

DEPARTEMENT DE LA REUNION

Commune de Saint-Paul

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS
PREVISIBLES

« *Inondations et mouvements de terrain* »

NOTE DE PRESENTATION

Septembre 2016

Approbation



Avertissement général sur les limites d'étude du document PPR

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

Le terme de « risques naturels » communément employé dans des contextes très variés, est largement popularisé par les médias. Ce terme est pourtant souvent utilisé de manière impropre, et cela peut constituer une source de confusion. Il convient donc de préciser tout d'abord que le risque résulte de la conjonction de l'aléa (phénomène de mouvements de terrain, inondations, 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	7
1.1. Organisation de la gestion des risques.....	7
1.2. Prévention des risques naturels	8
1.3. Plan de prevention des risques (PPR) naturels	9
1.4. Catastrophes naturelles majeures à la Réunion	9
2. PRESENTATION DU PPR	11
2.1. Contexte réglementaire du PPR	11
2.2. Procédure réglementaire	12
2.2.1. Secteurs géographiques concernés	12
2.2.2. Etat des démarches menées	12
2.3. Assurances et infractions au PPR	16
2.3.1. Rappel du régime d'assurance en vigueur	16
2.3.2. Infractions au PPR et sanctions.....	18
2.4. Expropriation et Mesure de sauvegarde	19
2.5. Responsabilités	19
2.5.1. Etablissement du PPR	19
2.5.2. Autorisation d'occuper le sol.....	20
3. PRESENTATION DE LA COMMUNE	21
3.1. Contexte de la zone d'étude	21
3.1.1. Situation géographique	21
3.1.2. Contexte géomorphologique.....	22
3.1.3. Contexte climatique	22
3.1.4. Réseau hydrographique	28
3.1.5. Contexte géologique.....	32
3.2. Enjeux et vulnérabilité	37
4. HISTORICITE ET CARACTERISATION DES PHENOMENES NATURELS	39
4.1. Phénomènes historiques	39
4.2. Arrêtés de catastrophes naturels.....	40
4.3. Caractérisation des phénomènes mouvements de terrain	41
4.3.1. Chutes de pierres, de blocs et éboulements (P)	42
4.3.2. Glissements de terrain et coulées de boue associées (G)	44
4.3.3. Érosion et ravinement (E)	47

4.4.	Caractérisation des phénomènes d'inondation	48
5.	CARACTERISATION ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS	53
5.1.	Définitions et notions générales.....	53
5.1.1.	Notion d'intensité et de fréquence	53
5.1.2.	Remarques relatives aux règles de zonage	54
5.2.	Aléa inondation	55
5.2.1.	Méthode d'évaluation de révision de l'aléa.....	55
5.2.2.	Caractérisation de l'aléa inondation	56
5.3.	Aléa mouvements de terrain.....	57
5.3.1.	Méthode d'évaluation de l'aléa	57
5.3.2.	Facteurs de prédisposition et facteurs non permanents	58
5.3.3.	Méthodologie d'évaluation de l'intensité	59
5.3.4.	Qualification de l'aléa mouvements de terrain.....	61
5.4.	Principes de traduction réglementaire	62
5.5.	Exemples de cartographie au droit de secteurs à enjeux.....	63
6.	LEXIQUE DES SIGLES ET TERMES TECHNIQUES	80
7.	PRINCIPAUX TEXTES OFFICIELS	82
7.1.	Législation - Réglementation	82
7.2.	Principales circulaires.....	82
7.3.	Publication de guides	82

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Evénements historiques majeurs survenus à la Réunion</i>	9
<i>Tableau 2 : Précipitations journalières décennales et centennales issues du GEDC, 1992 (en mm)</i>	25
<i>Tableau 3 : Cumul de pluie moyen par jours entre 1981 et 2010 (source : Bulletin climatologique 2012 – Météo France). En italique les valeurs de l'année 2012, à défaut de valeurs moyennes disponible sur la période 1981 – 2010)</i>	26
<i>Tableau 4 : Valeurs caractéristiques des précipitations journalières en mm</i>	26
<i>Tableau 5 : Maximum des précipitations journalières, précipitations annuelles cumulées, nombre de jours dans l'année où les précipitations journalières dépassent 50 mm et événement climatique associé sur la période de 2001 à 2011 observés sur la station de Tan-Rouge</i>	27
<i>Tableau 6 : Evolution de la population de Saint-Paul (source : @I.N.S.E.E.)</i>	37
<i>Tableau 7 : Principaux phénomènes historiques archivés survenus sur le territoire de Saint-Paul</i>	40
<i>Tableau 8 : Liste des arrêtés de catastrophes naturelle sur la commune de Saint-Paul (source : www.prim.net - Portail de la Prévention des Risques majeurs du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie. - mise à jour 30/06/2014)</i>	40
<i>Tableau 9 : Liste des cyclones notables selon Météo-France</i>	41
<i>Tableau 10 : Caractérisation de l'aléa inondation pour la crue centennale en fonction des vitesses et des hauteurs d'eau</i>	56
<i>Tableau 11 : Type de phénomène rencontrés en fonction des catégories de terrain</i>	59
<i>Tableau 12 : Intensité du phénomène</i>	59
<i>Tableau 13 : Codification des aléas mouvements de terrain selon l'intensité</i>	60
<i>Tableau 14 : Caractérisation du niveau d'aléa mouvements de terrain en fonction de l'intensité du phénomène</i>	62
<i>Tableau 15 : Principe de traduction réglementaire des aléas du projet de PPR de Saint-Paul</i>	63

Liste des figures

Figure 1 : Délimitation du territoire communal de Saint-Paul (Fond ©IGN scan100®-2010)-----	21
Figure 2 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (©Météo France 2010)-----	23
Figure 3 : Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)-----	24
Figure 4 : Localisation des stations météo de Saint-Paul (©IGN Scan100® - 2010)-----	25
Figure 5 : La Rivière des Galets et ses ouvrages d'endiguement (orthophotos IGN© 2011) -----	29
Figure 6 : Réseau hydrographique de Saint-Paul (source : BDtopo2012®, fond ©IGN scan100® - 2010)-----	30
Figure 7 : Débits de crue des ravines de Saint-Paul (Sogreah, PPRi de 2011)-----	31
Figure 8 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de la commune de Saint-Paul (©BRGM) -----	32
Figure 9 : Perspective morpho-géologique schématique de La Réunion (Raunet, 1991) -----	33
Figure 10 : Carte morpho-pédologique à l'échelle du 1/50 000 (source : C.I.R.A.D. (Raunet, 1991), fond : ©IGN Scan100® - 2010) -----	36
Figure 11 : Chute d'un bloc isolé-----	43
Figure 12 : Eboulement -----	43
Figure 13 : Eboulement RN1, P.R 32 + 500, Cap Champagne 2001, ©BRGM-----	43
Figure 14 : Représentations schématiques des principaux types de glissement (source : ©BRGM, www.bdmvt.net) ----	45
Figure 15 : Représentation schématique du glissement-coulée (exemple de Montauban, 1993)-----	46
Figure 16 : Glissement de talus sur la RD3 - Janvier 2007 (source : www.georisques.gouv.fr) -----	46
Figure 17 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction des caractéristiques d'écoulement (source : Guide PPRi ruissellement péri-urbain M.E.D.D.E.)-----	50
Figure 18 : Ravine de Bernica à Tan Rouge - 12 mars 2007 (Harry- ©Photo Office de l'Eau)-----	51
Figure 19 : Inondation du parking du magasin Cora à Savannah – 22 janvier 2002 (Dina- ©Photo Sogreah) -----	51
Figure 20 : Ravine Bernica en Mars 2015 - Tempete Tropicale Haliba -----	52
Figure 21 : La Saline les bains sous 50cm d'eau après le passage de la tempete Haliba en mars 2015 –(Source lpreunion, Stephane Peyriguer)-----	52
Figure 22 : Exemple de représentation de la notion de continuité du niveau d'aléa mouvements de terrain -----	54
Figure 23 : Principe de décroissance de l'intensité du phénomène chute de blocs avec l'éloignement de la source de départ-----	60
Figure 24 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du centre-ville de Saint-Paul-----	67
Figure 25 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit de La Saline – L'Ermitage-----	71
Figure 26 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit de la zone d'activité de Cambaie en rive gauche de la Rivière des Galets-----	73
Figure 27 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du secteur de Sans Souci-----	77
Figure 28 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du projet Hangar -----	79

Préambule

Ce dossier est le **Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles (PPR) inondations et mouvements de terrain de la commune de Saint-Paul**. 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 :

- des cartes de localisation des phénomènes naturels historiques (inondations et mouvements de terrain) à l'échelle 1/25 000 ;
- une cartographie des aléas naturels (inondations et mouvements de terrain) à l'échelle du 1/25 000, du 1/10 000 et du 1/5 000 dans les zones à enjeux ;
- une cartographie des équipements sensibles (enjeux) de la commune à l'échelle 1/25 000.

✓ les documents réglementaires :

- la note de présentation, décrivant succinctement le territoire de Saint-Paul et les phénomènes naturels qui le concernent, ainsi que les règles méthodologiques adoptées ;
- une cartographie du zonage réglementaire à l'échelle du 1/ 25 000, du 1/10 000 et du 1/5 000 dans les zones à enjeux ;
- 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 PPR sans tarder en s'appuyant sur les connaissances disponibles. En conséquence, la conduite du PPR doit être menée avec pragmatisme, sans rechercher une complexité inutile et avec le souci d'aboutir directement dans la plupart des cas à des propositions de mesures réglementaires.

Extrait de la loi n° 95-101 du 02 février 1995 (Principe de précaution) :

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 sans doute pas une démarche naturelle, et le soleil fait oublier ou efface trop rapidement les cicatrices laissées par ces événements. 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.

Saint Paul, commune peuplée de 103 498 habitants (population recensée par l'INSEE en 2009), est affectée par des phénomènes de mouvements de terrains et/ou d'inondations, comme en témoigne la carte des phénomènes historiques, 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, ancienne Direction Départementale de l'Équipement) l'élaboration d'un PPR multirisques (« inondations et mouvements de terrain ») de la commune de Saint Paul.

Le présent PPR ne couvre pas l'intégralité du territoire communal de Saint-Paul. Le cirque de Mafate n'a en effet pas été intégré et fait l'objet d'une réflexion à part entière, non abordée ici, en matière de risques naturels.

1.1. ORGANISATION DE LA GESTION DES RISQUES

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

- l'**information** sur les risques est un droit pour les populations menacées. Cette information est organisée par le préfet et les maires dans les conditions fixées par le décret du 11 octobre 1990 et par la loi n°2003-699 du 30 juillet 2003. Cette dernière loi prévoit notamment que dans les communes où un plan de prévention des risques naturels a été approuvé, le maire informe la population au moins une fois tous les deux ans par des réunions publiques communales ou tout autre moyen approprié. Cette information est délivrée avec l'assistance des services de l'Etat compétents ;
- la **gestion prévisionnelle des crises** s'appuie sur des systèmes d'alerte et s'organise dans les plans de secours spécialisés mis en œuvre par l'Etat et les collectivités ;
- les **travaux de protection**, à l'initiative des communes ou d'associations, bénéficient de subventions dans le cadre de programmations pluriannuelles (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 Saint-Paul est concernée par cette politique de prévention car elle cumule une évolution économique et démographique avec des aléas liés aux cyclones, pluies et mouvements de terrain importants. 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 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 des articles L.741-1 à L.741-5.

Il est obligatoire dans les communes dotées d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles approuvé ou comprises dans le champ d'application d'un plan particulier d'intervention. Le plan communal de sauvegarde est arrêté par le maire de la commune. [...] La mise en œuvre du plan communal ou intercommunal de sauvegarde relève de chaque maire sur le territoire de sa commune.

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

1.3. PLAN DE PREVENTION DES RISQUES (PPR) NATURELS

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

La commune de Saint-Paul est dotée depuis 2011 d'un Plan de Prévention des Risques Inondations (document approuvé par arrêté préfectoral en date du 14/12/2011), portant sur le territoire communal à l'exclusion de la Rivière des Galets et du secteur du cirque de Mafate.

La Rivière des Galets, dans sa partie aval, a fait l'objet d'une démarche PPR au début des années 2000, avec un document approuvé par arrêté préfectoral en date du 19 décembre 2003 relatif au phénomène d'inondation (commune de Port et de Saint-Paul ; secteur couvert qui s'étend approximativement des premiers épis de protection à l'amont jusqu'à l'exutoire en mer).

L'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles relatif aux phénomènes d'inondations et de mouvements de terrain a été prescrite sur la commune de Saint-Paul hors secteur de Mafate par l'arrêté préfectoral n° 2015-390SG/DRCTCV en date du 10 Mars 2015. L'établissement du PPRn sur le territoire de Saint-Paul intègre également le secteur communal couvert par le plan de prévention des risques d'inondations « Rivière des Galets – partie aval ».

Sont pris en compte dans la présente élaboration du Plan de Prévention des Risques de la commune de Saint Paul (hors Mafate) les phénomènes d'inondations (hors submersion marine) et les phénomènes de mouvements de terrain (hors érosion côtière).

1.4. CATASTROPHES NATURELLES MAJEURES A LA REUNION

1875 Salazie « le Grand sable » : 63 personnes ensevelies par un glissement	Février 1998 tempête Anacelle : 1 mort ; dégâts importants
Janvier 1948 Cyclone : 16 morts ; dégâts énormes	Janvier 2002 cyclone Dina : 2 morts, dégâts très importants
Février 1962 cyclone Jenny : 36 morts ; dégâts importants	Mars 2006 Tempête tropicale modérée Diwa : 4 morts, pluies importantes
Janvier 1966 cyclone Denise : 3 morts ; dégâts importants	Février 2007 Cyclone Gamède : 2 morts, dégâts importants
Janvier 1980 tempête Hyacinthe : 25 morts ; 1 milliard de francs de dommages	Janvier 2014 Cyclone Bėjisa : 1 mort, dégâts importants
Février 1987 tempête Clotilda : 9 morts ; dégâts très importants (109 millions de francs sur St Denis)	
Janvier 1989 cyclone Firinga : 4 morts ; dégâts très importants	
Janvier 1993 cyclone Colina : 2 morts ; dégâts importants	

Tableau 1 : Evénements historiques majeurs survenus à la Réunion

2. Présentation du PPR

2.1. CONTEXTE REGLEMENTAIRE DU PPR

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

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

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

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

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 PPR

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

L'Etat 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. Il est annexé au Plan Local d'Urbanisme, conformément aux dispositions des articles L153-60 et L151-43 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 le décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995, modifié par le décret du 4 janvier 2005. Le point de départ de la présente procédure d'élaboration du PPR est l'arrêté préfectoral de prescription n° 2015-390SG/DRCTCV en date du 10 Mars 2015.

Cet arrêté précise dans son article 1 que le périmètre mis à l'étude concerne l'ensemble du territoire de la commune de Saint-Paul (hors cirque de Mafate et en intégrant le secteur communal couvert par le PPRi approuvé le 19 décembre 2003 de la Rivière des Galets partie aval), et, dans son article 2, que les risques relatifs aux « mouvements de terrain » (les 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 démarches 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 :

- **19 décembre 2003 : approbation du PPR inondation (arrêté préfectoral n°3389) pour la partie aval de la Rivière des Galets (communes de Saint-Paul et du Port) ;**
- **14 décembre 2011 : Approbation du PPR inondation (arrêté préfectoral n°2001) sur le territoire communal de Saint-Paul, hors secteur de Mafate et Rivière des Galets partie aval ;**
- 2008-2013 : Phase technique d'élaboration des cartes d'aléas mouvements de terrain dont le détail des phases principales d'échanges est le suivant :
- 25 avril 2012 : Réunion de présentation du zonage MVT avec transmission à la commune des cartes d'aléas MVT pour échanges ;
- Août 2012 : Rapport BRGM RP-61449-FR d'août 2012 : vérification et précision le cas échéant de l'aléa MVT au droit de 47 secteurs identifiés par la commune ;

- **15 novembre 2012 : Porté A Connaissance** auprès des services de la Mairie de Saint-Paul de la cartographie de **l'aléa mouvements de terrain** réalisée à l'échelle 1/5 000 par le BRGM dans le cadre de sa mission d'appui aux politiques publiques, sur l'ensemble du territoire communal (hors cirque de Mafate) ;
- 14 février 2013 : arrêté préfectoral n°0159/SG/DRCTCV relatif à l'information des acquéreurs et des locataires de biens immobiliers sur les risques naturels et technologiques majeurs sur la commune de Saint-Paul ;
- 15 février 2013 : réunion en mairie pour présentation aux élus de l'avancement de la procédure. Suite à cet échange, les services de la mairie ont souhaité une analyse complémentaire de l'aléa MVT au droit de secteurs à enjeux communaux et l'intégration des enjeux dans les réflexions d'élaboration du zonage réglementaire (début de la phase réglementaire) ;
- Avril 2013 : demande complémentaire des services de la mairie de Saint-Paul pour précision des aléas MVT et proposition de transcription réglementaire envisageable, pour 58 secteurs à enjeux communaux et 3 secteurs complémentaires (demandes de particuliers) ;
- 14 Mai 2013 : visites de terrain complémentaires (9 secteurs) ;
- Mai-Juin 2013 : finalisation des cartes MVT + élaboration du périmètre SUES pour toute la commune (hors cirque de Mafate) ;
- 5 juillet 2013 : présentation aux services de la mairie de la finalisation du zonage de l'aléa MVT et des propositions de transcription réglementaire (focus au droit des secteurs à enjeux communaux) ;
- Septembre 2013 : transmission du rapport BRGM RP-62389-FR d'août 2013 en réponse à la demande la mairie pour 61 secteurs : vérification et précision le cas échéant de l'aléa MVT + proposition de transcription réglementaire ;
- 17 Février 2014 : **Porté A Connaissance** auprès des services de la Mairie de Saint-Paul de la cartographie de **l'aléa mouvements de terrain** réalisée à l'échelle 1/5 000 par le BRGM dans le cadre de sa mission d'appui aux politiques publiques, sur l'ensemble du territoire communal (hors cirque de Mafate) ;
- Avril 2014 : transmission du rapport BRGM RP-63460-FR d'avril 2014 en réponse à la mairie pour 7 secteurs classés en zone Arh au PLU de la commune vérification et précision le cas échéant de l'aléa MVT ;
- 2014 : travail et échanges avec les services de la mairie sur l'élaboration du règlement du projet de PPR ;
- Juillet à septembre 2014 : reprise de la modélisation hydraulique du secteur de La Saline et de l'Ermitage (rapport ARTELIA n°4701597V3 de septembre 2014) ;
- **10 mars 2015 : arrêté préfectoral n°2015-390SG/DRCTCV prescrivant un PPR mouvements de terrain et inondation sur le territoire communal de Saint-Paul ;**
- 20 mars 2015 : réunion technique sur le projet de PPR avec les services de la mairie (présentation et échanges sur le projet de règlement et la carte réglementaire) ;
- Février à mai 2015 : analyse de 6 études ponctuelles menées par des particuliers ou aménageurs afin de préciser le zonage des aléas Inondations et MVT et la transcription réglementaire de ces aléas (rapport BRGM RP-64838-FR de mai 2015) ;
- 22 avril 2015 : réunion d'association, présentation aux élus de la commune de Saint-Paul du règlement du projet de PPR ;

- **Avril-Juin 2015 : finalisation du projet PPR** pour le lancement de la phase de consultation officielle : pièces écrites (présente note, règlement), documents cartographiques (aléas, réglementaire) et annexes.

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

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

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

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

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

La phase des consultations officielles sur le projet de PPR multi-risques de Saint-Paul

Les consultations officielles des différents services se sont déroulées de la manière suivante :

- **De fin juillet / début août 2015 à fin septembre / début octobre 2015** : consultations officielles des partenaires associés : conseil municipal, TCO, chambre d'agriculture, ONF et DAAF.

Conformément à l'article 6 de l'arrêté préfectoral de prescription, un dossier contenant les documents utiles à la phase de concertation avec le public a été transmis aux services de la commune en avril 2015 et tenue à la disposition des administrés par ces derniers.

Par ailleurs, un avis au public affiché 2 semaines avant et pendant toute la durée de l'enquête publique prorogée à la mairie de Saint-Paul, dans les mairies annexes et dans différents lieux publics de la commune a été réalisée par les services de la DEAL Réunion.

Un bilan de la concertation mise en œuvre dans le cadre de l'élaboration du projet de PPR conformément aux articles 5 et 6 de l'arrêté préfectoral de prescription est joint en annexe 5 du PPR. Ce bilan rappelle quelle a été la concertation menée tout au long des études d'élaboration du projet de PPR qui s'achève après les consultations officielles.

Lors de la phase de consultation officielle, certains partenaires ont souligné, hors avis, des écueils de forme ou de formulation dans les documents du projet de PPR. Le dossier mis à l'enquête publique intègre ces corrections. Les amendements formulés dans les avis de délibération des partenaires ont été analysés à l'issue de la phase d'enquête publique.

La phase d'enquête publique sur le projet de PPR multi-risques de Saint-Paul

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

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

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

Les maires des communes sur le territoire desquelles le plan doit s'appliquer sont entendus par le commissaire enquêteur ou par la commission d'enquête une fois 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 ».

L'arrêté préfectoral n°2420/SG/DRCTCV/BCLU du 7 décembre 2015 a prescrit l'ouverture, sur le territoire de Saint-Paul, d'une enquête publique, au titre du code de l'environnement, concernant le projet de Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles relatif aux phénomènes d'inondations et de mouvements de terrain.

Préalablement au lancement de l'enquête publique, quatre réunions publiques d'informations et d'échanges, organisée par l'État, maître d'ouvrage du projet de PPR, se sont tenues les 19, 21, 27 et 29 janvier 2016, y ont été conviés respectivement à la mairie de Saint-Paul, à l'Hotel de ville, en mairie annexe de la Saline-les-Bains, du Guillaume et de la Plaine, en présence du maître d'ouvrage représenté par la DEAL ainsi que du BRGM. Y sont conviés les représentants de la commune et les commissaire-enquêteurs.

L'enquête publique s'est déroulée du 1^{er} février au 4 mars 2016 et a été prorogée jusqu'au 18 mars 2016 (42 jours consécutifs), sous la supervision d'une commission d'enquête présidée par M. SCHIETTECATTE Jean-Pierre et composée de M. DANDRADE Gilbert et de M. NIVAL Francis, tous trois commissaires enquêteurs. Les pièces du dossier PPR ainsi qu'un registre d'enquête ont été mis à la disposition du public à l'hôtel de ville ainsi que dans les mairies annexes de la Saline-les-Bains, la Saline, le Guillaume, la Plaine et Plateau Caillou, pendant la durée de l'enquête. Le commissaire-enquêteur a pu recueillir 344 requêtes représentant 362 demandes distinctes, consignées dans les registres mis à leur disposition, au cours des 21 permanences tenues.

La commission d'enquête a donné un avis favorable au projet de PPR « inondation et mouvements de terrain » de la commune de Saint-Paul dans son rapport rendu le 13 mai 2016.

