatifs aux crues par débordement des ravines, les chutes de pierres ou de blocs, les éboulements, les glissements de terrain et coulées de boue associées, les érosions de berge et le ravinement sur l'ensemble du territoire communal.

1.4. CATASTROPHES NATURELLES A LA REUNION

Tableau 1 : Evénements météorologiques majeurs survenus à la Réunion

1875 Salazie « le Grand sable » : 63 personnes ensevelies par un glissement	Février 1987 tempête Clotilda : 9 morts ; dégâts très importants	Mars 2006 Tempête tropicale modérée Diwa : 4 morts, pluies importantes
Janvier 1948 Cyclone : 16 morts ; dégâts énormes	Janvier 1989 cyclone Firinga : 4 morts ; dégâts très importants	Février 2007 Cyclone Gamède : 2 morts, dégâts importants
Février 1962 cyclone Jenny : 36 morts ; dégâts importants	Janvier 1993 cyclone Colina : 2 morts ; dégâts importants	Janvier 2014 Cyclone Bèjisa : 1 mort, dégâts importants
Janvier 1966 cyclone Denise : 3 morts ; dégâts importants	Février 1998 tempête Anacelle : 1 mort ; dégâts importants	Janvier 2018 Tempête tropicale modérée Berguitta : pluies et dégâts importants dans le sud-ouest de la Réunion
Janvier 1980 tempête Hyacinthe : 25 morts ; 1 milliard de francs de dommages	Janvier 2002 cyclone Dina : 2 morts, dégâts très importants	Avril 2018 Forte tempête tropicale Fakir : 2 morts

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.*

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.

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.

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 P.P.R. :

« 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. »

L'État est responsable de l'élaboration et de la mise en application du PPR et c'est le Préfet qui l'approuve, après avis des conseils municipaux et communautaires concernés et l'enquête publique.

Le PPR vaut servitude d'utilité publique (article L.562-4 du Code de l'Environnement). Il est annexé au Plan Local d'Urbanisme, conformément à l'article 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 PPR 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 de révision du PPR est l'arrêté préfectoral de révision n°2021-1820 du 15 septembre 2021.

Cet arrêté précise dans son article 1 que le périmètre mis à l'étude concerne l'ensemble du territoire de la commune de Sainte-Rose, et dans ses articles 1 et 2 que les risques relatifs aux « mouvements de terrain » (chutes de pierres ou de blocs, les éboulements, les glissements de terrain et coulées de boues associées, les érosions de berge et le ravinement) et aux « inondations » (crues par débordement de ravines) sont pris en compte.

2.2.2. Etat des réflexions menées

Le projet de Plan de Prévention des Risques 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). Les principales étapes d'élaboration du PPR ont été les suivantes :

- 25 janvier 2011 : approbation du PPR inondation (arrêté préfectoral n°0096) ;
- 27 décembre 2018 : prescription des modifications sur le secteur de l'Anse des Cascades (arrêté préfectoral n°2018-2649 SG/DCL/BU) ;
- 20 juin 2019 : approbation des modifications (arrêté préfectoral n°2019-2300 SG/DCL/BU) ;
- octobre et novembre 2019 : cartographie de l'aléa inondation - BRGM ;
- février et avril 2020 : cartographie de l'aléa mouvements de terrain - BRGM ;
- 13 et 14 mai 2020 : visite de terrain pour préciser les aléas inondation et mouvements de terrain, notamment au niveau des ouvrages de franchissement pour le débordement des cours d'eau ;
- 18 Novembre 2020 : réunion de présentation du PPR aux élus du nouveau conseil municipal de la commune de Sainte-Rose ;

- 20 janvier 2021 : visite de terrain et entretien avec la Commune suite aux remarques de celle-ci après la réunion précédente ;
- 10 mars 2021 : réunion de présentation de l'avancement du projet de PPR en vue du PAC de 2021 en présence de Monsieur le Maire de la commune de Sainte-Rose ;
- Mars 2021 : Porter A Connaissance (PAC) auprès des services de la Mairie de Sainte-Rose de la cartographie de l'aléa inondations et mouvements de terrain – Courrier de Mr Le Préfet au Maire avec transmission des cartographies des aléas inondations et mouvements de terrain couvrant le territoire communal ;

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

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

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

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

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

Après la phase de consultation officielle, le projet de dossier sera 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 consignés ou annexés 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.5 62-8, 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 ».

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 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 nouvelles pour l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles

Par arrêtés du 05 septembre 2000 du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie (publiés au journal officiel du 05 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 nouvelles 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'emporte aucune mesure d'expropriation. Une procédure d'expropriation indépendante du PPR est prévue par les articles 11 et suivants de la loi du 02 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 des secteurs 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'État (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

La commune de Sainte-Rose est située au sud-est de l'île de La Réunion sur les pentes nord-est du massif du Piton de la Fournaise (Figure 1). Le territoire communal s'étend sur une superficie de plus de 177 km², soit 7% de la surface totale de l'île de La Réunion.

Les limites communales sont essentiellement naturelles avec l'Enclos Fouqué au sud, puis la Plaine des Sables au sud-ouest, la Rivière de l'Est et ses remparts à l'ouest et la bordure littorale à l'est. Sainte-Rose est limitrophe avec les communes de Saint-Benoît au nord-est, de La-Plaine-des-Palmistes et du Tampon à l'ouest, de Saint-Joseph au sud-ouest et de Saint-Philippe au sud.

Le point culminant de la commune se situe dans l'enclos Fouqué, au niveau du Cratère Dolomieu, à près de 2620m d'altitude.

Une grande partie de la commune appartient au Parc National de La Réunion (environ 125 km² soit 70 % de la surface de la commune) est classée au patrimoine mondial de l'UNESCO.

Sainte-Rose appartient à la Communauté Intercommunale Réunion Est (CIREST).

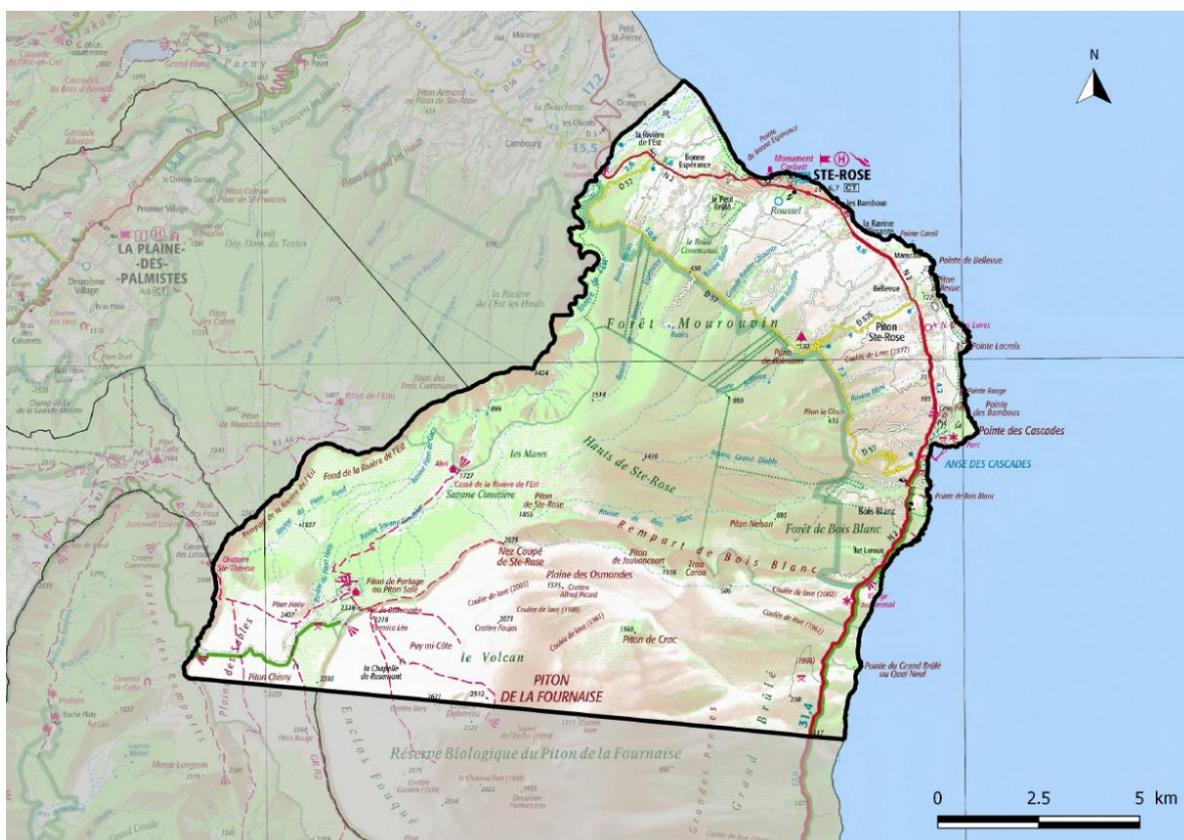


Figure 1 : Délimitation du territoire communal de Sainte-Rose

3.1.2. Contexte géologique

La commune de Sainte-Rose est constituée sur la pointe nord d'une formation superficielle et récente de dépôts alluviaux charriés par la Rivière de l'Est. Le reste du territoire intègre la formation du assif du Piton de la Fournaise (> à 530 000 ans), volcan actif dont l'édification a commencé il y a 530 000 ans (530 ka) (Figure 2).

Pendant sa construction, le massif de la Fournaise a été affecté par des glissements de flancs (glissement de la Rivière des Remparts vers 290 ka et de Grand Coude vers 150 ka), ainsi que par la formation de quatre caldeiras :

- La caldeira de la Rivière des Remparts vers 250 ka,
- La caldeira du Morne Langevin vers 150 ka,
- La caldeira de la Plaine des Sables vers 60 ka,
- La caldeira de l'Enclos Fouqué vers 4,5 ka.

Les caldeiras ont fortement influencé la morphologie actuelle du massif, en isolant certains flancs du volcan de l'épanchement des coulées de laves et d'un autre côté en limitant l'accumulation de coulées de laves tabulaires à un domaine "clos". Les laves ont cependant parfois débordé de la caldeira.

L'érosion provoquée par la Rivière de l'Est a mis à jour les séries les plus anciennes (série alcaline anté-Fournaise allant de 530 000 ans à 450 000). Au contraire, l'activité intense du volcan (à raison d'une éruption tous les neuf mois en moyenne) apporte des matériaux jeunes qui se retrouvent le long du littoral et au nord de l'Enclos à l'intérieur de la caldeira de la plaine des Sables.

Les formations volcaniques

Les séries récentes : coulées basaltiques du massif du Piton de la Fournaise (β3 à β7)

La classification des coulées basaltiques β3 à β7 de la carte géologique (cf. Figure 2) marquent différentes phases d'activité du volcan séparées par des périodes de calme :

- Coulées différenciées de la série alcaline anté-Fournaise (β3, 530 000 à 450 000 ans) ;
- Les coulées basaltiques de la série du bouclier ancien du Piton de La Fournaise (β4, 450 000 à 150 000 ans) ;
- Les coulées basaltiques de la série des Remparts du Piton de La Fournaise (β5, 150 000 à 65 000 ans) ;
- Les coulées basaltiques de la série de la Plaine des Cafres du Piton de La Fournaise (β7, 65 000 à 5000 ans).

Durant les phases d'activité volcaniques, des empilements de laves basaltiques et de scories se forment sur plusieurs mètres voire centaines de mètres de hauteur. Suite à certaines éruptions, des effondrements du sommet du massif se produisent laissant dans le paysage des traces géomorphologiques visibles de nos jours (remparts des Sables, remparts de l'Enclos de Fouqué). Associées à ces phases majeures, de nombreux puys et fissures fonctionnent non seulement à l'intérieur de la zone effondrée, mais aussi à l'extérieur.

Les périodes de calme, qui succèdent chaque phase d'activité, sont marquées par une altération des terrains et par l'érosion des reliefs de manière plus ou moins intense.

Les formations tardives : Pitons et projections (tfp)

Les pitons sont nombreux sur la commune de Sainte-Rose, notamment dans le secteur de l'anse des cascades et sur la plaine des Sables. Leur construction résulte d'activités explosives depuis les cratères adventifs situés sur les flancs du volcan ou depuis les plaines sommitales. Ces cônes ont des morphologies très variées : cônes emboîtés, aplatis, égouelés.

Les pitons sont constitués de scories rougeâtres grossières, parfois soudées et altérées, imbriquées avec les coulées de lave qui se sont épanchées depuis ces petits cratères. En périphérie des cônes, les projections sont plus fines constituées de lapilli et cendres. Les dépôts correspondent aux aires de saupoudrage cendreux. Les sols des parcelles situées en périphérie sont localement très épais, métriques à pluri-métriques. Les cendres se sont transformées en andosols.

Les formations superficielles

Sur le territoire de Sainte-Rose, les seules formations superficielles rencontrées se trouvent en aval de la Rivière de l'Est.

Alluvions anciennes et récentes (Fz) : L'épaisseur de ces terrains peut varier de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. On les trouve sous forme de terrasses perchées ou de remplissage d'anciens chenaux ou alors sous forme de couches d'épaisseur métrique à décimétrique interstratifiées dans les formations volcaniques.

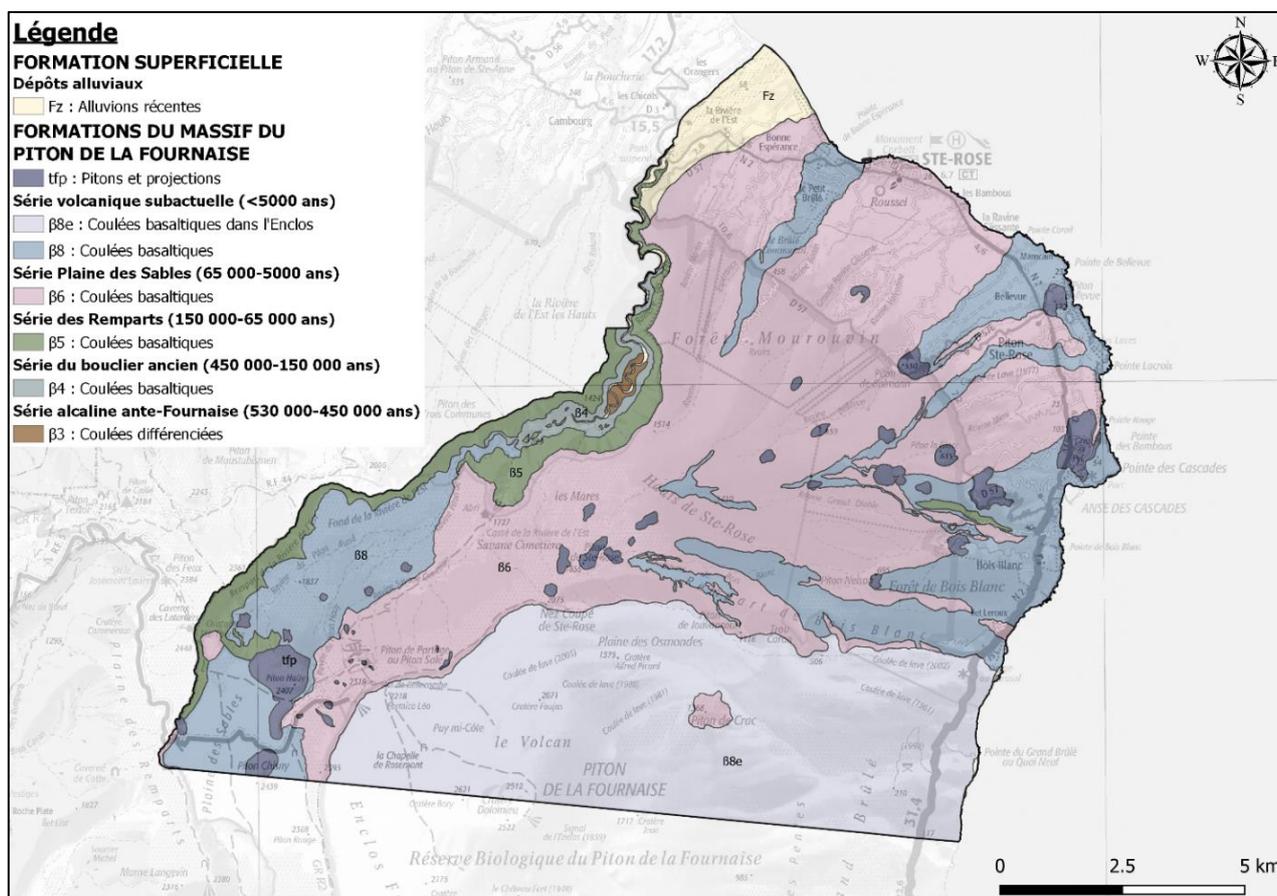


Figure 2 : Extrait de la cartographie géologique de la commune de Sainte-Rose d'après la carte géologique à 1/100 000 (fond ©IGN scan100® - 2010)

3.1.3. Contexte géomorphologique

La commune de Sainte-Rose se caractérise par quatre entités morphologiques distinctes :

- Au nord, nord-est, le secteur de la Rivière de l'Est marqué par une forte incision fluviale dans la formation du massif du Piton de la Fournaise découvrant les séries les plus anciennes allant de 530 000 ans (série alcaline anté-Fournaise) à 65 000 ans (série des remparts). L'important transport fluvial conduit à la formation d'un cône de déjection de 670 m de large formé par des alluvions récentes. L'ensemble de la rivière est très encaissé, et encadré par des falaises allant de 700 m à 10 m au niveau de l'exutoire. Dans ce secteur, seul le lieu-dit la Rivière de l'Est est habité en rive droite du cône de déjection ;
- Au sud, l'Enclos Fouqué entouré par les remparts de Bois Blanc qui varient en hauteur de 200 à 300 m au Sud jusqu'au Nez Coupé de Sainte-Rose et jusqu'à 100 m en moyenne jusqu'aux remparts de Bellecombe où se situe la limite communale. Mis à part le Piton de Crac culminant à 1368 m et formé par les coulées basaltiques de la série de la Plaine des Sables, l'ensemble est constitué par la série volcanique subactuelle des coulées basaltiques dans l'Enclos ;
- La planèze constituée par les coulées basaltiques de la série de la Plaine des Sables, entrecoupée de ravines régulièrement espacées. L'ensemble est formé exclusivement des terrains naturels et agricoles jusqu'à la D 57 et descend en pente régulière des Hauts de Sainte Rose au niveau du Cassé de la Rivière de l'Est. Les coulées basaltiques subactuelles (< 5000 ans) et les pitons et projections constellent cet ensemble notamment sur le littoral ;
- La plaine alluviale qui s'étend de Saint-Benoit à Sainte-Rose caractérisée par des pentes plus douces (entre 0° et 15°) et localisée entre la D 57 et le littoral. Cinq pitons (Piton Galets, Piton de Balmann, Piton Bellevue, Piton Moka et Gros Piton) d'une centaine de mètres de hauteur chacun ressortent de la topographie. Les terres fertiles sur ce secteur et le climat arrosé ont permis le développement de nombreux champs de canne à sucre sur l'ensemble de la plaine.

L'ensemble des terrains sont incisés par des ravines qui prennent naissance au niveau du lieu-dit les Mares dans les Hauts de Sainte Rose. Les principales ravines du territoire sont, du nord au sud :

- La Rivière de l'Est ;
- Ravine Martin ;
- Ravine de Bonne Esperance ;
- Ravine Bonin ;
- Grande ravine Glissante ;
- Ravine Valentine ;
- Ravine Bellevue ;
- Ravine Mimi ;
- Ravine Grand Diable ;
- Ravine de Bois Blanc.

La Rivière de l'Est, délimitant les communes de Sainte-Rose et de Saint-Benoit, présente le plus fort débit de la commune (1450 m³/s en crue centennale). Cette profonde incision forme des remparts hauts de 700m en moyenne.

3.1.4. Contexte pédologique

D'après la Figure 3, quatre grands ensembles de sols se distinguent sur la commune de Sainte-Rose :

- Les andosols (sol humide peu évolué de montagne comportant un horizon supérieur riche en matière organique et une roche mère d'origine volcanique (USDA)) localisés sur la planèze ;
- Les cônes volcaniques de la phase actuelle, sub-actuelle et intermédiaire qui se répartissent sur toute la surface de la commune et plus majoritairement à proximité de l'enclos Fouqué ;
- Les coulées brutes en gratons qui occupent l'enclos Fouqué après le cratère Dolomieu, toute la zone de Bois Blanc et l'aval de la Rivière de l'Est ;
- Les sables et galets submersibles, sols peu différenciés, peu épais et blocailleux sur colluvions de transit restreints aux lits anciens et actuels et au cône de déjection de la Rivière de l'Est.

Ces ensembles sont entrecoupés par des grands escarpements (ravine, rempart...).

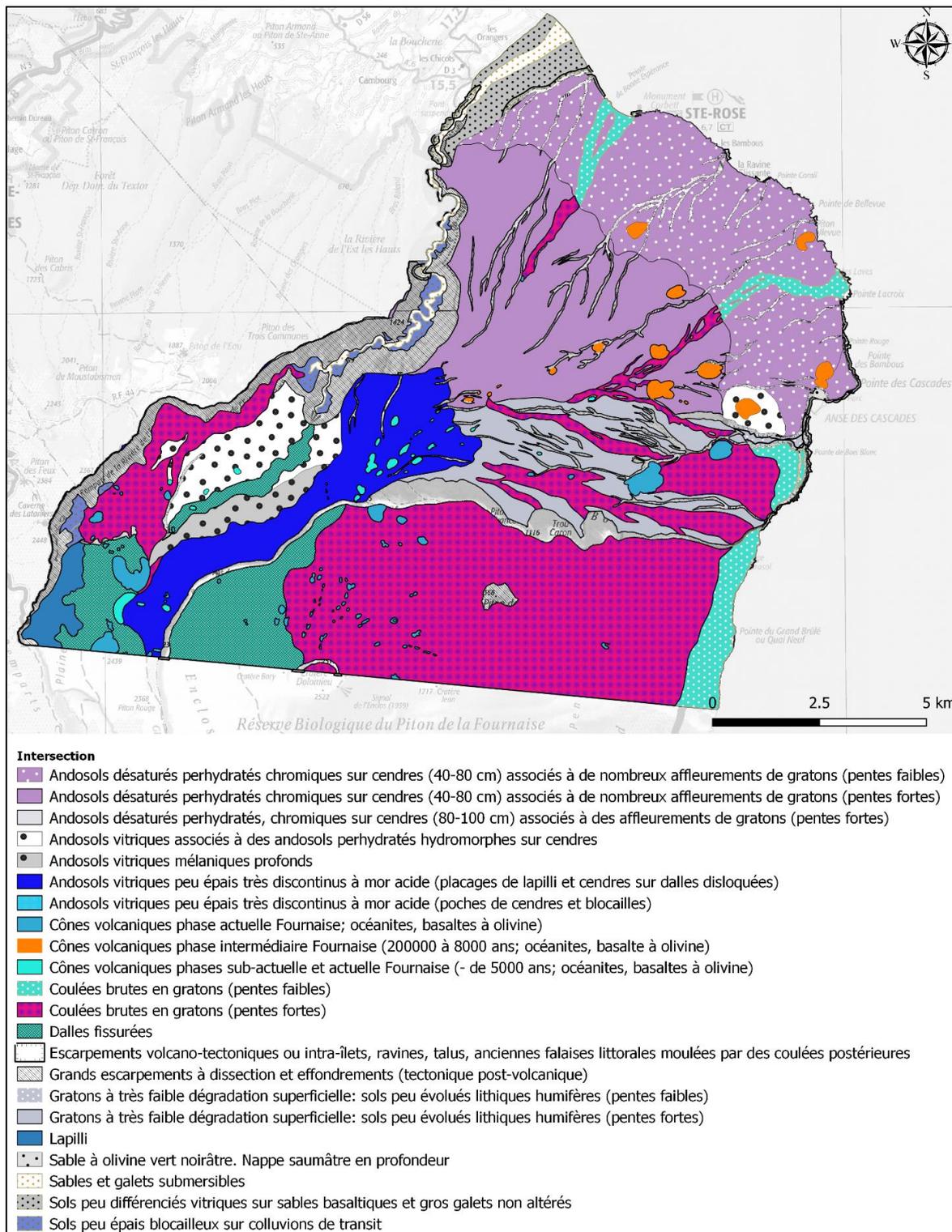


Figure 3 : Extrait de la cartographie pédologique de la commune de Sainte-Rose d'après la carte morpho-pédologique à 1/50 000 (©CIRAD - Raunet, 1988¹)

¹ Raunet M., 1988 - Département de la Réunion. Carte morpho-pédologique au 1:50000 en quatre feuilles. Cirad-Irat et région Réunion.

3.1.5. Contexte climatique

Vent

À 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. Pendant la saison froide, de mai à novembre l'alizé est de sud-est alors que pendant la saison chaude, de décembre à avril, il est de nord-est. L'exposition au vent dominant et le relief déterminent une division de l'île en deux parties : une région au vent du nord à l'est, à forte pluviométrie ; une région sous le vent au sud et à l'ouest, à moyenne ou faible pluviométrie.

La commune de Sainte-Rose, située sur la pointe nord-est de l'île, est fortement soumise à l'alizé pendant la saison sèche (hivers austral) et à la mousson pendant la saison des pluies. Il en résulte des vents violents durant la saison cyclonique. Des rafales à 234 km/h ont ainsi été enregistrées durant le cyclone Hollanda le 11/02/1994 au Gros Piton Sainte-Rose ; 209 km/h relevé au gîte de Bellecombe le 22/01/2002 lors du cyclone Dina. Lors de la dernière tempête de la saison cyclonique 2017-2018 (Fakir), des vents à 176 km/h ont été relevés au Gros Piton Sainte-Rose.

Pluviométrie

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

Une des conséquences de cette situation est une pluviométrie exceptionnellement intense à La Réunion : l'île détient les records mondiaux de pluviométrie cumulée pour des durées allant de 3 h (500 mm) à 12 jours (6 000 mm), dont cinq records relevés au cratère Commerson au sud-ouest du territoire communal.

Avec sa position sud-est, Sainte-Rose est la commune la plus pluvieuse de l'île (Figure 4) : il tombe en moyenne 5000 mm d'eau par an contre 750 mm sur Saint Paul. L'ensemble du territoire est concerné par des cumuls importants de précipitations qui varient entre 5000 mm et plus de 10 000 mm. Les pluies régulières y sont également intenses, suite à la Forte Tempête Tropicale Fakir du 23 et 24 avril 2018, 176 mm sont tombés en 1h (Hauts de Sainte-Rose, alt. 820 m).

