

DEPARTEMENT DE LA REUNION

Commune de Bras-Panon



PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS PREVISIBLES

« Inondations et mouvements de terrain »

NOTE DE PRESENTATION

Janvier 2022

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	11
1.1. Organisation de la gestion des risques	11
1.2. Prévention des risques naturels	12
1.3. Plan de Prévention des Risques (P.P.R.) naturels prévisibles	13
1.4. Catastrophes naturelles à La Réunion	13
2. PRESENTATION DU PPR	14
2.1. Contexte réglementaire du PPR	14
2.2. Procédure réglementaire	15
2.2.1. Secteurs géographiques concernés	15
2.2.2. Etat des réflexions menées	15
2.3. Assurances et infractions au PPR	18
2.3.1. Rappel du régime d'assurance en vigueur	18
2.3.2. Infractions au PPR et sanctions	21
2.4. Expropriation et Mesure de sauvegarde	21
2.5. Responsabilités	22
2.5.1. Etablissement du PPR	22
2.5.2. Autorisation d'occuper le sol	22
3. PRESENTATION DE LA COMMUNE	23
3.1. Contexte de la zone d'étude	23
3.1.1. Situation géographique	23
3.1.2. Contexte géomorphologique	24
3.1.3. Contexte climatique	25
3.1.4. Réseau hydrographique	30
3.1.5. Contexte géologique	32
3.1.6. Contexte pédologique	34
3.2. Enjeux et vulnérabilité	37
4. APPROCHE HISTORIQUE ET CARACTERISATION DES PHENOMENES NATURELS.....	39
4.1. Phénomènes historiques	39
4.2. Arrêtés de catastrophes naturelles	41
4.3. Caractérisation des mouvements de terrain	42
4.3.1. Chutes de pierres ou de blocs, éboulements (P).....	43
4.3.2. Glissements de terrain et coulées boueuses associées (G)	46
4.3.3. Erosions et ravinement	48

4.4.	Caractérisation des phénomènes d' inondation	52
5.	CARACTERISATION ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS	55
5.1.	Définitions et notions générales.....	55
5.1.1.	Notion d'intensité et de probabilité d'occurrence	55
5.1.2.	Remarques relatives aux règles de zonage	56
5.2.	Aléa inondation.....	57
5.2.1.	Méthode d'évaluation de l'aléa	57
5.2.2.	Caractérisation de l'aléa inondation	58
5.3.	Aléa mouvements de terrain	58
5.3.1.	Méthode d'évaluation de l'aléa	58
5.3.2.	Règles générales de qualification de l'aléa MVT	60
5.3.3.	Cas particulier de l'érosion des berges de la Rivière du Mât.....	63
5.3.4.	Qualification de l'aléa mouvements de terrain.....	64
5.4.	Principes de traduction réglementaire	65
5.5.	Exemples de cartographie au droit de secteurs à enjeux	67
6.	LEXIQUE DES SIGLES ET TERMES TECHNIQUES	77
7.	PRINCIPAUX TEXTES OFFICIELS	79
7.1.	Législation - Réglementation	79
7.2.	Principales circulaires	79
7.3.	Publication de guides	79
8.	ANNEXE 1 : GRILLES D'AIDE A LA CARTOGRAPHIE DE L'ALEA MVT (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM/RP-66346-FR DE NOVEMBRE 2016)	163
9.	ANNEXE 2 : BILAN DE CONCERTATION ETABLI EN JUILLET 2021 POUR LE LANCEMENT DE L'ENQUETE PUBLIQUE	173

Liste des tableaux

Tableau 1 : Evénements historiques majeurs survenus à la Réunion	13
Tableau 2 : Précipitations journalières décennales et centennales (en mm)	28
Tableau 3 : Cumul de pluie moyen par jours entre 1981 et 2010 (source : Bulletin climatologique 2016 – Météo France)	29
Tableau 4 : 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 2010 à 2019 observés sur la station de Bellevue Bras-Panon (Données Météo France).	29
Tableau 5 : Liste des arrêtés de catastrophes naturelle sur la commune de Bras-Panon (source : www.géorisques.gouv.fr)	41
Tableau 6 : Liste des cyclones notables recensés par Météo-France (Soler, 1997)	42
Tableau 7 : Types de phénomène rencontrés en fonction des catégories de terrain	43
Tableau 8 : Caractérisation de l'aléa inondation pour la crue centennale en fonction des vitesses et des hauteurs d'eau	58
Tableau 9 : Echelle qualitative de probabilité d'occurrence (LCPC, guide technique sur les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux, 2004)	61
Tableau 10 : Principe de grille de qualification des aléas:	62
Tableau 11 : Informations relatives aux secteurs homogènes concernant l'aléa érosion de berge sur la Rivière du Mât.	64
Tableau 12 : Définition du niveau d'aléa MVT résultant en fonction des différents aléas caractérisés	64
<i>Tableau 13 : Principe de traduction réglementaire des aléas du PPR de Bras-Panon.....</i>	<i>66</i>
Tableau 14 : Légendes des extraits cartographiques du projet de PPR	67

Liste des figures

Figure 1 : Territoire communal concerné par le PPR	23
Figure 2 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France)	26
Figure 3 : Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)	27
Figure 4 : Localisation des stations météo à proximité de Bras-Panon (©IGN Scan100® - 2010) .	28
Figure 5 : Réseau hydrographique de Bras-Panon (source : BDtopo2016®, MNT IGN 2012)	32

Figure 6 : Carte géologique de la commune de Bras-Panon (BGRM/LGSR, 2006)	33
Figure 7 : Carte morpho-pédologique à l'échelle du 1/50 000	36
Figure 8 : Evolution de la population de Bras-Panon (source : ©I.N.S.E.E.).....	37
Figure 9 : Chute d'un bloc isolé	44
Figure 10 : Eboulement.....	44
Figure 11 : Cicatrice d'un événement de chute de bloc, Ilet Payet, 2013.	45
Figure 12 : Éboulement en rive droite de la Rivière du Mât au niveau de Bellevue lors du cyclone Fakir en 2018.	46
Figure 13 : Coupe type d'un glissement circulaire	47
Figure 14 : Glissement de terrain sur un talus au nord du quartier de Paniandy, 2013.....	48
Figure 15 : Erosion de berge suite au passage de la forte tempête tropicale Fakir (2018)	49
Figure 16 : Recul de la limite de berge entre 2003 et 2008 en rive droite du lit de la rivière du Mât	50
Figure 17 : Lit de la rivière du Mât durant le passage du cyclone Gamède (2007)	51
Figure 18 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction des caractéristiques d'écoulement (source : Guide PPRi ruissellement péri-urbain M.E.D.D.E.).....	53
Figure 19 : Crue de la Rivière du Mât sur le site de la société de concassage HOLCIM (Gamède, 2007)	54
Figure 20 : Exemple de représentation de la notion de continuité du niveau d'aléa	56
Figure 21 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de Fond Ilet (Rivière du Mât).....	69
Figure 22 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du centre ville quartier de la rivière des roches	72
Figure 23 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du quartier de Libéria.	74
Figure 24 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de Bengalis – Rivière du Mât	76

Préambule

Ce dossier est le **Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles (P.P.R.) inondations et mouvements de terrain de la commune de Bras-Panon**. Il a été établi conformément aux dispositions législatives instituées par la loi Barnier n° 95-101 du 2 février 1995 (transposée notamment dans les articles L.562.1 à L.562.9 du code de l'environnement) et aux dispositions réglementaires issues du décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995 (modifiées par le décret n°2005-4 du 4 Janvier 2005).

Ce dossier comporte plusieurs documents informatifs et réglementaires :

✓ Les documents informatifs :

- Une cartographie des aléas naturels (mouvements de terrain et inondations) à l'échelle du 1/ 17 000 et du 1/5 000 ;
- Une cartographie de localisation des phénomènes naturels historiques (inondations et mouvements de terrain) à l'échelle 1/17 500 ;
- Une cartographie des équipements sensibles (enjeux) de la commune à l'échelle 1/17 500.

✓ Les documents réglementaires :

- La note de présentation : elle décrit succinctement le territoire d'étude et les phénomènes naturels qui le concernent, ainsi que les règles méthodologiques adoptées ;
- Une cartographie du zonage réglementaire à l'échelle du 1/ 17 000 et du 1/5 000 ;
- Le règlement associé au zonage réglementaire.

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

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

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

1. Introduction

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

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

La commune de Bras-Panon, peuplée de 12 811 habitants (Insee, RP2017, population au 1^{er} janvier 2020), est affectée par des phénomènes de mouvements de terrain et/ou d'inondations, comme en témoigne la carte des phénomènes historiques (annexe 2 du dossier PPR), impactant plus ou moins durement les activités humaines.

Dans un contexte de développement de l'urbanisation et d'augmentation inhérente de la vulnérabilité, le nombre et la diversité des phénomènes naturels auxquels sont exposés des enjeux importants sur le territoire communal ont justifié de la part du Service instructeur des PPR (Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement ou DEAL) l'élaboration d'un PPR multirisques (« inondations et mouvements de terrain ») de la commune.

1.1. ORGANISATION DE LA GESTION DES RISQUES

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

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

1.2. PREVENTION DES RISQUES NATURELS

La politique de prévention des risques naturels a pris un essor particulier en France en 1994 suite à une succession d'événements catastrophiques ayant affecté depuis 1987 le territoire national. Il est apparu alors de manière évidente qu'un développement urbain mal maîtrisé pouvait aggraver considérablement les catastrophes en particulier lorsque les zones exposées sont urbanisées. L'extension urbaine peut même contribuer à les provoquer notamment par l'imperméabilisation des sols, la canalisation des rejets pluviaux et les divers travaux de terrassement. Ces phénomènes sont également constatés sur l'île de la Réunion qui subit régulièrement les effets dévastateurs des cyclones et des fortes pluies (cf. le tableau des événements majeurs historiques présenté en 0).

La commune de Bras-Panon 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 de l'article L. 741-1 à L. 741-5. Il est obligatoire dans les communes dotées d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles approuvé ou comprises dans le champ d'application d'un plan particulier

d'intervention. Le plan communal de sauvegarde est arrêté par le maire de la commune. [...] La mise en œuvre du plan communal ou intercommunal de sauvegarde relève de chaque maire sur le territoire de sa commune. Un décret en Conseil d'État précise le contenu du plan communal ou intercommunal de sauvegarde et détermine les modalités de son élaboration. »

1.3. PLAN DE PREVENTION DES RISQUES (P.P.R.) NATURELS PREVISIBLES

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

La commune de Bras-Panon est dotée d'un Plan de Prévention des Risques (PPR) d'inondation approuvé par l'arrêté préfectoral d'approbation n° 412 du 23 février 2004.

La procédure d'établissement du Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles sur la commune de Bras-Panon a été prescrite par l'arrêté préfectoral n°2015-1814/SG/DRCTCV du 7 octobre 2015 et le délai d'approbation a été augmenté par l'arrêté n°2018-1791/SG/DCL/BU du 24 septembre 2018 portant prorogation du délai d'approbation.

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

1.4. CATASTROPHES NATURELLES A LA REUNION

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

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 P.P.R. :

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

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

Le PPR vaut servitude d'utilité publique (article L.562-4 du Code de l'Environnement). Il est annexé au Plan Local d'Urbanisme, conformément à l'article L.153-60 du Code de l'Urbanisme.

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

2.2. PROCEDURE REGLEMENTAIRE

2.2.1. Secteurs géographiques concernés

La procédure réglementaire PPR est définie par les articles R.562-1 à R.562-9 du code de l'environnement. Le point de départ de la présente procédure d'élaboration du PPR est l'arrêté préfectoral de prescription n°2015-1814/SG/DRCTV du 7 octobre 2015.

Cet arrêté précise dans son article 1 que le périmètre mis à l'étude concerne l'ensemble du territoire de la commune de Bras-Panon 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 réflexions menées

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

- **23 février 2004 : Approbation du PPR inondation (arrêté préfectoral n°412) ;**
- Mai 2013 à février 2014 : visites de terrain ;
- 23 juin 2014 : Réunion de présentation de la procédure de révision du PPR inondation avec intégration des aléas mouvements de terrain ;
- 15 septembre 2014 : visites de terrain avec la mairie pour laquelle le BRGM a rédigé un rapport (BRGM RP-64249-FR¹) ;
- 3 mars 2015 : Porter à Connaissance (PAC) des cartographies des aléas ;

¹**Rey A. & Vincent C.** (2016) – Rapport d'expertise : Commune de Bras-Panon. Plan de Prévention des Risques naturels « inondations et mouvements de terrain ». Analyse des demandes de précision de la mairie de Bras-Panon BRGMRP-64249-FR, 22 p.

- **7 octobre 2015 : Arrêté préfectoral n°2015-1814/SG/DRCTCV prescrivant l'établissement d'un Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles relatifs aux aléas « inondation et mouvements de terrain » sur la commune de Bras-Panon ;**
- Mai 2018 : visites de terrain pour le classement de certaines zones en B2u.
- **24 septembre 2018 : Arrêté préfectoral n°2018-1791/SG/DCL/BU portant prorogation du délais d'approbation d'un Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles » sur la commune de Bras-Panon relatifs aux aléas inondation et mouvements de terrain ;**
- Octobre 2018 : Visites de terrain dans le but de cartographier les digues ;
- Octobre 2018 : Analyse des 9 demandes de précision des administrés sur les cartes d'aléas et le zonage réglementaire ;
- 22 mai 2019 : présentation des cartes d'aléas inondation et mouvements de terrain établies et finalisées par le BRGM ;
- 14 juin 2019 : Porter A Connaissance (PAC) actualisé et transmission des cartographies des aléas inondations et mouvement de terrain sur la commune ;
- 3 et 10 septembre 2019 : Réunions d'informations et d'échanges avec le public : présentation par la DEAL et le BRGM aux citoyens et aux services de la mairie de Bras-Panon, du projet de PPR ;
- Septembre et octobre 2019 : Phase de concertation avec le public. Transmission des jeux de cartes d'aléas et du projet de zonage règlementaire pour consultation en mairie par le public pendant 2 mois. Formulation de requêtes, question ou observations par le public sur le projet de PPR ;
- Mai 2020 : Analyse des 13 demandes de précision des administrés (dont 4 visites de terrain complémentaires réalisées le 28 mai 2020) déposées au cours de la phase de concertation sur les cartes d'aléas et le zonage réglementaire (rapport BRGM/RP69976-FR²) ;
- 11 Août 2020 : Réunion de présentation du PPR aux élus du nouveau conseil municipal de la commune de Bras-Panon ;
- 7 Octobre 2020 : Réunion d'information et d'échanges avec le public (seconde phase de concertation): présentation par la DEAL et le BRGM aux citoyens et aux services de la mairie de Bras-Panon, du projet de PPR ;
- 8 octobre 2020 au 29 octobre 2020 : seconde phase de concertation, mis à disposition du public de la cartographie actualisée sur les résultats de la première phase de concertation
- Novembre 2020 : Analyse des 9 demandes de précision (dont 4 visites de terrain complémentaires réalisées le 19 Novembre 2020) déposées au cours de la seconde phase de concertation sur les cartes d'aléas et le zonage réglementaire (BRGM/RP70308-FR³).

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

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

² Chaput M. et Chevaux S. (2020) – Commune de Bras-Panon. Plan de prévention des Risques Naturels « inondations et mouvements de terrain » de Bras-Panon. Analyse des demandes de précision. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-69976-FR, 75p., 14 fig., 6 tab.

³ Chaput M., Chevaux S. (2021) – Commune de Bras-Panon. Plan de Prévention des Risques Naturels « inondation et mouvement de terrain » de Bras-Panon. Analyse des demandes de précision. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-70308-FR. 53 p., 12 fig., 6 tab.

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

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

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

La consultation officielle des personnes publiques associée s'est déroulée du 20 avril 2021 au 26 juin 2021. L'ensemble des avis rendus pendant cette phase de consultation sont repris dans le bilan de concertation qui se trouve en annexe du présent rapport. Ce bilan porte sur la concertation mise en œuvre dans le cadre de l'élaboration du projet de PPR conformément aux articles 4 et 5 de l'arrêté préfectoral de prescription.

Le bilan de la concertation établi pour le lancement de l'enquête publique est joint en annexe de la présente note de présentation 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.

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

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

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

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

Art. R. 562-9 A l'issue des consultations prévues aux articles R. 562-7 et R. 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° 1304 SG/DCL/BU du 7 juillet 2021, modifié par arrêté préfectoral n° 1493 SG/DCL/BU du 29 juillet, a prescrit l'ouverture d'une enquête publique au titre du code de l'environnement, sur le territoire de la commune de Bras-Panon, concernant le projet de Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles relatifs aux aléas « inondation » et « mouvements de terrains ».

L'enquête publique s'est déroulée du 2 août 2021 au 6 septembre 2021 inclus (36 jours consécutifs), sous la supervision de Monsieur Francis NIVAL, commissaire-enquêteur. Les pièces du projet de dossier de PPR ainsi que des registres d'enquête ont été mises à disposition du public à la mairie

de Bras-Panon (Hôtel de Ville) et au Centre Communal d'Action Sociale (CCAS) de la Rivière du Mât pendant la durée de l'enquête. Le commissaire-enquêteur a tenu notamment 16 permanences pendant la durée de l'enquête afin de recueillir les observations du public.

Les mesures de publicité et d'affichage obligatoires pour l'enquête publique ont été complétées le 5 août 2021 par la distribution, dans l'ensemble des boîtes aux lettres des administrés de la commune, de 5000 flyers rappelant la tenue de l'enquête publique. Une information directe de la population de la tenue de l'enquête publique a ainsi été menée par l'État.

L'enquête fait état de 7 observations dont 3 doublons. Seules 6 requêtes uniques ont été formulées. La synthèse des réponses formulées pour chacune des requêtes (proposition de classement réglementaire et éléments de justification) est présentée en annexe du PPR approuvé (rapport BRGM n°RP-71175-FR de décembre 2021⁴).

Le registre d'enquête numérique, mis en place pour la première fois à l'occasion de la présente enquête publique, comptabilise 55 visites, 360 visualisations de documents et 294 téléchargements de documents. Par ailleurs, il peut être relevé que 10 personnes ont consulté le dossier d'enquête publique sans émettre d'observations sur le registre d'enquête.

Le commissaire enquêteur a donné un avis favorable au projet de PPRn « inondation et mouvements de terrain » de la commune de Bras-Panon dans son rapport du 28 septembre 2021.

Une copie du rapport du commissaire enquêteur est consultable pendant un an à la mairie de Bras Panon 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).

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. »

⁴ **Chaput M., Ferradou L. (2022)** – Plan de Prévention des Risques Naturels « inondations et mouvements de terrain » de Bras Panon. Analyse des demandes de précisions de l'enquête publique. Rapport final BRGM/RP-71175-FR. 56p.

Champ d'application de la garantie

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

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

Risques couverts

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

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

- Les inondations (cours d'eau sortant de leur lit) ;
- Les ruissellements d'eau, de boue ou de lave ;
- Les glissements ou effondrements de terrain ;
- La subsidence (effondrement de terrain consécutif à la baisse de la nappe phréatique) ;
- Les séismes.

Les trois critères prévus par le texte étant réunis (1 : caractère naturel de la cause du dommage 2 : anormalité de son intensité 3 : mise en œuvre préalable des mesures de prévention), il doit évidemment exister un lien de causalité entre ces trois facteurs.

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

Biens garantis

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

L'assureur a la possibilité de refuser la couverture des catastrophes naturelles aux propriétaires ou exploitants de biens situés dans une zone couverte par un PPR, s'ils ne se sont pas conformés, dans un délai de cinq ans, aux prescriptions imposées par le plan (des travaux d'aménagement peuvent être imposés sous réserve de ne pas excéder 10 % de la valeur vénale du bien). Cette possibilité, prévue par l'article L.125.6 du Code des Assurances, ne peut être mise en œuvre que lors de la conclusion initiale ou du renouvellement du contrat. Evidemment, les assureurs pourront également refuser leur garantie à l'égard des biens et des activités installées postérieurement à la publication d'un PPR sur des terrains classés inconstructibles par ce plan. Le Bureau Central de Tarification (B.C.T.) est saisi des contentieux éventuels.

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

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

Etat de catastrophe naturelle

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

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

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

Règlement des sinistres

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

Dispositions nouvelles pour l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles

Par arrêtés du 05 septembre 2000 du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie (publiés au journal officiel du 05 septembre 2000), certains articles du code des assurances ont été modifiés pour renforcer le lien entre l'indemnisation des dommages résultant des catastrophes naturelles et les mesures de prévention de ces risques. Les nouvelles dispositions adoptées ont pour objet d'une part l'augmentation des franchises, et d'autre part leur modulation en fonction de la répétitivité des risques naturels survenus et des mesures de prévention prises tendant à les réduire.

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

- **Premier et second arrêtés** : application de la franchise
- **Troisième arrêté** : doublement de la franchise applicable
- **Quatrième arrêté** : triplement de la franchise applicable
- **Cinquième arrêté et arrêtés suivants** : quadruplement de la franchise applicable

Ces mesures cessent de s'appliquer à compter de la prescription d'un PPR pour le risque faisant l'objet de l'arrêté portant constatation de l'état de catastrophes naturelles dans la commune concernée. Elles reprennent leurs effets en l'absence d'approbation du plan précité dans le délai de cinq ans à compter de la prescription correspondante.

2.3.2. Infractions au PPR et sanctions

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

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

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

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

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

2.4. EXPROPRIATION ET MESURE DE SAUVEGARDE

Le PPR n'emporte aucune mesure d'expropriation. Une procédure d'expropriation indépendante du PPR est prévue par les articles 11 et suivants de la loi du 02 février 1995. Elle vise à régler les situations où le déplacement des populations, dont la vie serait menacée, s'avère le seul moyen de les mettre en sécurité à un coût acceptable. Cette mesure implique une analyse particulière des risques, car la notion de menace grave pour les vies humaines est fondée sur des critères beaucoup plus restrictifs que ceux qui président à la délimitation du zonage PPR, le plus souvent établis sur la constructibilité ou les usages des sols. Pour cette raison, le classement en zone « rouge » d'un PPR n'est jamais à lui seul un motif d'expropriation.