Toutes les requêtes formulées ont fait l'objet d'une analyse individualisée par le BRGM, partenaire de la DEAL sur ce projet. Des visites de terrain complémentaires ont eu lieu les 25, 27, 29 avril et 3 mai 2016 pour préciser les zonages au droit et aux abords de 134 parcelles, en présence des particuliers ayant déposé une requête.

La synthèse des réponses formulées pour chacune des requêtes (proposition de classement réglementaire et éléments de justification) est présentée en annexe 6 du PPR approuvé (rapport BRGM n°RP-66059-FR de juillet 2016).

Une copie du rapport de la commission d'enquête est consultable pendant un an à la mairie de Saint-Paul ainsi qu'à la préfecture de Saint-Denis (également téléchargeable sur le site de la

Préfecture de la Réunion : <http://www.reunion.gouv.fr/plans-de-prevention-des-risques-naturels-pprn-r84.html>).

La phase post-enquête publique pour le projet de PPR multi-risques de Saint-Paul

Sur ces bases, des adaptations au projet de PPR ont été apportées telles que des amendements à la relecture finale de certaines prescriptions d'urbanisme et de construction pour tenir compte d'imprécisions ou d'erreurs de libellés, ne remettant cependant pas en cause le fonds des règles présentes dans le projet.

Par ailleurs, suite aux observations formulées lors de l'enquête publique, aux vues du développement de l'urbanisation au sein du territoire communal en dehors des zones U ou Au de son PLU actuel ; la traduction réglementaire des terrains classés en aléa moyen MVT en zone réglementaire B2u a évolué et s'est focalisée sur la sécurisation possible à l'échelle de projets des secteurs à enjeux concernés. Cette évolution s'inscrit dans une réflexion méthodologique plus globale à l'échelle de La Réunion et appliquée aux récents PPR mis en enquête publique et approuvés.

Des observations et demandes de précisions sur le PPR ont également été transmises à la DEAL après la fin de l'enquête publique. Ces demandes ont fait l'objet d'une analyse par la DEAL et son partenaire technique le BRGM. Il s'avère que la majorité de ces requêtes sont comprises dans des secteurs où le zonage réglementaire a évolué suite à l'analyse des observations de l'enquête publique.

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 installés 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 menacé 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'Etat (sauf cas particuliers). Si un POS ou un PLU a été approuvé, le maire délivre les autorisations au nom de la commune.

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

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

3. Présentation de la commune

3.1. CONTEXTE DE LA ZONE D'ETUDE

3.1.1. Situation géographique

Saint-Paul, chef-lieu de cinq cantons, se situe dans le Nord-Ouest de l'île de La Réunion, sur les pentes externes ainsi que sur la bordure littorale du massif volcanique ancien du Piton des Neiges. Cette commune s'étend sur une superficie de 241,28 km², soit plus de 10,4 % de la surface totale de l'île de la Réunion. Avec 106 193 habitants (2012) et une densité de 440 habitants par km², la ville de Saint-Paul observe une augmentation de sa population de l'ordre de 1,7% depuis le début des années 2000.

La zone étudiée s'étend sur une superficie de 210 km² (territoire communal, hors cirque de Mafate), soit plus de 8.3 % de la surface totale de l'île de la Réunion.

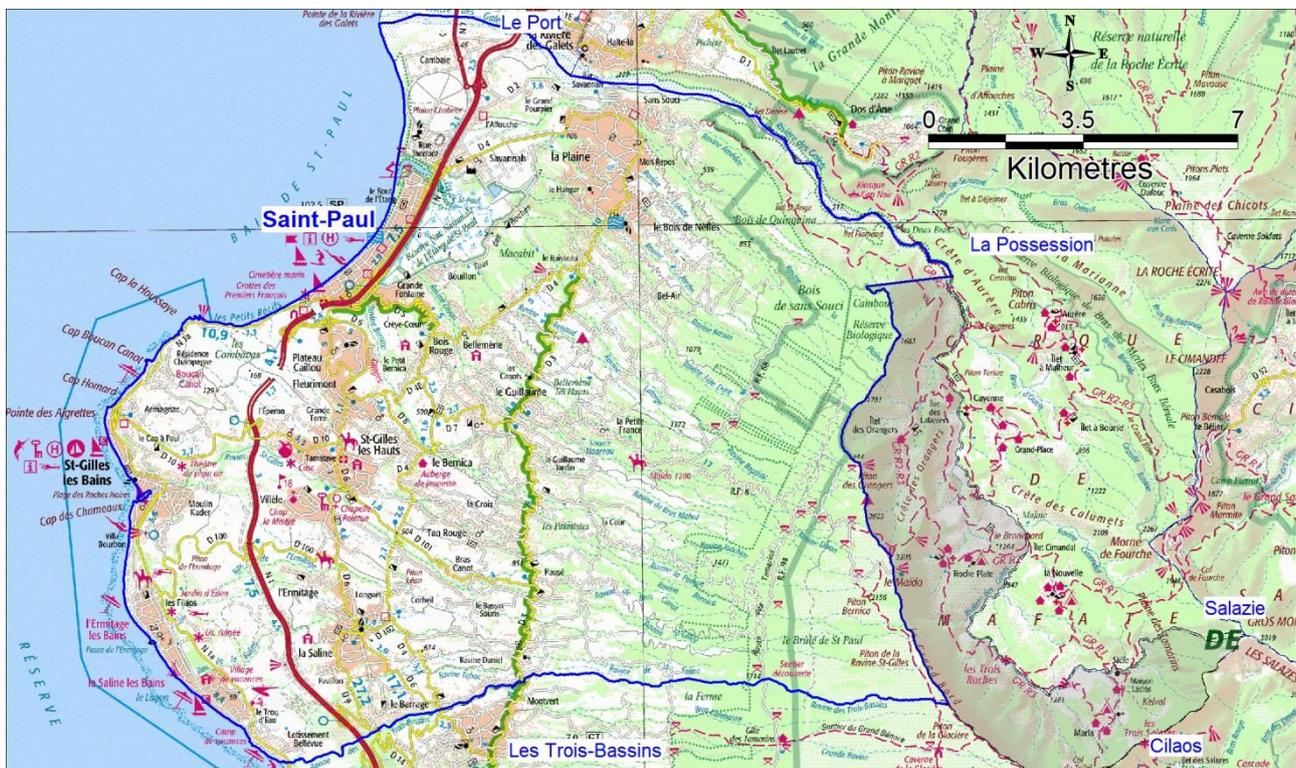


Figure 1 : Délimitation du territoire communal de Saint-Paul (Fond ©IGN scan100©-2010)

Le zone d'étude s'étend entre le littoral à l'ouest et le rempart du cirque de Mafate à l'est ; et entre la Rivière des Galets au Nord et la Ravine des Trois-Bassins au Sud.

La commune de Saint-Paul est limitrophe avec les communes du Port, de La Possession, de Cilaos et de Trois Bassins.

La commune de Saint-Paul est incluse au sein du territoire de la côte ouest (TCO).

3.1.2. Contexte géomorphologique

Le secteur d'étude (territoire communal hors cirque de Mafate) se caractérise par des contrastes morphologiques marqués. Trois entités géomorphologiques principales peuvent être distinguées, d'ouest en est :

- une plaine littorale, située de part et d'autre de la RN1A, bordée par des côtes sableuses ou rocheuses (de 0 à 20 m NGR environ). Le secteur de l'Etang de Saint-Paul constitue au sein de cette entité, une étendue particulière et remarquable ;
- des terrains aux pentes moyennes (de l'ordre de 10 % (6°) en moyenne) en amont de la RN1 et jusqu'à la RD3 (de 20 à 350m au Nord jusqu'à 850 m NGR au Sud) ;
- des terrains aux pentes plus prononcées (de l'ordre de 15 à 18% (environ 10°) en moyenne) en amont de la RD3, jusqu'à la crête du rempart dominant le cirque de Mafate (point culminant du secteur d'étude situé à environ 2450 m NGR).

Ces terrains sont incisés par des ravines délimitant des plateaux plus ou moins vastes. Certains cours d'eau du réseau hydrographique, notamment la rivière des Galets, incisent les flancs du massif du Piton des Neiges de manière considérable. Les principales ravines et rivière présentent sur le secteur d'étude sont, du nord au sud :

- Rivière des Galets (limite Nord du secteur d'étude) ;
- Ravine des Plaines ;
- Ravine Lolotte ;
- Ravine Divon ;
- Ravine Tête Dure ;
- Ravine Bernica ;
- Ravine Saint Gilles ;
- Ravine de l'Ermitage ;
- Fond Maunier ;
- Ravine de la Saline ;
- Ravine des Trois-Bassins (limite Sud du secteur d'étude).

Dans le détail, on note une grande diversité des formes de ravines, longitudinalement et d'un cours d'eau à l'autre : évasées ou encaissées, avec un profil transversal convexe ou concave, (en " V ") ou à fond plat (en " U "). Les facteurs qui conditionnent ces morphologies semblent être le régime hydraulique et la nature des formations géologiques (notamment la présence à plus ou moins grande profondeur de coulées de lave massive résistantes à l'érosion).

3.1.3. Contexte climatique

Vent

A La Réunion, les vents dominants proviennent du secteur Est-Sud-Est (alizés), avec toutefois des variations saisonnières et localisées selon les facteurs orographiques et thermiques. La commune de Saint-Paul, située dans le Sud-Ouest de l'île, est protégée par les hauts reliefs de l'île et se retrouve « sous le vent » de l'alizé. Ce territoire est donc davantage affecté par des brises de pentes nocturnes (vent soufflant de la terre vers la mer) de secteur est et des brises diurnes (vent soufflant de la mer vers la terre) de secteur ouest et sud-ouest.

Pluviométrie

L'île de la Réunion détient les records mondiaux de pluviométrie cumulée pour des durées allant de 3 h (500 mm) à 12 jours (6 000 mm).

La Réunion est soumise à une variation temporelle des pluies. On distingue deux saisons :

- la saison des pluies, de décembre à avril,
- la saison sèche, de mai à novembre.

Pendant la saison sèche, les températures sont douces et les pluies peu abondantes. Sur la côte ouest, la pluviométrie des mois de juillet à octobre est très faible voire quasi nulle (moins de 100 mm mensuels). A l'Est, la pluviométrie reste tout de même importante et varie entre 100 mm à 300 mm par mois, notamment au niveau du volcan où la moyenne du mois le plus sec atteint 700 mm environ.

L'augmentation des précipitations pendant la saison des pluies est importante : à l'Ouest, la pluviométrie moyenne mensuelle se situe entre au moins 100 mm et 300 mm (sauf sur le littoral). Les températures sont plus élevées.

Selon les cartes d'isohyètes mensuelles de Météo France pour la période de 1970 à 2009, le mois de février est le mois le plus arrosé sur l'ensemble de l'île.

Située sur la côte « sous le vent », la commune de Saint-Paul affiche des valeurs de pluviométrie bien moindre que les territoires de la côte « au vent ». Les précipitations moyennes annuelles dans le secteur de Saint-Paul ne dépassent pas **1500 mm** en altitude (Atlas climatique de la Réunion, Météo France 2000, cf. Figure 2).

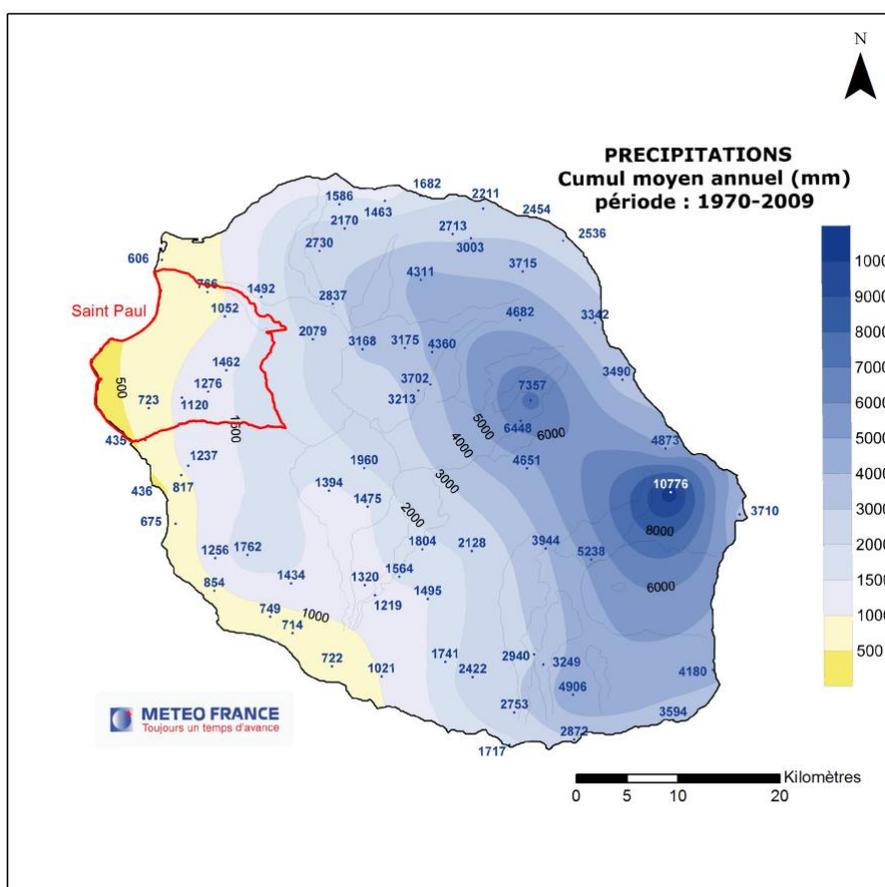


Figure 2 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (©Météo France 2010)

Météo France Réunion a réalisé une carte de zonage pluviométrique en 2010, tenant compte du relief (cf. Figure 3), qui qualifie les secteurs soumis à un régime pluviométrique similaire à proche. La commune de Saint-Paul est concernée par les régions 1 et 2 :

- La région 1 correspond à la bande littorale qui s'étend de Saint-Denis à Grands Bois (région 1) qui est la plus sèche de l'île toute l'année. Les précipitations s'y produisent essentiellement en saison des pluies et sont d'autre part très tributaires des événements cycloniques qui n'interviennent pas forcément tous les ans.
- La région 2 regroupant les hauts de l'Ouest, les cirques de Mafate et de Cilaos, et la Plaine-des-Cafres est très sèche de mai à octobre, mais elle bénéficie de précipitations nettement plus abondantes en saison des pluies.

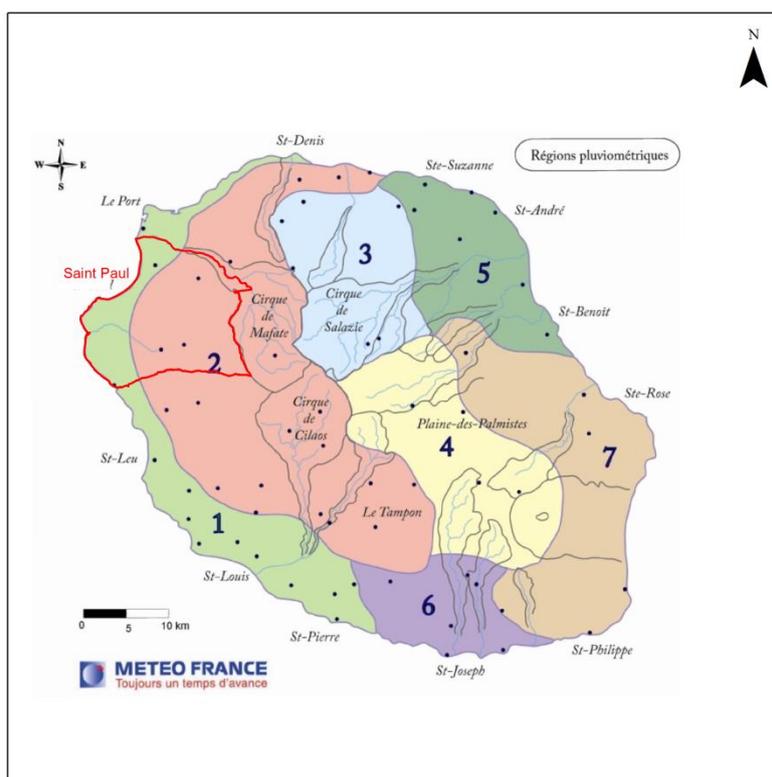


Figure 3 : Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)

Concernant les stations météorologiques, 11 sont aujourd'hui installées sur le territoire de Saint-Paul et suivies par Météo France. Les mesures de ces stations permettent de caractériser la pluviométrie sur le territoire de Saint-Paul. Il s'agit notamment des stations météorologiques suivantes :

- Saint-Paul (CIRAD) (commune de Saint-Paul, altitude : 186m, installée en 1997) ;
- Bois de nêfles (CIRAD) (commune de Saint-Paul, altitude : 595m, installée en 1952) ;
- Plateau Caillou (commune de Saint-Paul, altitude : 242m, installée en 2007) ;
- Petite France (commune de Saint-Paul, altitude : 1200m, installée en 1999) ;
- Tan-Rouge (CIRAD) (commune de Saint-Paul, altitude : 750m, installée en 1960) ;
- L'Ermitage (CIRAD) (commune de Saint-Paul, altitude : 147m, installée en 2002) ;
- Palmiste-Guillaume (commune de Saint-Paul, altitude : 1042m, installée en 1953) ;
- Piton Maïdo (ONF) (commune de Saint-Paul, altitude : 2195m, installée en 1998) ;
- Vue Belle (CIRAD) (commune de Saint-Paul, altitude : 722m, installée en 2003) ;
- La Saline les Hauts (CIRAD) (commune de Saint-Paul, altitude : 463m, installée en 1987) ;
- Pointe des Trois-Bassins (commune de Saint-Paul, altitude : 5 m, installée en 1987)

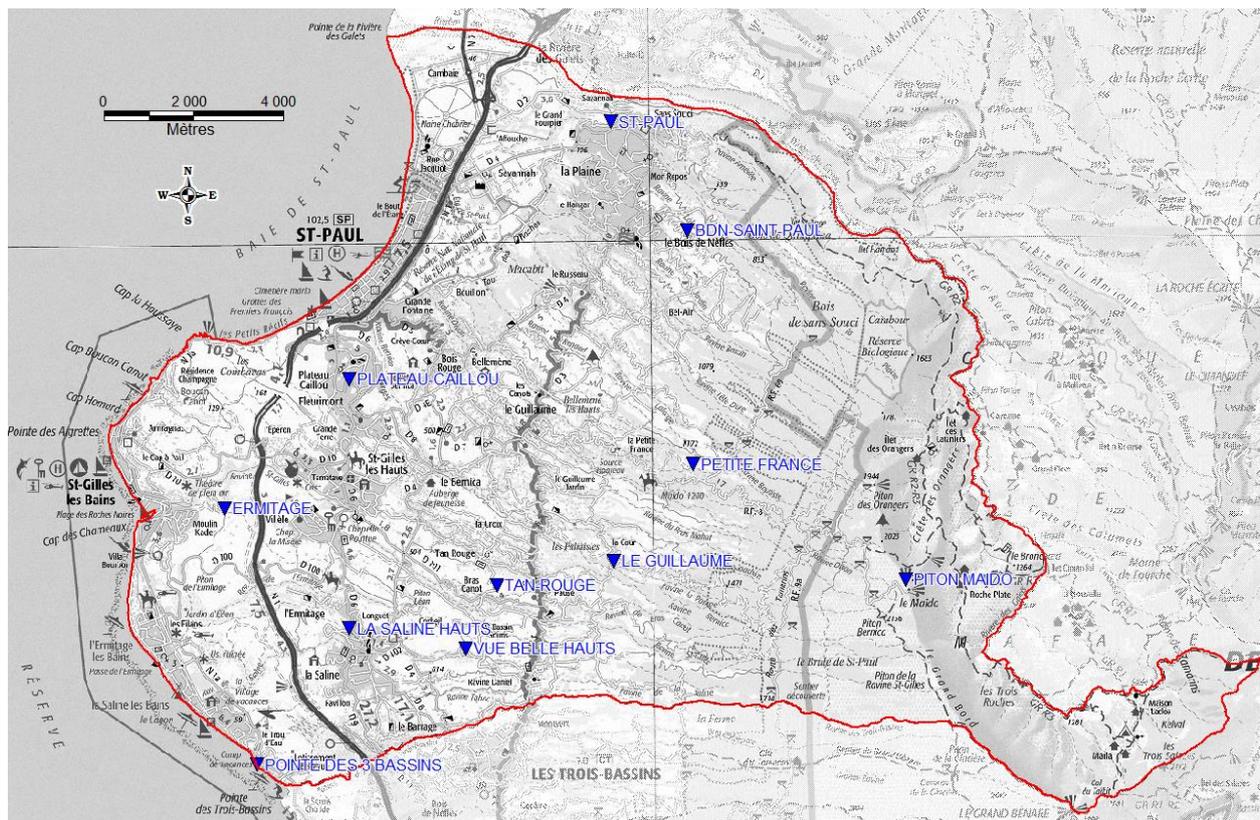


Figure 4 : Localisation des stations météo de Saint-Paul (©IGN Scan100® - 2010)

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

Les valeurs caractéristiques pour les stations de Saint-Paul sont les suivantes :

Nom station	Altitude	Pluie Journalière Décennale (PJ ₁₀ en mm)	Pluie Journalière Centennale (PJ ₁₀₀ en mm)
Pointe Trois Bassins	5	Non disponible	Non disponible
Saint Gilles les Bains	5	224	358.4
Savannah	15	238	380.8
L'Ermitage	147	Non disponible	Non disponible
Saint-Paul	186	Non disponible	Non disponible
Plateau Caillou	242	Non disponible	Non disponible
La Saline les Hauts	463	Non disponible	Non disponible
Bois de nèfles	595	320	512
Vue Belle	722	Non disponible	Non disponible
Tan-Rouge	750	294	470.4
Palmiste-Guillaume	1042	327	523.2
Petite France	1200	Non disponible	Non disponible
Piton Maïdo	2195	372	595

Tableau 2 : Précipitations journalières décennales et centennales issues du GEDC, 1992 (en mm)

La comparaison entre les pluies journalières maximales observées sur les différentes stations du territoire de Saint-Paul, depuis leur ouverture, ainsi que l'analyse des cumuls de pluies caractéristiques confirment également le contraste de pluviométrie selon l'altitude et donc le zonage pluviométrique à considérer.

