



DEPARTEMENT DE LA REUNION

Commune de Saint-Joseph

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS PREVISIBLES

« *Inondations et mouvements de terrain* »

NOTE DE PRESENTATION

Février 2017

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	9
1.1. Organisation de la gestion des risques.....	9
1.2. Prévention des risques naturels	10
1.3. Plan de prevention des risques (PPR) naturels	11
1.4. Catastrophes naturelles MAJEURES à la Réunion.....	11
2. PRESENTATION DU PPR	13
2.1. Contexte réglementaire du PPR	13
2.2. Procédure réglementaire	14
2.2.1. Secteurs géographiques concernés	14
2.2.2. Etat des démarches menées	14
2.3. Assurances et infractions au PPR	17
2.3.1. Rappel du régime d'assurance en vigueur	17
2.3.2. Infractions au PPR et sanctions.....	19
2.4. Expropriation et Mesure de sauvegarde	20
2.5. Responsabilités	20
2.5.1. Etablissement du PPR.....	20
2.5.2. Autorisation d'occuper le sol.....	21
3. PRESENTATION DE LA COMMUNE	22
3.1. Contexte de la zone d'étude	22
3.1.1. Situation géographique	22
3.1.2. Contexte géomorphologique.....	23
3.1.3. Contexte climatique	24
3.1.4. Réseau hydrographique	30
3.1.5. Contexte géologique	35
3.1.6. Contexte pédologique.....	47
3.2. Enjeux et vulnérabilité	50
4. HISTORICITE ET CARACTERISATION DES PHENOMENES NATURELS	52
4.1. Phénomènes historiques.....	52
4.2. Arrêtés de catastrophes naturels.....	54
4.3. Caractérisation des phénomènes mouvements de terrain	55
4.3.1. Chutes de pierres, de blocs et éboulements (P)	56
4.3.2. Glissements de terrain et coulées de boue associées (G)	59
4.3.3. Érosion et ravinement (E)	63
4.3.4. Effondrement de cavité souterraine (tunnel de lave).....	65

4.4.	Caractérisation des phénomènes d'inondation	67
5.	CARACTERISATION ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS – ELABORATION DU ZONAGE REGLEMENTAIRE	71
5.1.	Définitions et notions générales.....	71
5.1.1.	Notion d'intensité et de fréquence	71
5.1.2.	Remarques relatives aux règles de zonage	72
5.2.	Aléa inondation	73
5.2.1.	Méthode d'évaluation de révision de l'aléa.....	73
5.2.2.	Caractérisation de l'aléa inondation	74
5.3.	Aléa mouvements de terrain.....	75
5.3.1.	Méthode d'évaluation de l'aléa	75
5.3.2.	Facteurs de prédisposition et facteurs non permanents	76
5.3.3.	Méthodologie d'évaluation de l'intensité	77
5.3.4.	Qualification de l'aléa mouvements de terrain.....	79
5.4.	Principes de traduction réglementaire	81
5.5.	Exemples de cartographie au droit de secteurs À enjeux	82
6.	LEXIQUE DES SIGLES ET TERMES TECHNIQUES.....	105
7.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	107
8.	PRINCIPAUX TEXTES OFFICIELS	109
8.1.	Législation - Réglementation	109
8.2.	Principales circulaires.....	109
8.3.	Publication de guides	109

Liste des figures

Figure 1 : Délimitation du territoire communal de Saint-Joseph (Fond ©IGN scan100®-2010)	22
Figure 2 : La ville de Saint-Joseph	24
Figure 3 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France)	25
Figure 4 : Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)	26
Figure 5 : Localisation des stations météorologiques à proximité de Saint-Joseph (©IGN Scan100® - 2010)	27
Figure 6 : Réseau hydrographique et liste des principales ravines de la commune de Saint-Joseph (source : BDtopo2012®, fond ©IGN scan100® 2010, Hydrétudes, 2014)	31
Figure 7 : Cartographie des bassins versants (source Hydrétudes, 2014)	33
Figure 8 : Synthèse des connaissances hydrologiques sur le territoire de Saint-Joseph (source Hydrétudes, 2014)	35
Figure 9 : Localisation des failles majeures sur la carte géologique simplifiée du flanc Sud-Est du massif du Piton de la Fournaise. (d'après Merle et al., 2010)	36
Figure 10 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de la commune de Saint-Joseph (source : ©BRGM - 2006, fond ©IGN scan100® - 2010)	38
Figure 11 : Perspective morpho-géologique schématique de La Réunion (Raunet, 1991)	38
Figure 12 : Le fond du bras de Mahavel – La Série du bouclier ancien est recouverte par les coulées sommitales du bouclier récent	39
Figure 13 : Planèze basaltique récente des hauts de Vincendo - Matouta. Le piton Bernard en arrière-plan.	40
Figure 14 : Coulée de lave très récente de Saint-Joseph, en rive droite de la rivière des Remparts	41
Figure 15 : Hyaloclastites du Cap Jaune et éboulement	42
Figure 16 : Exemple de matériau rocheux disloqué et fragmenté ; Dépôt gravitaire en aval de la confluence du Bras de Mahavel à Piton de l'Ilet	43
Figure 17 : Coulée de débris de Grande Ilet dans la Rivière des Remparts	44
Figure 18 : Alluvions anciennes en rive gauche de la rivière des Remparts à Saint Joseph	45
Figure 19 : Alluvions récentes de la rivière des Remparts - Le Coteau de Bloc (Cliché 2007)	46
Figure 20 : Carte morpho-pédologique à l'échelle du 1/50 000 (source : ©CIRAD (Raunet, 1991), fond ©IGN scan100® - 2010)	49
Figure 21 : Chute d'un bloc isolé	57
Figure 22 : Eboulement	57
Figure 23 : Eboulement dans le rempart rive droite de la rivière des Remparts	57
Figure 24 : Couloir de propagation des blocs au niveau du secteur de la Passerelle – Route d'accès à Grand Galet – événements de 2010 et 2011	58
Figure 25 : Chutes de blocs dans le secteur de la Passerelle en 2014	58
Figure 26 : Eboulement de 2009 en rive droite de la Rivière Langevin vue depuis l'habitation la plus proche	59
Figure 27 : Représentations schématiques des principaux types de glissement (source : ©BRGM, http://www.georisques.gouv.fr/mouvements-de-terrain)	60
Figure 28 : Représentation schématique du glissement-coulée (exemple de Montauban, 1993 – cf. ci-après)	61
Figure 29 : Glissement de terrain observé sur la RD3 à Saint-Joseph	61
Figure 30 : Lac temporaire apparu dans le lit de la Rivière des Remparts en amont de sa confluence avec les bras de Mahavel (2002)	63
Figure 31 : Erosion de berges - Ravine Jean Petit (2009)	64
Figure 32 : Tunnel de lave dans le quartier de Cayenne à Saint-Joseph observé en 1993	66
Figure 33 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction des caractéristiques d'écoulement (source : Guide PPRI ruissellement péri-urbain M.E.D.D.E.)	68
Figure 34 : Crue de la Rivière des Remparts pendant le cyclone Gamède (2007)	69
Figure 35 : Dégâts après le passage du cyclone Gamède (2007)	69
Figure 36 : Dégâts sur la digue de l'hôpital de Saint-Joseph suite au passage de Firinga (1989)	69
Figure 37 : Rivière des Remparts en crue (à gauche) - Cyclone Dina (2002)	70
Figure 38 : Exemple de représentation de la notion de continuité du niveau d'aléa mouvements de terrain	72
Figure 39 : Principe de décroissance de l'intensité du phénomène chute de blocs avec l'éloignement de la source de départ	78
Figure 40 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du secteur du centre-ville de Saint-Joseph	85
Figure 41 : Recul des berges de la ravine de Grand Coude observé à l'ouest du village de Grand Galet en comparant l'orthophotographie de 1950 et celle de 2012 (source : orthophotos © IGN)	87

Figure 42 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du village de Grand-Galet	90
Figure 43 : Eboulement en masse au sud de l'Ilet à Diable – fin 2009	92
Figure 44 : Fissures observées sur le terrain en novembre 2015 en tête de rempart	92
Figure 45 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du rempart rive droite de la rivière de Langevin vers Ilet à Diable	95
Figure 46 : Périmètre d'évacuation du secteur de la Passerelle	96
Figure 47 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du secteur de la Passerelle	99
Figure 48 : Axe d'écoulement faiblement incisé dans le secteur de la Plaine des Grègues	101
Figure 49 : Récent remblai en rive droite d'un axe d'écoulement du secteur de la Plaine des Grègues	101
Figure 50 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du secteur de la plaine des Grègues	104

Liste des tableaux

Tableau 1 : Evénements historiques majeurs survenus à la Réunion	11
Tableau 2 : Précipitations journalières décennales et centennales issues du GEDC, 1992 (en mm)	28
Tableau 3 : Cumul de pluie moyen par jours entre 1981 et 2010	28
Tableau 4 : Pluies les plus intenses enregistrées à La Réunion	29
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 2012 observés sur la station de Grand-Coude	29
Tableau 6 : Evolution de la population de Saint-Joseph (source : ©I.N.S.E.E.)	50
Tableau 7 : Liste des arrêtés de catastrophes naturelle sur la commune de Saint-Joseph (source : www.prim.net - Portail de la Prévention des Risques majeurs du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie)	54
Tableau 8 : Liste des cyclones notables selon Météo-France	55
Tableau 9 : Caractérisation de l'aléa inondation pour la crue centennale en fonction des vitesses et des hauteurs d'eau	74
Tableau 10 : Type de phénomène rencontrés en fonction des catégories de terrain	77
Tableau 11 : Intensité du phénomène	77
Tableau 12 : Codification des aléas mouvements de terrain selon l'intensité	78
Tableau 13 : Caractérisation du niveau d'aléa mouvements de terrain en fonction de l'intensité du phénomène	80
Tableau 14 : Principe de traduction réglementaire des aléas du projet de PPR de Saint-Joseph	82
Tableau 15 : Légende des extraits cartographiques du PPR	82

Préambule

Ce dossier est le **Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles (PPR) inondations et mouvements de terrain de la commune de Saint-Joseph**. 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 1/20 000 et du 1/5 000 dans les zones à enjeux ;
 - une cartographie des équipements sensibles (enjeux) et des secteurs à enjeux jugés sécurisables de la commune à l'échelle 1/20 000.
- ✓ les documents réglementaires :
 - la note de présentation, décrivant succinctement le territoire de Saint-Joseph et les phénomènes naturels qui le concernent, ainsi que les règles méthodologiques adoptées ;
 - une cartographie du zonage réglementaire à l'échelle du 1/ 20 000 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 nombreux Réunionnais. Mais tirer les leçons de l'histoire n'est pas une démarche naturelle. Ainsi voit-on s'installer de nouvelles constructions et des habitations dans des sites où les risques sont perceptibles et des aménagements se réaliser sans protection et sans souci de l'aggravation des risques qu'ils peuvent provoquer.

Saint-Joseph, commune peuplée de 38 096 habitants (population recensée par l'INSEE en 2013), est affectée par des phénomènes de mouvements de terrain 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) l'élaboration d'un PPR multirisques (« inondations et mouvements de terrain ») de la commune de Saint-Joseph.

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

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

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

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

compatible avec les plans d'organisation des secours arrêtés en application des dispositions 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 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-Joseph est dotée depuis 2005 d'un Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles, relatif aux phénomènes d'inondation et de mouvements de terrain (document approuvé par arrêté préfectoral n°2766 en date du 11 octobre 2005), sur l'ensemble du territoire communal.

La révision du Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles relatif aux phénomènes d'inondations et de mouvements a été prescrite sur la commune de Saint-Joseph par l'arrêté préfectoral n°941/SG/DRCTCV en date du 27 mai 2016.

Sont pris en compte dans la présente élaboration du Plan de Prévention des Risques de la commune de Saint-Joseph 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	Janvier 1993 Cyclone Colina : 2 morts ; dégâts importants
Janvier 1948 Cyclone : 16 morts ; dégâts énormes	Février 1998 Tempête Anacelle : 1 mort ; dégâts importants
Février 1962 Cyclone Jenny : 36 morts ; dégâts importants	Janvier 2002 Cyclone Dina : 2 morts, dégâts très importants
Janvier 1966 Cyclone Denise : 3 morts ; dégâts importants	Mars 2006 Tempête tropicale modérée Diwa : 4 morts, pluies importantes
Janvier 1980 Tempête Hyacinthe : 25 morts ; 1 milliard de francs de dommages	Février 2007 Cyclone Gamède : 2 morts, dégâts importants
Février 1987 Tempête Clotilda : 9 morts ; dégâts très importants (109 millions de francs sur St Denis)	Janvier 2014 Cyclone Bėjisa : 1 mort, dégâts importants
Janvier 1989 Cyclone Firinga : 4 morts ; dégâts très 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 à l'article L.126-1 du Code de l'Urbanisme.

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

2.2. PROCEDURE REGLEMENTAIRE

2.2.1. Secteurs géographiques concernés

La procédure réglementaire PPR est définie par les articles R.562-1 à R.562-9 du code de l'environnement. Le point de départ de la présente procédure de révision du PPR est l'arrêté préfectoral de prescription n°941/SG/DRCTCV en date du 27 mai 2016.

Cet arrêté précise dans son article 1 que le périmètre mis à l'étude concerne l'ensemble du territoire de la commune de Saint-Joseph 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 :

- **11 octobre 2005 : Approbation du PPR relatif aux phénomènes d'inondation et de mouvements de terrain (arrêté préfectoral n°2766) ;**
- 4 mars 2013 : Présentation aux services de la mairie de la démarche de révision du PPR ;
- Avril 2013 à Mars 2016 : Phase technique de révision des cartes d'aléa inondation (Hydrétudes) et mouvements de terrain (BRGM) ;
- Mai 2014 : envoi par la collectivité des secteurs à enjeux concernés ;
- 21 avril 2015 : présentation de la cartographie des aléas inondation ;
- 27 août et 8 octobre 2015 : visite de terrain DEAL / Hydrétudes / Commune pour préciser le zonage inondation ;
- 23 novembre 2015 : présentation de la cartographie des aléas mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire ;
- 11 février 2016 : visite de terrain DEAL / BRGM / Commune pour préciser le zonage inondation et mouvements de terrain ainsi que le zonage réglementaire ;

- Mars 2016 : analyse des demandes de précision de la commune sur les cartes d'aléas et le zonage réglementaire et précision des zonages au droit des 11 secteurs à enjeux de la commune (Rey A., Franssen C. (2016)¹) ;
- Janvier 2016 à avril 2016 : Concertation entre la DEAL et les services municipaux, avec un travail de précision des aléas et du projet de carte réglementaire ;
- 27 mai 2016 : arrêté préfectoral n°941/SG/DRCTCV prescrivant l'élaboration d'un Plan de prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) sur la commune de Saint-Joseph ;
- Avril à mai 2016 : finalisation du projet PPR pour le lancement de la phase de consultation officielle : pièces écrites (présente note, règlement), documents cartographiques (zonage des aléas et 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-Joseph

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

- **de juin à août 2016** : consultations officielles des partenaires associés (conseil municipal, CASud, chambre d'agriculture, ONF et DAAF).

Conformément à l'article 5 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 courant mai 2016 et tenu à la disposition des administrés par ces derniers.

Le bilan de la concertation établi pour le lancement de l'enquête publique 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.

¹ Rey A., Franssen C. (2016) – Commune de Saint-Joseph. Plan de Prévention des Risques Naturels « inondations et mouvements de terrain » de Saint-Joseph. Analyse des demandes de précisions de la mairie. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-65694-FR. 128 p., 15 fig., 8 tab., 1 ann

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

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 consigné ou annexé aux registres d'enquête l'avis des conseils municipaux.

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

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

L'arrêté préfectoral n°1577/SG/DRCTCV/BCLU du 25 août 2016 a prescrit l'ouverture d'une enquête publique au titre du code de l'environnement, sur le territoire de la commune de Saint-Joseph concernant le projet de plan de prévention des risques naturels prévisibles relatif aux phénomènes d'inondation et de mouvements de terrain.

Préalablement au lancement de l'enquête publique, trois réunions publiques d'informations et d'échanges, organisées par l'État, maître d'ouvrage du projet de PPR, se sont tenues les 19, 21 et 23 septembre 2016, respectivement à la Maison pour Tous de Carosse, à l'école primaire de Vincendo et à l'école primaire du Centre, en présence du maître d'ouvrage représenté par le DEAL, ainsi que du BRGM. Y ont été conviés les représentants de la mairie et les commissaires-enquêteurs titulaire et suppléant.

L'enquête publique s'est déroulée du 26 septembre au 26 octobre 2016 (31 jours consécutifs), sous la supervision de M^{me} MAYANDY, commissaire-enquêteur titulaire. Les pièces du dossier de PPR ainsi que des registres d'enquêtes ont été mis à la disposition du public à l'hôtel de ville et en mairies annexes de Jean Petit et de Vincendo pendant la durée de l'enquête. Le commissaire-enquêteur a pu recueillir 105 requêtes représentant 116 demandes distinctes, consignées dans les registres mis à leur disposition au cours des 13 permanences tenues.

Le commissaire enquêteur a donné un avis favorable au projet de PPR « inondation et mouvements de terrain » de la commune de Saint-Louis dans son rapport rendu le 5 décembre 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 23 et 24 novembre 2016 pour préciser les zonages au droit et aux abords des 30 parcelles concernées, 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-66582-FR de janvier 2017).

Une copie du rapport du commissaire enquêteur est consultable pendant un an à la mairie de Saint-Joseph ainsi qu'à la préfecture de Saint-Denis (également téléchargeable sur le site internet de la Préfecture de la Réunion, rubrique plans de prévention des risques naturels).

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

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.

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 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.

Le territoire de Saint-Joseph s'étend selon un axe principal Nord-Sud et possède une forme trapézoïdale avec une largeur amont d'environ 5 km, une largeur aval au niveau de la façade littorale de 12,5 km et une longueur suivant un axe Nord-Sud de 21 km.

Les limites communales sont essentiellement naturelles, avec :

- au sud, la bordure littorale,
- à l'est, la Ravine de Basse Vallée,
- au nord-est, l'Enclos Fouqué,
- au nord, le Rempart des Sables,
- au nord-ouest la limite du bassin versant de la Rivière des Remparts et,
- à l'ouest la ravine de Manapany.

La commune de Saint-Joseph est limitrophe avec les communes de Petite Ile, Saint-Pierre et le Tampon sur sa bordure ouest, de Sainte-Rose au nord-est et de Saint-Philippe sur sa bordure est.

Saint-Joseph fait partie de la Communauté d'Agglomération du Sud (CASUD).

La partie haute de la commune et les remparts appartiennent à la forêt départementale-domaniale des Hauts de Saint-Joseph. Cette forêt gérée par l'ONF couvre 6269 ha soit plus de 30 % de la surface de la commune.

La partie de la commune appartenant au Parc National de La Réunion (environ 85 km² soit approximativement la moitié de la surface de la commune) est classée au patrimoine mondial de l'UNESCO.

3.1.2. Contexte géomorphologique

La commune de Saint-Joseph est située sur le flanc sud du massif de la Fournaise.

D'une superficie de 178,5 km², ce territoire remonte du littoral jusqu'à la Plaine des Remparts qui culmine à 2448 m (Piton des Basaltes), sur une distance de 21 km.

Plusieurs entités géomorphologiques marquent le paysage : la Plaine des Sables et la Plaine des Remparts dans la partie centrale du volcan, les grandes rivières qui incisent largement les flancs du Piton de la Fournaise, les planèzes aux pentes radiales ainsi individualisées et la bordure littorale. Ces grands traits morphologiques sont la résultante de deux actions antagonistes : l'édification du volcan et son érosion à laquelle s'associent des effondrements de l'édifice lié à des accidents tectoniques.

L'extrémité nord-est de la commune correspond à la bordure sud de l'Enclos du Piton de La Fournaise, volcan actif. Le cratère central (Dolomieu) est à 3 km de la limite communale.

Les grandes ravines que sont la Rivière des Remparts, la Rivière Langevin et dans une moindre mesure, la Ravine de Basse Vallée, entaillent profondément les flancs du volcan, alors que l'incision des autres ravines, de direction radiale, est généralement faible avec un profil en long avec des « cassés » successifs dus à l'alternance de coulées de laves et de niveaux de scories.

La Rivière des Remparts, située à l'ouest de la commune, et la Rivière Langevin, à l'est, coulent actuellement au fond de gorges creusées de plus de 1000 m. La ville de Saint-Joseph est implantée sur le littoral au débouché de la Rivière des Remparts et le village de Langevin au débouché de la rivière Langevin.

Les deux grandes rivières traversant la commune de Saint-Joseph isolent des lambeaux de planèze géographiquement indépendants. Ce sont, d'ouest en est :

- la planèze de Manapany et de la Plaine des Grègues à l'ouest de la Rivière des Remparts ;
- la planèze de Jean Petit et de Grand Coude délimitée par la Rivière des Remparts et la Rivière Langevin ;
- la planèze de Vincendo et de La Crête, à l'est de la Rivière Langevin.

Les planèzes sont habitées et cultivées jusqu'à 1000 m d'altitude, voire 1200 m à Grand Coude.

La façade marine de la commune s'étend sur 14 km. Elle se caractérise par ses pentes relativement peu marquées, avec des déclivités faibles variant entre 10° et 15° et localement, par des pentes allant jusqu'à 40° voire 90° au droit des pitons (Piton Langevin, Piton Babet, Pitons de Manapany). Ce domaine majoritairement à faible pente est en grande partie dédié à l'urbanisation et à l'agriculture.

La côte est escarpée et essentiellement rocheuse. La seule plage accessible se situe à l'extrémité ouest de la commune, à Manapany les Bains.



Figure 2 : La ville de Saint-Joseph

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-Joseph, située dans le sud de l'île, est impactée par ces alizés (côte « au vent »).

Pluviométrie

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

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

Placée au sud, la commune de Saint-Joseph est située sur la côte « au vent », la plus arrosée. Les précipitations moyennes annuelles dans le secteur de Saint-Joseph sont contrastées, comprises entre 1 000 mm sur le littoral ouest et plus de 4 000 mm au niveau des falaises de l'Enclos (Atlas climatique de la Réunion, Météo France 2000, cf. Figure 3).

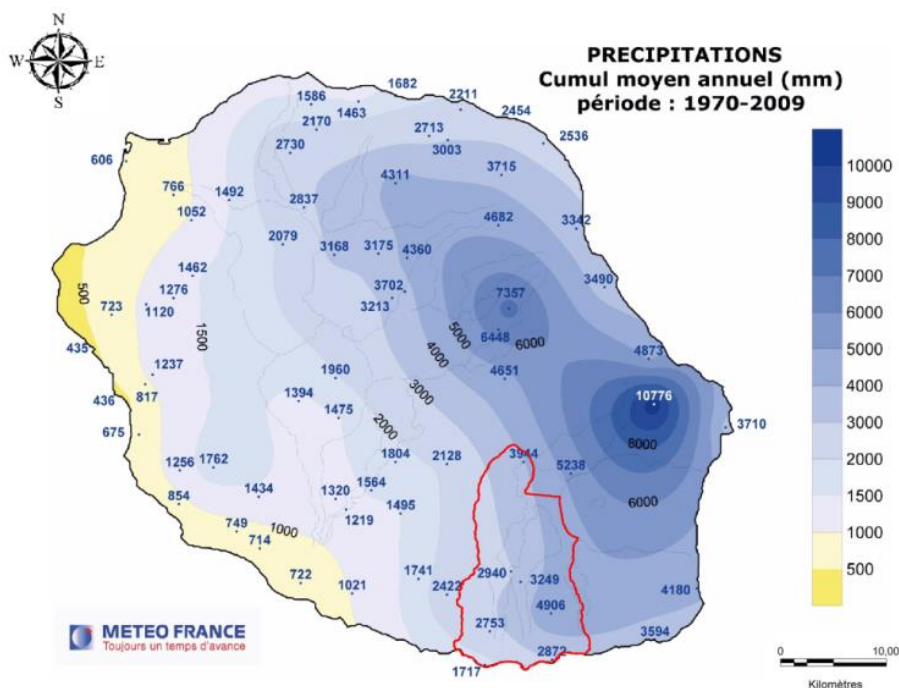


Figure 3 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France)

Météo France Réunion a réalisé une carte de zonage pluviométrique en 2010, tenant compte du relief (cf. Figure 4), qui qualifie les secteurs soumis à un régime pluviométrique similaire à proche. La commune de Saint-Joseph est concernée par les régions 4, 6 et 7 :

- La région 4 correspond au nord de la commune et comprend la Plaine des Palmistes. C'est une des zones les plus arrosées de l'île où est notamment implantée la station météorologique du Cratère Commerson qui détient plusieurs records mondiaux de précipitations ;
- La région 6 correspond au sud de Saint-Joseph. Les précipitations sont assez importantes par rapport au reste de l'île, mais elles sont moindres comparées aux régions 4 et 7. La bordure littorale est moins impactée que les Hauts.

- La région 7, située dans l'Est de l'île, est la côte « au vent », elle s'étend de Saint-Benoît à Saint-Joseph. C'est la partie la plus arrosée de l'île.

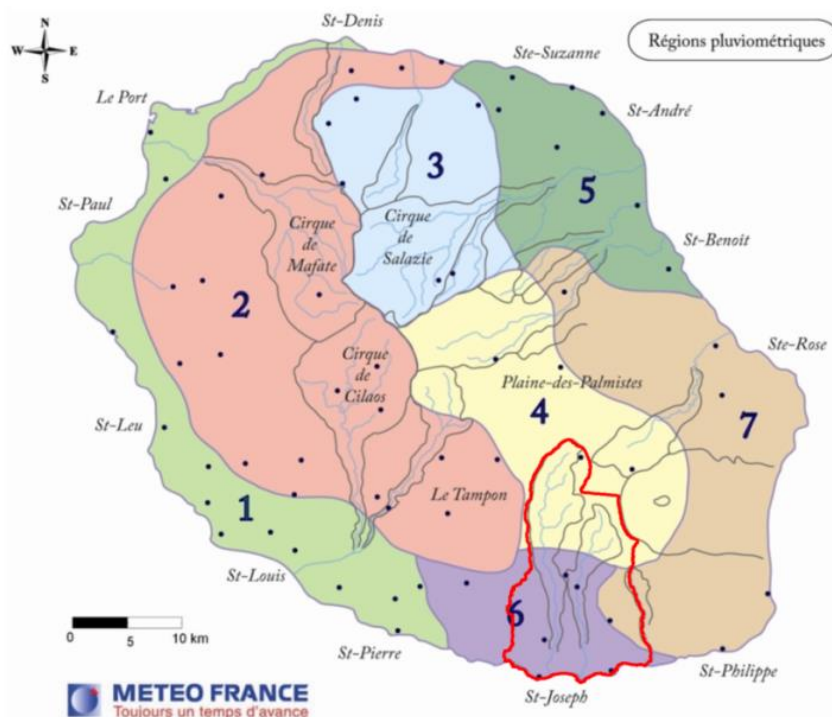


Figure 4 : Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)

Concernant les stations météorologiques, cinq stations sont installées et suivies sur le territoire de Saint-Joseph. Toutefois pour compléter les données pluviométriques et avoir une meilleure répartition de celles-ci, la station du gîte de Bellecombe au nord-est de la commune est également prise en compte.