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

2.5. RESPONSABILITES

2.5.1. Etablissement du PPR

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

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

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

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

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

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

2.5.2. Autorisation d'occuper le sol

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

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

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

3. Présentation de la commune

3.1. CONTEXTE DE LA ZONE D'ETUDE

3.1.1. Situation géographique

Le territoire de la commune de Bras-Panon, d'une superficie de 88,6 km², est situé au Nord-Est de La Réunion (Figure 1). Son territoire est relativement restreint et représente moins de 2,3% de la surface de l'île. Il s'étage entre le littoral et les contreforts du plateau de Bélouve et est délimité par la Rivière du Mât au Nord et à l'Ouest, et la Rivière des Roches au Sud. Son point culminant se situe au niveau du Mazerin (2092 m).

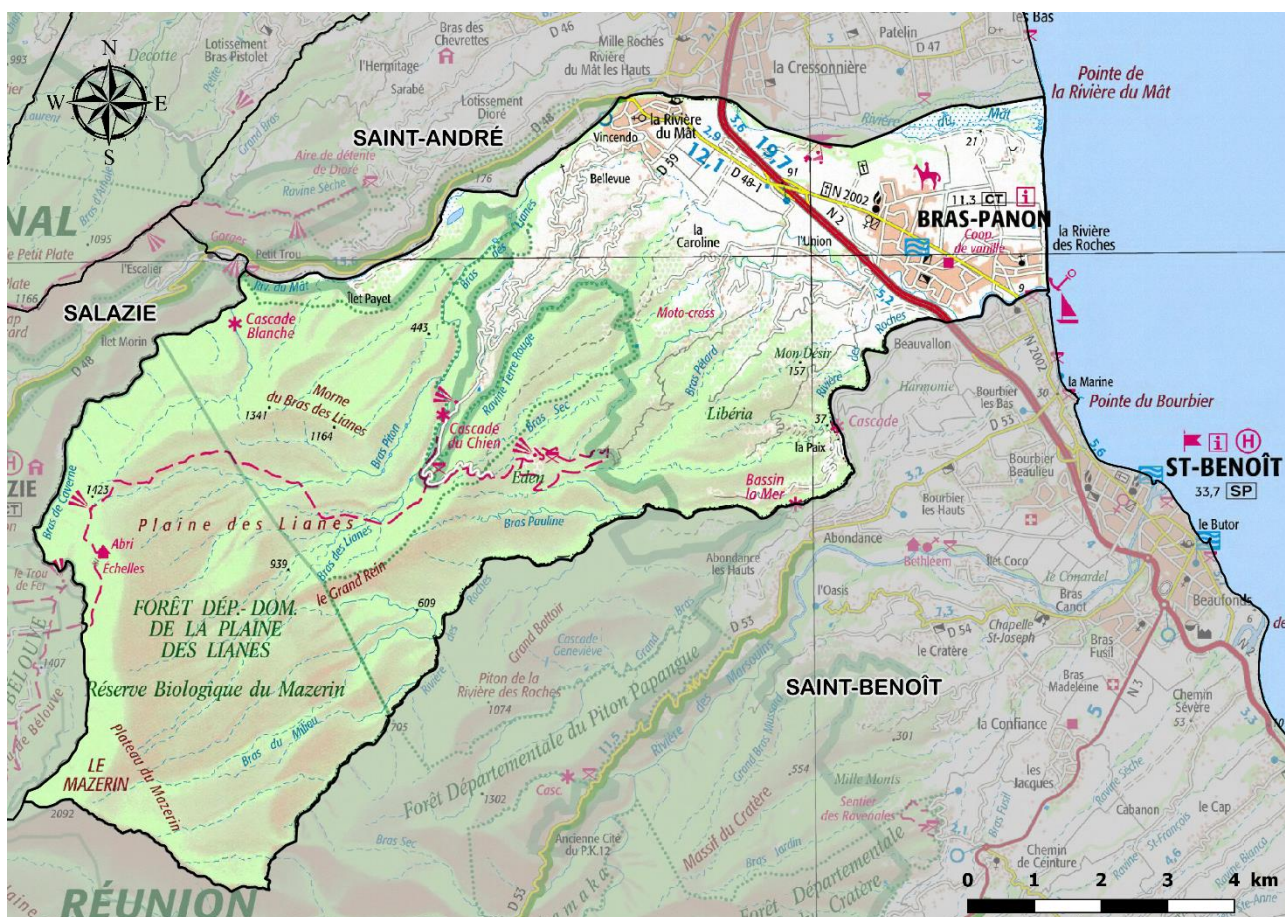


Figure 1 : Territoire communal concerné par le PPR

Bras-Panon compte 12 811 habitants en 2017 (population légale en vigueur au 1^{er} janvier 2020) avec une densité de 144,6 habitants par km² (INSEE, RP2016). Une augmentation moyenne de sa population d'environ 1,5 % par an entre 2006 et 2016 est observée.

Le territoire communal est caractérisé par une urbanisation relativement faible. En effet, environ 60% de la surface est couverte de forêt et est incluse dans le cœur du Parc National de La Réunion.

Les communes limitrophes sont la commune de Salazie à l'Ouest, la commune de Saint-André au Nord et la commune de Saint-Benoit au Sud.

Bras-Panon fait partie de la Communauté Intercommunale Réunion Est (CIREST).

3.1.2. Contexte géomorphologique

La commune de Bras-Panon est située sur les flancs du volcan du Piton des Neiges. Le territoire communal s'organise en plusieurs entités géomorphologiques :

- La **planèze** résulte des différentes phases d'épanchement volcanique du Piton des Neiges. Elle est limitée au sud par la Rivière des Roches et au nord par la Rivière du Mât, et incisée de façon régulière par plusieurs ravines. Le Bras des Lianes est la plus remarquable avec un encaissement dépassant les 250 m. Les pentes sont relativement importantes dans les Hauts (20 à 60°) et souvent recouvertes de forêts. En descendant en altitude, les pentes diminuent (de 5 à 20° hors ravines) et l'occupation des sols se dédie davantage à l'activité agricole (canne principalement) et à l'urbanisation.
- La **plaine alluviale** résulte des apports sédimentaires anciens des deux rivières citées précédemment. Elle se caractérise par des pentes relativement faibles (entre 0 et 5°) et se partage entre secteurs urbanisés et surfaces agricoles. Cette plaine concentre l'essentiel de la population, avec notamment la majeure partie du centre-ville et les nombreux secteurs résidentiels situés entre le centre-ville et le littoral.
- La **Rivière du Mât** se présente sous la forme d'une vallée encaissée en sortie du cirque de Salazie (pentes fortes, en moyenne, 50 à 75°), puis sous la forme d'un cône alluvial constitué d'alluvions récentes fréquemment remaniées lors des phénomènes de crues. Cette rivière constitue le seul exutoire pour tout le cirque de Salazie. Elle se caractérise donc par des débits importants et un transport solide majeur.

Ces terrains sont incisés par des ravines délimitant des plateaux plus ou moins vastes. Les principales ravines présentes dans le territoire communal sont, du nord au sud :

- La Rivière du Mât ;
- La Ravine Blanche ;
- Le Bras des Lianes ;
- Le Bras Piton ;
- La Rivière Bras-Panon ;
- Le Bras Sec ;
- Le Bras Pétard ;
- Le Bras Pauline ;
- La Rivière des Roches.

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 Bras-Panon est affectée par des vents prépondérants de secteur Est à Nord-Est.

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).

La commune de Bras-Panon est située dans la moitié Est de l'île qui est la plus arrosée du département. Le territoire d'étude présente ainsi un niveau de précipitations annuelles important en comparaison du reste de l'île (cumuls moyens annuels supérieurs à 5000 mm). On observe une augmentation des précipitations en fonction de l'altitude. Le centre-ville présente un cumul moyen annuel plus faible (< 3500 mm) que le secteur de la Plaine des Lianes (>5000 mm) situé dans les hauteurs du territoire (Atlas climatique de la Réunion, Météo France, cf. Figure 2).

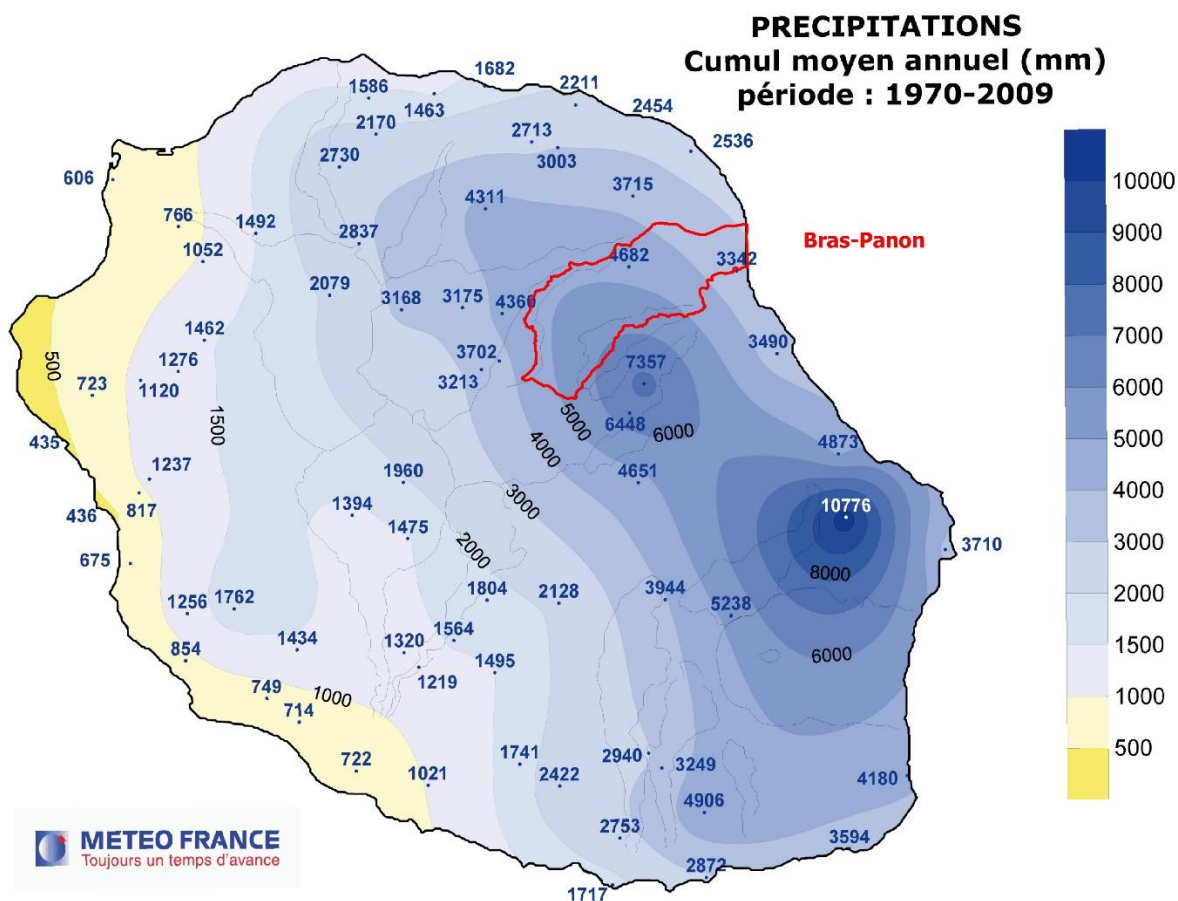


Figure 2 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1970-2009 (source : ©Météo France)

Météo France Réunion a réalisé une carte de zonage pluviométrique en 2010, tenant compte du relief, qui qualifie les secteurs soumis à un régime pluviométrique similaire à proche (Figure 3). La commune de Bras-Panon est principalement concernée par la région 5. Celle-ci couvre le littoral et les planèzes du Nord-Ouest de l'île. Elle est caractérisée par une pluviométrie très importante pouvant atteindre plus de 5000 mm par an.

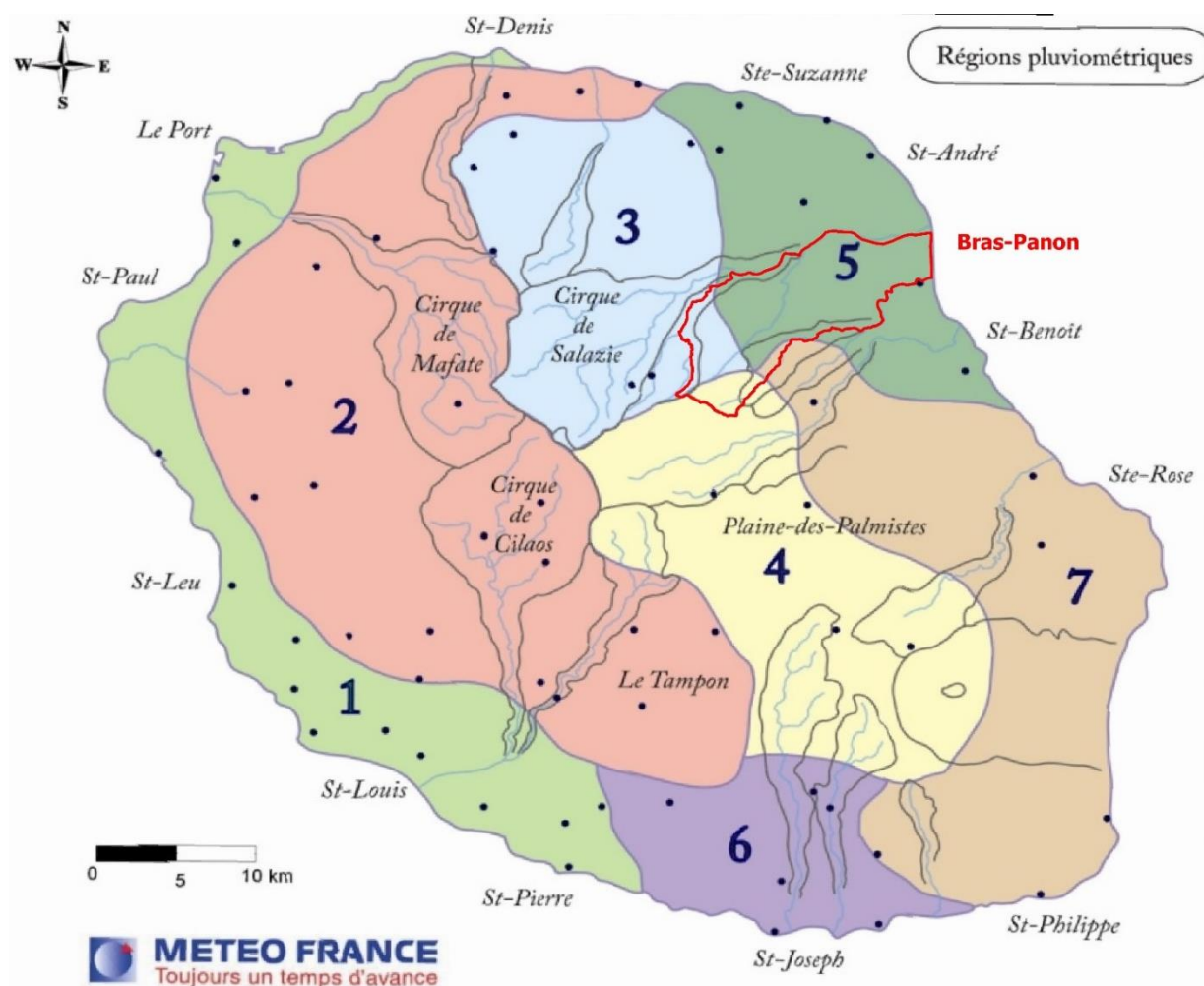


Figure 3 : Régions pluviométriques déterminées par ©Météo-France Réunion (2010)

Une seule station météorologique est aujourd'hui installée sur le territoire communal. Il s'agit de la station Bellevue Bras-Panon (secteur de Bellevue, altitude : 480 m, installée en 1990)

Toutefois, pour élargir le champ d'informations, et vu le zonage pluviométrique au droit de la commune de Bras-Panon, les données pluviométriques des stations situées à proximité immédiate de la limite communale sont également considérées (Figure 4). On peut ainsi citer les stations météorologiques suivantes :

- Beauvallon (commune de Saint-Benoît, secteur de Beauvallon, altitude : 16 m, installée en 1952) ;
- Takamaka-12 (commune de Saint-Benoît, altitude : 660 m, installée en 1971)

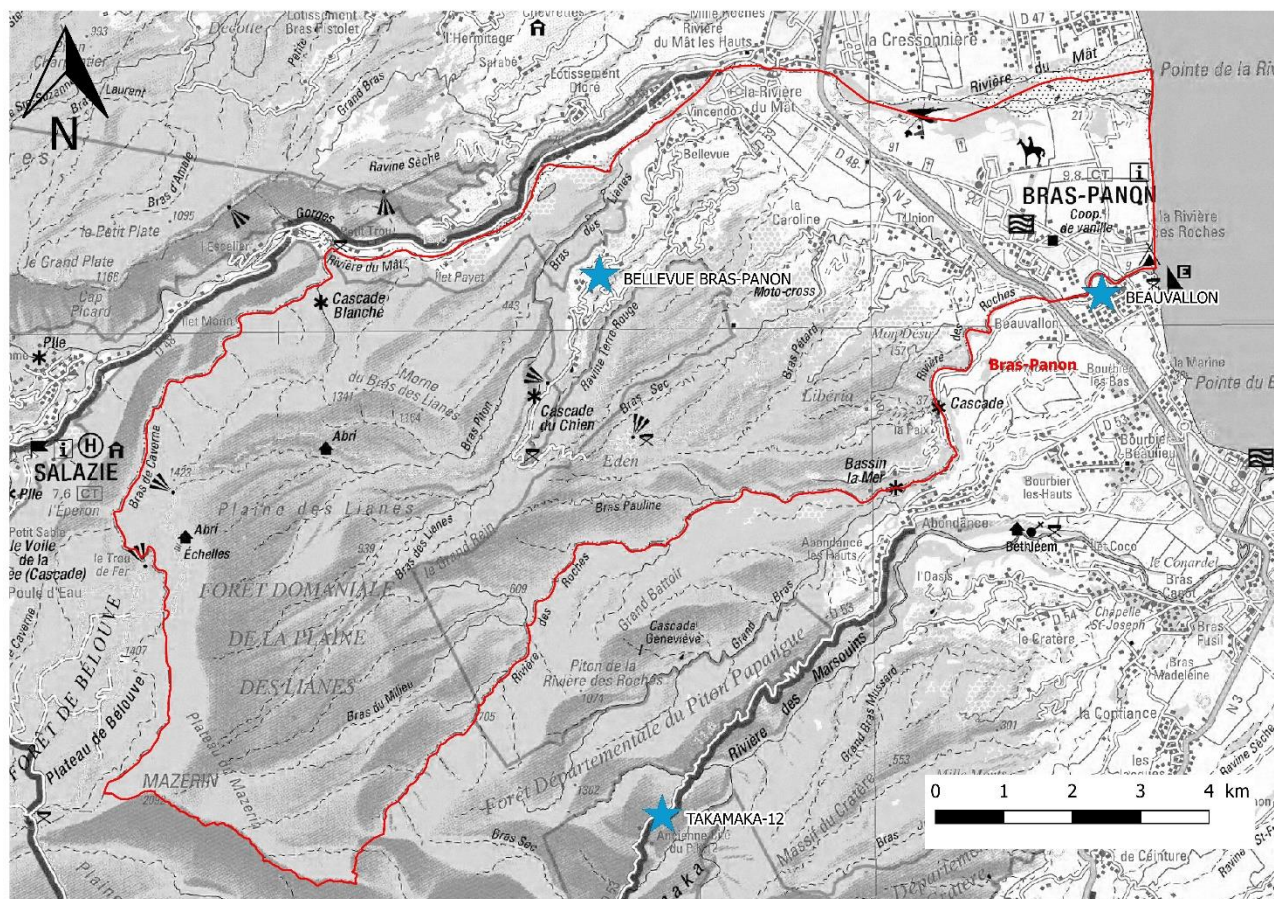


Figure 4 : Localisation des stations météo à proximité de Bras-Panon (©IGN Scan100® - 2010)

Le modèle de pluie régionalisé SHYREG (IRSTEA, 2012), propose, à partir d'une analyse statistique, des valeurs de pluies journalières décennales et centennales pour les trois stations citées précédemment. Les valeurs caractéristiques pour les stations proches de Bras-Panon sont les suivantes (Tableau 2) :

Nom station	Altitude	Pluie Journalière Décennale (en mm)	Pluie Journalière Centennale (en mm)
Bellevue Bras-Panon	480 m	653	1096
Beauvallon	16 m	470	799
Takamaka-12	660 m	908	1449

Tableau 2 : Précipitations journalières décennales et centennales (en mm)

La comparaison entre les pluies journalières maximales observées sur les différentes stations utilisées pour la commune de Bras-Panon, depuis leur ouverture, ainsi que l'analyse des cumuls de pluie caractéristiques confirment également le contraste de pluviométrie selon l'altitude et donc le zonage pluviométrique à considérer (Tableau 3).

Station	Altitude (m NGR)	Nombre de jours moyen (période 1981-2010) où le cumul de pluie (en mm) est $\geq$ à				Maximum absolu quotidien depuis l'ouverture	
		1	10	50	100	Valeur (en mm)	Date
Beauvallon	16	192	78	15	5	730	14/02/1993
Bellevue	480	218	107	22	7	880	14/02/1993
Takamaka-12	660	239	128	38	15	1173	04/02/1998

Tableau 3 : Cumul de pluie moyen par jours entre 1981 et 2010 (source : Bulletin climatologique 2016 – Météo France)

Le tableau 4 suivant s'intéresse aux données de la station Bellevue-Bras-Panon, seule présente sur le territoire communal, depuis 2010. Les valeurs de précipitations journalières maximales, le cumul annuel ainsi que le nombre de jours dans l'année où les précipitations journalières ont dépassé 50 mm sont affichés.

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
2010	165	5309	30	Cyclone Gelane
2011	304	5086	25	Tempête tropicale Cheronno
2012	259	4910	23	Fort épisode pluvieux de février
2013	238	4582	27	Cyclones Felling et Dumile
2014	250	3787	18	Cyclone Béjisa
2015	293	5656	34	Tempête Haliba
2016	565	4468	19	Tempête Daya
2017	200	4601	27	Episode pluvieux du 29 août
2018	267	4996	Donnée non disponible	Tempête Berguitta, Tempête Dumazile, Cyclone Fakir
2019	143	3668	Donnée non disponible	

Tableau 4 : 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 2010 à 2019 observés sur la station de Bellevue Bras-Panon (Données Météo France).