Station	Date d'ouverture	Altitude (m NGR)	Nombre de jours moyen (période 1981-2010) où le cumul de pluie (en mm) est \geq à				Maximum absolu quotidien depuis l'ouverture	
			1	10	50	100	Valeur (en mm)	Date
L'Ermitage	01/05/2002	147	48	15	1	0	182.5	02/03/2005
Saint-Paul	27/04/1997	186	68	11	1	0	469.5	22/01/2002
La Saline les Hauts	01/09/1987	463	50,2	18,4	2,5	0,8	377	22/01/2002
Bois de nèfles	01/01/1952	595	75,1	21,3	4,1	1,3	562.9	22/01/2002
Tan-Rouge	01/01/1960	750	73,6	24,1	4,1	1,3	415	04/01/1987
Petite France	01/09/1999	1200	101	27	2	0	860	22/01/2002
Piton Maïdo	18/11/1998	2195	94	30	4	0	800	22/01/2002

Tableau 3 : Cumul de pluie moyen par jours entre 1981 et 2010 (source : Bulletin climatologique 2012 – Météo France). En italique les valeurs de l'année 2012, à défaut de valeurs moyennes disponible sur la période 1981 – 2010)

Pour la plupart des stations météorologiques, le maximum des précipitations a été enregistré le 22 janvier 2002, au cours du passage du cyclone de Dina qui a impacté plus particulièrement l'Ouest de la Réunion (du 17/01 au 26/01/2002). Le passage du cyclone Dina mit fin à une longue période sans événement pluvieux sur l'Ouest de la Réunion (1994 à 2002) et fut à l'origine de nombreux désordres. Les pluies journalières maximales enregistrées sur le territoire de Saint-Paul pendant Dina présentent des périodes de retour estimées à plus de 100 ans (Sogreah, Etudes préalables à l'élaboration d'un PPRi sur la commune de Saint-Paul, Phase 1, mars 2008).

Les précipitations journalières sont rarement supérieures à 50 mm sur le territoire communal étudié (quelques jours par an, rarement au-delà de 5j en moyenne).

L'analyse des valeurs de précipitations enregistrées confirment l'incidence de l'altitude et du relief sur les précipitations que ce soit pour les cumuls maximum journaliers observés ou le nombre de jour dépassant certains seuils de précipitation.

Une analyse statistique des valeurs de pluviométrie journalières enregistrées à la station de Tan-Rouge de 2002 à 2011 (altitude 750 m NGR) montre les principales valeurs suivantes.

Nom station	Maximum	Moyenne	1 ^{er} Quartile	3 ^{ème} Quartile
Tan Rouge	415	3,6	0	0,5

Tableau 4 : Valeurs caractéristiques des précipitations journalières en mm

Pour les secteurs urbanisés de Bernica, l'Ermitage et la Saline, proche de la station des Tan-Rouge, l'analyse des données montre que la pluviométrie est très faible, avec 75% des valeurs inférieures en moyenne à 0,5 mm par jour. Cela traduit de nombreux jours sans précipitations,

avec quelques jours de pluies soutenues à fortes. A l'occasion de fortes pluies (cyclones principalement), on observe des « pics » de pluies qui peuvent dépasser 100 mm par jour (le maximum des précipitations a été ici enregistré à la station de Tan Rouge le 4 janvier 1987 et a atteint 415 mm en une journée).

Des pics de pluviométrie sont également observés chaque année et sont présentés dans le tableau suivant. Le nombre de jours dans l'année où les précipitations journalières ont dépassé 50 mm est également affiché, qui correspond approximativement à un seuil de précipitations au-delà duquel on observe du ruissellement.

Année	Précipitations journalières maximales en mm (Tan Rouge)	Précipitations annuelles cumulées en mm (Tan Rouge)	Nombre de jours dans l'année où les précipitations journalières dépassent 50 mm	Evènement climatique
2001	Non disponible	650,9	Non disponible	Episode pluvieux de janvier
2002	Non disponible	1355,7	Non disponible	Cyclone Dina
2003	Non disponible	964	Non disponible	Fort épisode pluvieux d'avril
2004	Non disponible	855	Non disponible	Episode pluvieux de février
2005	100,5	1085	5	Fort épisode pluvieux de mars
2006	227	1268,5	5	Tempête tropicale modérée Diwa
2007	148,5	1177,5	7	Cyclone Gamède
2008	127,5	1375	6	Fort épisode pluvieux de février
2009	96	1317	7	Fort épisode pluvieux de février
2010	155	939	4	Fort épisode pluvieux de février
2011	144	1673	10	Fort épisode pluvieux de janvier
2012	62,5	872	2	Fort épisode pluvieux de fin mars

Tableau 5 : Maximum des précipitations journalières, précipitations annuelles cumulées, nombre de jours dans l'année où les précipitations journalières dépassent 50 mm et évènement climatique associé sur la période de 2001 à 2011 observés sur la station de Tan-Rouge

Les précipitations associées à un évènement climatique représentent en moyenne 12% des précipitations annuelles.

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 ainsi le phénomène de ruissellement. Sur les 20 dernières années, les précipitations ont ainsi provoquées des ruissellements en moyenne 4 jours dans l'année. Ces ordres de grandeurs sont toutefois à prendre avec précaution selon la nature du sol qui peut influencer significativement les conditions de ruissellement (imperméabilisation anthropique, nature des formations en place).

L'analyse des données de pluies, confirme la variation spatiale et temporelle des pluies notamment entre les hauts du territoire de Saint-Paul (plus pluvieux) et le littoral (plus sec).

On peut également citer le caractère localisé de certains épisodes pluvieux intenses qui peuvent engendrer des désordres conséquents à l'échelle d'un territoire.

Les précipitations peuvent donc être très localisées, avec des cumuls journaliers pouvant atteindre des valeurs très fortes (de 182 à 860 mm par jour selon les stations suivies), notamment lors du passage d'évènement cyclonique et qui conditionnent les cumuls annuels. Ces derniers, pour le territoire de Saint-Paul et d'après les données à disposition,

ne présentent toutefois pas de caractère exceptionnel comparativement à ceux observés sur d'autres secteurs de l'île (cf. Figure 2).

Ces précipitations intenses ont des conséquences sur les possibilités d'occurrence des phénomènes non seulement d'inondations mais également de mouvements de terrain. Une analyse réalisée sur l'ensemble de l'île par le BRGM montre que les mouvements de terrain se produisent principalement durant les mois de janvier à mars, correspondant à la période des pluies (période cyclonique). Les phénomènes climatiques extrêmes (cyclones majeurs à temps de retour décennal), au cours desquels les équilibres naturels sont poussés à leur limite, 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 extrêmement 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.

3.1.4. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est très développé avec de nombreuses ravines de tailles variables. La quasi-totalité de ces ravines sont des cours d'eau temporaires qui n'entrent en fonctionnement qu'en cas de fortes pluies. Elles prennent leur source pour la plupart dans les Hauts et s'écoulent vers la mer avec des pentes majoritairement comprises entre 30 à 35°.

On note cependant des zones à pente nulle au niveau de la frange littorale dans le Nord-Ouest de la commune, notamment au niveau du centre-ville (zone de l'Etang) et le long des plages dans le secteur de La Saline et de l'Ermitage, et paradoxalement des zones à très fortes pentes (flancs des pitons, ou des remparts en bordure de commune). Les bassins versants sont de forme très allongées sur toute la zone d'étude. Ceci génère des ruissellements rapides et conséquents en cas de fortes pluies, et tend à rendre les phénomènes de crues encore plus intenses.

Le centre-ville de Saint-Paul est implanté en bordure littorale au sein de l'Etang Saint-Paul qui constitue l'exutoire d'un réseau hydrographique significatif (ravine La Plaine, Ravine Bernica, Ravine Divon, Ravine Lolotte, Ravine Précipice entre autre). Le fonctionnement spécifique de l'étang associé au contexte topographique de la zone est à l'origine d'inondations historiques de certains quartiers de Saint-Paul et notamment du centre-ville, avant la construction de l'actuelle 2x2 voies faisant office de digue de protection vis-à-vis des crues de la Ravine Bernica.

Le secteur de La Saline et l'Ermitage constitue également l'exutoire de plusieurs ravines marquées à l'amont sans véritable exutoire vers l'océan dans cette zone plane de bord de mer. Ce secteur est fréquemment inondée à chaque forte pluie, comme en témoigne l'importante revue de presse à ce sujet. Parmi les événements les plus marquants, on citera notamment les inondations de 2002 (passage du cyclone Dina) qui font office de référence.

Le principal cours d'eau qui délimite le territoire communal au Nord est la Rivière des Galets :

- **La Rivière des Galets** est l'exutoire principal du cirque de Mafate. Son **bassin versant a une superficie de 105,7 km²** à la station hydrométrique de l'Illet Malidé et une pente moyenne de 10 %. Le bassin versant de la Rivière des Galets représente 48 km² à sa confluence avec le bras d'Oussy. Elle suit ensuite un cours encaissé jusqu'à déboucher sur la Plaine des Galets. Les endiguements la contraignent alors jusqu'à l'océan. Dans cette partie aval, les eaux s'infiltrent quasiment totalement à l'étiage et la continuité hydraulique n'est plus assurée jusqu'à l'océan. Les débits sont de 1570 m³/s pour la crue décennale et

2440 m³/s pour une crue centennale, soit des débits spécifiques record de 15 et 23 m³/s/km². Les vitesses en crues de la Rivière des Galets peuvent atteindre 8 à 10 m/s pour les plus fortes crues. Les écoulements torrentiels lors des crues de la Rivière des Galets génèrent un charriage important avec des blocs transportés dont le diamètre peut dépasser le mètre. Cette rivière est endiguée à son exutoire (travaux en plusieurs phases débutés en 1992 et terminés en 2000), avec des ouvrages dimensionnés (épis à l'amont et chenal en enrochements à l'aval) à partir de résultats d'un modèle physique, pour une crue de 3000 m³/s (de l'ordre de la crue centennale). Ces ouvrages sont suivis et entretenus par le SIVU (Syndicat à Vocation Unique). Ces ouvrages souffrent à chaque crue significative comme en témoigne les dégâts observés lors du passage du cyclone Gamède en 2007 et nécessitent des réparations ponctuelles afin de garantir le niveau de protection (Source : 12^{ème} congrès INTERPRAEVENT 2012-Grenoble/France).



Figure 5 : La Rivière des Galets et ses ouvrages d'endiguement (orthophotos IGN© 2011)

Les autres cours d'eau significatifs traversant le territoire communal de Saint-Paul sont les suivants.

- **La ravine la Plaine draine un bassin versant de 17,7 km² en amont de la route digue.** Ses débits de crue sont évalués à 211 m³/s pour la crue décennale et **405 m³/s pour la crue centennale** (BRGM, méthode GEDC et guide des eaux pluviales 2012), **362 m³/s d'après l'étude hydraulique Tram-train (méthode SPEED) SOGREAH Aout 2005 ;**
- **La ravine Divon, draine un bassin versant de 14,6 km² en amont de la route digue.** Ses débits de crue sont évalués à 180 m³/s pour la crue décennale et **360 m³/s pour la crue centennale** (BRGM, méthode GEDC et guide des eaux pluviales 2012) ;
- **La ravine Bernica, draine un bassin versant de 21,4 km² en amont de la route digue.** Ses débits de crue sont évalués à 208 m³/s pour la crue décennale et **507 m³/s pour la crue centennale d'après l'étude hydraulique Tram-train (méthode SPEED) SOGREAH Aout 2005 ;**
- **La ravine Saint Gilles draine un bassin versant de 31,3 km².** Il s'étend de la Ravine Bernica à la Ravine de l'Ermitage. L'amont de la zone est caractérisé par de nombreuses ravines prenant naissance sur la planèze et confluant vers la Ravine Saint-Gilles. Celle-ci

entaille profondément les terrains dans sa partie basse. Elle représente l'exutoire du bassin versant. Ses débits de crue sont évalués à 295 m³/s pour la crue décennale et **635 m³/s pour la crue centennale** d'après l'étude hydraulique de la ravine Saint-Gilles HYDRETTUDES - Octobre 2005.

- **La ravine de l'Ermitage, draine un bassin versant de 7.5km².** Ses débits de crue sont évalués à 60 m³/s pour la crue décennale et **109 m³/s** d'après l'étude d'aménagement des ravines de l'Ermitage de la Saline, SOGREAH Juin 2004.
- **La ravine de la Saline, draine un bassin versant de 4.9km².** Ses débits de crue sont évalués à 46 m³/s pour la crue décennale et **84 m³/s** pour la crue centennale d'après l'Etude d'aménagement des ravines de l'Ermitage et de la Saline, SOGREAH Juin 2004.
- **La ravine des Trois-Bassins, matérialisant la limite communale avec Saint-Paul et présentant un bassin versant d'une superficie de 26,7 km².** Les débits de crues caractéristiques de cette ravine sont évalués à 170 m³/s pour la crue décennale et **370 m³/s pour la crue centennale** d'après l'Etude d'aménagement des ravines de l'Ermitage et de la Saline, SOGREAH Juin 2004 ;

Les débits de crues de l'ensemble des ravines du territoire de Saint-Paul ont été évalués par Sogreah (Artélia dorénavant) dans le cadre des études préalables à l'élaboration du PPRi approuvé en 2011 à Saint-Paul (cf. Figure 7).

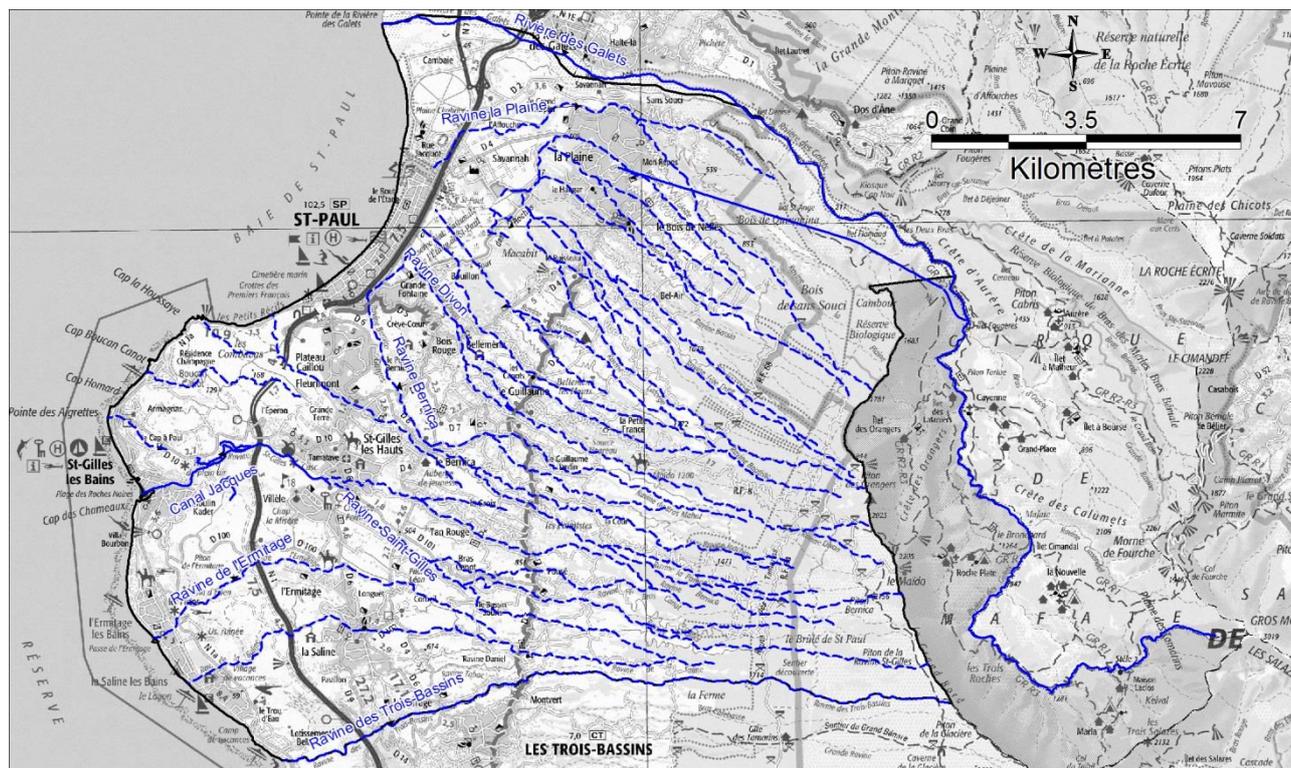


Figure 6 : Réseau hydrographique de Saint-Paul (source : BDtopo2012®, fond ©IGN scan100® - 2010)

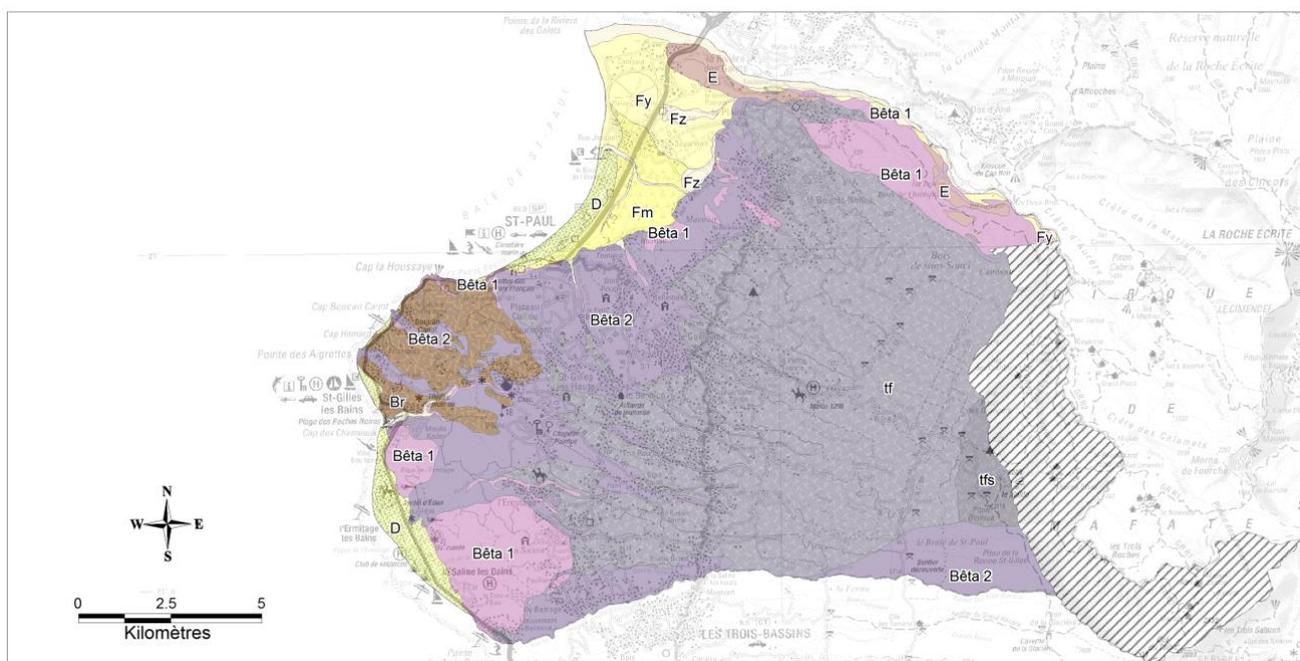
Nom	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Source
Etang Saint-Paul	502	1245	Etude hydraulique Tram-train (méthode SPEED)
La Plaine Amont	143	355	
La Plaine Totale	144	362	
Lolotte	40	85	GEDC
Précipice	44	95	GEDC
Fontaine	19	39	GEDC
Jardin	26	56	GEDC
Bassin	63	135	GEDC
Bras Tord	14	31	GEDC
Tête Dure	60	129	GEDC
Ruisseau	16	34	GEDC
Clergeau	13	28	GEDC
Laforge	60	128	GEDC
Moulin à Eau	36	76	GEDC
Renaud	38	81	GEDC
Botard	12	25	GEDC
Athanase	42	90	GEDC
Baptiste	50	106	GEDC
Divon	133	285	GEDC
Grande Fontaine	52	110	GEDC
Bras Mahot	47	100	GEDC
Bernica	208	507	Etude hydraulique Tram-train (méthode SPEED)
Plateau Caillou	25	54	GEDC
Grotte	18	38	GEDC
Fleurimont	54	116	GEDC
Petits Récifs	15	32	GEDC
Patent Stip	16	35	GEDC
Champagne	12	26	GEDC
Boucan Canot	71	151	GEDC
Armagnac	5	9	Etude hydraulique site petit Boucan (Cf tableau 1)
Four à Chaux	23	48	GEDC
Grand Fond	8	16	Etude hydraulique SCCV Edmonto (Cf tableau 1)
Fond Maunier	48	102	GEDC
Saint-Gilles	295	635	Etude hydraulique HYDRETTUDES (Cf tableau 1)
Kader	37	79	1,26
Carosse	16	33	Etude hydraulique HYDRETTUDES (Cf tableau 1)
Joyeuse	11	21	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Hermitage Nord	19	34	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Hermitage	60	109	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Hermitage Sud	8	14	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Usine	11	19	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
La Saline Nord	10	18	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
La Saline	46	84	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Dodo	6	12	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Sables	18	55	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Trou d'Eau	8	14	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Communes	4	9	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Bellevues	3	6	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Tabac	45	85	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Trois Bassins	170	370	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)
Coralines	2	5	Etude d'aménagement des ravines de l'Hermitage et de la Saline (Cf tableau 1)

Figure 7 : Débits de crue des ravines de Saint-Paul (Sogreah, PPRi de 2011)

3.1.5. Contexte géologique

Le secteur d'étude s'inscrit dans le contexte géologique du massif du Piton des Neiges. Ce dernier a été caractérisé par des périodes d'activités éruptives importantes (épanchements de coulées de lave et/ou de mise en place de formations pyroclastiques), séparés par de longues périodes de calme au cours desquelles les roches massives et les dépôts pyroclastiques (projections volcaniques émises lors d'une activité explosive du volcan) ont été soumises à l'érosion. La dernière période d'activité du Piton des Neiges est datée d'environ 12 000 ans (Deniel C., Kieffer G. & Lecointre J., 1992).

Des vallées se sont formées, des reliefs se sont individualisés. Des dépôts alluvionnaires et des brèches de pente, de remaniement, ont comblé les dépressions. Lors de la reprise de l'activité volcanique, des coulées de lave se sont épanchées sur les flancs du massif volcanique en empruntant d'abord les vallées.