Le suivi de ces données par Météo France permet ainsi de caractériser la pluviométrie à l'échelle du territoire communal (Figure 5). Les stations météorologiques concernées sont les suivantes :

- Saint-Joseph (CIRAD) (commune de Saint-Joseph, altitude : 17 m, installée en 1960) ;
- Grand-Galet (commune de Saint-Joseph, altitude : 505 m, installée en 1953) ;
- La Crête (CIRAD) (commune de Saint-Joseph, altitude : 650 m, installée en 1968) ;
- Grand-Coude (commune de Saint-Joseph, altitude : 1085 m, installée en 1978) ;
- Cratère Commerson (commune de Saint-Joseph, altitude : 2310 m, installée en 1968) ;
- Gîte de Bellecombe (commune de Sainte-Rose, altitude : 2245 m, installée en 1966).

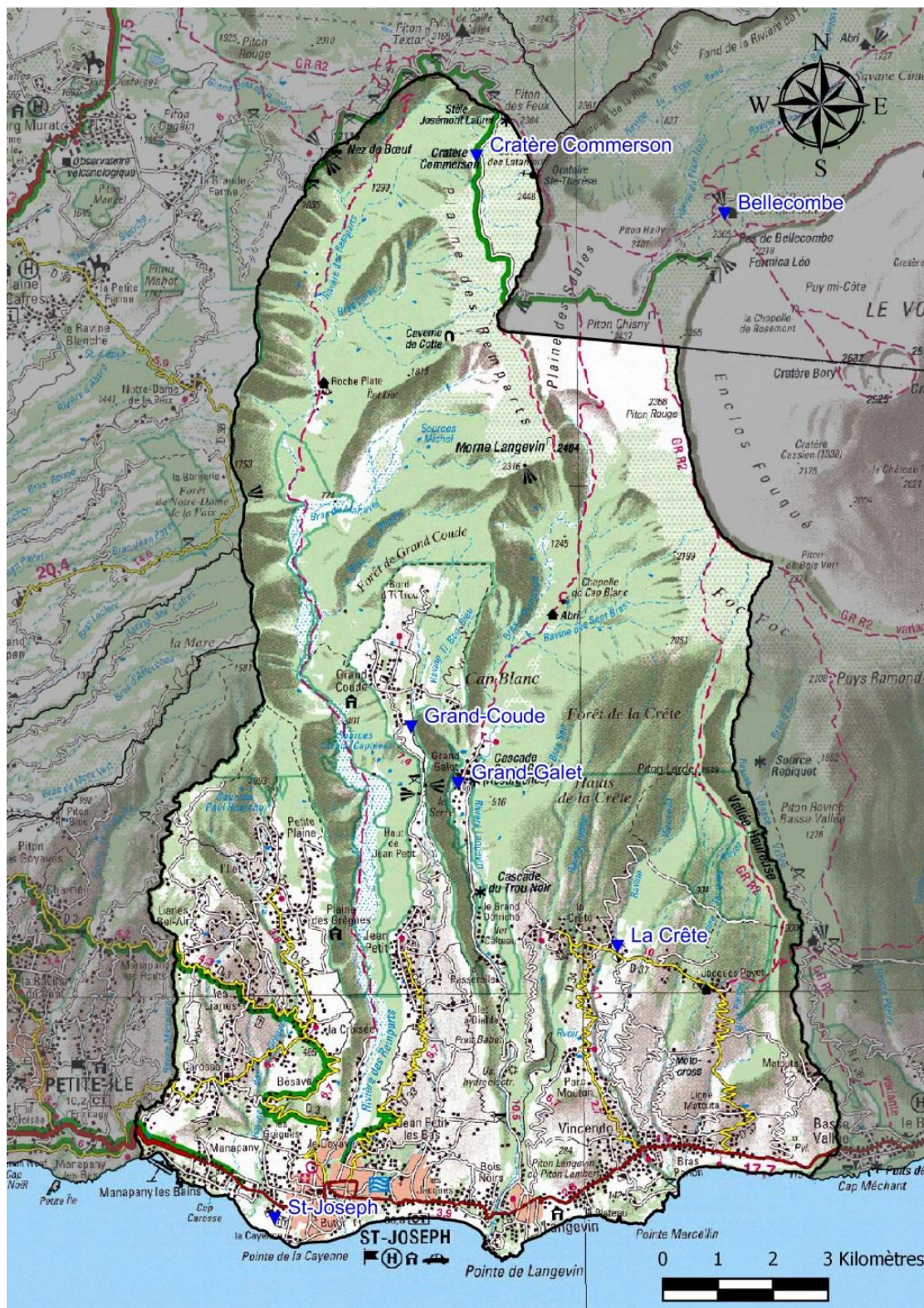


Figure 5 : Localisation des stations météorologiques à proximité de Saint-Joseph (©IGN Scan100® - 2010)

Le GEDC (Guide d'Estimation des Débits de Crues de la Réunion publié en 1992) propose, à partir d'une analyse statistique, des valeurs de pluies journalières décennales pour les 206 stations pluviométriques suivies sur l'île de la Réunion. 75 % des stations fournissent au moins 10 ans de mesures et 40 % au moins 25 années de mesures au début des années 1990.

Les valeurs caractéristiques pour les stations de Saint-Joseph ou à proximité de la commune sont les suivantes (Tableau 2).

Nom station	Altitude (m)	Pluie Journalière Décennale (PJ ₁₀ en mm)	Pluie Journalière Centennale (PJ ₁₀₀ en mm = 1.6* PJ ₁₀)
Saint-Joseph	10	275	440
Grand-Galet	505	528	845
La Crête	650	580	928
Grand-Coude	1125	597	955
Cratère Commerson	2320	1019	1630
Gîte de Bellecombe	2250	721	1154

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-Joseph depuis leur ouverture, ainsi que l'analyse du cumul moyen annuel des pluies caractéristiques, confirment le contraste de pluviométrie selon l'altitude et donc le zonage pluviométrique à considérer.

Station	Date d'ouverture	Altitude (m NGR)	Nombre de jours moyen (période 1981-2010) où le cumul de pluie (en mm) est ≥ à				Maximum absolu quotidien depuis l'ouverture	
			1	10	50	100	Valeur (en mm)	Date
Saint-Joseph	01/04/1960	17	117,3	42,6	5,9	1,6	715,5	15/03/1975
Grand-Galet	06/08/1953	505	131,5	56,1	17,1	7,1	1316,5	22/01/2002
La Crête	01/10/1968	650	175,2	89,5	26,5	10,5	909,0	29/01/1989
Grand-Coude	01/01/1978	1085	134,2	52,1	13,5	5,6	1300,0	22/01/2002
Cratère Commerson	01/01/1968	2310	162,9	53,5	14,1	7,6	1504,0	12/02/1987
Gîte de Bellecombe	01/11/1966	2245	198,6	83,5	22,9	12,1	1131,0	24/02/2007

Tableau 3 : Cumul de pluie moyen par jours entre 1981 et 2010
(source : Bulletin climatologique 2014 – Météo France)

La station du Cratère Commerson détient plusieurs records mondiaux de pluies enregistrés suivant différentes durées. L'île de La Réunion détient les records mondiaux entre 12h et 15 jours avec la plupart d'entre eux enregistrés à la station du Cratère Commerson. Les valeurs de pluies les plus importantes relevées à la Réunion suivant les différentes durées sont présentées sur le Tableau 4.

Durée	Quantité (mm)	Nom du poste (Altitude en mètres)	Date de début de l'épisode	Record mondial (mm) et lieu
1 heure	262	Cilaos (Alt : 1197 m)	29/02/1964 (cyclone GISELLE)	305 (USA)
3 heures	422	Mare à Vieille Place (Alt : 870 m)	04/02/1998	Pas d'info
6 heures	690	Mare à Vieille Place (Alt : 870 m)	04/02/1998	Pas d'info
12 heures	1 144	Foc-Foc (Alt : 2290 m)	07/01/1966 (cyclone DENISE)	Record mondial
24 heures	1 825	Foc-Foc (Alt : 2290 m)	07/01/1966 (cyclone DENISE)	Record mondial
48 heures	2 489	Commerson (Alt : 2310 m)	26/02/2007 (cyclone GAMEDE)	2 493 (Inde)
72 heures	3 930	Commerson (Alt : 2310 m)	24/02/2007 (cyclone GAMEDE)	Record mondial
96 heures	4 936	Commerson (Alt : 2310 m)	24/02/2007 (cyclone GAMEDE)	Record mondial
10 jours	5 678	Commerson (Alt : 2310 m)	18/01/1980 (cyclone HYACINTHE)	Record mondial
15 jours	6 083	Commerson (Alt : 2310 m)	14/01/1980 (cyclone HYACINTHE)	Record mondial
1 mois	6 177	Commerson (Alt : 2310 m)	Janvier 1980	9 300 (Inde)
12 mois	15 931	Hauts de Sainte-Rose (Alt : 820 m)	Année 1995	26 470 (Inde)

Tableau 4 : Pluies les plus intenses enregistrées à La Réunion
(source : <http://pluiesextremes.meteo.fr/lareunion/Records-mondiaux.html>)

Une analyse statistique des valeurs de pluviométrie journalières enregistrées à la station Grand-Coude de 2001 à 2012 (altitude 1805 m en NGR) montrent que près de 46 % des valeurs sont inférieures à 1 mm/jour, avec une moyenne de l'ordre de 7,7 mm/jour.

Des pics de pluviométrie sont observés chaque année et sont présentés dans le tableau suivant (Tableau 4). Le nombre de jours dans l'année où les précipitations journalières ont dépassé 50 mm est également affiché.

Année	Précipitations journalières maximales en mm	Précipitations annuelles cumulées en mm	Nombre de jours dans l'année où les précipitations journalières dépassent 50 mm	Evènement climatique
2001	300	2600,2	12	Cyclone tropicale intense Ando
2002	1300	4484,6	21	Cyclone tropicale intense Dina
2003	191,6	2911,0	13	Fort épisode pluvieux de juillet
2004	196,4	2140,2	6	Fort épisode pluvieux de mars
2005	214,2	3196,9	35	Fort épisode pluvieux de mars
2006	252	2093,1	14	Tempête tropicale modérée Diwa
2007	550	3758,3	15	Cyclone tropical intense Gamède
2008	157,6	2754	15	Fort épisode pluvieux de mars
2009	355	3606,2	17	Très fort épisode pluvieux d'avril
2010	197,8	2411,2	17	Fort épisode pluvieux de février
2011	105,8	1496,6	10	Fort épisode pluvieux de mars
2012	212,8	2074,4	10	Fort épisode pluvieux d'avril

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 2012 observés sur la station de Grand-Coude

Les précipitations journalières maximales représentent en moyenne 6 à 29 % du cumul annuel, ce qui montre l'impact significatif des événements climatiques lors de saisons « sèches » et l'impact modéré lors de saison « humides » dans un secteur où les précipitations sont régulières (134 j par an avec une précipitation journalière d'au moins 1 mm à la station de Grand Coude).

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 11 dernières années, les précipitations ont ainsi provoquées des ruissellements en moyenne 15 jours dans l'année. Ces ordres de grandeur 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).

Pour conclure sur le contexte climatique, l'analyse des données de pluies confirme la variation spatiale et temporelle des pluies notamment entre les hauts du territoire de Saint-Joseph (plus pluvieux où certains records mondiaux de pluies ont été observés) et le littoral (plus sec avec toutefois plus de 110 à 120 jours par an de pluie) malgré l'exposition plein sud.

Les précipitations peuvent donc être très localisées, avec des cumuls journaliers pouvant atteindre des valeurs très fortes et des records à partir de 2 jours (de 715 à 1504 mm par jour selon les stations suivies), notamment lors du passage d'évènement cyclonique qui conditionnent majoritairement les cumuls annuels. De par sa localisation, la commune de Saint-Joseph est plus propice aux évènements pluvieux exceptionnels en comparaison avec d'autres secteurs de l'île.

Les précipitations intenses ont des conséquences sur les possibilités d'occurrence des phénomènes, non seulement d'inondations, mais également de mouvements de terrain, qui se produisent principalement durant les mois de janvier à mars, correspondant à la période des pluies (période cyclonique). Les phénomènes climatiques extrêmes (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. De nombreux exemples passés sur le territoire en attestent.

3.1.4. Réseau hydrographique

Sur la commune de Saint-Joseph, le réseau hydrographique est très développé avec deux ravines principales (Rivière des Remparts et Rivière Langevin) au centre du territoire, à l'est, de nombreuses ravines qui incisent la plaine des Grègues et à l'ouest, qui incisent les Hauts de la Crête. A part la Rivière des Remparts, 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 (au pied de la Plaine des Remparts et du plateau Foc-Foc) et s'écoulent vers la mer en traversant Saint-Joseph avec des pentes majoritairement comprises entre 10 et 25 %.

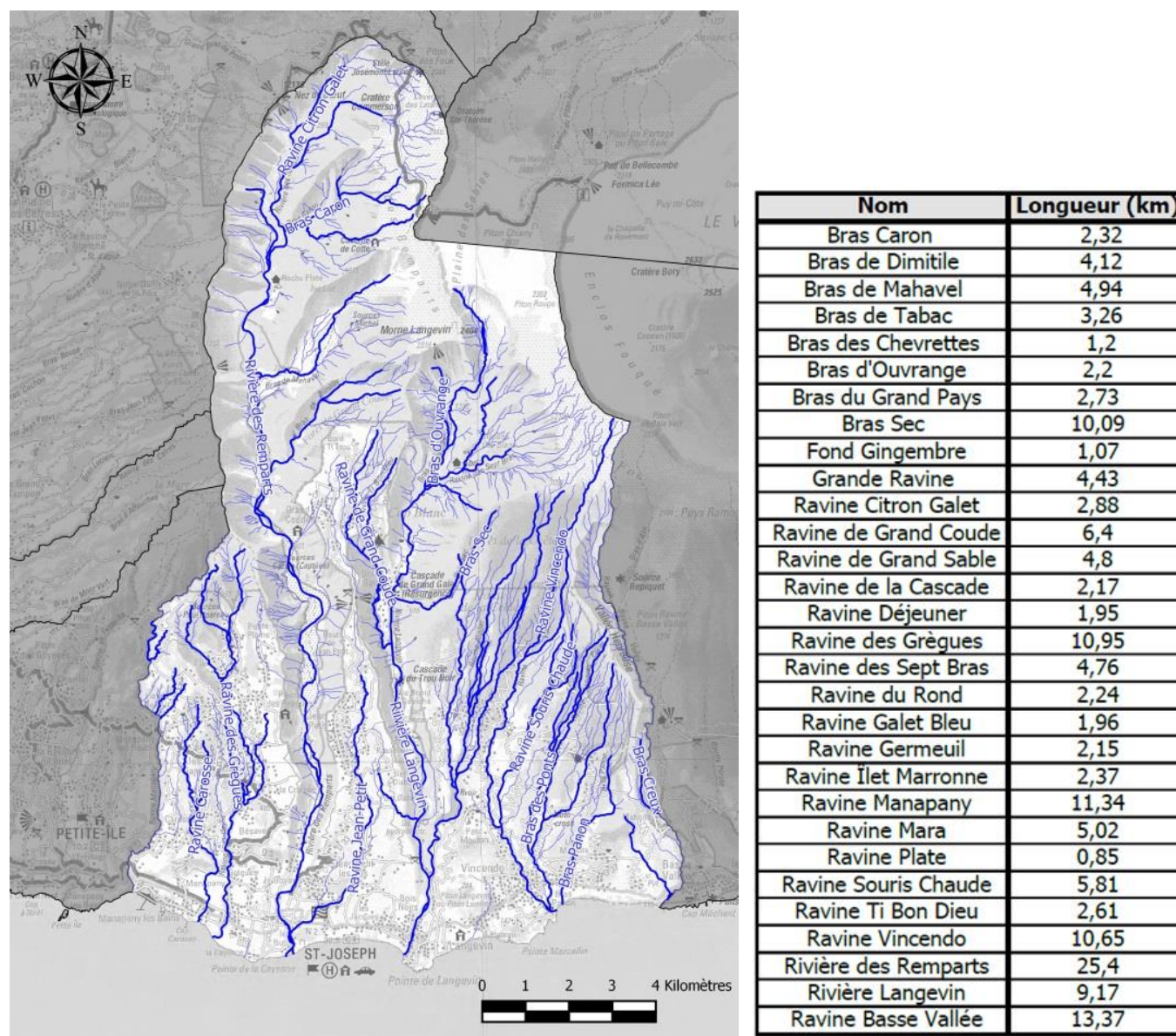


Figure 6 : Réseau hydrographique et liste des principales ravines de la commune de Saint-Joseph (source : BDtopo2012®, fond ©IGN scan100® 2010, Hydrétudes, 2014)

On note cependant des zones à pente quasi-nulle au niveau de la frange littorale et paradoxalement des zones à très fortes pentes (encaissement de remparts d'environ 1000 m). 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, ce qui tend à rendre les phénomènes de crues encore plus intenses.

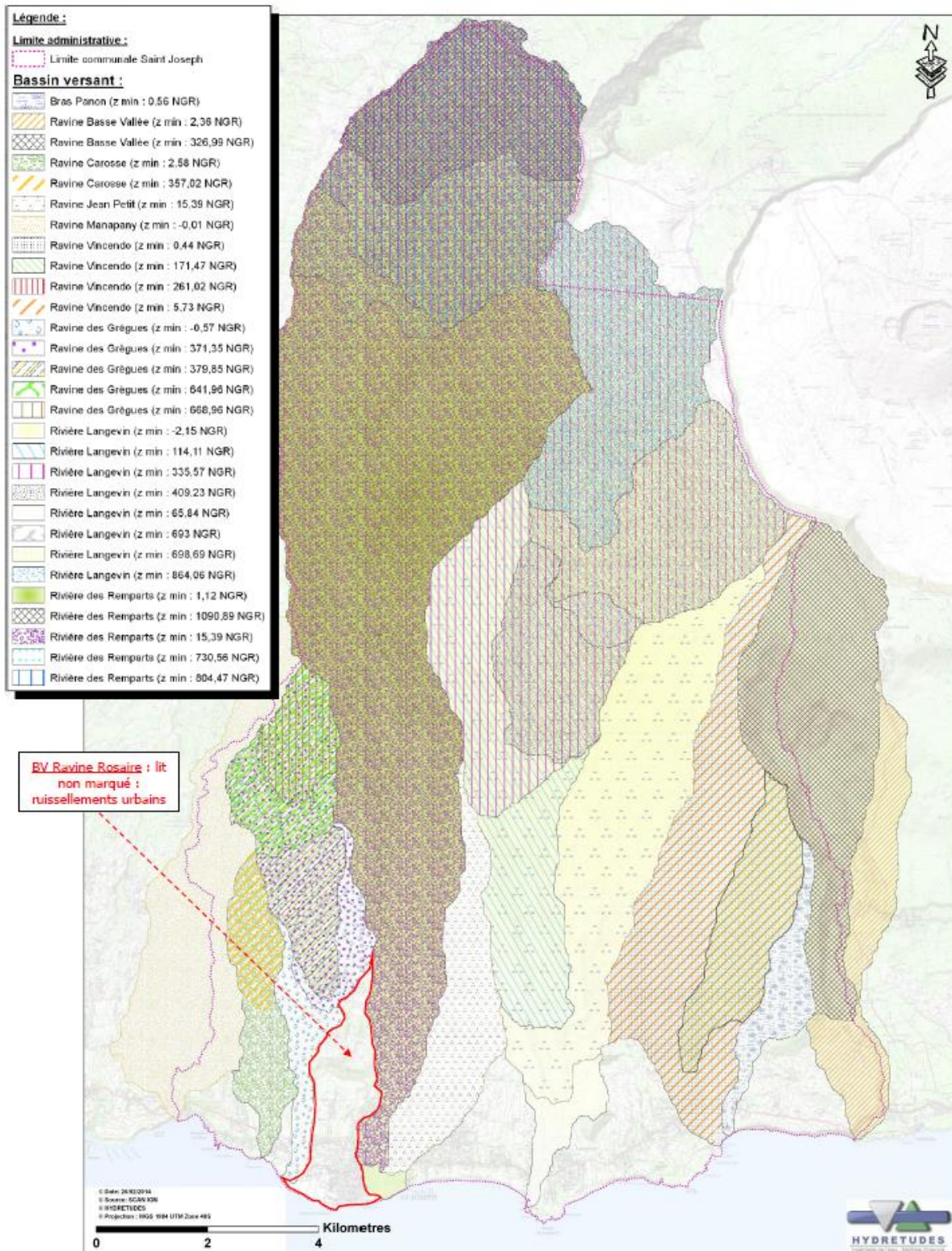


Figure 7 : Cartographie des bassins versants (source Hydrétudes, 2014)

Les principaux cours d'eau qui traverse le territoire de Saint-Joseph correspondent à la Rivière des Remparts et la Rivière Langevin. Les caractéristiques hydrologiques des principaux cours d'eau traversant le territoire communal sont présentés ci-dessous (source Hydrétudes, 2014²).

- **La Rivière des Remparts** se trouve sur le flanc ouest du Piton de la Fournaise. Alors que les pentes du secteur sont dirigées vers l'ouest, la rivière s'écoule du nord vers le sud. Cette anomalie géographique s'explique par un grand glissement de flanc (effondrement) déplaçant un quart du Massif de la Fournaise vers l'océan. Cet événement, qui a eu lieu il y a 290 000 ans, marque le début de la rivière car il a obligé l'eau venant de l'est à couler vers le sud et a donc guidé le creusement de la vallée. Aujourd'hui, cette rivière s'écoule au pied de grands remparts d'une hauteur d'environ 1000 mètres et drainent, avec ses affluents, un bassin versant de 65,79 km². A l'embouchure, le débit de crue centennale est de 1150 m³/s, avec un important transport solide potentiel.
- **La Rivière Langevin** se trouve à l'est de la Rivière des Remparts. L'apparition de cette rivière est plus récente. Elle s'est formée suite au premier effondrement de la Plaine des Sables, il y a 65 000 ans, séparant le Piton de la Fournaise de Grand Coude. Cette rivière prend sa source à 2200 mètres d'altitude près du piton Chisny et draine, avec ses affluents, un bassin versant de 55,23 km². Son débit de crue centennale, calculé à l'aval du pont de la Route Nationale, est de 1280 m³/s ;
- **La Ravine de Bras Sec**, affluent principal de la Rivière Langevin draine un bassin versant de 12,92 km² pour un débit de crue centennale de 342 m³/s à sa confluence avec la Ravine Langevin ;
- **La Ravine de Vincenzo** et son affluent principal **Bras des ponts** drainent un bassin versant de 16,64 km² pour un débit de crue centennale de 277,8 m³/s à l'embouchure ;
- **La Ravine des Grègues** et ses affluents drainent un bassin versant de 10,84 km² pour un débit de crue centennale de 300 m³/s à l'embouchure ;
- **La Ravine Carosse** draine un bassin versant de 3,87 km² pour un débit de crue centennale de 76,1 m³/s à l'embouchure ;
- **La Ravine de Bras Panon** draine un bassin versant de 2,52 km² pour un débit de crue centennale de 49,1 m³/s à l'embouchure ;

Les débits de crues de l'ensemble des ravines du territoire de Saint-Joseph ont été référencés ou évalués par Hydrétudes dans le cadre de la révision du PPRi en cours. Un tableau récapitulatif indique les débits de crues décennale et centennale, ainsi que les débits spécifiques de crues pour chacune des ravines. Les trois rapports produits par Hydrétudes dans le cadre de sa mission de révision des cartes d'aléas inondation du projet de PPR de Saint-Joseph sont fournis en annexe 4 du dossier PPR³.