Au-delà d'un seuil de l'ordre de 50 mm de précipitations journalières, il peut être estimé, en règle générale, que le sol a atteint sa capacité limite d'infiltration, provoquant ainsi le phénomène de ruissellement. Entre 2010 et 2017, les précipitations ont ainsi provoqué des ruissellements en moyenne 29 jours par an. Ces ordres de grandeurs sont toutefois à prendre avec précaution selon la nature du sol qui peut influencer significativement les conditions de ruissellement (imperméabilisation anthropique, nature des formations en place).

L'analyse des données de pluies, confirme la variation spatiale et temporelle des pluies notamment entre les hauts du territoire (plus pluvieux) et les terrains en bordure littorale (plus sec).

Les précipitations peuvent donc être très localisées, avec des cumuls journaliers pouvant atteindre des valeurs très fortes (jusqu'à 800 à 1450 mm par jour selon les stations suivies),

notamment lors du passage d'évènements cycloniques, qui conditionnent les cumuls annuels. Ces derniers, pour le territoire de Bras-Panon et d'après les données à disposition, présentent des valeurs élevées à fortes comparativement à ceux observés dans certaines régions de La Réunion (secteurs Ouest et Sud-Ouest notamment (cf. figure 2)).

Ces précipitations intenses ont des conséquences sur les possibilités d'occurrence des phénomènes d'inondations et 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'Ile de La Réunion est concernée par un cyclone tous les deux ans).

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

3.1.4. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique sur la Commune de Bras-Panon est très développé et ce, particulièrement dans les hauts de la commune au niveau de la Plaine des Lianes (Figure 5).

Le territoire communal présente également la particularité d'être encadré au nord par la Rivière du Mât et au sud par la Rivière des Roches qui constituent deux des plus importantes rivières pérennes de La Réunion (en superficie de bassin versant et en débit de crue).

A ces cours d'eau viennent s'ajouter le Bras des Lianes, affluent de la Rivière du Mât, le Bras Pétard et la Rivière Bras-Panon, affluents de la Rivière des Roches.

Les autres ravines du territoire sont des ravines temporaires qui n'entrent en fonctionnement qu'en cas de fortes pluies. Elles prennent leur source pour la plupart dans les hauts, et s'écoulent ensuite en direction de la mer en traversant le territoire communal, avec des pentes du profil en long comprises entre 10 et 20% en moyenne, avec une partie amont plus abrupte qu'à l'aval où les profils en long sont moins marqués.

D'une manière générale, les bassins versants sont de forme très allongée sur toute la zone d'étude. Ceci génère des ruissellements pouvant être rapides et parfois conséquents en cas de fortes pluies.

Sur la commune, les rivières et ravines suivantes se distinguent particulièrement, par leur profil, leur longueur importante, la superficie de leur bassin versant ainsi que leur débit de crue à l'exutoire (données PPRi 2004 et rapport BRGM RP-56364-FR de 2008⁵):

- **La Rivière du Mât** est l'exutoire principal du cirque de Salazie. Son **bassin versant a une superficie de 153 km²** à la limite du cirque. Sur le territoire communal de Bras-Panon, il s'étend sur environ **10 km²**. En sortant de Salazie la rivière suit ensuite un cours encaissé, à ce stade elle reçoit l'apport du Bras des Lianes, jusqu'à déboucher sur la plaine alluviale. En rive droite, côté Bras-Panon, aucun ouvrage ne contraint le flux hydraulique générant ainsi un large cône alluvial en bordure du littoral. Les valeurs de **crues décennales sont de 1200**

⁵ Etude hydrogéomorphologique de la Rivière du Mât et propositions de solutions de gestion, Volumes 1 à 5, rapport BRGMRP-56364-FR, 2008.

m³/s et atteignent 3400 m³/s pour les crues centennales. Ces valeurs de débits extrêmement élevées induisent des risques d'érosions de berges très importants sur la bordure nord du territoire communal. Les estimations de transport solide donnent également des valeurs très élevées, même pour La Réunion, avec des volumes transportés supérieur au m³.

- La **Rivière des Roches** matérialise la limite communale avec Saint-Benoit, elle prend sa source dans les hauteurs du secteur de Takamaka et présente un bassin versant d'une superficie de 61,7 km². Les débits de crue caractéristiques de cette ravine sont évalués à **930 m³/s pour la crue décennale et environ 2000 m³/s** pour la crue centennale. La rivière Bras-Panon est un affluent de ce cours d'eau. Sur territoire communal, plusieurs ouvrages de protection des berges ont été mis en place dans la partie proche de l'embouchure afin de contraindre le flux hydraulique.
- La **Rivière Bras-Panon** est l'unique cours d'eau pérenne traversant la commune du Nord au Sud. Elle s'écoule dans la plaine alluviale depuis la quartier Vincendo jusqu'à la Rivière des Roches dans laquelle elle se jette. Les débits de crue sont estimés à **330 m³/s en décennal et 680 m³/s en centennal**.
- Le **Bras Pétard** est un affluent de la Rivière Bras-Panon. Il est historiquement connu pour avoir causé des inondations dans le quartier Libéria. Des ouvrages d'endiguement ont donc été réalisés dans le lit de la ravine au droit du quartier. **Son débit décennal est estimé à 185 m³/s, le centennal atteint 360 m³/s.**

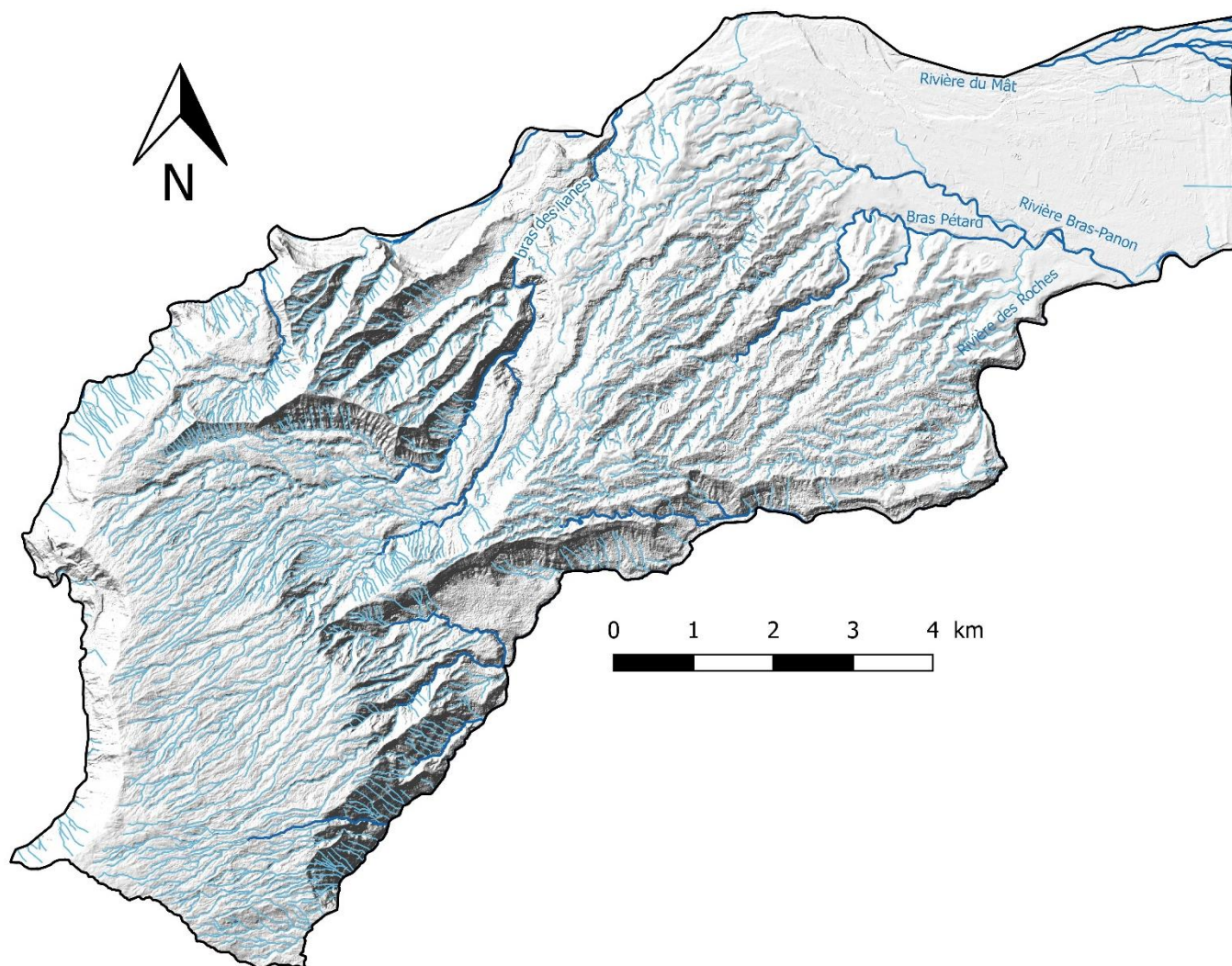
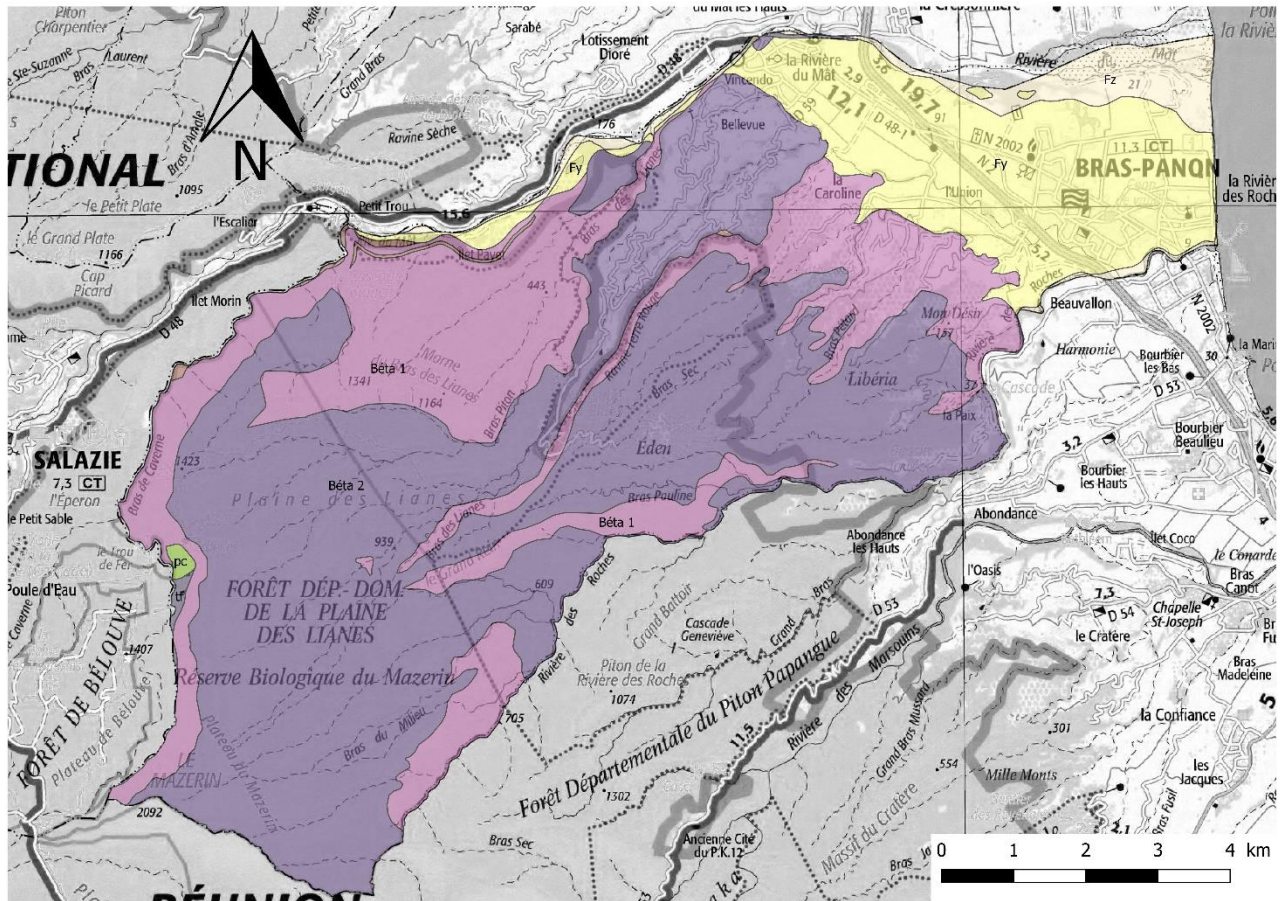


Figure 5 : Réseau hydrographique de Bras-Panon (source : BDtopo2016®, MNT IGN 2012)

3.1.5. Contexte géologique

La commune de Bras-Panon s'inscrit dans le contexte géologique du massif du Piton des Neiges (Figure 6). Ce massif se caractérise par des périodes d'activité éruptive importantes (épanchements de coulées de lave et/ou de mise en place de formations pyroclastiques), séparées par de longues périodes de calme au cours desquelles les roches massives et les dépôts pyroclastiques ont été soumis à l'érosion. Des vallées se sont formées, des reliefs se sont individualisés. Des dépôts alluvionnaires et des brèches de pente, de remaniement, ont comblé les dépressions. Lors des phases de reprise de l'activité volcanique, des coulées de lave se sont épanchées sur les flancs du massif volcanique en empruntant d'abord les vallées.



Légende :

Massif du Piton des Neiges Série différenciée (<340 000 ans)

- Coulée basaltiques à olivine (Béta1)
- Coulées (basalte, hawaïtes, mugéarites)(Béta2)
- Coulées trachytique du plateau de Bélouve (Tau)
- Coulées ignimbritiques (pc)
- Tufs en épandages (tf)

Formations Superficielles Dépôts alluviaux

- Dépôts de glissements en masse, de coulées de débris, éboulis (E)
- Alluvions anciennes (Fy)
- Alluvions récentes (Fz)

Figure 6 : Carte géologique de la commune de Bras-Panon (BGRM/LGSR, 2006)

Les formations volcaniques

Les séries basaltiques: Coulées de basalte à olivine (phase II) et coulées de basalte différencié (phase III)

Les roches prédominantes au niveau de la commune sont les coulées basaltiques à olivine (« Béta 1 » sur la Figure 6). Elles constituent la série des océanites du Piton des Neiges (Phase II, 950-450 ka). Ce faciès est formé par un empilement de bancs d'épaisseur décimétrique à métrique de laves massives et de scories. La base de cette formation est zéolitisée. Du point de vue pétrographique, les laves sont riches en cristaux d'olivines et peuvent contenir de fines baguettes de feldspaths. En surface, les coulées (en particulier les passées scoriacées) peuvent présenter des faciès altérés, argileux sur plusieurs décimètres à plusieurs mètres d'épaisseur. Les formations sous-jacentes sont plus ou moins altérées et rubéfiées sur des épaisseurs pouvant atteindre potentiellement plusieurs

décamètres. Les coulées à olivine sont présentes notamment au niveau d'Ilet Payet et dans le secteur du Morne de la Plaine des Lianes. Elles sont recoupées par un très grand nombre de dykes et de sills, de puissances décamétriques, résultant de phases éruptives ultérieures.

Les coulées de lave de Phase III (350-180 ka) recouvrent les coulées de basalte à olivine et nappent généralement les planèzes du massif du Piton des Neiges (« *Béta 2* » sur la Figure 6). Il s'agit de leuco-basaltes et des andésites alcalines (hawaïtes, mugéarites) aphyriques ou à phénocristaux de feldspaths. Ce faciès est également connu à La Réunion sous le nom de « *roche pintade* ». Elles se présentent généralement sous forme d'empilement de bancs compacts de laves d'épaisseur métrique à décamétrique et de bancs de scories d'épaisseur métrique.

Les formations tardives : Tufs en épandage

A la frontière avec le plateau de Bélouve affleurent des coulées pyroclastiques altérées d'une épaisseur pouvant atteindre quelques mètres à décamètres. Ces tufs pyroclastiques sont issus d'éruptions explosives de la phase IV du Piton des Neiges (entre 180 et 70 ka). Ces formations sont constituées d'éléments rocheux divers (ponce noire souvent dominante, basaltes à olivine, laves aphyriques ou à phénocristaux de feldspath, trachyte, roche grenue) plus ou moins abondants, de taille millimétrique à centimétrique, rarement décimétrique, et cimentés par des produits cendreaux.

Les formations superficielles

Dépôts de glissement en masse, de coulées de débris, des éboulis

On rencontre ces formations (anciennes ou récentes) essentiellement en bordure de la Rivière du Mât, sur les versants encaissés du lit. Elles sont généralement constituées par un mélange hétérogène d'éléments fins et d'éléments grossiers de taille décimétrique à métrique. La pente des talus varie de 40 à 45° puis progressivement de pente plus faible en s'écartant du pied de rempart. Ce sont des dépôts de faible volume pour lesquels le mode de mise en place est principalement gravitaire. Leur épaisseur est très variable, allant de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres.

Formations alluvionnaires

Les formations alluvionnaires présentent une grande variabilité de faciès. En effet, la proximité des matériaux source, l'abondance et l'intensité de pluies et la présence de dénivelés plus ou moins importants est à l'origine de la formation de complexes alluvionnaires diversifiés allant du conglomérat jusqu'à une argile fine de décantation. La nature, la taille et la géométrie des éléments qui constituent les alluvions sont très variées.

Les alluvions récentes nappent le fond des vallées et sont souvent incisées par le cours d'eau. Les alluvions anciennes regroupent l'ensemble des formations alluviales qui ne sont plus connectées au réseau hydrographique actuel. Elles sont constituées de conglomérats, de sables grossiers, de sables, de limons et d'argiles.

3.1.6. Contexte pédologique

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 7, cinq grands ensembles se distinguent sur le territoire communal de Bras-Panon :

- ✓ **Les sols hétérogènes (5)** marqués par un relief très accidentés recouverts par la forêt et qui représentent la majeure partie du secteur central de la commune. À leurs extrémités basses se trouvent **les sols ferrallitiques (16)** rouges montrant différents degrés de saturation. Ils correspondent à des zones agricoles dédiées à la culture de la canne, incisées par des thalwegs de faible ampleur ;
- ✓ **Les andosols** désaturés se développent sur des cendres et sont recouverts par la forêt en altitude (35 et 37) ou en majorités par des terrains agricoles en moyenne (33) ou haute altitude (34). Ces derniers sont entourés par les sols hétérogènes précédents. Ces andosols constituent l'essentiel de la partie haute de la commune. On trouve également des andosols sur des pentes relativement faibles recouvertes de forêt (43) ;
- ✓ **Les sols peu épais ou peu évolués** sont des sols récents peu altérés. Ils constituent l'essentiel de la partie basse de la commune, à savoir le cône alluvial ancien de la Rivière du Mât. On les retrouve aussi dans le lit de la Rivière du Mât. Il s'agit de sols vitriques sur sables basaltiques (82) ou de sols souvent hydromorphes (85). En base de rempart, on retrouve des sols peu épais reposant sur des colluvions (77) ou des andosols (75 et 79) ;
- ✓ **Les sables et les galets (84)** sont charriés par la Rivière du Mât ou sont d'origine marine ;
- ✓ **Les sols bruns andiques (41)** recouverts par la forêt que l'on retrouve en petite superficie dans la partie nord de la commune, en continu des sols ferrallitiques.

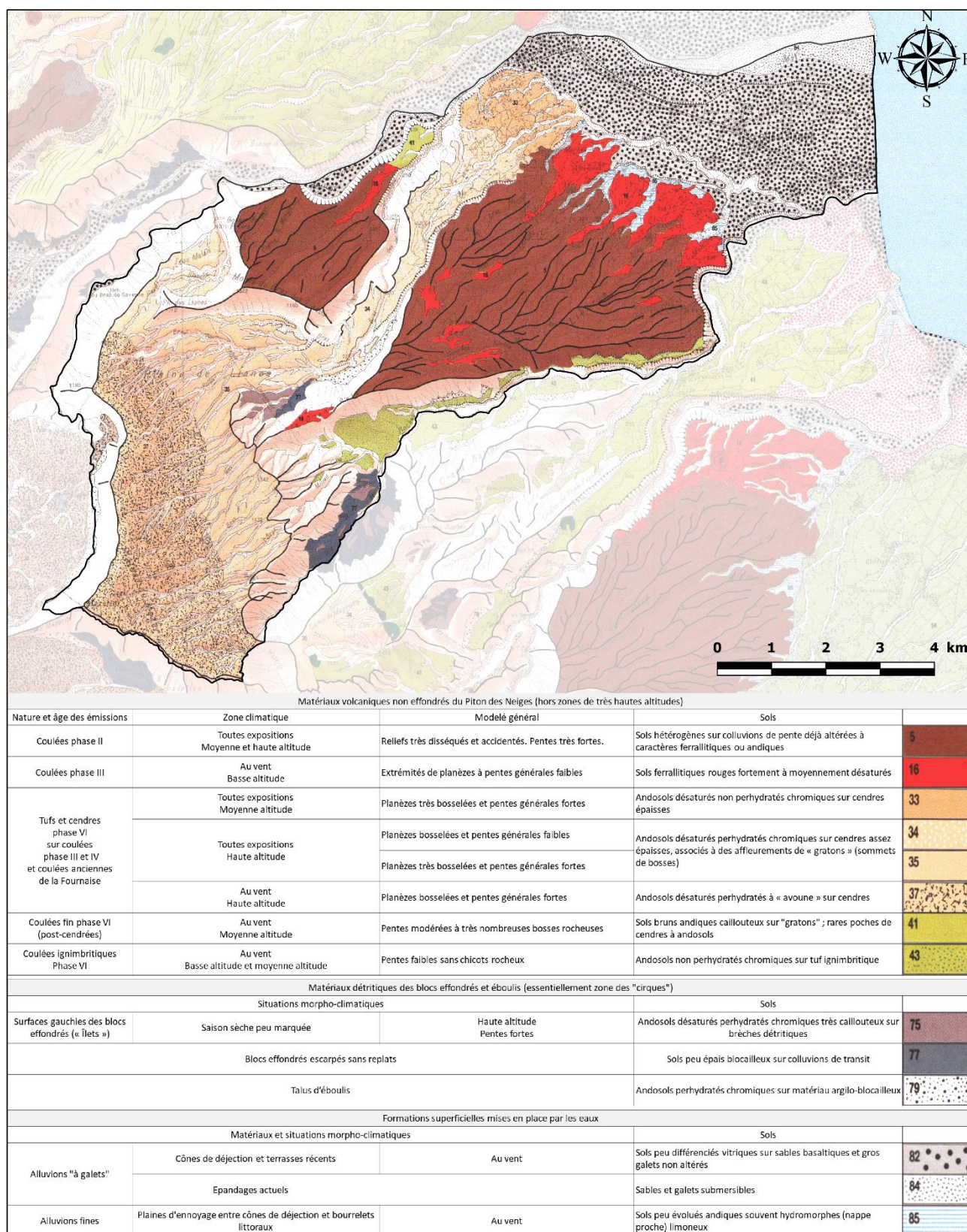


Figure 7 : Carte morpho-pédologique à l'échelle du 1/50 000
(source : ©CIRAD (Raunet, 1991), fond ©IGN scan100® - 2010)

3.2. ENJEUX ET VULNERABILITE

La population de Bras-Panon était de 4 824 habitants en 1961. La population est passée à 12 811 habitants en 2017 (Insee, 2020), ce qui représente une augmentation de plus du double sa population en l'espace de 56 ans soit une progression de l'ordre de 3 % par an (Figure 8). Cette croissance a ralenti ces dernières années avec une augmentation de 1,3% par an sur la période 2010-2017.