Légende :

- Alluvions récentes (Fz)
- Alluvions anciennes (Fy)
- Sables et galets de plage (D)
- Alluvions fluvio-marines (Fm)
- Dépôts de glissements en masse, de coulées de débris, éboulis (E)
- Tufs soudés du Maïdo et de la Roche Ecrite (Tfs)
- Tufs en épanchages (Tf)
- Brèches d'avalanches de débris de Saint-Gilles (Br)
- Coulées (basalte, hawaïtes, mugéarites) (Beta2)
- Coulées basaltiques à olivine (Beta1)

Figure 8 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de la commune de Saint-Paul (©BRGM)

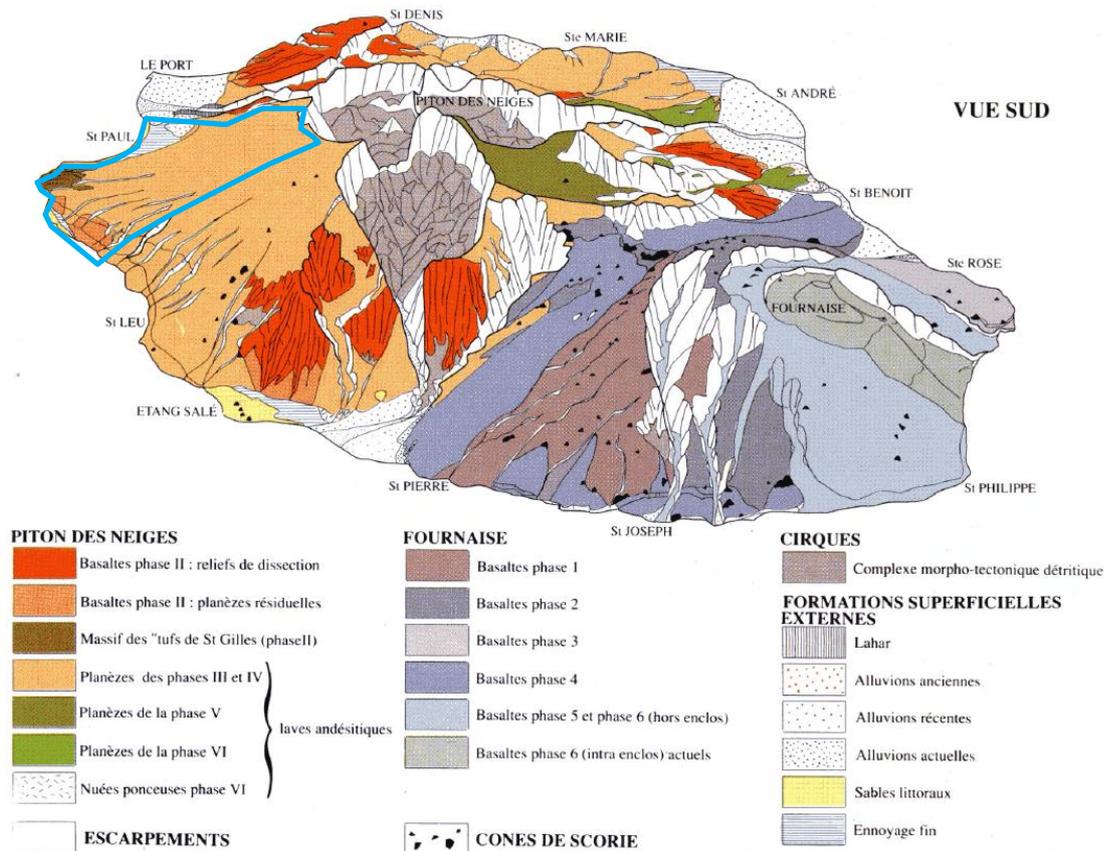


Figure 9 : Perspective morpho-géologique schématique de La Réunion (Raunet, 1991)

Les principales formations qui se distinguent sur le secteur d'étude sont les suivantes :

Les formations volcaniques

- **Les séries anciennes : Coulées basaltiques à olivine (Beta1)**

En se référant à la carte géologique à l'échelle du 1/50 000 (Billard, 1974), au niveau de l'encaissement de la Rivière des Galets et de la ravine des Trois-Bassins, affleurent des terrains relativement anciens plus ou moins altérés (altération climatique et hydrothermale), issus de la phase II d'activité du Piton des Neiges (entre 2,1 et 0,43 millions d'années). Ces coulées basaltiques à olivine constituent la série des océanites du Piton des neiges. Des affleurements dans les pentes dominant le secteur de la Saline sont également présents. L'altération hydrothermale s'est traduite par l'apparition de minéraux secondaires (zéolites, en particulier). La transformation poussée des laves liées à cette altération (argilisation) leur confèrent une perméabilité faible.

Ces formations géologiques sont constituées par une alternance de coulées de lave et de niveaux scoriacés de nature basaltique (structure en « mille-feuilles »). L'épaisseur des coulées et des lits de scories est très variable, allant du mètre à la dizaine de mètres. Ces formations présentent un pendage de quelques degrés vers la mer. Des filons intrusifs de lave sub-verticaux (dykes) recoupent en de nombreux endroits ces formations.

Ces séries anciennes sont également constituées par de puissantes coulées de lave massive, mise en place dans d'anciennes vallées et pouvant atteindre plus de 10 m d'épaisseur.

Mais comme la mise en place de ces formations volcaniques s'est faite au cours de plusieurs périodes d'activité, séparées par des périodes de calme éruptif, on rencontre fréquemment, en intercalation dans la succession stratigraphique des formations volcaniques, d'anciens sols, des niveaux détritiques, des coulées de boue indurées, etc.

- **Les séries récentes : Coulées (basaltes, hawaïtes, mugéarites) (Beta2)**

Les formations plus récentes sont issues de la phase III et IV de l'activité du massif du Piton des Neiges, (entre 350 000 et 12 000 ans).

La phase III est caractérisée par des coulées de lave à phénocristaux de feldspath et leurs produits d'altération et de remaniement. Ces coulées sont des leuco-basaltes et des andésites alcalines (hawaïtes, mugéarites). Elles se présentent généralement sous forme d'empilement de bancs compacts de laves d'épaisseur métrique à décimétrique et de bancs de scories d'épaisseur métrique. Ce faciès est également connu à la Réunion sous le nom de roche pintade.

La phase IV est marquée par des coulées basaltiques et andésitiques (hawaïtes, mugéarites), constituées par des éléments rocheux divers (ponce noire, lave aphyriques ou à phénocristaux de feldspath et d'olivine) plus ou moins abondants de taille millimétrique à centimétrique, parfois décimétrique, fortement cimentés par des produits cendreaux.

- **Les formations tardives : Tufts (ts et tfs)**

Les tufts en épandage sont les formations prédominantes sur la commune, on les retrouve principalement dans les hauts de la commune, fréquemment au-delà de 500 m NGR.

Ces tufts pyroclastiques sont issus de la phase IV (entre 230 000 et 12 000 ans) de l'activité du massif du Piton des Neiges. Ces formations sont constituées par des éléments rocheux divers (ponce noire souvent dominante, basaltes à olivine, laves aphyriques ou à phénocristaux de feldspath, trachyte, roche grenue) plus ou moins abondants, de taille millimétrique à centimétrique, parfois décimétrique, fortement cimentés par des produits cendreaux. Des bombes de lave vitreuse sombre se rencontrent parfois au sein de ces terrains.

Dans la région du Maïdo, affleure une couche métrique de tufts soudés (tfs). La roche à l'allure d'une lave bréchoïde dont les éléments ont une taille centimétrique.

Les formations superficielles

Sur le territoire de la commune de Saint-Paul, on note la présence de différentes formations superficielles (alluviales et détritiques notamment). On distingue parmi elles :

Les formations alluviales :

- *des alluvions fluviales (Fz, Fy)*, on les rencontre principalement à l'exutoire des principales ravines transitant sur le secteur d'étude, notamment au niveau de Cambaie (dépôt de la Rivière des Galets). Il s'agit d'un mélange hétérogène de sables fins à grossiers, de graviers, de galets et de blocs basaltiques et andésitiques dont la taille peut atteindre le m³. L'épaisseur de ces formations est variable. Elle peut atteindre plusieurs dizaines à centaine de mètres.
- *des alluvions fluvio-marines (Fm)*, comprenant des argiles, des silts, des limons, des sables et des galets basaltiques et andésitiques. Leur épaisseur atteint plusieurs décimètres. La zone de l'Etang Saint-Paul est notamment composée de ces formations.
- *de sables dunaires (D)*, composés de débris de laves, d'olivine, d'augite, et de titanomagnétite. Dans les dépressions inter dunaïres, ces sables n'ont que quelques mètres

d'épaisseur et présentent une certaine cohésion. On les retrouve principalement dans le secteur des plages de La Saline et l'Ermitage et au niveau du centre-ville de Saint-Paul.

Les formations détritiques :

- *des dépôts de glissement en masse, de coulées de débris, des éboulis (E)*. On rencontre les éboulis (anciens ou récents) essentiellement au pied des remparts, sur les versants encaissés des ravines, notamment au niveau de l'encaissement de la Rivière des Galets, sur des pentes où à la base des escarpements. Ils sont généralement constitués par un mélange hétérogène d'éléments fins et d'éléments grossiers de taille décimétrique à métrique. La pente des talus varie de 40 à 45°. Ce sont des dépôts de faible volume pour lesquels le mode de mise en place est principalement gravitaire. Leur épaisseur est très variable, allant de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. Le dépôt d'une coulée de débris significative est identifié sur le secteur d'étude au niveau de la rive gauche de la Rivière des Galets (à l'amont de la RN1).
- *Des brèches d'avalanche de débris de Saint-Gilles (Br)* : ces brèches volcaniques que l'on retrouve au niveau du Cap La Houssaye (Cap Champagne) notamment sont issus d'évènements cataclysmiques sous forme d'avalanches de débris ayant dévalé les pentes du Piton des Neiges il y a plus de 300 000 ans. Leur mise en place s'est faite en plusieurs étapes. Localement, il est possible d'observer le contact entre ces ensembles d'épaisseur pluridécamétrique et d'extension hectométrique. Une brèche volcanique est une roche constituée pour 50 % au moins d'éléments anguleux (fragments de lave basaltique) de diamètre supérieur à 2 mm et pouvant atteindre plusieurs mètres, pris dans un ciment de cendres et de lapillis.

Les produits de l'altération ou les formations remaniées :

- *des colluvions*. Il s'agit de formes d'accumulation avec une matrice argilisée et comportant des blocs basaltiques généralement de taille réduite, issue d'anciens glissement (ponctuel ou en masse).
- *des altérites*. L'ensemble des séries volcaniques présente une altération météorique poussée (action des eaux en milieu tropical), qui a affecté la texture et la structure du matériel originel. L'altération qui se développe depuis la surface est plus ou moins développée (avec de fortes variations spatiales) mais peut descendre à plusieurs mètres de profondeur. Les coulées de lave et les matériaux pyroclastiques (scories, cendres) les plus anciens qui ont subi plusieurs cycles d'altération sont, de ce fait, plus altérés et des sols se sont développés à partir de ces formations géologiques.

Les sols

L'ensemble des séries volcaniques présente une altération météorique poussée (action des eaux en milieu tropical), qui a affecté la texture et la structure du matériel originel. L'altération qui se développe depuis la surface descend à plusieurs mètres de profondeur. Les coulées de lave et les matériaux pyroclastiques (scories, cendres) les plus anciens qui ont subi plusieurs cycles d'altération sont, de ce fait, plus altérés et des sols se sont développés à partir de ces formations géologiques.

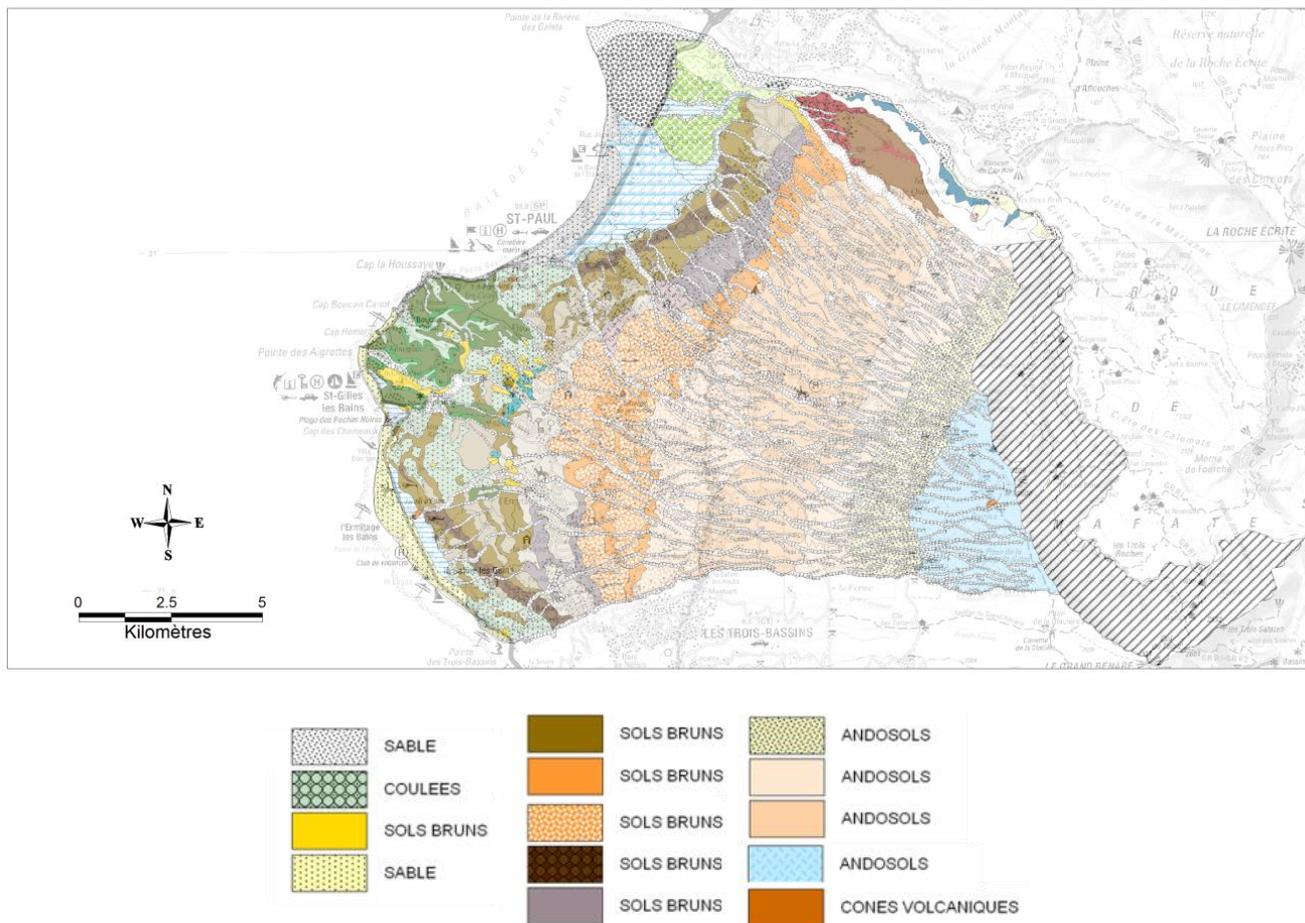


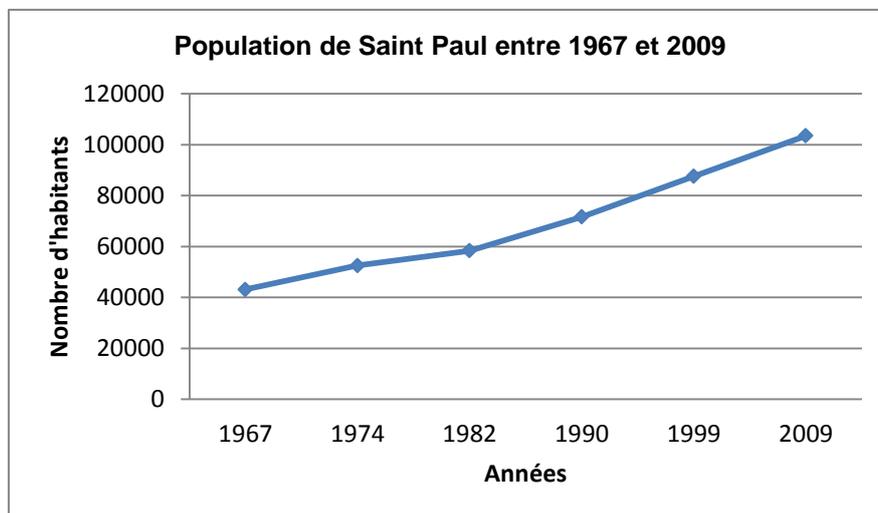
Figure 10 : Carte morpho-pédologique à l'échelle du 1/50 000 (source : C.I.R.A.D. (Raunet, 1991), fond : ©IGN Scan100® - 2010)

D'après la Figure 10, quatre grands ensembles se distinguent sur le territoire communal de Saint-Paul :

- en zone littorale, au niveau des cônes de déjection des ravines et en bordure des cours d'eau, on trouve des sables et des galets reposant sur des coulées ;
- du Cap la Houssaye à la pointe des Aigrettes, des sols bruns peu épais et caillouteux, jusqu'à 200 m d'altitude ;
- Entre 200 et 600 m d'altitude, une bande de sols bruns ferrugineux, caillouteux scindée en deux au niveau du lieu-dit le Bernica par des sols bruns épais sur cendres ;
- des andosols désaturés ou vitriques, généralement très caillouteux, dont l'épaisseur est relativement faible, entre 750 et 2250 m d'altitude ;

3.2. ENJEUX ET VULNERABILITE

Évaluée à 43 129 personnes en 1967, la population de Saint-Paul a connu depuis une régulière augmentation, s'établissant selon l'estimation de l'I.N.S.E.E. à environ 103 498 en 2009 (soit un accroissement démographique de près de 140% en près de 40 ans).



	1967	1974	1982	1990	1999	2009	2012
Population	43 129	52 554	58 412	71 669	87 629	103 498	106 193
Densité moyenne (hab/km ²)	178,8	217,8	242,1	297	363,2	429	440

Tableau 6 : Evolution de la population de Saint-Paul (source : ©I.N.S.E.E.)

La densité démographique lors du recensement de 2009 était de 429 hab. /km² (contre 326,1 hab. /km² sur l'ensemble de l'île de La Réunion). Lors des dernières évaluations de 2012, la densité aurait encore progressée pour atteindre 440 hab. /km².

La commune de Saint-Paul se divise en plusieurs secteurs :

- Deux secteurs urbains se développant en bordure de la R.N. 1, le long du littoral :
 - centre-ville de Saint-Paul ;
 - de « Boucan Canot » au « lotissement de Bellevue » (Pointe de Trois bassins)
- les écarts habités, plus ou moins urbanisés, correspondant en particulier (liste non exhaustive) :
 - au secteur de « La Plaine - Bois de Nèfles » ;
 - au secteur de « le Guillaume » ;
 - au secteur de « Saint Gilles les Hauts » ;
 - au secteur de la « L'Ermitage » ;

- au secteur de « la Saline ».

Le parc de logement s'établissait en 2009 à 38 331 unités (constitué à 90% de résidences principales), soit une augmentation de 86% depuis le recensement de 1990, illustrant ainsi une forte pression foncière existant sur la commune de Saint-Paul.

Outre le bâti, les principaux enjeux qui ont été répertoriés et cartographiés dans l'étude 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 (R.N.1, D.101, D.100, D.5, D.6, D.3, D.10) ;
- le réseau d'Adduction d'Eau Potable (captages, stations de traitement) ;
- les établissements d'enseignement (écoles, collèges, lycées) ;
- les bâtiments administratifs (mairie principale et mairies annexes) ;
- les autres établissements recevant du public (crèche, bibliothèque, équipements sportifs) ;
- les zones agricoles et naturelles.

Outre l'occupation du sol par l'activité agricole qui représente un enjeu économique, le milieu physique naturel représente un enjeu environnemental à travers :

- le Parc National de la Réunion ;
- les espaces remarquables du littoral.

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

Nb : Ces chiffres sont valables pour l'ensemble de la commune. La zone attribuée à Mafate étant peu, voire très peu peuplée, les chiffres, ainsi que les ordres de grandeurs ne seront pas modifiés.

4. Historicité et caractérisation des phénomènes naturels

4.1. PHENOMENES HISTORIQUES

L'ensemble des évènements recensés ayant affecté par le passé le territoire communal de Saint-Paul est reporté en annexe 2 (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 : revue de presse de la DDE : « Saint-Paul dans la tourmente »), des articles de journaux 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 évènements les plus marquants sont donnés ci-après :

Date	Description	Source
1844	Quartier St-Paul a été en partie submergé par 50cm à 1m d'eau sur la chaussée suite au débordement de la ravine Bernica.	<i>Rapport à M. Le Gouverneur sur le coup de vent de décembre 1844, 7 janvier 1845</i>
1901	Juin : Chute de 80 m d'un bloc rocheux sur le littoral de Saint-Paul	
1912	Eboulement de 30 m ³ au Cap Champagne	<i>Note BRGM –Compte-rendu du 28 Mai 2001</i>
1948	Multiples chutes de blocs suite au cyclone du 26/01/1948	<i>Note BRGM –Compte-rendu du 28 Mai 2001</i>
	Inondation dans les Hauts qui a noyé animaux et habitants. 40 personnes sont décédées. Le niveau d'eau a atteint 4m devant le bâtiment logent la Justice de Paix	<i>Le Progrès, 3 février 1948</i>
1980	Inondation de la Saline-les-Bains (RN1, rue Antoine Vollard, rue des Mouettes, etc) et de l'Ermitage-les-Bains	<i>SOGREAH – étude préalable au PPRi – Octobre 2010</i>
1993	Route inondée entre l'ermitage et la saline avec une hauteur d'eau entre 50 cm et 1 m d'eau.	<i>Le Quotidien, 21 janvier 1993</i>
1993	Cyclone Colina, 2.70m d'eau mesurée au niveau du pont de la chaussée Royale.	
2001	Eboulement de 400 m ³ au Cap Champagne RN1A – PR32+500 en mai 2001	<i>Note BRGM –Compte-rendu du 28 Mai 2001</i>
2002	Cyclone Dina : Plus de 70 mouvements de terrain recensés par le BRGM sur le territoire communal - Nombreux secteurs inondés suite au passage du cyclone Dina avec des hauteurs d'eau atteignant localement 0,80 m à 1 m dans le secteur du Tour des Roches ou de la Saline, L'Hermitage notamment - Glissement de terrain de 200 m ³ au lieu-dit du « Bac rouge ». - 3.02m mesurée au niveau du pont de la Chaussée Royale.	<i>Rapport BRGM/RP-51567-FR ; Décembre 2002</i>
2005	Inondation dans le secteur de Boucan Canot et Grand Fond suites	

	à de fortes pluies (2 mars 2005)	
2012	Chute de bloc d'un volume global de l'ordre de 0,5 m ³ de matériaux rocheux s'est produite et a atteint la chaussée de la RD6 au PR1+150	<u>Rapport BRGM/RP-61021-FR ; Mars 2012</u>
2013	Eboulement d'environ 40 m ³ au Cap Champagne sur la RN1A	<u>Rapport BRGM/RP-61918-FR ; janvier 2013</u>
2014	Glissement superficiel d'environ 30 à 40m ³ , sous le chemin Lebel, avec une maison d'habitation impacté en contre bas	<u>Rapport BRGM/RP-63231-FR ; janvier 2014</u>
2014	Eboulement d'environ 100 m ³ au Cap Champagne sur la RN1A suite au passage du cyclone Béchisa.	<u>Rapport BRGM/RP-63142-FR ; janvier 2014</u>

Tableau 7 : Principaux phénomènes historiques archivés survenus sur le territoire de Saint-Paul

4.2. ARRETES DE CATASTROPHES NATURELS

Depuis 1993, 11 arrêtés de catastrophes naturelles ont été recensés sur la commune. Le tableau ci-après en présente la liste :

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Inondations, coulées de boue, glissements et chocs mécaniques liés à l'action des vagues	18/01/1993	20/01/1993	18/05/1993	12/06/1993
Inondations et coulées de boue	15/02/1993	17/02/1993	14/06/1993	27/06/1993
Inondations et coulées de boue	10/02/1994	12/02/1994	12/04/1994	23/04/1994
Inondations et coulées de boue	22/01/2002	23/01/2002	05/02/2002	08/02/2002
Inondations par remontées de nappe phréatique	22/01/2002	23/01/2002	05/02/2002	08/02/2002
Mouvements de terrain	22/01/2002	23/01/2002	08/04/2002	18/04/2002
Vents cyclonique	22/01/2002	23/01/2002	05/02/2002	08/02/2002
Inondations et coulées de boue	02/03/2005	02/03/2005	23/09/2005	08/10/2005
Inondations et coulées de boue	17/02/2006	18/02/2006	10/11/2006	23/11/2006
Inondations et coulées de boue	04/03/2006	06/03/2006	10/11/2006	23/11/2006
Inondations et chocs mécaniques liés à l'action des vagues	24/02/2007	28/02/2007	23/03/2007	28/03/2007
Inondations et coulées de boue	24/02/2007	26/02/2007	23/03/2007	28/03/2007
Chocs mécaniques liés à l'action des vagues	12/05/2007	13/05/2007	31/03/2008	04/04/2008
Inondations et chocs mécaniques liés à l'action des vagues	06/02/2009	08/02/2009	25/06/2009	01/07/2009
Inondations et coulées de boue	04/02/2010	04/02/2010	10/05/2010	13/05/2010
Inondations et coulées de boue	29/01/2011	30/01/2011	30/03/2011	06/04/2011
Inondations et chocs mécaniques liés à l'action des vagues	02/01/2014	03/01/2014	13/05/2014	18/05/2014
Inondations et coulées de boue	02/01/2014	03/01/2014	13/05/2014	18/05/2014

Tableau 8 : Liste des arrêtés de catastrophes naturelle sur la commune de Saint-Paul (source : www.prim.net - Portail de la Prévention des Risques majeurs du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie. - mise à jour 30/06/2014)

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

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

Tableau 9 : Liste des cyclones notables selon Météo-France

Cette liste peut être complétée par le cyclone Bėjisa de janvier 2014 dont le mur de l'œil est passé à une dizaine de kilomètres de la pointe des Trois-Bassins avec des vents maxi instantanés enregistrés à 178 km/h au gîte de Bellecombe.