² Hydrétudes (Avril 2014) - rapport RE13-012/Phase1 /Version2.0 – Révision du PPR Inondation - Rapport d'étude

³ Hydrétudes (Avril 2014) - rapport RE13-012/Phase1 /Version2.0 – Révision du PPR Inondation - Rapport d'étude

Hydrétudes (Septembre 2014) - rapport RE13-012/Phase2 /Version2.2 – Révision du PPR Inondation - Rapport d'étude

Hydrétudes (Novembre 2015) - rapport RE13-012/Phase3 /Version2.0 – Révision du PPR Inondation - Rapport d'étude

Détermination des Intensités pluvieuses de référence								
TOPONYME GRAND BASSIN VERSANT	TOPONYME SOUS BASSIN VERSANT	ID_BD_CARTHAGE (Sous Bassin versant)	Altitude exutoire (m NGR)	Secteur hydrologique	Q 10 (m³/s)	Q 100 (m³/s)	qs10 (m³/s/km²)	qs100 (m³/s/km²)
Rivière des Remparts	Rivière des Remparts	40000100	1	2	450,0	1150,0	8,2	20,9
Rivière Langevin	aval Pont RN	40011090	-2	2	600,0	1280,0	10,9	23,2
Bras Panon	Bras Panon	40020110	1	3	26,3	49,1	10,5	19,6
Ravine Manapany	Ravine Manapany	40620190	0	1	77,6	178,6	7,2	16,6
Ravine Basse Vallée	Ravine Basse Vallée	40020120	0	3	148,6	300,9	8,0	16,3
Ravine Carosse	Ravine Carosse	40620200	3	1	36,2	76,1	9,4	19,7
Ravine des Grègues	Ravine des Grègues	40620210	-1	1	140,0	300,0	13,0	27,8
Ravine Basse Vallée	Bras Creux	40021080	327	3	111,9	223,8	8,5	17,0
Ravine Vincendo	Ravine Souris Chaude	40021010	261	3	84,8	164,8	9,0	17,6
Ravine Vincendo	Ravine Vincendo	40020100	0	3	141,3	277,8	8,5	16,7
Ravine Vincendo	Bras des Ponts	40021030	6	3	141,2	277,4	8,5	16,8
Rivière Langevin	Bras Sec	40011090	66	2	179,0	342,0	3,3	6,4
Rivière Langevin	Ravine Bénitier	40011080	114	2	461,5	2562,2	11,6	64,7
Rivière Langevin	Ravine de Grand Coude	40011060	336	2	424,6	2318,1	12,5	68,1
Rivière Langevin	Ravine Ilet Marronne	40011050	409	2	348,7	1896,6	12,8	69,4
Rivière Langevin	Bras des Chevrettes	40011040	693	2	298,4	1595,1	13,7	73,0
Rivière Langevin	Ravine des Sept Bras	40011020	699	2	286,8	1531,5	13,7	73,3
Rivière Langevin	Bras d'Ouvrange	40011010	864	2	169,6	890,7	14,6	76,8
Rivière des Remparts	Ravine de la Cascade	40001060	731	2	274,1	1461,3	13,8	73,5
Rivière des Remparts	Bras Caron	40001020	804	2	249,1	1314,9	14,3	75,6
Rivière des Remparts	Ravine Citron Galet	40001010	1091	2	140,2	723,0	15,7	80,8
Ravine des Grègues	Ravine Dominique	40621390	371	1	76,1	164,9	8,6	18,5
Ravine des Grègues	Ravine Déjeuner	40621380	380	1	64,5	140,2	8,6	18,6
Ravine des Grègues	Grand Bras Rouge	40621370	642	1	42,0	92,1	9,1	20,0
Ravine des Grègues	Ravine du Rond	40621360	669	1	23,5	51,8	9,6	21,3
Ravine Carosse	Bras Sec	40621350	357	1	20,1	41,5	10,5	21,6
Rivière des Remparts	Ravine Jean Petit	40001100	15	3	34,0	117,0	5,8	19,9
Rivière des Remparts	Rivière des Remparts	40001100	15	2	440,0	1130,0	7,4	19,0
Ravine Vincendo		40021040	6	3	58,6	113,3	9,4	18,2

LEGENDE

Q 10 (m³/s)

610,3

550,1

Débit déterminé par analyse hydrologique

Débit déterminé par étude existante

Secteur hydrologique :

1 : Station Les Lianes

2 : Station La Crête

3 : Station Grand Coude

Figure 8 : Synthèse des connaissances hydrologiques sur le territoire de Saint-Joseph (source Hydrétudes, 2014)

3.1.5. Contexte géologique

Les formations géologiques

a. Le contexte volcanique

La commune de Saint-Joseph s'étend sur le flanc sud du Piton de la Fournaise, volcan actif dont l'édification a commencé il y a 530 ka (milliers d'années).

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

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

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

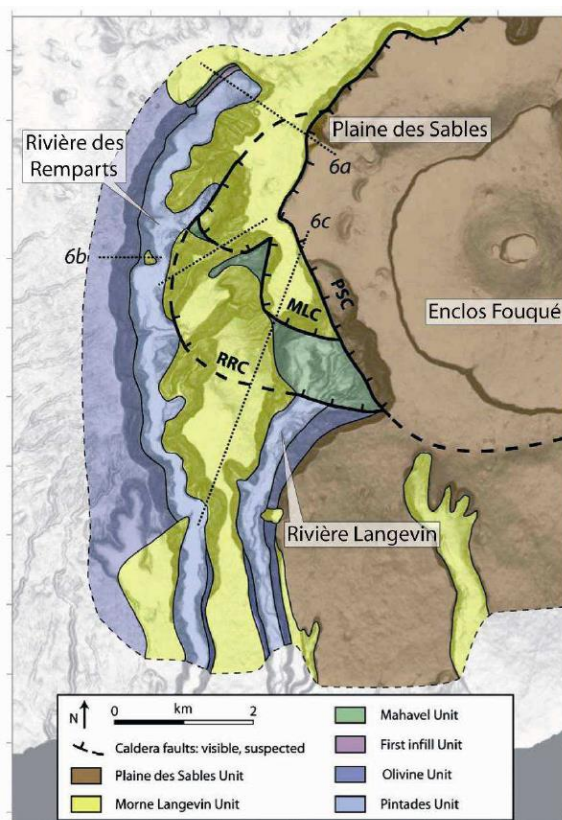
D'un point de vue stratigraphique, l'édification du massif de la Fournaise a été scindée en deux grandes périodes de construction : la période du Bouclier Ancien et celle du Bouclier Récent.

Le Bouclier Ancien (530 ka à 150 ka) comprend deux séries séparées par un événement tectonique majeur, le glissement de la caldeira de la Rivière des Remparts.

- La Série Ancienne comprend des laves datées de 530 à 290 ka (Gillot et al., 1990), subdivisée en deux unités :
 - l'Unité des "**laves pintades**" (530 - 450 ka) correspond à une série différenciée faiblement alcaline (alternance de coulées de basaltes à plagioclases ou Roches Pintades), de basaltes aphyriques, de mugéarites et de basaltes cotectiques ;
 - l'Unité des « **laves à olivine** » (450 - 290 ka), constituée de basaltes à olivine et d'océanites, associés à des basaltes aphyriques et cotectiques.
- La Série du Volcan de Mahavel (290 – 150 ka) comble une grande structure d'érosion dénommée paléo-rivière des Remparts, avec des basaltes à olivine, des océanites, des basaltes aphyriques. Cette formation est cantonnée au fond du bras de Mahavel. Elle s'est mise en place à l'intérieur de la caldeira de la rivière des Remparts (RRC sur la Figure 9).

Le Bouclier Récent (depuis 150 ka) se met en place après la survenance d'un événement tectonique majeur dans l'édification de la Fournaise : le glissement de Grand Coude et par la formation de la caldeira du Morne Langevin, survenus vers 150 ka. Le bouclier récent comprend trois unités laviques de compositions proches (basaltes aphyriques, à olivine et océanites), séparées d'un point de vue chronologique par la formation de caldeiras successives :

- La Série Morne Langevin (150 à 60 ka) ;
- La Série de la Plaine des Sables (60 à 4,5 ka) cantonnées à l'intérieur de la caldeira de même nom qui est datée de 60 ka (PSC en Figure 9) ;
- La Série de l'Enclos Fouqué comprend les laves très récentes mises en place depuis 4,5 ka.



RRC : Caldeira de la Rivière des Remparts.

MLC : Caldeira Morne Langevin.

PSC : Caldeira de la Plaine des Sables.

Figure 9 : Localisation des failles majeures sur la carte géologique simplifiée du flanc Sud-Est du massif du Piton de la Fournaise. (d'après Merle et al., 2010)

Formations superficielles**Dépôts alluviaux**

Fz	Alluvions récentes
Fy	Alluvions anciennes

Dépôts marins

Fm	Alluvions marines
-----------	-------------------

Dépôts gravitaires

E	Eboulis
Cd	Coulées de débris
DG	Dépôts gravitaires

Massif du Piton de la Fournaise

tfp	Pitons
------------	--------

Série volcanique subactuelle (< 5000 ans)

β8	Coulées basaltiques
-----------	---------------------

Série de la plaine des Sables (65 000 à 5000 ans)

β6	Coulées basaltiques
-----------	---------------------

Série des Remparts (15 000 à 65 000 ans)

β5	Coulées basaltiques
-----------	---------------------

Série du bouclier ancien (450 000 à 150 000 ans)

β4	Coulées basaltiques
-----------	---------------------

Série alcaline anté-Fournaise (530 000 à 450 000 ans)

β3	Coulées différenciées
-----------	-----------------------

Figure 10 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de la commune de Saint-Joseph (source : ©BRGM - 2006, fond ©IGN scan100® - 2010)

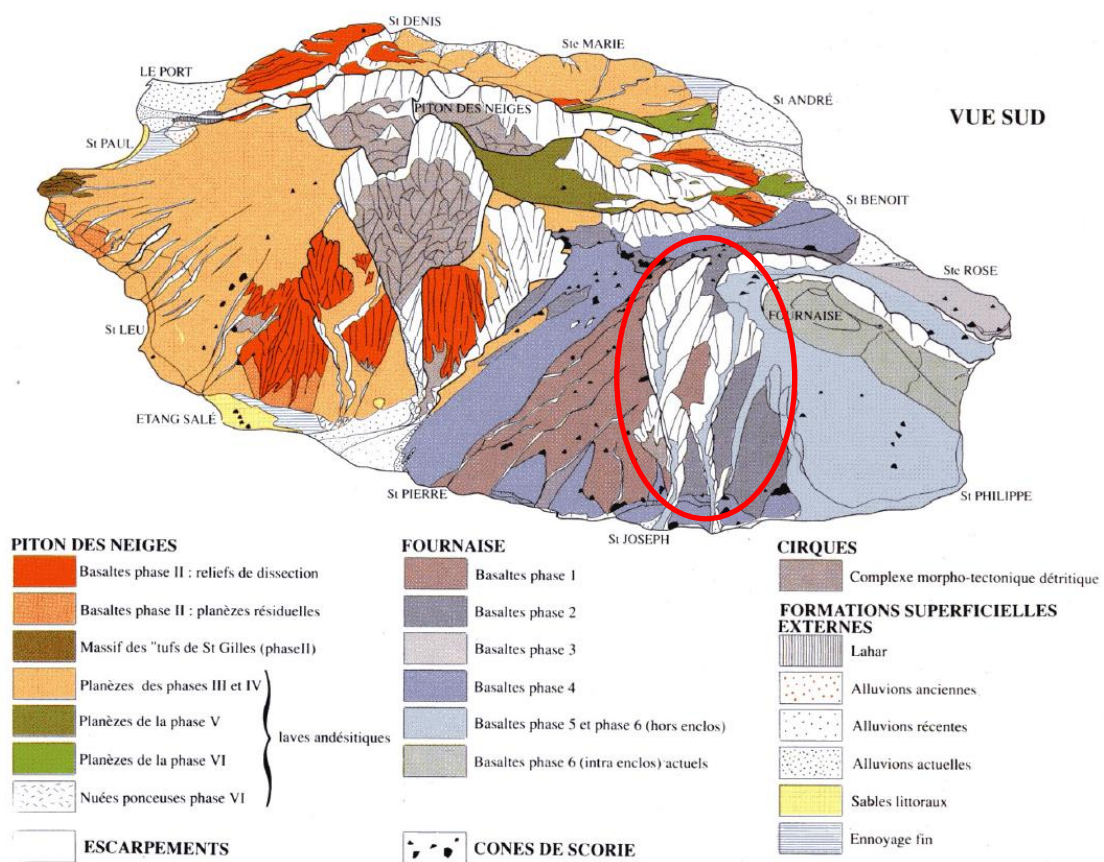


Figure 11 : Perspective morpho-géologique schématique de La Réunion (Raunet, 1991)

b. Les formations volcaniques

✓ Les formations du Bouclier ancien 530 ka à 150 ka

Ces laves très anciennes (530 ka – 450ka), riches en feldspath, n'affleurent que dans le pied des remparts de la rivière des Remparts, en rive gauche et rive droite, depuis le secteur du dépôt jusqu'au fond de la rivière. Les derniers travaux de recherches scientifiques rattachent cette série différenciée au volcan des Alizés⁴, centré sur le Grand Brulé et disparu il y a 450 000 ans.

Les « laves à olivine » également très anciennes (450 ka – 290 ka) ont une répartition géographique différente. Elles affleurent :

- Dans la rivière des Remparts en amont du Bloc (sommet du rempart rive droite ; remparts du Dimitile et du bras de Mahavel) ;
- Au pied des deux remparts de la rivière Langevin, en amont du village de Grand Galet ;
- Sur la planèze ouest de la commune dans le secteur de Carrosse - Les Lianes et dans les reliefs dominant la plaine des Grègues.

Dans ces secteurs, les reliefs sont accidentés (pentes fortes). Les laves de la Série de Mahavel (290 -150 ka) n'apparaissent que dans le fond du bras de Mahavel (cf. Figure 12).

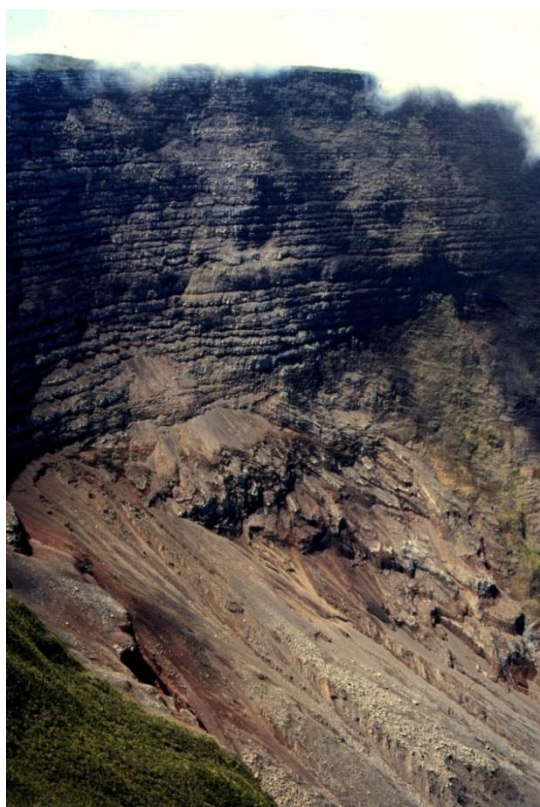


Figure 12 : Le fond du bras de Mahavel – La Série du bouclier ancien est recouverte par les coulées sommitales du bouclier récent

⁴ Pétrologie, géochronologie et géochimie élémentaire et isotopique de laves anciennes de La Réunion : Implications sur la construction de l'édifice volcanique - Thèse soutenue le 31 octobre 2011 - Magali SMIETANA –Université de la Réunion

✓ *Les formations du Bouclier récent (de 150 ka à 5 ka)*

Les formations du Bouclier récent correspondent aux laves rencontrées sur les planèzes de Saint-Joseph. Elles se sont épanchées soit depuis le sommet du volcan (plaine des Remparts, Plaine de Sables), soit depuis les cratères (cônes) disséminées sur les pentes de la commune (cf. Figure 13).

Les formations précoces du bouclier récent (150 - 65 ka) sont majoritaires dans les hauts de la commune. Elles constituent le soubassement géologique des planèzes habitées et cultivées des secteurs de la Plaine des Grègues ; Jean Petit, de Grand Coude ; Vincenzo ; Matouta, La Crête...



Figure 13 : Planèze basaltique récente des hauts de Vincenzo - Matouta. Le piton Bernard en arrière-plan.

Les coulées récentes, rattachées à la Série des Sables (65 – 5 ka) sont localisées en pied de planèzes, sur la fange littorale, en aval des pitons (Manapany, de l'Entonnoir, Richeville, La Mare, Langevin, Bernard). Les coulées se sont épanchées depuis ces cratères parfaitement conservés.

Les coulées sont peu altérées et souvent recouvertes de gratons et de scories.

✓ *Les coulées subactuelles (moins de 5 000 ans)*

Les points d'émission des laves sont localisés sur les hauteurs de la commune (Hauts de la Crête, Plaine des Sables, Plaine des Remparts). Cette activité volcanique très récente est matérialisée par quatre épanchements majeurs sur le territoire communal : les coulées de Vincenzo, de la rivière des Remparts, de la rivière Langevin et de Basse Vallée.

• **Les coulées de la planèze de Vincenzo - La Crête**

Les laves proviennent d'un piton situé à Foc Foc sur le flanc Sud du Piton de la Fournaise, vers 1800 m d'altitude. Les coulées se sont épanchées sur les pentes de la Crête, contournant les pitons existants (Piton Papangue, Piton Langevin, Piton Vincenzo).

- **Les coulées de la rivière des Remparts (2000 ans)**

Issues du cratère du Commerson situé dans la Plaine des Remparts (alt. 2228 m), les laves ont dévalé la rivière des Remparts jusqu'à la côte à Saint-Joseph. Elles ont totalement comblé le fond de vallée en amont de Roche Plate. En aval de Roche Plate, les laves ont comblé partiellement la vallée. Elles affleurent dans la ville de Saint-Joseph, principalement sur la rive droite de la rivière des Remparts, vers les quartiers de Butor Cayenne et sur le littoral (cf. Figure 14). Les coulées recèlent de nombreux tunnels de lave de dimension métrique.



Figure 14 : Coulée de lave très récente de Saint-Joseph, en rive droite de la rivière des Remparts

- **Les coulées de la rivière Langevin (1000 ans)**

Issues du Piton Chisny (alt. 2439 m) dans la plaine des Sables, elles affleurent dans la vallée de la rivière Langevin sur tout son cours depuis Grand Pays en amont du village de Grand Galet jusqu'au la Pointe Langevin où elles ont rejoint l'océan. Les coulées sont visibles sur tout le cours de la rivière Langevin, dans les talus de la route et dans le lit de la rivière. Elles recouvrent les alluvions et éboulis qui occupaient le fond de vallée.

- **Les coulées de Basse Vallée**

Les laves se sont épanchées depuis les Puy Ramond à l'altitude vers l'altitude 2100 m dans la vallée Heureuse puis jusqu'au littoral de Basse Vallée et le Baril.

Toutes ces coulées de laves très fluides et très récentes présentent un état de fraîcheur identique aux coulées que l'on peut rencontrer sur le volcan actif. Les laves sont très saines non altérées. Elles sont riches en gratons avec des cœurs laviques d'épaisseur irrégulière, de quelques décimètres à plusieurs mètres.

Les formations pyroclastiques

a. Les cônes stromboliens

Les pitons sont nombreux sur la commune de Saint-Joseph depuis le littoral jusqu'aux plaines de hautes altitudes. Leur construction résulte d'activités explosives depuis les cratères adventifs situés sur les flancs du volcan ou depuis les plaines sommitales. Ces cônes ont des morphologies très variées : cônes emboîtés, aplatis, égueulés.

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

Par le passé, les pitons de scories ont pratiquement tous été exploités (pitons Babet, La Mare, Richeville, Matouta, Carosse, Langevin ...). Les scories étaient utilisées pour l'empierrement des chemins. Les fronts d'exploitation de ces carrières abandonnées sont souvent instables et dangereuses.

b. Les tufs du Cap Jaune

Les tufs du Cap Jaune constituent un site géologique remarquable de la commune de Saint-Joseph. Cette formation est constituée de hyaloclastites, c'est à dire des projections basaltiques qui se sont réalisées en présence d'eau (avec un ratio eau/magma modéré). Le volcan de Vincenzo s'est mis en place probablement à une faible profondeur d'eau, ou bien, le magma a interagi avec le biseau d'eau salée. Dans ces deux cas, l'interaction eau/magma a rendu le dynamisme éruptif explosif (éruption de type surtseyen), mais surtout a permis au verre volcanique des projections de s'altérer en une argile ocre, la palagonite, au contact de l'eau de mer (c'est la palagonite qui donne la couleur jaune des dépôts). Difficilement accessibles, ils affleurent en bordure de mer à Vincenzo, vers la pointe Marcellin. Ces dépôts localisés, fins et lités, épais de 30 mètres environ, sont les témoins de la grande diversité géologique du soubassement de la commune de Saint- Joseph et de sa complexité.

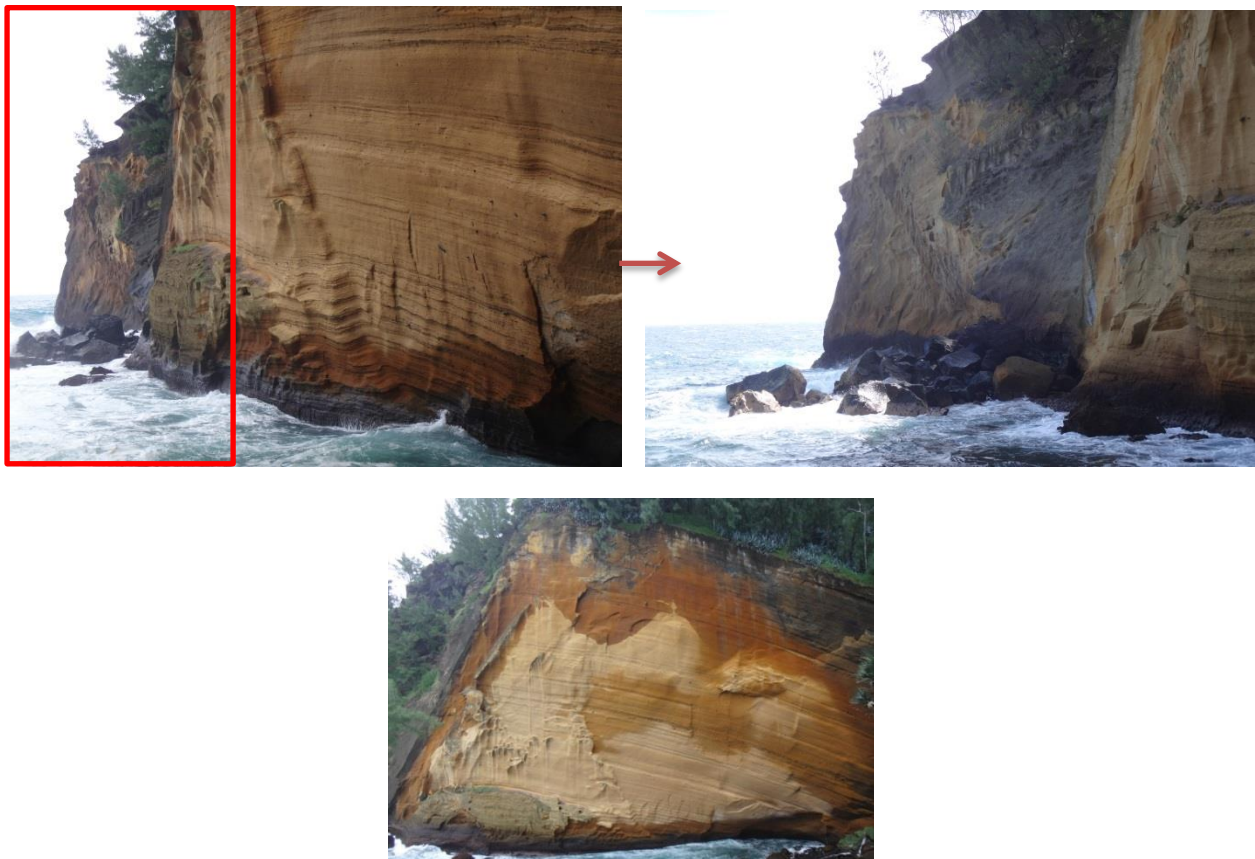


Figure 15 : Hyaloclastites du Cap Jaune et éboulement

Les formations sédimentaires

a. Les dépôts gravitaires

Il s'agit de masses de matériaux qui se sont mises en place par gravité (éboulements en masse, paquets glissés, avalanche de débris). Ce processus de mise en place se distingue des autres puisque que le facteur principal qui influence le transport des masses n'est pas l'eau, mais uniquement la gravité.

Ces masses de matériaux sont décrits en tant que « paquets glissés » par M. Humbert en 1986⁵, produits d'épandage (PE) par G. Billard 1971 (carte géologique 50 000^{ème}), ou encore, formation superficielle sur la carte géologique au 100 000^{ème} de 2006.

L'âge de ces dépôts reste indéterminé. Certains ont pu se mettre en place avant le dépôt des séries volcaniques récentes, avant 150 000 ans. D'autres sont récentes, quelques milliers d'années.

D'un point de vue stabilité, il s'agit de matériaux d'aspect bréchique, contenant des blocs disloqués et très fracturés (Figure 16). Ils sont sensibles à l'érosion (affouillables).



Figure 16 : Exemple de matériau rocheux disloqué et fragmenté ; Dépôt gravitaire en aval de la confluence du Bras de Mahavel à Piton de l'Îlet

b. Les coulées de débris

Ces dépôts couramment dénommés « coulées de boues » se mettent en place lors de fortes pluies dans les tronçons de cours d'eau où se sont accumulés les matériaux issus des grands éboulements. Des coulées de débris récentes se sont déclenchées dans les déblais du bras de Mahavel et se sont propagées dans le lit de la rivière des Remparts jusqu'au bras du Dimitile (2002). Les dépôts généralement cimentés et d'épaisseur métrique s'apparentent à une brèche (éléments anguleux emballés dans une matrice fine - Figure 17). Ils peuvent être observés dans les terrasses alluvionnaires anciennes des rivières des Remparts et Langevin ou sur leurs affluents.

⁵ Humbert M. – Rapport Brgm 86 SGN 132 GEG – mars 1986 - Les systèmes érosifs des grandes ravines « au Vent » à l'île de La Réunion 86 SGN 132 GEG – mars 1986



Figure 17 : Coulée de débris de Grande Ilet dans la Rivière des Remparts

c. Les alluvions anciennes

Les alluvions anciennes, notées Fy sur la carte géologique au 1/50 000^{ème} (G. Billard 1974), sont présentes dans les vallées de la rivière des Remparts et Langevin, à leur débouché et tout au long de leurs cours où elles forment des terrasses hautes, surélevées de plusieurs dizaines de mètres.

Elles affleurent dans le centre-ville de Saint-Joseph, dans la berge en rive gauche de la rivière des Remparts (Figure 18). Leur puissance atteint localement la quarantaine de mètres. En rive droite, elles sont recouvertes et masquées par les coulées de laves récentes du Commerson.

Sur le cours des deux rivières, les dépôts alluvionnaires anciens ont été largement repris par l'érosion. Là où elles ont été préservées de l'érosion, elles forment des banquettes adossées au pied des remparts. Ces plateaux résiduels sont visibles dans la vallée de la rivière des Remparts vers le Bloc, vers le Dimitile. Dans la vallée de la rivière Langevin, elles affleurent à l'entrée du village de Grand Galet où elles ont été recouvertes par les coulées de laves récentes du Chisny.

Les dépôts alluvionnaires anciens sont souvent recouverts par les éboulis. Leur extension est très limitée, métrique à décamétrique si bien que les dépôts n'apparaissent pas sur les cartes géologiques. Cependant, elles sont omniprésentes dans les deux vallées et jouent un rôle primordial sur la stabilité des plateaux et des berges des rivières.