A l'échelle de La Réunion, Bras-Panon est une commune faiblement peuplée. En effet, sa population ne compte que pour 1,5% de la population totale de l'île et sa densité de 144,6 hab/km² est moitié moins élevée que la moyenne régionale (340 hab/km²).

	1961	1967	1974	1982	1990	1999	2006	2010	2015	2017
Population	4 824	5533	5941	6945	8455	9683	11028	11725	12735	12811
Densité moyenne (hab/km ²)	54,4	62,4	67,1	78,4	95,4	109,3	124,5	132,3	143,8	144,6

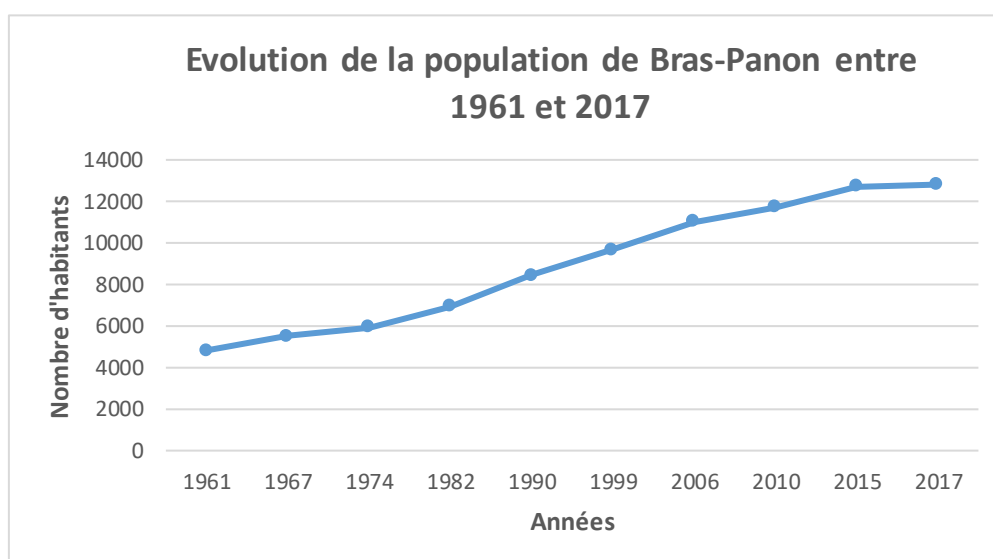


Figure 8 : Evolution de la population de Bras-Panon (source : ©I.N.S.E.E.)

Cette démographie se traduit par une urbanisation peu développée. En effet, environ 60% de la surface du territoire communal est incluse dans le cœur du Parc National de La Réunion.

La commune regroupe les espaces agglomérés de Bengalis, de Bellevue, de Vincendo, de la Caroline, de Libéria et du centre-ville. Quelques écarts habités sont également présents sur le territoire tels que l'Îlet Payet ou La Paix.

Le réseau routier principal correspond à la Route Nationale 2, l'ancienne RN2 (RN2002) qui traverse le centre-ville et le relie au quartier de Beauvallon à Saint-Benoit, la Route Départementale 48-1 qui relie les quartiers de Paniandy et Rivière du Mât.

Les principaux enjeux répertoriés et cartographiés dans l'étude BRGM (cf. annexe 3 du dossier PPR) d'évaluation et de cartographie de l'aléa mouvements de terrain et inondation sont les suivants :

- Les services de sécurité et de secours (gendarmerie, caserne de pompiers, hôpitaux et centres de soins, etc.) ;
- Les voies de circulation et notamment la RN2, la RN2002 et la RD48-1;
- Le réseau d'Adduction d'Eau Potable (sources, captages, stations de pompage, réservoirs, stations de traitement, usine d'embouteillage) ;
- Les établissements d'enseignement (écoles, collèges, centres de formation) ;
- Les bâtiments administratifs (mairies principales et annexes) ;
- Les zones agricoles (secteur de Bellevue principalement) et naturelles (Plaine des Lianes).

4. Approche historique et caractérisation des phénomènes naturels

4.1. PHENOMENES HISTORIQUES

L'ensemble des événements recensés ayant affecté par le passé le territoire communal de Bras-Panon 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 : « Bras-Panon 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 :

1966

Les premiers recensements donnaient 35 cases détruites à Saint-Denis, 39 à Bras-Panon, 6 à Cilaos, 2 à l'Etang-Salé, 2 au Port et 4 à Sainte-Rose.

JIR, 11 janvier 1966

1980

Comme en de nombreux points de l'île, le réseau routier a particulièrement souffert, essentiellement dans les hauts de l'ouest de la commune, et dans les écarts de Vincendo et de Bellevue, où de larges portions de revêtement de la chaussée goudronnée ont été arrachées et creusées par ruissellement (...).

Le Quotidien, 31 Janvier 1980

1987

« Près de 10 km de routes emportées, des circuits électriques dégradés, l'accotement du pont de la Rivière des Roches arraché et la population privée d'eau ».

Témoignages, 16 février 1987

1993

Les habitants de Libéria ont payé un lourd tribut à la nature. Après les 24h de pluies diluviennes de ce week-end, certains ont tout perdu suite au débordement du Bras-Pétard, un affluent de la rivière Bras-Panon.

JIR, 16 février 1993

Le radier de la Rivière des Roches, récemment remis en service, n'a pas résisté à l'assaut des nouvelles pluies. (...)

Au refuge, à Bras-Panon, la route a été de nouveau coupée par les eaux, mais une déviation a été mise en place. (...)

A la Caroline, la rivière Bras-Panon a emporté le radier de fortune bricolé depuis les dernières pluies. (...)

Légendes photos Le Quotidien, 1^{er} mars 1993

1995

Le Bras Pétard emporte tout. Le Bras Pétard est sorti de son lit la nuit de vendredi à samedi. Les dégâts étaient impressionnants hier matin à Bras-Panon, l'affluent de la rivière Bras-Panon avait

décuplé de volume, emportant la route, noyant les champs de cannes (...), ainsi que les cases bordant le lit du cours d'eau (..).

Le Réunionnais, 10 décembre 1995

2003

A Bras-Panon, où la nationale qui traverse la commune a été transformée pendant l'orage de mardi en véritable torrent, (...).

Beaucoup de cases ont pris l'eau (...). Les quartiers des hauts ont beaucoup souffert et, les chemins d'exploitation de Caro Morin, de Bellevue sont devenus impraticables.

Le Quotidien 13 février 2003

2005

Pas moins d'une dizaine de cases tant en centre-ville (rue des Limites) que dans les écarts (Refuge, Rivière des Roches...) ainsi que des entreprises et des commerces ont subi la rapide montée des eaux pluviales. (...) Au refuge par exemple une famille avait transformé un garage en habitation principale. Or, sous la pression de l'eau, un mur s'est effondré, (...), inondant complètement le garage ainsi qu'une maison mitoyenne.

JIR, 18 février 2005

Le maire Daniel Gonthier et les services municipaux ont procédé à un bilan des dégâts causés par les fortes pluies qui se sont abattues sur l'île il y a deux semaines. Sur les routes et infrastructures, le bilan des dégradations s'élève à 335 000 euros. (...) Concernant les dégâts sur les bâtiments, ils sont estimés à 50 000 euros. (...)

JIR, 22 février 2005

2007

Les quatre-vingts employés de la société de concassage Holcim ainsi que la vingtaine de la GTOI sont depuis hier au chômage technique. Les deux sociétés panonnaises ont été dévastées par la rivière du Mât en crue.

Le Quotidien, 27 février 2007

2018

Fakir fait souffler le vent à Bras-Panon.

Clicanoo.re (24 avril 2018)

L'arrêté reconnaît l'état de catastrophe naturelle pour les inondations et les coulées de boue survenues dans la journée du 24 avril pour les communes des Avirons, Bras-Panon (...).

La1ere.francetvinfo.fr (22 juin 2018)

4.2. ARRETES DE CATASTROPHES NATURELLES

Depuis 1993, 12 arrêtés de catastrophes naturelles ont été recensés sur la commune de Bras-Panon. Le tableau ci-dessous présente la liste des arrêtés de catastrophe naturelle :

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Inondations, coulées de boue, glissements et chocs mécaniques liés à l'action des vagues	18/01/1993	20/01/1993	18/05/1993	12/06/1993
Inondations et coulées de boue	12/02/1993	14/02/1993	14/06/1993	27/06/1993
Inondations et coulées de boue	15/02/1993	17/02/1993	14/06/1993	27/06/1993
Inondations et coulées de boue	27/02/1993	03/03/1993	07/10/1993	24/10/1993
Inondations et coulées de boue	10/02/1994	12/02/1994	12/04/1994	23/04/1994
Inondations et coulées de boue	08/12/1995	09/12/1995	20/02/1996	23/03/1996
Inondations et coulées de boue	24/02/1998	25/02/1998	26/05/1998	11/06/1998
Inondations et chocs mécaniques liés à l'action des vagues	22/01/2002	23/01/2002	08/04/2002	18/04/2002
Inondations et coulées de boue	16/02/2005	18/02/2005	02/08/2005	10/08/2005
Inondations et coulées de boue	17/02/2006	19/02/2006	10/11/2006	23/11/2006
Inondations et coulées de boue	04/03/2006	06/03/2006	10/11/2006	23/11/2006
Inondations et coulées de boue	24/04/2018	24/04/2018	23/05/2018	22/06/2018

Tableau 5 : Liste des arrêtés de catastrophes naturelle sur la commune de Bras-Panon (source : www.géorisques.gouv.fr)

Les ouvrages généraux de Météo-France (Soler, 1997 et Mayoka, 1998), indiquent les cyclones majeurs ayant concernés La Réunion, et plus ou moins directement Bras-Panon, depuis 1980 (cf. Tableau 6).

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 6 : Liste des cyclones notables recensés par Météo-France (Soler, 1997)

4.3. CARACTERISATION DES 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 (terrassment, 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 phénomènes 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 Bras-Panon sont :

1. Les chutes de pierres ou de blocs et les éboulements (symbole P) ;
2. Les glissements de terrain et coulées de boue associées (G) ;
3. Les érosions de berge (E) ;
4. Le ravinement, l'érosion des sols (E).

Vis-à-vis des principales formations géologiques rencontrées à La réunion, on peut identifier trois principales catégories de terrain, pour lesquelles les types de phénomènes naturels à risques associés et les critères d'évaluation d'aléas varient sensiblement (Tableau 7) :

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

Tableau 7 : Types de phénomène rencontrés en fonction des catégories de terrain

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

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

- **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 (Figure 9);
- **Les éboulements en masse** : le volume total en jeu atteint jusqu'à 10 000 m³ (Figure 10);
- **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 grains fins (cas typique au sein des altérites avec altération en « boules ») ;
- **Présence de facteurs naturels** favorables à la mobilisation des blocs :
 - Action mécanique de l'eau (pression hydrostatique dues à l'infiltration des eaux météoritiques dans les interstices ou les fissures du matériel rocheux) ;
 - Présence éventuelle d'une formation sous-jacente plus meuble, déformable ou érodable, induisant des contrastes de compétence (intercalation de niveaux de gratons, alternance de niveaux basaltiques massifs et de produits pyroclastiques – scories, cendres – créant des discontinuités stratigraphiques et des comportements mécaniques hétérogènes) ;

- Présence fréquente de discontinuités structurales (diaclasses, joints, intrusions) sur un versant à la topographie sensible et participant au démantèlement de la masse rocheuse ;
- Croissance de la végétation (action du système racinaire dans les fissures).

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

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

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

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

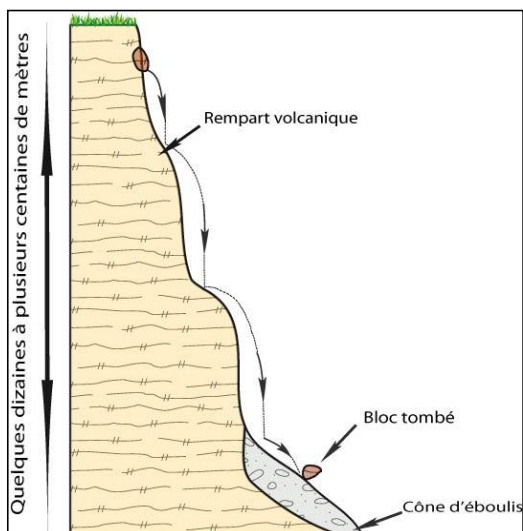


Figure 9 : Chute d'un bloc isolé

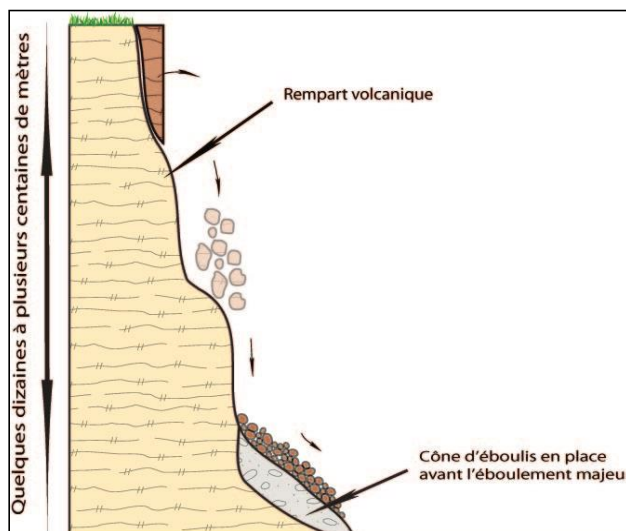


Figure 10 : Eboulement

Exemples de manifestations rencontrées

Le territoire de Bras-Panon est relativement peu exposé aux phénomènes de chute de bloc. En effet, les secteurs présentant une falaise dominante propice à un développement d'ampleur se trouvent éloignés de tout type d'enjeu.

Les secteurs concernés sont les suivants :

- Secteur du Morne du Bras des Lianes
- Encaissement du Bras des Lianes et du Bras de Caverne
- Secteur du Grand Rein

Le seul secteur habité fortement exposé est l'**Ilet Payet, en rive droite de la Rivière du Mât**. L'îlet est encadré par une falaise dont la hauteur varie entre 250 m et 300m et qui présente des pentes à plus de 75° (Figure 11).

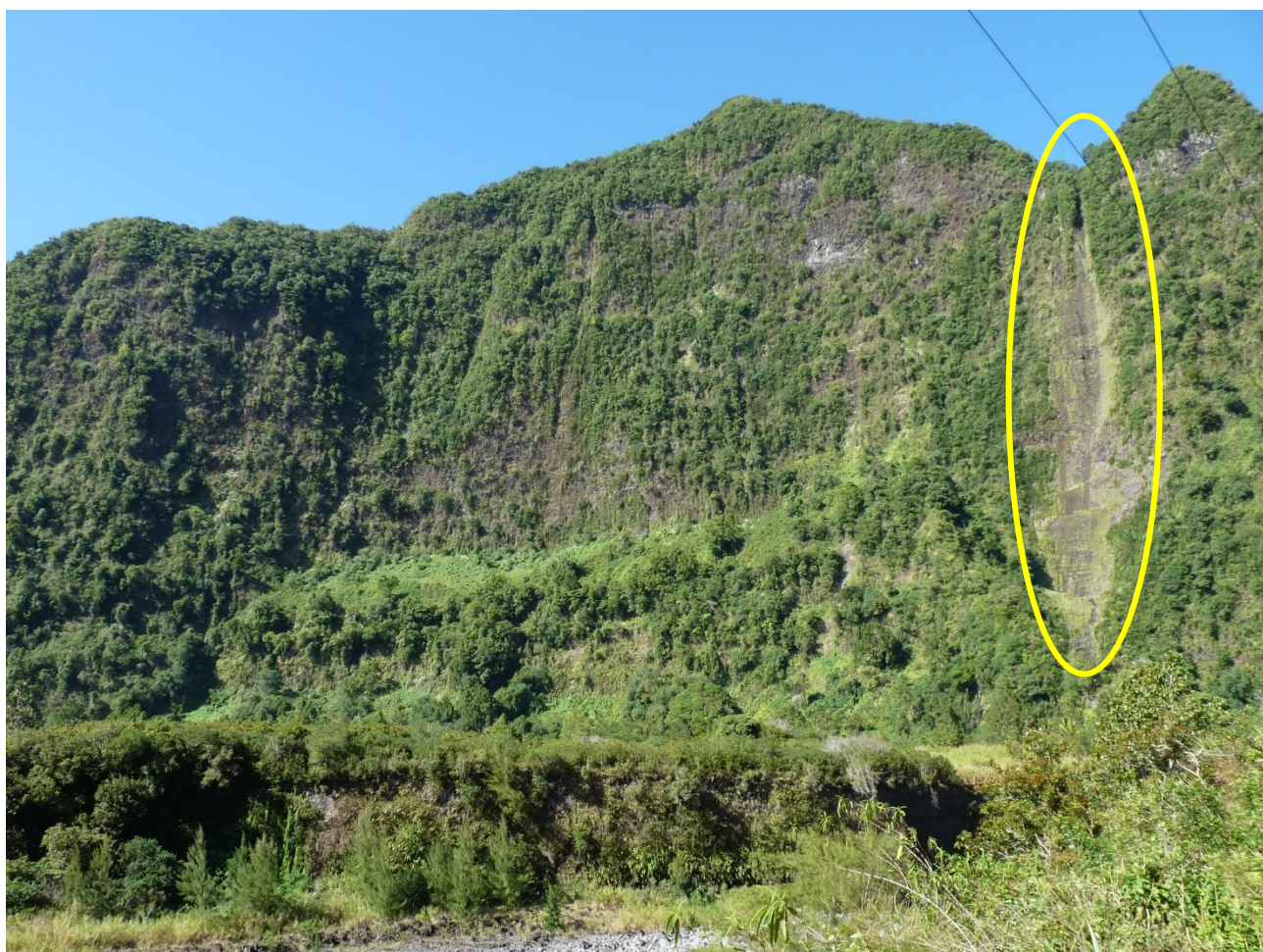


Figure 11 : Cicatrice d'un événement de chute de bloc, Ilet Payet, 2013.

Lors du passage du cyclone Fakir (2018), un éboulement a eu lieu dans le secteur de Bellevue, en rive droite de la Rivière du Mât. Bien qu'aucun enjeu ne soit directement impacté par la chute de ces matériaux, ces phénomènes peuvent avoir un impact sur les enjeux situés en arrière de ces éboulements par recul de la ligne de crête lors d'évènements importants ou de plusieurs évènements successifs (Figure 12).



Figure 12 : Éboulement en rive droite de la Rivière du Mât au niveau de Bellevue lors du cyclone Fakir en 2018.

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

Les glissements de terrain sont des déplacements en masse affectant des formations géologiques meubles, sur une surface de rupture et au cours desquels les produits déplacés gardent leur cohérence (Figure 13). 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 coulée de boue si le matériau contient assez d'eau. La cinématique peut ainsi être très variable, les phénomènes les plus rapides étant généralement les plus destructeurs.

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

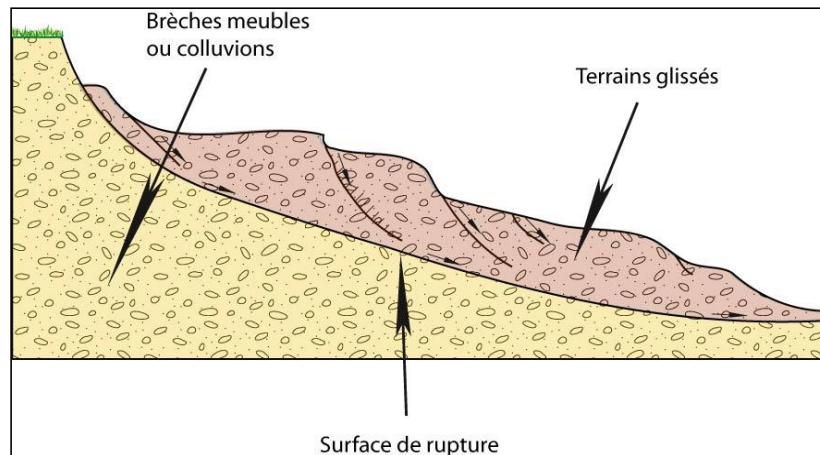


Figure 13 : Coupe type d'un glissement circulaire

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

Les principaux paramètres intervenant dans le mécanisme de glissement sont :

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

Exemples de manifestations rencontrées

Sur plusieurs sites de la commune, on peut relever des cicatrices de glissements plus ou moins superficiels, comme c'est le cas dans les hauts notamment à proximité des écarts, au niveau des ravines (Figure 14).