4.3. CARACTERISATION DES PHENOMENES MOUVEMENTS DE TERRAIN

D'une manière générale, un mouvement 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,...).

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 Saint-Paul sont :

- les chutes de pierres ou de blocs, et les éboulements ;
- les glissements de terrain et coulées de boue associées ;
- les érosions de berge ;

- le ravinement, l'érosion des sols

4.3.1. Chutes de pierres, de blocs et 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 :

- **les chutes de pierres** (volume inférieur à 1 dm³) **ou de blocs** : le volume mobilisé lors d'un épisode donné est limité à quelques dizaines de m³ ;
- **les éboulements en masse** : le volume total en jeu atteint jusqu'à 10 000 m³ ;
- **les écroulements ou éboulements en grande masse** : le volume total mobilisé est supérieur à 10 000 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.

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 grain fin (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, 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).

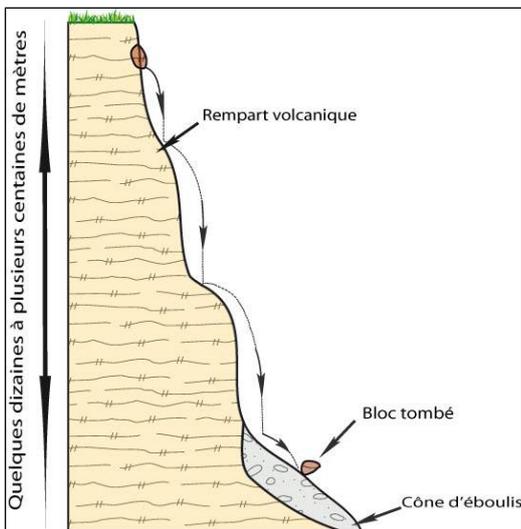


Figure 11 : Chute d'un bloc isolé

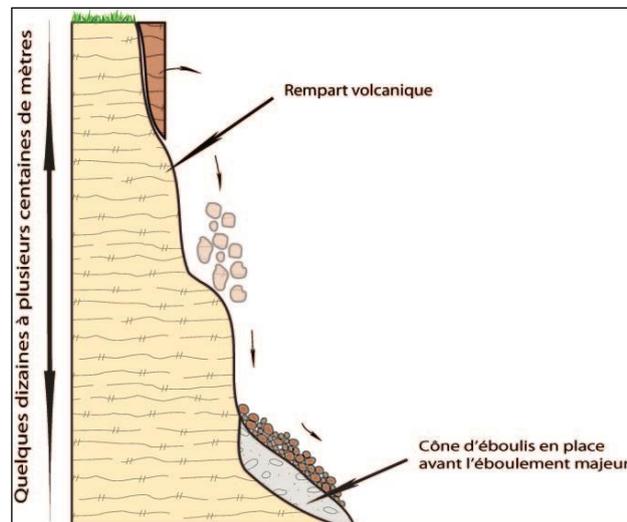


Figure 12 : Eboulement

Exemples de manifestations rencontrées :

- Démantèlement des falaises, remparts et versants de ravines encaissées

Au niveau de la RN1, P.R 32 + 500, Cap Champagne, un éboulement de 400 m³ s'est produit suite aux fortes pluies du 22 mai 2001. Ce secteur a été fréquemment impacté par des chutes de blocs comme en témoigne l'histoire des événements.



Figure 13 : Eboulement RN1, P.R 32 + 500, Cap Champagne 2001, ©BRGM

L'activité chutes de blocs et éboulements dans ces parties du territoire communal est directement tributaire des contextes lithologique et structural (ainsi qu'hydrogéologique). Les remparts ainsi que les falaises littorales sont le plus souvent constitués d'un empilement de coulées de laves plus

ou moins épaisses et fracturées, 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). Certaines falaises du secteur d'étude, comme celle du Cap Champagne, sont constituées de brèches volcaniques particulièrement sensibles aux phénomènes érosifs et aux ruptures de ce type en paroi.

4.3.2. Glissements de terrain et coulées de boue 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 (en particulier sur une surface plane liée à une discontinuité) ils peuvent s'accélérer (ou se déclencher) brutalement. 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.

La forme sphérique de la zone de départ donne une morphologie en loupe d'arrachement qui s'observe facilement (tout du moins tant que la végétation n'a pas repris une densité trop importante) dans le paysage. En revanche, la zone renflée en pied de glissement, correspondant à la nouvelle position des matériaux, s'observe moins facilement, entre autre à cause de la facilité avec laquelle les glissements évoluent en coulée de boue ou en avalanche de débris. Le déplacement rotationnel des terrains sur la surface sphérique de glissement provoque une rotation du bloc déplacé.

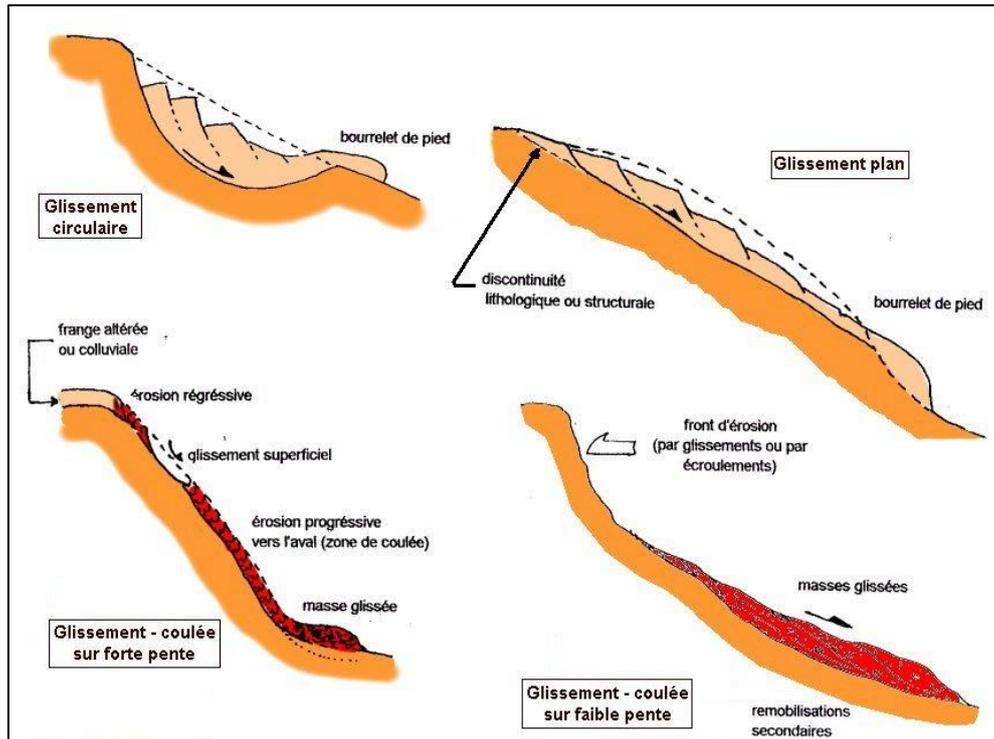


Figure 14 : Représentations schématiques des principaux types de glissement (source : ©BRGM, <http://www.georisques.gouv.fr/>)

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 morceaux de terrains d'un volume important.

Les principaux paramètres intervenant dans le mécanisme de glissement sont :

- **l'eau**, qui représente dans la grande majorité des phénomènes de glissement un élément moteur prépondérant. 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.

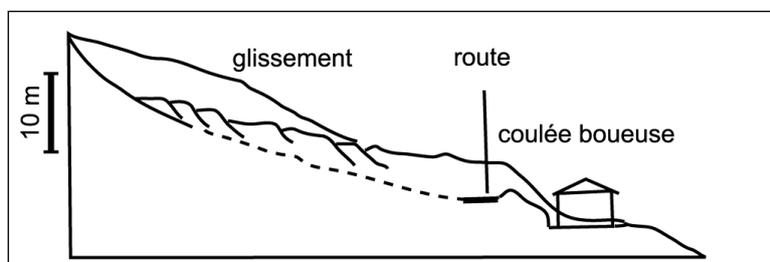


Figure 15 : Représentation schématique du glissement-coulée (exemple de Montauban, 1993)

Exemples de manifestations rencontrées :

- **Glissements de talus ou dans les zones de ressauts des planèzes**

Des zones du territoire communal peuvent être touchées par des glissements de terrain d'ampleur variable, favorisés très souvent par un contexte géomorphologique défavorable (pentes plus ou moins marquées, terrains de couverture meubles - colluvions, altérites évoluées - sur une épaisseur variable) et aggravé par les aménagements humains (décaissements routiers ou pour l'habitat). Le glissement de terrain qui s'est produit sur la RD3 (lieu-dit Posé) suite aux fortes pluies de janvier 2007 illustre ce phénomène.



Figure 16 : Glissement de talus sur la RD3 - Janvier 2007 (source : www.georisques.gouv.fr)

- **Glissements-coulées**

Quelques coulées ont été répertoriées dans la BdMvt. Une coulée a été relevée à l'exutoire de la Rivière des Galets en 1904 (aucun dommage relevé), l'autre au-dessus de l'étang de Saint-Paul.

- **Glissements à partir des versants encaissés des ravines**

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. Sur le territoire de la commune de Saint-Paul, les conditions pour que de tels phénomènes surviennent (précipitations abondantes, pentes généralement fortes, terrains meubles, éboulis stockés sur les pentes) peuvent être réunies.

Etant donné le caractère soudain et énergétique du phénomène, les effets des laves torrentielles sont potentiellement très destructeurs et meurtriers.

4.3.3. Érosion et ravinement (E)

Deux types principaux 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.

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.

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 Saint-Paul :

- 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 :

- **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.).

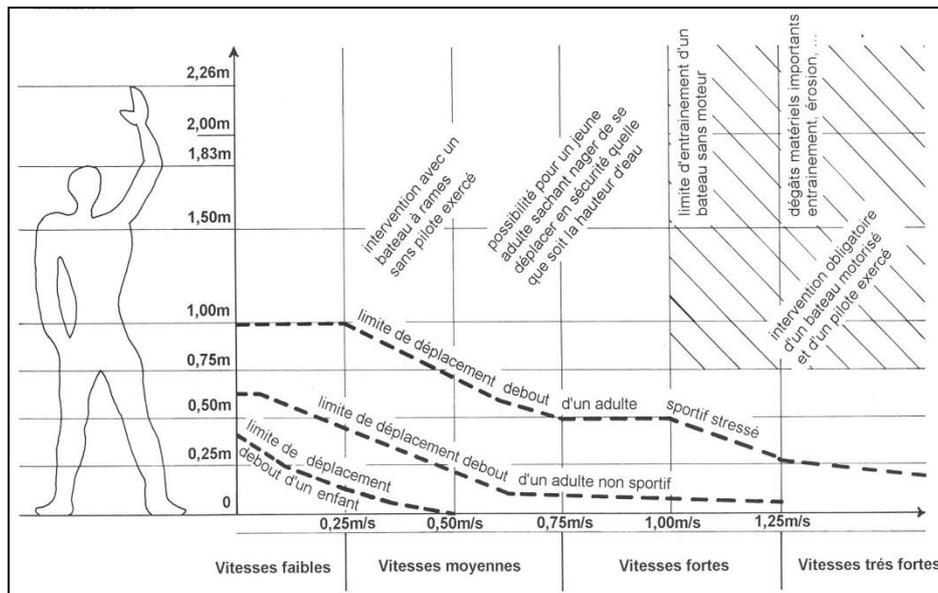


Figure 17 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction des caractéristiques d'écoulement (source : Guide PPRi ruissellement péri-urbain M.E.D.D.E.)

Exemples de manifestations rencontrées :

Figure 18 : Ravine de Bernica à Tan Rouge - 12 mars 2007 (Harry- ©Photo Office de l'Eau)



Figure 19 : Inondation du parking du magasin Cora à Savannah – 22 janvier 2002 (Dina- ©Photo Sogreah)



Figure 20 : Ravine Bernica en Mars 2015 - Tempete Tropicale Haliba



Figure 21 : La Saline les bains sous 50cm d'eau après le passage de la tempete Haliba en mars 2015 – (Source Ipreunion, Stephane Peyriguer)

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., 2008¹), 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 mouvement 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.

5.1.1. Notion d'intensité et de fréquence

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.

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.

¹ 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.

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 le degré d'aléa et la nature des phénomènes naturels intéressant la zone.

De nombreuses zones, dans lesquelles aucun phénomène actif n'a été décelé, sont cependant décrites comme étant exposées à un aléa de mouvement 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 à modéré qui traduisent la décroissance de l'intensité et/ou de la probabilité du phénomène avec l'éloignement. Cette gradation est théorique et elle n'est pas toujours représentée notamment du fait des contraintes d'échelle et de dessin.

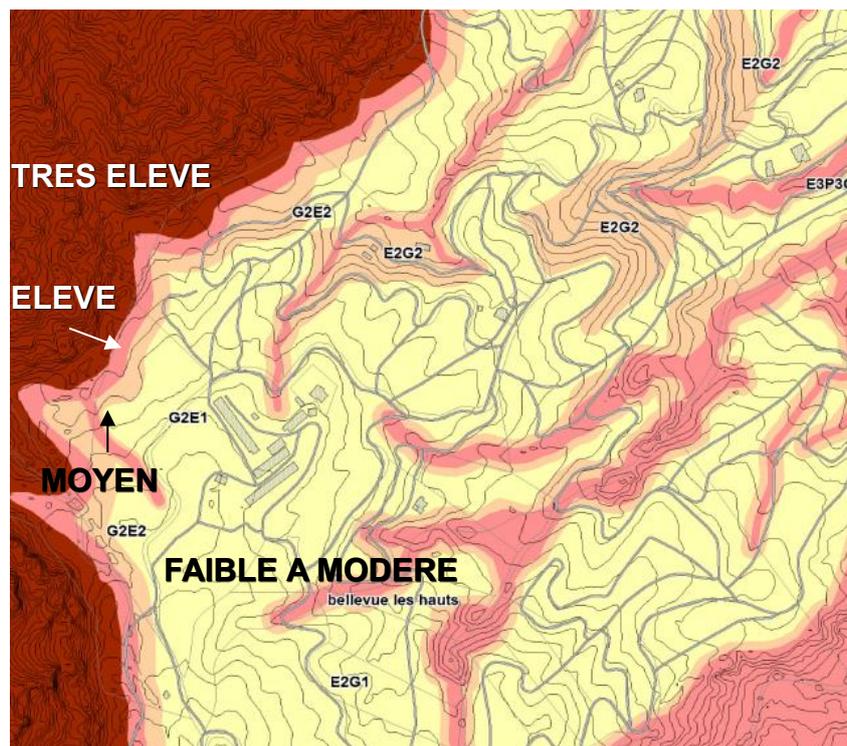


Figure 22 : Exemple de représentation de la notion de continuité du niveau d'aléa mouvements de terrain

5.2. ALEA INONDATION

5.2.1. Méthode d'évaluation de révision 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.**

La cartographie de l'aléa inondation du présent projet de PPR reprend le zonage du PPRI approuvé par l'arrêté préfectoral n°2001 du 14 décembre 2011 et établi par SOGREAH (ARTELIA désormais). L'aléa inondation cartographié dans le PPR inondation approuvé le 19 décembre 2003 au niveau de la partie aval de la Rivière des Galets a également été intégré au présent projet de PPR.

La méthodologie de travail pour préciser la carte d'aléa inondation s'appuie sur une démarche « à dire d'experts », sans recours à des modélisations systématiques. La démarche de révision de ce zonage s'est effectuée en intégrant :

- **la connaissance nouvelle** sur les inondations sur le territoire, et plus particulièrement au droit des secteurs à enjeux de la commune, depuis la réalisation de la carte d'aléa du PPRI de décembre 2011, où des visites ponctuelles ont été réalisées afin de préciser le zonage. Les études hydrauliques récentes réalisées depuis l'approbation du PPRI ont été également analysées et constituent une source d'informations nouvelles. Les résultats pertinents ont été intégrés. Il s'agit notamment des principales études suivantes :
 - o Etude de danger de la Rivière des Galets (ARTELIA et GETEC – Septembre 2012). Les résultats de cette étude n'ont pas été intégrés au projet de zonage de l'aléa inondation du fait du nombre réduit des scénarios étudiés à l'échelle de l'endiguement de la Rivière des Galets, ne permettant pas d'avoir une connaissance exhaustive de l'aléa inondation résiduel en cas de rupture de digue en divers points de l'ouvrage ;
 - o Etude de danger de la route digue (SAFEGE – Septembre 2013). Les scénarios de rupture de la digue étudiés n'engendrent pas d'inondation suivant une intensité plus importante que celle déjà cartographiée dans le secteur du centre-ville de Saint-Paul. Les résultats n'ont donc pas été intégrés au zonage de l'aléa inondation ;
 - o Modélisation hydraulique du secteur Saline l'Hermitage (ARTELIA n°4701597V3 de septembre 2014), fourni en annexe du présent projet de PPR). Il s'agit d'une reprise du modèle hydraulique réalisé dans le cadre de l'élaboration du zonage de l'aléa inondation pour le PPRI approuvé en 2011, qui avait été élaboré dans ce secteur à forts enjeux afin de préciser la connaissance et de définir les côtes de références des différentes zones du secteur. Du fait d'un maillage trop lâche et de la disponibilité de données topographiques dorénavant plus précises (**Litto3D®**, 2012, développé par l'IGN© et SHOM©), la DEAL a sollicité ARTELIA afin de reprendre le modèle hydraulique du secteur. Les résultats de cette étude ont permis de préciser l'aléa inondation dans ce secteur fortement urbanisé et ont été intégrés au projet de PPR.
- **une mise en cohérence avec la cartographie de l'aléa mouvements de terrain ;**
- la mise à jour de la cartographie de l'aléa avec l'utilisation de nouveaux outils topographiques plus 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 2km 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. Dans ce cadre les « bandeaux » d'aléa inondation des principaux cours d'eau du territoire ont été repris et précisés afin de tenir compte du seul champ d'inondation dans le zonage de l'aléa inondation. La méthodologie d'élaboration des cartes d'aléa inondation ayant abouti au PPRi des années 2000 à 2011 intégrait l'aléa érosion de berges, qui est aujourd'hui dissocié de l'aléa inondation et intégré dans le zonage des aléas mouvements de terrain.

Les récentes données de l'IGN (Bd Topo 2012 et les orthophotos de 2011) 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 1/25 000 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 10) ;
- à l'échelle 1/10 000 sur les Hauts de Saint-Paul (planche 11 et 12).

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) :

		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

Tableau 10 : Caractérisation de l'aléa inondation pour la crue centennale en fonction des vitesses et des hauteurs d'eau

• 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.

5.3. ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN

5.3.1. Méthode d'évaluation de l'aléa

L'élaboration de la cartographie de l'aléa mouvements de terrain a débuté en 2010. 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.

L'aléa mouvements de terrain a fait l'objet d'un « porter à connaissance » le 15 novembre 2012 puis le 17 février 2014, préalablement à l'arrêté de prescription d'un projet de **Plan de Prévention des Risques (PPR)** multi-aléas (mouvements de terrain et inondation) sur la commune de Saint-Paul (arrêté préfectoral n°2015-390/SG/DRCTCV en date du 10 mars 2015).

La cartographie est élaborée à partir d'une approche « à dire d'experts », sans recours à des modélisations et/ou sondages systématiques, en intégrant les outils méthodologiques suivants :

- La prise en compte des **phénomènes historiques** survenus sur le territoire communal ;
- 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 2010 et 2015 ;
- les résultats d'investigations ponctuelles dans le cadre **d'examen d'études géotechniques avec demande de modification de zonage pour des projets d'aménagements**. Une précision du zonage, par le biais d'analyse critique des études, de visites de terrain et d'analyse des données SIG, au droit de ces différents secteurs à enjeux, a été réalisée et fait l'objet de plusieurs rapports du BRGM, dont notamment :
 - mai 2009 : rapport BRGM/SGR/REU 2009-46 : examen du zonage des aléas mouvements de terrain sur le secteur de La Barrière ;
 - mars 2010 : rapport BRGM/RP-58233-FR : expertise des risques mouvements de terrain sur la ZAC de Sans Souci ;
 - août 2012 : rapport BRGM RP-61449-FR : vérification et précision du zonage le cas échéant de l'aléa MVT au droit de 47 secteurs identifiés par la commune ;
 - avril 2013 : rapport BRGM RP-62265-FR : examen de demande de modification de zonage pour le projet RHI Sans Souci ;
 - août 2013 : rapport BRGM RP-62389-FR portant sur l'analyse de demande complémentaire des services de la mairie de Saint-Paul pour précision des aléas MVT et proposition de transcription réglementaire envisageable au droit de 58 secteurs à enjeux communaux et 3 secteurs complémentaires (demandes de particuliers) ;
 - avril 2014 : transmission du rapport BRGM RP-63460-FR en réponse à la mairie pour 7 secteurs classés en zone Arh au PLU de la commune : vérification et précision le cas échéant de l'aléa MVT ;
 - mai 2015 : analyse de 6 études ponctuelles menées par des particuliers ou aménageurs afin de préciser le zonage des aléas Inondations et MVT et la transcription réglementaire de ces aléas (rapport BRGM RP-64838-FR de mai 2015) ;
- 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 2012 et les orthophotos de 2011) font également partie des données fréquemment utilisées dans la démarche de précision de la cartographie.