Les alluvions anciennes sont sablo-grossières avec des galets de taille décimétrique à métrique. Elles renferment localement des horizons sableux, limoneux argileux (sub-lacustres). Généralement, elles sont légèrement cimentées et de couleur gris - jaunâtre. Leur cohésion leur confère une relative bonne tenue en talus. Elles restent toutefois très sensibles à l'érosion et aux affouillements par les crues des rivières (affaissements de berges de la rivière des Remparts à Saint-Joseph, glissement de terrain à l'entrée du village de Grand Galet).



Figure 18 : Alluvions anciennes en rive gauche de la rivière des Remparts à Saint Joseph

d. Les alluvions récentes

Elles sont abondantes dans le lit de la rivière des Remparts. Elles proviennent du remaniement des matériaux éboulés, notamment des matériaux issus des éboulements de grande ampleur de Mahavel (Figure 19). En 1965, le volume de matériaux éboulés a été estimé à 50 millions de m³ environ. En 1996 et 2001, de nouveaux éboulements se sont produits, avec un volume mobilisé estimé à 20 millions de m³ (Etude PGRI 2009).

Les alluvions récentes sont plus rares dans le lit de la rivière Langevin puisque son lit a été quasiment en totalité recouvert de laves récentes, il y a 1000 ans. La rivière charrie actuellement peu d'alluvions. En revanche, ses affluents continuent de l'alimenter en alluvions. Tel est le cas du bras de Grand Coude au droit du village de Grand Galet.

Les alluvions transportées lors des crues sont fluvio-torrentielles, grossières, mal triées, sableuses. Leur cohésion est nulle.



Figure 19 : Alluvions récentes de la rivière des Remparts - Le Coteau de Bloc (Cliché 2007)

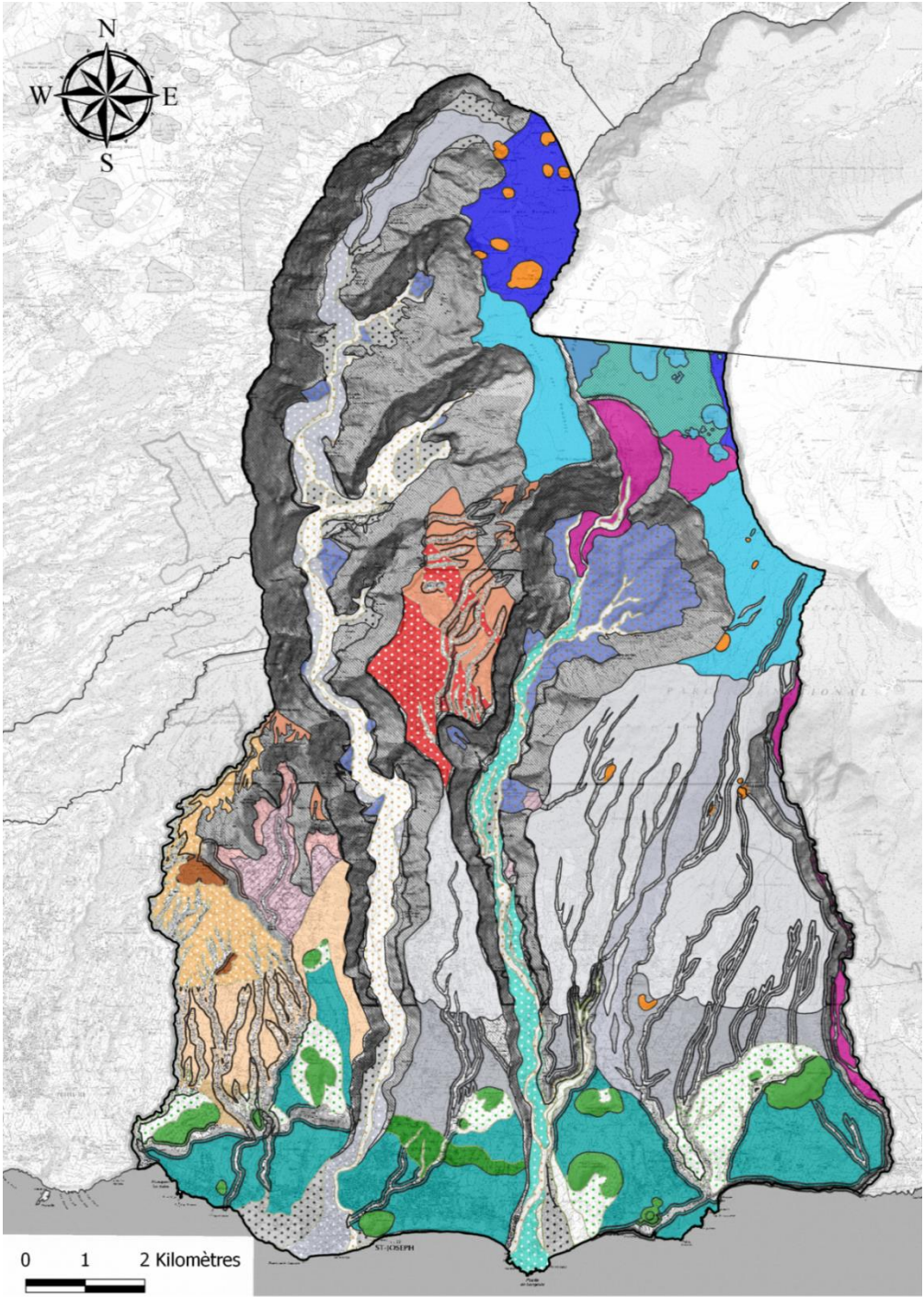
3.1.6. Contexte pédologique

Les sols

L'ensemble des séries volcaniques, à part les coulées les plus récentes, présente une altération météorique poussée (action des eaux en milieu tropical) affectant 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, ont subi plusieurs cycles d'altération et sont, de ce fait, plus altérés. Des sols se sont donc développés à partir de ces formations géologiques.

D'après la Figure 20, 8 grands ensembles se distinguent sur le territoire communal de Saint-Joseph :

- ✓ **Les andosols** sont des sols noirs fertiles riches en matière organique qui se retrouvent essentiellement sur les planèzes (Plaine des Grègues, Jean-Petit, les Hauts de la Crête, la Plaine des Remparts) ;
- ✓ **Des cônes volcaniques ou pitons** sont répartis sur l'ensemble de la commune avec au sud, les Pitons de Manapany, le Piton Babet, le Piton Langevin, le Piton Vicendo et le Piton Bernard et au nord, le Cratère Commerson, le Puy du Pas des Sables, le Piton Chisny et le Piton Rouge. A proximité des pitons, on retrouve souvent des projections pyroclastiques telles que des cônes de scories basaltiques et des cendres (lapilli).
- ✓ **Les dalles fissurées** sont présentes sur la Plaine des Sables.
- ✓ **Les coulées en gratons**, aussi appelées coulées de type aa, sont formées de blocs déchiquetés et scoriacés et apparaissent au niveau de la Rivière des Remparts, ainsi qu'à l'ouest entre la ravine de la Mare et la ravine Vincendo.
- ✓ **Les lapillis** correspondent à des couches meubles formées d'un amas de cendres volcaniques. On en retrouve au nord-ouest de la commune au pied du Rempart des Sables.
- ✓ **Les sables et les galets** sont charriés par les rivières (rivière des Remparts et rivière Langevin).
- ✓ **Les sols bruns** sont essentiellement présents au sud de la commune là où la majorité des terres agricoles et des habitations sont implantées.
- ✓ **Les sols peu épais ou peu évolués** sont des sols récents peu altérés. On les retrouve surtout au niveau du bassin de réception de la rivière Langevin, à l'est de la Pointe de Langevin et à l'ouest de la Pointe de la Cayenne.



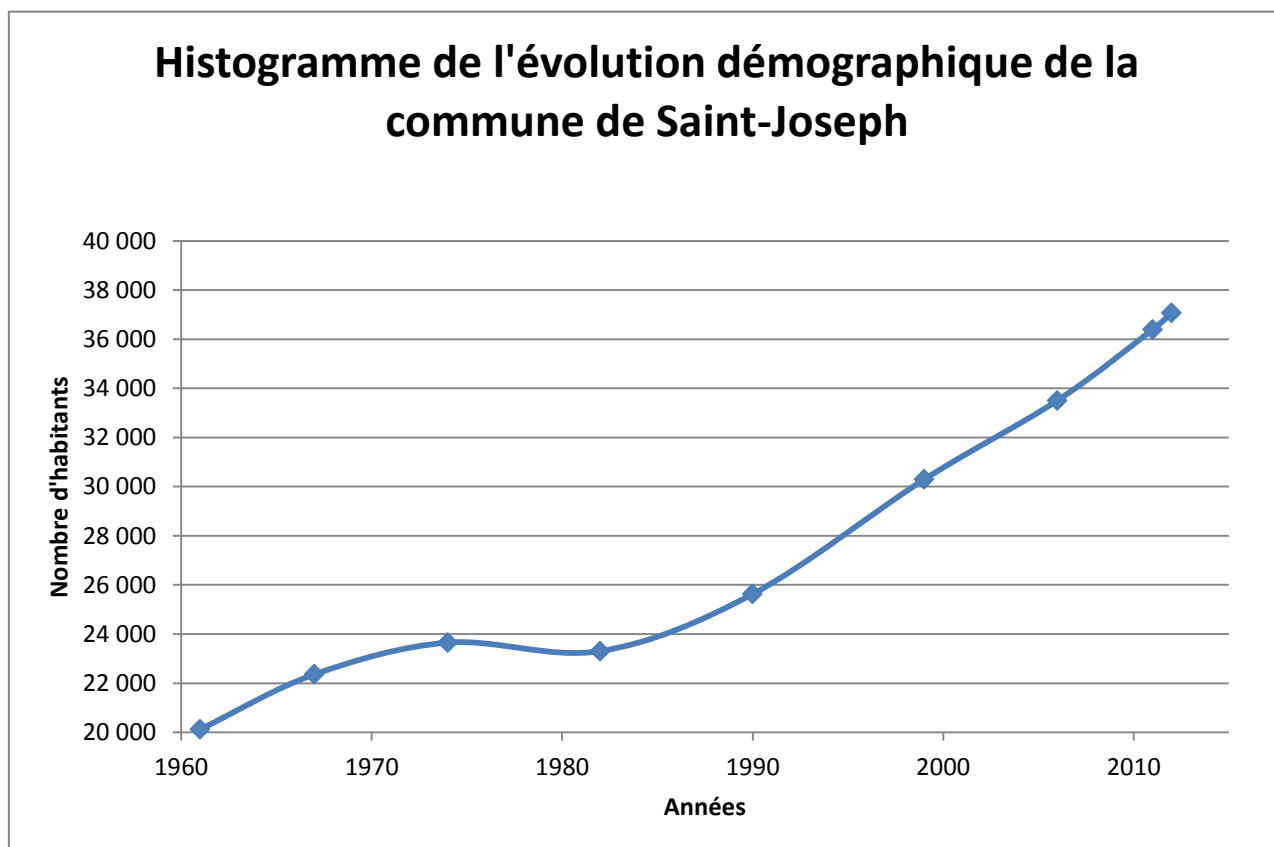
Légende

-  Andosols désaturés non perhydratés chromiques sur cendres épaisses (pentes faibles)
-  Andosols désaturés non perhydratés chromiques sur cendres épaisses (pentes fortes)
-  Andosols désaturés non perhydratés chromiques très caillouteux sur brèches détritiques (pentes faibles)
-  Andosols désaturés non perhydratés, chromiques sur cendres assez épaisses associés à des affleurements de gratons
-  Andosols désaturés perhydratés chromiques à 'mascareignite' sur cendres
-  Andosols désaturés perhydratés chromiques sur cendres assez épaisses, associés à des affleurements de gratons (pentes faibles)
-  Andosols désaturés perhydratés chromiques sur cendres assez épaisses, associés à des affleurements de graton (pentes fortes)
-  Andosols désaturés perhydratés, chromiques sur cendres (80-100 cm) associés à des affleurements de gratons (pentes fortes)
-  Andosols perhydratés chromiques sur matériau argilo-blocailleux
-  Andosols vitriques chromiques profonds
-  Andosols vitriques peu épais très discontinus à mor acide (placages de lapilli et cendres sur dalles disloquées)
-  Andosols vitriques peu épais très discontinus à mor acide (poches de cendres et blocailles)
-  Coulées brutes en gratons (pentes faibles)
-  Coulées brutes en gratons (pentes fortes)
-  Cônes volcaniques phase actuelle Fournaise (océanites, basaltes à olivine)
-  Cônes volcaniques phases sub-actuelle et actuelle Fournaise (- de 5000 ans; océanites, basaltes à olivine)
-  Cônes volcaniques phase récente Fournaise (- de 8000 ans; océanites, basaltes à olivine)
-  Cônes volcaniques phase intermédiaire Fournaise (200000 à 8000 ans; océanites, basalte à olivine)
-  Cônes volcaniques phase ancienne Fournaise (250000 ans; océanites, basaltes à olivine)
-  Dalles fissurées
-  Escarpements volcano-tectoniques ou intra-îlets, ravines, talus, anciennes falaises littorales moulées par des coulées postérieures
-  Grands escarpements à dissection et effondrements (tectonique post-volcanique)
-  Gratons à très faible dégradation superficielle: sols peu évolués lithiques humifères (pentes faibles)
-  Gratons à très faible dégradation superficielle: sols peu évolués lithiques humifères (pentes fortes)
-  Lapilli
-  Sables et galets submersibles
-  Sols bruns andiques caillouteux sur coulées 'AA' et poches de cendres associés à de nombreux gratons
-  Sols bruns andiques épais sur cendres, parfois sur tufs
-  Sols bruns caillouteux
-  Sols bruns caillouteux très peu épais sur coulées 'AA'; blocailles de toutes tailles
-  Sols bruns épais sur cendres associés à quelques ressauts rocheux (pentes fortes)
-  Sols peu différenciés vitriques sur sables basaltiques et gros galets non altérés
-  Sols peu épais blocailleux sur colluvions de transit

*Figure 20 : Carte morpho-pédologique à l'échelle du 1/50 000
(source : ©CIRAD (Raunet, 1991), fond ©IGN scan100® - 2010)*

3.2. ENJEUX ET VULNERABILITE

Évaluée à 20 127 personnes en 1961, la population de Saint-Joseph a connu une stagnation dans les années 1970, suivi d'une importante augmentation, pour atteindre en 2012 une population de 37 069 habitants (correspondant à un accroissement démographique de près de 85 % en 50 ans) (Tableau 6).



Année	1961	1967	1974	1982	1990	1999	2006	2011	2012
Nombre d'habitants	20 127	22 361	23 653	23 307	25 630	30 293	33 509	36 401	37 069
Densité moyenne (hab/km²)	112,7	125,3	132,5	130,6	143,6	170	187,7	203,9	207,7

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

La densité démographique lors du recensement de 2012 était de 207,7 hab./km², contre 332 hab. /km² sur l'ensemble de l'île de La Réunion.

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

- le secteur urbain majeur se développant en bordure de la route nationale 2 (R.N.2), le long du littoral, le centre-ville de Saint-Joseph, les quartiers de Manapany, Langevin et Vincendo.
- les écarts habités, plus ou moins urbanisés, correspondant en particulier (liste non exhaustive) :
 - au secteur « Carrosse - La Croisée – Les Lianes - Lianes Bel-Air - L'Îlet - La Plaine des Grègues » ;
 - au secteur « La Passerelle - Grand Galet » ;
 - au secteur « Jean Petit - Grand Coude » ;
 - au secteur « La Crête - Jacques Payet ».

Le parc de logement s'établissait en 2012 à 15 050 unités (constitué à 91 % de résidences principales), soit une augmentation de 29 % depuis le recensement de 1999 et de 206 % depuis 1968, illustrant une très forte pression foncière existant sur la commune de Saint-Joseph.

Outre le bâti, les principaux enjeux qui ont été répertoriés et cartographiés dans l'étude B.R.G.M. 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, clinique et hôpitaux) ;
- les espaces communaux, les Z.A.C., les zones d'insalubrité (R.H.I.) ;
- les voies de circulation (RN2, RD3, RD32, RD33, RD34, RD37) ;
- 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.

L'occupation du sol est caractérisée par une importante activité agricole qui représente un enjeu économique majeur. Le milieu physique naturel qui couvre le reste du territoire communal représente un enjeu environnemental et est notamment caractérisé dans les Hauts de la commune par le Parc National de la Réunion.

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

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-Joseph 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-Joseph 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 événements les plus marquants sont donnés ci-après (les références bibliographiques complètes des rapports BRGM sont fournies au chapitre 7 de la présente note) :

1965

A 4h50, un pan de montagne s'était effondré à hauteur du Bras de Mahavel et l'énorme glissement de terrain formait un barrage au fond de la vallée, retenant les eaux de la rivière des Remparts et de ses affluents. Le lac de boue d'une centaine de mètres de long et d'une profondeur indéterminée ainsi créée allait-il longtemps être contenu par le barrage. A tout instant, une brèche pouvait se produire, libérant alors un torrent d'eau et de boue susceptible de balayer les hameaux de Roche Plate et Dimitile.

Le Journal de l'île de La Réunion, 7 mai 1965

1980

Dans la nuit de samedi à dimanche, une case de la Crête, en partie suspendue au-dessus du vide à la suite d'un éboulement, a été évacuée.

Le Journal de l'île de La Réunion, 21 janvier 1980

Cyclone "Hyacinthe" : La partie basse de la ville (...) était inondée et nombre de commerçants ont subi les assauts des flots. Mais c'est le réseau des chemins communaux qui a le plus souffert (...).

JIR, 20 Janvier 1980

Les frères Defla, qui habitent sur la route de Petite-Ile à Saint-Joseph, ont échappé de justesse à la noyade. Par bonheur, le plus jeune, Jacky, s'est réveillé vers minuit et, constatant que l'eau de la ravine toute proche entraînait dans la maison, a fait lever ses aînés. (...) Quelques minutes plus tard, l'eau envahissait la case et l'emportait.

Le Quotidien, 21 janvier 1980

1989

Cyclone "Firinga" : La situation catastrophique est sans précédent. Les rivières de Remparts, Langevin et Jean-Petit sont sorties de leurs lits envahissant les cases construites sur leurs rives. Les maisons détruites ou endommagées se comptent par dizaines. Un disparu.

Rapport BRGM/89-REU-14

Toutes les ravines et rivières coulé et dans des proportions rarement atteintes ces dernières années. La rivière des Remparts a entamé la derrière l'hôpital. La ravine Vincendo, sortie de son lit, a traversé la cité qui se trouve en contrebas (...). On recense entre 5 et 600 maisons sérieusement endommagées ou détruites entièrement et entre 2000 et 2500 sinistrés.

Le Quotidien, 1^{er} février 1989

1994

Deux personnes tuées sur la route d'accès menant à Grand Galet suite à des chutes de blocs.

Rapport BRGM/RP-64111-FR

1996

Lors du passage de la dépression Daniella (cyclone tropical intense), des chutes de pierres et ravinements se sont produits au niveau de la RN2 à Manapany.

Rapport BRGM/97-REU-037

1998

Il était un peu plus de 20 heures 30, hier soir, lorsqu'un énorme bloc de basalte s'est abattu sur une case en bois-sous-tôle à l'entrée de la route de la passerelle, à Langevin. Un couple d'octogénaires a été surpris dans son sommeil. Marie-Léone Audit, 84 ans, a été tuée sur le coup et Jean- Emmanuel, son mari, blessé à la tête.

Le Journal de l'île de La Réunion, 28 mars 1998

2002

Cyclone "Dina" : La commune de Saint-Joseph a été très touchée par le passage du cyclone, notamment au niveau des rivières des Remparts et Langevin : 22 mouvements de terrain ont été recensés dont deux d'ampleur kilométrique.

Rapport BRGM/RP-51567-FR

2009

Vers 5h du matin, un éboulement de 400 m³ s'est produit dans le rempart en rive droite face au village du Grand Défriché. Des blocs éparpillés sur plus de 100 m et pour certains présentant un volume supérieur à 1 m³, ont barré la route en pied. Certains blocs ont atteint la rivière.

Note technique BRGM/NT-2011-004

Des pluies importantes continuent de s'abattre sur La Réunion et en particulier sur la région de Saint-Joseph (Sud) ce lundi matin 6 avril 2009. Plusieurs éboulis et glissements de terrains se sont produits dans cette zone. Dans le centre-ville, submergé par le débordement de la ravine Jean-Petit, ainsi que dans les écarts et les hauts de Saint-Joseph, de nombreuses habitations ont été inondées. Des coulées de boue ont traversé des maisons. Des familles ont dû être évacuées.

Article du Lundi 6 avril 2009 – IMAZPRESS - <http://www.ipreunion.com/>

Un éboulement s'est produit dans le rempart rive droite de la Rivière Langevin à 500 m environ au Sud d'Ilet à Diable. Le volume de l'éboulement a été estimé à environ 25 000 m³.

Rapport BRGM/RP-58701-FR

2010

Le samedi soir, 4 septembre 2010, vers 23 h, un éboulement d'environ 60 t (dont un bloc de 40 à 50 t – cf. Figure 2 et Figure 4) est survenu dans les rampes de Basse Vallée ne causant pas de blessé et seulement des dégâts relativement mineurs eu égard au volume effondré.

Rapport BRGM/RP-58907-FR

2011

Secteur de la Passerelle : Le dimanche 13 Février 2011, vers 14h30, deux blocs de plus d'une tonne chacun ont atteint la chaussée en extrémité Nord de l'écran en gabion. Plusieurs évènements de type chutes de blocs ont eu lieu (1994, 2009, 3 évènements en 2010 dont un causant le décès d'un des passagers d'un véhicule percuté).

Rapport BRGM/RP-59588-FR

2014 – village de la Passerelle

Le 09 novembre 2014, de nouvelles chutes de blocs se sont produites suite à un épisode pluvieux. Plusieurs blocs de l'ordre du m³ (2-3 tonnes) sont arrivés jusque derrière les habitations et le terrain de sport et selon les témoignages, des éclats de roches auraient atteint des habitations (au-delà de la première rangée de maison, à plus de 75 m du pied de rempart). Par ailleurs, ce serait la 3ème fois en 3 ans que des éclats sont projetés à une telle distance du pied de rempart, toujours selon les témoignages des habitants.

Rapport BRGM/RP-64111-FR

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
<i>Inondations, coulées de boue, glissements et chocs mécaniques liés à l'action des vagues</i>	18/01/1993	20/01/1993	18/05/1993	12/06/1993
<i>Inondations et coulées de boue</i>	27/02/1993	03/03/1993	14/06/1993	27/06/1993
<i>Inondations et coulées de boue</i>	10/02/1994	12/02/1994	12/04/1994	23/04/1994
<i>Inondations et coulées de boue</i>	22/01/2002	23/01/2002	08/04/2002	18/04/2002
<i>Mouvements de terrain</i>	22/01/2002	23/01/2002	08/04/2002	18/04/2002
<i>Inondations et coulées de boue</i>	24/02/2007	26/02/2007	23/03/2007	28/03/2007
<i>Inondations et coulées de boue</i>	05/04/2009	07/04/2009	25/06/2009	01/07/2009
<i>Inondations et coulées de boue</i>	02/01/2013	03/01/2013	18/04/2013	25/04/2013
<i>Mouvements de terrain</i>	31/12/2013	03/01/2014	22/04/2014	26/04/2014
<i>Inondations et coulées de boue</i>	02/01/2014	02/01/2014	17/01/2014	18/01/2014
<i>Inondations et coulées de boue</i>	02/01/2014	03/01/2014	17/01/2014	18/01/2014

Tableau 7 : Liste des arrêtés de catastrophes naturelle sur la commune de Saint-Joseph (source : www.prim.net - Portail de la Prévention des Risques majeurs du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie)

Les ouvrages généraux de Météo-France (Soler, 1997 et Mayoka, 1998) indiquent les cyclones majeurs ayant concernés La Réunion, et plus ou moins directement Saint-Joseph, depuis 1980 (cf. Tableau 8).

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 8 : 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-Joseph 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 météoriques 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).

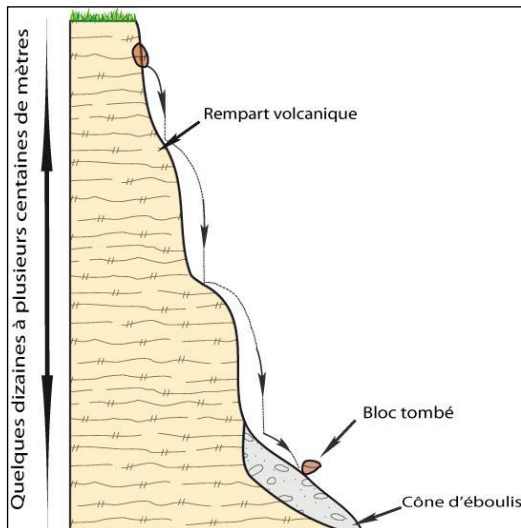


Figure 21 : Chute d'un bloc isolé

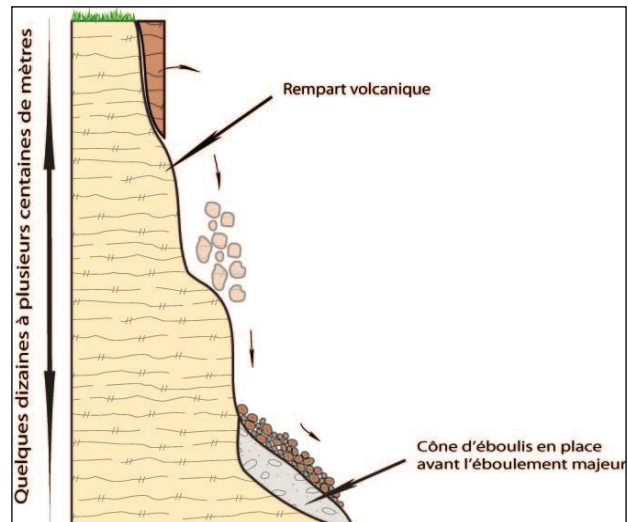


Figure 22 : Eboulement

Sur la commune de Saint-Joseph, ces phénomènes sont fréquents et se produisent dans tous les remparts délimitant les grandes rivières et les ravines. Ils surviennent aussi bien en saison sèche qu'en saison humide. Les plus dangereux et les plus meurtriers se sont produits dans la vallée de la rivière Langevin et notamment sur la route de Grand Galet.