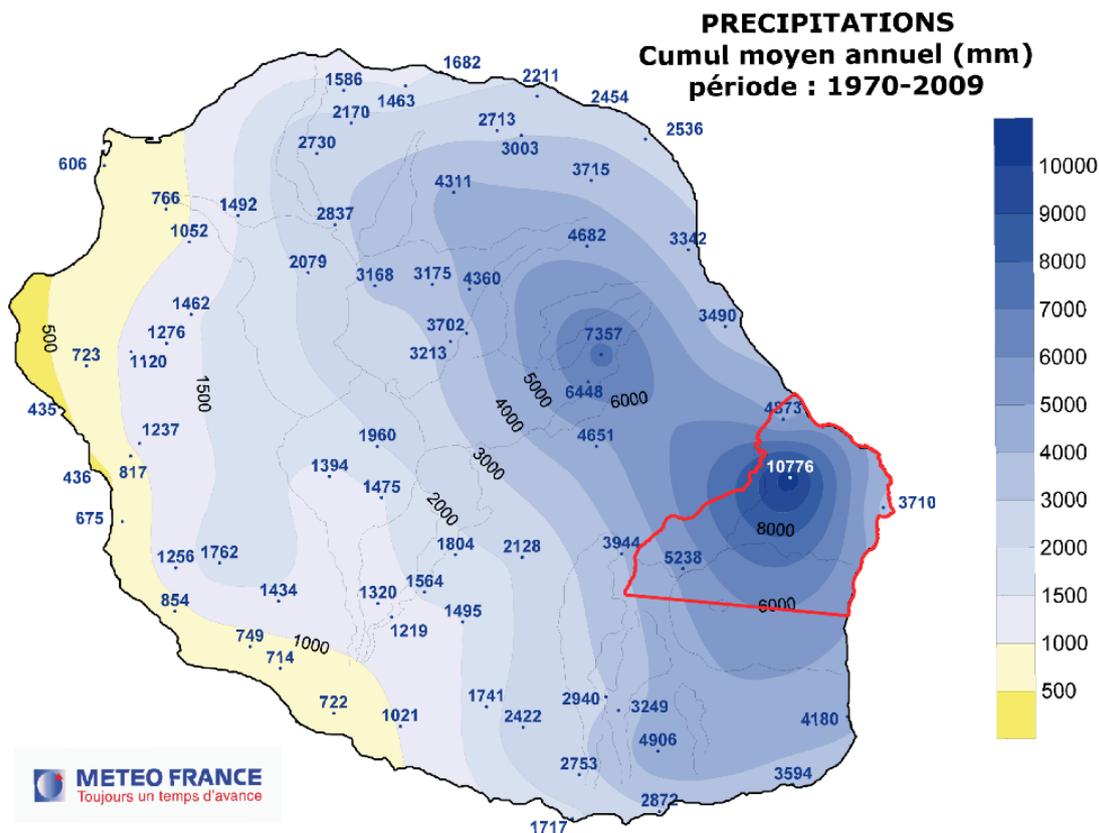


Figure 4 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France)

Météo France Réunion a réalisé une carte de zonage pluviométrique en 2010, tenant compte du relief (Figure 5), qui qualifie les secteurs soumis à un régime pluviométrique similaire à proche. La commune de Sainte-Rose est principalement concernée par les régions 4 et 7 :

- La région 4 correspond à la zone qui s'étend du Piton des Neiges au Piton de la Fournaise, intégrant la Plaine-des-Cafres, la Plaine-des-Palmistes et le plateau de Bébour / Belouve. C'est l'une des parties les plus arrosées de l'île.
- La région 7, située dans l'Est de l'île, est la côte "au vent", elle s'étend de Saint-Benoît à Saint-Philippe. C'est la partie la plus arrosée de l'île

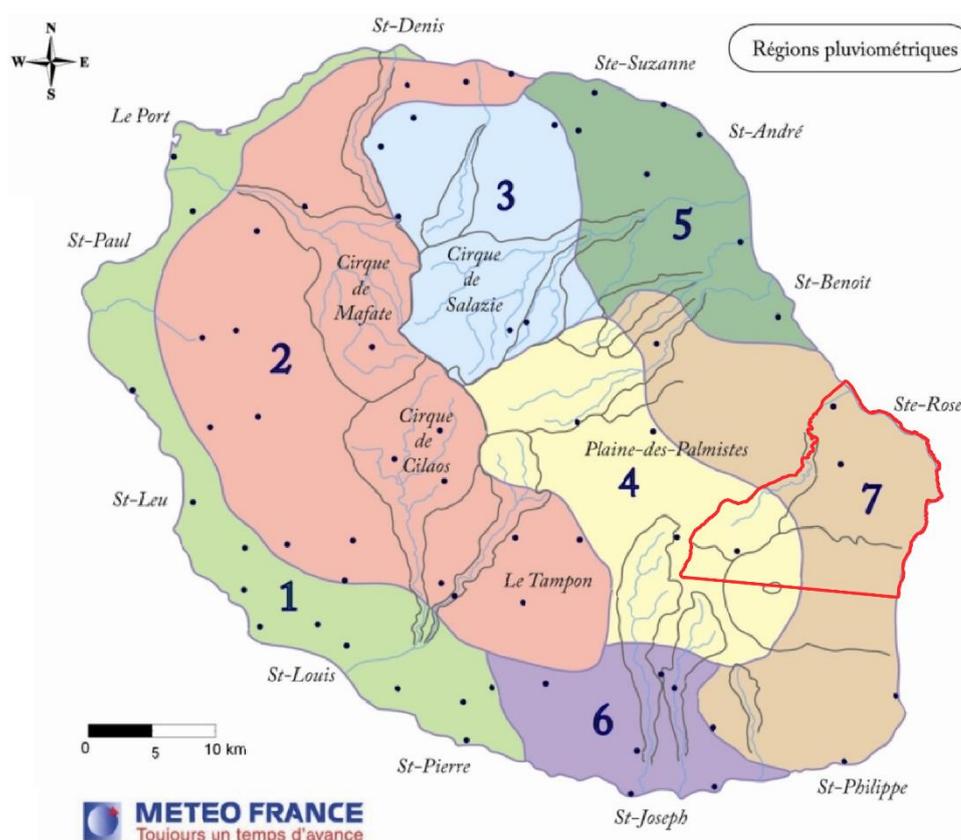


Figure 5 : Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)

Concernant les stations météorologiques, 4 stations sur 13 sont installées et en fonctionnement actuellement sur le territoire de Sainte-Rose :

Tableau 2 : Stations météorologiques situées sur la commune de Sainte-Rose (données : ©Météo-France)

Nom de Station	Altitude (m)	Date d'ouverture	Date de fermeture
Bellecombe-Jacob	2245	01/11/1966	
Gros Piton Sainte-Rose	181	01/09/1987	
Hauts de Sainte-Rose - SAPC	820	01/07/1973	
Rivière de l'Est - CIRAD	144	01/01/1953	
Ravine Glissante - CIRAD	60	01/06/2007	Fermé actuellement
Bois Blanc	120	01/01/1952	31/01/1987
Chisny	2335	01/07/1968	31/05/1982
Piton des Basaltes	2446	01/05/1988	30/11/1993
Piton Sainte-Rose	55	01/01/1950	30/04/1977
Rivière de l'Est EER	670	01/01/1970	30/06/1973
Sainte-Rose - 1400	1380	01/06/1993	28/02/1997
Sainte-Rose - Indivis	400	01/06/1993	28/02/1997
Sainte-Rose - Trois-tête	900	01/05/1993	28/02/1997

Toutefois, pour élargir le champ d'informations, et vu le zonage pluviométrique au droit de la commune de Sainte-Rose (cf. Figure 5), les données pluviométriques des stations actuellement

ouvertes situées à proximité immédiate de la limite communale peuvent également être considérées (Figure 6 et Tableau 3).

Tableau 3 : Stations météorologiques situées à proximité immédiate de la commune de Sainte-Rose (données : ©Météo-France)

Nom de Station	Altitude (m)	Date d'ouverture	Date de fermeture
Commerson - SACP	2310	01/01/1968	
Cambourg	245	01/03/1958	30/11/1993
Foc-Foc	2290	01/01/1966	31/12/1990
Le Volcan - Bory	2580	01/11/1966	30/04/1975
Pas des Sables	2310	01/08/1968	31/10/1971

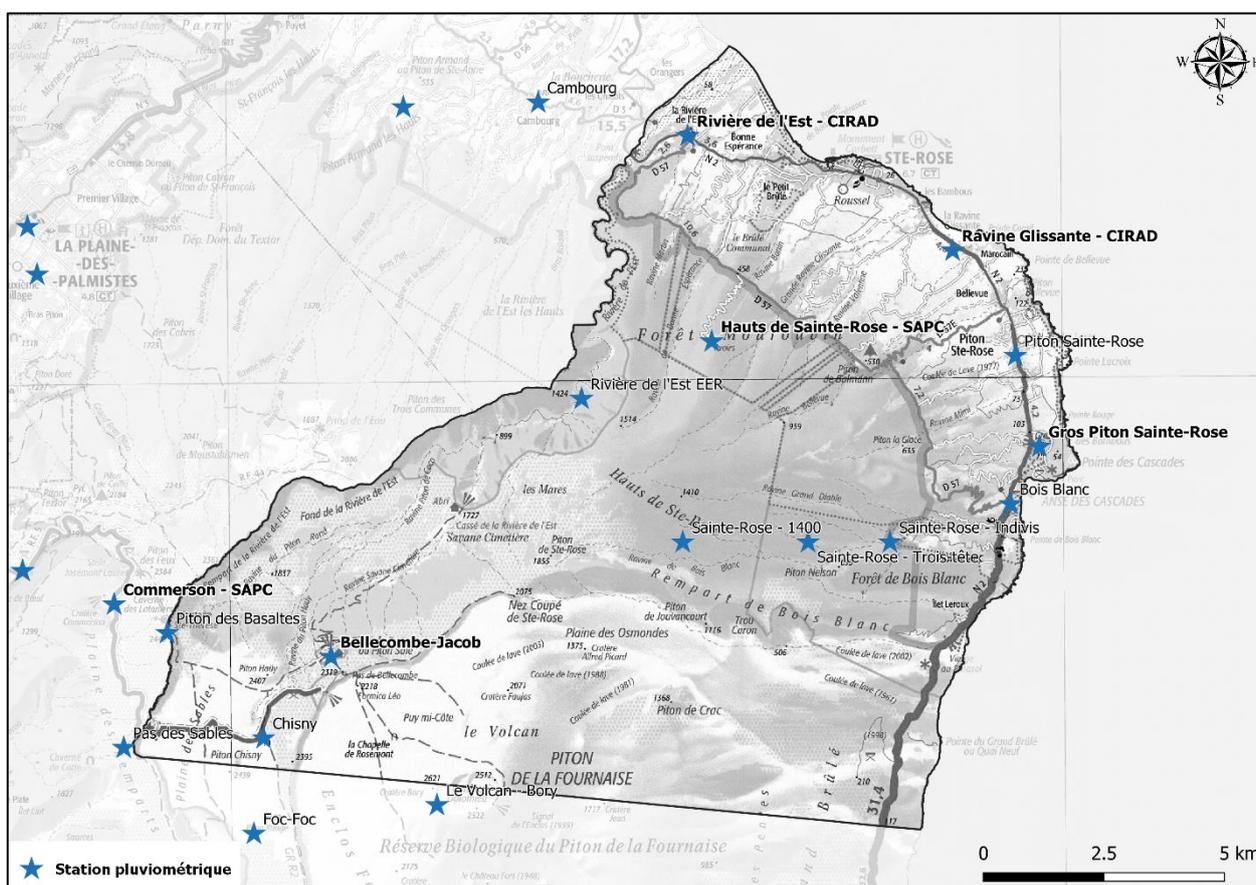


Figure 6 : Localisation des stations météo à proximité de Sainte-Rose (en gras, les stations non fermées) (©IGN Scan100® - 2010)

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 les principales stations proches de Sainte-Rose sont les suivantes :

Tableau 4 : Précipitations journalières décennales et centennales relevés relatifs à la commune de Sainte-Rose (source : © Météo France)

Nom station	Altitude	Pluie Journalière Décennale (PJ10 en mm)	Pluie Journalière Centennale (PJ100 en mm = 1,6* PJ10)
Piton Sainte Rose	55 m	356	569
Rivière de l'est	195 m	419	665
Bois Blanc	120 m	430	688
Gîte de Bellecombe	2245 m	721	1153
Hauts de Sainte-Rose	820 m	772	1235
Cratère Commerson	2310 m	1019	1630

La comparaison entre les pluies journalières maximales disponibles observées sur les différentes stations du territoire de Sainte-Rose depuis leur ouverture, ainsi que l'analyse du cumul moyen annuel des pluies caractéristiques, confirment le contraste de pluviométrie selon l'altitude et donc le zonage pluviométrique à considérer. Au niveau de la station de **Gros Piton Sainte Rose**, 2 jours sur 3 sont pluvieux. Le seuil de précipitations de 50 mm par jour est dépassé en moyenne 20 jours par an au niveau de la station du Gros Piton Sainte-Rose

Tableau 5 : Cumul de pluie moyen par jours entre 1981 et 2010 pour les deux stations pluviométriques disponibles de la commune (source : Bulletin climatologique 2017 – © Météo France)

Station	Date d'ouverture	Altitude (m NGR)	Nombre de jours moyen (période de 1981-2010) où le cumul (en mm) est ≥ à				Maximum absolu quotidien depuis l'ouverture	
			1	10	50	100	Valeur (en mm)	Date
Bellecombe	01/11/1966	2245	198,5	83,3	22,7	12,0	1131,0	24/02/2007
Gros Piton	01/11/1987	181	229,9	97,6	16,4	4,1	415,2	30/03/1989
Ravine Glissante	01/06/2007	60	-	-	-	-	163,5	24/02/2008
Rivière de l'est	01/01/1953	144	218,2	108,9	23,5	8,0	589,8	26/04/1978
Commerson	01/01/1968	2310	162,9	53,5	14,1	7,6	1504,0	12/02/1987
Hauts de Sainte-Rose	01/07/1973	820	271,8	183,7	64,6	24,6	790,0	12/02/1987

Au-delà d'un seuil de l'ordre de 50 mm de précipitations journalières, il peut être estimé que le sol a atteint sa capacité limite d'infiltration, provoquant un phénomène de ruissellement.

Les précipitations intenses ont des conséquences sur les possibilités d'occurrence des phénomènes, non seulement d'inondations, mais également de mouvements de terrain, qui se produisent principalement durant les mois de janvier à mars, correspondant à la période des pluies (période cyclonique). Les phénomènes climatiques extrêmes au cours desquels les équilibres

naturels sont perturbés, sont par ailleurs à l'origine du déclenchement de nombreux mouvements de terrain (statistiquement - sur une centaine d'années - l'île de la Réunion est concernée par un cyclone tous les deux ans).

D'autre part, si l'augmentation de la fréquence des mouvements de terrain coïncide avec l'arrivée d'un cyclone, le retour à la normale ne coïncide jamais avec son départ. De nombreux terrains sont déstabilisés (perte de cohésion, petits glissements, phénomènes de ravinement) et se retrouvent en position d'équilibre précaire. La plupart des ruptures se produisent bien pendant le paroxysme de la crise climatique, mais certains désordres n'apparaissent que dans les semaines voire les mois qui suivent. De nombreux exemples passés sur le territoire en attestent.

3.1.6. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique sur la commune de Sainte-Rose est très développé avec de nombreuses ravines de taille variable (Figure 7). La grande majorité de ces ravines, à l'exception de la Rivière de l'Est notamment, sont temporaires et actives uniquement lors des fortes pluies. Elles prennent leur source au niveau des Hauts de Sainte-Rose et se déversent à l'océan en traversant la planèze de 20° de pente en moyenne.

Mis à part les ravines situées sur la zone de faible pente de la Plaine des Sables (Ravine de Piton Rond, Ravine de Piton Coco, Ravine du Piton Haÿy et Ravine Savane Cimetièrre) qui viennent alimenter la Rivière de l'Est et drainent des bassins versants étendus, la majorité des bassins versants ont une forme très allongée sur toute la zone d'étude.

La majorité des ravines de Sainte-Rose présentent un débit semblable en crue décennale et centennale (respectivement 35 m³/s et 60 m³/s en moyenne). Quatre ravines se distinguent de l'ensemble par un fort débit : la Rivière de l'Est, la Grande Ravine Glissante, la Ravine Bellevue et la Ravine de Bois Blanc (Tableau 6).

Tableau 6 : Tailles et débits de crue centennaux des principaux cours d'eau sur le territoire de Sainte-Rose
(source : SOGREAH, 2001 dans les annexes du PPR de 2010²)

Nom du cours d'eau	Surface du bassin versant (km ²)	Longueur cours d'eau	Débit pour la crue décennale (m ³ /s)	Débit pour la crue centennale (m ³ /s)
Ravine rivière de l'est	-	16,3 km	650	1450
Ravine Virapin	-	2,5 km	16	35
Ravine Sèche	1,1	4,2 km	35	80
Ravine Emmanuel	-	2,6 km	35	75
Ravine Robert	1,4	5,9 km	30	70
Ravine de Bonne Esperance	-	11,6 km	60	130
Ravine du Coq Chantant	2,7	3,0 km	40	80
Ravine Bonin	0,9	3,3 km	35	70
Ravine Parisse	0,4	2,4 km	20	40
Ravine St Expedit	-	0,309 km	-	-
Grande Ravine Glissante	-	7,6 km	125	265
Petite Ravine Glissante	-	3,7 km	65	140
Ravine Marocain	1,0	3,2 km	25	55
Ravine Polo	0,7	3,4 km	15	40
Ravine Bellevue	5,7	6,4 km	90	190
Ravine Lacroix	-	2,9 km	60	130
Ravine Mimi	1,5	4,9 km	35	50
Ravine Plate	0,9	3,8 km	30	70
Ravine des Bambous	1,5	3,1 km	15	35
Ravine Piton Moka	-	1,3 km	12	27
Ravine Constantin	1,6	4,1 km	45	100
Ravine Bois Blanc	12,5	8,5 km	160	340

² DEE. Plan de Prévention des Risques Naturels – Commune de Sainte-Rose. Dossier Réglementaire. SOGREAH – JJN – N°4700255 – Aout 2010.

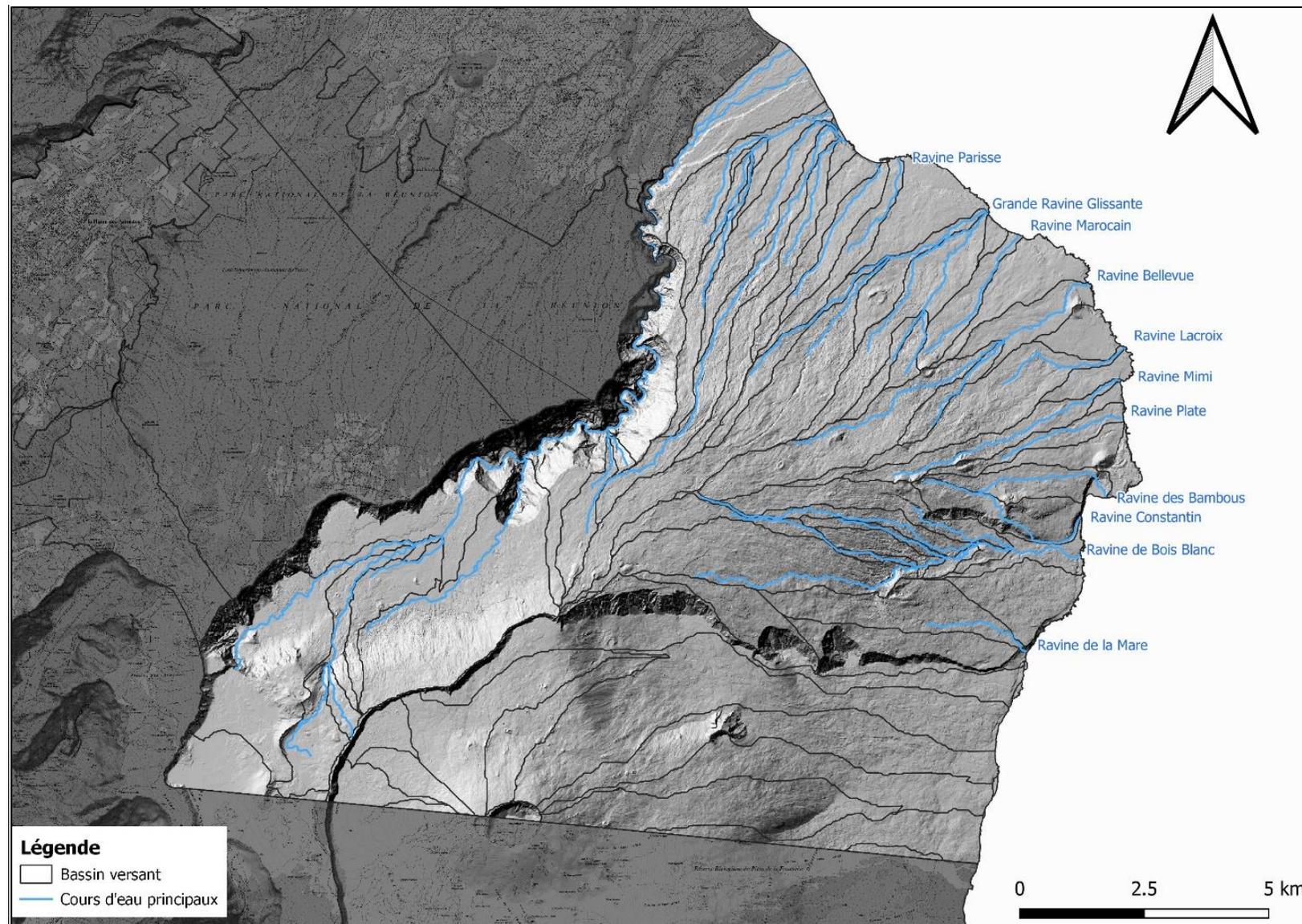


Figure 7 : Réseau hydrographique principal (en bleu) et bassins versants de Sainte-Rose (en noir) (source : BDCarthage2006®, BDtopo2019®, fond ©IGN scan100® - 2010)

3.2. ENJEUX ET VULNERABILITE

Entre 1967 et 2014, la commune de Sainte-Rose a connu un accroissement de sa population passant de 4761 habitants en 1967 à 6822 habitants en 2009, soit une augmentation de 30 % en 42 ans (soit une augmentation de 0,7 % par an) (Tableau 7 et Figure 8). Depuis, la population du commun décroît (soit une baisse de 0,6% par an).

Tableau 7 : Evolution de la population de Sainte-Rose (source : ©INSEE)

	1967	1974	1982	1990	1999	2009	2014	2017
Population	4 761	4 850	5 265	5 761	6 551	6 822	6 722	6418
Densité moyenne (hab/km²)	26,8	27,3	29,6	32,4	36,9	38,4	37,8	36,1

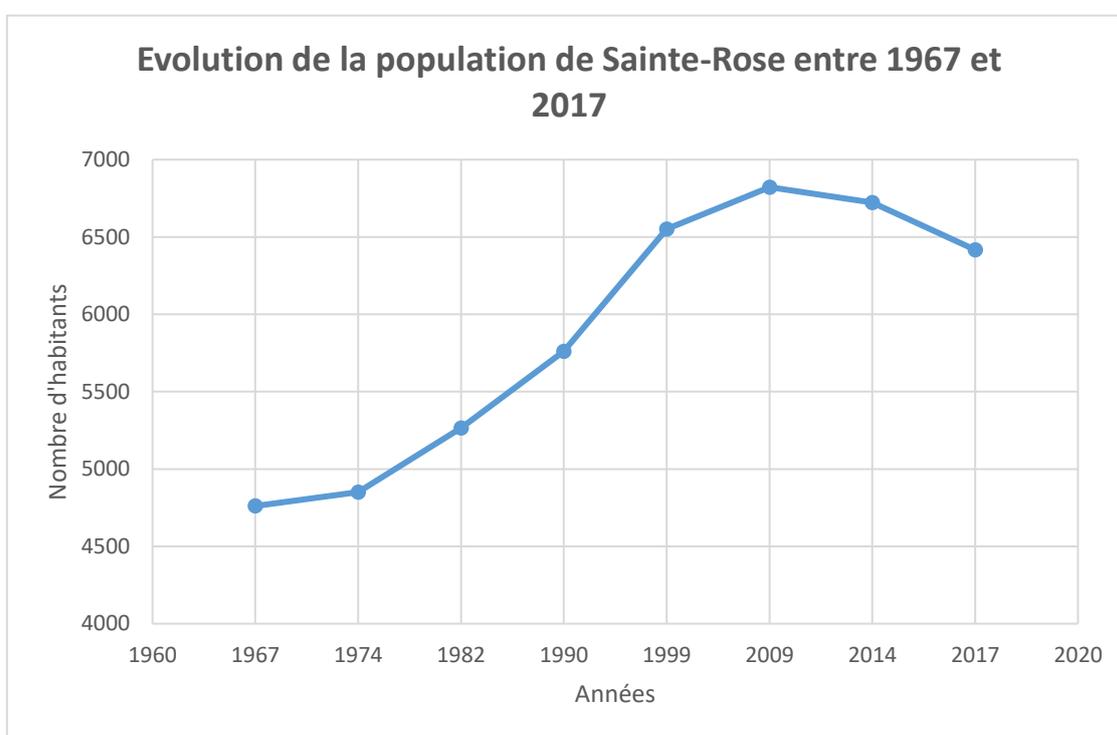


Figure 8 : Evolution de la population de Sainte-Rose (source ©I.N.S.E.E.)

La densité démographique lors du recensement de 2017 était de 36,1 habitant/km² (contre 332 habitants/km² sur l'île de la Réunion).

La population se concentre sur la petite plaine alluviale entre Saint-Benoit et Sainte-Rose, entre la route départementale D57 et le littoral, caractérisée par une pente faible et occupée principalement par des plantations de canne à sucre. Cette répartition de la population est en partie conditionnée par le positionnement du Parc National dont la limite Est se situe sur la D 57.

Les principaux secteurs urbains se développent de part et d'autre de la RN2 notamment sur les quartiers du Petit Brulé, Ravine Glissante, Piton Sainte-Rose et Bois Blanc et dans le centre-ville de Sainte-Rose. Le reste de la plaine alluviale compte quelques rares habitations isolées.

Le parc de logement de la commune était constitué en 2014 par 2542 unités dont 91 % de résidences principales et 94 % de maisons, contre 1129 unités en 1967.

Outre le bâti, les principaux enjeux qui ont été répertoriés et cartographiés dans l'étude du BRGM sur l'évaluation et la cartographie des aléas mouvements de terrain et inondation sont les suivants :

- Les services de sécurité et de secours (gendarmerie, caserne de pompiers, cliniques et hôpitaux) ;
- Les espaces communaux, les Z.A.C., les zones d'insalubrité (R.H.I.) ;
- Les voies de circulation (RN2, RD57) ;
- Le réseau d'adduction d'eau potable (captages, stations de traitement) ;
- L'usine hydroélectrique de la Marine, les réservoirs, et les conduites forcées
- Les établissements d'enseignement (écoles, collèges, lycées) ;
- Les bâtiments administratifs (mairie principale) ;
- Les autres établissements recevant du public (crèche, bibliothèque, équipements sportifs) ;
- Les zones agricoles et naturelles.

La commune compte depuis 2004 un parc éolien de 23 éoliennes de moyenne puissance situé dans les hauteurs de Piton Sainte-Rose selon une ligne de direction sud-ouest/nord-est.

L'occupation du sol est caractérisée par une importante activité agricole qui représente un enjeu économique majeur. Les zones naturelles qui couvrent le reste du territoire communal représentent un enjeu environnemental et sont notamment regroupées dans les hauts de la commune par le Parc National de la Réunion.

Les principaux enjeux sont reportés sur la carte présentée en annexe 3 du dossier de PPR.

4. Approche historique et caractérisation des phénomènes naturels

4.1. PHENOMENES HISTORIQUES

L'ensemble des évènements recensés ayant affecté par le passé le territoire communal de Sainte-Rose est reporté en annexe 2 du dossier de PPR (cartes des phénomènes historiques inondations et mouvements de terrain). Cette connaissance historique est principalement issue de l'analyse d'archives, notamment des revues de presse (cf. annexe 1 du dossier de PPR : revue de presse) et de la base de données nationale sur les mouvements de terrain gérée nationalement par le BRGM (BDMVT, <http://www.georisques.gouv.fr/>). Quelques éléments sur les événements les plus marquants sont donnés ci-après :

1943

La route nationale RN2 est coupée par trois larges coulées de lave atteignant près d'un kilomètre de large pour quatre à cinq m d'épaisseur.

Le progrès, février 1944

1977

Une éruption excentrique se déclare au Nord-Est de l'Enclos à 1000 m d'altitude. Les coulées consécutives à l'éruption imposent l'évacuation de 900 habitants du village de Bois Blanc et 2500 de Piton Sainte-Rose. La lave atteint l'océan.

« Au cœur de la Fournaise » Roland Bernard et Maurice Krafft

1987

Les fortes précipitations provoquées par le cyclone Clotilda provoque l'éboulement d'une partie de la falaise de la Rivière de l'Est. La dégradation de ce pan de falaise oblige l'évacuation de 20 personnes du quartier.

JIR, 16 février 1987

1993

Inondation d'un quartier de 700 personnes suite au changement de lit de la ravine Bonin

JIR, février 1993

1994

Le passage du cyclone Hollanda provoque d'importantes inondations et des vents violents, responsables de dégradations majeures sur le plan agricole.

JIR, 12 février 1994

2003

Des coulées de boue suites à d'importantes précipitations provoquent l'endommagement d'une cinquantaine de famille et l'arrêt momentanées de la circulation sur la RN2.

JIR, 15 avril 2003

2018 (Fakir)

À Sainte-Rose : trois écoles ont été impactées : les salles ont été inondées et dans les cours, des arbres ont été arrachés. Ces dégâts ont nécessité l'intervention des agents communaux de l'équipe "environnement".