Figure 14 : Glissement de terrain sur un talus au nord du quartier de Paniandy, 2013

S'il n'y a pas de trace de ces phénomènes dans les archives, c'est que ces instabilités sont globalement très localisées et n'ont pas entraîné de désordre majeur (événements le plus souvent situés dans des zones peu ou non habitées). Néanmoins, ils sont à prendre en considération car potentiellement leurs conséquences peuvent être très dommageables.

4.3.3. Erosions et ravinement

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 suivants :

- 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). Cette incision peut également avoir des conséquences dommageables sur le déchaussement des ouvrages et infrastructures présents dans le lit du cours d'eau.

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).

Ce phénomène est particulièrement marqué sur les deux cours d'eau principaux de la commune soit la **Rivière du Mât** et la **Rivière des Roches**. Les débits de crue de ces rivières atteignent des valeurs très élevées pouvant ainsi générer une érosion importante lors d'évènements pluvieux exceptionnels.

Ces phénomènes d'érosion de berge concernent également 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.

Exemples de manifestations rencontrées

Lors du récent passage du cyclone Fakir (2018), un phénomène d'érosion de berge marqué a été relevé au droit du lit de la Rivière des Roches à proximité du centre-ville de Bras-Panon (Figure 15).



Figure 15 : Erosion de berge suite au passage de la forte tempête tropicale Fakir (2018)

Cas particulier de l'érosion des berges de la Rivière du Mât

De par son débit de crue centennal particulièrement élevé (3300 m³/s), la Rivière du Mât possède une capacité de transport solide au-dessus de la moyenne des autres grandes rivières de La Réunion⁶.

Ses caractéristiques en font l'un des cours d'eau capable de créer les plus importants phénomènes d'érosion de berge.

Pour exemple lors du passage du cyclone **Gamède** en 2007, le flux d'eau de la **Rivière du Mât**, dont le débit a été estimé à 1060 m³/s à son pic (soit une crue sensiblement inférieure au décennal), a généré une érosion extrêmement forte en **rive droite**, côté Bras-Panon. Le recul estimé grâce aux orthophotos de l'IGN de 2003 et 2008 atteint ainsi **75 m** (Figures 16 et 17) et environ 125 m entre 1966 et 2017.



Figure 16 : Recul de la limite de berge entre 2003 et 2008 en rive droite du lit de la rivière du Mât

⁶ Stollsteiner, P., Aunay, B., De La Torre, Y. (2008) – Etude hydrogéomorphologique de la Rivière du Mât et proposition de solutions de gestion. Volume 4/5 Estimation du transport solide. Rapport BRGM RP-56364-FR, 51p.



Figure 17 : Lit de la rivière du Mât durant le passage du cyclone Gamède (2007)

Cette encoche érosive est à ce jour l'un des phénomènes d'érosion de berge les plus importants de l'île.

Afin de cartographier l'aléa dans ce contexte, une méthodologie particulière a été adoptée. Cette méthodologie s'inspire de ce qui a pu être mis en place lors de la réalisation des PGRI (Rivière Saint-Etienne et Rivière du Mât) ainsi que du PPR de la commune de Saint-Pierre. La méthode de caractérisation de l'aléa est présentée au chapitre 5 suivant.

Le ravinement

Outre les désordres liés aux écoulements de crue, des phénomènes érosifs sont associés 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 tels que :

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

Les zones touchées sont souvent des terrains en partie dénudés et vallonnés, voire accidentés, qui favorisent de ce fait le développement et la concentration de ruissellements. Bien que dans le cas général il s'agisse d'un processus lent, avec une abrasion des terrains sur une épaisseur n'excédant

pas quelques centimètres par an, l'érosion peut prendre une ampleur sensiblement plus importante (notamment sous l'effet du passage de courants à forte densité de type « lave torrentielle ») et être un phénomène très rapide. Lorsque les matériaux entraînés se concentrent, des coulées de boues peuvent apparaître. Alors qu'un ruissellement diffus va créer des paysages de « badlands », un ruissellement concentré va créer des ravins encaissés et localisés, et s'accompagne souvent de zones d'alluvionnement (où se déposent les matériaux arrachés par l'érosion). Cette érosion se développe essentiellement au niveau des parcelles défrichées, là où les pentes sont les plus élevées. Dans le passé, la couverture boisée ou en culture assurait une fixation naturelle des horizons superficiels. Ainsi, les terrains autrefois cultivés en canne à sucre, aujourd'hui en friche, sont en proie à l'érosion. L'érosion des sols, diffuse au départ, peut « dégénérer » et entraîner des glissements plus ou moins superficiels.

4.4. CARACTERISATION DES PHENOMENES D' INONDATION

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

Deux types de risques (pouvant se cumuler sur certaines zones) doivent être distingués sur le territoire de Bras-Panon :

- 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 précisé précédemment, 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, correspondant à l'eau reçue par le bassin versant ;
- Le ruissellement, qui correspond à la part d'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.

Deux 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 (Figure 18). 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 (Figure 18), 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 est 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.).

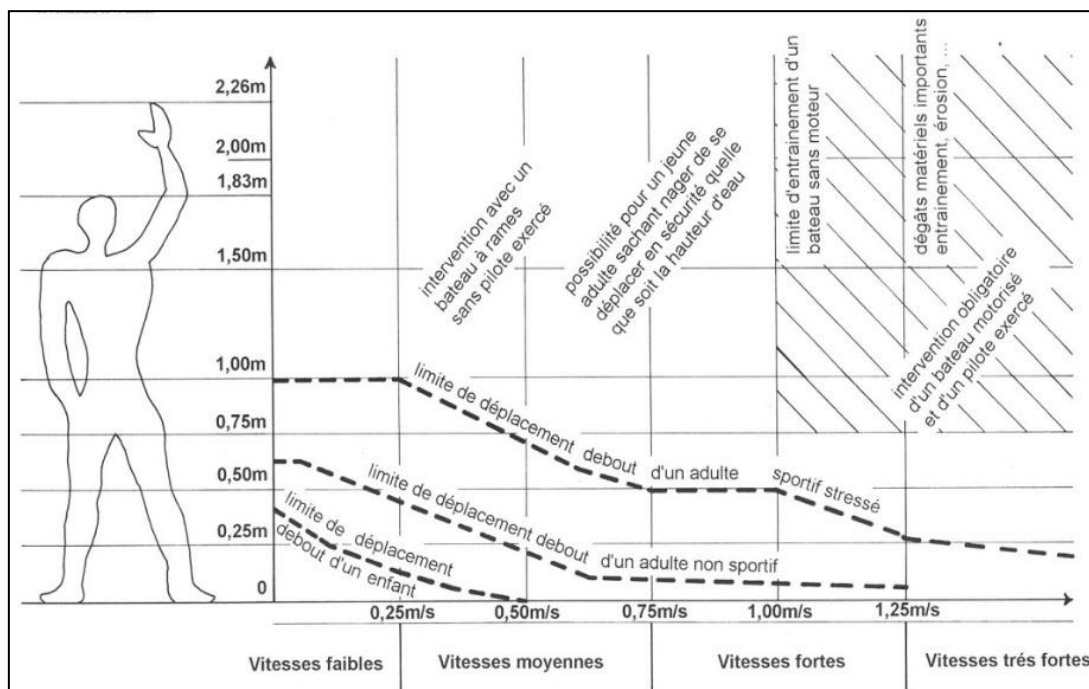


Figure 18 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction des caractéristiques d'écoulement (source : Guide PPRi ruissellement péri-urbain M.E.D.D.E.)

Exemples de manifestations rencontrées

Figure 19 : Crue de la Rivière du Mât sur le site de la société de concassage HOLCIM (Gamède, 2007)

5. Caractérisation et cartographie des aléas

5.1. DEFINITIONS ET NOTIONS GENERALES

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

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

Une définition spécifique à l'aléa mouvements de terrain (Fell et al., 2008⁷) 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.

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

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

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

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

⁷ Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Robin Fell, Jordi Corominas, Christophe Bonnard, Leonardo Cascini, Eric Leroi, William Z. Savage on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes.

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

5.1.2. Remarques relatives aux règles de zonage

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

De nombreuses zones, dans lesquelles aucun phénomène actif n'a été décelé, sont cependant décrites comme étant exposées à un aléa de 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 qui traduisent la décroissance de l'intensité et/ou de la probabilité du phénomène avec l'éloignement des zones sources (**principe de gradation des aléas**) (Figure 20).

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

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

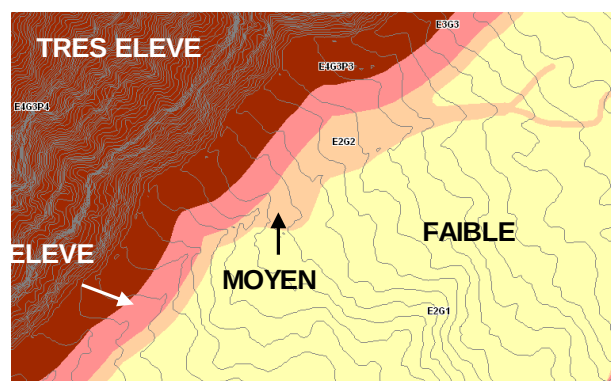


Figure 20 : Exemple de représentation de la notion de continuité du niveau d'aléa

5.2. ALEA INONDATION

5.2.1. Méthode d'évaluation de l'aléa

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

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

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

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

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 :

- 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. La précision altimétrique est de l'ordre de 20 cm et la précision planimétrique est de l'ordre de 50 cm. Aussi, l'IGN a étendu cette base de données à l'ensemble de l'île en produisant un Modèle Numérique de Terrain Réunionnais (MNTR®) de précision moindre. En complément, des données **Lidar®**, plus localisées, ont été utilisées, notamment sur la Rivière du Mât. Ces données ont été commandées respectivement par la Région Réunion et la CIREST;
- **La connaissance nouvelle** sur les inondations impactant le territoire communal, et plus particulièrement au droit des secteurs à enjeux de la commune, avec notamment plusieurs visites de terrains au droit de secteurs identifiés par la commune dans le cadre du travail partenarial entre la collectivité et les services de la DEAL et du BRGM ;
- Une **mise en cohérence avec la cartographie de l'aléa mouvements de terrain pour les phénomènes érosifs intégrés aux cartes d'aléas MVT** ;

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

La cartographie « inondation » est présentée sur fonds topographiques :

- A l'échelle 1/15 000 pour l'ensemble du périmètre d'étude (planche 1) ;
- A l'échelle 1/5 000 sur les secteurs à enjeux de la commune, qui correspondent aux zones bâties (planche 2 à planche 6) :
 - ✓ secteur Centre-Ville (planche 2) ;

- ✓ secteur Bellevue (planche 3) ;
- ✓ secteur La Paix (planche 4) ;
- ✓ secteur Îlet Payet (planche 5)
- ✓ secteur Plaine des Lianes (planche 6)

5.2.2. Caractérisation de l'aléa inondation

Aléa de débordement de la crue centennale

Trois degrés d'aléa inondation ont été définis pour la crue centennale, en fonction du champ d'inondation (hauteur de submersion et vitesse d'écoulement prévisibles) (Tableau 8):

		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
	$1 < h$	fort	fort	fort

Tableau 8 : Caractérisation de l'aléa inondation pour la crue centennale en fonction des vitesses et des hauteurs d'eau

• Aléa fort

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

• Aléa moyen

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

• Aléa faible

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

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

5.3. ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN

5.3.1. Méthode d'évaluation de l'aléa

La cartographie de l'aléa mouvements de terrain s'est tout d'abord appuyée sur le zonage du Porter à Connaissance de février 2015 qui prend en compte le zonage de l'aléa inondation du PPR approuvé par l'arrêté préfectoral d'approbation n°412 du 23 février 2004.

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.

A partir des cartographies de l'aléa mouvements de terrain du Porter à Connaissance de février 2015, une phase de précision des cartes d'aléas mouvements de terrain a été entreprise en 2017. 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 2014 suivies de plusieurs sorties terrain en 2018 notamment à la suite de l'évènement cyclonique Fakir ;
- 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 à plusieurs reprises en concertation avec les services techniques municipaux en 2014. Ces analyses ont fait l'objet de rapport du BRGM fourni en annexe 4 du dossier PPR (rapport BRGM RP-64249-FR⁸);
- 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. En complément, des données **Lidar®**, plus localisées, ont été utilisées, notamment sur la Rivière du Mât. Ces données ont été commandées respectivement par La Région Réunion et la CIREST;
- La **mise en cohérence avec l'aléa inondation** (pour l'aléa érosion de berges notamment).

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

Les récentes évolutions méthodologiques dans l'élaboration des cartographies d'aléas mouvements de terrain et leur transcription réglementaire, présentées dans le rapport BRGM/RP-66346-FR de novembre 2016⁹ ont été considérées dans le cadre du PPR de la commune de Bras-Panon, notamment lors de la phase d'analyse des requêtes de l'enquête publique.

La cartographie mouvements de terrain est présentée sur fonds topographiques :

- A l'échelle 1/15 000 pour l'ensemble du périmètre d'étude (planche 1) ;
- A l'échelle 1/5 000 sur les secteurs à enjeux de la commune, qui correspondent aux zones bâties (planche 2 à planche 6) :

⁸Rey A. & Vincent C. (2016) – Rapport d'expertise : Commune de Bras-Panon. Plan de Prévention des Risques naturels « inondations et mouvements de terrain ». Analyse des demandes de précision de la mairie de Bras-Panon BRGM/RP-64249-FR, 22 p.

⁹ Rey A. (2016) – PPR multi-aléas des communes de La Réunion. Propositions d'évolutions méthodologiques. Rapport final. BRGM/RP-66346-FR, 167 p., 57 ill., 38 tabl., 5 ann.

- secteur Centre-Ville (planche 2) ;
- secteur Bellevue (planche 3) ;
- secteur La Paix (planche 4) ;
- secteur Îlet Payet (planche 5)
- secteur Plaine des Lianes (planche 6)

5.3.2. Règles générales de qualification de l'aléa MVT

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

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

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

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

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

Probabilité d'occurrence

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

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

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

- **Facteurs de prédisposition (= permanents)**
 - Géologie : lithologie, altération, fracturation, épaisseur des faciès, hétérogénéités des formations ;
 - Géomorphologie : pentes, encaissement.
- **Facteurs non permanents (= généralement déclenchants, aggravants)**
 - Altitude : différence de pluviométrie ;
 - Venue d'eau, d'humidité : résurgence, écoulement... ;
 - Végétation : présence ou non, culture en terrasse... ;
 - Activité humaine : ouvrages de protection, drainage mal adaptés, vibrations, ...
 - Séisme
 - ...

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

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

Le Tableau 9 présente une proposition d'échelle qualitative de probabilité d'occurrence.

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

Tableau 9 : Echelle qualitative de probabilité d'occurrence (LCPC, guide technique sur les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux, 2004)

Intensité

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

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

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

On doit, par ailleurs, tenir compte de la propagation d'un phénomène de 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.

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

Aléa

De façon globale, l'évaluation des aléas repose sur un croisement de la probabilité d'occurrence et de l'intensité du phénomène à l'aide d'une grille de définition. Le résultat est exprimé de façon qualitative (Tableau 10) :

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

Diagramme illustrant l'aléa croissant (Aléa croissant) en diagonale, allant de Faible à Très élevé.

Tableau 10 : Principe de grille de qualification des aléas :

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

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

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

5.3.3. Cas particulier de l'érosion des berges de la Rivière du Mât

Vis-à-vis de la cartographie de l'aléa mouvements de terrain dont la période de référence considérée correspond au siècle à venir, les différents phénomènes induits par les glissements de terrain de grande ampleur sont pris en compte (cf. chapitre 4.3.3). A partir de la connaissance actuelle de ces phénomènes et leur occurrence possible sur le siècle à venir, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- L'enveloppe de l'aléa fort érosion de berge est calé depuis l'enveloppe externe des berges historiques observées (ici, la période est 1950 - 2017).
- Un retrait supplémentaire est ensuite appliqué en fonction de la nature des formations et de leur érodibilité :
 - Erodibilité faible (roche massive, coulée, etc.), on applique un bandeau de 10m
 - Erodibilité moyenne (terrain dur mais érodible, alluvions anciennes), on applique un bandeau de 20 m
 - Erodibilité forte (alluvions subactuelles, affouillables), on applique un bandeau de 35m
- Si un recul historique est observé à partir des orthophotos un nouveau retrait est appliqué pour représenter l'évolution observée et/ou présumée des berges, au prorata de la période observée sur 100 ans. (Plus ou moins modulé, en particulier pour les "forts reculs" > à 100m.)

En pratique, la rive droite de la Rivière du Mât faisant partie du territoire communal de Bras-Panon (depuis l'embouchure jusqu'au Bras de Caverne) a été découpée en plusieurs secteurs homogènes pour lesquelles l'aléa érosion de berge est majorant.

Pour chacun de ces secteurs un transect découpant la berge selon un profil topographique représentatif a été tracé. A chaque transect est associé un retrait forfaitaire ainsi qu'éventuellement un retrait lié au recul historique. Les informations relatives à ces secteurs homogènes sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Secteur	Recul forfaitaire	Recul historique	Erodibilité	Description
Embouchure RDM	35 m	/	Forte	Géologie : mélange d'alluvions anciennes et récentes. Forte variation de la limite de berge depuis 1966 plutôt dans le sens d'une accrétion. Pas de recul historique considéré
Fond Ilet	35 m	/	Forte	Large terrasse alluviale correspondant à l'emprise du lit sur l'ortho de 1950. Géologie : mélange d'alluvions anciennes et récentes, variation de la limite de berge dans le sens d'une accrétion, pas de recul historique, bandeau de 35m lié à la géologie.
Encoche Paniandy	/	250 m	Forte	Encoche érosive marquée notamment suite au passage de Gamède en 2007. Recul historique de 120m en 50 ans. Taux de recul moyen de 2,5m/an. Bandeau 10, 20, 35 m non considéré
Extérieur encoche Paniandy	/	160 m	Forte	Taux de recul plus faible qu'à la pointe de l'encoche érosive, permet de lisser le zonage. Recul de 80m en 50 ans. Taux de recul moyen de 1,6 m/an. Bandeau 10, 20, 35 m non considéré
Ancienne encoche amont Paniandy	/	100 m	Forte	Ancienne encoche érosive avec tendance à l'accrétion depuis 2008 mais recul historique constaté de 2003 à 2008. Lissage conservé par rapport au transect précédent.
Nationale 2	35 m	/	Forte	Contexte géologique similaire avec la terrasse alluviale, pas de recul historique constaté. Géologie : alluvions non stabilisées, recul forfaitaire de 35m appliqué

Secteur	Recul forfaitaire	Recul historique	Erodibilité	Description
Bengalis aval pont RDM	20 m	/	Moyenne	Ici la berge est composée d'alluvions plus ou moins cimentées ayant une meilleure résistance à l'érosion. Aucun recul historique n'est constaté. On applique un recul forfaitaire de 20m.
Bengalis amont pont RDM	10 m	/	Faible	Ici la berge est composée d'alluvions plus ou moins cimentées sur une épaisseur d'environ 10m, le socle de la berge est composé de matériaux plus indurés et résistants à l'érosion. En l'absence de recul historique constaté, on applique un bandeau forfaitaire de 10m
Ilet Payet	35 m	/	Forte	Terrasse alluviale, pas de recul historique majeur constaté, recul forfaitaire de 35m appliqué
Amont Ilet Payet	/	200 m	Forte	Recul historique observé, 40 m en 20 ans, taux de recul moyen de 2m/an.

Tableau 11 : Informations relatives aux secteurs homogènes concernant l'aléa érosion de berge sur la Rivière du Mât.

5.3.4. Qualification de l'aléa mouvements de terrain

Etant donnée la méthodologie pour la définition de chaque aléa MVT (érosion, chute de blocs, glissement), suivant une matrice combinant la probabilité d'occurrence et l'intensité, pour les secteurs concernés par plusieurs aléas, le niveau d'aléa le plus élevé sera prédominant pour la définition du niveau d'aléa « résultant » (Tableau 12).

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

Tableau 12 : Définition du niveau d'aléa MVT résultant en fonction des différents aléas caractérisés

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.4. PRINCIPES DE TRADUCTION REGLEMENTAIRE

Les principes de traduction réglementaire des aléas sont détaillés dans le règlement du PPR et illustrés par la grille de croisement des aléas présentée au *Tableau 13* 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 Bras-Panon sont décrites dans le règlement du dossier.

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

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

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

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

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

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

Tableau 13 : Principe de traduction réglementaire des aléas du PPR de Bras-Panon

5.5. EXEMPLES DE CARTOGRAPHIE AU DROIT DE SECTEURS A ENJEUX

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

- Le secteur Rivière du Mât – Fond Ilet – Aval RN2;
- Centre-Ville de Bras-Panon, Rivière des Roches
- Liberia – Confluence Rivière Bras-Panon et Bras Pétard
- Rivière du Mât – Bengalis

La légende associée aux extraits cartographiques présentés est la suivante (Tableau 14):

Niveau d'aléa MVT	Niveau d'aléa Inondation	Zonage réglementaire
 TRÈS ÉLEVÉ  ÉLEVÉ  MOYEN  FAIBLE  NUL	 FORT  MOYEN  NUL	 R1  R2  B2  B2u

Tableau 14 : Légendes des extraits cartographiques du projet de PPR

Secteur Rivière du Mât – Fond Ilet – Aval RN2

Ce secteur se situe en rive droite de la Rivière du Mât, à l'Est de la RN2.