La cartographie mouvements de terrain est présentée sur fonds topographiques :

- à l'échelle 1/25 000 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 10) ;
- à l'échelle 1/10 000 sur les Hauts de Saint-Paul (planche 11 et 12).

On attirera l'attention sur le fait que les cartes d'aléas mouvements de terrains (et de la même façon les cartes d'aléa inondations), qu'elles que soient leur échelle, ne constituent que **des documents informatifs**, et n'ont **aucune valeur réglementaire** (contrairement au zonage réglementaire qui en découle). On soulignera par ailleurs que les fonds topographiques utilisés (y compris à l'échelle du 1/5 000) restent insuffisants pour décliner le zonage des aléas mouvements de terrain à l'échelle de la parcelle.

5.3.2. Facteurs de prédisposition et facteurs non permanents

Afin de mieux cerner les mouvements de terrain, il est nécessaire de déterminer dans quels contextes ils peuvent se manifester. Pour cela, des facteurs de prédisposition (permanents) et des facteurs non permanents (aggravants ou non) ont été différenciés :

- **facteurs de prédisposition**
 - géologie : nature, altération, fracturation, épaisseur des faciès ;
 - morphologie : pentes, encaissement.
- **facteurs non permanents**
 - 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 ...

La définition et l'affinage des critères de prédisposition font appel à l'expérience du BRGM, sur les phénomènes naturels à La Réunion, ainsi qu'à un inventaire des phénomènes à risque sur la commune et à proximité immédiate (recherche historique en mairie, enquête auprès des habitants, etc.). On peut identifier trois principales catégories de terrain, pour lesquelles la nature des phénomènes à risques associés et les critères d'évaluation d'aléas varient sensiblement :

Type de terrain	Phénomène naturel associé	Exemple
Roche	Chute de blocs / Eboulements	Basalte, trachyte, lahars ...
Roche altérée et terrains meubles indurés	Chute de blocs / Eboulements à Glissement de terrain Erosion	Tufs, altérites peu évoluées, alluvions indurées ...

Terrain meuble, médiocre	Glissement de terrain Coulée de boue / lave torrentielle Erosion	Remblais, alluvions, colluvions, éboulis, altérites évoluées, formation de plage ...
--------------------------	--	--

Tableau 11 : Type de phénomène rencontrés en fonction des catégories de terrain

Il est toutefois possible de procéder à des sous-classes de formations géologiques en fonction des besoins.

5.3.3. Méthodologie d'évaluation de l'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 : plus les terrains seront indurés (roche, etc.) et moins ils seront instables vis-à-vis de la pente, et inversement.

Peuvent s'ajouter au facteur de base des facteurs locaux, variables, qui vont soit augmenter soit diminuer l'exposition d'une zone face à un phénomène mouvement de terrain. Par exemple, la présence d'eau, la présence d'indices d'instabilité ou 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 mouvement 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.

L'intensité d'un phénomène naturel à risque est donc représentée par un chiffre, comme suit :

Niveau d'intensité	Chiffre
Nul à très faible	0
Faible	1
Moyen	2
Fort	3
Majeur	4

Tableau 12 : Intensité du phénomène

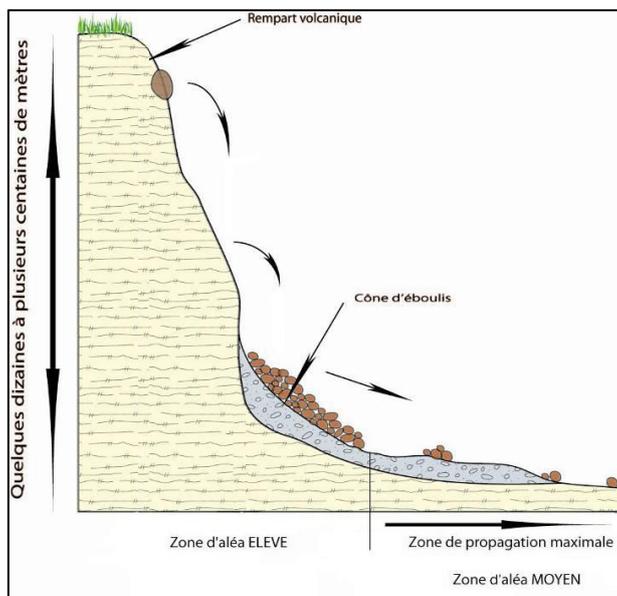


Figure 23 : Principe de décroissance de l'intensité du phénomène chute de blocs avec l'éloignement de la source de départ

Le niveau d'intensité ne doit pas être confondu avec le niveau d'aléa, ce dernier résultant essentiellement du croisement de l'intensité de divers phénomènes à risque sur une même zone.

De façon pratique, il convient de retenir que le zonage d'intensité distingue des secteurs homogènes où le niveau d'exposition a été considéré constant. Dans chaque zone homogène, on retrouve un contexte géomorphologique similaire à celui existant au droit d'une zone ayant été affecté par l'évènement de référence connu ou prévisible. 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).

La nature et l'intensité des phénomènes à risque sont reportés sur les cartes d'aléas par une lettre (nature) suivie d'un chiffre (niveau d'intensité).

Phénomène	Intensité du phénomène	Symbole
Chute de pierres, de blocs et éboulements	Faible	P1
	Moyen	P2
	Fort	P3
	Majeur	P4
Glissements de terrain	Faible	G1
	Moyen	G2
	Fort	G3
	Majeur	G4
Erosion (érosion de berges, ravinement)	Faible	E1
	Moyen	E2
	Fort	E3
	Majeur	E4

Tableau 13 : Codification des aléas mouvements de terrain selon l'intensité

5.3.4. Qualification de l'aléa mouvements de terrain

Comme pour l'évaluation de l'intensité, la méthode consiste en une démarche naturaliste de type expertise. En combinant à cette approche naturaliste un historique des phénomènes naturels dans la zone et l'expérience du bureau d'études, il est possible de définir une série de contextes, auxquels seront rattachés des critères physiques afin de définir un niveau d'aléa en accord avec l'évènement de référence prévisible sur la zone considérée.

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 à modéré** : 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 ». 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.

Pour évaluer l'aléa, il est nécessaire d'intégrer l'ensemble des phénomènes naturels mouvement de terrain sur la zone considérée ; le phénomène le plus intense conditionnant le niveau d'aléa sauf pour l'aléa faible (cf. Tableau 14).

Intensité du phénomène	Niveau d'aléa	Exemple de types de zones	Echelle à laquelle l'aléa peut être traité
si un phénomène d'intensité 1 et/ou un phénomène d'intensité 2	Faible à modéré	P1, G1, P1G1, P2, G2, G2P1, P2G1	Echelle de la parcelle individuelle
si plus d'un phénomène d'intensité 2	Moyen	P2G2, E2G2, E2P2	Echelle du versant ou du regroupement de propriétaires
si au moins un phénomène d'intensité 3	Elevé	P3, E3, G3 et toute combinaison comprenant un de ceux-ci	Parades techniques difficiles ou coûteuses
si au moins un phénomène d'intensité 4	Très élevé	P4, E4, G4 et toute combinaison comprenant un de ceux-ci	Pas de parade technique (financièrement envisageable pour des projets « classiques »)

Tableau 14 : Caractérisation du niveau d'aléa mouvements de terrain en fonction de l'intensité du phénomène

5.4. PRINCIPES DE TRADUCTION REGLEMENTAIRE

Les principes de traduction réglementaire des aléas sont détaillés dans le règlement du projet de PPR et illustrés par la grille de croisement des aléas présentée au Tableau 15 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 Saint-Paul sont décrites dans le règlement du projet.

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

- Toute zone concernée par un aléa élevé et très élevé mouvements de terrain ainsi que la plupart des zones concernées par un aléa fort inondation sont classées en R1 = zone « rouge » dotée d'un principe d'inconstructibilité ;
- Les zones concernées par un aléa fort inondation et situées dans les centres-villes de Saint-Paul et de Saint-Gilles-les-Bains (zones où une évolution minimale du bâti existant est permise sous conditions, notamment d'évolution vers une diminution des risques auxquels sont exposés les personnes) sont classées en R1B1. Ces zones ont été définies dans le PPR inondation communal (hors Mafate et secteur de la Rivière des Galets – partie aval) approuvé le 14 décembre 2011, en accord avec la circulaire du 24 avril 1996 relative aux espaces urbains anciens, afin de concilier exigences de prévention des risques naturels et nécessité d'assurer la continuité de vie et le renouvellement urbain de centre-ville constitué ;
- 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.

Transcription réglementaire aléa/enjeux			MOUVEMENTS DE TERRAIN						
			Très élevé élevé	Moyen			Faible à modéré	Nul	
				Autres secteurs	Secteurs à enjeux jugés sécurisables				
INONDATION	fort	Autres secteurs	R1	R1	Rg	R1	R1	R1	
		Centre urbain				R1B1			
	moyen		R1	R2		B2u	B2	Bg	B2
	faible		R1	R2		B2u	B3		B3
	nul		R1	R2		B2u			

Tableau 15 : Principe de traduction réglementaire des aléas du projet de PPR de Saint-Paul

5.5. EXEMPLES DE CARTOGRAPHIE AU DROIT DE SECTEURS A ENJEUX

Afin d'illustrer les zonages inondation et mouvements de terrain élaborés, quelques exemples de secteurs à enjeux de la commune sont présentés ci-dessous. Il s'agit des secteurs suivants :

- **Centre-ville de Saint-Paul ;**
- **La Saline – L'Ermitage ;**
- **Zone d'activité de Cambaie - Rivière des Galets ;**
- **Secteur de Sans Souci ;**
- **Projet Hangar à La Plaine.**

Centre-Ville de Saint-Paul

Comme l'indique les rapports d'études préalables menées par Sogreah pour l'élaboration du PPRi sur la commune de Saint-Paul (procédure ayant abouti à l'arrêté d'approbation en décembre 2011), de nombreuses études hydrauliques ont été menées dans ce secteur. Celles-ci visaient à appréhender le fonctionnement hydraulique du complexe hydrographique de l'Etang Saint-Paul, les risques d'inondation associées, ainsi que les interactions avec les infrastructures.

Dans le cadre du PPRi actuellement en vigueur, Sogreah a repris la construction d'un modèle sur ce secteur en intégrant les connaissances du fonctionnement hydraulique de la zone (notamment les relations entre la configuration du cordon littoral à l'exutoire de l'Etang et les niveaux d'eau en crue selon leur période de retour), avec un calage sur l'évènement Dina de 2002 et la prise en compte d'hypothèses jugées défavorables (niveau marin constant calé à 1,50 m NGR par exemple).

Les résultats de ce modèle hydraulique ont été intégrés au PPRi actuellement en vigueur. En l'absence de connaissance nouvelle justifiant une modification des conditions d'écoulement dans ce secteur, le zonage inondation du présent projet de PPR n'a pas été modifié.

Les résultats de la récente étude de danger (Safège, 2013) de la route digue (RN1) n'ont pas été intégrés au zonage de l'aléa inondation du projet de PPR. En effet, Les scénarios de rupture de la digue étudiés n'engendrent pas d'inondation suivant une intensité et une étendue plus importante que celle déjà cartographiée dans le secteur du centre-ville de Saint-Paul.

Concernant l'aléa mouvements de terrain, ce secteur urbanisé ne présente pas de pentes particulières. Un aléa nul a été considéré hormis au droit des axes d'écoulement.

Concernant la traduction réglementaire des aléas, la méthodologie de transcription élaborée et retenue en 2011 pour le secteur du centre-ville a été maintenue au présent projet de PPR, avec une transcription en zone R1B1 pour les terrains classés en aléa fort inondation. Ce classement réglementaire permet une densification de l'habitat en élévation à emprise au sol constante sous réserve d'une incidence hydraulique négligeable. Ce classement induit également l'interdiction de mettre en place un local de sommeil ou un établissement sensible pour les surfaces requalifiées au niveau du sol. Les principes justifiant cette transcription réglementaire s'appuient sur la nécessité de concilier la prévention des risques naturels avec la continuité de vie et le renouvellement urbain, tout en permettant à termes de réduire la vulnérabilité des personnes exposées.

Suite à l'enquête publique, quelques précisions ponctuelles du zonage de l'aléa inondation au droit de quelques requêtes ont été apportées grâce à l'apport de mesures topographiques précises réalisées lors des visites de terrain. D'une manière générale, le zonage réglementaire du secteur du centre-ville a été confirmé suite à l'analyse des demandes de précisions formulées lors de l'enquête publique.

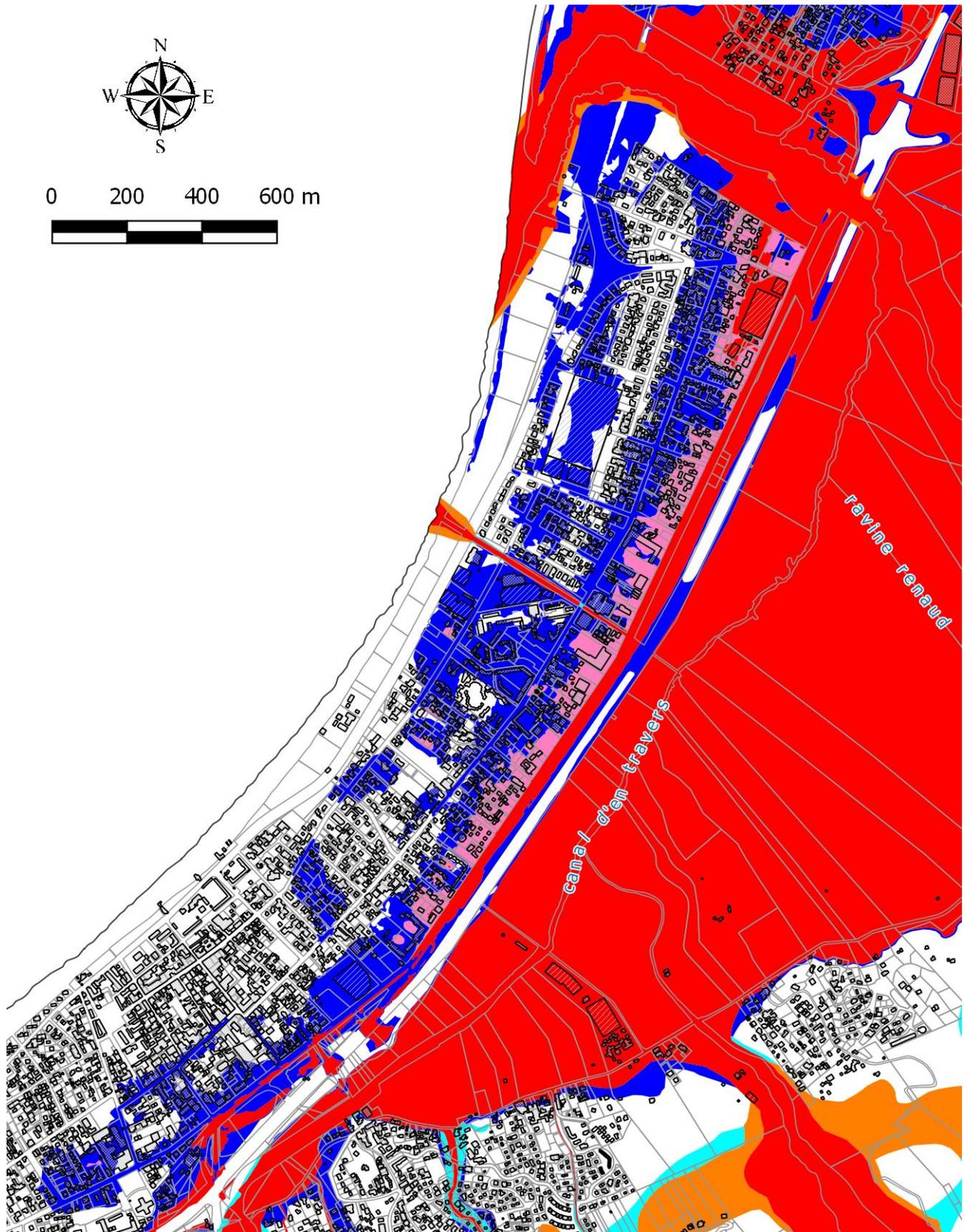


Figure 24 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du centre-ville de Saint-Paul

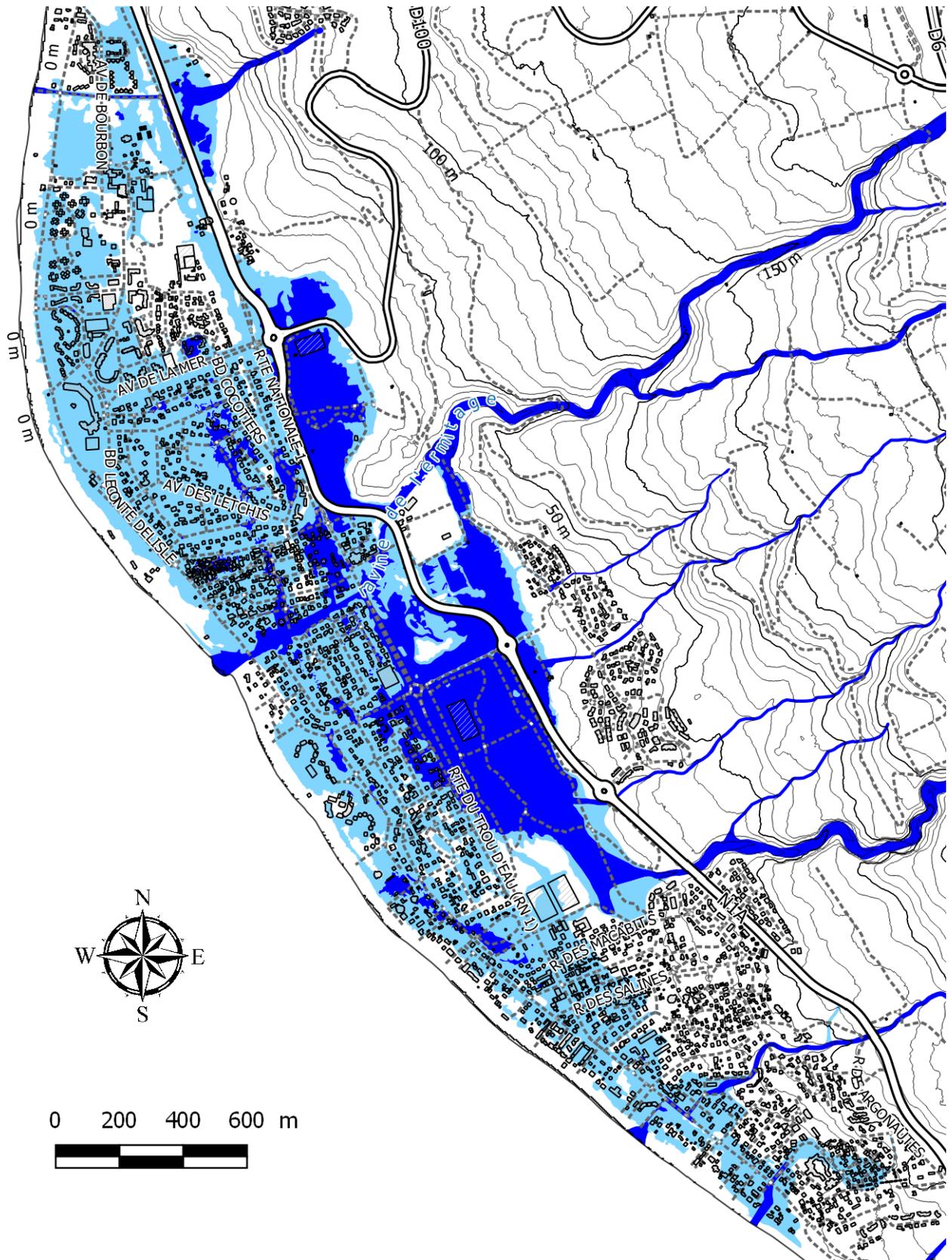
La Saline – L’Ermitage

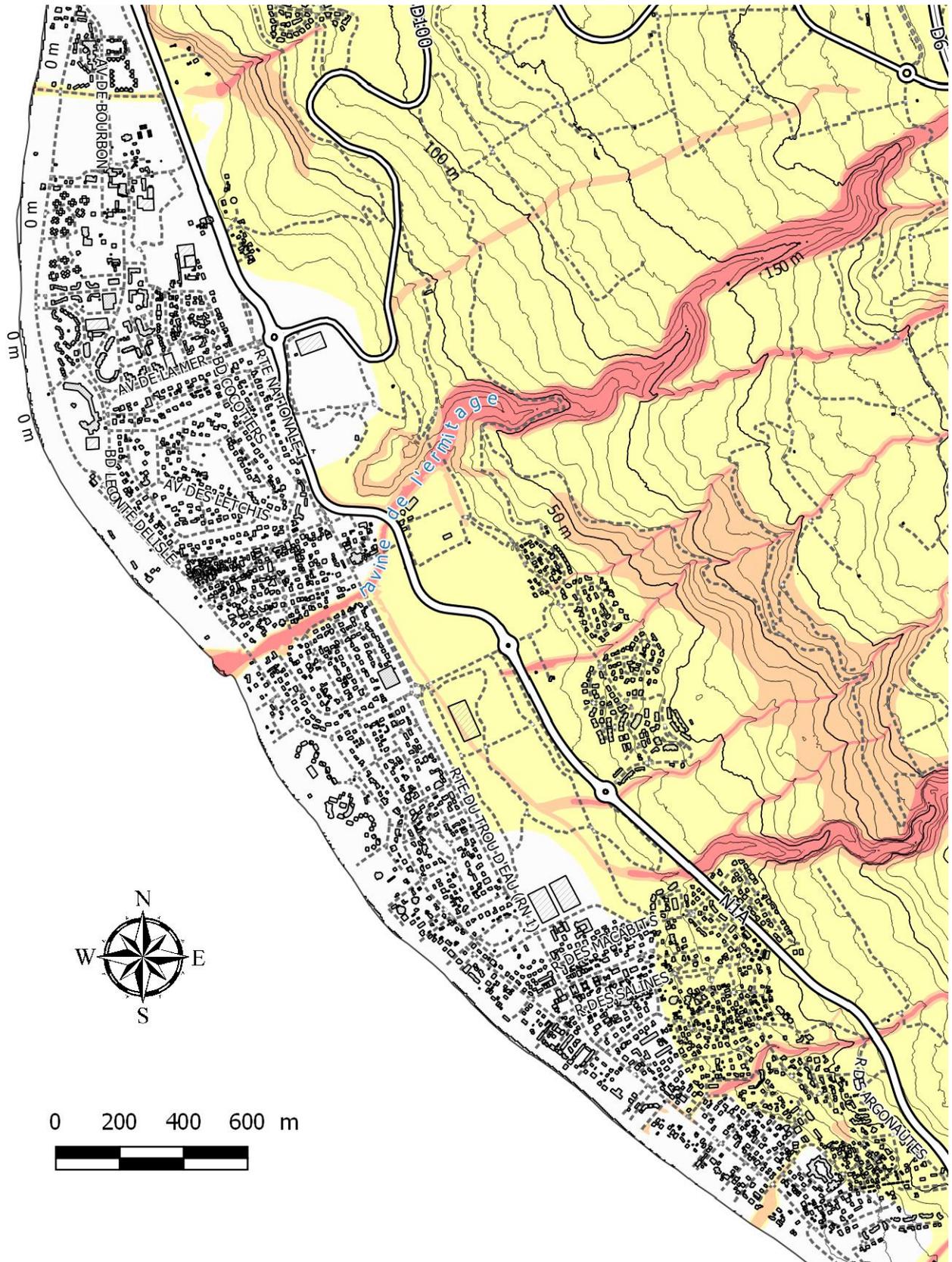
Ce secteur a fait l’objet d’une modélisation hydraulique dans le cadre des études pour l’élaboration du PPRi actuellement en vigueur sur le territoire de Saint-Paul. Cette modélisation avait été élaborée dans ce secteur à forts enjeux afin de préciser la connaissance et de définir les côtes de références des différentes zones du secteur.