IPpreunion.com, 1 Mai 2018

4.2. ARRETES DE CATASTROPHES NATURELS

Depuis 1993, cinq arrêtés de catastrophes naturelles ont été recensés sur la commune (Tableau 8) :

Tableau 8 : Liste de arrêtés de catastrophes naturelles. Source : www.georisques.gouv.fr, mis à jour le 22 mars 2018

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	10/02/1994	12/02/1994	12/04/1994	23/04/1994
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	24/02/2007	25/02/2007	23/03/2007	28/03/2007
Inondations et coulées de boue	24/04/2018	24/04/2018	23/05/2018	22/06/2018

Les ouvrages généraux de Météo-France (Soler, 1997 et Mayoka, 1998) indiquent les cyclones majeurs ayant concerné La Réunion, et plus ou moins directement la commune de Sainte-Rose depuis 1980 (Tableau 9).

Tableau 9 : Liste des cyclones, tempêtes tropicales et épisodes pluvio-orageux majeurs ayant concerné la commune de Sainte-Rose. Sources : Météo France, firinga.com, archives diverses

Phénomène	Nature	Passage au plus près des côtes réunionnaises	Pression minimale (hPa)	Vents maximum (km/h)
Fakir Avril 2018	Forte tempête tropicale	20 km au sud-est	989	202 (Gros-Piton Sainte-Rose)
Dumazile Mars 2018	Cyclone tropical	350 km au sud-ouest	-	132 (Colimaçons St-Leu)
Berguitta Janvier 2018	Forte tempête tropicale	65 km au sud de Saint-Philippe	987	143 (Gros-Piton Sainte-Rose)
Abela (12/07 – 20/07/2016)	Forte tempête tropicale	-	987	130 (en mer)
Daya (07/02 – 13/02/2016)	Tempête tropicale modérée	375 km au nord	983	100 (en mer)

Jade (03/04 – 12/04/2009)	Forte tempête tropicale	450 km au sud- ouest	948	170 (en mer)
Gamède (23/02 – 28/02/2007)	Cyclone tropical intense	230 km au nord et à l'ouest ; deux passages	935	137 (au Port)
Diwa (02/03 – 11/03/2006)	Forte tempête tropicale	150 km au nord- ouest	980	> 190 à Sainte- Rose
Dina (17/01 – 26/01/2002)	Cyclone tropical intense	65 km au sud- ouest	910	> 180 (sur le littoral)
Fortes pluies (03/02 – 05/02/1998 et 19/02 – 25/02/1998)	Episode pluvio- orageux	D2 : 160 km à l'ouest	-	100
Fortes pluies (13/02 - 17/02/1993 et 27/02 – 05/03/1993)	Episode pluvio- orageux	-	-	-
Colina (14/01 – 21/01/1993)	Cyclone tropical	Sur l'île, le 19 janvier	970	191 (à Gillot)
Firinga (25/01 - 07/02/1989)	Cyclone tropical	Sur l'île, le 29 janvier à Saint- Benoît, ressort au niveau du Port	954	216 (à Terre- Sainte)
Clotilda (09/02 – 22/02/1987)	Dépression tropicale	Sur l'île, le 13 février	970	173 (à Gillot)
Hyacinthe (15/01 – 30/01/1980)	Cyclone tropical	70 km au Sud ; 3 passages	978 (au Port)	137 (à Gillot)
Fifi (29/01 – 05/02/1977)	Cyclone tropical	130 km à l'ouest	958 (au centre)	97 (à Gillot)
Inès (08/03 – 19/03/1975)	Tempête tropicale modérée	50 km au nord	988 (au centre)	115 (en mer)
Denise (03/01 – 11/01/1966)	Cyclone tropical	Sur l'île, dans la nuit du 8 au 9 Janvier	978 (à Gillot)	180 (au Chaudron)
1948	Cyclone tropical très intense	30 km à l'ouest	910 (au centre)	310 (en mer)

4.3. CARACTERISATION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

D'une manière générale, un mouvements de terrain est une manifestation du déplacement gravitaire de masses de terrain déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles (pluviométrie anormalement forte...) ou anthropiques (terrassement, déboisement, exploitation de matériaux ou de nappes aquifères, etc.).

Sont distinguées classiquement 6 types de mouvements de terrain : chutes de pierres et blocs, glissements de terrain, coulées de boue et laves torrentielles, érosion, affaissements et

effondrements (liés à des cavités souterraines), fluage (déformation lente de couches plastiques en profondeur). Ces types de phénomène sont ceux retenus dans le guide méthodologique d'élaboration des PPR mouvements de terrain (M.A.T.E. et M.E.T.L., 1999).

Les types de mouvements de terrain recensés sur le territoire de la commune de Sainte-Rose sont :

- **les chutes de pierres ou de blocs et les éboulements (symbole P) ;**
- **les glissements de terrain et coulées de boue associées (G) ;**
- **les érosions de berge (E) ;**
- **le ravinement, l'érosion des sols (E).**

Vis-à-vis des principales formations géologiques rencontrées à La Réunion, on peut identifier trois principales catégories de terrain, pour lesquelles les types de phénomènes naturels à risques associés et les critères d'évaluation d'aléas varient sensiblement (Tableau 10) :

Tableau 10 : Types de phénomènes rencontrés en fonction des catégories de terrain

Type de terrain	Exemple de formations géologiques	Phénomène naturel associé
Roche	Basalte, trachyte, lahars ...	Chute de blocs / Eboulements
Roche altérée et terrains meubles indurés	Tufs, altérites peu évoluées, alluvions indurées ...	Chute de blocs / Eboulements à Glissement de terrain Erosion / ravinement
Terrain meuble	Remblais, alluvions, colluvions, éboulis, altérites évoluées, formation de plage ...	Glissement de terrain Coulée de boue / lave torrentielle Erosion / ravinement

4.3.1. Chutes de pierres ou de blocs, éboulements (P)

Les chutes de masses rocheuses sont des mouvements rapides, discontinus et brutaux résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides et fracturés. En fonction du volume total de matériaux éboulés, on distinguera (Note technique MEZAP, 2021³) :

- **les chutes de pierres ou de blocs** : le volume mobilisé lors d'un épisode donné est limité à une centaine de m³ ;
- **les éboulements en masse limitée** : le volume total en jeu atteint jusqu'à 10 000 m³ ;
- **les éboulements en grande masse** : le volume total mobilisé est compris entre 10 000 m³ et 1 000 000 m³ ;
- **les écroulements en grande masse** : le volume total mobilisé est supérieur à 1 000 000 m³ et peut atteindre plusieurs dizaines de millions de m³. La terminologie « avalanche de débris », également utilisée, désigne la propagation d'une masse non cohérente de fragments rocheux, de volume global généralement relativement important.

³ Méthodologie de caractérisation de l'aléa rocheux dans le cadre d'un PPR ou d'un PAC (BRGM, CEREMA, DDTM 06, DDT 38, DDT 73, DDT74, INERIS, INRAE, MTE/DGPR, ONF-RTM, Univ. G. Eiffel) 2021

Les blocs déstabilisés ont une trajectoire plus ou moins autonome. L'extension du phénomène est variable, la distance parcourue par les blocs rocheux étant notamment fonction de la taille et de la forme du ou des élément(s) en jeu, de la morphologie du versant et de l'occupation des sols. L'ampleur du phénomène s'apprécie d'une part à partir du volume mobilisé (volume au départ, importance des blocs après fragmentation éventuelle), d'autre part par la surface et la topographie de l'aire de réception de la masse éboulée. Dans le cas des éboulements et a fortiori des écroulements, la forte interaction entre les éléments rend la prévision de leurs trajectoires et rebonds complexe.

L'occurrence du phénomène est plus ou moins directement liée à la conjonction de certains paramètres :

- **individualisation de blocs** au sein d'une formation massive fracturée ou d'une formation hétérogène présentant une matrice à grains fins (cas typique au sein des altérites avec altération en « boules ») ;
- **présence de facteurs naturels** favorables à la mobilisation des blocs :
 - action mécanique de l'eau (pression hydrostatique dues à l'infiltration des eaux météoritiques dans les interstices ou les fissures du matériel rocheux) ;
 - présence éventuelle d'une formation sous-jacente plus meuble, déformable ou érodable, induisant des contrastes de compétence (intercalation de niveaux de gratons, alternance de niveaux basaltiques massifs et de produits pyroclastiques – scories, cendres – créant des discontinuités stratigraphiques et des comportements mécaniques hétérogènes) ;
 - présence fréquente de discontinuités structurales (diaclasses, joints, intrusions) sur un versant à la topographie sensible et participant au démantèlement de la masse rocheuse ;
 - croissance de la végétation (action du système racinaire dans les fissures).

Les matériaux tombés s'accumulent de façon désordonnée en pied de pente, et forment une morphologie caractéristique en forme de cône d'éboulis (Figure 9 et Figure 10), ou en placage de pente plus faible en pied de paroi. On peut observer également des « champs de blocs » (présence de blocs plus ou moins isolés témoignant de l'activité historique).

L'activité chutes de blocs et éboulements est directement tributaire des contextes lithologique et structural (ainsi qu'hydrogéologique).

De plus, les remparts et falaises du territoire sont le plus souvent constitués d'un empilement de coulées de laves plus ou moins épaisses et fracturées, éventuellement en alternance avec des niveaux de scories constituant des plans de faiblesse propices à un démantèlement de la masse rocheuse (le sous-cavage accroît considérablement la potentialité de survenue du phénomène du fait de la création de zones en surplomb).

Les chutes de blocs et éboulements génèrent une « perte » de matériaux au sein des falaises et des remparts qui peut engendrer, selon l'ampleur des effondrements pouvant se produire, des reculs de plusieurs mètres à dizaines de mètres en partie sommitale de ces derniers. Ces éboulements sont des événements brutaux, parfois sans signes précurseurs visibles en surface notamment en recul de la crête du rempart concerné. Toutefois, des indices précurseurs de ce type d'effondrement pouvant affecter la crête de rempart et les terrains en recul sont parfois présents et visibles en surface comme une fracturation subparallèle à la bordure du rempart ou encore un décrochement (matérialisé par un tassement) du compartiment proche de la crête du rempart et délimité par une ligne de fracturation.

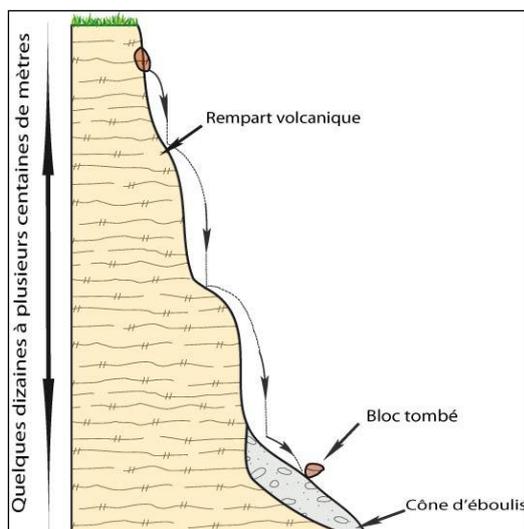


Figure 9 : Chute d'un bloc isolé

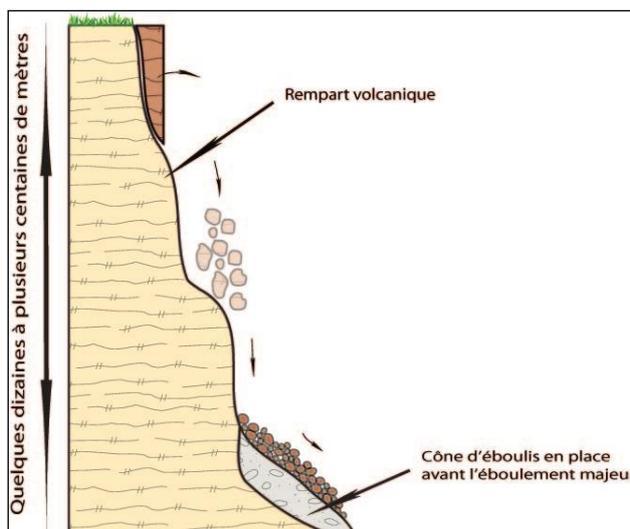


Figure 10 : Éboulement

Exemples de manifestations rencontrées

- **Eboulement et chute de blocs**

En février 2020, environ 100 000 m³ de roches sont tombés au niveau du belvédère du Cassé de la Rivière de l'Est. Une bande d'une quinzaine de mètre de large sur une centaine de mètre de longueur s'est détachée. Cet évènement n'a fait ni blessé ni dégâts excepté la destruction d'une partie du belvédère et la condamnation de l'abri qui se situe désormais au bord du rempart (Figure 11).



Figure 11 : Effondrement au niveau du belvédère du Cassé de la Rivière de l'Est (février 2020)

En Avril 2018, suite à la forte tempête tropicale Fakir, des éboulements et des chutes de blocs se sont produits au niveau de l'Anse des Cascades sur le littoral de la commune (Figure 12). Haut de 12 m environ pour une largeur de 20 m en pied d'éboulis, cet éboulement a mobilisé des blocs de plusieurs mètres cubes (4 m³ pour le plus important) qui ont légèrement endommagés les barrières entourant le parking du site sans atteindre celui-ci.



Figure 12 : Éboulement d'un pan de falaise le 23 avril 2018

Le long de la RN2 au niveau d'Ilet Leroux au commencement des remparts de Bois Blanc, les chutes de blocs et éboulements sont fréquentes. Du fait de la configuration de la route à flanc de falaise, les événements impactent la chaussée et perturbent la circulation. Ce secteur est régulièrement impacté par les chutes de blocs du fait de la fragilité des coulées scoriacées se débitant en gros blocs et des coulées de lave massive fracturée (Figure Figure 13) dont l'érosion naturelle est accélérée par le climat extrêmement humide.



Figure 13 : Éboulement sur la RN2 du 11 octobre à l'émorce est du rempart de Sainte-Rose dans le secteur d'Îlet Leroux (Note Technique BRGM/SGR/REU – NT 2009-88 – V2⁴)

En décembre 2016, un éboulement en rive droite de la Rivière de l'Est a été observé en aval de l'ancien pont suspendu. L'effondrement en tête de paroi semble avoir mobilisé plusieurs mètres cubes de matériaux (Figure 14). La géologie au droit de cet évènement est similaire à la rive opposée, il s'agit d'un empilement d'alluvions/coulée.



Figure 14 : Éboulement en rive droite de la Rivière de l'Est (décembre 2016)

⁴ J.L. NEDELLEC (2009) – RN2 – PR72+600. Diagnostic suite à l'éboulement du 11 octobre 2009. Compte rendu de la visite du 12 octobre 2009. Note Technique BRGM/SGR/REU – NT 2009-88 – V2. Projet PSP09REU19 – Appui Région 2009. Fiche intervention n°2009-12

4.3.2. Glissements de terrain et coulées boueuses associées (G)

Les glissements de terrain sont des déplacements en masse affectant des formations géologiques meubles, sur une surface de rupture et au cours desquels les produits déplacés gardent leur cohérence. La surface de rupture peut être plane (sur une discontinuité lithologique – on parle de glissement-plan) ou courbe (glissement rotationnel). Les lois mécaniques de la rupture des matériaux font que cette surface a une forme plus ou moins sphérique en général. Sa profondeur peut varier de l'ordre du mètre (voire moins – glissements superficiels) à quelques dizaines de mètres (voire sensiblement plus pour des phénomènes exceptionnels).

Ce sont généralement des phénomènes lents, mais ils peuvent s'accélérer (ou se déclencher) brutalement, en particulier sur une surface plane liée à une discontinuité. Ils peuvent aussi évoluer en avalanche de débris ou en coulée de boue, si le matériau contient assez d'eau. La cinématique peut ainsi être très variable, les phénomènes les plus rapides étant généralement les plus destructeurs.

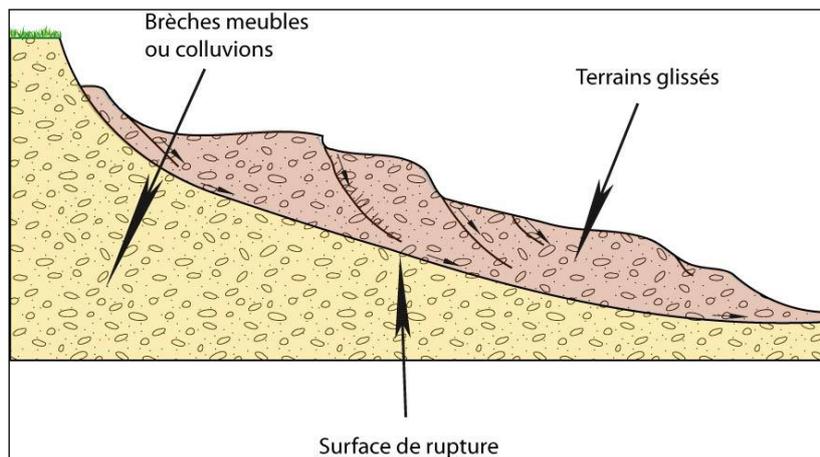


Figure 15 : Coupe type d'un glissement circulaire

Très souvent, des glissements de terrain sur des fortes pentes ne sont reconnus que lorsque la rupture brutale sur la surface de glissement a provoqué leur évolution en coulée de boue ou en éboulement important. Tant que ces glissements restent lents, ils présentent un risque faible pour les structures (bâtiments et routes). En revanche, la rupture brutale sur les surfaces de glissement peut causer l'éboulement de terrains d'un volume important.

Les principaux paramètres intervenant dans le mécanisme de glissement sont :

- **l'eau**, étant un élément moteur prépondérant dans la grande majorité des phénomènes de glissement. Les phénomènes d'infiltration (anthropiques ou non), les circulations d'eau en surface (par un phénomène d'entraînement des particules) ou souterraines (développement de surpressions préjudiciables) associées à un épisode pluvieux peuvent notamment contribuer aux instabilités ;
- **la géologie** : l'état d'altération d'un matériau, et par corrélation ses caractéristiques mécaniques, sa perméabilité, conditionnent la pente limite d'équilibre d'un terrain et de fait la probabilité d'occurrence de désordres ;

- **la morphologie** : l'importance de la pente va notamment conditionner la possibilité que puissent survenir, de façon préférentielle, des phénomènes lents (*fluage*, phénomènes superficiels pouvant intéresser des terrains peu pentus) ou au contraire rapides ;
- **la nature et l'importance du couvert végétal**, jouant un rôle dans la stabilité, le déclenchement et la propagation des phénomènes de glissement ; ce rôle pouvant être bénéfique (renforcement de la cohésion des sols par le système racinaire) ou au contraire néfaste (effet de levier par les ligneux sous l'effet du vent pouvant déstabiliser les terrains et favoriser les infiltrations d'eau).

Les **coulées de boue** correspondent à des mouvements rapides d'une masse de matériaux remaniés, à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse. Elles sont la conséquence et la prolongation de certains glissements, dans des conditions de large remaniement et de forte saturation en eau, sur des terrains aux pentes généralement relativement fortes. Ces phénomènes, aussi connus sous le nom de **glissements – coulées**, peuvent se propager sur plusieurs dizaines de mètres, voire sensiblement plus en fonction du contexte topographique. L'épaisseur des terrains affectés par ces glissements-coulées peut atteindre la dizaine de mètres (Figure 16).

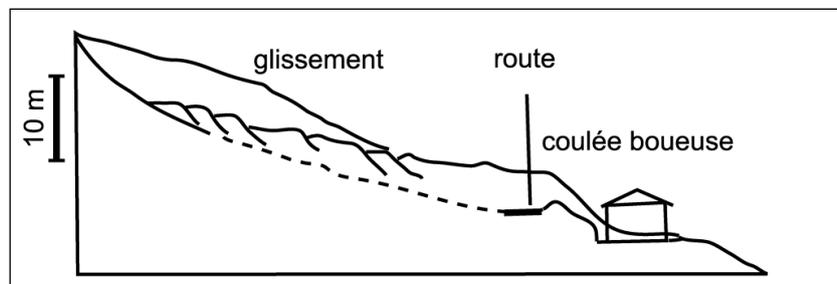


Figure 16 : Représentation schématique du glissement-coulée

Exemples de manifestations rencontrées

- **Glissements de au droit des versants de ravine**

Les versants des ravines encaissées sont sujets à des phénomènes de chutes de blocs, mais également à des glissements de terrain susceptibles notamment d'affecter les niveaux de surface constitués de produits de démantèlement (éboulis, colluvions), dont la fraction argileuse est le plus souvent relativement importante. La profondeur et l'ampleur de ces glissements est généralement relativement limitée. Dans cette tranche de terrain, les hétérogénéités de faciès (notamment suivant la verticale avec la superposition de niveaux altérés plutôt imperméables surmontés d'horizons qui le sont moins – niveaux laviques, scories) créent des zones de saturation temporaires capables de développer des pressions interstitielles préjudiciables à la stabilité. Ces instabilités se caractérisent par divers indices tels que fissures, cicatrices, niches d'arrachement, soulèvements, bourrelets ou morphologies de versants mamelonnés.

- **Phénomènes d'embâcle/débâcle**

Le phénomène d'*embâcle* correspond à l'obstruction d'un cours d'eau par accumulation de matériaux divers (écroulements de bord de versant ou érosion "en grand" d'un versant). Une retenue d'eau se forme à l'amont du barrage naturel qui peut rompre sous l'effet des pressions hydrauliques. Selon le profil du cours d'eau, une rupture brutale peut donner naissance à une onde de crue, avec ou sans transport solide ou à une lave torrentielle dévastatrice : on parle alors de *débâcle*.

Ces phénomènes sont susceptibles d'entraîner la formation de **laves torrentielles**, dont le comportement est intermédiaire entre celui des glissements de terrain et des crues. La terminologie

est à l'image des phénomènes, variée et complexe. Étant donné le caractère soudain et énergétique du phénomène, les effets des laves torrentielles sont potentiellement très destructeurs et meurtriers.

Sur le territoire de la commune de Sainte-Rose, les conditions pour que de tels phénomènes surviennent (précipitations abondantes, pentes généralement fortes, terrains meubles, éboulis stockés sur les pentes) peuvent être réunies. Au mois de juillet 2009, un éboulement de grande ampleur a eu lieu en amont de la Rivière de l'Est sur la commune de Sainte-Rose. Les 150 000 m³ de débris ont obstrué le lit de la rivière, empêchant l'écoulement et formant un barrage naturel et une retenue d'eau (Figure 17). La débâcle associée menaçait la partie aval du lit.



Figure 17 : Embâcle et retenue d'eau observées en juillet 2009 suite à un éboulement dans le lit de la Rivière de l'Est (source : <http://www.georisques.gouv.fr/>).

4.3.3. Erosions de berge et ravinement

Deux principaux types de phénomènes, liés l'un comme l'autre à l'action mécanique de l'eau, peuvent être distingués :

Les érosions de berge

Ce phénomène se manifeste par un « arrachement » ou un éboulement de la berge d'un cours d'eau soumis aux facteurs suivant :

- la force érosive de l'écoulement des eaux sapant le pied des rives et conduisant au glissement ou à l'éboulement de la berge par suppression de la butée qui assurait l'équilibre.

- l'incision du cours d'eau au fil du temps conduisant également à l'éboulement de la berge (par décompression gravitaire par exemple).

Les phénomènes d'érosion des berges sont présents dans la majorité des ravines de la commune.

La vulnérabilité des berges à ce type de phénomène est principalement fonction :

- de la constitution géologique de la berge, qui conditionne son érodabilité : berge rocheuse, berge constituée de matériaux cimentés ou meubles, présence de remblais, etc. ;
- du pouvoir érosif du cours d'eau (pente du profil en long, débits de crues caractéristiques, transport solide charrié).

Ces phénomènes d'érosion de berge concernent de façon plus ou moins généralisée – au moins de façon potentielle – l'essentiel des ravines du réseau hydrographique drainant la commune. Les désordres observés se traduisent par des affouillements, voire par des dégradations sur les infrastructures.

Des sous-cavage des berges sont souvent observés à la faveur de l'érosion préférentielle des inter-lits scoriacés des coulées basaltiques. Ces phénomènes peuvent évoluer vers une déstabilisation de l'ensemble de la berge, celle-ci pouvant être soudaine.

Le ravinement

Outre les désordres liés aux écoulements de crue, les phénomènes érosifs sont liés au ruissellement des eaux superficielles. Le ravinement qui en résulte peut être localisé ou diffus sur toute une pente.

L'érosion des sols dépend de plusieurs paramètres qui sont en premier lieu :

- la topographie ;
- l'intensité des précipitations ;
- la géologie (érodabilité des terrains en place) ;
- l'occupation du sol (notamment présence et densité du couvert végétal) ;
- la sensibilité à la battance. Elle est provoquée par les eaux de pluie qui, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent en emportant des particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux excédentaires apparaît lorsque l'intensité des pluies est supérieure au pouvoir d'absorption du sol.

Les zones touchées sont souvent des terrains en partie dénudés et vallonnés, voire accidentés, qui favorisent de ce fait le développement et la concentration de ruissellements. Bien que dans le cas général il s'agisse d'un processus lent, avec une abrasion des terrains sur une épaisseur n'excédant pas quelques centimètres par an, l'érosion peut prendre une ampleur sensiblement plus importante (notamment sous l'effet du passage de courants à forte densité de type « lave torrentielle ») et être un phénomène très rapide. Lorsque les matériaux entraînés se concentrent, des coulées de boues peuvent apparaître. Alors qu'un ruissellement diffus va créer des paysages de « badlands », un ruissellement concentré va créer des ravins encaissés et localisés, et s'accompagne souvent de zones d'alluvionnement (où se déposent les matériaux arrachés par l'érosion). Cette érosion se développe essentiellement au niveau des parcelles défrichées, là où les pentes sont les plus élevées. Dans le passé, la couverture boisée ou en culture assurait une fixation naturelle des horizons superficiels. Ainsi, les terrains autrefois cultivés en canne à sucre, aujourd'hui en friche, sont en proie à l'érosion. L'érosion des sols, diffuse au départ, peut « dégénérer » et entraîner des glissements plus ou moins superficiels.

Du fait de son climat particulièrement pluvieux, la commune de Sainte-Rose est l'une des plus touchées par les phénomènes érosifs avec les cirques.

La Figure 18 représente l'intensité de l'érosion des sols dit "aléa érosif" qui diffère de l'érosion des berges de l'aléa mouvements de terrain (rapport BRGM/RP-52031 de décembre 2002⁵). En effet, il s'agit des prédispositions des sols à être dégradé par un phénomène érosif. Cela correspond aux paramètres naturels tels que le climat, la topographie et le substratum mais également des paramètres anthropiques comme l'occupation des sols. La topographie prend en compte les pentes mais également les écoulements superficiels, les courbures des reliefs. Les surfaces les plus impactées correspondent donc fortement aux remparts et ravines alors que l'enclos Fouqué, dont la surface est constituée de coulées relativement récentes, affiche un "aléa érosif" faible.