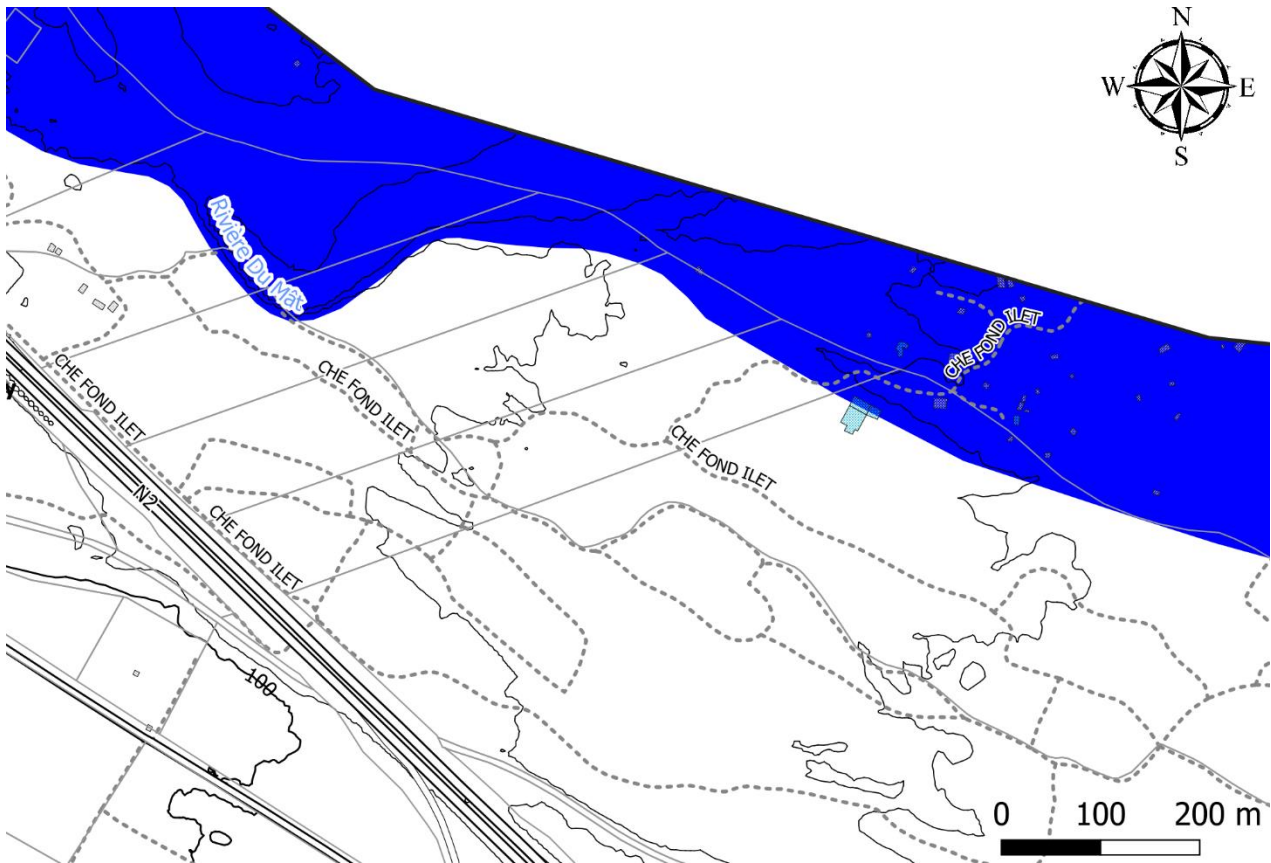
Il est caractérisé par la présence d'une terrasse alluviale témoins de l'ancien lit majeur de la Rivière du Mât. Cette terrasse est habitée et la présence de plusieurs constructions est visible sur les photographies aériennes.

Concernant le zonage de ce secteur on distingue deux zones :

- La zone amont est caractérisée par la présence d'une encoche érosive très prononcée. Le recul estimé d'après les orthophotos historiques est de 75 m entre 2003 et 2008 (voir chapitre 4.3.3). Au droit du secteur, l'aléa inondation est limité par la hauteur importante de la berge soumise à une forte érosion (10 à 15 m de haut).
Le zonage du mouvement de terrain est influencé par l'aléa érosion de berge. D'après le recul historique observé, un bandeau de 250 m en aléa fort depuis la limite de berge est considéré (Figure 21). Ce bandeau est issu du recul historique à cet endroit¹⁰, d'après lequel un taux de recul moyen de 2,5 m/an est établi. Cette valeur est ensuite multipliée par 100 soit la période de référence du PPR. Un bandeau de 10 m en aléa moyen vient compléter le zonage. Ce taux de recul très important est pondéré de part et d'autre de l'encoche pour tenir compte de la variation du taux de recul historique sur le linéaire.

¹⁰ Entre 1966 et 2017, un recul de la berge d'environ 125 m a été observé à ce niveau, soit un taux de recul d'environ 2,5m/an.

- La zone aval est d'avantage soumise à l'aléa inondation, le lit de la Rivière du Mât s'étendait autrefois jusqu'à un talus qui délimite la terrasse au sud. La hauteur de berge étant plus faible à cet endroit il est estimé que des débordements peuvent survenir lors d'évènements exceptionnels. A ce titre l'emprise de l'aléa fort inondation est plus importante qu'à l'amont. L'emprise de l'aléa fort érosion de berge à cet endroit est établi grâce à la géologie du secteur. En effet, en l'absence de recul historique observé, un bandeau de 35 m depuis la limite de berge est cartographié (Figure 21). Il est lié à la présence d'alluvions récentes peu consolidées et donc fortement érodibles. Là aussi un bandeau de 10 m en aléa moyen matérialisant l'incertitude quant à la propagation du phénomène érosif complète le zonage.



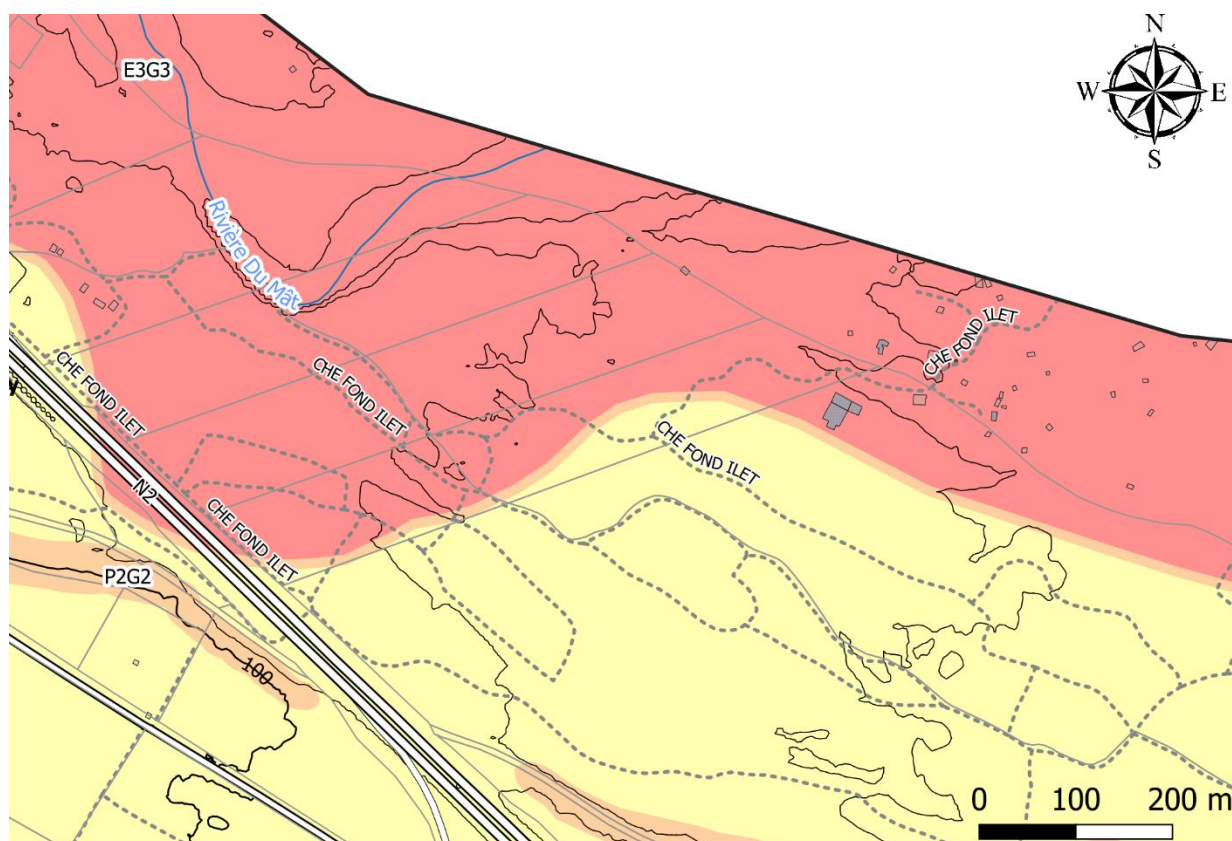


Figure 21 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de Fond Ilet (Rivière du Mât)

Centre-Ville de Bras-Panon, Rivière des Roches

Pour ce secteur du centre-ville de Bras-Panon, un point de débordement est identifié en partie aval de la digue située au Sud-Ouest de la RN2002 en cas de crue centennale (Figure 22).

La RN2002 constitue un axe rectiligne, revêtu (limitant l'infiltration), orienté dans le sens de la pente qui favorise la concentration des ruissellements lors de fortes pluies.

Les terrains à l'aval vers le pont de franchissement de la Rivière des Roches correspondent à un point bas topographique, avec des inondations historiques connues. Ces terrains ont été maintenus en aléa fort inondation.

Dans le cadre de la concertation avec les services de la commune de Bras-Panon, une visite de terrain a été effectuée en septembre 2014 au droit de ce secteur afin de préciser le zonage d'aléa inondation (cf. rapport BRGM RP-64249-FR¹¹).

Des études hydrauliques réalisés par HYDRETTUDES OI en 2018 (EH_Vuln_LHI_CIREST) sont un autre élément permettant d'identifier la zone impactée par de l'aléa fort et moyen inondation dans la partie habitée.

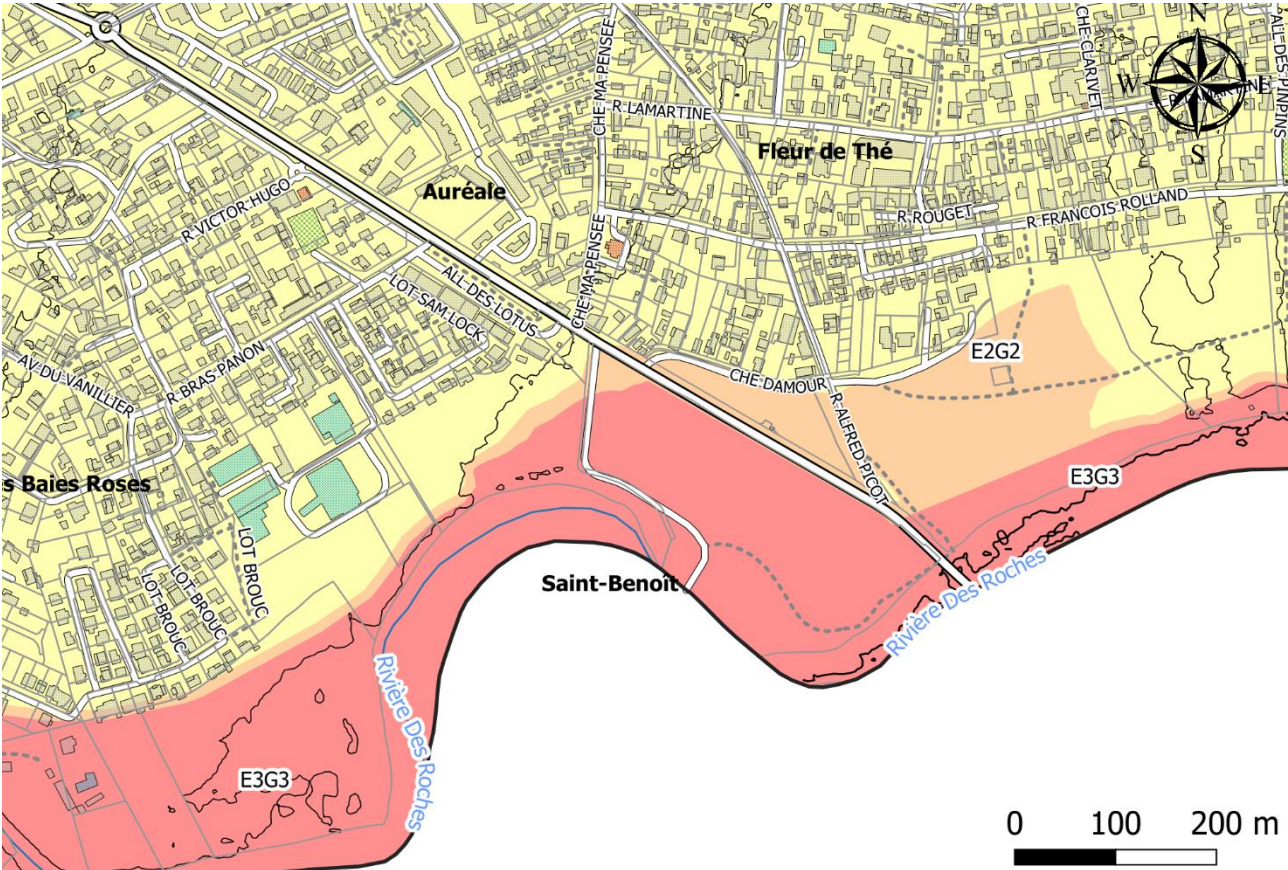
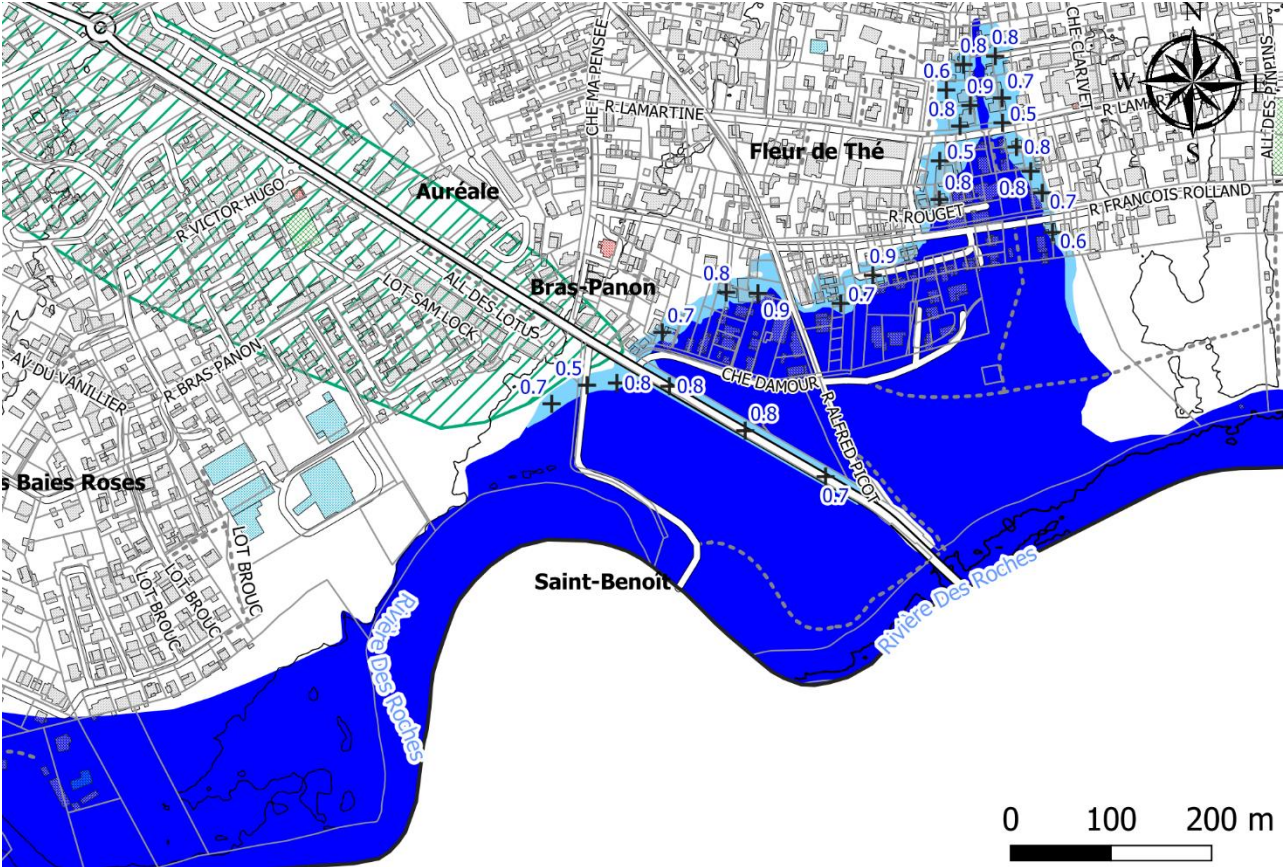
Ce secteur urbanisé est relativement peu pentu avec des pentes orientées vers l'Est. Cependant, afin de tenir compte des risques d'érosion lors de fortes précipitations, notamment au droit de la RN2002 où les vitesses de ruissellement peuvent être élevées, un aléa moyen mouvement de terrain est appliqué sur le talus de part et d'autre de la RN et un aléa faible mouvements de terrain au droit du centre urbanisé de Bras-Panon.

L'aléa érosion a également été intégré sur les berges de la Rivière des Roches où les vitesses en cas de crue sont importantes. Ainsi, l'aléa fort mouvement de terrain est appliqué jusqu'au sommet de berge et en limite de digue en amont du point de débordement, un aléa moyen sur une bande de 10 m vient compléter le zonage.

D'après le recueil des événements historiques dans les articles de presse ainsi que ceux présents dans le dossier réglementaire du PPR de Bras-Panon de 2004¹² (voir carte des phénomènes historiques en annexe 2 du dossier PPR), une partie du centre-ville, située le long de la RN2002, a fait l'objet de nombreuses inondations dues à un ruissellement important. Dans certains de ces secteurs, l'eau est montée jusqu'à 1 m de hauteur, notamment les cuvettes, dépressions topographiques ou dans les zones dans lesquelles l'eau peut être bloquée par des aménagements (mur, habitation, remblais, ...). Néanmoins, la problématique de ruissellement urbain n'étant plus intégrée dans la démarche de cartographie de l'aléa inondation, cette zone cartographiée en aléa moyen dans le PPR de 2004 a été déclassée dès le PAC de 2015 (cf. rapport BRGM RP-64249-FR⁷). Cependant, au vu des hauteurs d'eau importantes que peut entraîner ce ruissellement, cette zone apparaît dans la cartographie des aléas inondation **à titre indicatif et ne donne lieu à aucune traduction au zonage réglementaire**. Il convient toutefois aux porteurs de projet de tenir compte de cette information dans leur projet de construction ou travaux d'aménagement.

¹¹ **Rey A., Vincent C.** (2014) – Commune de Bras-Panon - Plan de Prévention des Risques naturels « inondations et mouvements de terrain ». Analyse des demandes de précision de la mairie. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-64249-FR. 21 p., 10 fig., 1 tabl.

¹² SOGREAH (2003). Plan de Prévention des Risques Naturels (PPR) – Bras-Panon. Dossier Réglementaire. Juillet 2003. N°0850116 R4.



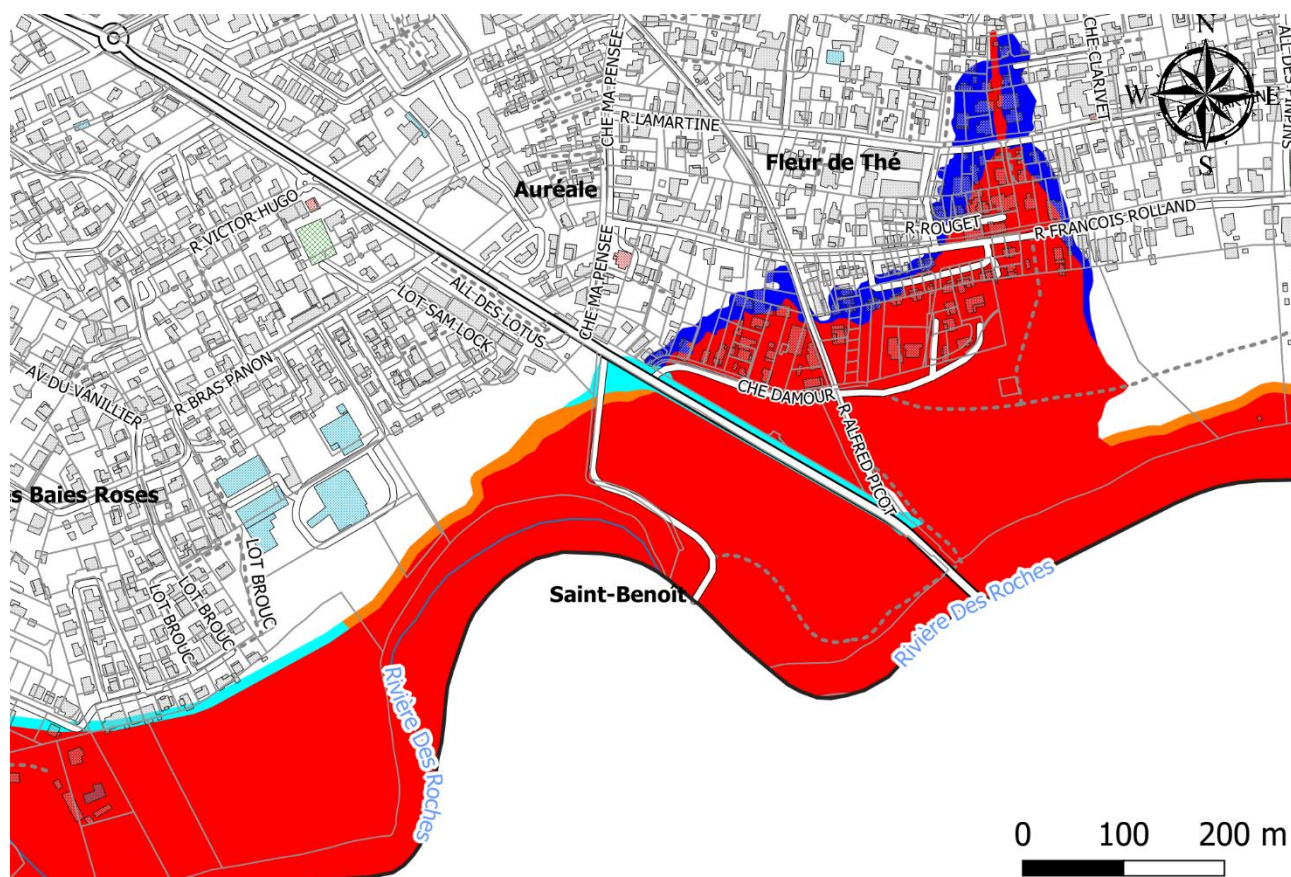


Figure 22 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du centre ville quartier de la rivière des roches