Les éboulements et chutes de pierres alimentent les éboulis en pied d'escarpement (Figure 23). Ces dépôts sont visibles au pied des remparts, mais aussi au pied des reliefs entourant la plaine des Grègues, dans les petits escarpements présents sur les planèzes, dans les berges des rivières et des ravines et sur le trait de côte.

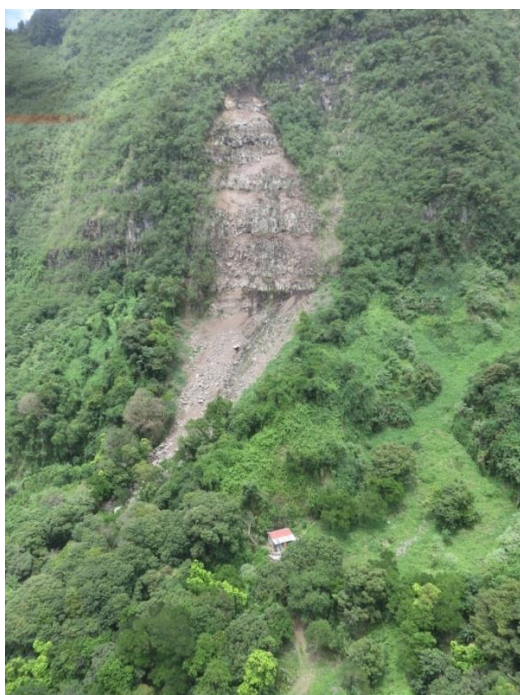


Figure 23 : Eboulement dans le rempart rive droite de la rivière des Remparts

Exemples de manifestations rencontrées :

- **Chutes de blocs**

Après de multiples évènements en 2010 et 2011 (cf. Figure 24, Nédellec, 2011⁶), le 9 novembre 2014, suite à un épisode pluvieux, de nouvelles chutes de blocs se sont produites dans le secteur du Village de La Passerelle dans le lit de la Rivière Langevin (cf. Figure 25, Bès de Berc, 2014⁷). Plusieurs blocs de l'ordre du m³ sont arrivés jusqu'à l'arrière des habitations et du terrain de sport et selon les témoignages, des éclats de roches auraient atteint les habitations.



Figure 24 : Couloir de propagation des blocs au niveau du secteur de la Passerelle – Route d'accès à Grand Galet – événements de 2010 et 2011



Figure 25 : Chutes de blocs dans le secteur de la Passerelle en 2014

- **Versants de ravines encaissées (ou remparts)**

En décembre 2009, un éboulement en très grande masse (environ 25 000 m³) est survenu dans le rempart rive droite de la Rivière Langevin à 500 mètres au sud d'Ilet à Diable. L'instabilité a pris naissance en tête de rempart laissant une cicatrice d'arrachement qui s'étend sur une largeur de

⁶ J.L. Nédellec (2011) – Diagnostic géologique sur le rempart rive droite de la Rivière Langevin –secteur de La Passerelle (Saint-Joseph) - Inspection du 14 Février 2011 - Rapport BRGM/RP-59588-FR, 9 p., 5 fig.

⁷ Bès de Berc S. (2014) – Contre-expertise d'urgence à La Passerelle, suite aux chutes de blocs du 09 Novembre 2014, à l'expertise de SEGC du 10/11/14 et au rapport de SAGE Ingénierie. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-64111-FR. 190 p., 19 fig., 4 annexes.

150 mètres. L'éboulement a généré en pied de rempart (terres agricoles) un vaste glacis d'éboulis (cf. Figure 26, C. Garnier / F. Delabrosse (2010)⁸).



Figure 26 : Eboulement de 2009 en rive droite de la Rivière Langevin vue depuis l'habitation la plus proche

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.

⁸ C. Garnier / F. Delabrosse (2010) – Diagnostic géologique suite à un éboulement survenu dans le rempart rive droite de la Rivière Langevin, vers l'Ilet à Diable - visite du 15/06/10 – Note technique BRGM/SGR/REU/NT-2010-064. Rapport BRGM/RP-58701-FR. 11 p., 9 fig.).

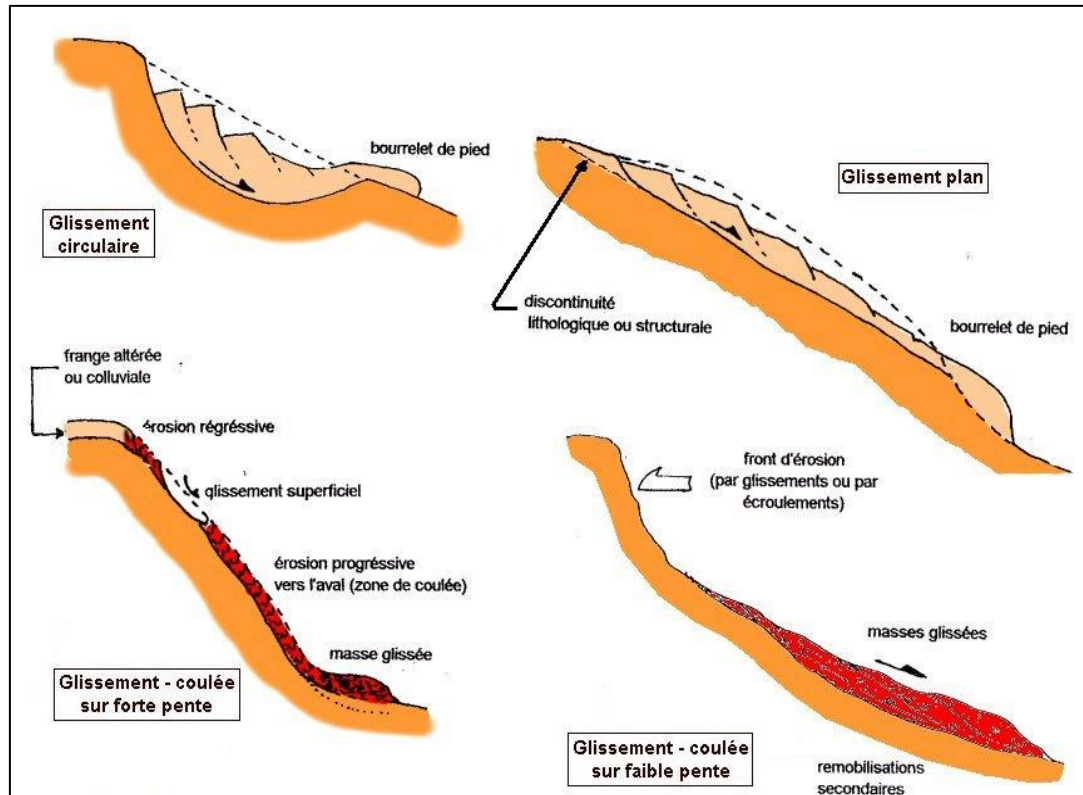


Figure 27 : Représentations schématiques des principaux types de glissement (source : ©BRGM, <http://www.georisques.gouv.fr/mouvements-de-terrain>)

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.

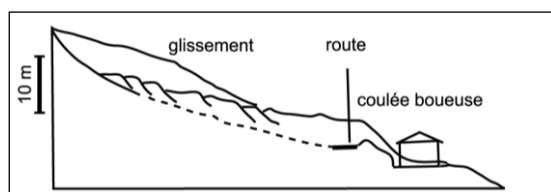


Figure 28 : Représentation schématique du glissement-coulée (exemple de Montauban, 1993 – cf. ci-après)

Exemples de manifestations rencontrées :

- **Glissements de talus**

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 marquées, terrains de couvertures meubles – colluvions, altérites évoluées – sur une épaisseur variable) et aggravé par les aménagements humains (décaissements routiers ou pour l'habitat). C'est le cas pour la RD3 de Saint-Joseph où de nombreux glissements se sont produits en 2009, le long de la route (Figure 29).



Figure 29 : Glissement de terrain observé sur la RD3 à Saint-Joseph

- **Glissements au droit 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.

- **Glissements-coulées**

Une coulée de boue a été référencée au niveau de la Ravine de Basse Vallée en 1987.

D'autres coulées de type lahars se sont produites par le passé suite à des éruptions volcaniques du Piton de la Fournaise, comme par exemple la coulée du Piton de Chisny (Rapport BRGM/RP-50015-FR).

- **Phénomènes d'embâcle/débâcle**

Le phénomène d'*embâcle* correspond à l'obstruction d'un cours d'eau par accumulation de matériaux divers, le plus souvent des végétaux et autres flottants mais aussi à la suite d'un glissement de terrain, d'un éboulement ou d'une coulée de boue qui peuvent favoriser ces obstructions. 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 pouvant se propager sur plusieurs kilomètres : on parle alors de *débâcle*. Les embâcles sont par ailleurs particulièrement dangereuses au niveau des ouvrages de franchissement des cours d'eau car ils peuvent former des barrages et provoquer des débordements et des inondations à l'aval.

Ces phénomènes sont également 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-Joseph, 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.

Sur la commune de Saint-Joseph, ces phénomènes se sont produits dans le bras de Mahavel notamment suite à l'effondrement majeur de mai 1965 et aux autres événements de moindre ampleur successif jusqu'en 2002 (Figure 30).



Figure 30 : Lac temporaire apparu dans le lit de la Rivière des Remparts en amont de sa confluence avec les bras de Mahavel (2002)

Remarque : L'éboulement de Mahavel survenu en 1965, est représentatif des phénomènes de grande ampleur qui peuvent se produire dans les remparts des deux grandes ravines de la commune de Saint-Joseph (Rivière des Remparts et Rivière Langevin). Les dépôts gravitaires et éboulis accumulés sur les bordures des vallées attestent de ces mécanismes. Ces phénomènes constituent une menace directe pour les personnes séjournant dans ces deux vallées ainsi que sur les biens et les personnes situés à leurs embouchures lors de fortes crues pouvant remobiliser ces matériaux.

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 berges 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 potentiellement présentes en berges (Figure 31).



Figure 31 : Erosion de berges - Ravine Jean Petit (2009)

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.

Exemples de manifestations rencontrées : érosion et ravinement sur les planèzes

Ces phénomènes résultent de la morphologie particulièrement pentue de la commune et de la nature géologique de ses pentes constituées de coulées récentes en gratons, souvent recouvertes par des sols cendreaux d'épaisseur métrique.

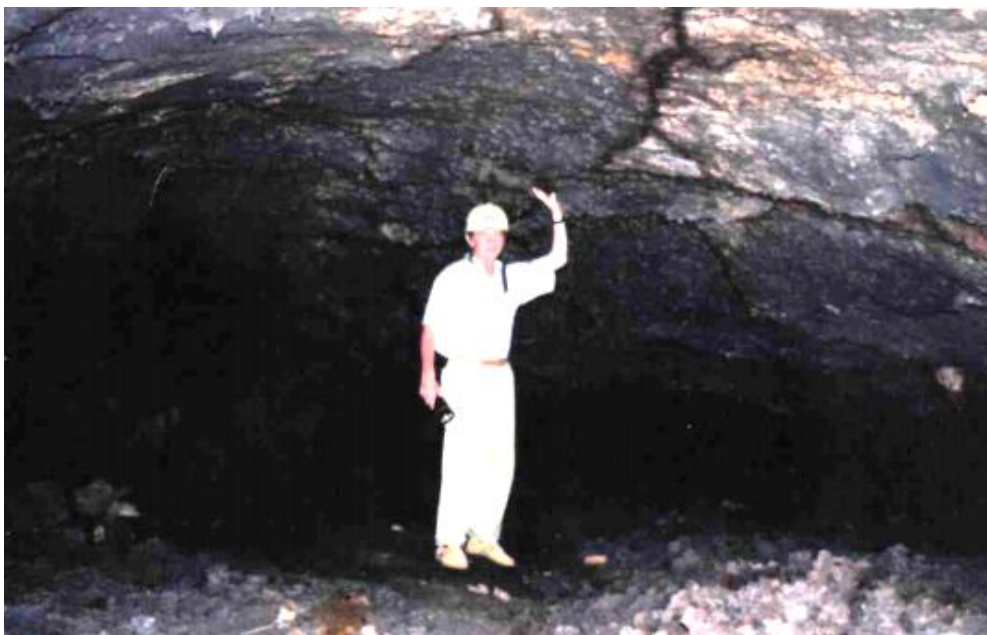
Lors des fortes pluies, les eaux érodent les sols cendreaux, caillouteux, générant des coulées de boues sur les basses pentes de la commune urbanisées. L'épierreage agricole et les défrichements favorisent l'érosion des terres.

Les matériaux érodés rejoignent les petites ravines drainant ces planèzes. Pendant les crues ; les eaux sont chargées de boues et de blocs.

4.3.4. Effondrement de cavité souterraine (tunnel de lave)

L'effondrement de cavité souterraine n'est pas pris en compte dans la cartographie de l'aléa mouvements de terrain, mais il est intéressant de rappeler que ce phénomène existe sur la commune de Saint-Joseph.

Par exemple, un réseau de tunnels de lave a été mis à jour en 1993 lors de travaux de terrassement dans le quartier habité de Cayenne-Butor, à proximité du centre-ville de Saint-Joseph. Les tunnels se situent entre 1 et 5 m sous la surface. Leur section varie entre 1 et 20 m² (Figure 32). Les cavités reconnues sur plus de 200 m de longueur se développent dans les coulées de lave récentes du Commerson. Des effondrements localisés peuvent être observés dans les galeries et peuvent avoir des répercussions sur les infrastructures en surface (tassement, fissuration, voire fontis).



*Figure 32 : Tunnel de lave dans le quartier de Cayenne à Saint-Joseph observé en 1993
(cf. rapport BRGM R-37415-4S-REU-93⁹)*

⁹ Cruchet M. (1993) – Découverte de cavités souterraines dans le quartier de la Cayenne à Saint-Joseph – Avis géologique sur les risques encourus – Rapport BRGM R 37415 4S REU 93

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-Joseph :

- 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.).

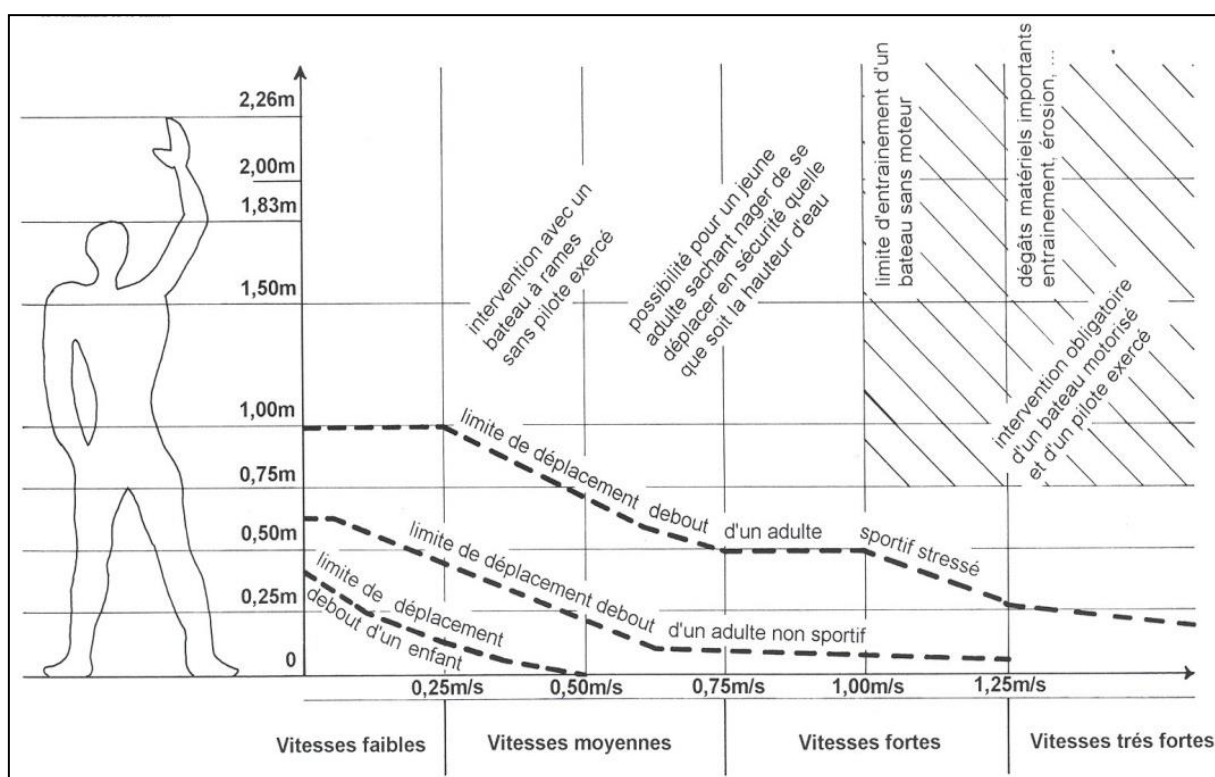


Figure 33 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction des caractéristiques d'écoulement (source : Guide PPRi ruissellement péri-urbain M.E.D.D.E.)

Exemples de manifestations rencontrées :

Figure 34 : Crue de la Rivière des Remparts pendant le cyclone Gamède (2007)



Figure 35 : Dégâts après le passage du cyclone Gamède (2007)



Figure 36 : Dégâts sur la digue de l'hôpital de Saint-Joseph suite au passage de Firinga (1989)



Figure 37 : Rivière des Remparts en crue (à gauche) - Cyclone Dina (2002)

5. Caractérisation et cartographie des aléas – Elaboration du zonage réglementaire

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., 2008¹⁰), 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.

¹⁰ 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.

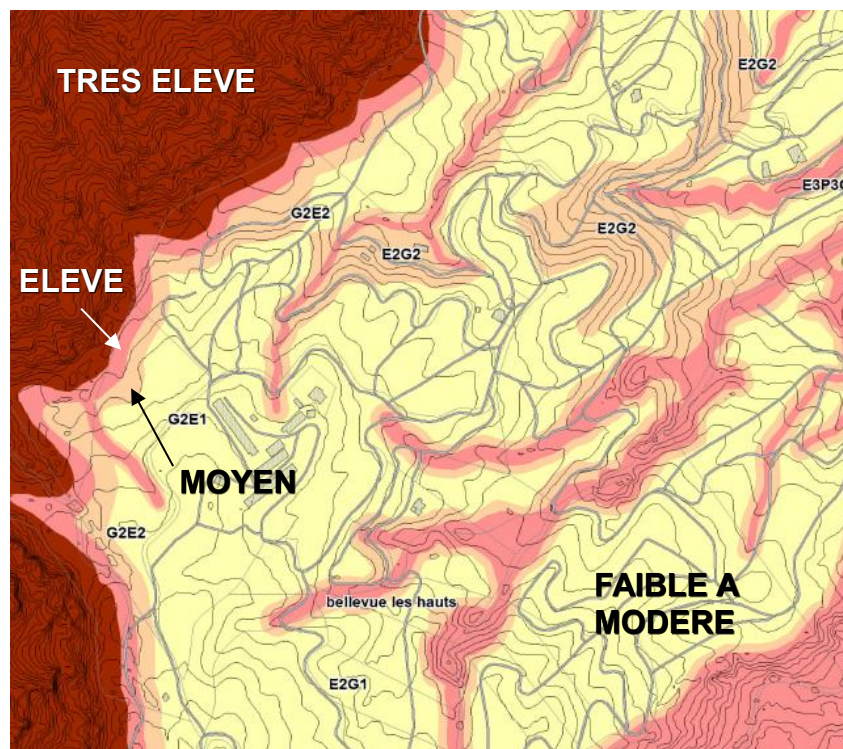


Figure 38 : Exemple de représentation de la notion de continuité du niveau d'aléa mouvements de terrain

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 méthodologie de travail pour établir la carte d'aléa inondation s'appuie sur une démarche « à dire d'experts » (approche naturaliste), sans recours à des modélisations systématiques, hormis pour les secteurs ponctuels suivants qui ont été analysés et pour la plupart repris dans la révision des cartes d'aléa inondation établi par Hydrétudes (cf. annexe 4 : rapports Hydrétudes, 2014 et 2015) :

- le centre-ville concerné par la Ravine Jean Petit dont les ouvrages hydrauliques ont fait l'objet d'une étude de danger intégrant une modélisation 2D en 2013, réalisé par Hydrétudes et reprise dans le zonage inondation du PPR ;
- le secteur de la station d'épuration de Saint-Joseph en rive droite de la Ravine des Grègues, où les ouvrages hydrauliques ont fait l'objet d'une étude de danger intégrant une modélisation 2D en 2012, réalisé par BRL, dont les résultats sont analysés et partiellement repris dans le zonage inondation du PPR ;
- l'exutoire de la Ravine des Grègues, à l'amont des ouvrages d'endiguement, qui a fait l'objet d'une étude hydraulique de faisabilité en 2011 (BRL), intégrant une modélisation des écoulements. Les résultats ont été analysés dans le cadre de la révision du zonage inondation du PPR.

La démarche de révision du zonage inondation s'est effectuée en intégrant l'analyse de l'hydrologie des bassins versants du territoire communal (estimation des débits de crue), l'analyse hydrogéomorphologique appuyée par des enquêtes de terrain (traduction des débits de crue sur le terrain en termes d'inondabilité) et l'intégration des phénomènes historiques connus (éléments de calage). Quelques calculs hydrauliques ponctuels d'écoulement sont menés afin de renforcer l'analyse « à dire d'experts » (notamment au niveau des ouvrages de franchissement afin d'évaluer les possibilités de débordement en crue centennale). Les rapports d'Hydrétudes fournis en annexe 4 du dossier PPR détaillent les principes cartographiques retenus (rapports phases 2 et 3 notamment).

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

- Les outils topographiques précis : **Litto3D®** et **MNTR®** (2012), qui permettent d'apprécier finement les différents thalwegs et ravines du territoire communal. Le produit Litto3D®, développé par l'IGN© et SHOM©, est une base de données altimétrique unique et continue terre-mer donnant une représentation tridimensionnelle de la forme de la position du sol 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 connaissance nouvelle** sur les inondations sur le territoire, et plus particulièrement au droit des secteurs à enjeux de la commune, avec notamment l'analyse et l'intégration des résultats d'études hydrauliques lorsque ceux-ci sont jugés pertinents et adaptés à la méthodologie de cartographie des aléas inondations du PPR :
 - o le centre-ville concerné par les écoulements de la Ravine Jean Petit (étude de dangers des ouvrages hydrauliques, Hydrétudes, 2013) ;

- les berges de la Rivière des Remparts, avec l'analyse et l'intégration de résultats issus du PGRI de 2009 (Sogreah), notamment au niveau de la Ravine Jean Petit ;
 - la station d'épuration de Saint-Joseph (étude hydraulique et étude de dangers des ouvrages de la Ravine des Grègues, BRL, 2012) ;
 - les berges de la Ravine des Grègues à l'amont de la RN2 (étude de faisabilité des aménagements, BRL, 2011) ;
 - les berges de la Ravine Vincenzo au niveau de la zone urbanisée à l'amont de la RN2 (étude de faisabilité des aménagements, BRL, 2011) ;
 - les berges de la Rivière Langevin au lieu-dit de La Passerelle (étude de faisabilité des aménagements, BRL, 2011) ;
 - la Ravine Rosaire aux abords du centre-ville (étude de faisabilité des aménagements, BRL, 2011) ;
 - des visites de terrain régulières au droit des secteurs à enjeux pour préciser le zonage (cf. notamment le rapport RE13-012/Phase 3/Version1.0 – Révision du PPR Inondation - Rapport d'étude - Septembre 2015 ©Hydrétudes suite aux visites de terrain du 27 août et du 8 octobre 2015, le rapport BRGM/RP-65694-FR suite aux visites de terrain du 11 février 2016).
- une **mise en cohérence avec la cartographie de l'aléa 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 1/20 000 pour l'ensemble du périmètre d'étude (planche 1) ;
- à l'échelle 1/5 000 sur les secteurs à enjeux de la commune (planche 2 à planche 9).

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

Tableau 9 : 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.

Au droit des principaux ouvrages hydrauliques enterrés présents sur la commune, un figuré en pointillé matérialisant leur emprise au sol est conservé sur les cartes d'aléa inondation du PPR de la commune de Saint-Joseph, à titre d'information. Aucun niveau d'aléa inondation n'est considéré au sein de ces emprises (donc pas de traduction réglementaire au PPR), sous réserve toutefois de la capacité hydraulique de l'ouvrage face à une crue d'occurrence centennale.

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.

La cartographie de l'aléa mouvements de terrain a été élaborée d'avril 2013 à mars 2016, 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-Joseph (arrêté préfectoral **n°2016-941/SG/DRCTCV en date du 27 mai 2016**).

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

- des **visites de terrain** (analyses visuelles de type "expertise") afin de relever les indices hydrogéomorphologiques pouvant témoigner d'anciens mouvements de terrain ou justifier la possibilité d'occurrence sur la période de référence. Ces « campagnes » de reconnaissances de terrain ont été réalisées entre 2013 et 2016 au droit notamment des secteurs à enjeux de la commune ;
- les résultats d'investigations ponctuelles dans le cadre **d'examen de demande de modification de zonage pour des projets d'aménagements**. Une précision du zonage, par le biais de visites de terrain et d'analyse de données SIG, au droit de ces différents secteurs à enjeux, a été réalisée et a fait l'objet du rapport BRGM/RP-65694-FR de mars 2016 fourni en annexe 4 du dossier PPR) ;

- **la connaissance nouvelle** sur les mouvements de terrain sur le territoire, et plus particulièrement au droit des secteurs à enjeux de la commune, où des études intégrant notamment des simulations ont été réalisées depuis l'élaboration de la carte d'aléa du PPR approuvé en 2005. A titre d'exemple, le secteur de La Passerelle a fait l'objet d'une étude par le cabinet SAGE en 2014¹¹ qui intègre une modélisation des trajectoires des blocs instables repérés dans le rempart dominant le village. Les résultats de cette étude ont été analysés et intégrés au projet de cartographie de l'aléa mouvements de terrain pour les phénomènes de chutes de blocs.
- 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 orthophotographies 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 1/20 000 pour l'ensemble du périmètre d'étude (planche 1) ;
- à l'échelle 1/5 000 sur les secteurs à enjeux de la commune (planche 2 à planche 9).