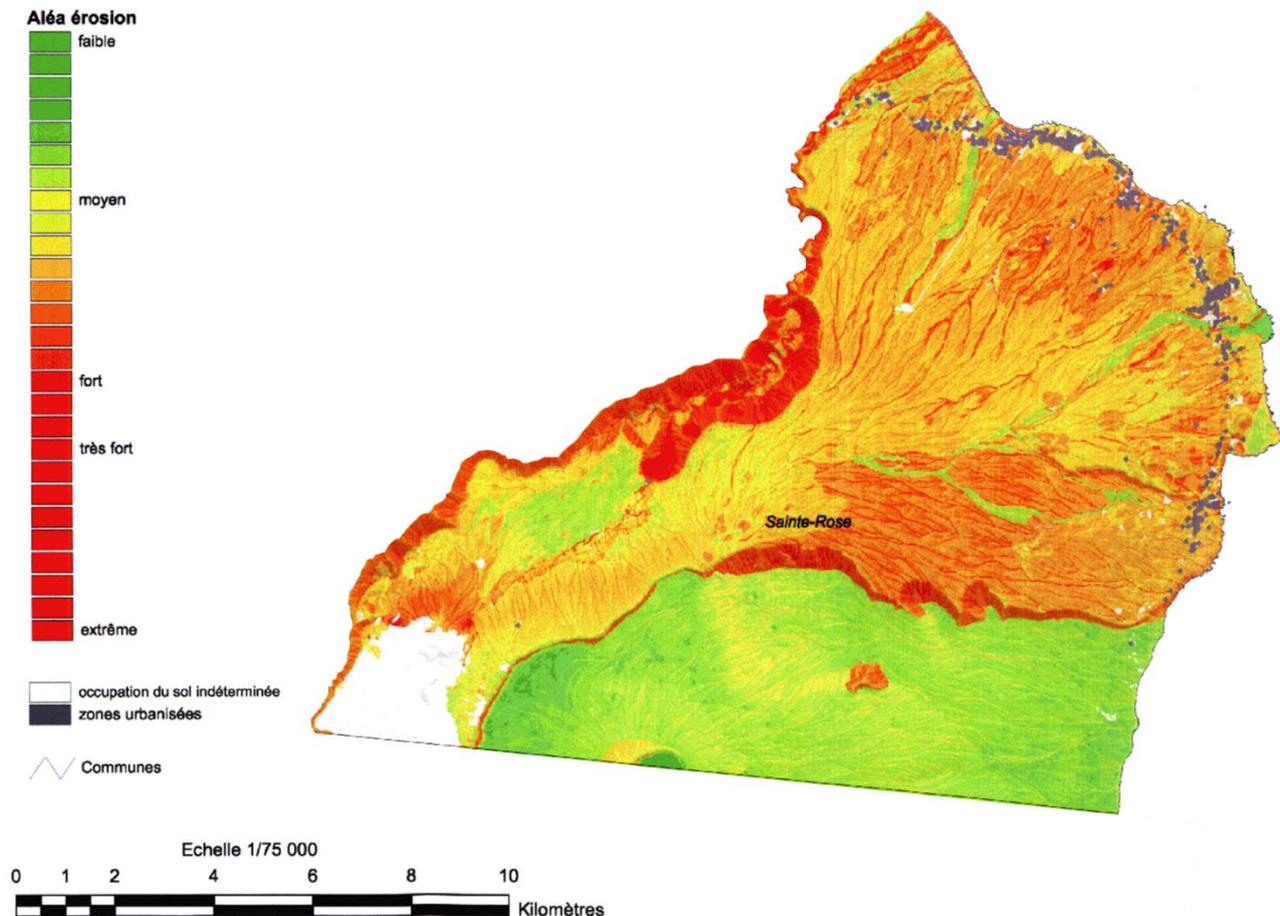


Figure 18 : Cartographie de l'intensité de l'érosion des sols sur la commune de Sainte-Rose (source : rapport BRGM RP-52031-FR)

⁵ Chevalier P., De La Torre Y., Hébert A., Kaufmant T (2002). Cartographie de l'aléa "érosion des sols" à La Réunion. Phase 2 : Caractérisation et cartographie (1/100 000 à 1/50 000) de l'aléa érosion. Rapport BRGM/RP-52031-FR. 72 p.51 fig., 7 tab., 3 ann.

4.4. CARACTERISATION DES PHENOMENES D'INONDATION

L'**inondation** désigne un recouvrement d'eau qui déborde du lit mineur à différents niveaux d'un cours d'eau ou dans les dépressions et les plaines côtières.

Deux types de risque (pouvant se cumuler sur certaines zones) doivent être distingués sur le territoire de Sainte-Rose :

- risque d'inondation lié au **débordement des cours d'eau** hors de leur lit ordinaire (lit mineur). Ces inondations, rapides, peuvent être accompagnées de phénomènes d'érosion et d'accumulation massive de matières solides. Suite à des pluies violentes ou durables, l'augmentation du débit des cours d'eau peut être telle que ceux-ci peuvent gonfler au point de déborder de leur lit mineur, pour envahir entièrement leur lit majeur. Les dégâts peuvent être très importants, et surtout, le risque de noyade existe (en particulier lors du franchissement de gués au moment de l'arrivée de l'onde de crue) ;
- risque d'inondation résultant du **ruissellement des eaux pluviales** sur les voies de communication et dans les terres agricoles, eaux issues de bassins naturels plus ou moins importants sans thalweg marqué.

Il est à noter que, comme nous l'avons précisé en amont, le phénomène de ruissellement des eaux pluviales (communément appelé ruissellement urbain) n'est pas pris en compte dans la cartographie de l'aléa inondation, et que l'érosion des sols est intégrée directement à la cartographie de l'aléa mouvements de terrain.

Différents paramètres contribuent au processus d'augmentation temporaire du débit d'un cours d'eau. On distingue notamment :

- l'eau mobilisable, constituée de l'eau reçue par le bassin versant ;
- le ruissellement, qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux ;
- le temps de concentration, qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci ;
- la propagation de l'onde de crue, qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation.

De nombreux paramètres influencent l'apparition d'une crue :

- **quantité et surtout répartition spatiale et temporelle des pluies** : Le contexte local se caractérise par des épisodes pluvieux de forte intensité, d'autant plus préjudiciables qu'ils sont en mesure de déverser des cumuls très importants sur des bassins versants de superficie relativement modeste ;
- **nature et occupation du sol** : L'absorption d'eau par le sol, l'infiltration dans le sous-sol ou le ruissellement influencent fortement le temps de concentration des eaux. Enfin, la topographie du lit, la pente et la forme du bassin versant jouent également un rôle important dans la genèse de la crue ;
- **facteurs naturels aggravants** : la formation et la rupture d'embâcles. Les matériaux flottants transportés par le courant peuvent en effet s'accumuler en amont des passages étroits, des ouvrages hydrauliques.

La rupture éventuelle de ces embâcles peut provoquer une onde puissante et destructrice en aval.

Trois principaux critères permettent de caractériser un phénomène d'inondation (Figure 19) :

- **hauteur de submersion** : Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau ;
- **vitesse d'écoulement** : elle est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité. Elle peut atteindre plusieurs mètres par seconde. La dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur/vitesse.
À titre d'exemple, à partir de 0,50 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme (cf. figure ci-dessous), avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure.

Un troisième critère permet de caractériser l'aléa inondation, mais plus délicat à estimer dans le contexte Réunionnais :

- **le volume de matière transportée** : Ce volume est communément appelé « *transport solide* ». Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau, et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant. Le terme de transport solide ne comprend pas le transport des flottants (bois morts, etc.).

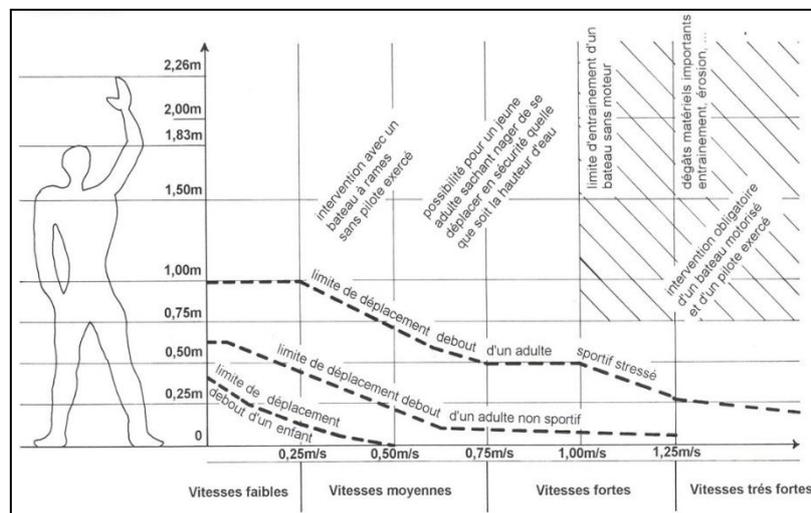


Figure 19 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction des caractéristiques d'écoulement

Exemples de manifestations rencontrées

• Centre-ville de Sainte-Rose

Le centre de Sainte-Rose est régulièrement touché par des inondations lors de forts épisodes pluvieux isolés ou associés à des dépressions tropicales comme celle survenue au début de l'année 1993. Lors de cette dernière, la Ravine Parisse est sortie de son lit et a touché une dizaine d'habitations. D'autres habitations ont été touchées au niveau du lotissement Leconte de Lisle. Plus récemment, en 2010, lors de la dépression tropicale Hubert, trois familles ont été particulièrement touchées avec près d'un mètre d'eau dans leurs habitations.

D'après des témoignages recueillis lors de visite de terrain, la route nationale est régulièrement inondée par la Ravine Parisse qui déborde jusqu'au rond-point au niveau de l'église.

5. Caractérisation et cartographie des aléas

5.1. DEFINITIONS ET NOTIONS GENERALES

La **notion d'aléa** est complexe et de multiples définitions ont été proposées. Nous retiendrons la définition suivante, aussi imparfaite qu'elle puisse être :

« 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 ».

Une définition récente (Fell et al., 2008⁶), spécifique à l'aléa mouvements de terrain mérite également d'être citée au regard notamment de la notion de dommage intégrée à la définition de l'aléa :

« Condition (ou circonstance) susceptible de provoquer des dommages. La description (ou caractérisation) de l'aléa mouvements de pente doit inclure la localisation, le volume (ou la surface), la classification, la vitesse du mouvement potentiel et sa probabilité d'occurrence dans une période de temps 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. Son évaluation fait appel à l'ensemble des informations recueillies au cours de l'étude, aux connaissances sur le contexte géologique, aux caractéristiques des précipitations, etc., et à l'appréciation du chargé d'études. Pour limiter l'aspect subjectif, des critères de caractérisation des différents aléas ont été définis et sont explicités dans les paragraphes suivants.

On notera que la **période de référence** retenue pour l'**aléa mouvements de terrain** est le **siècle**. Pour l'**aléa inondation**, conformément aux dispositions des dernières circulaires ministérielles (du 24 janvier 1994 et du 24 avril 1996), celui-ci est évalué en prenant en compte la **plus forte crue connue ou**, si cette crue est plus faible que la crue centennale, c'est la **crue d'occurrence centennale** qui est considérée dans le cadre de la cartographie de l'aléa. **Pour la commune de Sainte-Rose, la crue centennale a été retenue.**

5.1.1. Notion d'intensité et de probabilité d'occurrence

La définition de l'aléa impose de connaître, sur l'ensemble de la zone étudiée, l'intensité et la probabilité d'occurrence (ou d'apparition) des phénomènes naturels. L'intensité d'un phénomène peut être appréciée de manière variable en fonction de sa nature même : débits liquide et solide pour une crue torrentielle, volume des éléments pour une chute de blocs, importance des déformations du sol pour un glissement de terrain, etc... L'importance des dommages causés par des phénomènes passés peut également être prise en compte.

L'estimation de la probabilité d'occurrence d'un phénomène de nature et d'intensité donnée passe par l'analyse statistique de longues séries de mesures. Elle s'exprime généralement par une **période de retour**, qui correspond à la durée moyenne séparant deux occurrences du phénomène.

⁶ Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Robin Fell, Jordi Corominas, Christophe Bonnard, Leonardo Cascini, Eric Leroi, William Z. Savage on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes.

Si certaines grandeurs sont relativement faciles à mesurer (les débits liquides par exemple), d'autres le sont beaucoup moins, soit du fait de leur nature, soit du fait de leur caractère instantané (chute de blocs). La probabilité d'occurrence des phénomènes sera donc généralement appréciée à partir des informations historiques, des contextes géologique et topographique, et des observations du chargé d'études.

5.1.2. Remarques relatives aux règles de zonage

Chaque zone distinguée sur les cartes d'aléas est matérialisée par une limite et une couleur traduisant la nature du ou des phénomènes naturels intéressant la zone et le degré d'aléa.

De nombreuses zones, dans lesquelles aucun phénomène actif n'a été décelé, sont cependant décrites comme étant exposées à un aléa de mouvements de terrain plus ou moins fort. Le zonage traduit un contexte topographique ou géologique dans lequel une modification des conditions actuelles peut se traduire par l'apparition de phénomènes. Les modifications peuvent être très variables tant par leur nature que par leur importance. Les causes les plus fréquemment observées sont les terrassements, les rejets d'eau et les épisodes météorologiques exceptionnels.

Dans la majorité des cas, l'évolution des phénomènes naturels est continue, la transition entre les divers degrés d'aléa est donc théoriquement linéaire. Lorsque les conditions naturelles - notamment la topographie - n'imposent pas de variations particulières, les zones d'aléas élevés, moyen et faible sont « emboîtées ». Il existe donc, dans ce cas, pour une zone d'aléa élevée donnée, une zone d'aléa moyen et une zone d'aléa faible qui traduisent la décroissance de l'intensité et/ou de la probabilité du phénomène avec l'éloignement des zones sources (**principe de gradation des aléas**) (Figure 20).

Les zones caractérisées par une configuration morphologique, géologique similaire et exposées à une situation climatique relativement proche (facteurs de prédisposition et non permanent similaires) sont généralement cartographiées de la même manière (niveau d'aléa analogue) sous réserve qu'aucun phénomène historique connu ou facteur aggravant toujours possible ne puisse remettre en cause le niveau d'aléa considéré (**principe de similitude**).

D'une manière générale et conformément aux recommandations émises par le Ministère à travers notamment les guides méthodologiques, dans le cadre des procédures PPR des communes de La Réunion, les cartes d'aléas sont produites au **1/5000^{ème}** (1 cm sur la carte représente 50 m dans la réalité, impliquant une précision des limites cartographiques de l'ordre de 5 m : « épaisseur du trait »), notamment dans les secteurs concentrant les enjeux (bâtis, routes, infrastructures, etc.). Ponctuellement, dans les secteurs inhabités où les enjeux sont moindres voire inexistantes en terme d'urbanisation future à échéance de quelques années voire dizaines d'années, des cartes d'aléas sont élaborés au 1/10 000^{ème}.

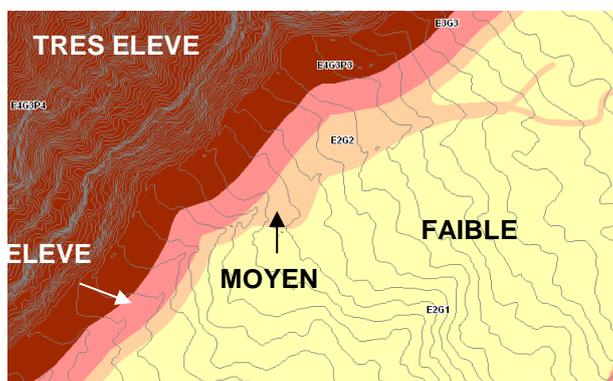


Figure 20 : Exemple de représentation de la notion de continuité du niveau d'aléa

5.2. ALEA INONDATION

5.2.1. Méthode d'évaluation de l'aléa

Selon les dispositions des circulaires ministérielles (du 24 janvier 1994 et du 24 avril 1996), **l'aléa inondation doit être évalué en prenant en compte la plus forte crue connue ou, si cette crue est plus faible que la crue centennale, cette dernière.**

L'aléa inondation lié au ruissellement urbain (ou pluvial) n'est pas considéré dans la présente procédure de PPR.

Chaque zone susceptible d'être inondée suite aux crues d'un cours d'eau (axe d'écoulement et zones de débordement pour une crue d'occurrence centennale) est considérée dans l'évaluation de l'aléa inondation, avec un niveau d'aléa défini en fonction de l'intensité de l'inondation (selon principalement la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement).

La démarche d'élaboration du zonage inondation s'est effectuée en intégrant l'analyse de l'hydrologie des bassins versants du territoire communal (estimation des débits de crue), l'analyse hydrogéomorphologique appuyée par des enquêtes de terrain (traduction des débits de crue sur le terrain en termes d'inondabilité) et l'intégration des données nouvelles (études, observation de phénomènes depuis l'approbation du PPR) permettant d'améliorer la connaissance sur l'inondabilité du territoire communal. Sur le territoire de la commune de Sainte-Rose, les études hydrauliques valorisées pour préciser le zonage de l'aléa inondation concernent :

- La Ravine Parisse entre le chemin des Anglais et le chemin de la Marine une étude pré-opérationnelle sur les habitats indignes en zone à risque d'aléa fort réalisée par HYDRETTUDES en 2018 (référence RE17-1407) ;
- L'Anse des Cascades, où une étude hydraulique a été réalisée par Egis pour la commune de Sainte-Rose en Mai 2018 ;
- Les secteurs de Bois Blanc et de Ravine Glissante ayant fait l'objet d'étude de précisions des aléas inondation à la demande de la DEAL Réunion pour les besoins de la révision du PPR par HYDRETTUDES en 2021 (référence RE21-037) ;

Les principes de cartographies de l'aléa inondation sont détaillés dans le guide d'élaboration des plans de prévention des risques naturels à La Réunion (DEAL, 2012). Les éléments techniques suivants sont utilisés dans le cadre de cette démarche :

- Les outils topographiques précis : **Litto3D®** et **MNTR®** (2012), qui permettent d'apprécier finement les différents thalwegs et ravines du territoire communal. Le produit Litto3D®, développé par l'IGN© et SHOM©, est une base de données altimétrique unique et continue terre-mer donnant une représentation tridimensionnelle de la forme de la position du sol avec une résolution de 1 m sur la frange littorale du territoire réunionnais. La base de données de Litto3D® ne s'étend qu'à 2 km à l'intérieur des terres. Aussi, l'IGN a étendu cette base de données à l'ensemble de l'île en produisant un Modèle Numérique de Terrain Réunionnais (MNTR®) avec une résolution de 5 m. La précision altimétrique est de l'ordre de 20 cm et la précision planimétrique est de l'ordre de 50 cm.
- **la connaissance nouvelle** sur les inondations impactant le territoire communal, et plus particulièrement au droit des secteurs à enjeux de la commune, avec notamment des visites de terrain et les aménagements récents (depuis le PPRi de 2011). Les ouvrages de franchissement des cours d'eau (pont, buses, dalot, ...) ont été analysés lors d'une visite de

terrain les 13 et 14 Mai 2020. La capacité hydraulique de ces ouvrages a été analysée afin de cartographier les zones de débordement lorsque le débit d'une crue centennale est inférieur à celui que peut laisser passer l'ouvrage;

- une **mise en cohérence avec la cartographie de l'aléa mouvements de terrain pour les phénomènes érosifs intégrés aux cartes d'aléas MVT** ;

Les récentes données de l'IGN (Bd Topo 2020 et les orthophotos de 2017) font également partie des données fréquemment utilisées dans la démarche de précision de la cartographie.

La cartographie « inondation » est présentée sur fonds topographiques :

- à l'échelle 1/22 500 pour l'ensemble du périmètre d'étude (planche 1) ;
- à l'échelle 1/5 000 sur les secteurs à enjeux de la commune, qui correspondent aux zones bâties (planche 2 à planche 6) :
 - ✓ secteur La Rivière de l'Est - Le Petit Brûlé (planche 2) ;
 - ✓ secteur Centre-Ville - La Ravine Glissante - Marocain - Bellevue (planche 3) ;
 - ✓ secteur Piton Sainte-Rose - Anse des Cascades (planche n° 4) ;
 - ✓ secteur Bois-Blanc - Ilet Leroux (planche n° 5) ;
 - ✓ secteur Pas de Bellecombe-Jacob (planche n° 6).

5.2.2. Caractérisation de l'aléa inondation

Aléa de débordement de la crue centennale

Trois degrés d'aléa inondation ont été définis pour la crue centennale, en fonction du champ d'inondation (hauteur de submersion et vitesse d'écoulement prévisibles) :

Tableau 11 : Caractérisation de l'aléa inondation pour la crue centennale en fonction des vitesses et des hauteurs d'eau

		vitesses (m/s)		
		$v < 0,5$	$0,5 < v < 1$	$1 < v$
hauteur (m)	$0,2 < h < 0,5$	faible	moyen	fort
	$0,5 < h < 1$	moyen	moyen	fort
	$1 < h$	fort	fort	fort

• Aléa fort

- hauteur d'eau en crue centennale supérieure ou égale à 1 m, et/ou des vitesses d'écoulement supérieures à 1 m/s ;
- chenal d'écoulement principal de la crue centennale.

• Aléa moyen

- zone inondée en crue centennale avec des hauteurs d'eau comprises entre 0,5 et 1 m et/ou des vitesses d'écoulement comprises entre 0,5 et 1 m/s ;

• Aléa faible

- zone inondée en crue centennale avec des hauteurs d'eau comprises entre 0,2 et 0,5 m et/ou des vitesses d'écoulement inférieure à 0,5 m/s.

Un aléa nul est attribué par défaut à tous les autres secteurs de la commune, y compris les secteurs potentiellement concernés par des hauteurs d'eau comprises entre 0 et 0,20 m lors d'une crue centennale, où il a été considéré que de telles hauteurs d'eau s'apparentaient à une problématique de gestion des eaux pluviales courante.

5.2.3. Cas particulier de la coulée de lave de 1977

Lors de l'éruption du Piton de la Fournaise de 1977, une coulée de lave a suivi et comblé les talwegs du bassin versant de la ravine Lacroix. Cela a modifié la dynamique d'écoulement des eaux de ces bassins. En raison de la forte perméabilité des coulées récentes, il est délicat de déterminer précisément la position des axes d'écoulement actuel sur ce secteur. L'aléa fort inondation a été cartographié sur la base d'orthophotographies anciennes, où le repérage de la végétation sur coulée de lave récente se développant dans un premier temps le long des axes d'écoulement. Puis ces axes d'écoulement ont été confirmés lors de visite de terrain.

Ailleurs, un aléa moyen a été cartographié sur l'emprise de la coulée de lave de 1977 car les débordements et les résurgences (après passage en souterrain) sont possibles.

Les traces de ruissellements et de ravinement observées au niveau des kiosques de la place des fêtes à Piton Sainte-Rose en mai 2020 après des pluies courantes attestent de l'inondabilité de la zone (Figure 21).



Figure 21 : Érosion due à un ruissellement important Place des Fêtes à Piton Sainte-Rose

5.3. ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN

5.3.1. Méthode d'évaluation de l'aléa

La cartographie de l'aléa mouvements de terrain s'appuie sur le zonage du PPR porté à connaissance de la commune par courrier du Préfet au Maire en date du 20 avril 2021.

Cette cartographie s'appuie sur une méthodologie robuste, qui s'inscrit dans le respect des règles édictées dans les guides nationaux (PPR mouvements de terrain – Guide national méthodologique, 1999, actuellement en cours de révision) et mise en œuvre sur tout le territoire réunionnais depuis plusieurs années.

La cartographie est élaborée à partir d'une approche « à dire d'experts », sans recours à des modélisations et/ou sondages systématiques, dont les principes sont détaillés dans le guide d'élaboration des plans de prévention des risques naturels à La Réunion (DEAL, 2012), en intégrant les outils méthodologiques suivants :

- des **visites de terrain** (analyses visuelles de type "expertise") afin de relever les indices hydrogéomorphologiques pouvant témoigner d'anciens mouvements de terrain ou justifier la possibilité d'occurrence sur la période de référence. Ces « campagnes » de reconnaissances de terrain ont été réalisées entre 2018 et 2020 (visites de terrain les 13 et 14 Mai 2020 dans le but de vérifier la possibilité de traduction d'aléa moyen en B2u ou en R2) ;
- les résultats d'investigations ponctuelles dans le cadre **d'examen de demande formulées par la mairie**. Une précision du zonage, par le biais de visites de terrain et d'analyse de données SIG, au droit de ces différents secteurs à enjeux, a été réalisée à plusieurs reprises en concertation avec les services techniques municipaux en 2020.;
- la prise en compte de nouveaux outils topographiques précis : **Litto3D®** et **MNTR®** (2012). Le produit Litto3D®, développé par l'IGN© et SHOM©, est une base de données altimétrique unique et continue terre-mer donnant une représentation tridimensionnelle de la forme de la position du sol sur la frange littorale du territoire réunionnais. La base de données de Litto3D® ne s'étend qu'à 2 km à l'intérieur des terres. Aussi, l'IGN a étendu cette base de données à l'ensemble de l'île en produisant un Modèle Numérique de Terrain Réunionnais (MNTR®). La précision altimétrique est de l'ordre de 20 cm et la précision planimétrique est de l'ordre de 50 cm ;
- la **mise en cohérence avec l'aléa inondation** (pour l'aléa érosion de berges notamment).

Les récentes données de l'IGN (Bd Topo 2019 et les orthophotos de 2017) font également partie des données fréquemment utilisées dans la démarche de précision de la cartographie.

Les récentes évolutions méthodologiques dans l'élaboration des cartographies d'aléas mouvements de terrain et leur transcription réglementaire, présentées dans le rapport BRGM/RP-66346-FR de novembre 2016⁸ ont été considérées dans le cadre du PPR de la commune de Sainte-Rose, notamment lors de la phase d'analyse des requêtes de l'enquête publique.

La cartographie mouvements de terrain est présentée sur fonds topographiques :

- à l'échelle 1/22 500 pour l'ensemble du périmètre d'étude (planche 1) ;

⁸ **Rey A.** (2016) – PPR multi-aléas des communes de La Réunion. Propositions d'évolutions méthodologiques. Rapport final. BRGM/RP-66346-FR, 167 p., 57 ill., 38 tabl., 5 ann.

- à l'échelle 1/5 000 sur les secteurs à enjeux de la commune, qui correspondent aux zones bâties (planche 2 à planche 6) :
 - secteur La Rivière de l'Est - Le Petit Brûlé (planche 2) ;
 - secteur Centre-Ville - La Ravine Glissante - Marocain - Bellevue (planche 3) ;
 - secteur Piton Sainte-Rose - Anse des Cascades (planche n° 4) ;
 - secteur Bois-Blanc - Ilet Leroux (planche n° 5) ;
 - secteur Pas de Bellecombe-Jacob (planche n° 6).

5.3.2. Règles générales de qualification de l'aléa MVT

La définition de l'aléa impose de connaître, sur l'ensemble de la zone étudiée, **l'intensité et la probabilité d'occurrence** (ou d'apparition) des phénomènes naturels.

L'**intensité** d'un phénomène peut être appréciée de manière variable en fonction de sa nature même : volume des éléments pour une chute de blocs, importance des déformations du sol pour un glissement de terrain, importance du volume érodé pour une érosion de berge, etc... L'importance des dommages causés par des phénomènes passés ou l'échelle des parades nécessaires pour se prémunir du phénomène redouté peuvent également être prise en compte dans l'évaluation de l'intensité des aléas MVT.

La **probabilité d'occurrence** est la traduction de la probabilité qu'un phénomène se produise. Elle est définie soit par la présence du phénomène (historique et/ou actif) sur la zone géographique étudiée soit par la probabilité d'apparition du phénomène sur la période de référence donnée en fonction de la configuration de la zone géographique étudiée. Cette probabilité d'occurrence est fonction de la présence ou non de facteurs déterminants propres à chaque phénomène étudié (facteurs de prédisposition) et de facteurs non permanents (ou aggravants).

Le guide PPR spécifique aux mouvements de terrains (M.A.T.E. et M.E.T.L., 1999), fort du constat qu'il est très délicat de qualifier un phénomène d'instabilité de pentes par une notion de fréquence (contrairement aux phénomènes d'inondations, de houle ou de vent), accepte que le critère d'intensité ou de gravité permette à lui seul de qualifier l'aléa MVT.

La carte d'aléa est établie en fonction d'un aléa de référence, qui dans le cadre du PPR s'exprime généralement à partir d'une **période de référence (ou de retour) donnée**. Dans le cadre des PPR, cette période de référence donnée est le siècle à venir (**100 ans**), qui correspond approximativement à la durée de vie d'une habitation.

Probabilité d'occurrence

La prévision de la date de déclenchement d'une instabilité de terrain est très rarement possible car elle dépend de facteurs permanents imparfaitement connus et de facteurs déclenchant non prévisibles avec certitude (pluies, séismes, vibrations, activités humaines, etc.).

En pratique, la probabilité d'occurrence est la plupart du temps estimée de façon qualitative (faible, moyenne, forte, très forte) en évaluant la prédisposition du site à un phénomène donné en fonction des facteurs permanents d'instabilité. Cette probabilité est donnée en fonction d'une échéance (ex : pour les PPR mouvements de terrain, la période de référence est le siècle).

L'évaluation de cette « probabilité » est donc basée sur la détermination des contextes favorable à la manifestation des phénomènes. Pour cela, des facteurs de prédisposition (permanents) et des facteurs non permanents (aggravants ou non) sont déterminés :

- **facteurs de prédisposition (= permanents)**
 - géologie : lithologie, altération, fracturation, épaisseur des faciès, hétérogénéités des formations ;
 - morphologie : pentes, encaissement.
- **facteurs non permanents (= généralement déclenchants, aggravants)**
 - altitude : différence de pluviométrie ;
 - venue d'eau, d'humidité : résurgence, écoulement... ;
 - végétation : présence ou non, culture en terrasse... ;
 - activité humaine : ouvrages de protection, drainage mal adaptés, vibrations, ...
 - séisme
 - ...