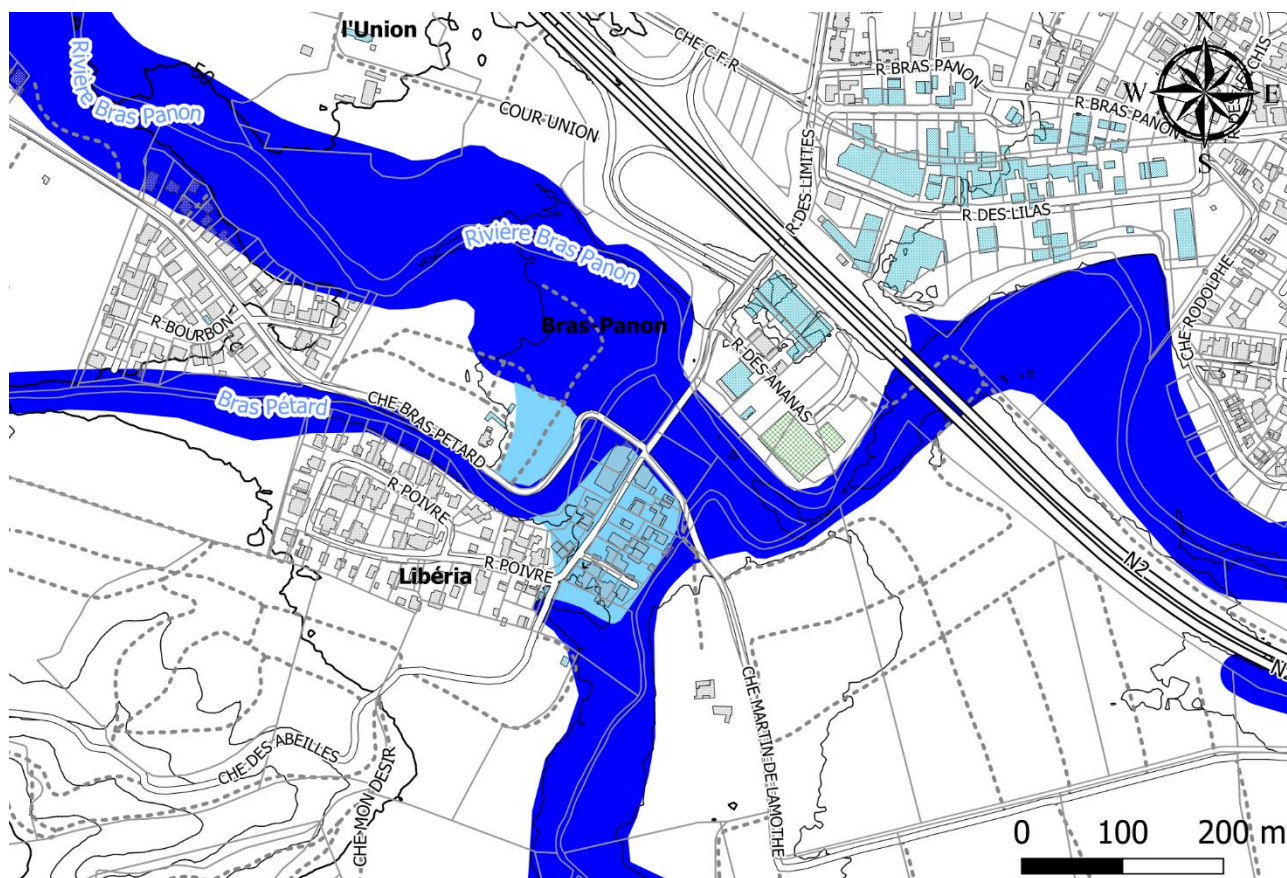
Liberia – Confluence Rivière Bras-Panon et Bras Pétard

Le secteur se situe à la confluence entre la Rivière Bras-Panon - Bras Pétard et le Bras des Chevrettes (Figure 23).

Historiquement ce quartier a subi plusieurs inondations lors d'événements climatiques particuliers (fortes pluies). De par sa localisation à la confluence de trois cours d'eau, il est en effet fortement soumis à l'aléa inondation.

Dans le cadre de la concertation avec les services de la commune de Bras-Panon, une visite de terrain a été effectuée en septembre 2014 au droit de ce secteur afin de préciser le zonage d'aléa inondation (cf. rapport BRGM RP-64249-FR¹³). Les travaux d'endiguement sur le Bras Pétard dans le secteur de Liberia ont également été considérés dans la précision cartographique (vérification des capacités d'écoulement pour une crue centennale suite aux relevés de terrain). Ceux-ci permettent de maintenir l'aléa fort inondation dans le lit des ravines ; cependant un aléa moyen reste considéré au niveau de la confluence.

L'aléa érosion se caractérise par de l'aléa fort mouvement de terrain dans l'emprise des berges, des phénomènes érosifs important se sont déjà produits notamment sur la rivière Bras-Panon et dans le lit encaissé du Bras-Pétard.



¹³ **Rey A, Vincent C.** (2014) – Commune de Bras-Panon - Plan de Prévention des Risques naturels « inondations et mouvements de terrain ». Analyse des demandes de précision de la mairie. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-64249-FR. 21 p., 10 fig., 1 tabl.

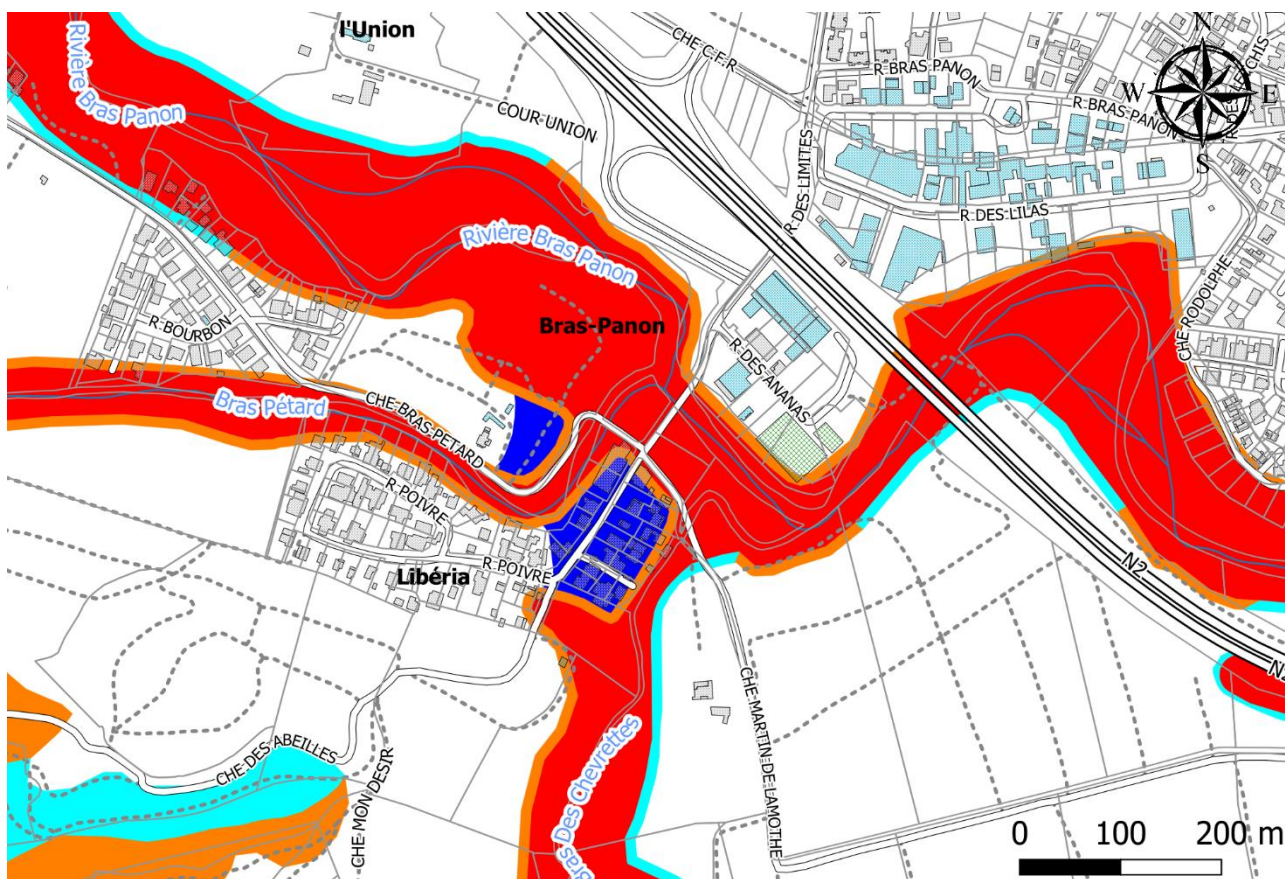
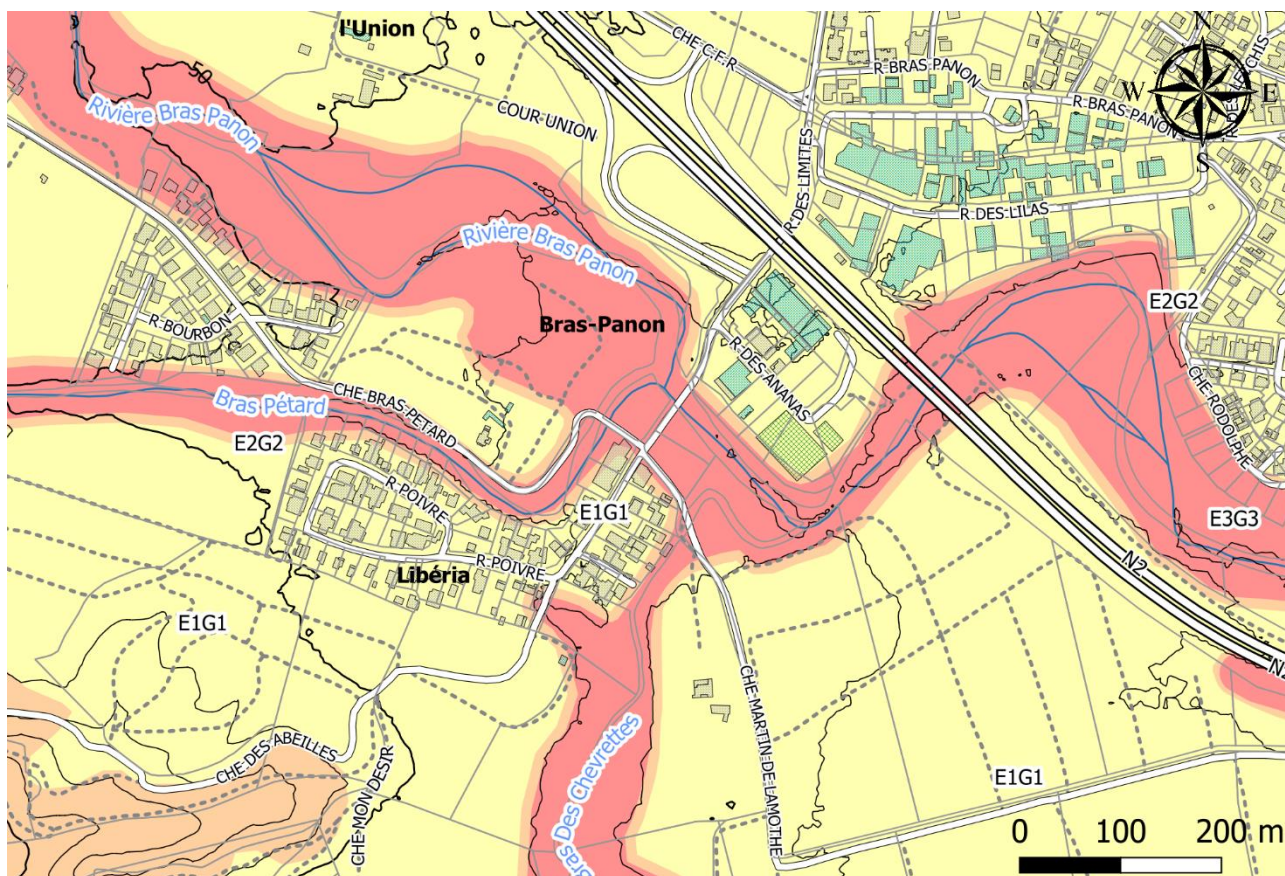


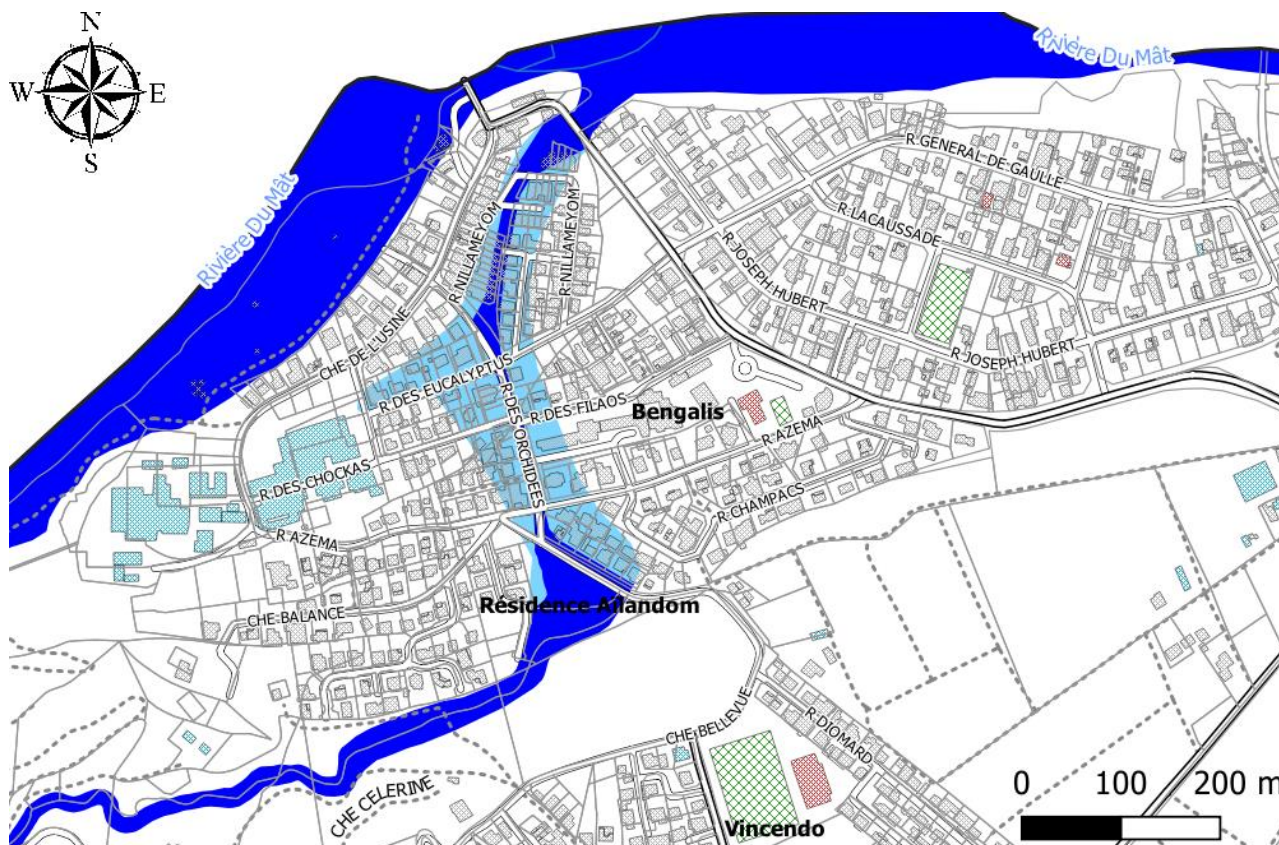
Figure 23 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du quartier de Libéria.

Rivière du Mât – Bengalis

Le secteur se situe en rive droite de la rivière du Mât à l'aval du pont métallique reliant les hauts de Saint-André et Bras-Panon.

Au nord du quartier, l'incision de la rivière du Mât montre une profondeur atteignant 20 m avec des pentes au droit de la berge dépassant localement 40°. La géologie à cet endroit est différente de celle des berges de la plaine alluviale. En effet, on retrouve des alluvions consolidées moins sensibles à l'érosion. De plus, aucun recul historique n'est constaté. Ainsi, un bandeau de 20m en aléa fort mouvement de terrain est considéré au-delà de la limite de berge. Il est complété par 10m en aléa moyen. Ceci afin de tenir compte de l'évolution possible sur la période de référence (le siècle à venir). A l'aval du pont le socle de la berge est composé de matériaux indurés encore plus solide réduisant la largeur du bandeau d'aléa fort mouvement à 10m.

Dans le quartier « Rivière du Mât » une dépression du terrain à l'intérieur de laquelle passe un thalweg induit également un aléa moyen inondation traduit en B2 au titre du PPR. Cet aléa vient du débordement possible des eaux du thalweg en crue centennale et de la topographie du terrain générant une hauteur d'eau conséquente liée à l'accumulation.



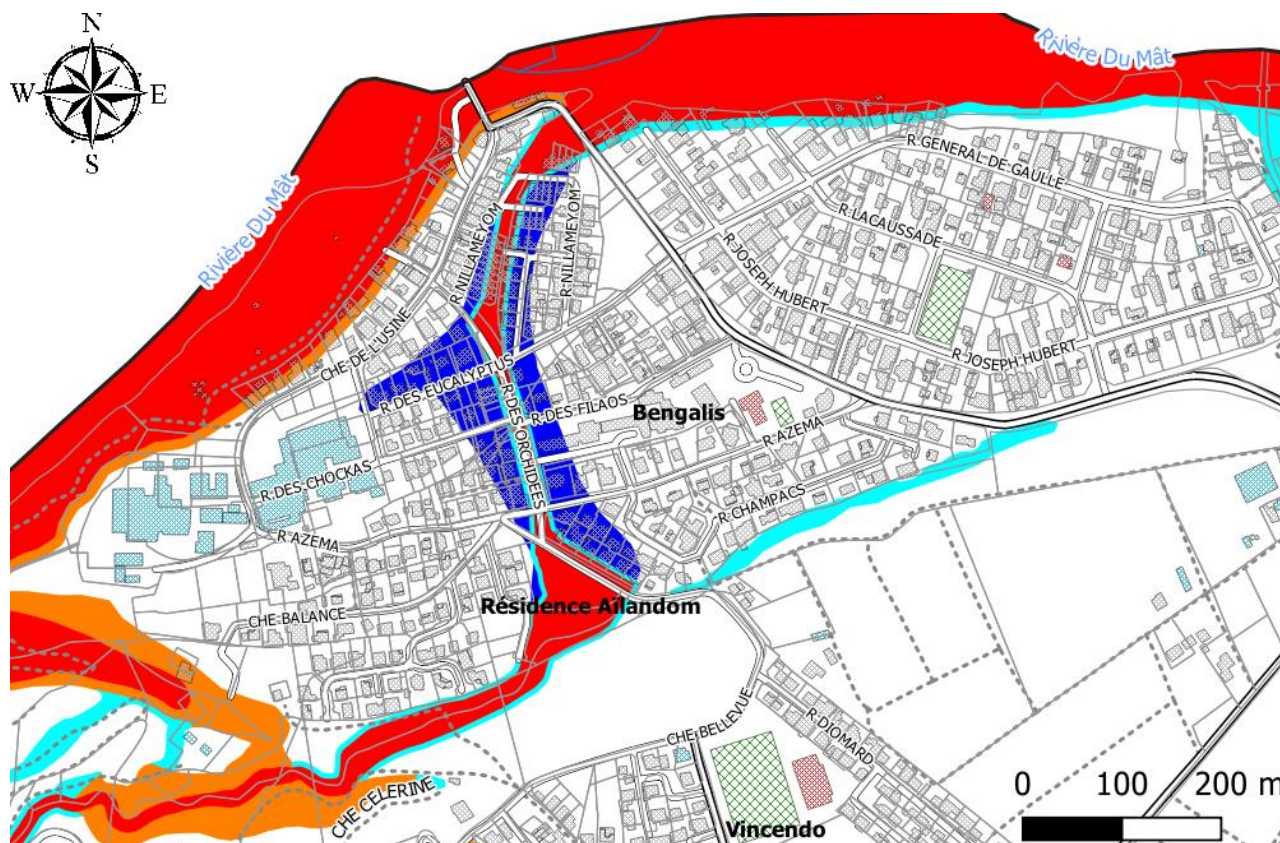
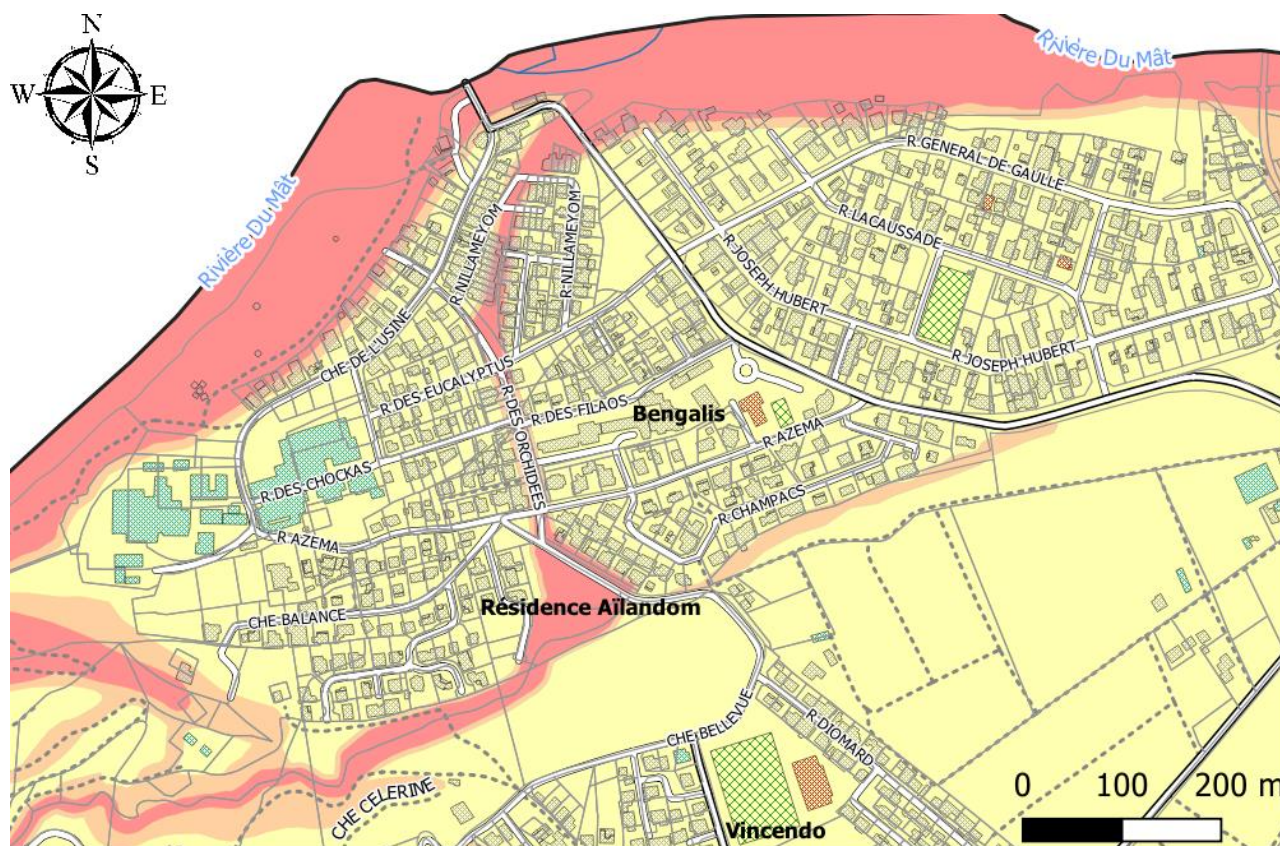


Figure 24 : Extraits de la cartographie de l'aléa inondation, mouvements de terrain et du projet de zonage réglementaire au droit du secteur de Bengalîs – Rivière du Mât

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.