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 ...

¹¹ SAGE Ingénierie – RP6106b/AM – Commune de Saint-Joseph (974) – Village de la Passerelle – Etude des risques de chutes de blocs – Version définitive du 18 décembre 2014

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 10 : 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 rencontrée, 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 11 : Intensité du phénomène

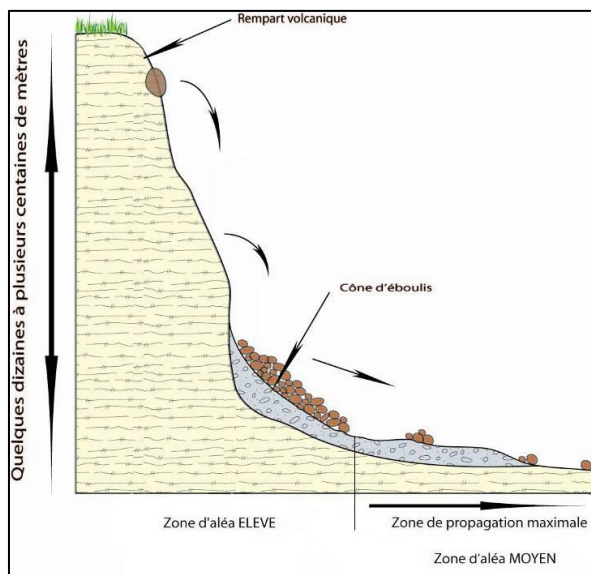


Figure 39 : Principe de décroissance de l'intensité du phénomène chute de blocs avec l'éloignement de la source de départ

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 12 : 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 » définis dans le cadre de la détermination des enjeux en concertation avec la commune. Ces zones nécessitent la réalisation d'une étude géotechnique pour en préciser les conditions de constructibilité.

- **aléa élevé** : zones jugées instables, où de nombreux mouvements de terrain sont recensés et où les paramètres géomécaniques sont défavorables et indiquent une stabilité précaire. Ces secteurs peuvent également être associés aux zones d'extensions maximales de phénomènes gravitaires se propageant (ex : aval des remparts) ou de phénomènes régressifs (ex : amont des remparts).

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

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

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

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 13).

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 13 : 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 14 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-Joseph 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 fort inondation ou élevé et très élevé mouvements de terrain est classée en R1 = zone « rouge » dotée d'un principe d'inconstructibilité ;
- L'aléa moyen mouvements de terrain est traduit (en dehors de zones d'aléa fort inondation) suivant deux zones réglementaires (R2 = zone « rouge » dotée d'un principe d'inconstructibilité et B2u zone « bleue » dotée d'un principe de constructibilité avec prescriptions). La distinction réglementaire des terrains classés en aléa moyen mouvements de terrain est définie en fonction du caractère « sécurisable » dans le cadre d'un projet d'aménagement dans des zones à enjeux, où des travaux de sécurisation sont jugés réalisables. La délimitation des zones à enjeux s'appuie sur les limites des espaces forestiers gérés par l'ONF et les limites du cœur du Parc National 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		Modéré Faible	Nul
			Autres secteurs	Secteurs jugés sécurisables		
INONDATION	fort	R1	R1	R1	R1	R1
	moyen	R1	R2	B2u	B2	B2
	faible	R1	R2	B2u	B3	B3
	nul	R1	R2	B2u		

Tableau 14 : Principe de traduction réglementaire des aléas du projet de PPR de Saint-Joseph

5.5. EXEMPLES DE CARTOGRAPHIE AU DROIT DE SECTEURS À ENJEUX

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

- Centre-ville de Saint-Joseph – Rivière des Remparts ;
- Le village de Grand Galet – Ravine de Grand Coude / Grande Ravine ;
- Le rempart rive droite de la Rivière Langevin - Vers Ilet à Diable ;
- Le rempart rive droite de la Rivière Langevin – Secteur de la Passerelle ;
- La Plaine des Grègues - Ravines dans le secteur du Rond ;

La légende associée aux extraits cartographiques est la suivante :

Niveau d'aléa MVT	Niveau d'aléa Inondation	Zonage réglementaire
 TRES ELEVE  ELEVE  MOYEN  FAIBLE A MODERE NUL	 FORT  MOYEN  FAIBLE NUL	 R1  R2  B2  B2u  B3

Tableau 15 : Légende des extraits cartographiques du PPR

Secteur du centre-ville de Saint-Joseph – Ravine Jean Petit et Rivière des Remparts

Cf. Figure 40 (extraits cartographiques aléas et zonage réglementaire) pour ce secteur du centre-ville concerné par ces deux cours d'eau.

Ravine Jean Petit

Le zonage inondation du projet de PPR de Saint-Joseph au droit de ce secteur intègre les résultats de la modélisation hydraulique de la Ravine Jean-Petit réalisée en 2013 par Hydrétudes, dont les résultats ont été repris par Hydrétudes dans l'élaboration des cartes d'aléa inondation du PPR (cf. annexe 4 du dossier PPR). Les résultats du modèle hydraulique pour une crue d'occurrence centennale permettent d'identifier précisément les conditions d'écoulement dans un secteur très urbanisé. À partir des caractéristiques hydrauliques obtenues (hauteur d'eau et vitesse des écoulements) et des règles de qualification, le zonage de l'aléa inondation est établi.

En cas de crue centennale, les débordements de la Ravine Jean Petit dans le centre-ville de Saint-Joseph, peuvent également engendrer des risques d'érosion, principalement au niveau du point de débordement et au niveau des zones soumises à de fortes vitesses. L'intensité de ces phénomènes érosifs, voire des risques d'apports de matériaux par transport solide en cas de débordement, est jugée faible du fait de l'urbanisation du secteur et de l'absence de forts dénivelés ce qui justifie la prise en compte uniquement d'un niveau d'aléa moyen mouvements de terrain au droit de l'axe préférentiel d'écoulement.

Rivière des Remparts

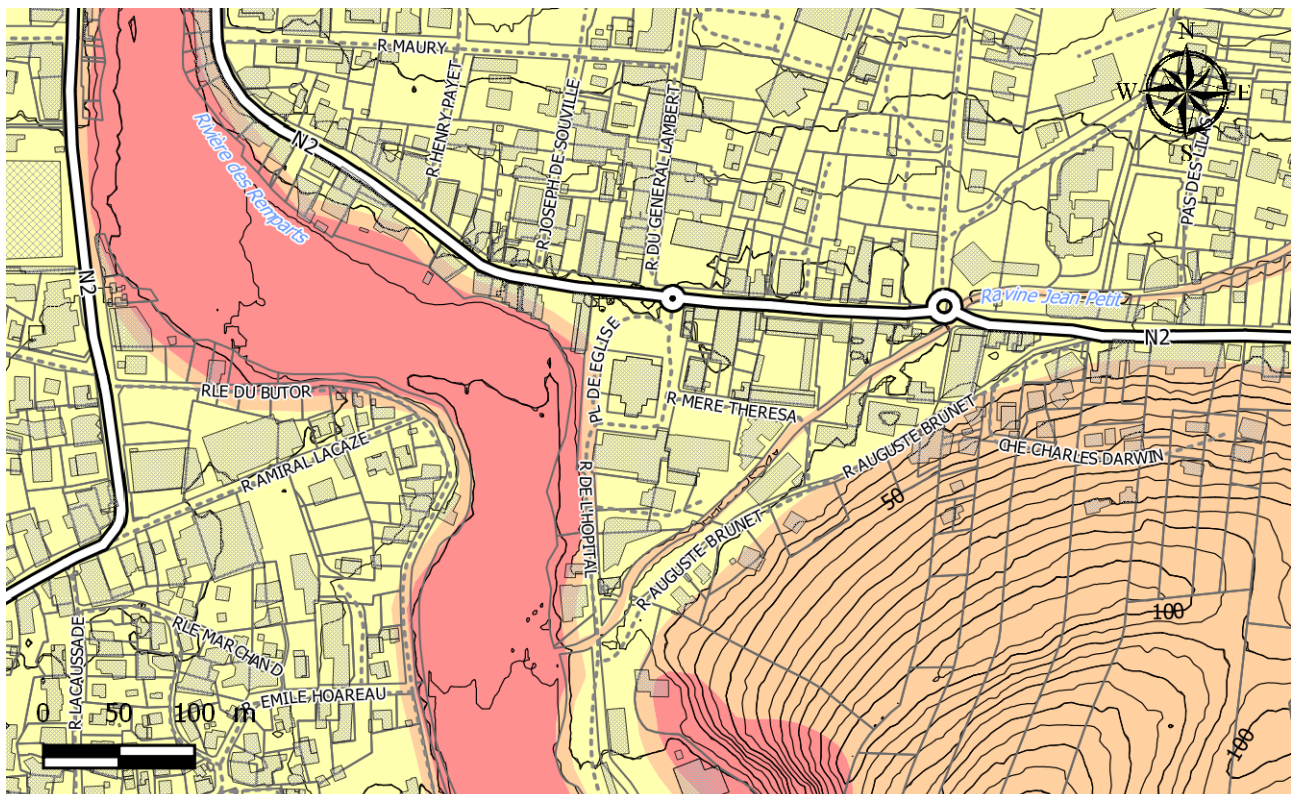
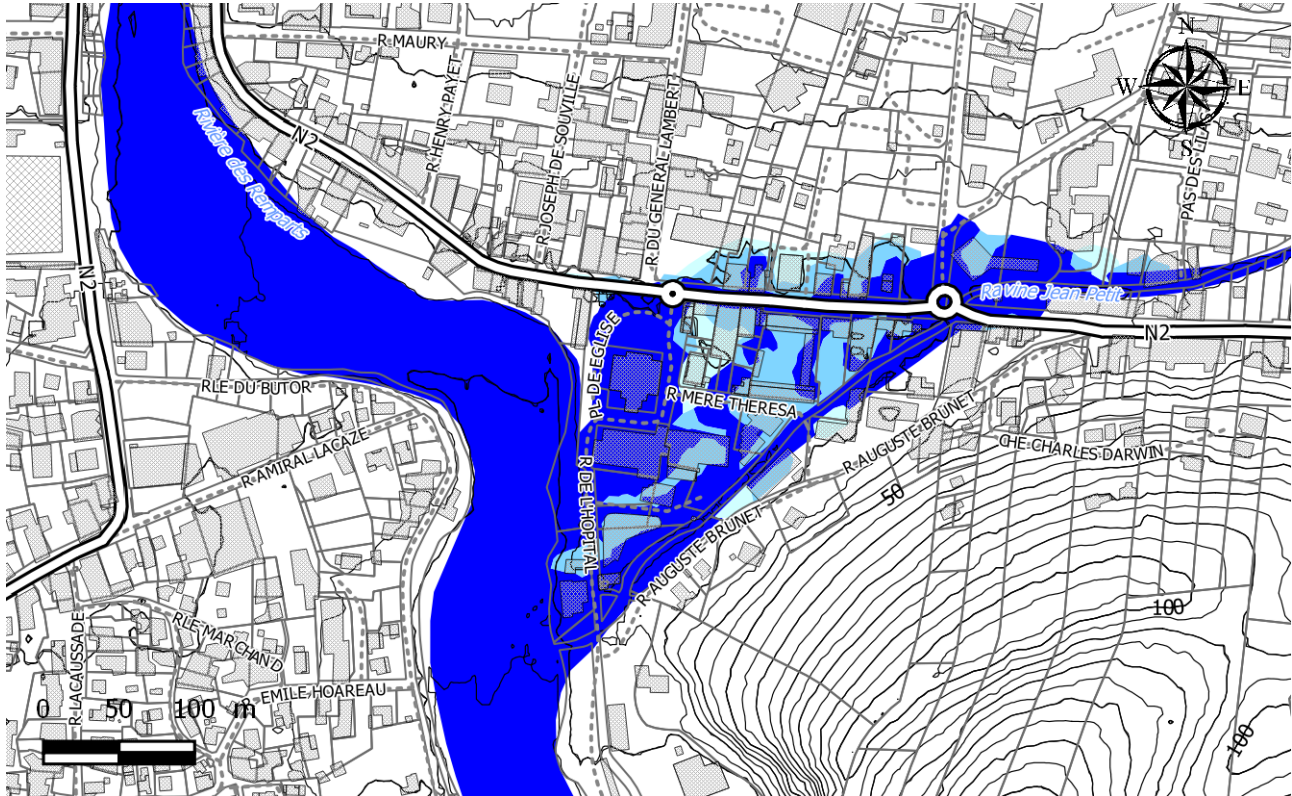
La configuration du secteur n'engendre pas de risque de débordement de la Rivière des Remparts. L'aléa élevé MVT est caractérisé jusqu'aux sommets de berges pour tenir compte des instabilités pouvant se développer comme en atteste certains événements historiques (digue de l'hôpital déstabilisée lors du passage de Firinga en 1989). Une bande de 10 m en aléa moyen MVT est également considérée en recul de l'aléa élevé afin de tenir compte de l'incertitude sur le recul érosif précis (où l'incidence sur les terrains en recul d'ouvrage en cas de désordres) pouvant être observé sur la période de référence (siècle à venir).

La traduction réglementaire en zone B2u des terrains classés en aléa moyen MVT est principalement conditionnée par la capacité de sécurisation à l'échelle d'un projet d'aménagement (à échelle d'une ou plusieurs parcelles). Étant donné l'important transport solide et l'ampleur des crues que peut subir la Rivière des Remparts, une protection ponctuelle des berges ne s'avérerait pas efficace pour protéger durablement, face au risque d'érosion, les terrains classés en aléa moyen en recul des berges.

Toutefois, étant donnée la démarche actuellement entreprise par la ville de Saint-Joseph afin de gérer le risque inondation intégrant la problématique de transport solide, particulièrement importante pour la Rivière des Remparts (étude en cours avec comme objectif de définir des ouvrages de protection pour une crue d'occurrence centennale dans le centre-ville de Saint-Joseph), il est considéré que la capacité de sécurisation des berges est possible mais conditionnée par les importants travaux en cours de conception qui seront réalisés à court terme (d'ici quelques années) par la ville de Saint-Joseph.

À ce stade, en l'absence de sécurisation effective, les terrains concernés par un aléa moyen MVT restent classés en zone R2 au projet de zonage réglementaire du projet PPR. À terme, une fois les travaux de sécurisation réalisés, si ceux-ci permettent effectivement de garantir une sécurisation durable sur le long terme, avec une maîtrise d'ouvrage clairement identifiée s'engageant notamment sur une maintenance et un entretien régulier pour garantir la pérennité des ouvrages sur le long terme, une révision du zonage du PPR pourra alors être réévaluée.

Suite à l'enquête publique, ces secteurs (zone de débordement dans le centre-ville de la Ravine Jean Petit et berges de la Rivière des Remparts) n'ont pas fait l'objet de modification hormis ponctuellement au niveau du canal de la Ravine Jean Petit, à l'amont de la zone de débordement. Le zonage réglementaire du PPR au droit de ces secteurs a été confirmé.



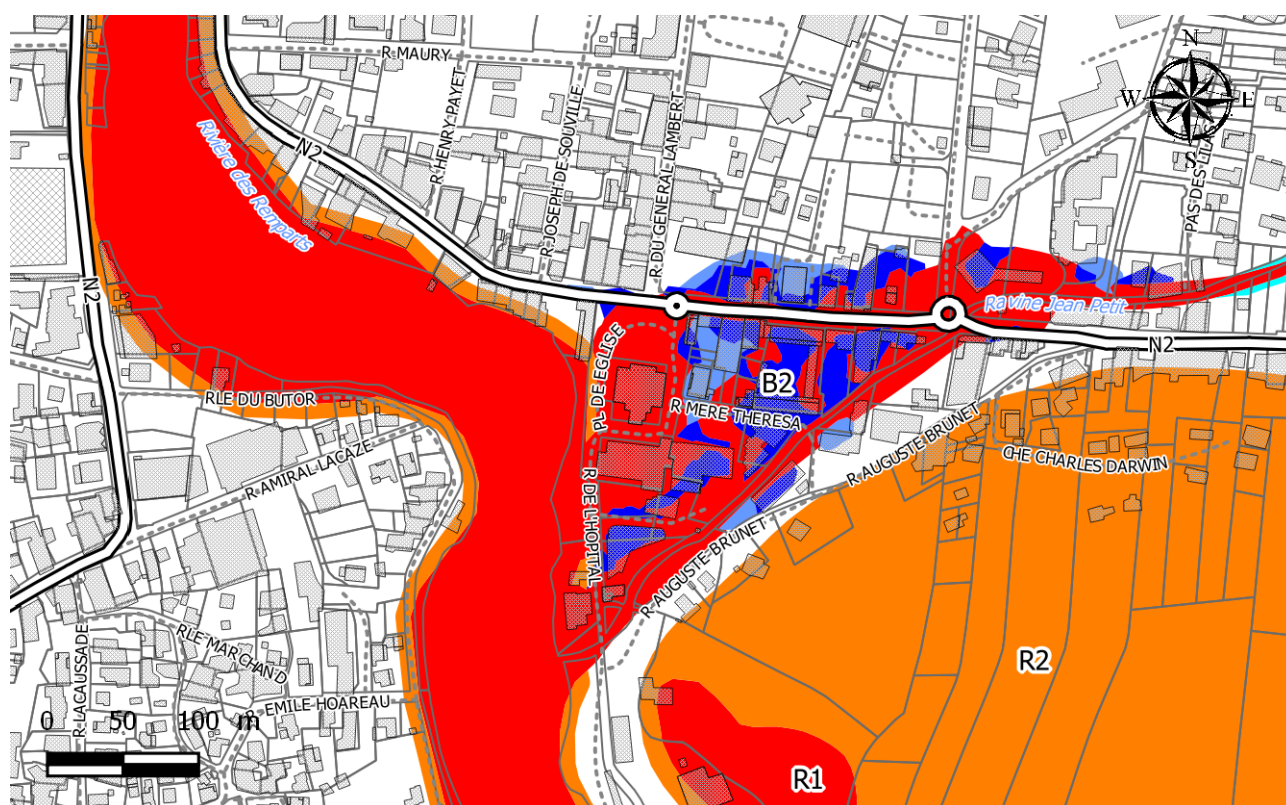


Figure 40 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du secteur du centre-ville de Saint-Joseph

Secteur du village de Grand Galet – Grande Ravine / Ravine de Grand Coude

Le secteur du village de Grand Galet – La Grande Ravine

D'après le rapport BRGM/RP-50015-FR (Cruchet, 2000)¹², le village de Grand-Galet est exposé à divers phénomènes tels que les laves torrentielles, les éboulements, les érosions de berges, etc. Certains de ces phénomènes peuvent avoir une ampleur significative. A l'amont du village de Grand Galet, au niveau de la Rivière Langevin, des éboulements peuvent engendrer une obstruction du lit de la Grande Ravine et former un barrage provoquant, en cas de crue, un débordement du cours d'eau.

Le secteur à l'amont du village de Grand Galet montre un lit au niveau de la Grande Ravine parfois peu encaissé (de l'ordre de 5 mètres) et, à certains endroits, situé en pied de rempart de plusieurs centaines de mètres de hauteur (700 m en rive droite). Cette géomorphologie confirme qu'en cas d'éboulement dans le lit, les conditions d'écoulement seront modifiées avec un risque de débordement voire de formation de laves torrentielles. De plus, les différents thalwegs identifiés dans les remparts, à l'amont du village de Grand Galet, n'ont pas tous un exutoire très incisé en pied de rempart et certains atteignent la partie amont et habitée du village de Grand Galet sans continuité hydraulique satisfaisante avec le lit de la Grande Ravine. Ces thalwegs sont également vulnérables au risque de chutes de blocs et d'éboulement et, le cas échéant, à des problématiques de débordement en cas d'obstruction de leur lit. Cette configuration n'a toutefois pas évolué de manière significative entre 2005 et 2016.

Dans le cadre du PPR approuvé en 2005, ces phénomènes d'ampleur potentiellement exceptionnelle (débordement en cas d'éboulement dans le réseau hydrographique à l'amont du village de Grand Galet) avaient été considérés en aléa fort inondation (risque de laves torrentielles et d'inondation pour le village de Grand Galet).

Ces phénomènes sont possibles, si ce n'est probable, sur la période de référence du PPR (siècle à venir), comme en témoignent les nombreux phénomènes gravitaires (une cinquantaine environ) affectant la Rivière Langevin recensés dans la base de données nationale sur les mouvements de terrains (www.georisques.gouv.fr), gérée par le BRGM. L'éboulement récent (fin 2009) estimé à environ 25 000 m³, survenu dans la partie aval, en rive droite de la Rivière Langevin au sud de l'Îlet à Diable (cf. rapport BRGM/RP-58701-FR (C. Garnier et F. Delabrosse (2010)), illustre ces phénomènes.

Dans le cadre de la révision du PPR sur la commune de Saint-Joseph, les phénomènes de laves torrentielles et de coulées de boue pouvant survenir en cas d'obstruction du lit à l'amont sont intégrés aux cartographies de l'aléa MVT ce qui implique un aléa élevé considéré suivant la même emprise que la zone inondable en aléa fort retenue au sein de la cartographie de l'aléa inondation.

Le secteur du village de Grand Galet – La Ravine de Grand Coude

En ce qui concerne les berges de la ravine Grand Coude à l'ouest du village de Grand Galet, l'analyse des photographies aériennes disponibles montre un net recul des berges sur les 60 dernières années, avec par endroit près de 20 mètres de terrain perdus (cf. Figure 41) en lien avec l'érosion qui se développe lors de chaque crue de la ravine. Ce constat justifie l'aléa élevé retenu au niveau de la berge, qui rejoint les limites de l'aléa élevé considéré caractérisant les phénomènes de débordement décrit précédemment. Ces divers éléments confirment l'emprise de l'aléa élevé mouvements de terrain à l'échelle du village de Grand Galet à l'exception de quelques parcelles à l'amont, vers le stade.

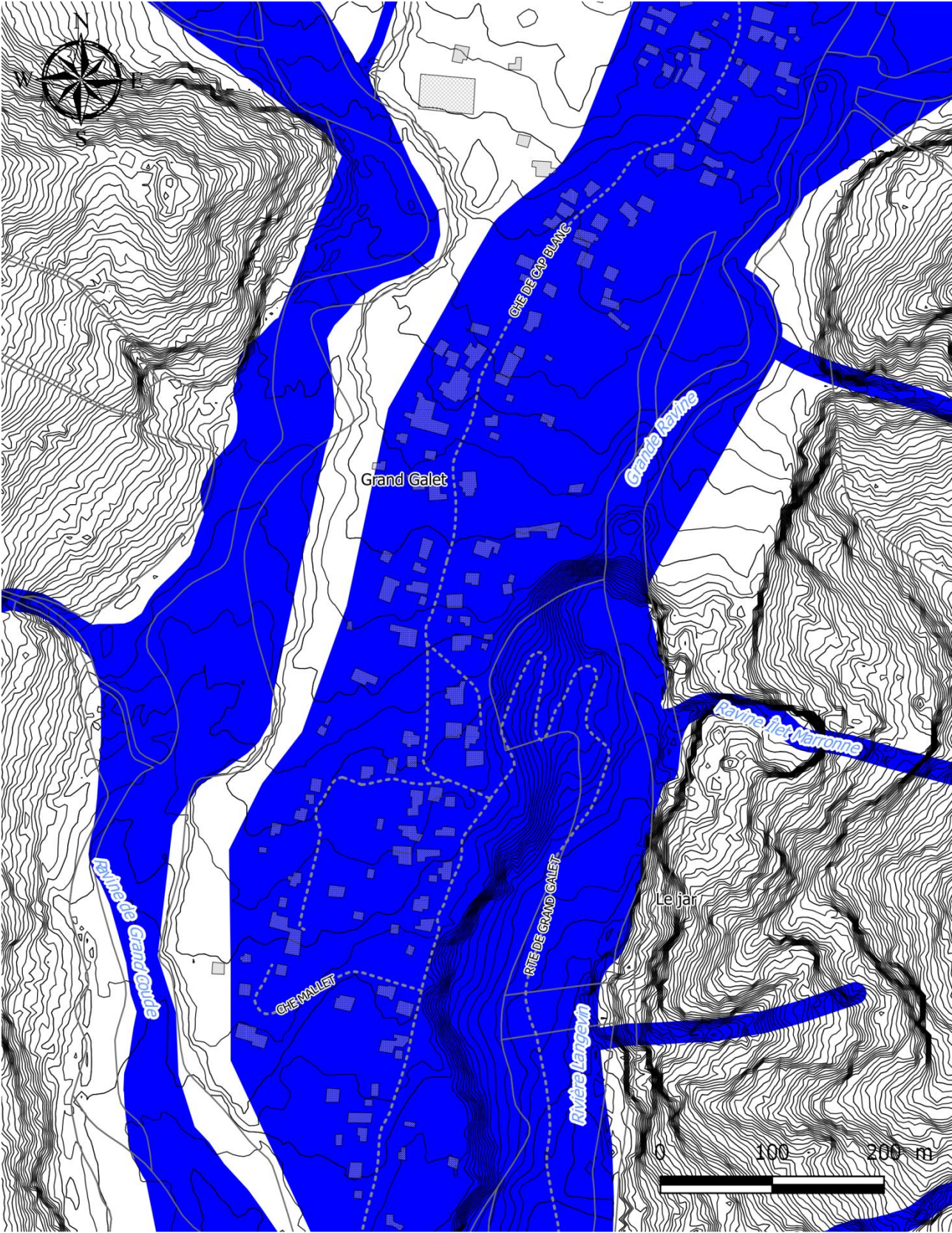
¹² Cruchet M. (2000) – Village de Grand Galet (commune de Saint-Joseph – Cartographie des zones exposées aux mouvements de terrain. Rapport BRGM/RP-50015-FR/2000SGR/REU02, 3 fig., 2 ann., 17p.



Figure 41 : Recul des berges de la ravine de Grand Coude observé à l'ouest du village de Grand Galet en comparant l'orthophotographie de 1950 et celle de 2012 (source : orthophotos © IGN)

Le zonage réglementaire est aussi bien contraint par l'aléa inondation que par l'aléa mouvements de terrain (cf. Figure 42) avec une zone rouge R1 impactant la quasi intégralité du village de Grand Galet.