La définition et la précision des critères de prédisposition font appel à l'expérience de l'expert en charge de la cartographie de l'aléa MVT, sur les phénomènes naturels à La Réunion, ainsi qu'à un inventaire des phénomènes historiques survenus sur la commune et à proximité immédiate (recherche historique en mairie, enquête auprès des habitants, etc.).

Les relevés de terrain effectués sur le bassin de risque étudié permettent d'identifier les facteurs de prédisposition et de préciser les facteurs potentiellement aggravants afin de définir, ou tout du moins d'estimer la probabilité d'occurrence d'un phénomène dans la période de temps considérée (en l'occurrence le siècle).

Le Tableau 12 présente une proposition d'échelle qualitative de probabilité d'occurrence.

Tableau 12 : Echelle qualitative de probabilité d'occurrence (LCPC, guide technique sur les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux, 2004)

Très élevée (te)	L'occurrence du phénomène est normale. Sa non-occurrence serait exceptionnelle	La probabilité est appréciée en fonction des facteurs déterminants (présence et/ou intensité)
Élevée (e)	L'occurrence du phénomène est plus envisageable que sa non-occurrence	
Modérée (m)	L'occurrence du phénomène est équivalente à sa non-occurrence	
Faible (f)	La non-occurrence du phénomène est plus envisageable que son occurrence	
Très faible (tf)	La non-occurrence du phénomène est normale. Son occurrence serait exceptionnelle	

Intensité

L'évaluation de l'intensité des phénomènes de mouvements de terrain s'appuie sur une approche naturaliste de type expertise, excluant tout recours à des études complémentaires (sondages, essais et modélisations), sauf lorsque celles-ci sont déjà disponibles lors de l'établissement des cartes d'aléas. Les facteurs de base sont le relief et la nature des terrains et donc, plus généralement, la géomorphologie du terrain. En fonction du type de formation rencontré, les critères vont différer : globalement plus les terrains seront indurés (roche, etc.) et plus la pente devra être importante pour créer des instabilités, et inversement.

Peuvent s'ajouter aux facteurs de prédisposition des facteurs non permanents, variables, qui vont soit augmenter soit diminuer l'exposition d'une zone face à un phénomène de mouvements de terrain. Par exemple, la présence d'eau, la présence d'un défrichement intempestif vont augmenter

l'exposition d'une zone. A contrario, la présence d'ouvrage de confortement de bonne qualité peut dans certains cas conduire à une diminution de l'exposition.

On doit, par ailleurs, tenir compte de la propagation d'un phénomène de mouvements de terrain :

- plus les masses en mouvement sont importantes et plus leur zone de départ est élevée, plus la zone de propagation potentielle est vaste ;
- plus la pente est importante et plus la zone de propagation sera importante.

De façon pratique, il convient de retenir que le zonage d'intensité distingue des secteurs homogènes où le niveau d'exposition à un aléa a été considéré constant. Cela signifie que des secteurs n'ayant fait l'objet d'aucun témoignage d'instabilité peuvent être considérés comme exposés s'ils présentent une configuration similaire à un ou plusieurs secteurs actifs ou historiquement touchés (notion de potentialité).

Aléa

De façon globale, l'évaluation des aléas repose sur un croisement de la probabilité d'occurrence et de l'intensité du phénomène à l'aide d'une grille de définition (Tableau 13). Le résultat est exprimé de façon qualitative.

Tableau 13 : Principe de grille de qualification des aléas

		Intensité croissante			
		Faible			Très élevée
Probabilité d'occurrence croissante	Faible	Faible			
	Très élevée				Très élevé

Aléa croissant

Il est à noter que la hiérarchisation (le croisement finalement adopté) de l'aléa, selon ce type de grille, peut être variable d'un phénomène à un autre selon le nombre de classes d'intensité par exemple.

Le détail de chaque grille d'aide à la qualification de l'aléa MVT (par type de phénomène gravitaire considéré) est présenté dans le rapport BRGM RP-66346-FR de Novembre 2016 et en Annexe 1 de la présente note de présentation. Les aléas MVT ainsi cartographiés sont :

- **les chutes de pierres, les chutes de blocs et les éboulements (symbole P) :** phénomènes de recul de rempart, de propagation d'éboulement ou de chute de blocs isolés, de remobilisation de blocs sur les pentes ;
- **les glissements de terrain et coulées de boue associées (G) ;**
- **les érosions de berge (E) ;**
- **le ravinement, l'érosion des sols (E).**

5.3.3. Qualification de l'aléa mouvements de terrain

Etant donnée la méthodologie pour la définition de chaque aléa MVT (érosion, chute de blocs, glissement), suivant une matrice combinant la probabilité d'occurrence et l'intensité, pour les secteurs concernés par plusieurs aléas, le niveau d'aléa le plus élevé sera prédominant pour la définition du niveau d'aléa « résultant » (Tableau 14).

Tableau 14 : Définition du niveau d'aléa MVT résultant en fonction des différents aléas caractérisés

Niveau d'aléa des phénomènes naturels cartographiés	Niveau d'aléa résultant	Exemple de types de zones	Potentiel de dommages sur des enjeux bâtis (existants ou non)
si au moins un aléa faible	Faible	E1, P1, G1 et toute combinaison comprenant un de ceux-ci	Pas de dommage au gros œuvre Pas ou peu de dommage aux éléments de façades
si au moins un aléa moyen	Moyen	E2, G2, P2, et toute combinaison comprenant un de ceux-ci	Dommage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée
si au moins un aléa élevé	Elevé	P3, E3, G3 et toute combinaison comprenant un de ceux-ci	Dommage important au gros œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
si au moins un aléa très élevé	Très élevé	P4, E4, G4 et toute combinaison comprenant un de ceux-ci	Destruction du gros œuvre Ruine certaine Perte de toute intégrité structurelle

Quatre niveaux d'aléa mouvements de terrain ont été définis (en plus du niveau « très faible à nul ») par regroupement des typologies rencontrées :

- **aléa faible** : zones sur lesquelles des caractéristiques géomécaniques plutôt favorables à la stabilité des terrains existent et sur lesquelles généralement aucun désordre n'a été recensé (des informations événementielles peuvent quelquefois exister vis-à-vis de mouvements d'ampleur limités, maîtrisables à l'échelle de la parcelle). L'intensité prévisible du phénomène à craindre reste limitée.

Les zones d'aléa faible, où les parades à maîtrise d'ouvrage individuelle sont possibles à condition de ne pas aggraver les risques sur le secteur du projet, sont considérées comme constructibles.

- **aléa moyen** : des incertitudes demeurent par rapport à l'extension, l'ampleur, et la fréquence des phénomènes potentiels ou bien les caractéristiques des mouvements sont réellement intermédiaires entre un aléa faible et élevé.

Les zones d'aléa moyen, où les parades dépassent le cadre de la parcelle (échelle du versant) et relèvent généralement d'un maître d'ouvrage collectif, sont en principe inconstructibles. Elles peuvent être néanmoins constructibles sous condition dans les « secteurs à enjeux jugés sécurisables » définis dans le cadre de la détermination des enjeux en concertation avec la commune. Ces zones nécessitent la réalisation d'une étude géotechnique pour en préciser les conditions de constructibilité.

- **aléa élevé** : zones jugées instables, où de nombreux mouvements de terrain sont recensés et où les paramètres géomécaniques sont défavorables et indiquent une stabilité précaire. Ces secteurs peuvent également être associés aux zones d'extensions maximales de

phénomènes gravitaires se propageant (ex : aval des remparts) ou de phénomènes régressifs (ex : amont des remparts).

Les zones d'aléa élevé sont inconstructibles. Dans ces zones, les mesures de prévention et de protection sont techniquement difficiles, ou très coûteuses. Seuls quelques équipements particuliers peuvent être tolérés.

- **aléa très élevé** : en complément aux qualifications précédentes en terme d'instabilité, l'aléa très élevé concerne des zones directement exposées à des phénomènes de grande ampleur et/ou très fréquents.

Les zones d'aléa très élevé sont inconstructibles, dans la mesure où il n'existe pas de parade technique financièrement envisageable par rapport aux enjeux « classiques » (notamment d'urbanisation). Seuls des équipements structurants à maîtrise d'ouvrage publique peuvent être envisagés sous réserve d'études spécifiques.

5.3.4. Mise en cohérence de l'aléa MVT avec l'aléa INONDATION

Dans les PPR Multi-risques à La Réunion, la cartographie de l'aléa érosion est mise en cohérence avec l'aléa inondation. Ces critères de zonage sont définis dans le rapport RP-66346-FR (Rey, 2016), cf. annexe 1.

Dans un souci d'harmonisation de la caractérisation de l'aléa érosion et de limiter les interprétations de cette méthodologie, les précisions suivantes sont proposées dans le Tableau 15. Il s'agit notamment de distinguer plus explicitement les contextes d'érosion en contexte de sol imperméabilisé et de sol nu.

Tableau 15 : Traduction de l'aléa MVT en lien avec les phénomènes d'érosion en fonction de l'aléa INONDATION

Aléa INONDATION	Aléa MVT (érosion)	
	Sols nus (terrains agricoles, chemins en terre, espaces forestiers)	Sols globalement imperméabilisés (Surface globalement revêtue (béton, enrobés))
FORT <ul style="list-style-type: none"> Lits des cours d'eau et axes d'écoulements préférentiels dans les zones de débordement Vitesses d'écoulement élevées (>1m/s, si l'information est fournie par une étude hydraulique appropriée) 	ELEVE (E4, E3) Sur l'emprise de l'aléa FORT inondation et sur la zone exposée à des reculs érosifs sur la période de référence du PPR*	ELEVE (E3, E4) Dans la zone exposée à des reculs érosifs sur la période de référence du PPR*
		MOYEN (E2) hors zone exposée à des reculs érosifs sur la période de référence du PPR*
FORT <ul style="list-style-type: none"> Hors axe d'écoulement préférentiel** et hors zone exposée à des reculs érosifs sur la période de référence du PPR* Aléa fort inondation résultant de la hauteur d'eau (H>1m) avec des vitesses <1m/s (si l'information est fournie par une étude hydraulique appropriée) 	MOYEN (E2)	MOYEN (E2)
MOYEN <ul style="list-style-type: none"> Zone concernée par des hauteurs d'eau de 0,5 m à 1m et par des vitesses d'écoulement non négligeables estimées à dire d'expert ou sur la base de résultats de modélisations hydrauliques appropriées (V>0,5 m/s) 	MOYEN (E2)	FAIBLE (E1)
MOYEN <ul style="list-style-type: none"> Zone l'aléa moyen est conditionné par la hauteur d'eau (0,5m>H>1m et V<0,5 m/s) 	FAIBLE (E1)	FAIBLE(E1)
FAIBLE	FAIBLE (E1)	FAIBLE(E1)

* **Zone exposée à des reculs érosifs sur la période de référence du PPR** correspond à l'emprise en recul de la berge susceptible d'être affectée par un recul de celle-ci sous l'effet de l'érosion lors de crues répétées au cours du siècle à venir.

****Axe d'écoulement préférentiel** : Zone de concentration des écoulements (thalweg, point de débordement ponctuel, par exemple).

Il convient de souligner que même si l'imperméabilisation des sols réduit localement les effets de l'érosion, compte des possibilités d'infiltration limitées, les ruissellements sont augmentés et concentrés. Aussi, à l'aval des zones imperméabilisées les phénomènes érosifs peuvent être considérablement aggravés de même que l'aléa inondation.

5.3.5. Cas particulier des cavités volcaniques souterraines

La commune de Sainte-Rose est située principalement sur des coulées basaltiques récentes. L'épanchement des coulées de lave basaltique, après une première phase de refroidissement en surface, se poursuit souvent en souterrain. La vidange des conduits d'écoulement souterrain laisse derrière elle des cavités. Ces tunnels peuvent atteindre plusieurs mètres de large et kilomètres de longueur. Sur la commune de Sainte-Rose, 50 cavités volcaniques sont recensés dans la base de données géorisques⁹. Cet inventaire est loin d'être exhaustif. Hormis lorsque ces tunnels sont visitables, il est en effet difficile de déceler ces objets.

La stabilité de ces cavités est notamment conditionnée par la qualité de la roche (massivité, fracturation), l'épaisseur de la voute et donc de leur proximité avec la surface. L'altération progressive des coulées soumises à un climat très humide, le développement de la végétation en surface, l'apport de surcharge ou la réalisation de terrassement sont des facteurs déstabilisateurs potentiels de ces cavités.

Les connaissances actuelles ne sont pas suffisantes pour caractériser l'aléa cavités souterraines à l'échelle du territoire communal de Sainte-Rose, pour cela ce phénomène n'est pris cartographié dans le PPR. Il convient néanmoins de garder à l'esprit que la présence de tunnels de laves potentiellement instables est possible sur tous les terrains constitués de coulées volcanique (aléa diffus).

Des investigations géophysiques ou géotechniques peuvent s'avérer pertinentes pour lever le doute sur la présence de cavités au droit des projets. En cas de découverte de cavité, des travaux de sécurisation sont parfois envisageables.

⁹ <https://www.georisques.gouv.fr/risques/cavites-souterraines>

5.4. PRINCIPES DE TRADUCTION REGLEMENTAIRE

Les principes de traduction réglementaire des aléas sont détaillés dans le règlement du PPR et illustrés par la grille de croisement des aléas présentée au Tableau 16 suivant, dont elle est issue. Les règles et prescriptions définies et propres à chaque zone ainsi que les différentes dispositions réglementaires applicables au titre du PPR de Sainte-Rose sont décrites dans le règlement du dossier.

Les principes de croisement des aléas afin de définir le zonage réglementaire intègrent les principales règles suivantes :

- Toute zone concernée par un aléa fort inondation ou élevé et très élevé mouvements de terrain est classée en R1 = zone « rouge » dotée d'un principe d'inconstructibilité ;
- L'aléa moyen mouvements de terrain est traduit (en dehors de zones d'aléa fort inondation) suivant deux zones réglementaires (R2 = zone « rouge » dotée d'un principe d'inconstructibilité et B2u zone « bleue » dotée d'un principe de constructibilité avec prescriptions). La distinction réglementaire des terrains classés en aléa moyen mouvements de terrain est définie en fonction du caractère « sécurisable » dans le cadre d'un projet d'aménagement dans des zones à enjeux, où des travaux de sécurisation sont jugés réalisables. La délimitation des zones à enjeux s'appuie sur les limites des espaces forestiers gérés par l'ONF et les limites du cœur du Parc Naturel de la Réunion. Les terrains inclus au sein de ces 2 périmètres, classés en aléa moyen MVT, sont ainsi maintenus en zone R2. En dehors de ces espaces naturels, les principaux critères utilisés pour juger du caractère sécurisable sont les suivants :
 - La capacité technique à protéger la zone considérée doit être garantie dans le cadre d'un projet éventuel ;
 - Le coût de la protection, directement lié à l'intensité des instabilités pouvant se développer dans la zone considérée doit être proportionné au projet éventuel.

Par exemple, les terrains classés en aléa moyen en recul de la crête des remparts ou ceux situés en pied de parois de grande hauteur où des chutes de blocs et des éboulements peuvent se produire et impacter ces terrains ne sont pas considérés comme sécurisables à l'échelle d'un particulier ou d'un porteur de projet (capacité technique très difficile voire hypothétique ; coût disproportionné par rapport au projet). Une traduction réglementaire R2 est retenue dans ces cas d'espèce.

La constructibilité dans les zones réglementaires B2u nécessite au préalable la réalisation d'une étude technique (généralement géotechnique) afin de définir les conditions de réalisation du projet ;

- En dehors des zones d'aléa moyen et élevé/très élevé mouvements de terrain, l'aléa faible et l'aléa moyen inondation conditionnent la traduction réglementaire des zones B2 (aléa moyen inondation) et B3 (aléa faible inondation), zones « bleues » dotées d'un principe de constructibilité avec prescriptions.

Tableau 16 : Principe de traduction réglementaire des aléas du PPR de Sainte-Rose

Transcription réglementaire aléa/enjeux		MOUVEMENTS DE TERRAIN				
		Très élevé élevé	Moyen		Faible	Nul
			Autres secteurs	Secteurs jugés sécurisables		
INONDATION	fort	R1	R1	R1	R1	R1
	moyen	R1	R2	B2u	B2	B2
	faible	R1	R2	B2u	B3	B3
	nul	R1	R2	B2u		

5.5. EXEMPLES DE CARTOGRAPHIE AU DROIT DE SECTEURS A ENJEUX

Afin d’illustrer le zonage d’aléa et le zonage réglementaire, quelques secteurs à enjeux de la commune sont présentés ci-dessous. Pour chaque secteur, un extrait des cartes d’aléa inondation et mouvements de terrain, ainsi qu’un extrait du zonage réglementaire seront présentés. Il s’agit des secteurs suivants :

- La Marine – Centre-Ville
- La Ravine Glissante
- L’Anse des Cascades
- Bois Blanc ;

La légende associée aux extraits cartographiques présentés est la suivante :

Niveau d’aléa MVT	Niveau d’aléa Inondation	Zonage réglementaire
<p>■ TRÈS ÉLEVÉ</p> <p>■ ÉLEVÉ</p> <p>■ MOYEN</p> <p>■ FAIBLE</p>	<p>■ FORT</p> <p>■ MOYEN</p> <p>■ FAIBLE</p> <p>■ NUL</p>	<p>■ R1 ■ B2u</p> <p>■ R2 ■ B3</p> <p>■ B2</p>

Tableau 17 : Légendes des extraits cartographiques du projet de PPR

5.5.1. Secteur de La Marine – Centre-Ville

Le quartier La Marine, situé au niveau du port de Sainte-Rose proche du centre-ville, est une zone basse à proximité du littoral concernée par deux ravines, la Ravine Bonin à l'ouest et la Ravine Parisse à l'est. Leurs débits à l'exutoire sont respectivement estimés à 70 et 50 m³/s et franchissent chacune les ouvrages au niveau du chemin du Petit Brûlé et de la route nationale N2 plus en aval. Ces derniers sont séparés de 100 m pour la Ravine Bonin et 15 m pour la Ravine Parisse qui franchie un troisième ouvrage 90 m plus en aval au niveau du chemin de la Marine.

Une modélisation hydraulique a été réalisée sur la Ravine Parisse au niveau de ces trois ouvrages dans le cadre de l'étude pré-opérationnelle sur les habitats indignes en zone à risque d'aléa fort réalisée par HYDRETTUDES¹⁰. Ces données ont été prise en compte pour préciser l'enveloppe de l'aléa fort inondation.

Les deux cours d'eau sont cartographiés en aléa fort inondation en fonction de la hauteur de la lame d'eau d'une crue centennale. Un débordement est possible en rive de la Ravine Bonin, au niveau du chemin du Petit Brûlé, et s'élargit en rive droite à partir de la route nationale N2 jusqu'au littoral, au niveau du port. Ce débordement est cartographié en aléa moyen en raison des faibles hauteurs d'eau estimées.

La zone est également concernée par un aléa mouvements de terrain résultant de la mise en cohérence avec l'aléa inondation. En effet, l'érosion des berges présente dans les ravines est cartographiée jusqu'aux sommets des berges et parfois quelques mètres en retrait selon le contexte (lithologie, méandres, ...). Lors de visites de terrain, des sous-cavages importants ont été observés sur la Ravine Bonin entre le chemin du Petit Brûlé et la RN2 (Figure 22). En recul de cet aléa élevé est ajouté un bandeau d'aléa moyen de 10 m de largeur afin de traduire les reculs possibles de la berge sur la période de référence (siècle à venir). L'aléa moyen MVT est également présent au niveau des débordements (aléa moyen inondation).

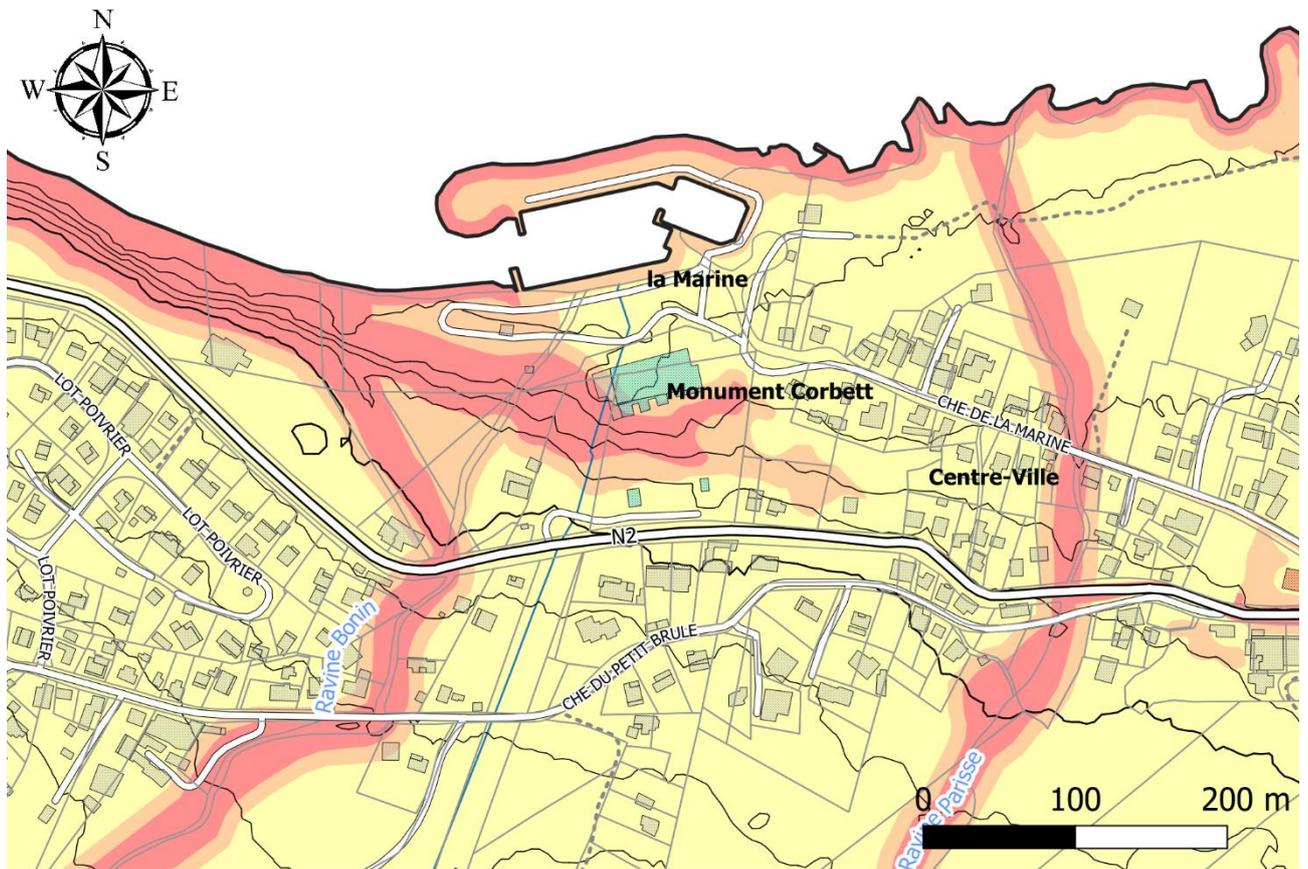
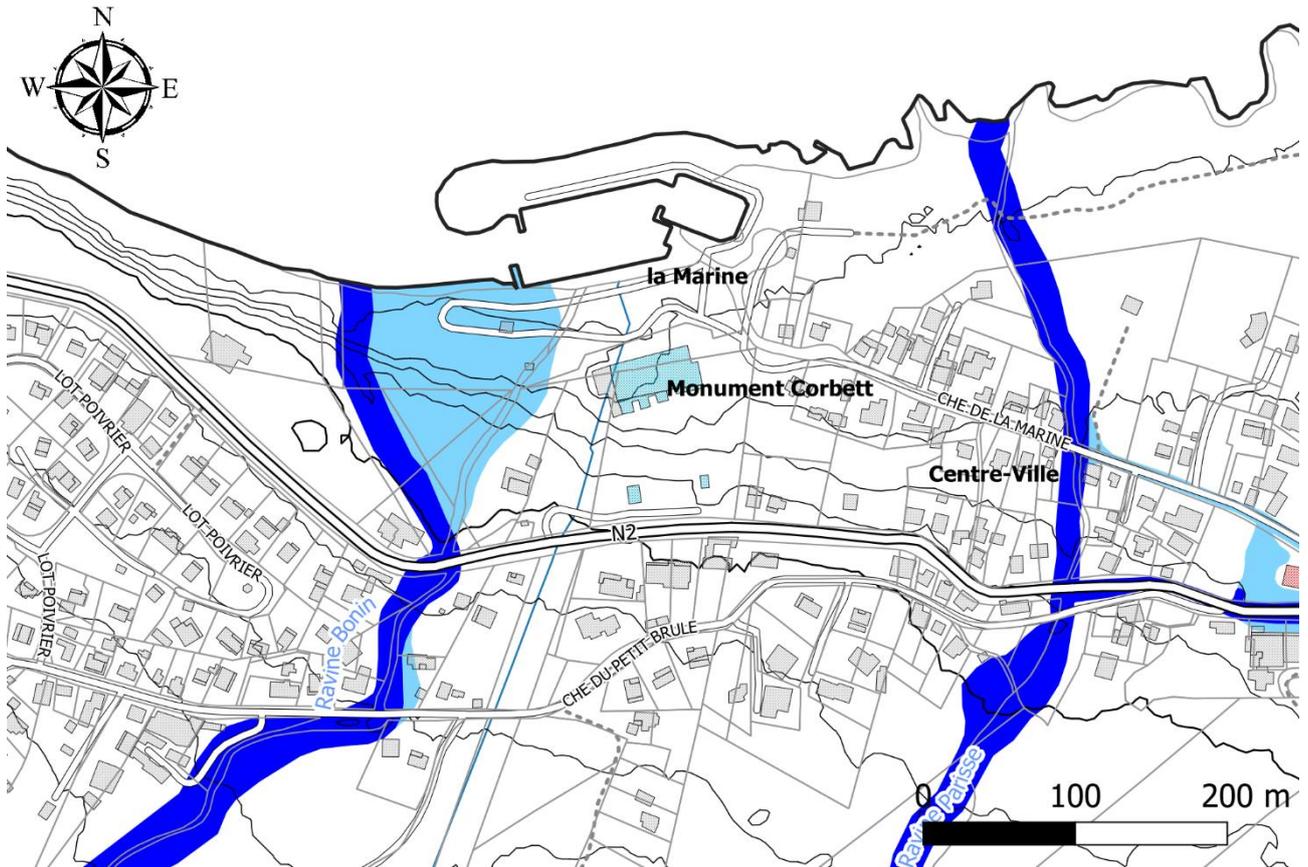
L'escarpement d'une vingtaine de mètres au sud du parking du port et de la centrale hydraulique d'EDF est constitué d'un empilement de coulées de lave métriques à plurimétriques. L'escarpement et une bande de 5 à 10 m en pied sont affectés d'un aléa MVT élevé, puis par un aléa moyen MVT sur une largeur de 10 m compte tenu des phénomènes de chutes de blocs possibles à ce niveau.

L'aléa moyen MVT lié aux phénomènes érosifs en zone d'aléa moyen inondation au niveau du parking du port est traduit en B2u au zonage réglementaire. L'aléa moyen MVT au niveau de l'infrastructure portuaire est aussi traduit en B2u, au regard des capacités de sécurisation dans un contexte de maîtrise d'ouvrage publique.

¹⁰ HYDRETTUDES (novembre 2018). Etudes pré-opérationnelles Habitats indignes en zone à risque d'aléa fort. Phase 1 : Pré-enquêtes. Détermination des paramètres hydrauliques. Affaire RE17-140.