Du fait d’un maillage trop lâche des casiers du modèle initial et donc des valeurs de côtes de références obtenues ainsi que la disponibilité dorénavant de données topographiques plus précises (**Litto3D®**, 2012, développé par l’IGN© et SHOM©), la DEAL a sollicité ARTELIA afin de reprendre le modèle hydraulique du secteur. Les résultats de cette étude (ARTELIA n°4701597V3 de septembre 2014, fourni en annexe 4 au présent dossier PPR) ont permis de préciser l’aléa inondation (niveau de l’aléa inondation et contour des zones d’aléa moyen et fort inondation) dans ce secteur fortement urbanisé et ont été intégrés au présent projet de PPR.

Cette récente étude n’intègre toutefois pas les travaux projetés par la commune de Saint-Paul dans le cadre du programme d’actions de prévention des inondations (PAPI) prévu dans ce secteur, qui à termes, permettra de diminuer les débits en amont des zones habitées (par stockage ou déviation des eaux) et d’améliorer les conditions d’écoulements à l’aval.

Suite à l’enquête publique, des précisions ponctuelles du zonage de l’aléa inondation et mouvements de terrain, notamment au droit de plusieurs requêtes ont été apportées grâce à l’apport de mesures topographiques précises réalisées lors des visites de terrain. D’une manière générale, le zonage réglementaire du secteur a été confirmé suite à l’analyse des demandes de précisions formulées lors de l’enquête publique.





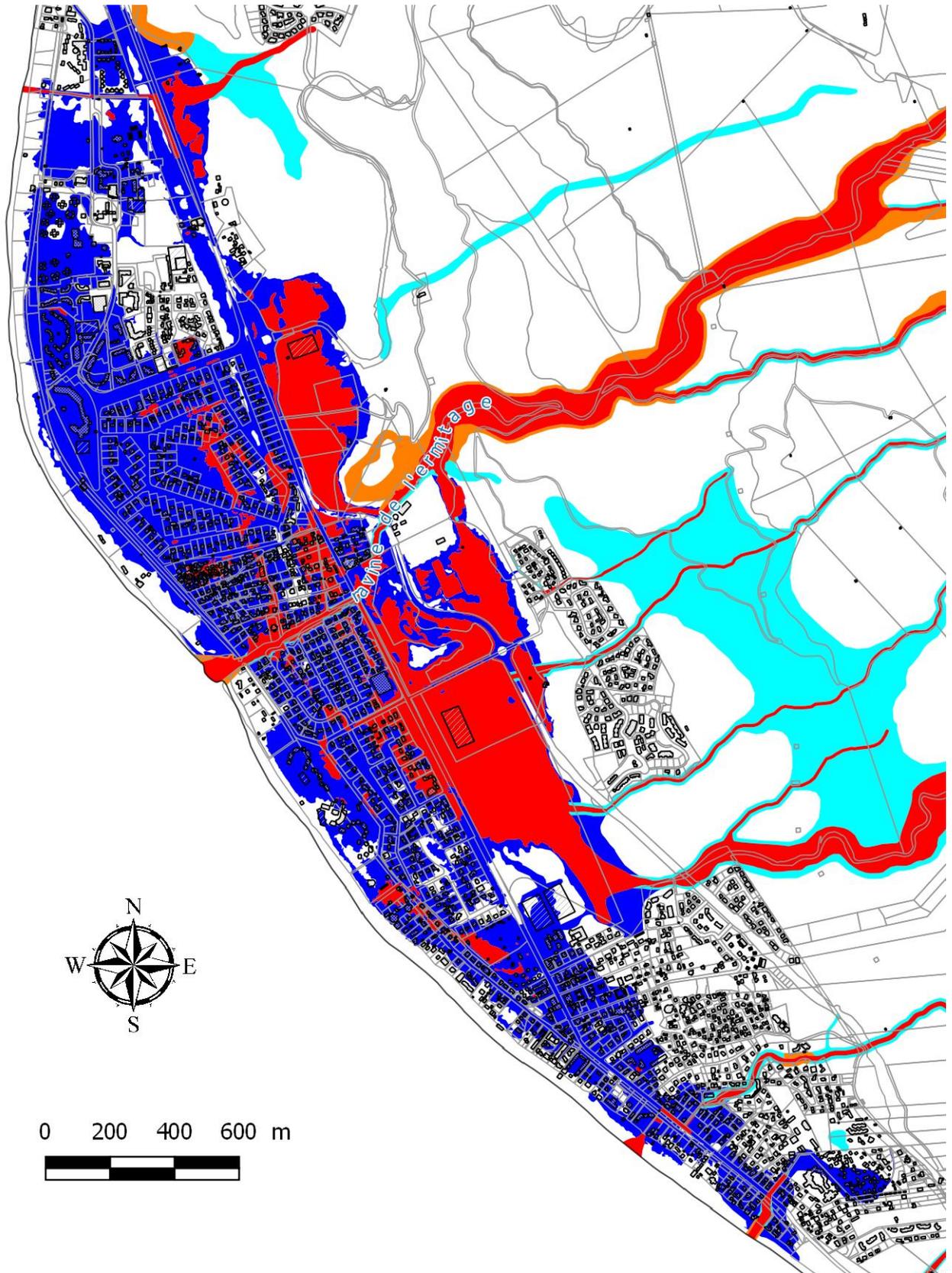


Figure 25 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit de La Saline – L'Ermitage

Zone d'activité de Cambaie - Rivière des Galets

La cartographie de l'aléa inondation du PPRi de la Rivière des Galets – partie aval, approuvé en le 19 décembre 2003 a été reprise dans le cadre du présent projet de PPR sur la commune de Saint-Paul.

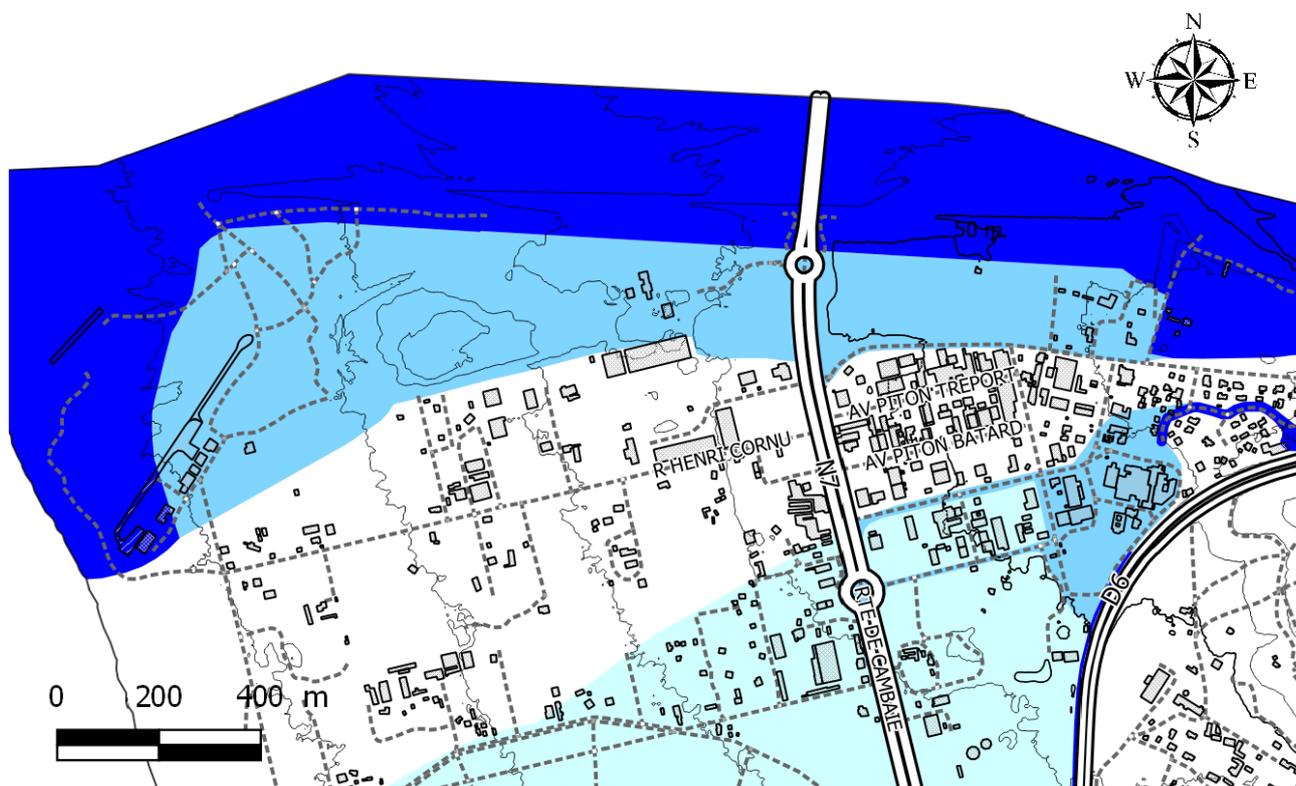
Le zonage d'aléa inondation intégrait un risque de débordement à l'aval du pont de la RN1, dont le principe a été maintenu, du fait de la présence à cet endroit d'une terrasse alluviale plus basse en rive gauche et de l'absence de protection longitudinale.

Le zonage a ensuite été précisé à l'aval (aléa moyen inondation) de ce point de débordement en tenant compte de l'occupation du sol actuelle au sein de la zone d'activité de Cambaie.

Les résultats de l'étude de dangers de la Rivière des Galets (ARTELIA et GETEC – Septembre 2012) n'ont pas été intégrés au projet de zonage de l'aléa inondation du fait du nombre réduit des scénarios étudiés à l'échelle de l'endiguement de la Rivière des Galets, ne permettant pas d'avoir une connaissance exhaustive de l'aléa inondation résiduel en cas de rupture de digue en divers points de l'ouvrage. Le principe d'une bande de précaution de 60 m en aléa fort inondation, instauré lors du PPRi approuvé en décembre 2003 pour tenir compte du risque résiduel en cas de rupture de la digue, a été maintenu.

Concernant la traduction réglementaire de ce secteur en recul de l'endiguement en rive gauche de la Rivière des Galets, l'aléa fort inondation est traduit en zone RG au présent projet de PPR, au sein de laquelle, un principe d'inconstructibilité est retenu.

L'aléa moyen inondation dans ce secteur est traduit en zone BG, qui autorise l'implantation de constructions destinées à des activités industrielles, commerciales, artisanales et tertiaires.



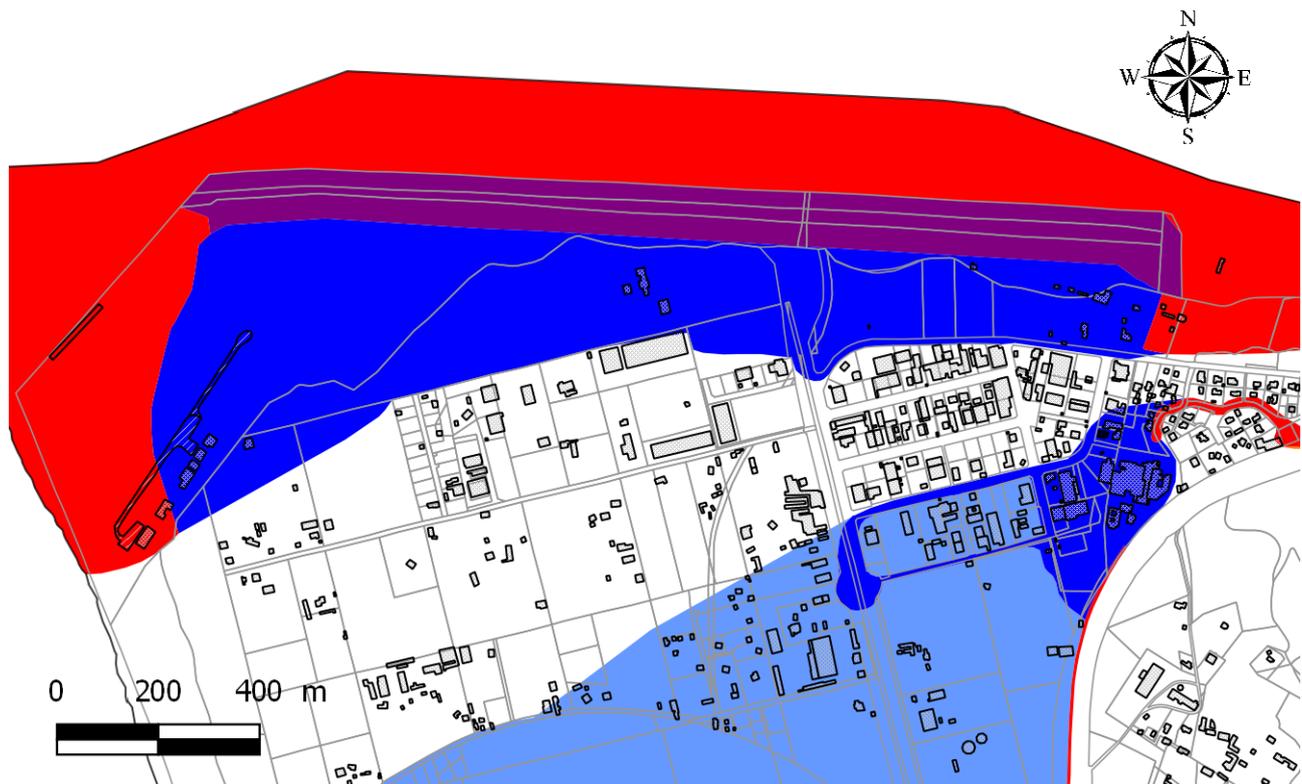
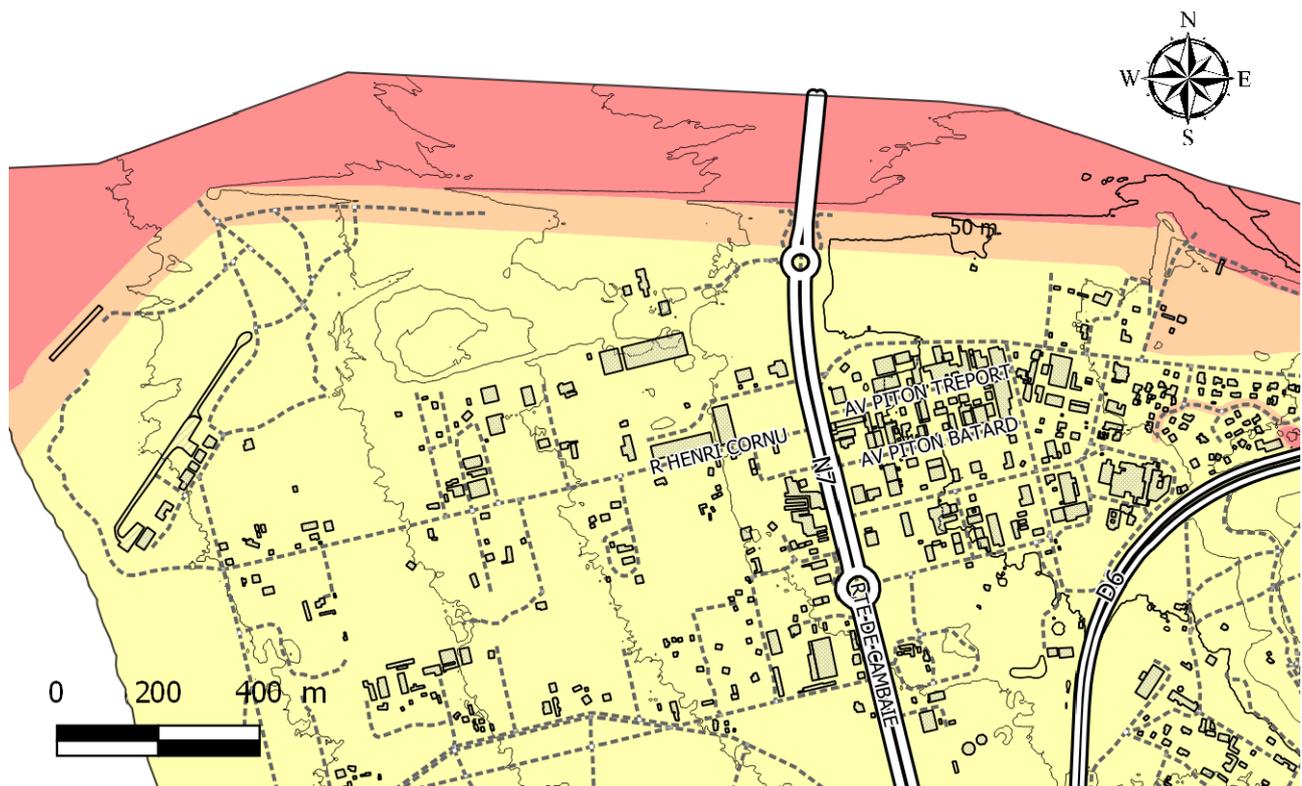


Figure 26 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit de la zone d'activité de Cambaie en rive gauche de la Rivière des Galets

Secteur de Sans Souci

Le secteur de Sans Souci est situé sur la bordure en partie haute du rempart en rive gauche de la Rivière des Galets dans le secteur de Sans Souci. Ce secteur a fait l'objet de plusieurs visites de terrain dans le cadre de l'élaboration du zonage de l'aléa MVT du projet de PPR, notamment en 2010 où le BRGM a effectué une expertise spécifique du secteur pour le compte des services de la commune de Saint-Paul dans le cadre du projet de la ZAC Sans Souci (Garnier, 2010², rapport d'étude fourni en annexe 4 du dossier PPR soumis à l'enquête publique).

La méthodologie de cartographie des aléas mouvements de terrain dans les configurations de recul de rempart s'appuie sur un retour d'expérience d'évènements connus à La Réunion (cf. Nédellec & Cruchet, juin 2008³), avec l'intégration d'un pourcentage de la hauteur du rempart (H/10) en recul de la crête de ce dernier suivant le même niveau d'aléa, puis avec une décroissance des aléas (méthodologie également présentée et détaillée dans le guide PPR Réunion, DEAL, 2012). Cette méthodologie est adaptée aux configurations de rempart propices aux évolutions à court ou moyen terme (crête évolutive avec effondrement(s) observé(s), fissuration de décompression sur les terrains en recul de crête, configuration morphologique propice aux déclenchements d'instabilités pouvant affecter la crête sur la période de référence du PPR).

Suite à l'analyse des nombreuses requêtes formulées lors de l'enquête publique, cette méthodologie a été précisée et adaptée pour ce secteur sans évolution historique connue de la crête du rempart en lien avec des éboulements pouvant se développer dans le versant.

Tout en conservant un zonage adapté aux évolutions toujours possibles sur le siècle à venir, la méthodologie a été adaptée afin de limiter l'impact du zonage sur les terrains en recul de rempart. En effet, l'absence d'évolution récente de la crête des remparts ne permet pas d'exclure le risque d'évolution sur la période de référence du PPR, ce qui justifie le maintien de bandes de précaution en recul immédiat de la crête en lien avec la méthodologie actuelle.

Pour le secteur de Sans Souci :

- l'analyse comparative des orthophotos disponibles entre 1950 et 2011 montre une crête de rempart avec un positionnement qui ne semble pas avoir évolué significativement (pas d'indice de recul à l'analyse comparative des photos aériennes), dans la limite de la précision des clichés orthophotos ;
- aucun indice de fissuration en recul de la crête n'a été observé précisément dans les secteurs accessibles. Ponctuellement, les observations de terrain au droit des parcelles visitées ont mis en avant des facteurs potentiellement aggravant comme des remblais en bordure immédiat de la crête de rempart, avec une incidence toutefois limitée aux quelques mètres en recul concerné, intégrés à l'aléa très élevé ou élevé MVT.