Suite à l'enquête publique, le secteur du village de Grand Galet n'a pas fait l'objet de modification (aucune demande particulière dans ce secteur) et le zonage réglementaire du PPR au droit de ce secteur a été confirmé.



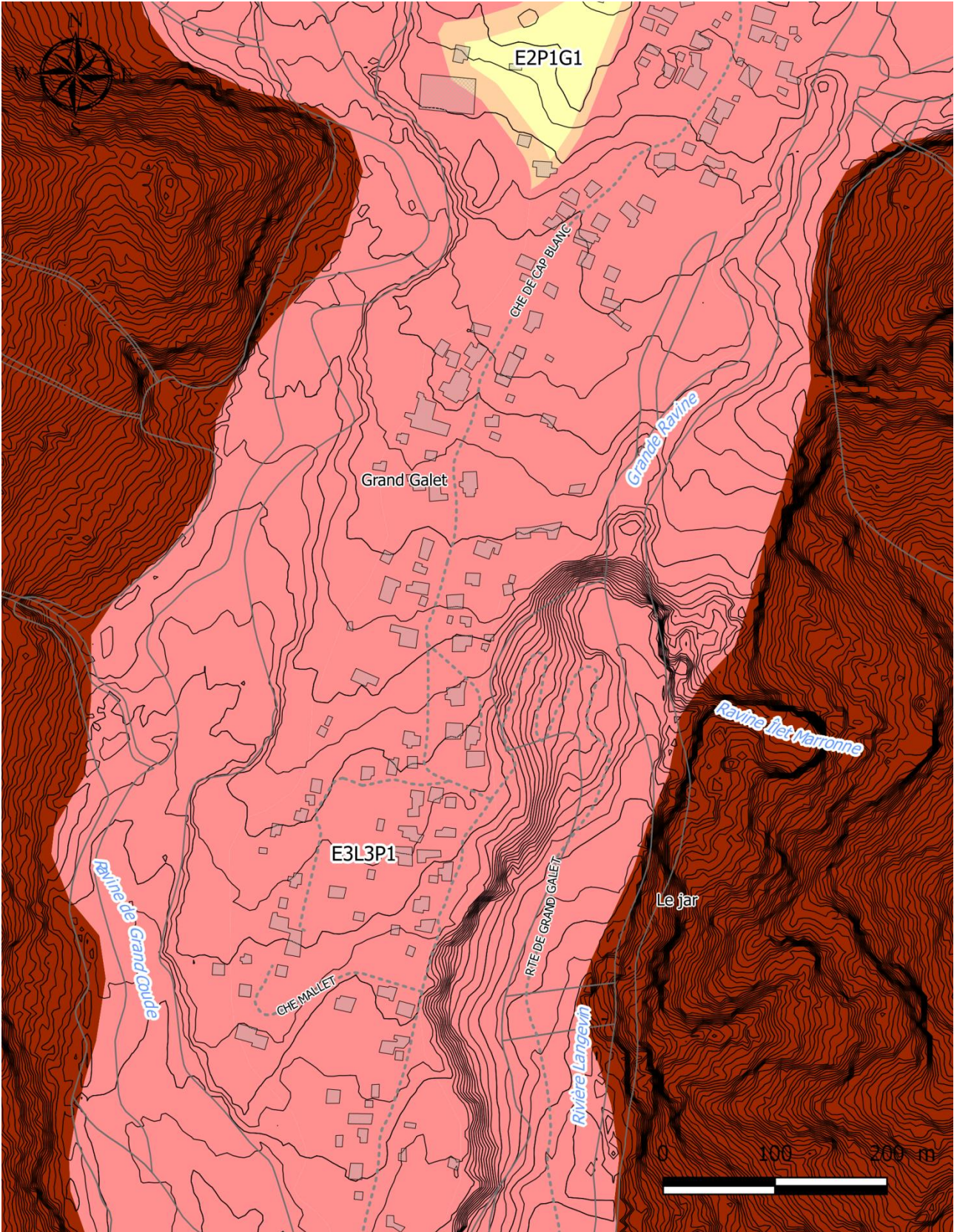




Figure 42 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du village de Grand-Galet

Le rempart rive droite de la Rivière Langevin, vers Ilet à Diable

La méthodologie de cartographie des aléas mouvements de terrain dans les configurations de recul de rempart s'appuie sur un retour d'expérience d'événements connus à La Réunion (cf. Nédellec & Cruchet, juin 2008¹³), 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).

Cette méthodologie peut être précisée en fonction de la configuration du rempart, de l'observation d'indices de terrain et de leur incidence sur les terrains en recul sur la période de référence.

Dans ce secteur, le versant où s'est produit l'éboulement de 2009 (cf. rapport de C. Garnier et F. Delabrosse (2010)) présente une hauteur d'environ 150 mètres. Le rempart, quasi-vertical, est formé d'un empilement de coulées basaltiques métriques à plurimétriques et de niveaux scoriacés, sensibles aux phénomènes de chutes de blocs et d'éboulement. La puissance des remparts, allant de 100 mètres à 1000 mètres sur la commune de Saint-Joseph, est matérialisée par un aléa mouvement de terrain très élevé.

En recul de la zone d'éboulement, des fissures ouvertes (10 m de long jusqu'à parfois 2 m de large) ont été observées en recul immédiat de la crête (jusqu'à environ une dizaine de mètres de la crête), laissant craindre de probables nouvelles ruptures à court ou moyen terme. Ces indices d'évolution probable des instabilités en crête de rempart permettent de confirmer la méthodologie de l'aléa MVT dans ce secteur avec (depuis la crête du rempart vers les terrains en recul) :

- Un **aléa très élevé** mouvement de terrain est considéré jusqu'à environ 10 m de large en recul de la crête qui est directement mobilisée en cas d'événement pouvant l'affecter (premiers terrains mobilisés). Il prend ainsi en compte les terrains délimités par les fissures résiduelles de décompression observées suite à l'éboulement de 2009 ;
- Un **aléa élevé** mouvement de terrain est considéré suivant un bandeau équivalent à « $H/10$ », sur la base du principe méthodologique décrit précédemment, afin de traduire le recul potentiel sur la période de référence et ainsi de conserver, dans la perspective du zonage réglementaire, une bande d'inconstructibilité (aléas très élevé et élevé « conjugués ») de largeur approximativement équivalente à ce ratio de $H/10$ (simplification de la compréhension pour les citoyens concernés) ;
- Une bande d'**aléa moyen** forfaitaire de 10 m de large dans le maintien du principe de graduation des aléas avec une traduction réglementaire au projet PPR en zone R2, afin de minimiser l'impact du zonage sur les terrains en recul de rempart tout en conservant un zonage adapté aux évolutions possibles sur le siècle à venir en fonction des observations de terrain et de la configuration du rempart.

En pied de rempart, l'aléa MVT est précisé en fonction des probabilités d'atteinte des blocs (en cas d'éboulement et/ou de chutes de blocs sur la période de référence du PPR). A partir des observations suite à l'éboulement de 2009, l'aléa MVT a été précisé. Le vaste glacis d'éboulis généré par l'éboulement de 2009 délimite la zone d'aléa très élevé MVT en pied de rempart puis au-delà, l'aléa élevé MVT lié aux chutes de blocs a été précisé en fonction de l'atteinte maximale des blocs observée (cf. Figure 43 et Figure 44).

¹³ Nédellec JL, Cruchet M. – 2008 – Analyse des modes d'effondrement en masse sur plusieurs sites de La Réunion. Rapport RP-56729-FR. 102p.



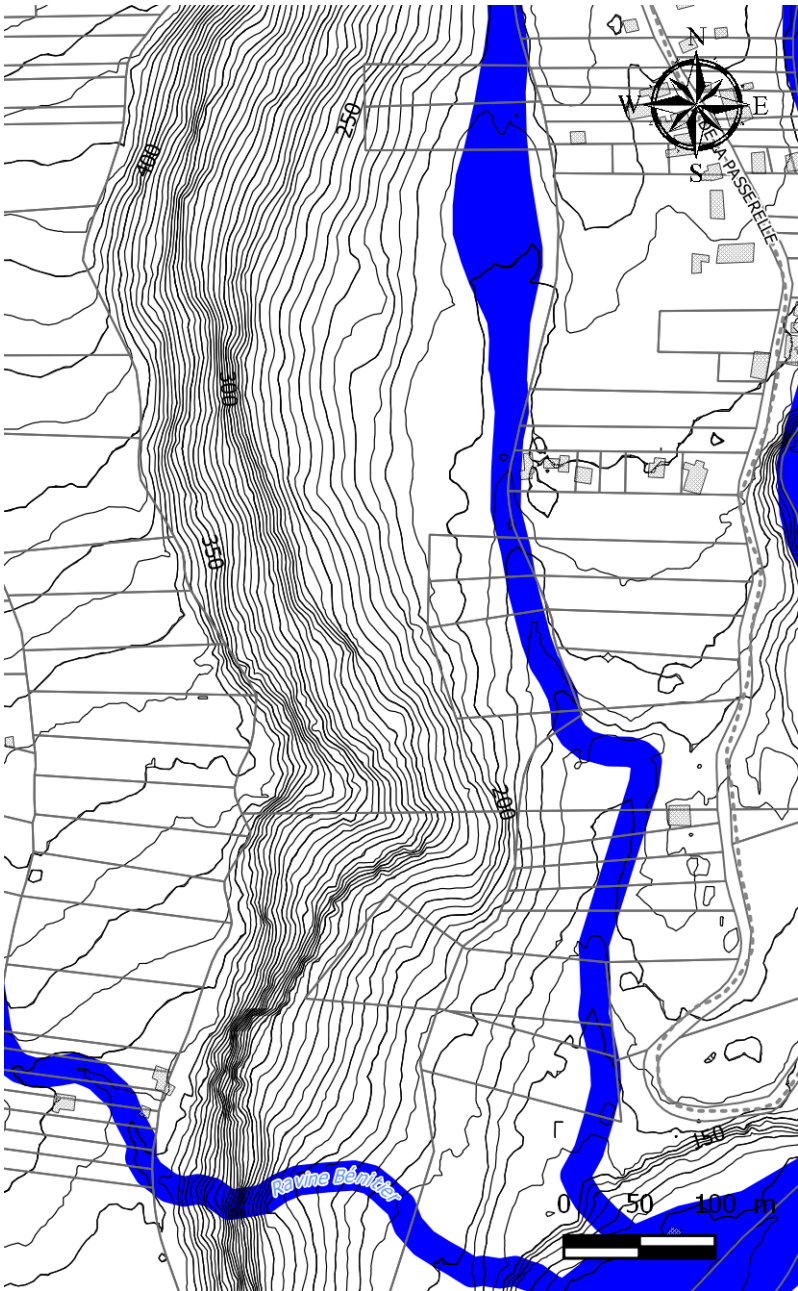
Figure 43 : Eboulement en masse au sud de l'Îlet à Diable – fin 2009



Figure 44 : Fissures observées sur le terrain en novembre 2015 en tête de rempart

Pour ce secteur, le zonage mouvement de terrain conditionne le projet de zonage réglementaire du PPR (cf. Figure 45).

Suite à l'enquête publique, le zonage de l'aléa mouvements de terrain en recul de l'encaissement de la Rivière Langevin a fait l'objet de précisions ponctuelles (déclassement de l'ordre de quelques mètres). Le zonage réglementaire du PPR au droit de ce secteur (terrains aux abords immédiats de la crête de l'encaissement, sur tout son linéaire) reste conditionné par l'aléa mouvements de terrain.



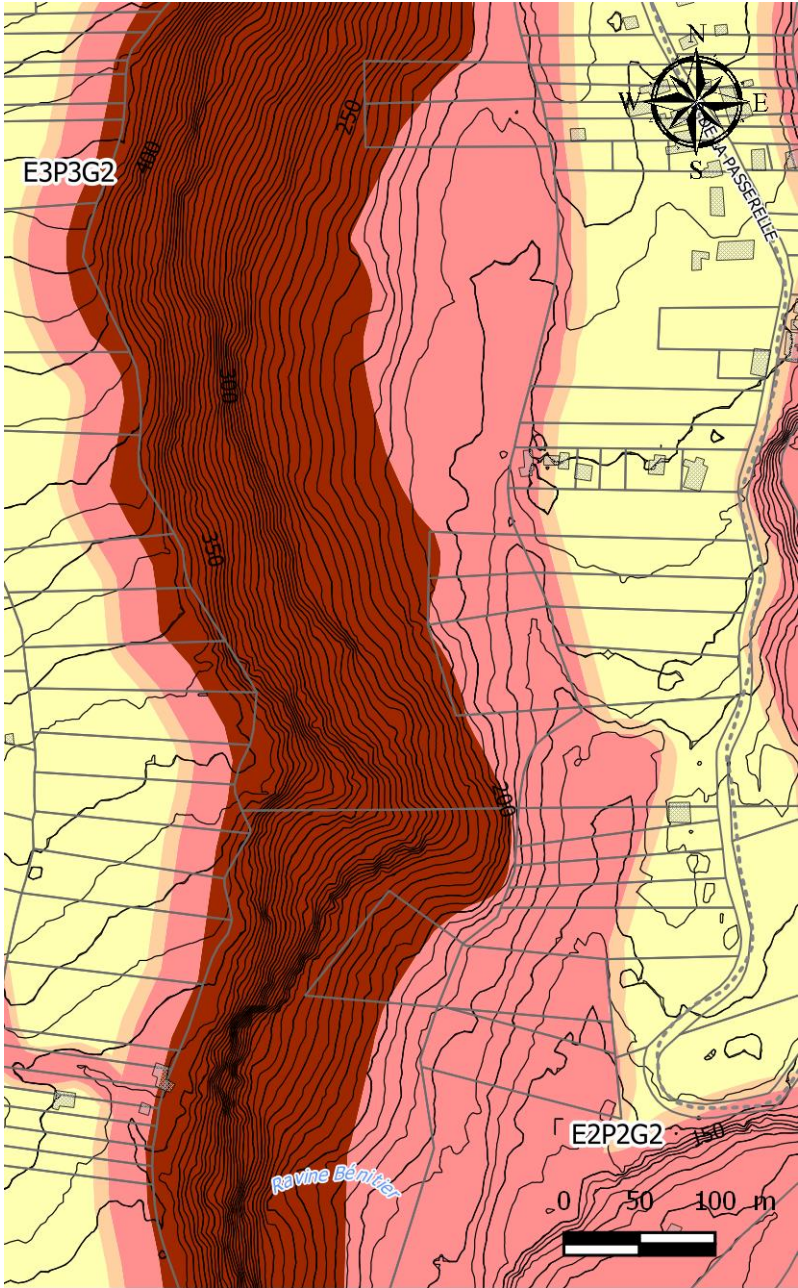




Figure 45 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du rempart rive droite de la rivière de Langevin vers Ilet à Diable

Secteur de la Passerelle - Le rempart en rive droite de la Rivière Langevin

L'école et les habitations situées en pied de rempart du village de La Passerelle, dans le lit de la Rivière Langevin (en rive droite) sont exposées aux chutes de blocs et éboulements, comme en attestent les nombreux événements historiques connus dont celui du 9 novembre 2014 où des éclats ont atteint les habitations d'après les témoignages.

Une étude d'exposition du village de La Passerelle aux risques de chutes de blocs a été menée par SAGE Ingénierie en 2014, expertisée par le BRGM (Bès de Berc S., 2014), afin de définir le niveau d'exposition des habitations et les mesures de sécurisation à mettre en œuvre. Cette étude a permis de préciser l'aléa chute de blocs par le biais d'un inventaire des menaces dans le versant et la réalisation de simulations trajectographiques permettant d'évaluer les probabilités d'atteintes en pied de versant. Etant donné le caractère exposé des habitations en pied de rempart, une procédure d'évacuation et de délocalisation des enjeux les plus exposés a été mise en place (cf. Figure 46).

D'un point de vue cartographique, l'aléa MVT a été précisé à partir des résultats des simulations trajectographiques réalisées par SAGE Ingénierie et de l'ensemble des expertises réalisées sur le secteur. Le secteur est soumis à un aléa **très élevé** jusqu'au pied du rempart (zone très fortement exposé avec des probabilités d'atteintes de supérieures à 10^{-2} (plus d'un bloc sur 100), **élevé** jusqu'au secteur évacué (probabilité d'atteinte de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-5}) et **moyen** au-delà où les terrains sont également concernés par un risque de débordement en cas de crue centennale de la Rivière Langevin, cartographié en aléa moyen inondation.

Au pied du rempart, le zonage réglementaire est contraint par l'aléa mouvements de terrain, alors qu'au niveau de la Rivière Langevin, c'est l'aléa inondation qui conditionne le zonage du PPR (cf. Figure 47).

Suite à l'enquête publique, le secteur du village de La Passerelle n'a pas fait l'objet de modification et le zonage réglementaire du PPR au droit de ce secteur a été confirmé.

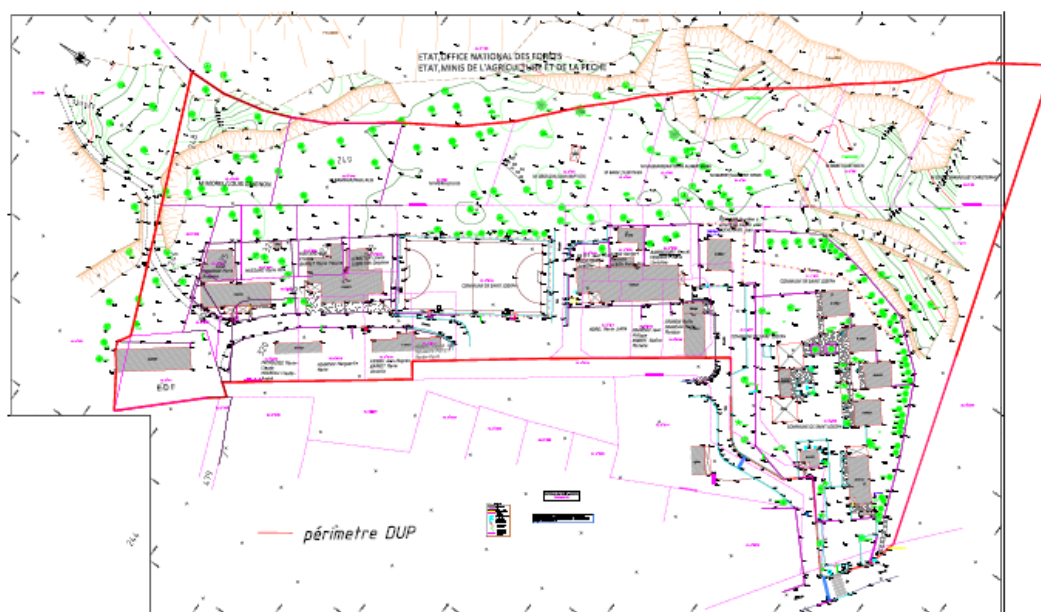
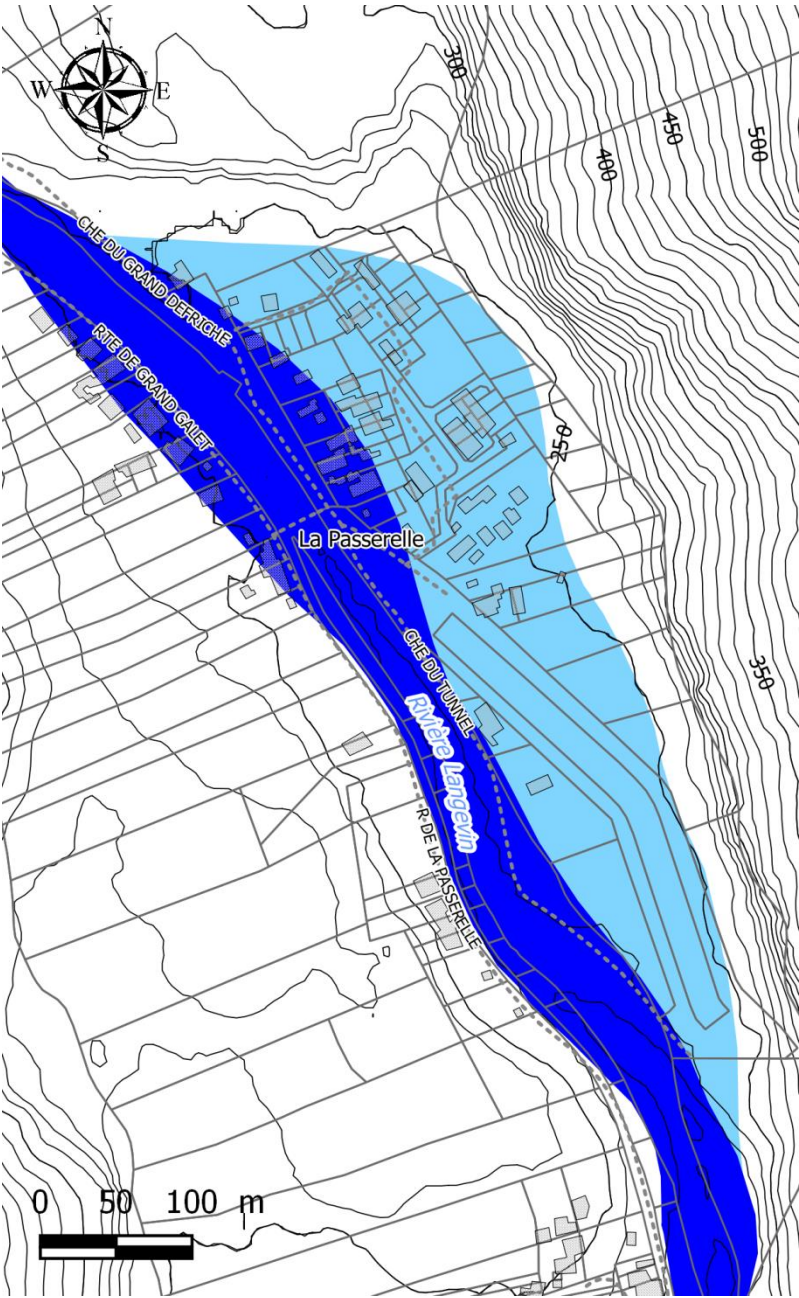
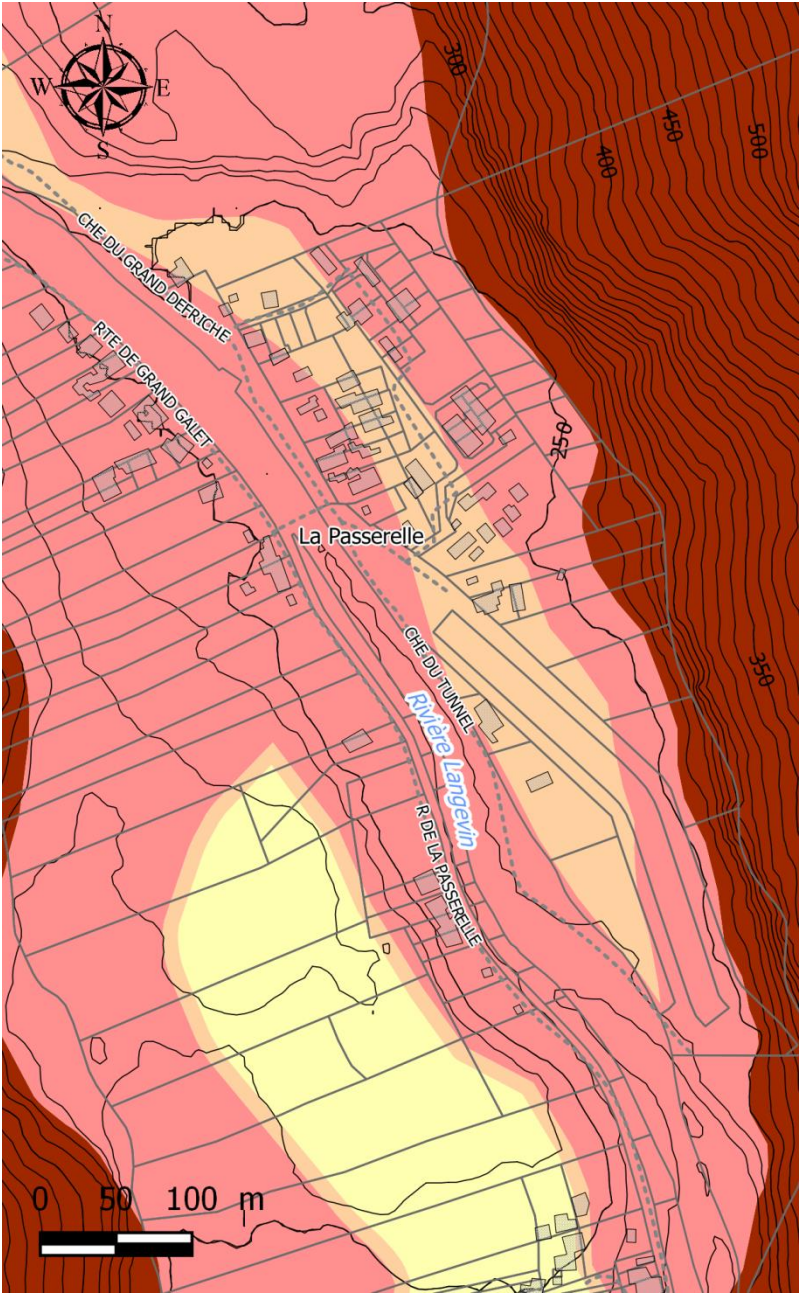


Figure 46 : Périmètre d'évacuation du secteur de la Passerelle





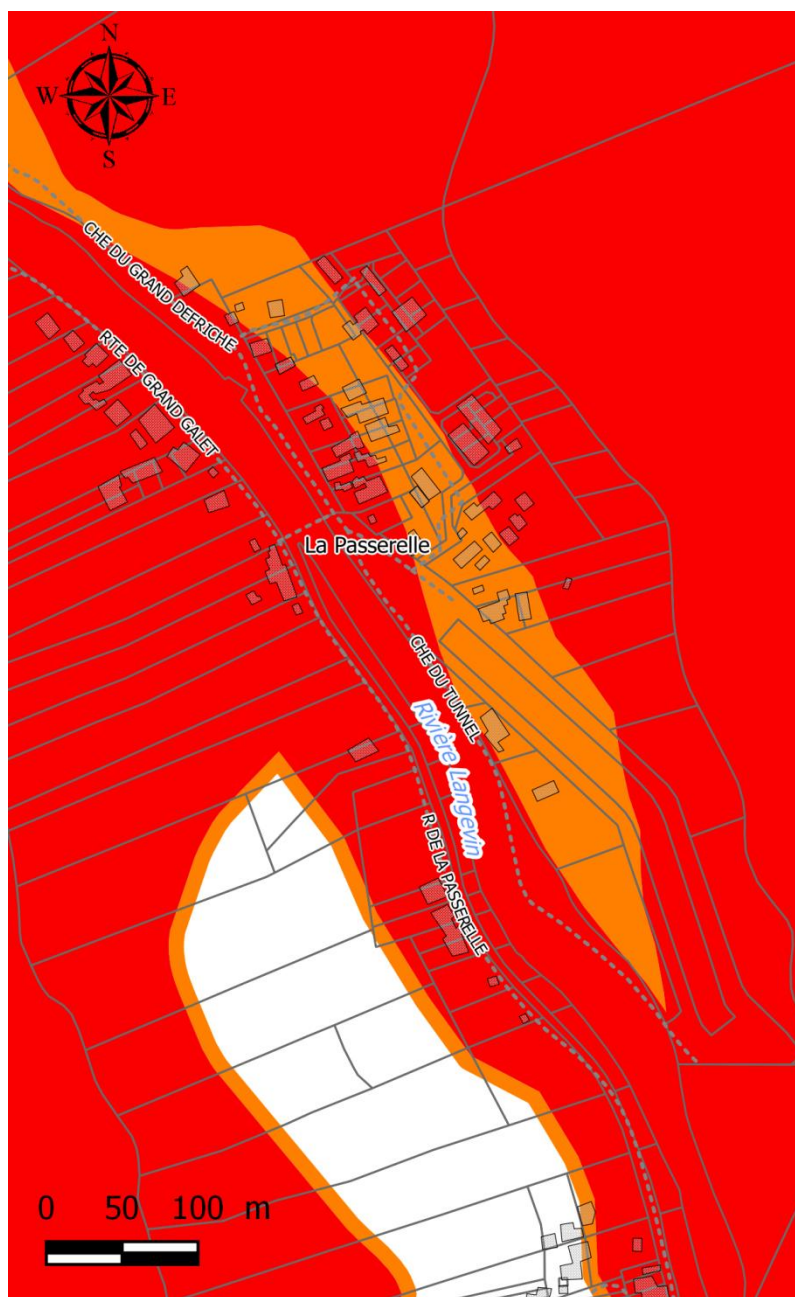


Figure 47 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du secteur de la Passerelle

Secteur de la Plaine des Grègues - Ravines dans le secteur du Rond

Le zonage de l'aléa inondation a été réalisé par Hydrétudes (cf. rapport de phase 3 de Novembre 2015 fourni en annexe 4). Suite aux visites de terrain effectuées par le BRGM en concertation avec les services de la Ville de Saint-Joseph et de la DEAL, quelques précisions ont été apportées. La géomorphologie du secteur, peu pentue où le réseau hydrographique est peu marqué (lit d'environ 2 m de profondeur, voire moins par endroit, par rapport aux terrains du plateau – cf. Figure 48), favorise les risques de débordement, risques confirmés par les services de la Ville de Saint-Joseph lors de la visite et par les observations de terrain. Par ailleurs, les terrains sont relativement plats dans ce secteur du « Rond » (2 à 4 %) ce qui favorise l'étalement des eaux en cas de débordement.