Figure 22 : Sous-cavage observé sur la Ravine Bonin au pied d'une habitation



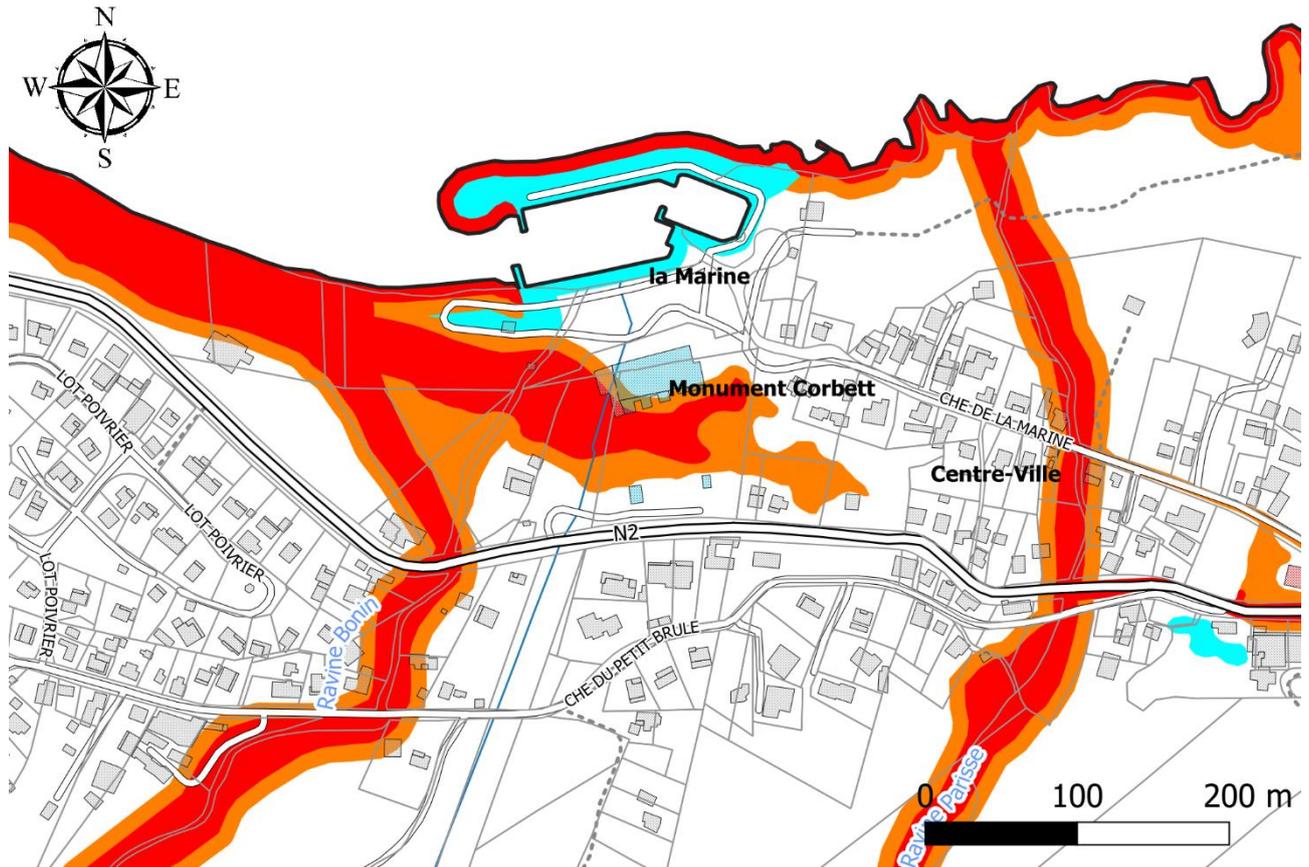


Figure 23 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de La Marine – Centre-Ville

5.5.2. Secteur de La Ravine Glissante

Le secteur de la Ravine Glissante se situe au niveau des cours d'eau du même nom, la Grande Ravine Glissante au nord et la Petite Ravine Glissante au sud. L'urbanisation de ce secteur se concentre principalement en rive droite de la Petite Ravine Glissante.

Cette zone a fait l'objet d'une étude hydraulique réalisée par l'entreprise HYDRETUDES¹¹ en août 2021 (cf. annexe 4 du dossier de PPR), sur demande de la DEAL. Les débits de crue centennale des deux cours d'eau ont été estimés à 365 m³/s pour la Grande Ravine Glissante et à 71 m³/s pour la Petite Ravine Glissante. Le débit capable de l'ouvrage de franchissement de la Grande Ravine Glissante au niveau de la route nationale 2 est supérieur au débit de la crue centennale. L'ouvrage franchissant la Petite Ravine Glissante au niveau de la RN2 a un débit capable équivalent au débit de la crue centennale, ce qui ne laisse pas de marge d'erreur. Plus en amont de la RN2, un second ouvrage franchit la Petite Ravine Glissante, au niveau du chemin Piton Galets. Cet ouvrage présente un débit capable nettement inférieur au débit de la crue centennale. Un rive droit confirme le débordement régulier de ce cours d'eau en rive droite et en amont de l'ouvrage. Le tablier de l'ouvrage montre des signes de dégradation résultants d'un niveau d'eau élevé régulier (Figure 24).



Figure 24 : Vue amont de l'ouvrage sur le Chemin Piton Galets

La modélisation hydraulique des écoulements a permis de mettre en évidence quelques fronts de débordements (Figure 25). Les débordements de la Petite Ravine Glissante commencent sur le chemin Badamier et s'amplifient jusqu'à atteindre les habitations à proximité immédiate de la berge rive droite. Les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulements restent néanmoins très faibles et contenues au niveau des axes routiers. Un autre front de débordement est visible rive droite, traversant la plateforme cannière. La Grande Ravine Glissante présente des fronts de débordements en amont rive gauche au niveau de l'extrados, sur les deux rives en amont du chemin Paul (avec un rejet vers la Petite Ravine Glissante en rive droite) et en aval de la RN2. Les débordements rive gauche atteignent le quartier de La Cayenne.

¹¹ HYDRETUDES (août 2021). Etude de précision des aléas inondation des secteurs de Bois Blanc et Ravine Glissante – Commune de SAINTE ROSE. N° de référence RE21-037. Version 1.0.

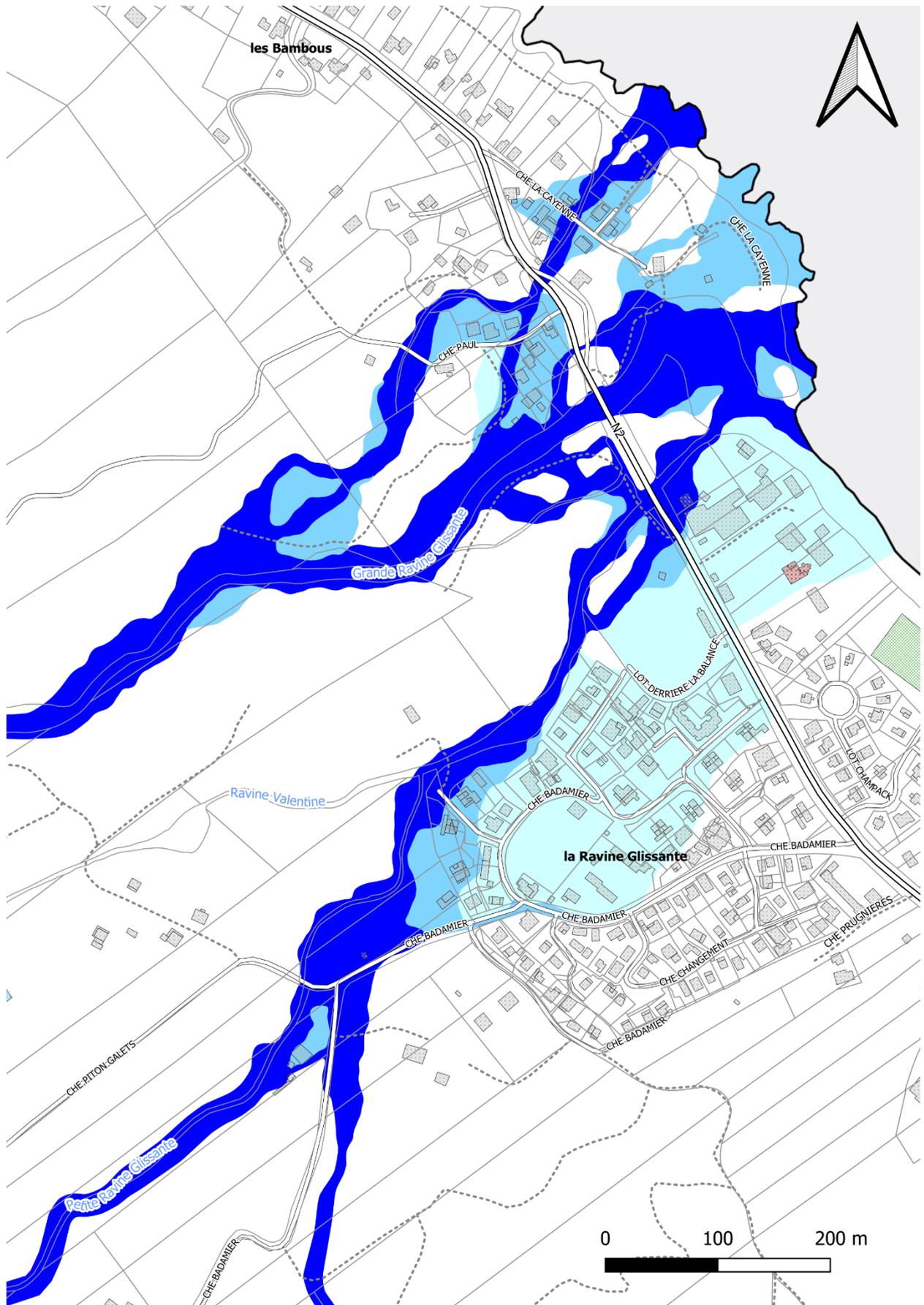
Finalement, suite à cette modélisation, l'aléa en rive droite de la Petite Ravine Glissante a été déclassé et les simulations ont révélé que l'aléa inondation initial était sous-évalué sur la rive gauche de la Grande Ravine Glissante. L'aléa inondation a également été supprimé au niveau de la Ravine Valentine. Il est apparu lors des visites de terrain que le bras de la Ravine Valentine se rejetant initialement dans la Petite Ravine Glissante a été comblé et que ce thalweg n'est pas susceptible d'être réactivé. Les écoulements de la Ravine Valentine se jettent désormais dans la Grande Ravine Glissante.

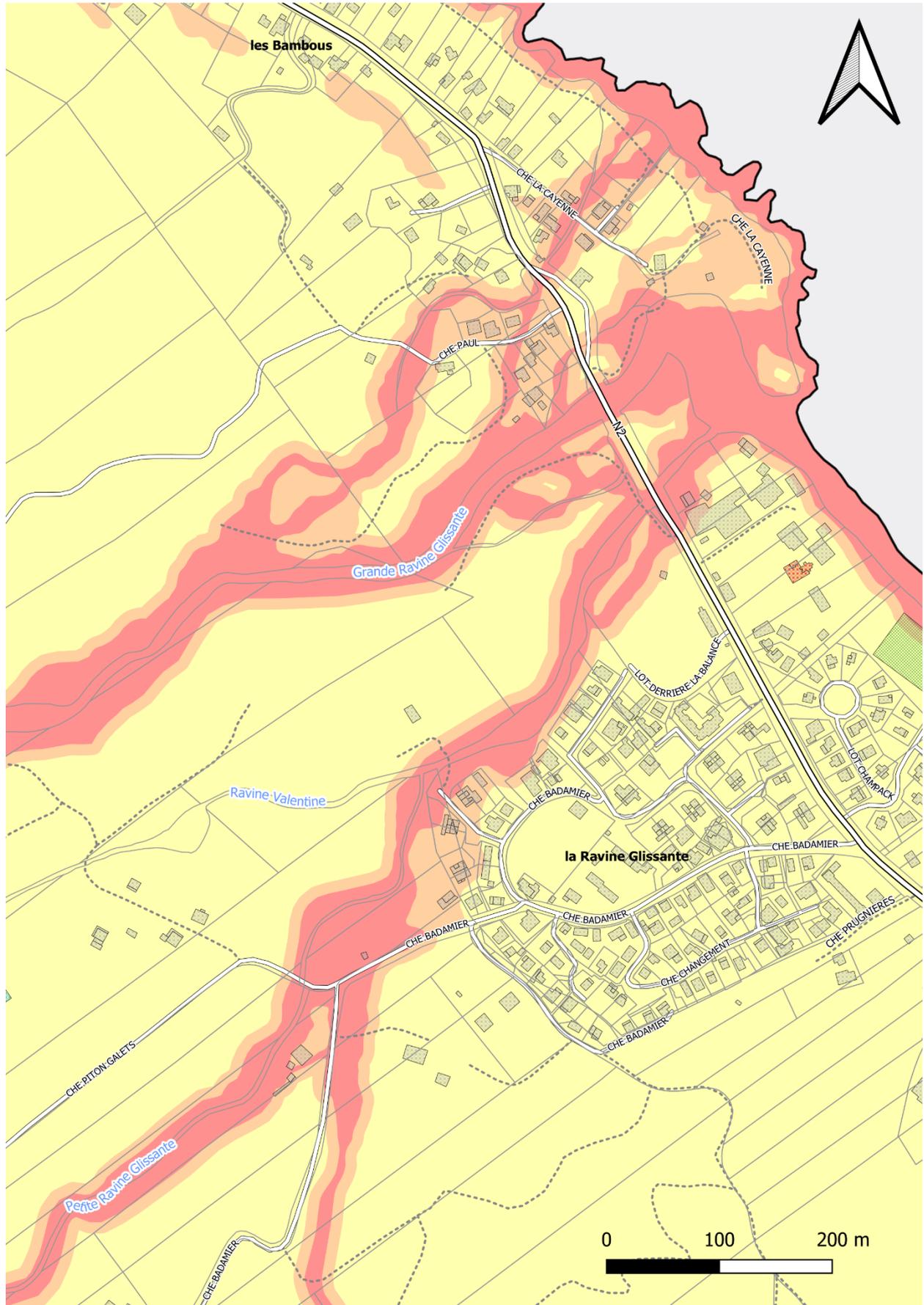
Le nouveau zonage tient compte des résultats de cette étude.

L'aléa mouvement de terrain est mis en corrélation avec l'aléa inondation. L'aléa mouvement de terrain est élevé là où l'aléa inondation est fort. Un bandeau de 10 m d'aléa moyen mouvement de terrain en recul du sommet des berges traduit le recul possible de la berge sur la période de référence (siècle à venir). L'aléa moyen MVT est mis en cohérence de l'aléa moyen inondation. à ce niveau, l'aléa moyen MVT est traduit en B2u dans le zonage règlementaire.



Figure 25 : Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale, secteur de La Ravine Glissante. HYDRETUDES, 2021.





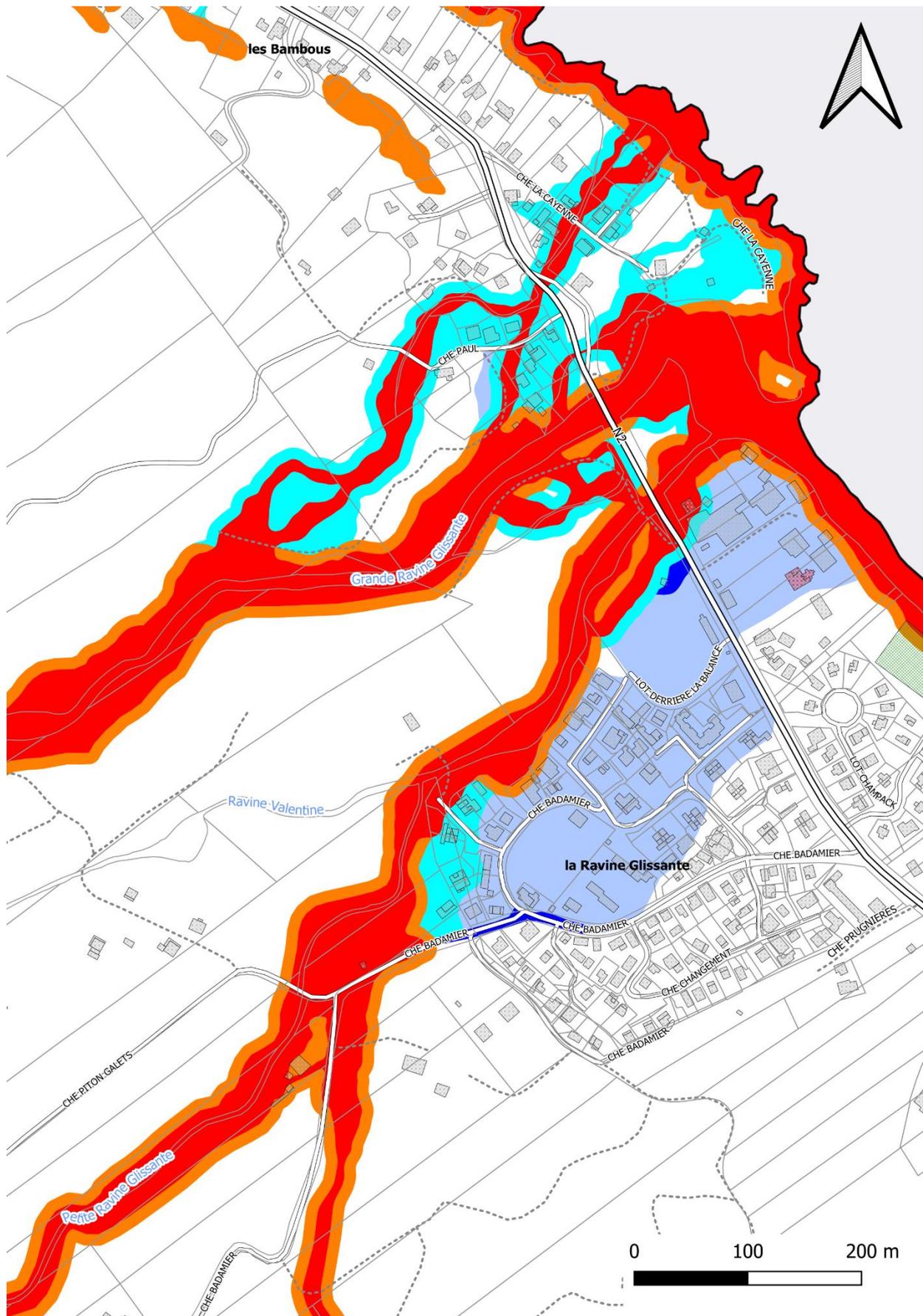


Figure 26 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur du La Ravine Glissante

5.5.3. Secteur de l'Anse des Cascades

L'Anse des Cascades, située le long du littoral de Sainte-Rose, est un site naturel touristique sur lequel sont présents un restaurant, une cabane de pêcheurs, un bâtiment appartenant à l'ONF et plusieurs kiosques. Ce secteur est compris entre un versant abrupt de 90 m de hauteur à l'ouest, le Gros Piton au nord et l'océan à l'est et au sud. Il est traversé par plusieurs ravines et cours d'eau venant des trois bras de la Ravine des Bambous qui forment des cascades sur l'escarpement situé à l'ouest de la zone.

Cartographie de l'aléa inondation

Le PPR inondation approuvé le 25 janvier 2011 a été modifié au niveau de l'Anse des Cascades au droit des parcelles AV0025, AW0081 et AW0082 (Figure 27) par l'arrêté préfectoral n°2019-2300 SG/DCL/BU du 20 juin 2019. Ces modifications, sollicitées par la commune de Sainte-Rose en vue d'un projet d'aménagement, se basent sur une récente étude hydraulique réalisée par Egis de Mai 2018, version 1.

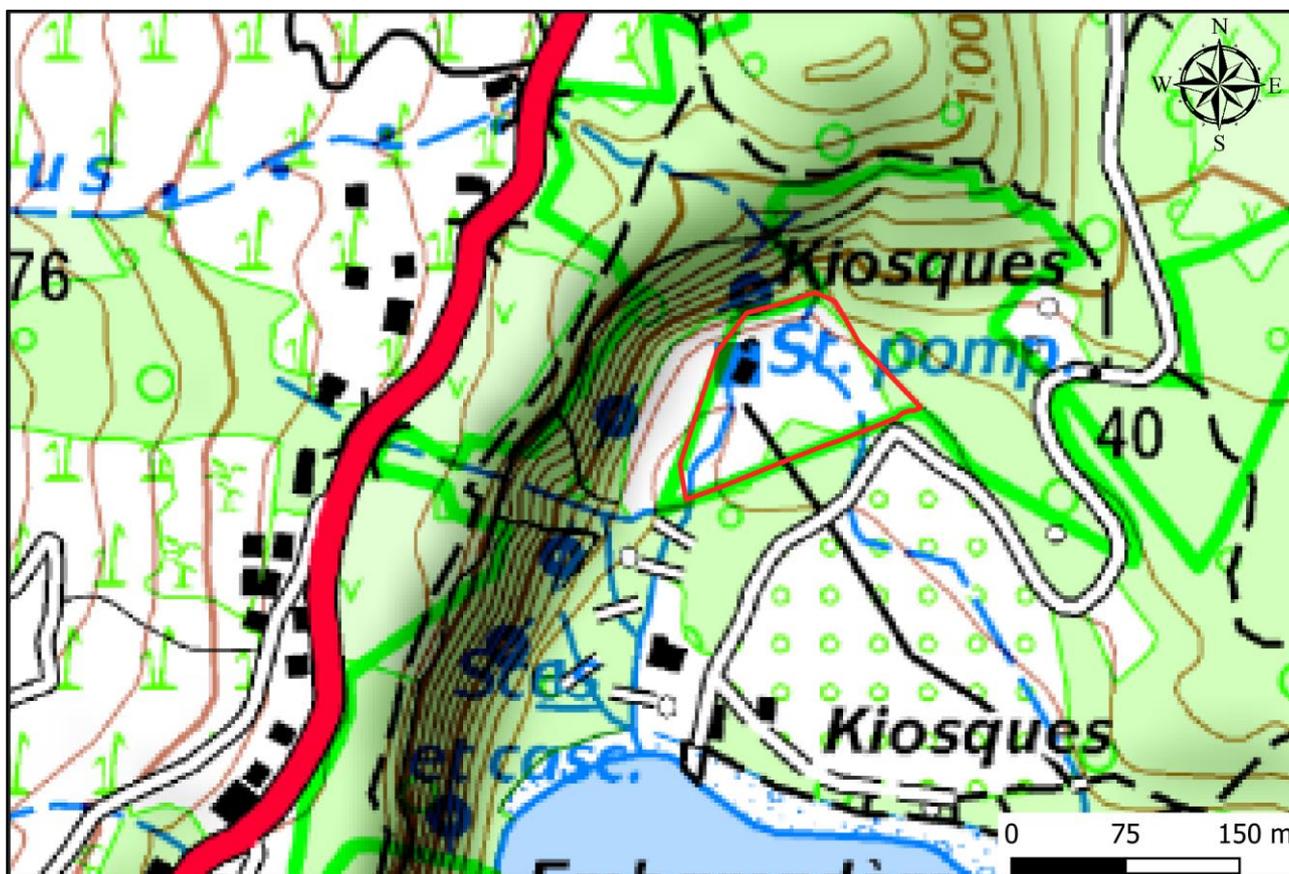


Figure 27 : Carte de localisation de l'emprise du projet (polygone rouge) (fond ©IGN SCAN 25® TOPO version 3® - 2015)

L'étude hydraulique concerne toute la zone de l'Anse des Cascades, et non pas que les parcelles concernées par le projet d'aménagement de la mairie. Les résultats ont donc également été utilisés pour cartographier les différents niveaux de l'aléa inondation sur ce secteur.

Une grande partie de la zone relativement plane est impactée par des hauteurs d'eau importantes provenant des ravines, distinctes en amont mais qui ont un champ d'expansion commun en aval. Néanmoins, l'emprise de l'aléa fort inondation est légèrement moins impactante que la délimitation

du PPR inondation de 2011, qui concernait entièrement les parcelles ainsi que toute la partie basse de l'Anse des Cascades, jusqu'à la bordure littorale.

Cartographie de l'aléa mouvements de terrain

Le secteur est également concerné par l'aléa mouvements de terrain en raison de l'escarpement présentant une hauteur variant de 70 à 100 m qui est à l'origine d'un risque de glissement de terrain et de chute de bloc, phénomènes s'étant déjà produits dans la zone.

L'aléa élevé mouvements de terrain est situé sur toutes les pentes supérieures à 35° correspondant aux zones de départ de l'aléa chute de blocs et leurs zones de propagation et aux zones sujettes à des glissements de terrain dans un contexte de terrains constitués de d'empilement de coulée basaltiques mais aussi d'épais niveaux de projections (lapillis et cendres).