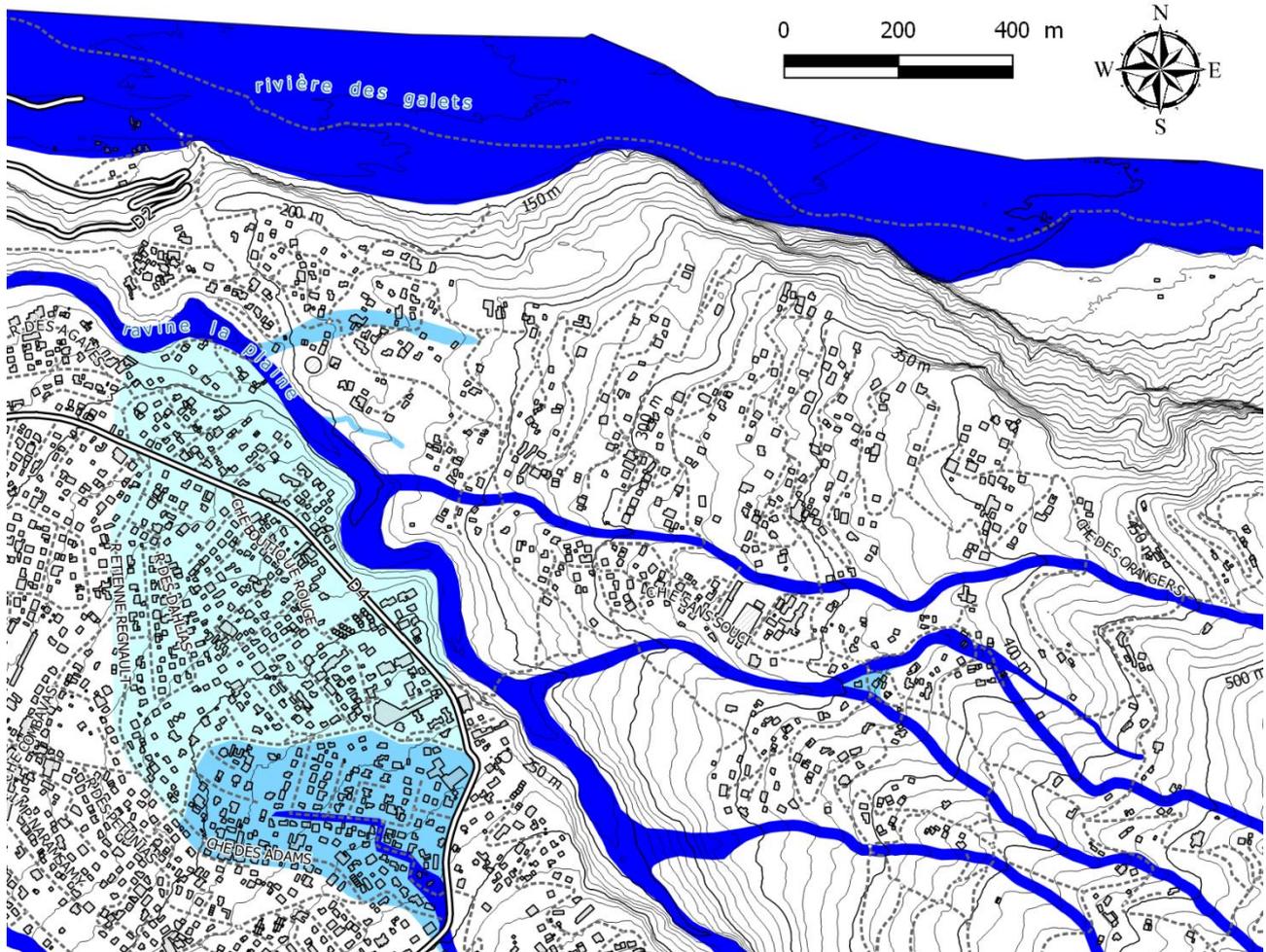
Les principes cartographiques retenus pour le secteur de Sans Souci sont les suivants (depuis la crête de rempart vers les terrains en recul) :

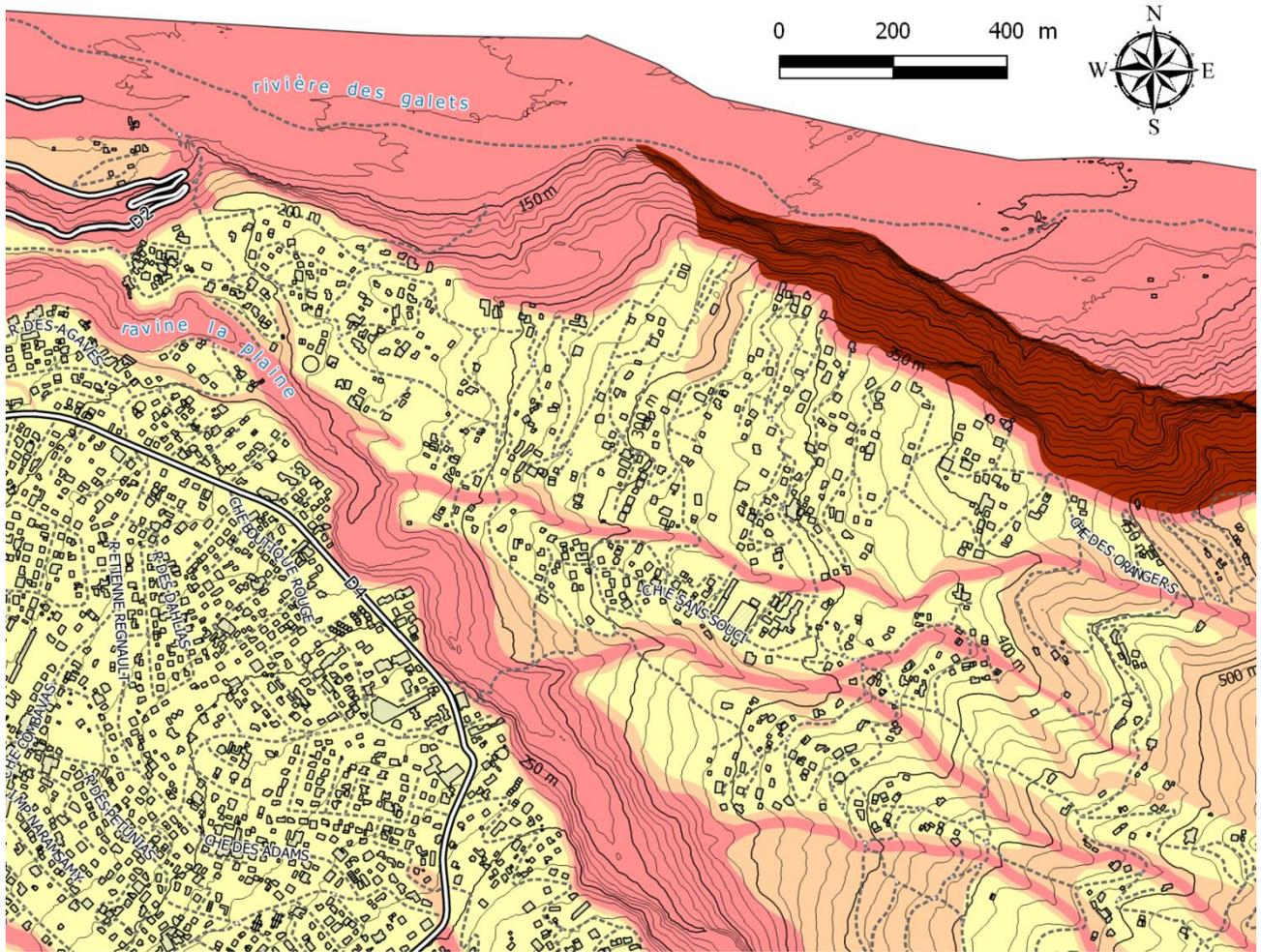
- maintien d'une bande d'aléa très élevé d'environ 5 à 10 m de large afin de couvrir la bande de terrain qui serait directement mobilisée en cas d'évènement pouvant affecter la crête (premiers terrains mobilisés). Les visites de terrain ont permis de préciser à l'aide de relevé GPS et d'observations le positionnement de la ligne de crête au droit des parcelles visitées lorsque l'accès à la crête de rempart était possible ;

² GARNIER C. (2010) – Expertise des risques de mouvements de terrain sur la ZAC de Sans-Souci, Saint-Paul (974). Rapport BRGM/RP-58233-FR, 52 p., 9 fig., 4 ann

³ Nédellec JL, Cruchet M. – 2008 – Analyse des modes d'effondrement en masse sur plusieurs sites de La Réunion. Rapport RP-56729-FR. 102p.

- maintien d'un bandeau équivalent à « H/10 » en aléa élevé (15 à 20 m de large), sur la base du principe méthodologique général dans ce type de configuration, afin de traduire le recul potentiel sur la période de référence et ainsi conserver une bande d'inconstructibilité (aléa très élevé et élevé comprise) de largeur approximativement équivalente au ratio de H/10 ;
- maintien du principe de graduation des aléas avec une bande d'aléa moyen forfaitaire de 10 m de large, traduit en zone R2 étant donné les difficultés de sécurisation de tels escarpements.





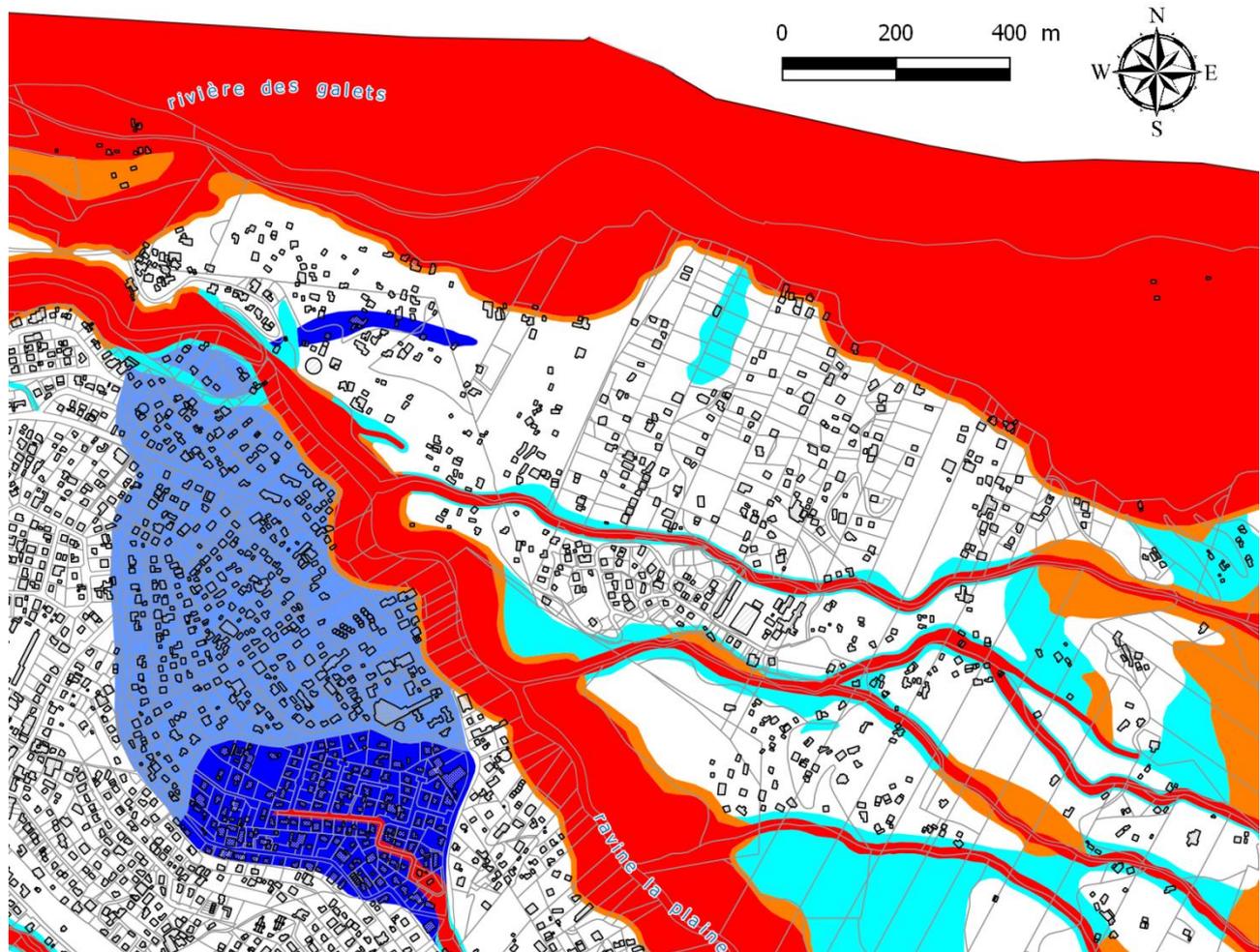


Figure 27 : Extrait de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du secteur de Sans Souci

Projet Hangar à La Plaine

La parcelle BC 137 fait l'objet d'un projet d'aménagement de logements dont 50% de logements aidés. Le projet est établi en concertation avec les services de la mairie de Saint Paul.

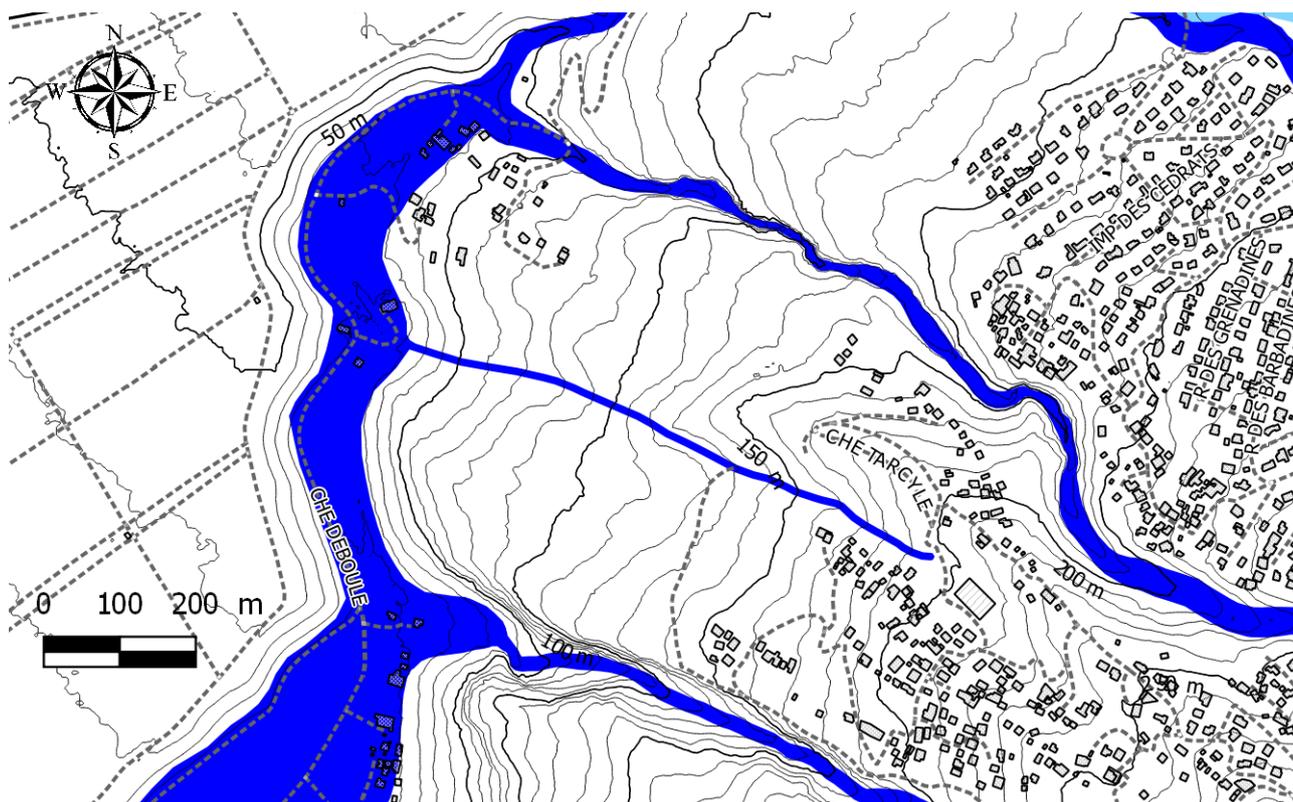
Le projet d'aménagement fait aussi l'objet d'une déclaration de projet qui aboutira à la mise en compatibilité avec le PLU.

Ce secteur était initialement contraint par l'aléa moyen mouvements de terrain traduit en R2 dans le projet de PPR soumis à l'enquête publique du fait de l'absence de densité urbaine dans ce secteur (un des critères de définition des secteurs urbains à enjeux sécurisables dont le périmètre permettait de traduire les terrains classés en aléa moyen mouvements de terrain se trouvant à l'intérieur de ce dernier en B2u au zonage réglementaire du PPR).

Les informations transmises par l'aménageur dans le cadre de l'enquête publique (relevés de terrain décrivant le contexte morphologique de la parcelle) ont permis de préciser le zonage de l'aléa mouvements de terrain dans un secteur qui ne présente pas de menaces significatives (pas de falaise marquée notamment).

Les terrains présentent des pentes comprises entre 20 et 30° en règle générale pour les terrains retenus au classement en aléa moyen l'aléa mouvements de terrain (ravinement favorisé et possible remobilisation de blocs sur la période de référence du PPR qui correspond au siècle à venir).

La capacité de sécurisation, dorénavant seul critère prépondérant pour le classement en B2u des terrains concernés par un aléa moyen MVT, est jugée possible au droit des terrains du projet, ce qui permet de retenir un classement en B2u au zonage réglementaire du PPR.



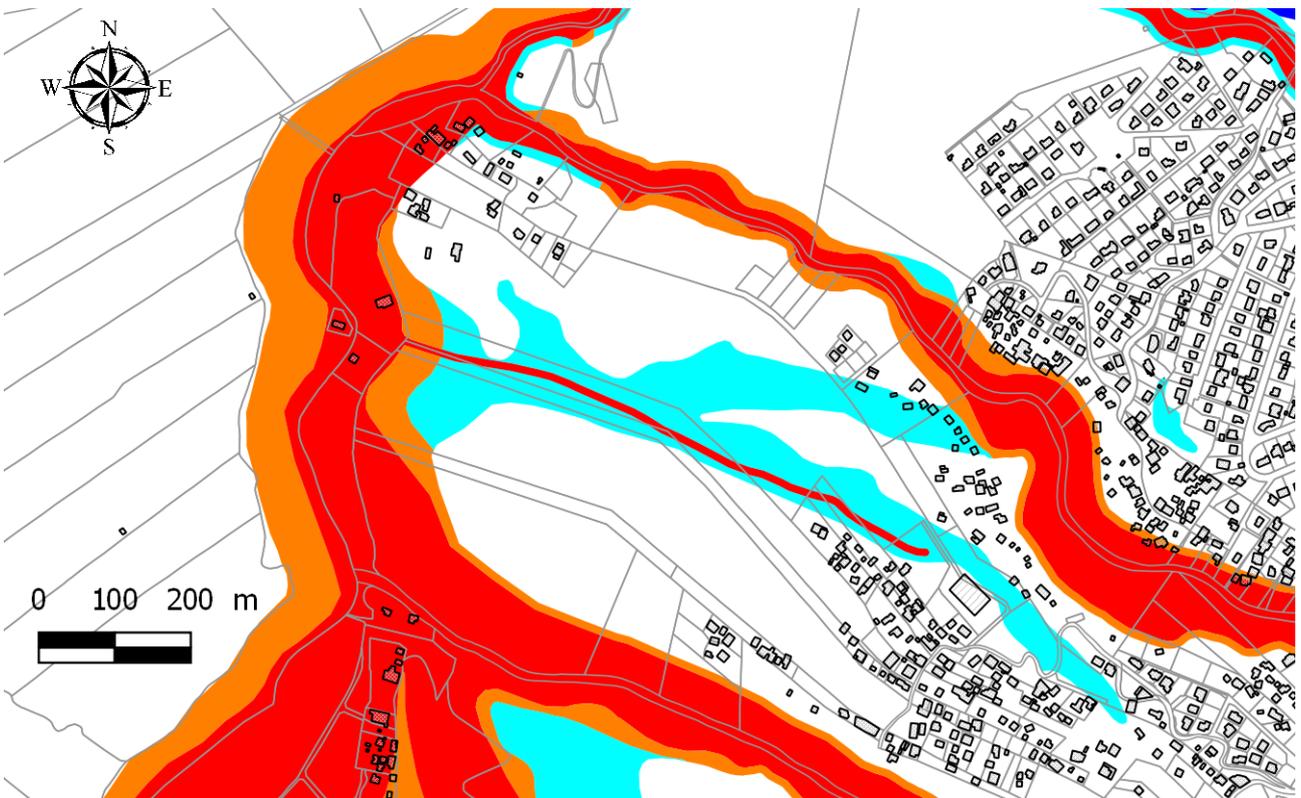
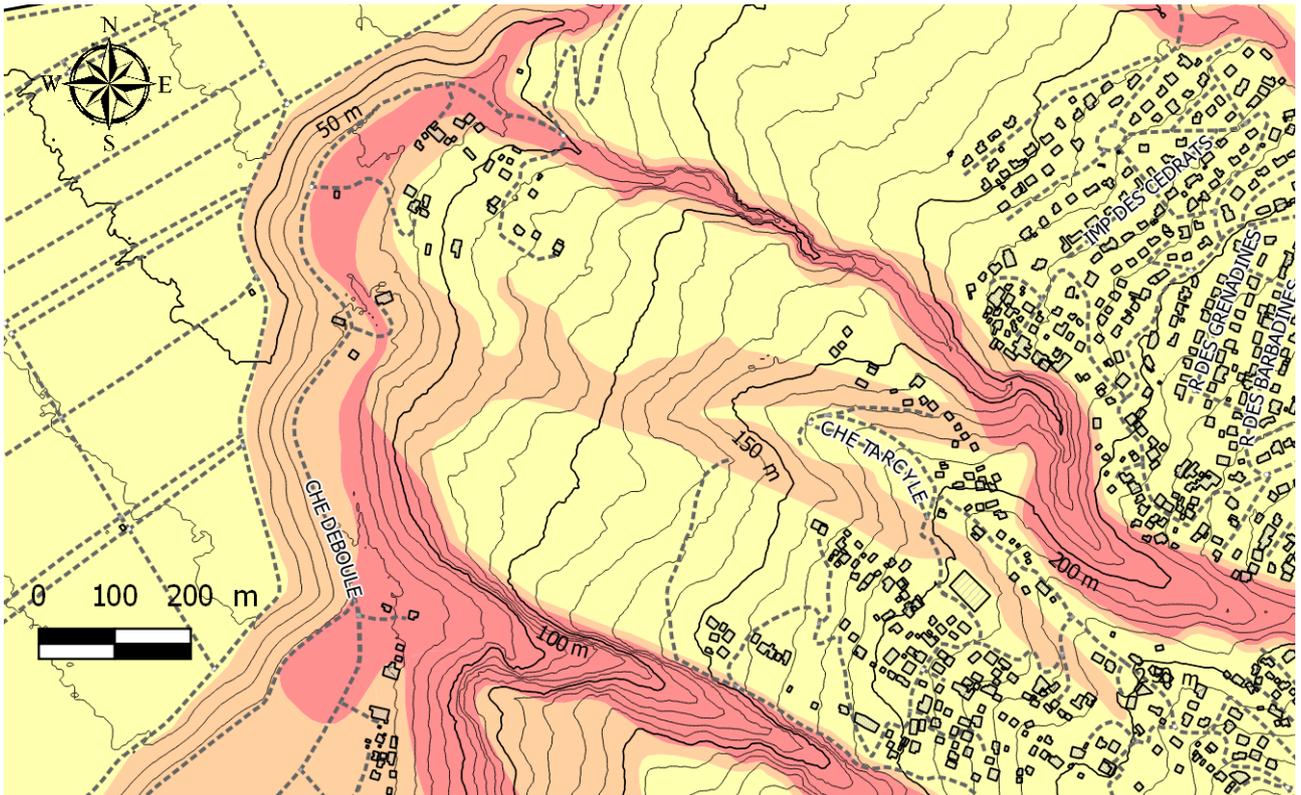


Figure 28 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du projet Hangar

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
PPRI.	Plan de Prévention des Risques Littoraux
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.: mouvement 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.

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.

Mouvement 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.

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 ;
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).