Il est également observé de nombreux dépôts dans les différents axes d'écoulement du secteur ainsi que des ouvrages de franchissement parfois de faible gabarit, favorisant les risques d'obstructions et les débordements le cas échéant.

L'analyse hydrologique comparée aux sections hydrauliques des thalwegs du secteur tend à confirmer des risques de débordement en divers points du secteur, sans toutefois que cela génère des diffluences avec des débits significatifs (risque d'étalement des eaux). L'observation de récents remblais (cf. Figure 49) mis en œuvre en bordure de certains axes d'écoulement afin de rehausser les terrains, ainsi que la présence de formations alluvionnaires en divers points de la Plaine des Grègues, tendent à confirmer ces risques de débordements et d'inondation.

L'étendue des zones inondables du secteur est caractérisée par :

- un **aléa fort inondation** au droit des thalwegs et des axes d'écoulements préférentiels du plateau ;
- un **aléa faible à moyen inondation** dans les zones les plus planes aux abords des axes d'écoulement. L'étendue la zone d'aléa faible inondation est définie en fonction des observations de terrain et de l'analyse topographique du secteur (à l'aide notamment du MNTR® de l'IGN (2012)).

Concernant l'aléa mouvements de terrain, une mise en cohérence est effectuée avec le maintien d'un aléa élevé MVT au droit des axes d'écoulement principaux cartographiés en aléa fort inondation. Au droit des zones de débordement considérées, les vitesses d'écoulement attendues seront faibles, avec une logique de dépôts plutôt que d'érosion. L'aléa moyen MVT est uniquement maintenu au niveau des berges et en recul immédiat.

Pour ce secteur, le zonage inondation conditionne la majorité du projet de zonage réglementaire du PPR (cf. Figure 50). Néanmoins, l'aléa moyen MVT en recul des berges est transcrit en zone B2u puisque les berges sont peu marquées et sécurisables à l'échelle d'un projet d'aménagement (terrains constructibles au titre du PPR sous réserve du respect de prescriptions, notamment la réalisation d'une étude technique préalable pour définir les conditions de réalisation de la construction projetée).

Suite à l'enquête publique, le secteur du village de La Passerelle n'a pas fait l'objet de modification et le zonage réglementaire du PPR au droit de ce secteur a été confirmé.



Figure 48 : Axe d'écoulement faiblement incisé dans le secteur de la Plaine des Grègues

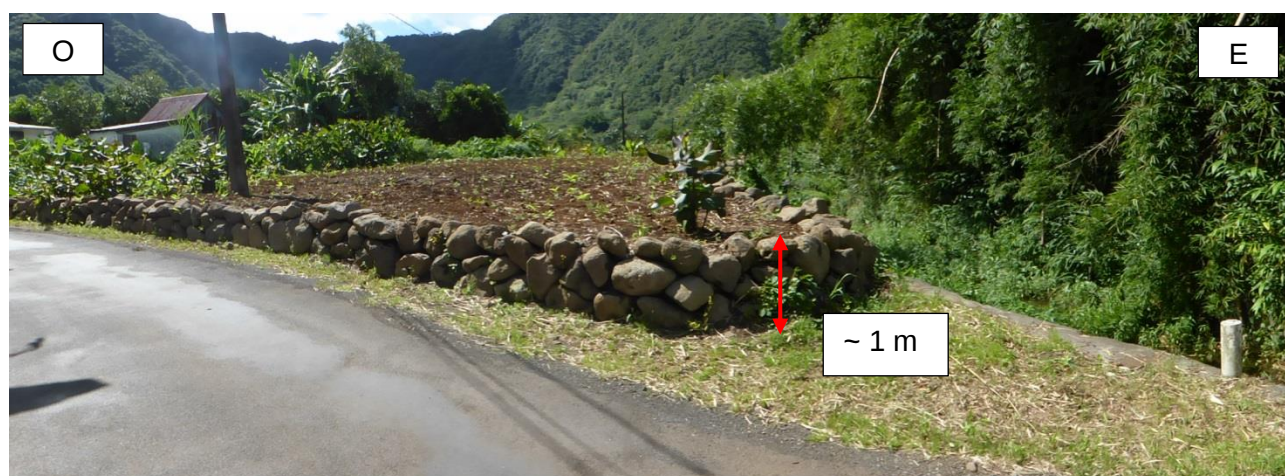
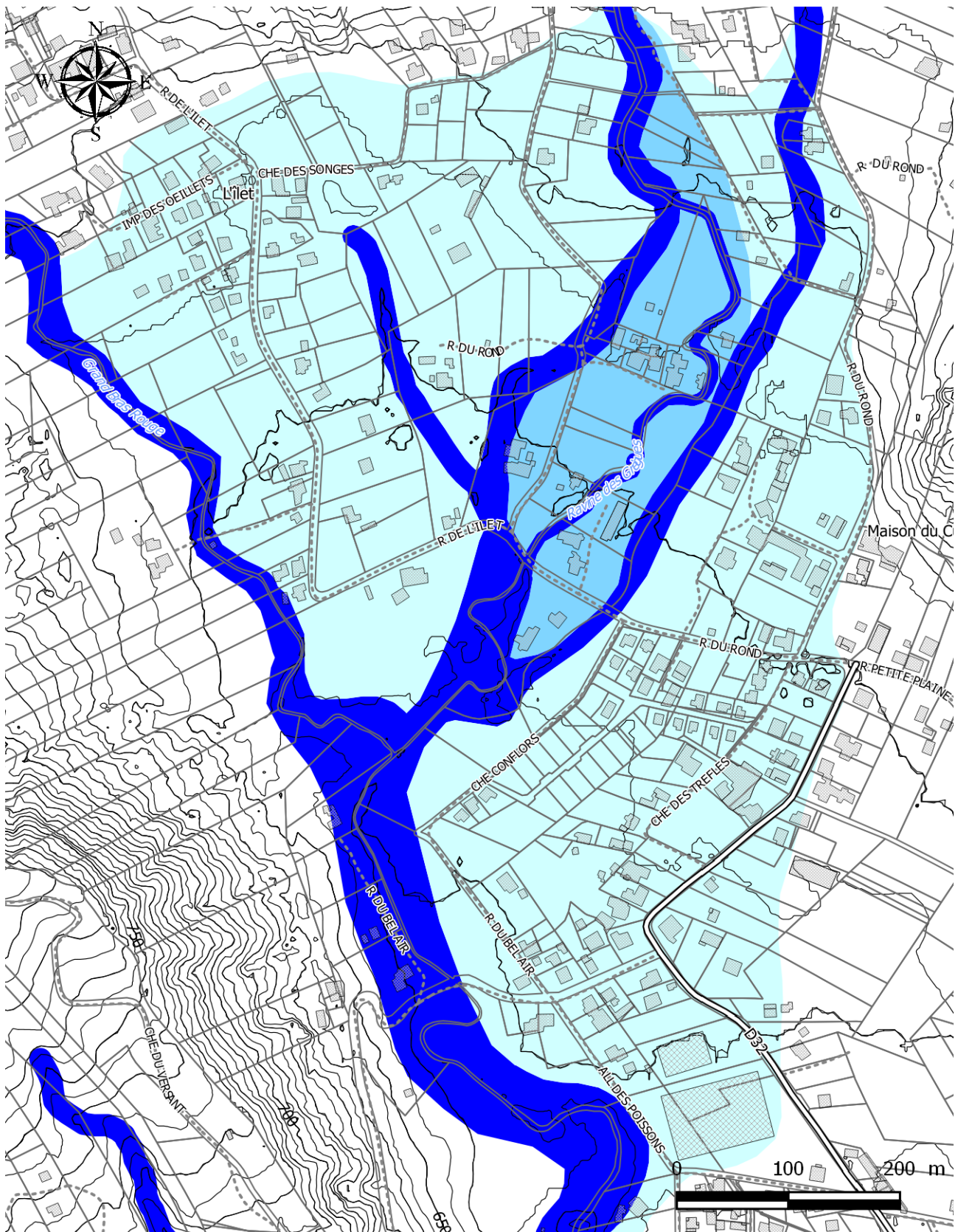
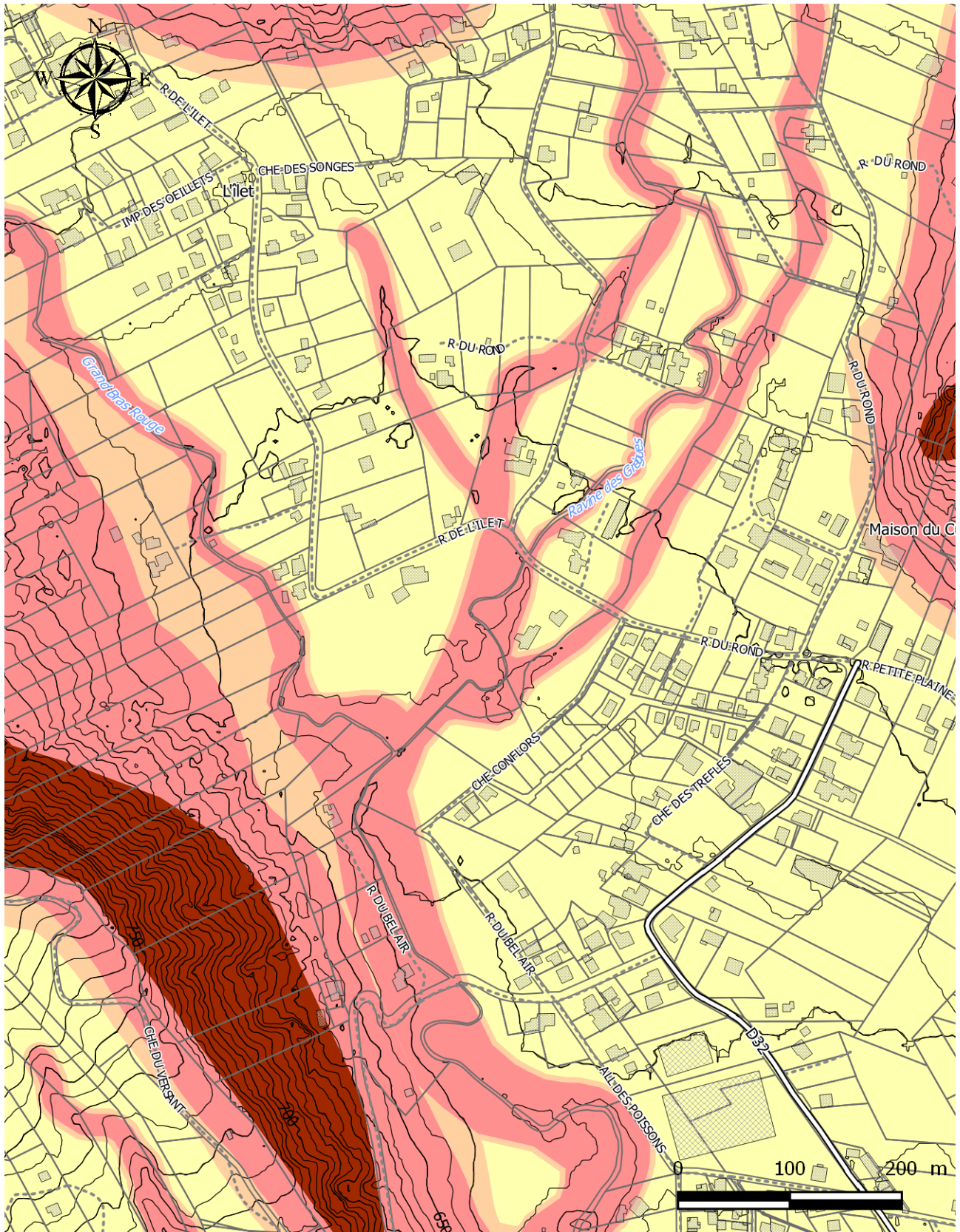


Figure 49 : Récent remblai en rive droite d'un axe d'écoulement du secteur de la Plaine des Grègues





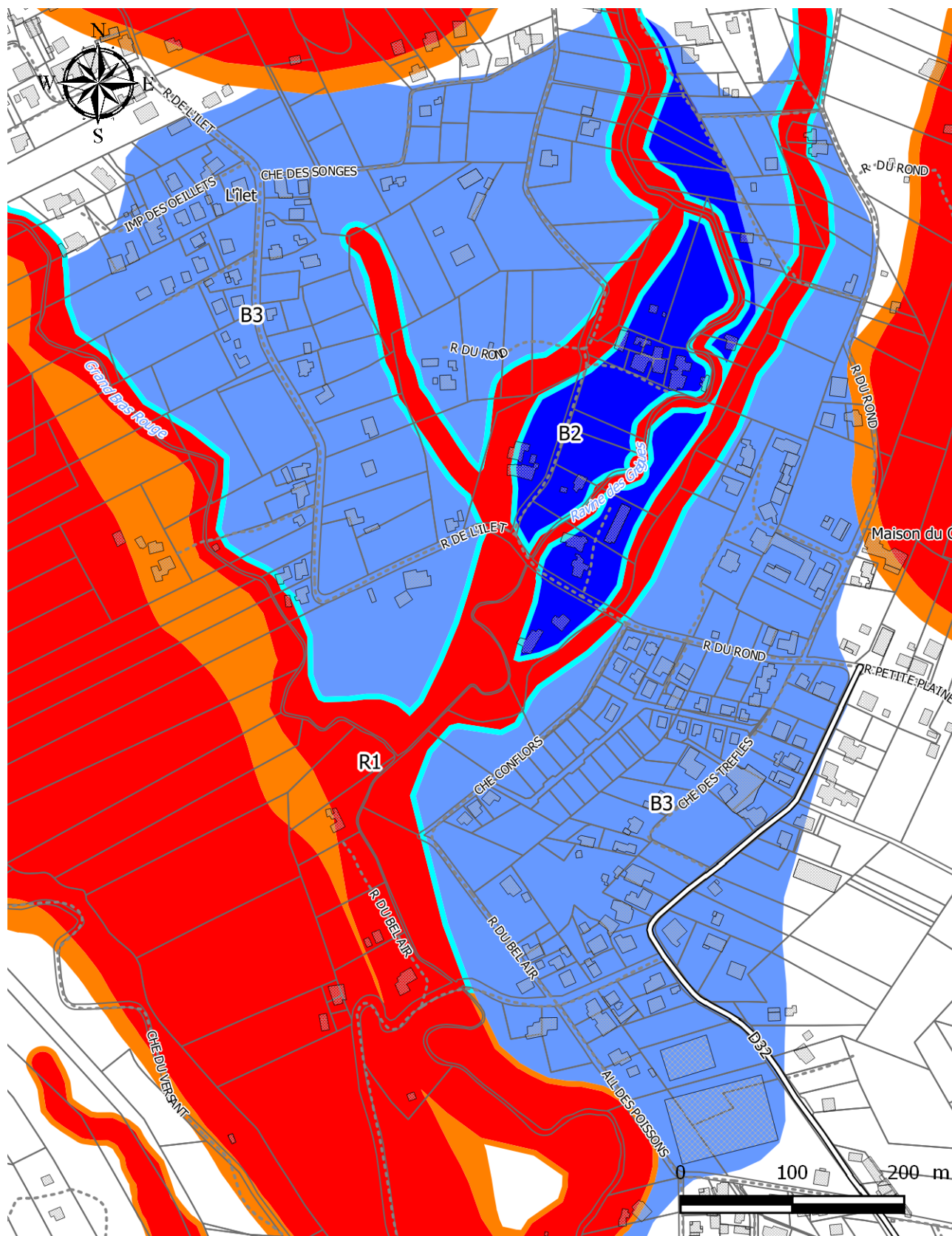


Figure 50 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et de la carte réglementaire au droit du secteur de la plaine des Grègues

6. Lexique des sigles et termes techniques

Sigles

I.C.P.E.	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
P.L.U.	Plan Local d'Urbanisme
P.O.S.	Plan d'Occupation des Sols
P.K.	Point Kilométrique
PPR	Plan de Prévention des Risques
PPRi.	Plan de Prévention des Risques Inondation
PPR MVT.	Plan de Prévention des Risques Mouvements de Terrain
P.R.	Point Repère
R.D.	Route Départementale
R.H.I.	Résorption de l'Habitat Insalubre
R.N.	Route Nationale
T.O.C.	Tempête – Ouragans – Cyclones
Z.A.C.	Zone d'Aménagement Concerté

Organismes / Administrations

B.C.T.	Bureau Central de Tarification
B.R.G.M.	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
C.A.H.	Commissariat à l'Aménagement des Hauts
C.I.R.A.D.	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
D.A.A.F.	Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
D.E.A.L	Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
E.M.Z.P.C.O.I.	Etat-Major de Zone de Protection Civile – Océan Indien
I.G.N.	Institut national de l'information géographique et forestière
I.N.S.E.E.	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
O.N.F.	Office National des Forêts
S.H.O.M.	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

Termes techniques

Aléa : Phénomène naturel (ex.: 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. Références bibliographiques

Aubié S., Chevalier P., Cruchet M., Frissant N., Lebon D., Rançon J. Ph., Siegwart C. (2002) – Inventaire des mouvements de terrain provoqués par le passage du cyclone DINA du 22 au 23 janvier 2002 à La Réunion (communes de Bras-Panon, Entre-Deux, La Possession, Petite-Ile, Saint-André, Sainte-Marie, Saint-Joseph, Saint-Paul). Rapport BRGM/RP-51567-FR – 2002 SGR/REU 03 – 6 fig., 12 p., 5 annexes.

Bès de Berc S. (2014) – Contre-expertise d'urgence à La Passerelle, suite aux chutes de blocs du 09 Novembre 2014, à l'expertise de SEGC du 10/11/14 et au rapport de SAGE Ingénierie. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-64111-FR. 190 p., 19 fig., 4 annexes.

Cruchet M. (1993) – Découverte de cavités souterraines dans le quartier de la Cayenne à Saint-Joseph – Avis géologique sur les risques encourus – Rapport BRGM R 37415 4S REU 93

Cruchet M. (1997) – Confortement du talus de Manapany (RN2 – Saint-Joseph) – Novembre 1997 – Rapport BRGM 97 REU 37 – 28 p.

Cruchet M. (2000) – Village de Grand Galet (commune de Saint-Joseph – Cartographie des zones exposées aux mouvements de terrain. Rapport BRGM/RP-50015-FR/2000SGR/REU02, 3 fig., 2 ann., 17 p.

Decelle C., Denervaud L., Stieltjes L. (1989) – Inventaire des mouvements de terrains et inondations liés au cyclone Firinga (29 janvier 1989) ayant affecté des équipements ou aménagements collectifs et individuels à la Réunion – Rapport BRGM 89 REU 14 – Juillet 1989 – 74 p.

Garnier C. / Delabrosse F. (2010) – Diagnostic géologique suite à un éboulement survenu dans le rempart rive droite de la Rivière Langevin, vers l'Îlet à Diable - visite du 15/06/10 – Note technique BRGM/SGR/REU/NT-2010-064. Rapport BRGM/RP-58701-FR. 11 p., 9 fig.

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.

Humbert M. – Rapport Brgm 86 SGN 132 GEG – mars 1986 - Les systèmes érosifs des grandes ravines « au Vent » à l'île de La Réunion 86 SGN 132 GEG – mars 1986

Hydrétudes (Avril 2014) - rapport RE13-012/Phase1 /Version2.0 – Révision du PPR Inondation - Rapport d'étude – 69 p.

Hydrétudes (Septembre 2014) - rapport RE13-012/Phase2 /Version2.2 – Révision du PPR Inondation - Rapport d'étude – 83 p.

Hydrétudes (Novembre 2015) - rapport RE13-012/Phase3 /Version2.0 – Révision du PPR Inondation - Rapport d'étude – 28 p.

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

Nédellec JL. (2010) - R N 2 – PR 100+560 - Rampes de Basse-Vallée (Saint-Joseph) – Diagnostic géologique suite à l'éboulement du 4 septembre 2010 - Compte-rendu de l'inspection du 5 septembre 2010 - Note technique BRGM/SGR/REU/NT-2010-095 - Rapport BRGM RP-58907-FR, 11 p., 7 fig.

Nédellec JL. (2011) – Diagnostic géologique sur le rempart rive droite de la Rivière Langevin – secteur de La Passerelle (Saint-Joseph) - Inspection du 14 Février 2011 - Rapport BRGM/RP-59588-FR, 9 p., 5 fig.

Nédellec JL. (2011) – Note technique relative à la dangerosité de la route de Grand Galet (Vallée de la Rivière Langevin à Saint-Joseph) vis-à-vis des instabilités de terrain – Note technique du 17 février 2011 – 6p.

Rey A., Franssen C. (2016) – Commune de Saint-Joseph. Plan de Prévention des Risques Naturels « inondations et mouvements de terrain » de Saint-Joseph. Analyse des demandes de précisions de la mairie. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-65694-FR. 128 p., 15 fig., 8 tab., 1 ann.

SAGE Ingénierie – RP6106b/AM – Commune de Saint-Joseph (974) – Village de la Passerelle – Etude des risques de chutes de blocs – Version définitive du 18 décembre 2014

SMIETANA Magali (2011) - Pétrologie, géochronologie et géochimie élémentaire et isotopique de laves anciennes de La Réunion : Implications sur la construction de l'édifice volcanique - Thèse soutenue le 31 octobre 2011 -Université de la Réunion

8. Principaux textes officiels

8.1. LEGISLATION - REGLEMENTATION

1. Loi n° 87.565 du 22 juillet 1987 modifiée, relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs ;
2. Loi n° 95.101 du 02 février 1995 dite loi Barnier, relative au renforcement de la protection de l'environnement, et notamment son titre II sur les dispositions relatives à la prévention des risques naturels (transposée dans les articles L.562.1 à L.562.9 du code de l'Environnement) ;
3. Décret d'application n° 95.1089 du 05 octobre 1995 relatifs aux plans de prévention des risques naturels prévisibles, modifié par le décret 2005.3 du 4 janvier 2005 ;
4. Loi n°2003.699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages (Journal Officiel du 31 juillet 2003) ;
5. Décret d'application n°2011.765 du 28 juin 2011 relatif à la procédure d'élaboration, de révision et de modification des PPR naturels.

8.2. PRINCIPALES CIRCULAIRES

1. La circulaire interministérielle (Intérieur - Equipement - Environnement) du 24 janvier 1994 relative à la prévention des inondations et à la gestion des zones inondables ;
2. La circulaire du ministère de l'Environnement du 19 juillet 1994 relative à la relance de la cartographie réglementaire des risques naturels prévisibles ;
3. La circulaire interministérielle (Equipement - Environnement) du 24 avril 1996 relative aux dispositions applicables au bâti et aux ouvrages existants en zones inondables ;
4. La circulaire interministérielle (Equipement - Environnement) du 30 avril 2002 relative à la politique de l'Etat en matière de risques naturels prévisibles et de gestion des espaces situés derrière les digues de protection contre les inondations et les submersions marines ;
5. La circulaire du 21 janvier 2004 relative à la maîtrise de l'urbanisation et 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.

8.3. 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).