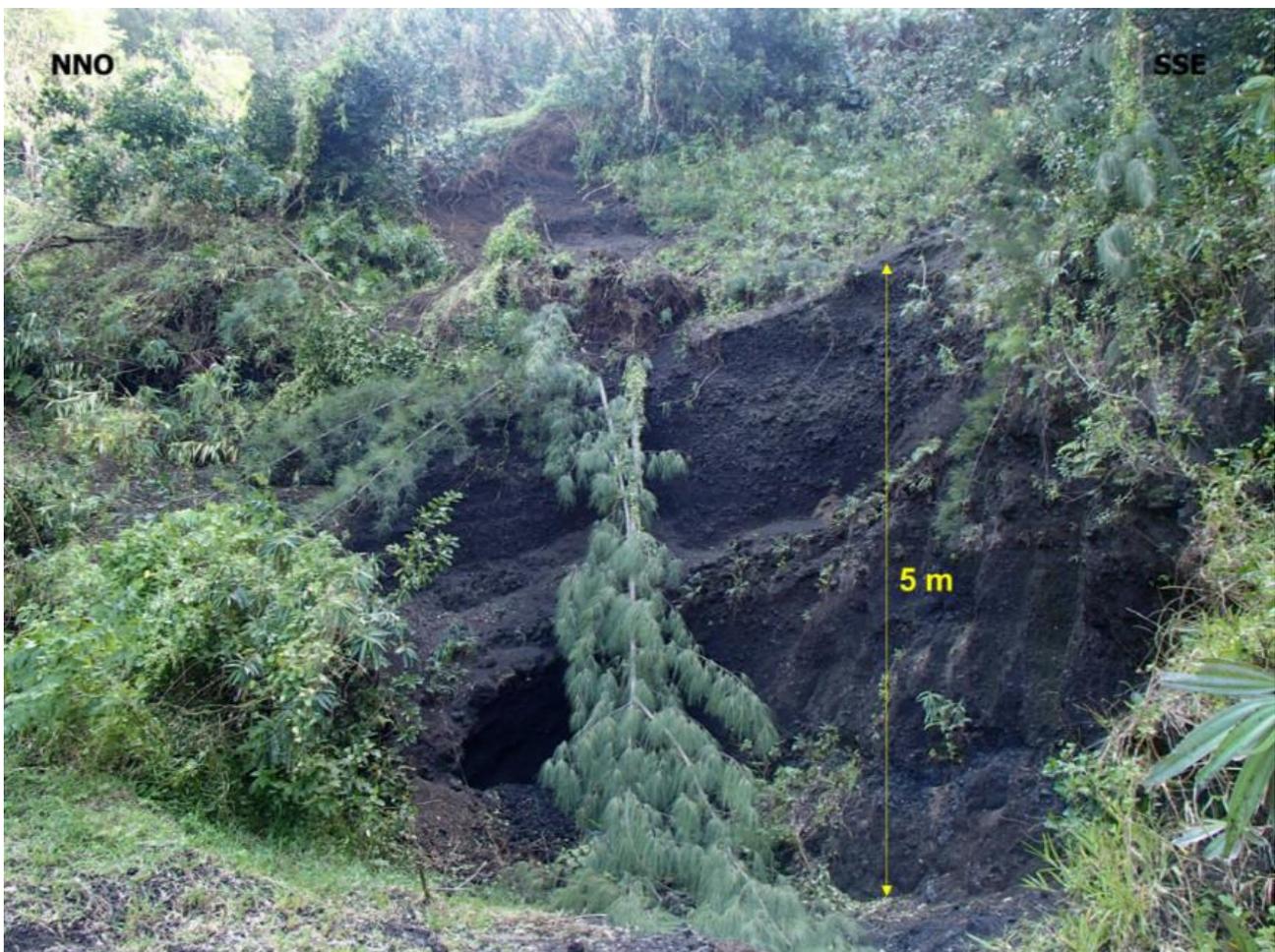
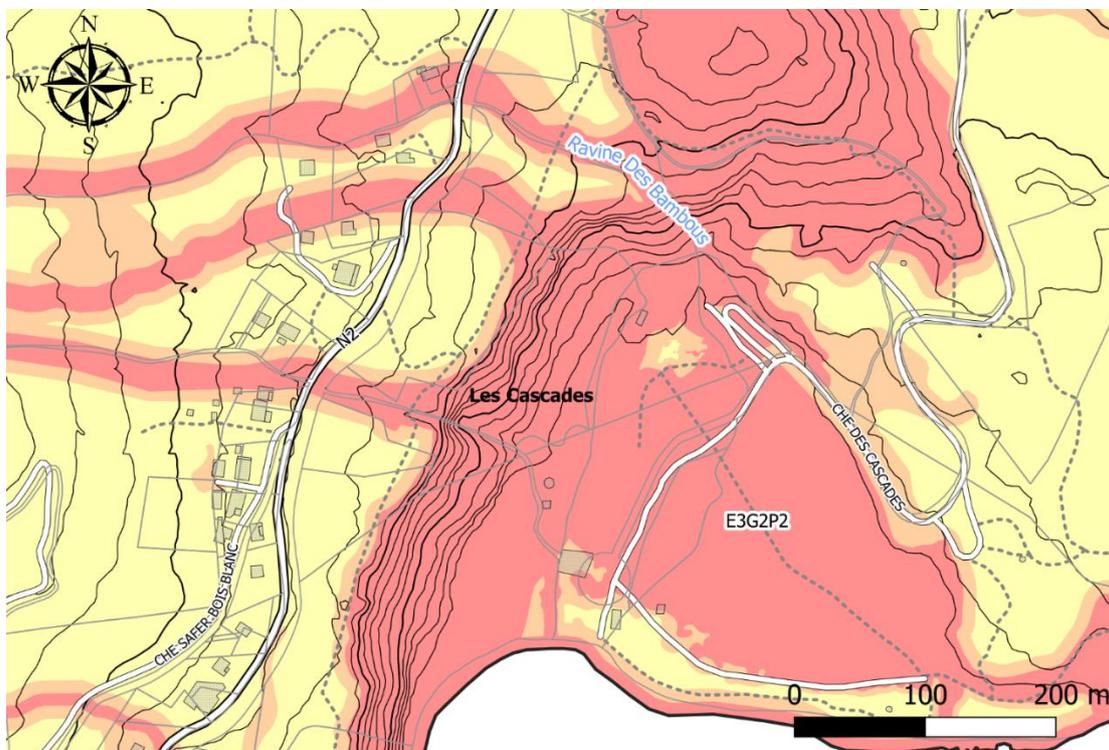
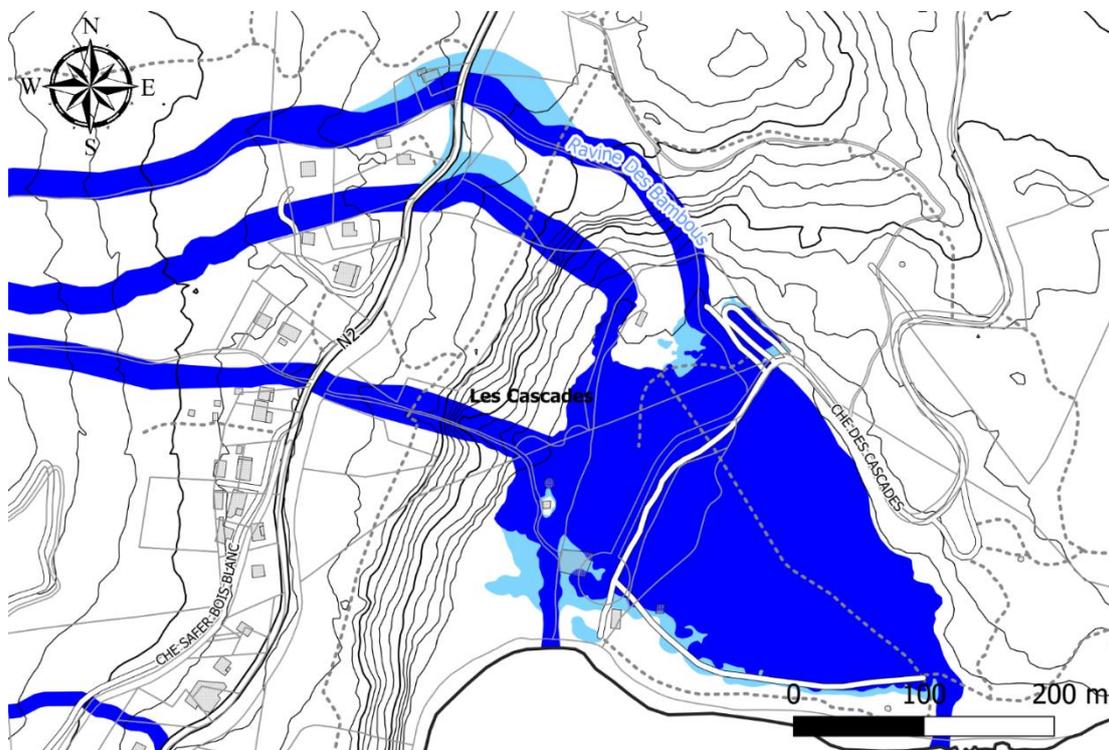


Figure 28 : Glissement de terrain du 21 décembre 2017 réactivé en avril 2018 lors de la forte tempête tropicale Fakir.

L'aléa MVT est aussi mis en cohérence des connaissances fines de l'aléa inondation aléa élevé MVT en face de l'aléa inondation fort et un aléa moyen MVT en face de l'aléa moyen inondation).

Un bandeau de 10 m d'aléa élevé mouvements de terrain est cartographié en recul du trait de côte auquel s'ajoute un bandeau de 10 m d'aléa moyen.

L'aléa moyen MVT situé au niveau du virage en épingle du chemin des cascades est traduit en B2u ainsi que les petites zones d'aléa moyen MVT situés au sud-ouest de ce secteur, à proximité de la RN2 et du chemin Safer Bois Blanc.



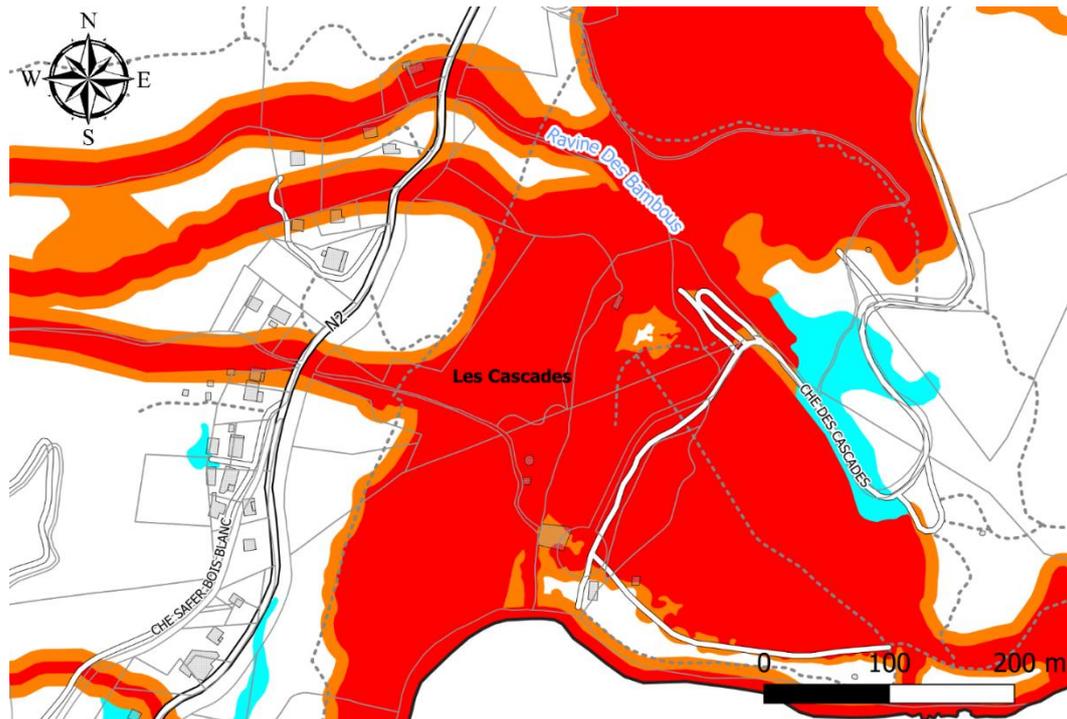


Figure 29 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de l'Anse des Cascades

5.5.4. Secteur de Bois Blanc

Ce secteur présente plusieurs cours d'eau et des escarpements pouvant atteindre 100 m de hauteur. Il se situe entre deux grandes ravines : en rive droite de la Ravine Constantin au nord, qui possède plusieurs affluents traversant la RN2, et en rive gauche de la Ravine Bois Blanc au sud. Ce secteur est concerné par un aléa inondation engendré par les débordements en rive droite de la Ravine Constantin.

Cartographie de l'aléa inondation

Le débit de la crue centennale de la Ravine Constantin est de l'ordre de 45 m³/s au niveau de la RN2 et 90 m³/s à son exutoire au niveau du littoral. Ce débit a également été calculé par SOGREAH en 2001 avec une valeur de 100 m³/s. Le débit capable de l'ouvrage franchissant la Ravine Constantin, situé sur la RN2, est inférieur au débit de crue centennale, ce qui entraîne un débordement au niveau du pont. Ce débordement se fait en rive droite et est amplifié par les deux petits affluents (hors Ravine Piton Moka) dont le débit centennal cumulé est d'environ 20 m³/s. L'un de ses affluents possède un débit de crue centennale bien au-delà de ce que peut laisser passer la buse de 800 mm située sous la route nationale. Pour cela, la zone située entre la Ravine Constantin et Bois Blanc est cartographiée en aléa moyen inondation ainsi qu'une partie en rive droite du plus gros affluent et la chaussée de la RN2. De plus, le lit de la Ravine Constantin au niveau du stade de football ne semble pas assez important pour accueillir un débit de crue de 40 à 60 m³/s (Figure 30).



Figure 30 : Ravine Constantin au niveau du stade Lotissement les Vacoas la Source (route forestière)

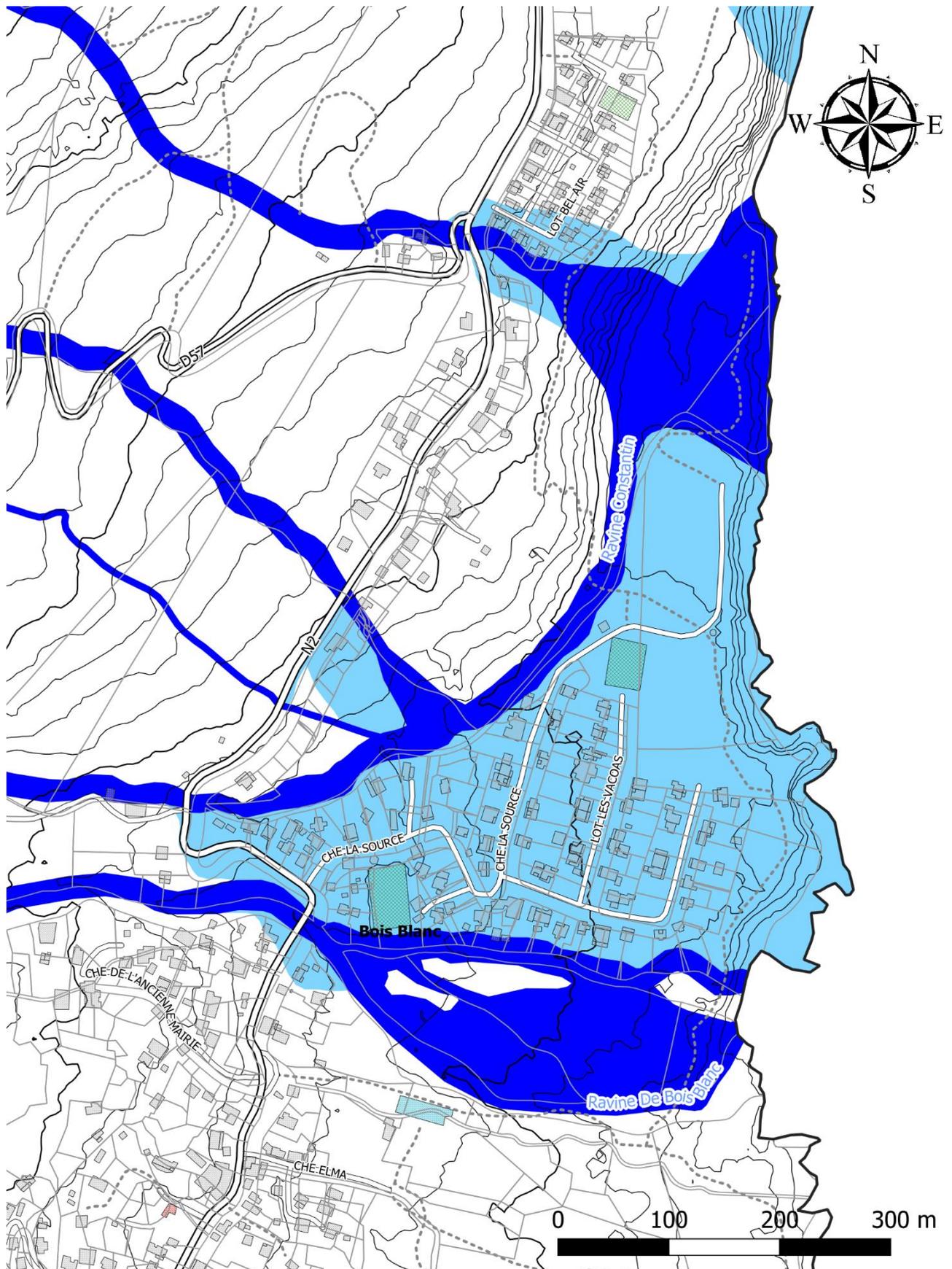
La Ravine Constantin est rejoint par la Ravine Piton Moka une centaine de mètres avant son exutoire au niveau du littoral. L'aléa fort inondation englobe toute une zone située entre l'escarpement localisé sous le lotissement Bel Air et la côte.

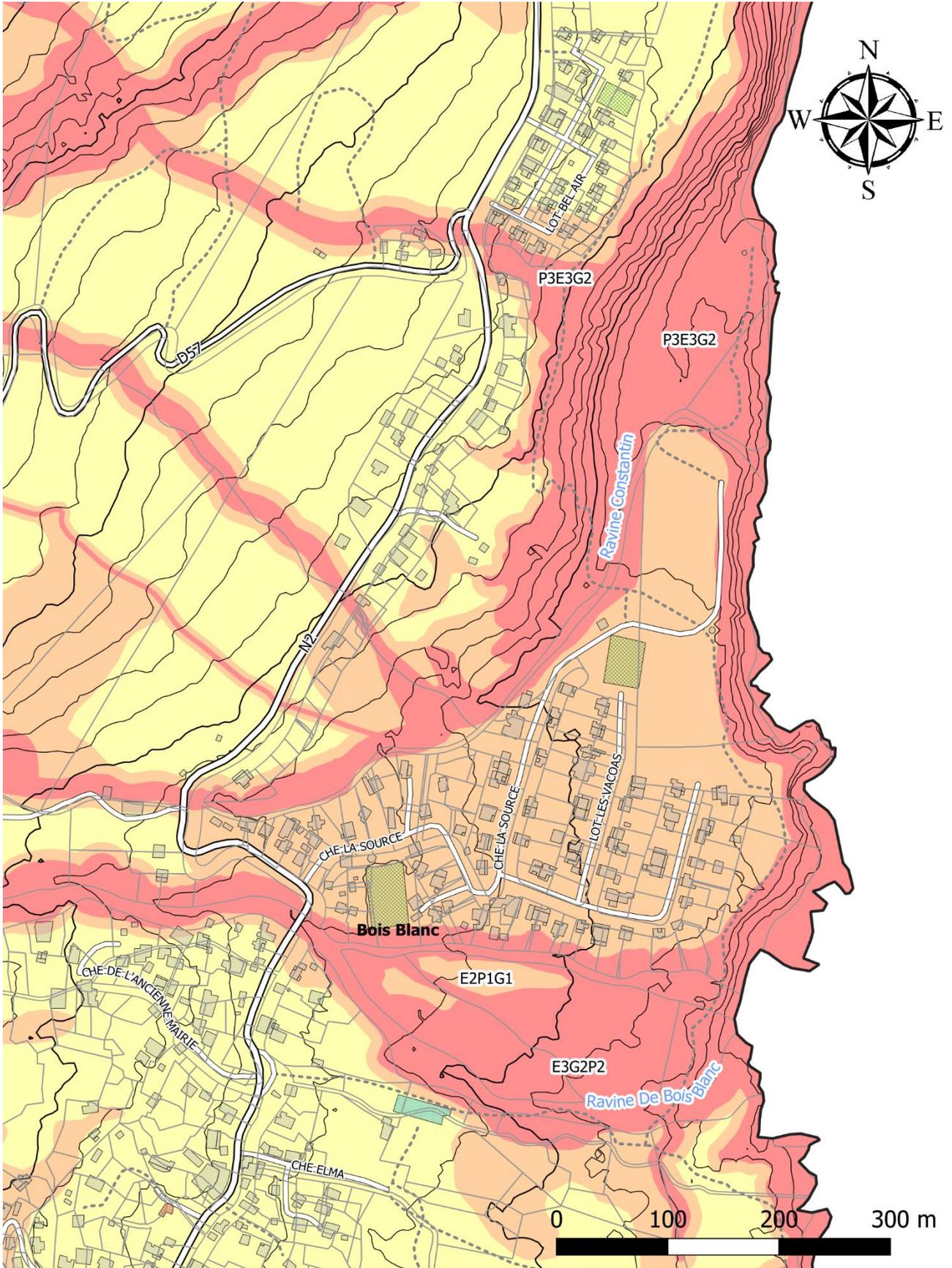
Le débit de crue centennale de la Ravine Bois Blanc est estimé à $450 \text{ m}^3/\text{s}$ pour un débit capable de l'ouvrage (RN2) de l'ordre de $450 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débordement n'est pas écarté et se fait en rive droite au niveau du pont. L'eau peut également franchir la berge au niveau du coude en amont de l'ouvrage. La zone située entre les deux cours d'eau est donc concernée par un débordement des deux ravines. L'enveloppe d'inondabilité en aval du pont de la RN2 devient plus large en raison de l'élargissement du lit de la ravine et est cartographiée aléa fort inondation.

A noter que la DEAL de la Réunion a confié au bureau d'études HYDRETTUES la mission de préciser, au moyen de modélisation hydraulique, le zonage de l'aléa inondation sur ce secteur. Les résultats de cette étude seront intégrés aux prochaines phase du PPR.

Cartographie de l'aléa mouvements de terrain

L'aléa MVT (érosion) est mis en cohérence avec l'aléa inondation. Sous la RN2 entre la Ravine Constantin et le lotissement Bel Air, l'escarpement de 50 à 70 m de haut avec une pente moyenne supérieure à 35° , propice au phénomènes de chutes de blocs et de glissements de terrain est affecté un niveau d'aléa élevé MVT et ce jusqu'à une distance de 30 m du pied de versant sone de forte probabilité d'atteinte de chute de blocs). A. Au-delà, l'aléa moyen MVT est cartographié par un bandeau de 10 m de large.





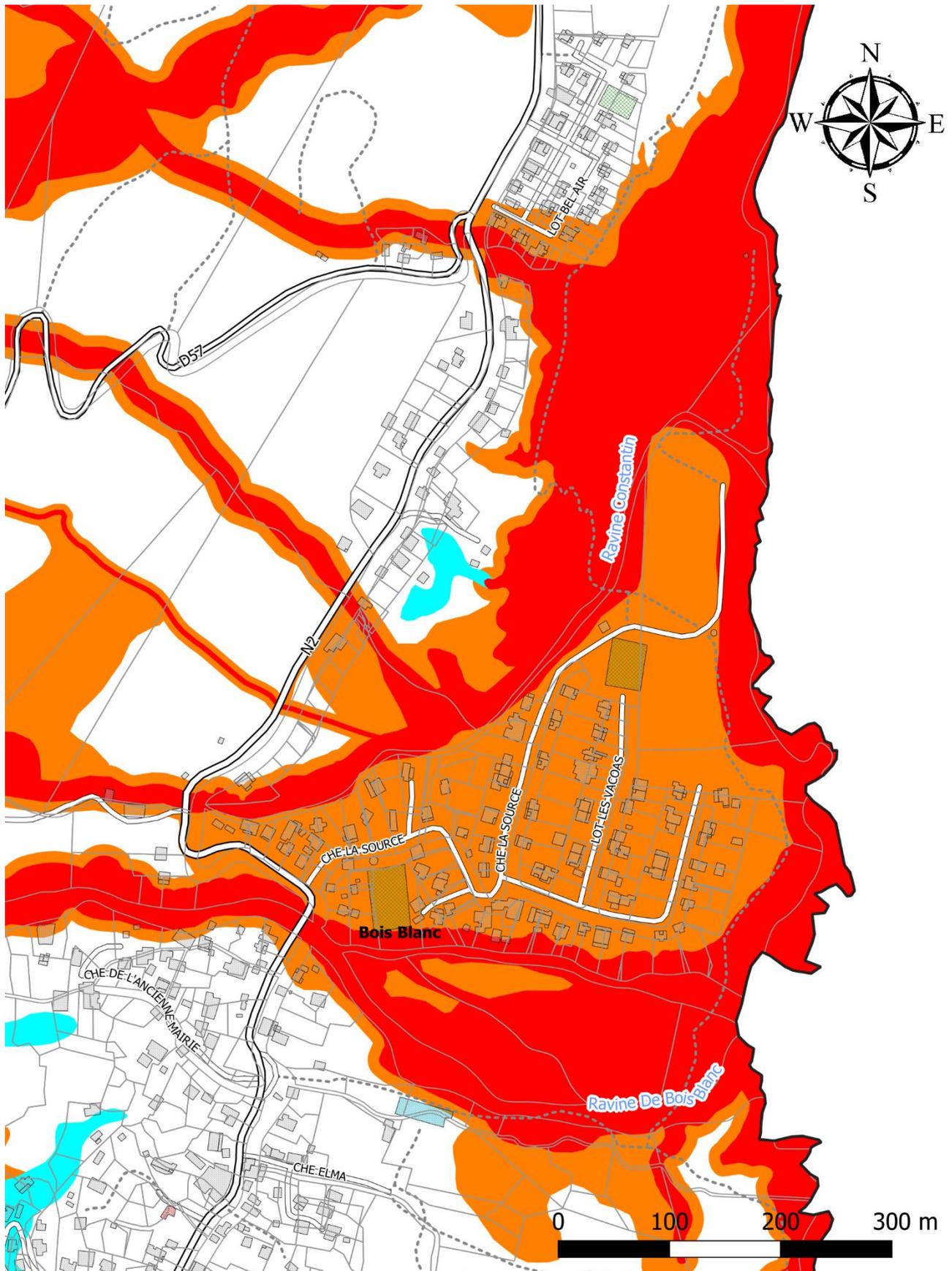


Figure 31 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de Bois Blanc

6. Lexique des sigles et termes techniques

Sigles

I.C.P.E.	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
P.L.U.	Plan Local d'Urbanisme
P.O.S.	Plan d'Occupation des Sols
P.K.	Point Kilométrique
PPR	Plan de Prévention des Risques
PPRi.	Plan de Prévention des Risques Inondation
PPR MVT.	Plan de Prévention des Risques Mouvements de Terrain
P.R.	Point Repère
R.D.	Route Départementale
R.H.I.	Résorption de l'Habitat Insalubre
R.N.	Route Nationale
T.O.C.	Tempête – Ouragans – Cyclones
Z.A.C.	Zone d'Aménagement Concerté
Organismes / Administrations	
B.C.T.	Bureau Central de Tarification
B.R.G.M.	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
C.A.H.	Commissariat à l'Aménagement des Hauts
C.I.R.A.D.	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
D.A.A.F.	Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
D.E.A.L	Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
E.M.Z.P.C.O.I.	Etat-Major de Zone de Protection Civile – Océan Indien
I.G.N.	Institut national de l'information géographique et forestière
I.N.S.E.E.	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
O.N.F.	Office National des Forêts
S.H.O.M.	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

Termes techniques

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

Bassin de risque : Entité géographique homogène soumise à un même phénomène naturel.

Caldeira : Cuvette de grande dimension résultant de l'effondrement du cratère d'un volcan à la suite d'une éruption.

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.

Déclassement : modification de zonage **au titre du projet de PPR** (aléas, réglementaire) avec une réduction localisée de son emprise et/ou de son intensité.

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

Embâcle : Accumulation de matériaux transportés par les flots (végétation, rochers, véhicules automobiles, etc.) en amont d'un ouvrage, ou bloqués dans des parties resserrées d'une vallée (gorges étroites), gênant l'écoulement normal du cours d'eau.

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.

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

GEDC : Guide d'estimation des débits de crue (DDE, 1992).

Mouvements de terrain : Phénomènes naturels tels que glissements de terrain, éboulements et chutes de blocs rocheux, coulées de boue, laves torrentielles, érosion, etc.

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

Pluviomètre : Instrument servant à mesurer la quantité d'eau de pluie tombée dans un lieu donné en un laps de temps donné.

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).

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

STPC : Schémas techniques de protection contre les crues.

Surclassement : modification de zonage **au titre du projet de PPR** (aléas, réglementaire) avec une augmentation localisée de son emprise et/ou de son intensité.

Talwegs (ou thalweg) : Zones en creux d'un terrain où peuvent s'écouler les eaux.

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.

7. Principaux textes officiels

7.1. 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 02 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 05 octobre 1995 relatifs aux plans de prévention des risques naturels prévisibles modifié par le décret 2005-3 du 4 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°2011.765 du 28 juin 2011 relatif à la procédure d'élaboration, de révision et de modification des PPR naturels.

7.2. 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 adaptation des constructions en zones inondables ;
6. La circulaire du 03 juillet 2007 relative à la consultation des acteurs et la concertation avec la population pour l'élaboration des PPR ;
7. La circulaire du 28 novembre 2011 relative à la procédure d'élaboration, de révision et de modification de PPR naturels.

7.3. PUBLICATION DE GUIDES

1. Guide général « Plans de Prévention des Risques (PPR) naturels prévisibles » (paru à la documentation Française – 1997) ;
2. Guide méthodologique « Plans de Prévention des Risques (PPR) de « mouvements de terrain » (paru à la documentation Française – 1999) ;
3. Guide méthodologique « Plans de Prévention des Risques (PPR) – Risques inondation » (paru à la documentation Française – 1999) ;
4. Guide d'élaboration des « Plans de Prévention des Risques Naturels à La Réunion » – d'août 2012 (document édité par la DEAL de la Réunion).

8. Annexes

**Annexe 1 : Grilles d'aide à la cartographie de l'aléa
MVT (extrait du rapport BRGM/RP-66346-FR de
novembre 2016)**

10. Conclusions

Afin d'améliorer la compréhension par les usagers (particuliers, services instructeurs en collectivité, aménageurs) de la méthodologie employée pour la caractérisation des aléas MVT (chute de blocs, glissement de terrain et érosion) dans les procédures PPR des communes de La Réunion, chaque méthode de caractérisation des aléas est décrite avec la proposition d'outils d'aide à la cartographie. Ces outils intègrent les récentes évolutions à l'échelle nationale, adaptées au contexte réunionnais. Ces outils se traduisent par l'élaboration de grilles de qualification des aléas intégrant les notions de probabilité d'occurrence et d'intensité pour chaque aléa MVT étudié.

Les différentes grilles méthodologiques d'aide à la qualification des aléas MVT (chute de blocs, glissement de terrain, érosion) sont détaillées, justifiées et illustrées par des cas concrets de zonage de PPR en cours ou approuvés au droit de secteurs de La Réunion dans les paragraphes précédents. L'ensemble des grilles est rappelé dans les tableaux de synthèse des pages suivantes avec les principales consignes d'utilisation. **Ces outils sont des aides à la décision pour l'expert en charge de l'élaboration des cartes d'aléas. L'expertise de terrain prévaut sur l'application stricte de ces éléments méthodologiques.**

Concernant le zonage de l'aléa MVT, les évolutions proposées concernent principalement la simplification de « l'indichage » des aléas avec, pour les secteurs concernés par plusieurs aléas, la prise en compte du niveau d'aléa le plus élevé pour définir le niveau de l'aléa MVT « résultant ». De plus, le niveau d'aléa « faible à modéré » sera simplifié par un niveau d'aléa faible.