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

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

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

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

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

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

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.

STPC : Schémas techniques de protection contre les crues.

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

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

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

7. Principaux textes officiels

7.1. LEGISLATION - REGLEMENTATION

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

7.2. PRINCIPALES CIRCULAIRES

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

7.3. PUBLICATION DE GUIDES

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

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

10. Conclusions

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

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

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

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

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

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

PPR de La Réunion – Propositions d'évolutions méthodologiques

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

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

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

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

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

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

PPR de La Réunion – Propositions d'évolutions méthodologiques

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

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

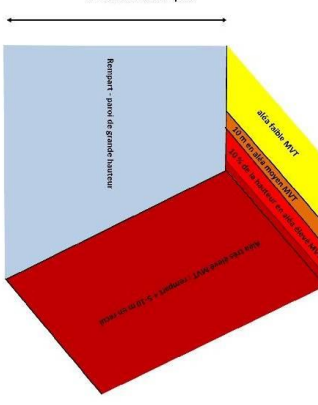
- confirmation de la possibilité d'aménager avec la définition des ouvrages à réaliser, intégrés d'un point de vue technique et financier dans l'enveloppe du projet ;

ou

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

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

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

Probabilité d'occurrence		Niveau d'aléa MVT				Commentaires
Moyenne	Configuration morphologique de l'encastrement rectiligne sans méandre marqué en pied de rempart et sans pentes très fortes au sein de l'encastrement (morphologie homogène) + pas d'évolution historique connue de la crête du rempart via l'analyse comparative des orthophotos (IGN disponibles) + aucun indice de surface en recul de la crête de rempart pouvant témoigner d'une activité dans le siècle à venir (pas de fissures ouvertes, ni de panneaux affaissés)	Faible (P1) au-delà des aléas très élevés à moyen	Moyen (P2) sur une bande fortifiée de 10 m en recul de l'aléa élevé	Elevé (P3) sur une distance équivalente à H/10 en recul de l'aléa très élevé	Très Elevé (P4) sur 5 à 10 m en recul de la crête du rempart	Cas des remparts sans évolution historique : ↳ probabilité d'occurrence moyenne  Cas des remparts avec des évolutions passées significatives : ↳ probabilité d'occurrence forte Pour ces secteurs où les reculs sont potentiellement importants sur la période de référence considérée, dépassant les limites de l'aléa élevé MVT par application de la méthode ci-dessus, ils seront étudiés de manière spécifique avec une majoration du zonage de l'aléa très élevé MVT en fonction des possibilités de recul de ces remparts actifs sur le siècle à venir. Dans ce cas de figure, il est proposé de définir l'aléa très élevé suivant une bande équivalente au recul historique constaté sur le siècle précédent.
	Forte Configuration morphologique de l'encastrement favorable à une évolution sur le siècle à venir avec : ↳ une évolution historique connue et significative de la crête du rempart avec recul constaté ou ↳ des indices de surface en recul de la crête de rempart pouvant témoigner d'une activité dans le siècle à venir (par exemple présence de fractures ouvertes et/ou de panneaux affaissés)					

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

Probabilité d'occurrence		Phénomène de grande ampleur : Volume > 10 000 m³		Commentaires
		Intensité = très élevée		
Faible	Extension maximale de la zone impactée par un événement historique (par des pierres, éclats de taille restreinte (moins d'1 m³)). ou Zone éloignée de l'extension maximale prévisible pour un événement de grande ampleur sur la période de référence	Moyen (P2) : bande forfaitaire définie à dire d'expert		L'intégration de tels phénomènes dans la cartographie des aléas MVT des procédures PPR des communes de La Réunion est définie en fonction de l'occurrence de phénomène historique de ce type dans le bassin de risque étudié, à partir de l'analyse de la configuration morphologique actuelle.
Moyenne	Extension maximale de la zone impactée par un événement historique (par des blocs de plus d'1 m³)	Élevé (P3) : jusqu'au dernier bloc éboulé (1m³ et plus)		
Élevée	Paroi, rempart de plus de 100 m de hauteur + Terrains en pied de paroi directement exposés aux phénomènes de grande ampleur	Très élevé (P4)		

ALÉA CHUTE DE BLOCS (P) – CHUTE DE BLOCS

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

Aléa chute de blocs (P)		Intensité				Commentaires
		Volume < 0,25 m³	0,25 m³ < V < 1 m³	1 m³ < V < 10 m³	Volume > 10m³	
Probabilité d'occurrence	Faible	Faible (P1)	Moyen (P2)	Elevé (P3)	Elevé (P3)	Intensité : c'est la quantité de roche, exprimée en volume, qui peut être déstabilisée et mise en mouvement. Ces volumes potentiellement mobilisables décrivent l'intensité attendue des phénomènes. L'intensité est associée à l'endommagement potentiel engendré par une atteinte à des enjeux (ici un bâtiment d'habitation « classique » est pris comme référence pour évaluer cet impact). A La Réunion, l'analyse de cas historiques (57) tend à montrer des volumes unitaires de l'ordre du m³. Aléa chute de blocs (P) : méthode conditionnée par l'indice d'intensité , considéré comme très fréquemment élevé (bloc de plus d'1 m³ susceptible d'atteindre les enjeux sur les 100 prochaines années pour la plupart des parois rocheuses considérées sauf quelques exceptions). Ainsi, cela implique un aléa rocheux de niveau élevé (P3) en tout point d'atteinte en contrebas, dont l'évaluation de la superficie est définie en fonction de la configuration de la paroi, quel que soit l'indice d'activité de la paroi considérée, avec l'application d'une valeur d'angle de la ligne d'énergie : ↳ de l'ordre de 38 à 40° pour les configurations de parois très redressées (pente moyenne de l'ordre de 50° voire plus sur toute la hauteur) avec terrain plat ou faiblement pentu en pied ; ↳ de l'ordre de 32 à 33° pour les configurations de versants plus propices aux propagations à l'aval des zones de départ (configurations où des terrains pentus sont présents sous la paroi dominante). Afin de maintenir une gradation des aléas MVT dans ces configurations de terrains exposés à l'aléa rocheux, une bande forfaitaire d' aléa moyen MVT (P2) est définie à l'aval, de largeur variable définie à dire d'expert selon la configuration de la zone (minimum 10 à 20 m, largeur variable selon la configuration morphologique). Ce niveau d'aléa traduit l'incertitude dans les zones atteintes au-delà des zones d'aléa fort considérées, notamment pour d'éventuels projections / écarts aux trajectoires parois importantes, voire au-delà de celles des blocs considérés. Pour d'autres volumes unitaires considérés (moins d'1m³), la méthodologie décrite s'applique.
	Moyenne	Faible (P1)	Moyen (P2)	Elevé (P3)	Elevé (P3)	
	Elevée	Moyen (P2)	Elevé (P3)	Elevé (P3)	Très élevé (P4)	
	Très élevée	Elevé (P3)	Elevé (P3)	Très élevé (P4)	Très élevé (P4)	

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

PPR de La Réunion – Propositions d'évolutions méthodologiques

Probabilité d'occurrence	Description des facteurs attendus pour l'indice d'activité (non cumulé)	Probabilité d'atteinte, en cas de remobilisation β = valeur d'angle de la ligne d'énergie			Commentaires
		Faible : $\beta < 32^\circ$ + Pente des terrains > à 20°	Moyenne $32^\circ < \beta < 35^\circ$	Fort $\beta > 35^\circ$	
faible	Présence de forêt pérenne ou d'obstacles naturels dans la pente Faible sensibilité à l'érosion des terrains du versant (terrains indurés, rocheux) Pas d'historique connu / 1 événement tous les 100 ans / peu de blocs dans le versant et les zones exposées	faible	moyenne	élevée	Zone de départ (de remobilisation) : la valeur à considérer au-delà de laquelle les remobilisations de blocs sont jugées possibles est comprise entre 22 et 28° selon les observations de terrains et l'historique connu. Une valeur moyenne de 25° sera retenue par défaut. Probabilité d'atteinte : nécessité de fortes pentes sous la zone de remobilisation de blocs. En dessous des valeurs d'angle de la ligne d'énergie (32 à 33°), la propagation est considérée comme limitée à l'emprise des zones de remobilisation (ou de départ), soit aux terrains de pente supérieure à 25° en moyenne) et des terrains directement exposés à l'aval mais moins pentus favorisant l'arrêt progressif des blocs. La valeur de pente des terrains à l'aval passant sous les 20° voire 25° sur une distance significative (au moins 10 à 20 m) traduit généralement cette distance progressive d'arrêt des blocs.
moyen	Incertitude sur la présence d'obstacles pérennes (forêt, andains) Sensibilité moyenne à l'érosion des terrains du versant (terrains meubles végétalisés) Historique connu / 1 événement tous les 10 ans / plusieurs blocs dans le versant et les zones exposées		moyenne	élevée	
fort	Pas d'obstacles dans les pentes Fort sensibilité à l'érosion des terrains du versant (« griffes d'érosion » visibles, terrains meubles en surfaces, non végétalisés) Historique connu et fréquent ou 1 événement tous les 1 ans ou nombreux blocs dans le versant et les zones exposées		élevée	élevée	

Aléa chute de blocs (P)	Intensité			Commentaires
	Volume < 0,25 m³	Volume < 1 m³	Volume > 1 m³	
Probabilité d'occurrence	Faible (P1)	Moyen (P2)	Moyen (P2) si des travaux sont réalisables à l'échelle de la collectivité	Aléa chute de blocs (P) – remobilisation de blocs sur pentes : Intensité : volume de bloc le plus représentatif des blocs mobilisables dans les pentes du secteur étudié. L'aléa « résultant » est conditionné par la taille des blocs remobilisables (indice d'intensité) modulée par la superficie du versant concernée afin de tenir compte, dans la notion d'intensité, de l'ampleur de la parade qu'il serait nécessaire de mettre en œuvre pour se prémunir de l'aléa (Guide PPR national, 1999). A titre d'exemple, un versant de quelques centaines voire milliers de m², avec 30 à 35° de pente moyenne ou les propagations seront limitées à l'emprise des zones remobilisables ne sera pas systématiquement cartographié en aléa élevé MVT si les blocs présents en surface sont de l'ordre du m³ dans la mesure où des parades réalisables à l'échelle du versant (à l'échelle de la collectivité) sont possibles. Ainsi, un niveau d'aléa moyen MVT est fréquemment considéré dans les cartographies de l'aléa MVT pour les problématiques de remobilisation de blocs.
	Moyenne	Moyen (P2)	Moyen (P2) si des travaux sont réalisables à l'échelle de la collectivité	
	Élevée	Moyen (P2) si des travaux sont réalisables à l'échelle de la collectivité	Élevé (P3) sinon	

ALÉA GLISSEMENT DE TERRAIN – COULÉE DE BOUE (G)

	Description des facteurs attendus	
Probabilité d'occurrence	Elevée	Glissement actif avec traces de mouvements récents ou Glissement ancien non stabilisé / coulée de boue connue non stabilisée ou Glissement potentiel / coulée de boue potentielle : • classe « sol » 1 + pente supérieure à 25° + présence de facteurs aggravants • classe « sol » 2 + pente supérieure à 30° + présence de facteurs aggravants • classe « sol » 3 + pente supérieure à 35° + présence de facteurs aggravants
	Moyenne	Glissement ancien connu stabilisé / coulée de boue ancienne, avec doute sur l'entretien des aménagements ou non confortés ou Glissement potentiel / coulée de boue potentielle : • classe « sol » 1 + 20° < pente < 25° + absence de facteur aggravant prépondérant • classe « sol » 2 + 20° < pente < 30° + absence de facteur aggravant prépondérant • classe « sol » 3 + 25° < pente < 35° + absence de facteur aggravant prépondérant
	Faible	• Pentes inférieures au seuil définis pour la probabilité d'occurrence moyenne mais non nulles (supérieures à 5°)

Commentaires	
Sur la base des consignes nationales en matière de qualification de l'aléa MVT (pour les glissements de terrain), la cartographie de l'aléa MVT pour les phénomènes de glissements de terrain et de coulée de boue, s'appuie sur les facteurs suivants (qualitatifs voire quantitatifs) : • facteurs de prédisposition, inhérents au milieu : - formations géologiques : classification selon leur nature, caractéristiques mécaniques, état d'altération, fracturation, épaisseur des faciès ; - morphologie : définition de classe de pentes et de configurations particulières (présence de talus anthropique par exemple). • facteurs non permanents (généralement aggravants) : - indices de glissement de terrain (récents, anciens) - altitude : différence de pluviosité ; - venue d'eau : résurgence, écoulement ou ruissellement concentré ; - végétation : présence ou non, culture en terrasse, etc. ; - activité humaine : ouvrages de protection, rejet d'eau concentré, non contrôlé présence de surcharge non soutenue, etc.	

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

Colluvions meubles, alluvions lâches, remblais, sables dunaires basaltiques, sables et galets de plage, etc.
Dépôts de glissement en masse, de coulées de débris, éboulis, brèches sensibles à l'érosion, altérites type III, tufs en épannage meubles et altérés, cendres argilisées
Brèches indurées, altérites type II, tufs altérés et indurés
Séries de basaltes, tufs soudés (type Maïdo), Ignimbrites, trachytes, syénites, gabbro, altérites type I

Description des facteurs attendus – Glissement de terrain	
Très élevé	Parade au couit prohibitif et/ou techniquement impossible Destruction des bâtis de la zone Volume mobilisé très important : plusieurs millions de m³
Elevé	Parade au couit prohibitif et/ou techniquement impossible Domage important au bâti (gros œuvre) avec ruine probable dans les 100 ans – réparation très coûteuse Surface mobilisée de l'ordre de 10 000 m² ou volume mobilisé important de l'ordre de 10 000 m³
Moyenne	Parade réalisable à l'échelle de la collectivité Domage au gros œuvre sans ruine probable dans les 100 ans – réparation possible Surface mobilisée de l'ordre de 1 000 à 100 000 m² ou volume mobilisé relativement important de l'ordre de 1 000 à 10 000 m³
Faible	Parade réalisable à l'échelle de la parcelle Pas de dommage structurel, gros œuvre très peu touché Surface mobilisée faible, inférieure à 1 000 m² ou volume mobilisé faible inférieure à 1000 m³

Description des facteurs attendus – Coulée de boue	
Très élevé	Parade au couit prohibitif et/ou techniquement impossible Destruction des bâtis de la zone Surface concernée à l'échelle du versant (> km²) avec épaisseur mobilisable supérieur à 0,5 voire 1 m générant un volume de coulée potentiel très important : > 1 million de m³
Elevé	Parade au couit prohibitif et/ou techniquement impossible Domage important au bâti (gros œuvre) avec ruine probable dans les 100 ans – réparation très coûteuse Surface concernée significative (>1000 m²) avec épaisseur mobilisable supérieur à 0,5 voire 1 m générant un volume de coulée potentiel important : > 1 000 m³
Moyenne	Parade réalisable à l'échelle de la collectivité Domage au gros œuvre sans ruine probable dans les 100 ans – réparation possible Surface concernée significative (>1000 m²) avec épaisseur mobilisable réduite (< 0,5 m) générant un volume de coulée potentiel peu important : < 1 000 m³
Pour l'aléa « coulée de boue », les consignes nationales recommandent la prise en compte des seuls niveaux d'intensité élevé et très élevé. A La Réunion, étant donné les spécificités géologiques (couverture sol peu épaisse), une intensité moyenne est également considérée pour les problématiques fréquemment rencontrées s'apparentant à un ravinement intense mobilisant une épaisseur de matériaux rarement supérieur à 0,50 m.	

Aléa glissement de terrain (G)	Intensité				Commentaires
	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée	
Probabilité d'occurrence	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée	Concernant l'aléa MVT « glissement de terrain » à la différence de la grille proposée dans le cadre des réflexions du « coatch 1 » (cf. Tableau 19), il est proposé de conserver un aléa faible et moyen MVT pour des niveaux d'intensité similaires quelle que soit la probabilité d'occurrence (hormis pour un niveau élevé) afin de conserver de manière prépondérante la notion de niveau de réalisation des parades dans l'évaluation de l'aléa. Cela se justifie par de faible épaisseur de couverture meubles (moins d'un mètre à quelques mètres avant d'atteindre le substratum rocheux) sur le territoire réunionnais hormis dans certains secteurs où l'altération poussée des formations basaltiques peut favoriser des glissements de plus fortes épaisseurs.
	Faible (G1)	Moyen (G2)	Elevé (G3)	Très élevé (G4)	
	Moyenne	Faible (G1)	Moyen (G2)	Elevé (G3)	
	Elevée	Moyen (G2)	Elevé (G3)	Elevé (G3)	
				Très élevé (G4)	

Aléa coulée de boue (G)	Intensité			Commentaires	
	Moyenne	Elevée	Très élevée		
Probabilité d'occurrence	Faible	Moyen (G2)	Elevé (G3)	Très élevé (G4)	Concernant l'aléa MVT « coulée de boue » , les phénomènes historiques sont peu nombreux sur le territoire réunionnais (une centaine enregistrés dans BDMVT) et concernent principalement les cirques (plus de 60% des cas enregistrés) ou les formations géologiques en places sont liées à des dépôts gravitaires (formations détritiques sensibles à l'érosion et aux phénomènes de ce type). Les zones d'occurrence de ces phénomènes sont par ailleurs concentrées par de très fortes pentes et exposées à d'autres types d'aléa MVT (chute de blocs notamment) avec la prise en compte d'un aléa élevé voire très élevé. D'une manière générale, en dehors de ces territoires spécifiques (Salazie, Cilaos, Mafate), l'aléa coulée de boue est peu présent et non prépondérant vis-à-vis des autres phénomènes gravitaires mais restent possibles ponctuellement lors de conditions climatiques très dégradées notamment dans des secteurs de terrains agricoles où les sols sont plus facilement mobilisables.
	Moyenne	Moyen (G2)	Elevé (G3)	Très élevé (G4)	
	Elevée	Elevé (G3)	Très élevé (G4)	Très élevé (G4)	

PPR de La Réunion – Propositions d'évolutions méthodologiques

ALEA EROSION (E) : érosion de berges et ravinement

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

Ravinement	
Description des facteurs attendus	
Elevée	zone de badlands non stabilisé où les phénomènes sont actifs et reconnus
Moyenne	zone d'auréole autour de la zone de probabilité d'occurrence forte ou ravinement potentiel (facteurs non cumulatifs) : - classe « sol » 1 + pente supérieure à 10-15° + présence terrain potentiellement mis à nu (facteur aggravant) ou facilement mobilisable (zone agricole par exemple) - classe « sol » 2 + pente supérieure à 15-20° + présence terrain potentiellement mis à nu (facteur aggravant) ou facilement mobilisable (zone agricole par exemple) - voirie avec pente de plus de 7-8% dans le sens de la pente sur un linéaire de plus de 500m - valeurs d'IDPR supérieures à 1500
	zone en recul de la zone de probabilité d'occurrence moyenne ou pentes inférieures aux seuils définis pour la probabilité d'occurrence moyenne mais non nulles (supérieures à 5°)
	Faible

Description des facteurs attendus	
Intensité	Très élevée Parade au cout prohibitif et/ou techniquement impossible Destruction des bâtis de la zone Erosion de berge : incision du lit et/ou recul observé par le passé + potentiel de plus de 100 m Ravinement : surface active mobilisée très importante (bassin versant) : supérieure à 1 km²
	Elevé Parade au cout prohibitif et/ou techniquement impossible Domage important au bâti (gros œuvre) avec ruine probable dans les 100 ans – réparation très coûteuse Erosion de berge : incision du lit et/ou recul observé par le passé + potentiel de plus de 10 m Ravinement : surface active mobilisée importante (bassin versant) : supérieure à 10 000 m²
	Moyenne Parade réalisable à l'échelle de la collectivité Domage au gros œuvre sans ruine probable dans les 100 ans – réparation possible Erosion de berge : recul potentiel de l'ordre de 1 à 1,5 x H (hauteur de la berge) ou de l'ordre de 10 m Ravinement : surface active mobilisée réduite (bassin versant) : supérieure à 1000 m²
	Faible Parade réalisable à l'échelle de la parcelle Pas de dommage structurel, gros œuvre très peu touché

Aléa Erosion (E)	Intensité			
	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
	Faible	Faible (E1)	Moyen (E2)	Très élevé (E4)
	Moyenne	Moyen (E2)	Elevé (E3)	Très élevé (E4)
Probabilité d'occurrence	Faible	Moyen (E2)	Elevé (E3)	Très élevé (E4)

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

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

9. Annexe 2 : Bilan de concertation établi en Juillet 2021 pour le lancement de l'enquête publique