Concernant **la prise en compte des ouvrages existants** dans la cartographie des aléas et leur traduction réglementaire dans les PPR, il est proposé de s'inscrire dans la démarche initiée par le groupe de travail « cotech n°2 » dans le cadre de la révision des guides PPR en montagne. Les logigrammes d'analyse de l'efficacité des ouvrages existants, établis dans ce groupe de travail, seront intégrés dans la réflexion afin de statuer sur la prise en compte ou non des ouvrages existants dans les zonages. D'une manière générale, en zone d'aléa élevé MVT, les terrains exposés situés à l'aval d'ouvrages existants resteront inconstructibles (R1 ou R2) suivant une distance à l'aval à définir au cas par cas. En zone d'aléa moyen MVT, l'analyse de l'efficacité de l'ouvrage permettra de préciser le zonage d'aléa ainsi que sa traduction réglementaire (R2 ou B2u). Pour les problématiques d'événements majeurs (effondrement de bordure de rempart entraînant un recul ou éboulement / glissement de grande ampleur), les éventuels ouvrages présents dans les secteurs concernés ne seront pas considérés dans l'élaboration du zonage de l'aléa MVT et sa traduction réglementaire.

Concernant **la traduction réglementaire de l'aléa moyen MVT**, sur la base des éléments présentés précédemment, il est proposé une **évolution de l'approche B2u, zone réglementaire constructible avec prescriptions, notamment sous la condition de réalisation d'une étude géotechnique.**

La traduction réglementaire des zones d'aléa moyen MVT en zone **B2u** (principe de constructibilité) s'appuie sur plusieurs critères permettant de définir les secteurs à enjeux jugés sécurisables au sein desquels le classement B2u sera retenu. Les zones exclues de la démarche, par ordre de priorité, seront les suivantes :

PPR de La Réunion – Propositions d'évolutions méthodologiques

- Les terrains situés au sein du cœur du Parc National de La Réunion et dans les espaces naturels forestiers (d'ores et déjà inconstructibles). Cette mesure semble donc être de bon sens et en cohérence avec le classement de ces espaces protégés ;
- Les terrains situés dans les espaces naturels (zone N du document d'urbanisme en vigueur de la commune) concernés par des problématiques de chute de blocs et d'éboulement. Concernant l'aléa rocheux, seules les problématiques de remobilisation de blocs sur pentes pourront être considérées dans la réflexion pour la traduction réglementaire de l'aléa moyen MVT (R2 ou B2u), du fait, pour certaines zones concernées, de possibilités de sécurisation généralement plus simple à mettre en œuvre avec un coût raisonnable à l'échelle des projets. L'analyse au cas par cas permettra de définir le classement réglementaire pour ces secteurs ;
- Les terrains dont la capacité de sécurisation n'est pas garantie à l'échelle de projet d'aménagement pouvant se développer au sein de ces mêmes zones en considérant la période de référence du PPR (soit les 100 prochaines années).

Les zones d'aléa moyen MVT concernées par l'analyse de la capacité de sécurisation sont les suivantes :

- Les zones en recul de berges et d'encaissements peu à moyennement prononcés de ravines (quelques mètres à dizaine de mètres d'encaissement) ;
- Les zones de ravinement au sein des planèzes ;
- Les zones d'érosion dans les thalwegs, lit de ravine de faible envergure et zones de débordement cartographiés en aléa moyen inondation ;
- Les talus en déblais de hauteur significative (talus routier notamment) ;
- Les versants concernés par des problématiques de remobilisation de blocs.

Les capacités de sécurisation au sein de ces zones seront jugées « possibles » suivant une approche d'expertise privilégiant les observations de terrain.

Les principaux critères retenus pour considérer la capacité de sécurisation des terrains classés en aléa moyen MVT (érosion et glissement principalement) sont les suivants :

- L'absence d'aléa élevé MVT limitrophe à la zone d'aléa moyen MVT considérée permet de considérer en règle générale une possibilité de sécurisation. Les principales exceptions (terrains classés en aléa moyen MVT sans aléa élevé limitrophe) sont :
 - les zones d'aléa moyen MVT circonscrites au talus routiers où l'aménagement futur est difficilement envisageable à l'échelle du PPR même si certains peuvent être « sécurisés », l'absence d'espace de ces zones ne permet d'envisager d'aménagement ;
- les zones d'encaissement de ravines peu prononcé avec une hauteur inférieure à 10 voire 15 m et une pente moyenne inférieure à 30 - 35° où peuvent être cartographiés des zones d'aléa moyen (au sein et/ou en recul de ces configurations morphologiques) seront considérées en général comme sécurisables. Toutes les configurations morphologiques plus prononcées seront exclues du fait de l'ampleur des travaux de sécurisation potentiellement nécessaire pour les sécuriser. Les observations dans les encaissements de ravines à La Réunion afin de sécuriser les berges et les terrains en recul tendent à montrer l'absence d'ouvrage au-delà de plusieurs mètres à dizaines de mètres d'encaissement, ce qui tend à confirmer les difficultés de sécurisation dans des configurations très prononcées.
- Les configurations de terrain favorables aux travaux de sécurisation permettant « d'éliminer » l'aléa à l'origine de l'aléa moyen MVT, comme les travaux de terrassement

ou d'enlèvement de blocs à la surface de talus par exemple. Ce type de configuration, notamment en zone urbaine, nécessite un minimum d'espace de part et d'autre de la zone d'aléa afin de faciliter les opérations de talutage et de terrassement. A contrario les terrains exigus avec notamment la présence d'avoisnants (bâti, route) où les travaux ne sont pas envisageables sans mobiliser un foncier conséquent et potentiellement non maîtrisé ne seront pas considérés comme sécurisables.

Concernant la réalisation de l'étude géotechnique prescrite dans le règlement du PPR en zone B2u, elle devra intégrer l'ensemble des risques auxquels le projet est exposé (notion de bassin de risques) et s'assurer que le projet n'aggrave pas la situation pour les avoisnants. Cette étude sera établie par le particulier ou aménageur concerné et transmise lors de sa demande de permis d'aménager ou de construire sur les terrains classés en B2u. Elle permettra de préciser les conditions de réalisation du projet en définissant (dimensionnement) les ouvrages de protection adaptés au projet. La réalisation de cette étude pourra ainsi conclure à deux cas de figure :

- confirmation de la possibilité d'aménager avec la définition des ouvrages à réaliser, intégrés d'un point de vue technique et financier dans l'enveloppe du projet ;

ou

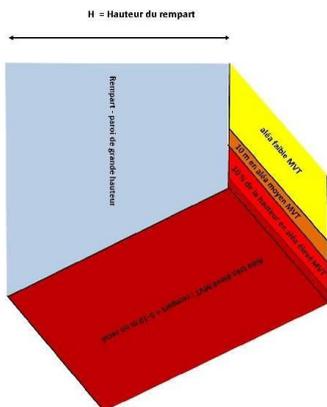
- au contraire, les reconnaissances complémentaires et l'analyse menées par le géotechnicien pourront dans certains cas conclure à la définition de mesures de sécurisation trop contraignantes à l'échelle du projet envisagé ne permettant pas de le réaliser (pour des raisons techniques ou économiques).

La traduction réglementaire en zone B2u au PPR implique à l'échelle du particulier, de l'aménageur, la prise en compte de l'aléa moyen MVT dans son projet.

ALEA CHUTE DE BLOCS (P) – RECU DE REMPART (H>100m)

PPR de La Réunion – Propositions d'évolutions méthodologiques

Probabilité d'occurrence		Niveau d'aléa MVT				Commentaires
<p>Moyenne</p> <p>Configuration morphologique de l'encastrement rectiligne sans méandre marquée en pied de rempart et sans pentes très fortes au sein de l'encastrement (morphologie homogène)</p> <p>+ pas d'évolution historique connue de la crête du rempart via l'analyse comparative des orthophotos IGN disponibles</p> <p>+ aucun indice de surface en recul de la crête de rempart pouvant témoigner d'une activité dans le siècle à venir (pas de fissures ouvertes, ni de panneaux affaissés)</p>	<p>Faible (P1)</p> <p>au-delà des aléas très élevés à moyen</p>	<p>Moyen (P2)</p> <p>sur une bande forfaitaire de 10 m en recul de l'aléa élevé</p>	<p>Élevé (P3)</p> <p>sur une équivalente à H/10 en recul de l'aléa très élevé</p>	<p>Très Élevé (P4)</p> <p>sur 5 à 10 m en recul de la crête du rempart</p>	<p>Cas des remparts sans évolution historique :</p> <p>↳ probabilité d'occurrence moyenne</p>	
						<p>Forte</p> <p>Configuration morphologique de l'encastrement favorable à une évolution sur le siècle à venir avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ une évolution historique connue et significative de la crête du rempart avec recul constaté ↳ des indices de surface en recul de la crête de rempart pouvant témoigner d'une activité dans le siècle à venir (par exemple présence de fractures ouvertes et/ou de panneaux affaissés)



ALEA CHUTE DE BLOCS (P) – ÉBOULEMENT DE GRANDE AMPLEUR

Probabilité d'occurrence		Phénomène de grande ampleur : Volume > 10 000 m³		Commentaires
<p>Faible</p> <p>Extension maximale de la zone impactée par un événement historique (par des pierres, éclats de taille restreinte (moins d'1 m²)) ;</p> <p>ou</p> <p>Zone éloignée de l'extension maximale prévisible pour un événement de grande ampleur sur la période de référence</p>	<p>Moyenne</p> <p>Extension maximale de la zone impactée par un événement historique (par des blocs de plus d'1 m²)</p>	<p>Intensité = très élevée</p>		
		<p>Élevée</p> <p>Paroi, rempart de plus de 100 m de hauteur</p> <p>+ Terrains en pied de paroi directement exposés aux phénomènes de grande ampleur</p>	<p>Élevé (P3) : jusqu'au dernier bloc éboulé (1m³ et plus)</p>	<p>Très élevé (P4)</p>

BRGM/PP-66346-FR – Rapport final

PPR de La Réunion – Propositions d'évolutions méthodologiques

ALÉA CHUTE DE BLOCS (P) – CHUTE DE BLOCS

Probabilité d'occurrence	Probabilité d'atteinte			Très forte 10 ⁻² -P	Commentaires
	Faible P < 10 ⁻⁶	Moyenne 10 ⁻⁶ < P < 10 ⁻⁴	Forte 10 ⁻⁴ < P < 10 ⁻²		
Faible 1 bloc tous les 100 ans	faible	moyenne	élevée	Très élevée	<p>Zone de départ : à partir du MNT de La Réunion (résolution de 5 m) correspondent aux valeurs de pentes supérieures à 48,7°.</p> <p>Indice d'activité : la fréquence avec laquelle des volumes de roches se mettent en mouvement, à partir notamment des données historiques (événements). Cette fréquence est assimilée au délai dans lequel la chute de bloc ou l'écroulement le plus probable, exprimé de façon qualitative, est susceptible de survenir sur la période de référence considérée (100 ans à venir). D'une manière générale à La Réunion, cette probabilité de départ sera souvent considérée comme de niveau fort, voire moyen (1 bloc tous les ans à 10 ans) et rarement de niveau faible étant donnée la prédisposition des parois rocheuses du département à générer des instabilités de ce type.</p> <p>Probabilité d'atteinte : définie à partir de la méthode de la ligne d'énergie ou par simulations trajectographiques. Les valeurs seules proposées (issues de MEZAP) peuvent évoluer selon les auteurs et l'analyse du site. D'une manière générale à La Réunion, l'analyse de cas historiques (57) tend à montrer des atteintes jusqu'aux valeurs d'angles de l'ordre de 38 à 40° voire plus (=probabilité d'atteinte forte).</p>
Moyen 1 bloc tous les 10 ans	moyenne	moyenne	élevée	Très élevée	
Fort 1 bloc par an	moyenne	élevée	élevée	Très élevée	

Aléa chute de blocs (P)	Intensité				Commentaires
	Volume < 0,25 m ³	0,25 m ³ < V < 1 m ³	1 m ³ < V < 10 m ³	Volume > 10 m ³	
Faible	Faible (P1)	Moyen (P2)	Elevé (P3)	Elevé (P3)	<p>Intensité : c'est la quantité de roche, exprimée en volume, qui peut être déstabilisée et mise en mouvement. Ces volumes potentiellement mobilisables décrivent l'intensité attendue des phénomènes. L'intensité est associée à l'endommagement potentiel engendré par une atteinte à des enjeux (ici un bâtiment d'habitation « classique » est pris comme référence pour évaluer cet impact). A La Réunion, l'analyse de cas historiques (57) tend à montrer des volumes unitaires de l'ordre du m³.</p> <p>Aléa chute de blocs (P) : méthode conditionnée par l'indice d'intensité, considéré comme très fréquemment élevé (bloc de plus d'1 m³ susceptible d'atteindre les enjeux sur les 100 prochaines années pour la plupart des parois rocheuses considérées sauf quelques exceptions). Ainsi, cela implique un aléa rocheux de niveau élevé (P3) en tout point d'atteinte en contrebas, dont l'évaluation de la superficie est définie en fonction de la configuration de la paroi, quel que soit l'indice d'activité de la paroi considérée, avec l'application d'une valeur d'angle de la ligne d'énergie :</p> <ul style="list-style-type: none"> de l'ordre de 38 à 40° pour les configurations de parois très redressées (pente moyenne de l'ordre de 50° voire plus sur toute la hauteur) avec terrain plat ou faiblement pentu en pied ; de l'ordre de 32 à 33° pour les configurations de versants plus propices aux propagations à l'aval des zones de départ (configurations ou des terrains pentus sont présents sous la paroi dominante).
Moyenne	Faible (P1)	Moyen (P2)	Elevé (P3)	Elevé (P3)	
Elevée	Moyen (P2)	Elevé (P3)	Elevé (P3)	Très élevé (P4)	<p>Afin de maintenir une gradation des aléas MVT dans ces configurations de terrains exposés à l'aléa rocheux, une bande forfaitaire d'aléa moyen MVT (P2) est définie à l'aval, de largeur variable définie à dire d'expert selon la configuration de la zone (minimum 10 à 20 m, largeur variable selon la configuration morphologique). Ce niveau d'aléa traduit l'incertitude dans les zones atteintes au-delà des zones d'aléa fort considérées, notamment pour d'éventuels projections / écarts aux trajectoires parois importantes, voire au-delà de celles des blocs considérés.</p> <p>Pour d'autres volumes unitaires considérés (moins d'1 m³), la méthodologie décrite s'applique.</p>
Très élevée	Elevé (P3)	Elevé (P3)	Très élevé (P4)	Très élevé (P4)	



ALEA CHUTE DE BLOCS (P) – REMOBILISATION DE BLOCS SUR PENTES

PPR de La Réunion – Propositions d'évolutions méthodologiques

Probabilité d'occurrence	Probabilité d'atteinte, en cas de remobilisation			Commentaires
	β = valeur d'angle de la ligne d'énergie Faible : $\beta < 32^\circ$ + Pente des terrains > à 20°	Moyenne $32^\circ < \beta < 35^\circ$	Fort $\beta > 35^\circ$	
faible	faible	moyenne	élevée	Zone de départ (de remobilisation) : la valeur à considérer au-delà de laquelle les remobilisations de blocs sont jugées possibles est comprise entre 22 et 28° selon les observations de terrains et l'historique connu. Une valeur moyenne de 25° sera retenue par défaut.
moyen	moyenne	moyenne	élevée	Probabilité d'atteinte : nécessite de fortes pentes sous la zone de remobilisation de blocs. En dessous des valeurs d'angle de la ligne d'énergie (32 à 33°), la propagation est considérée comme limitée à l'emprise des zones de remobilisation (ou de départ), soit aux terrains de pente supérieure à 25° en moyenne) et des terrains directement exposés à l'aval mais moins pentus favorisant l'arrêt progressif des blocs. La valeur de pente des terrains à l'aval passant sous les 20° voire 25° sur une distance significative (au moins 10 à 20 m) traduit généralement cette distance progressive d'arrêt des blocs.
fort	moyenne	élevée	élevée	

Alea chute de blocs (P)	Intensité		Commentaires
	Volume < $0,25$ m ³	Volume > 1 m ³	
Probabilité d'occurrence	Faible (P1)	Moyen (P2)	Moyen (P2) si des travaux sont réalisables à l'échelle de la collectivité
		Elevé (P3) sinon	Elevé (P3) sinon
			Moyen (P2) si des travaux sont réalisables à l'échelle de la collectivité
Moyenne	Moyen (P2)	Elevé (P3) sinon	
Elevée	Moyen (P2)	Elevé (P3)	A titre d'exemple, un versant de quelques centaines voire milliers de m², avec 30 à 35° de pente moyenne ou les propagations seront limitées à l'emprise des zones remobilisables ne sera pas systématiquement cartographié en aléa élevé MVT si les blocs présents en surface sont de l'ordre du m³ dans la mesure où des parades réalisables à l'échelle du versant (à l'échelle de la collectivité) sont possibles. Ainsi, un niveau d'aléa moyen MVT est fréquemment considéré dans les cartographies de l'aléa MVT pour les problématiques de remobilisation de blocs.



PPR de La Réunion – Propositions d'évolutions méthodologiques

ALEA GLISSEMENT DE TERRAIN – COULÉE DE BOUE (G)

	Description des facteurs attendus
Elevée	Glissement actif avec traces de mouvements récents ou Glissement ancien non stabilisé / coulée de boue connue non stabilisée ou Glissement potentiel / coulée de boue potentielle : <ul style="list-style-type: none"> • classe « sol » 1 + pente supérieure à 25° + présence de facteurs aggravants • classe « sol » 2 + pente supérieure à 30° + présence de facteurs aggravants • classe « sol » 3 + pente supérieure à 35° + présence de facteurs aggravants
	Glissement ancien connu stabilisé / coulée de boue anciennement, avec doute sur l'entretien des aménagements ou non confortés ou Glissement potentiel / coulée de boue potentielle : <ul style="list-style-type: none"> • classe « sol » 1 + 20° < pente < 25° + absence de facteur aggravant prépondérant • classe « sol » 2 + 20° < pente < 30° + absence de facteur aggravant prépondérant • classe « sol » 3 + 25° < pente < 35° + absence de facteur aggravant prépondérant
Moyenne	
Faible	<ul style="list-style-type: none"> • Pentes inférieures au seuil définis pour la probabilité d'occurrence moyenne mais non nulles (supérieures à 5°)

Commentaires
<p>Sur la base des consignes nationales en matière de qualification de l'aléa MVT (pour les glissements de terrain), la cartographie de l'aléa MVT pour les phénomènes de glissements de terrain et de coulée de boue, s'appuie sur les facteurs suivants (qualitatifs voire quantitatifs) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • facteurs de prédisposition, inhérents au milieu : <ul style="list-style-type: none"> - formations géologiques : classification selon leur nature, caractéristiques mécaniques, état d'altération, fracturation, épaisseur des faciès ; - morphologie : définition de classe de pentes et de configurations particulières (présence de talus anthropique par exemple). • facteurs non permanents (généralement aggravants) : <ul style="list-style-type: none"> - indices de glissement de terrain (récents, anciens) - altitude ; différence de pluviométrie ; - venue d'eau : résurgence, écoulement ou ruissellement concentré ; - végétation : présence ou non, culture en terrasse, etc. ; - activité humaine : ouvrages de protection, rejet d'eau concentré, non contrôlé présence de surcharge non soutenue, etc.

Aspects	Types
Classe 1	Matériaux remaniés meubles
Classe 2	Matériaux remaniés à dominante rocheuse
Classe 3	Matériaux raides / indurés
Classe 4	Matériaux rocheux

	Description des facteurs attendus – Glissement de terrain	
Intensité	Très élevée	Parade au cou prohibitif et/ou techniquement impossible Destruction des bâtis de la zone Volume mobilisé très important : plusieurs millions de m ³
	Elevée	Parade au cout prohibitif et/ou techniquement impossible Domage important au bâti (gros œuvre) avec ruine probable dans les 100 ans – réparation très coûteuse Surface mobilisée de l'ordre de 10 000 à 100 000 m ²
	Moyenne	Parade réalisable à l'échelle de la collectivité Domage au gros œuvre sans ruine probable dans les 100 ans – réparation possible Surface mobilisée de l'ordre de 1 000 à 100 000 m ² ou volume mobilisé relativement important de l'ordre de 1 000 à 10 000 m ³
	Faible	Parade réalisable à l'échelle de la parcelle Pas de dommage structurel, gros œuvre très peu touché Surface mobilisée faible, inférieure à 1 000 m ² ou volume mobilisé faible inférieure à 1000 m ³

	Description des facteurs attendus – Coulée de boue	
Intensité	Très élevée	Parade au cout prohibitif et/ou techniquement impossible Destruction des bâtis de la zone Surface concernée à l'échelle du versant (> km ²) avec épaisseur mobilisable supérieur à 0,5 voire 1 m générant un volume de coulée potentiel très important : > 1 million de m ³
	Elevée	Parade au cout prohibitif et/ou techniquement impossible Domage important au bâti (gros œuvre) avec ruine probable dans les 100 ans – réparation très coûteuse Surface concernée significative (>1000 m ²) avec épaisseur mobilisable supérieur à 0,5 voire 1 m générant un volume de coulée potentiel important : > 1 000 m ³
	Moyenne	Parade réalisable à l'échelle de la collectivité Domage au gros œuvre sans ruine probable dans les 100 ans – réparation possible Surface concernée significative (>1000 m ²) avec épaisseur mobilisable réduite (< 0,5 m) générant un volume de coulée potentiel peu important : < 1 000 m ³
		Pour l'aléa « coulée de boue », les consignes nationales recommandent la prise en compte des seuls niveaux d'intensité élevé et très élevé . A La Réunion, étant donné les spécificités géologiques (couverture sol peu épaisse), une intensité moyenne est également considérée pour les problématiques fréquemment rencontrées s'apparentant à un ravinement intense mobilisant une épaisseur de matériaux rarement supérieur à 0,50 m.

Aléa glissement de terrain (G)	Intensité				Commentaires		
	Faible	Moyenne	Élevée	Très élevée			
Probabilité d'occurrence	Faible	Moyen (G1)	Élevé (G2)	Très élevé (G3)	<p>Concernant l'aléa MVT « glissement de terrain », à la différence de la grille proposée dans le cadre des réflexions du « coach T » (cf. tableau 19), il est proposé de conserver un aléa faible et moyen MVT pour des niveaux d'intensité similaires quelle que soit la probabilité d'occurrence (hormis pour un niveau élevé) afin de conserver de manière prépondérante la notion de niveau de réalisation des parades dans l'évaluation de l'aléa. Cela se justifie par de faible épaisseur de couverture meuble (moins d'un mètre à quelques mètres avant d'atteindre le substratum rocheux) sur le territoire réunionnais hormis dans certains secteurs où l'altération poussée des formations basaltiques peut favoriser des glissements de plus fortes épaisseurs.</p>		
	Moyenne	Faible (G1)	Moyen (G2)	Élevé (G3)			
Élevée	Moyen (G2)	Élevé (G3)	Élevé (G3)	Très élevé (G4)			
Aléa coulée de boue (G)	Intensité				Commentaires		
Probabilité d'occurrence	Moyenne		Élevée			Très élevée	
	Faible	Moyen (G2)	Élevé (G3)	Très élevé (G4)		<p>Concernant l'aléa MVT « coulée de boue », les phénomènes historiques sont peu nombreux sur le territoire réunionnais (une centaine enregistrés dans BDMVT) et concernent principalement les orques (plus de 60% des cas enregistrés) ou les formations géologiques en places sont liées à des dépôts gravitaires. (formations détritiques sensibles à l'érosion et aux phénomènes de ce type). Les zones d'occurrence de ces phénomènes sont par ailleurs concernées par de très fortes pentes et exposées à d'autres types d'aléa MVT (chute de bloc notamment) avec la prise en compte d'un aléa élevé voire très élevé. D'une manière générale, en dehors de ces territoires spécifiques (Salazie, Cilaos, Matane), l'aléa coulée de boue est peu présent et non prépondérant vis-à-vis des autres phénomènes gravitaires mais restent possibles ponctuellement lors de conditions climatiques très dégradées notamment dans des secteurs de terrains agricoles où les sols sont plus facilement mobilisables.</p>	
Moyenne	Moyen (G2)	Élevé (G3)	Très élevé (G4)				
Élevée	Moyen (G2)	Élevé (G3)	Très élevé (G4)				

PPR de La Réunion – Propositions d'évolutions méthodologiques

ALEA EROSION (E) : érosion de berges et ravinement

Erosion de berges	
Description des facteurs attendus	
Elevée	zones cartographiées en aléa fort inondation (lit de ravine principalement) + encaissement du lit jusqu'au sommet de la berge (et quelques mètres en recul en général).
Moyenne	zone de débordement et/ou lit de ravine peu marqué cartographié en aléa moyen inondation (aléa inondation conditionné par des vitesses d'écoulement) ou zone d'auréole autour de la zone de probabilité d'occurrence forte (10 à 20 m selon l'ampleur de l'encaissement de la ravine)
Faible	zone en recul de la zone de probabilité d'occurrence moyenne

Ravinement	
Description des facteurs attendus	
Elevée	zone de badlands non stabilisé où les phénomènes sont actifs et reconnus
Moyenne	zone d'auréole autour de la zone de probabilité d'occurrence forte ou ravinement potentiel (facteurs non cumulatifs) : <ul style="list-style-type: none"> classe « sol » 1 + pente supérieure à 10-15° + présence terrain potentiellement mis à nu (facteur aggravant) ou facilement mobilisable (zone agricole par exemple) classe « sol » 2 + pente supérieure à 15-20° + présence terrain potentiellement mis à nu (facteur aggravant) ou facilement mobilisable (zone agricole par exemple) voirie avec pente de plus de 7-8% dans le sens de la pente sur un linéaire de plus de 500m valeurs d'IDPR supérieures à 1500
Faible	zone en recul de la zone de probabilité d'occurrence moyenne ou pentes inférieures aux seuils définis pour la probabilité d'occurrence moyenne mais non nulles (supérieures à 5°)

Description des facteurs attendus	
Très élevée	Parade au cout prohibitif et/ou techniquement impossible Destruction des bâtis de la zone Erosion de berge : incision du lit et/ou recul observé par le passé + potentiel de plus de 100 m Ravinement : surface active mobilisée très importante (bassin versant) : supérieure à 1 km ²
Elevé	Parade au cout prohibitif et/ou techniquement impossible Dommage important au bâti (gros œuvre) avec ruine probable dans les 100 ans – réparation très coûteuse Erosion de berge : incision du lit et/ou recul observé par le passé + potentiel de plus de 10 m Ravinement : surface active mobilisée importante (bassin versant) : supérieure à 10 000 m ²
Moyenne	Parade réalisable à l'échelle de la collectivité Dommage au gros œuvre sans ruine probable dans les 100 ans – réparation possible Erosion de berge : recul potentiel de l'ordre de 1 à 1,5 x H (hauteur de la berge) ou de l'ordre de 10 m Ravinement : surface active mobilisée réduite (bassin versant) : supérieure à 1000 m ²
Faible	Parade réalisable à l'échelle de la parcelle Pas de dommage structurel, gros œuvre très peu touché

Aléa Erosion (E)	Intensité		
	Faible	Moyenne	Elevée
Faible	Faible (E1)	Moyen (E2)	Elevé (E3)
Moyenne	Moyen (E2)	Moyen (E2)	Elevé (E3)
Elevée	Elevé (E3)	Elevé (E3)	Elevé (E3)

Pour les nombreuses ravines du territoire réunionnais observées sur les planèzes, fréquemment encaissées de plusieurs mètres à dizaines de mètres et composées de formations basaltiques au niveau des encaissements, les critères utilisés pour définir la probabilité d'occurrence prévalent sur la qualification de l'aléa (notion de prédisposition) :

- Aléa élevé MVT (E3) au droit du lit et de l'encaissement, englobant les premiers mètres en recul (fréquemment de l'ordre de 5m en recul depuis le sommet de la berge) ;
- Aléa moyen MVT (E2) en recul de l'encaissement sur une « auréole » de largeur variable : 10 à 20 m selon l'ampleur de l'encaissement.

